híradástechnika

VOLUME LV.

2000/1-5

E870.

LSZ

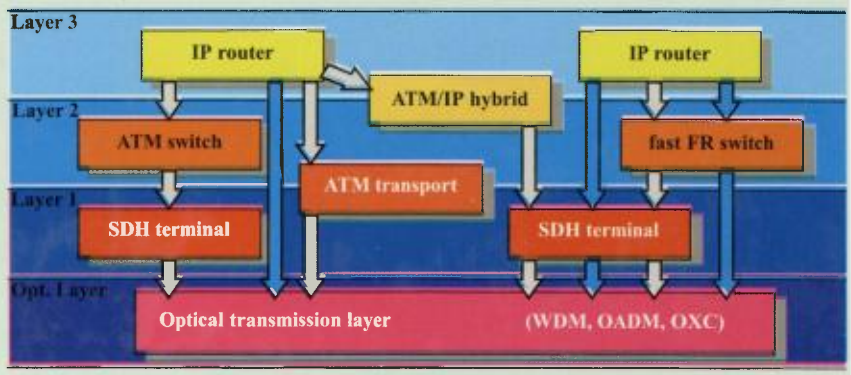
9 000004 070710

55th ANNIVERSARY

ALCATEL	CLESCA, B.
BME	FRIGYES, et al.
BME	JAKAB, T.
BME, HSN	CINKLER, T.
BT	DAVEY, R.
COBNET	BLANCAT, J.
CSELT	RAVERA, M.
DT	EHRHARDT, A.
ERICSSON	SJÖGERAS, E.
ESPICOM	ITI SEARCH
EURESCOM	KAPOVITS, A.
FT, CNET	HAMEL, A, et al.
FT, CNET	LECROSNIER, D.
LUCENT	PLEKENPOL, D.
MARCONI	WDM PMA-8
MARCONI	WDM-PLX40
MTA MFA	ANDOR, et al.
MTA MFA	HÁMORI, A.
MTA MFA	SERÉNYI, M.
MATÁV	FRISCHMANN, G.
MATÁV	KAPOVITS, Á.
MATÁV	PAKSY, G.
PHOTONICS	SPECTRA
PIRELLI	GARDNER et al.
SIEMENS	KOVÁTS, J.
SWISSCOM	SCHIESS, M.
TUB DMC	BERCELI, et al.

EURESCOM 23 March 1999, Budapest swisscom

Traffic Layering Tomorrow



First Hungarian WDM Workshop

297906

HÍRADÁSTECHNIKA

JOURNAL ON C[5]

Vol. LV. No. 1-5, JANUARY-MAY, 2000
HU ISSN 0018-2028

VOLUME LV.

1946–2000

PROCEEDINGS of the 1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

23 March, 1999

BUDAPEST

The workshop was organised and sponsored

by

TECHNICAL UNIVERSITY OF BUDAPEST (BME)

SCIENTIFIC ASSOCIATION FOR INFOCOMMUNICATIONS (HTE)

MATÁV HUNGARIAN TELECOMMUNICATIONS CO. LTD (MATÁV)

HAMAROSAN A FÉNY ... AZ ÚT LÉLEKTŐL LÉLEKIG

1938-ban a maghasadás, 1968-ban az integrált áramkör, 1998-ban pedig a WDM technológia kutatás-fejlesztése indult meg, illetve lépte át a kritikus alkalmazhatósági határt. A tévedés lehetősége nélkül állítható, hogy a WDM, a fotonikus távközlési és informatikai forradalom az előző két — emberiséget formáló — inflexiós pont méltó utódja lett/lesz 30, illetve 60 évvel később. Tényként kezelhető, hogy a mai kísérleti, 10—20 Terabit/s kapacitású, egyetlen üvegszál egy másodperc alatt továbbítani tudná a világ teljes jelenlegi (2000-ben számolt), átlagosan 1 órás Internet-forgalmát (ami havonta 3000 Tbyte-os).

Az óra és a másodperc közötti nagyságrendi eltérést a csatlakozó pontok, a bekapcsolt emberek számának arányos, 3600-szoros növelésére lehetne felhasználni. További kvázi-exponenciális Internet-felfutást prognosztizálva ez egy-két évtized alatt megvalósulhat. E szerint a jelenlegi 3 millió Internet szerver száma kb. 10 év alatt 1000-szeresre növekedhetne, ami 3 milliárd Network Computer szerver gépet jelentene. Addigra a föld gyakorlatilag minden emberéhez szerver gép volna hozzárendelhető, minden emberbe netán születésekor beépíthető. Ezzel a dimenzióval a hangyák szervezettségét és kommunikációját felülmúló emberiség 10-20 Terabit/s-os forgalma egyetlen Ultra Dense WDM üvegszálon lebonyolítható lenne. Csak béke és türelem kellene, hogy globális kommunikáció lehessen...

Persze az „ utolsó centiméterek" nagyon fontos kérdését a biológiai forradalomnak időközben még meg kell oldania. Találni kell egy, az agyhoz méltó, óriási sebességű optikai kódert/dekódert, amivel a szélessávú fehér WDM fényből az — ember saját azonosítójának megfelelő — információ Add/Drop technikával az agyon belül kivehető, ill. abba kiadható legyen. Nagy valószínűséggel a lassabb emberi fizikai interfészek (a hallás és látás folyamata) megkerülhetők, és DMA jelleggel hozzá lehetne férni — amennyiben erre felhatalmazása van valakinek — az ember agyi adatbázisához a letöltési, ill. kiolvasási feladatok elvégzése céljából.

Ezeknek a mai — nem is nagyon lassú — megfelelői ismeretesen már rendelkezésre állnak. A WDM megjelenésével azonban a gerinchálózati összeköttetés már egy sokkal nagyobb nagyságrendben is előre megoldódott — bármely ember agya, lelke között. Egy-két évtized, és a biológiai számítógépek és interfészek felnőhetnek a WDM által ma már szinte elérhető All-Optical távközlés lehetőségeihez. A technológia tehát 10-30 éven belül biztosítani tudja, hogy az út lélektől lélekig egy fényvillanás legyen, globális kiterjedéssel és méltó tartalmi nagyságrendben... Ez nem futurológia... ez földi társadalom kb. 2055-ben... ha még van...

HÍRADÁSTECHNIKA

Vol. LV. No. 1-5, JANUARY-MAY, 2000
HU ISSN 0018-2028

JOURNAL ON C5

VOLUME LV.
1946–2000

PROCEEDINGS of the 1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

23 March, 1999
BUDAPEST

Ez a könyv a Híradástechnika 2000-es évfolyama 1—5. lapjainak egybekötésével keletkezett. A lapok a WDM technológia jelentős hazai induló fázisának, egy egész napos workshop rendezvénynek az anyagait adják — először — közre. A színes anyagok dominálnak a könyvben, a WDM ugyanis a szivárvány színeire épül. Elég nehéz a WDM technológiát fekete-fehérben bemutatni. A könyv az eredeti Power Point prezentációk pontos megjelenítését tűzi ki célul — rendezett, indexelt és egységesen szerkesztett formában.

A témakör jelentőségét mutatja a rendezők és szponzorok magas reputációja és az a tény, hogy komoly céges megkeresések történtek az előadások megtartása után is a poster szekcióban való megjelenés biztosítására. A könyv elején tutorial jelleggel kutatási, marketinges és történeti áttekintő, megalapozó anyagok találhatók annak érdekében, hogy a szöveges részek egyensúlyba hozzák az — ahol kell — színes, professzionális képanyagot. A fejlődés, mint a könyvből látható, exponenciálisan gyorsuló és ezt a hazai WDM workshopok története is nyilvánvalóan vissza fogja tükrözni. A 2001. év márciusában esedékes 2. Magyar WDM Workshop anyagait megpróbáljuk majd pontosabban a Híradástechnika előfizetői elé tárni.

A könyv az 55. évfolyam indítója. A lap 1946-os indításának ez a szám pontosan megfelel, és az 1999/1—5. könyv tavaly minden korábbi hiányzó anyagot leközölt az 1946—1950-es évekből, kiadva az 51., 52., 53. és 54. évfolyamokként a teljes elveszett, eredeti anyagot. A Híradástechnika tehát a WDM tiszteletére színt öltött, dupla terjedelmű lett, helyre tette időkereteit, és — utolsó adósságként — készíti az 55 év összefoglaló tartalomjegyzékét, amelyet hamarosan megjelentet.

FŐSZERKESZTŐ/EDITOR IN CHIEF
SIMONYI ERNŐ

VENDÉGSZERKESZTŐ/ASSOCIATE EDITOR
PAKSY GÉZA

HU ISSN: 00182028

Felelős kiadó: Dr. Simonyi Ernő
Grafika: Kovács Antal

Nyomta és kötötte: Regiszter Kiadó és Nyomda Kft.
Felelős vezető: Nagy Béla

Terjedelem: 52,5 (A/5 ív)

HÍRADÁSTECHNIKA

Vol. LV. No. 1-5, JANUARY-MAY, 2000
HU ISSN 0018-2028

JOURNAL ON C5

VOLUME LV.*

1946–2000

PROCEEDINGS OF the 1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

Associate Editor: Géza Paksy

CONTENTS**

PART A. **Introduction to WDM Research & Development**
Híradástechnika, C5 2000/1 Issue,
January 2000, page A1-A80.

PART B. **WDM Lectures # 1-5**
Híradástechnika, C5 2000/2 Issue,
February 2000, page B1-B76.

PART C. **WDM Lectures # 6-10**
Híradástechnika, C5 2000/3 Issue,
March 2000, page C1-C76.

PART D. **WDM Lectures # 11-15**
Híradástechnia, C5 2000/4 Issue,
April 2000, page D1-D76.

PART E. **WDM Lectures # 16-20**
Híradástechnika, C5 2000/5 Issue,
May 2000, page E1-E76.

INDEX of slide lists of WDM workshop
Híradástechnika, C5 page I1-I16.

*** Volumes LI., LII.,LIII., LIV. are presented in book 1999/1-5**
**** Parts are numbered separately**

JOURNAL ON C^5

A PUBLICATION OF THE SCIENTIFIC ASSOCIATION FOR INFOCOMMUNICATIONS, HUNGARY

SPONSORED BY

Főszerkesztő / Editor in chief

SIMONYI ERNŐ

Rovatvezetők / Senior editors

BARTOLITS ISTVÁN
KOSÁRSZKY ANDRÁS
TORMÁSI GYÖRGY
TÓTH LÁSZLÓ
ZSÓTÉR JENŐ

Munkatársak / Assistants

HOLLÓ KATALIN
LESNYIK KATALIN
SELMECZI VILMOS

Szerkesztőbizottság / Board

ZOMBORY LÁSZLÓ
elnök / president
ANTALNÉ ZÁKONYI
MAGDOLNA ügyvezető/
managing director
BOTTKA SÁNDOR
CSAPODI CSABA
DROZDY GYŐZŐ
GORDOS GÉZA
GÖDÖR ÉVA
KAZI KÁROLY
MEGYESI CSABA
PAP LÁSZLÓ
SALLAI GYULA

Szerkesztőség / Editorial office
Budapest, VI. Paulay E. u. 56. II.14/A.
Tel/Fax: (361) 341-6421, (361) 470-0713
Előfizetés / Orders to
Holló Katalin
1147 Budapest, Ilosvay Selymes u. 133.
Tel/Fax: (361) 470-0713

2000-ES ELŐFIZETÉSI DíJAK
Hazai közületi előfizetők részére
1 évre 20000 Ft +12% ÁFA = Btto 22400 Ft
Hazai egyéni előfizetők részére
1 évre 4000 Ft +12% ÁFA = Btto 4480 Ft
Subscription rates for foreign subscribers
12 issues 100 USD, single copies 10 USD

HÍRADÁSTECHNIKA, JOURNAL ON C^5 is published monthly, in English and in Hungarian
H-1024 Budapest, Csókakő u. 27. Phone: (361) 400-2166, 400-2167, Fax: (361) 400-2168. Printed by Regiszter Kft. HU ISSN 0018-2028

MATÁV – BME – HTE

FIRST HUNGARIAN WDM WORKSHOP

CONTENTS

Page

L1. G. FRISCHMANN: WDM, A LIVING HISTORY OF TECHNOLOGY* B1
L2. A. KAPOVITS: WDM BASICS, ELEMENTS AND TECHNOLOGIES* B5
L3. G. PAKSY: WDM EQUIPMENT AND BASIC STRUCTURES* B30
L4. T. JAKAB: OPTICAL NETWORK SOLUTIONS* B43
L5. I. FRIGYES, I. HABERMAJER: POLYMER FIBRES** B68
L6. M. SCHIESS: WDM BASED OPTICAL NETWORK ARCHITECTURES* .. C1
L7. D. LECROSNIER: OPPORTUNITIES FOR WDM TECHNOLOGIES* C15
L8. M. RAVERA: PROTECTION ACROSS NETWORK LAYERS* C25
L9. T. CINKLER: CONFIGURATION OF WAVELENGTH-ROUTING WDM** C49
L10. J. GARDNER, J. TÖRÖK: WDM TO TOMORROW'S OPTICAL LAYER** C61
L11. J. KOVÁTS: SIEMENS WDM PRODUCTS TODAY & TOMORROW* D1
L12. D. PLEKENPOL: OPTICAL CAPACITY INTO NEXT MILLENNIUM** ... D13
L13. E. SJÖGERAS: DOORWAY TO THE TERABIT SOCIETY** D39
L14. A. EHRHARDT: WDM RESEARCH ACTIVITIES OF DT** D54
L15. R. DAVEY: EXPERIENCES OF WDM IN BT NETWORKS* D65
L16. A. HAMEL, D. RONARC'H: WDM IN TRUNK NETWORK AND RINGS* E1
P17. B. CLESCA: ALCATEL WDM PRODUCTS** E15
P18. Á. KAPOVITS: IP OVER WDM* E30
P19. WDM-PLX40: MARCONI SMART-PHOTONIX DWDM SYSTEMS* E49
P20. COBNET PROJECT: CORP. OPTICAL BACKBONE NETWORKS** E57

*** Slides with numbering L – Lecture P – Poster ** Slides without numbering**

VOLUME LV.
1946–2000

PROCEEDINGS of the
1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

23 March, 1999
BUDAPEST

PART A

An Introduction to WDM Research & Development

Contents A1
G. Paksy: WDM Optical Communications Systems A2
Photonics Spectra Overview: Quo Vadis WDM? A6
Marconi Communications: WDM PMA-8 Tutorial A11
MTA MFA & MFKI: Optical Waveguides Research A16
M. Serényi: Short Pulse Generation by Laser A20
A. Hámori: Integrated Optical Element Reserach A33
TUB DMC: Optical Transmission for Mobile Systems A42
Á. Kapovits: Integration of IP over WDM A48
Espicom Search: DWDM Activity Snapshot '99 A53
CONTENTS: Detailed Slide List of WDM Workshop A56
Marconi Communications: WDM PMA-8 Figures A69

HÍRADÁSTECHNIKA

Vol. LV. No. 1, JANUARY, 2000
HU ISSN 0018-2028

JOURNAL ON C5

PART A

An Introduction to WDM Research & Development

CONTENTS 1

Paksy G.: *Hullámhossz-multiplexált (WDM) rendszerű fénytávközlés* 2
Quo Vadis WDM: Photonics Spectra's yearly advancements in WDM 6
WDM PMA-8: A tutorial application note from Marconi Communications 11
Andor L. és társai: *Optikai hullámvezetők kutatása az MTA MFA-ban, ill. az MFKI-ben* .. 16
Serényi M.: *Rövid impulzusok előállítása külső rezonátoros félvezető lézerrel* 20
Hámori A.: *Rács-csatolt hullámvezető, mint integrált optikai elem kutatás-fejlesztése* 33
Berceli T. és társai: *Optical transmission for millimeter wave mobile communications* 42
Kapovits Á.: *IP és WDM integrációja* 48
Espicom Query and Search Results: DWDM 53
Contents: Detailed slide list of WDM Workshop 56
Marconi Communications: WDM PMA-8 — colour Figures 69

HULLÁMHOSSZ-MULTIPLEXÁLT (WDM) RENDSZERŰ FÉNYTÁVKÖZLÉS

PAKSY GÉZA

MATÁV–PKI TÁVKÖZLÉSFEJLESZTÉSI INTÉZET
1149 BUDAPEST, RÓNA U. 120-122. TEL: (36-1) 456-8476, FAX: (36-1) 456-8314;
E-MAIL: PAKSY.GEZA@LN.MATAV.HU

1999. márciusában rendezték először Magyarországon a hullámhossz-multiplexálás (WDM) elvén alapuló fénytávközléssel foglalkozó konferenciát. Ennek kapcsán a bevezető cikk röviden bemutatja a fénytávközlés fejlődését és jelenlegi eredményeit. A cikk a WDM alkalmazásának lehetőségeire is rámutat. A cikk végén található irodalomjegyzék tartalmazza egyrészt a magyar szerzők a témával kapcsolatos hazai és nemzetközi publikációit, valamint különböző magyar folyóiratokban megjelent, a WDM-hez kapcsolódó cikkeket.

1. BEVEZETÉS

1999. március 23-án a MATÁV, a Budapesti Műszaki Egyetem Híradástechnikai Tanszéke és a HTE közösen rendezte meg az „Első magyar WDM workshop" elnevezésű tudományos konferenciát. Itt először került részletes bemutatásra ez a nagyjelentőségű új fénytávközlési módszer. A többségében külföldi kutatók által tartott előadások felölelték a legfontosabb témákat az alapfogalmaktól a legújabb kutatási eredményekig. A berendezésgyártók és a nagy európai szolgáltatók pedig a WDM berendezésekről és a gyakorlati alkalmazásokról számoltak be.

A korlátozott résztvevői szám nem tette lehetővé, hogy a WDM a maga jelentőségében ismertté váljék a magyar távközlési szakemberek széles körében. Ezt ismerte fel a Híradástechnika főszerkesztője, dr. Simonyi Ernő, aki lehetővé tette, hogy az előadások, eredeti, színes formában a Híradástechnika különszámaként megjelenjenek.

Az „Első magyar WDM workshop" egyik kezdeményezője és rendezőjeként azt a megtisztelő felkérést kaptam, hogy vendégszerkesztőként működjek közre a Híradástechnika különszámának elkészítésében. A különszám tartalmazza az egynapos workshopon elhangzott előadások fóliáit, továbbá néhány eredmi magyar publikációt.

Reményeink szerint ez az újszerű kiadvány alkalmas lesz arra, hogy a témával ismerkedő szakemberek széleskörű ismereteket szerezzenek ezen a szakterületen, és alapként szolgáljon esetleges későbbi tanulmányaikhoz. A megértést segíti az előadásokban előforduló betűszavak feloldását tartalmazó melléklet. Az irodalomjegyzékben megadtuk a magyar folyóiratokban, előadásokban megjelent publikációk listáját, valamint a magyar szerzők máshelyütt megjelent, a tárgykörhöz tartozó publikációit.

2. A WDM JELENTŐSÉGE

A fénytávközlés fejlődése immár több mint húsz éve töretlen. A kezdeti multimódusú, 8–34 Mbit/s sebességű rendszereket felváltották a monomódusú, 620–2400 Mbit/s-es rendszerek. A fejlődés nemcsak az átviteli sebességekben volt rendkívül gyors, de a számítástechnika eredményei is gyorsan integrálódtak a távközlési berendezésekbe, aminek eredményeképp az SDH rendszerekben intelligens berendezés és hálózatmenedzselő rendszerek látják el az üzembe helyezés és üzemeltetés legfontosabb feladatait.

Az átviteli sebesség az elektromos tartományban, belátható időn belül a félvezetőeszközök fizikai korlátai miatt 40 Gbit/s fölé már nem fog emelkedni és ezzel a ma általánosan alkalmazott időosztásos (TDM) technika elérte a megvalósíthatóság határát. A fejlődésnek új korszakát hozta a fotonika legújabb eredményeinek felhasználása a távközlésben. A fotonika segítségével az átviteli kapacitások nagyságrendekkel emelhetők.

A fotonika az optikai tartományban valósítja meg azokat a jelkezelési műveleteket (pl. erősítés, szűrés, kapcsolás, jelregenerálás stb.), amelyek eddig a digitális hírközlő rendszerekben, az elektromos tartományban mentek végbe. A fotonika ezzel olyan óriási lökést adott a távközlési berendezések fejlesztésének, hogy egyre inkább a fénytávközlés második forradalmáról beszélhetünk.

A fotonika alkalmazásának egyik első, gyakorlati eredménye a hullámhossz multiplexálás (angol nevén: Wavelength Division Multiplexing, rövidítve: WDM). Ezzel a jelnyalábolási eljárással egyetlen optika szálon, egymástól 1000–2000 GHz távolságra lévő fénynyalábok alkalmazásával egyszerre több, egyenként 2,5–10 Gbit/s sebességű digitális jelet lehet átvinni. A független hullámhosszak száma a kezdeti 2–4-ről már jelenleg is 16–32-re növekedett, de az 1999-ben publikált eredmények alapján biztos, hogy a 80–160 hullámhosszat alkalmazó, összességében 100–200 Gbit/s sebességű rendszerek a közeljövő realitásává fognak válni. Az elméleti számítások még ettől is lényegesen nagyobb, mintegy 20 Tbit/s (20 000 Gbit/s) átviteli kapacitást prognosztizálnak a ma használatos optikai szálak esetére.

Az átviteli kapacitás mellett az elektro-optikai konverziót tartalmazó regenerátorok nélkül áthidalható távolság is figyelemre méltóan megnövekedett. Az optikai tartományi erősítést ma már nemcsak az igen nagytávolságú tengeralatti interkontinentális rendszerekben alkalmazzák, hanem a hagyományos földfelszíni optikai kábeles rendszerekben is rohamosan terjednek.

A WDM azonban nem csupán az optikai szálak jobb kihasználásának eszköze. Az új fejlesztésű WDM berendezésfunkciók lényegében megegyeznek az SDH rendszerekben megvalósítottakkal, azaz létezik optikai (WDM) végződő

és leágazó multiplexer, vezérelt optikai rendező (WDM cross-connect). Az ezekkel a WDM berendezésekkel megvalósítható hálózat egy független optikai hálózati réteget alkot. Ebben a hálózatban olyan öngyógyító WDM gyűrűk valósíthatók meg, ahol a védelmi átkapcsolások az optikai tartományban mennek végbe, és az optikai cross-connectek pedig a WDM hálózat csomóponti berendezései, ahol az optikai gyűrűk összekapcsolódhatnak, vagy az optikai útvonalak konfigurálása, rekonfigurálása végbemehet.

Az így kialakított optikai hálózati rétegben létrehozható tisztán optikai útvonalak hosszát a rendelkezésre álló szabad hullámhosszak, és egyéb optikai paraméterek (csillapítás, diszperzió, áthallási zaj, nonlineritások) korlátozzák. Az optikai hálózati réteg létrehozásának nagy előnye, hogy csatlakozási pontjai a kliens rétegek számára nyitottak, azaz transzparens átvitelt biztosítanak nemcsak az SDH keretszervezésű jelek számára, hanem tetszőleges sebességű RZ, vagy NRZ impulzus formájú digitális jelsorozat átvitelére is alkalmasak. Így lehetőség nyílik különféle hálózati protokollú jelek (SDH, ATM, IP, PPP stb.) egymástól független, protokoll konverzió nélküli transzparens átvitelére. A hálózatmenedzseléshez szükséges információkat az optikai réteg saját információs csatornája (optikai overhead) hordozza, amely segítségével önálló optikai hálózati menedzselés valósítható meg. A nagy komplexitású WDM hálózatok tervezési módszerei azonban még kidolgozás alatt állnak.

A WDM technika intenzív kutatása a kilencvenes évek elején indult meg, bár az elvi lehetőségét már a nyolcvanas évek elején felismerték. Az első alkalmazások az USA-ban váltak szükségessé, mert a nagytávolságú optikai kábel hálózatot kis szálszámú kábelekből építették meg még a fénytávközlés elterjedésének kezdetén, és az átviteli kapacitások növelésének a WDM volt a legkézenfekvőbb módja. Az első rendszerek 2—4 hullámhosszat alkalmaztak. Később, főként a nagystabilitású, spektrálisan tiszta, hangolható lézerek kifejlesztése lehetővé tette ettől magasabb hullámhossz szám megvalósítását is, és ezeket nagysűrűségű (dense) WDM (DWDM) rendszereknek nevezték el.

3. A WDM ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

A jelenleg üzemelő SDH rendszerek megfelelnek a fix és mobil telefónia igényeinek, alkalmasak kisebb mennyiségű adatátviteli és bérelt hálózati szolgáltatásokra kiszolgálására is. Az információs forradalom azonban az átviteli kapacitások több nagyságrenddel való növelését igényli. Az információátvitel új formáit (ATM, IP, B-ISDN, KTV) támogató transzport hálózat átviteli kapacitásainak nagyságrendekkel felül kell múlnia a jelenlegi SDH hálózatokat. Ennek egyik eszköze a WDM technika, mely a hagyományos szolgáltatók számára a versenyképességük fenntartását, az újonnan belépő szolgáltatók számára pedig a kézenfekvő új hálózati megoldást jelenti.

3.1. Nagykapacitású transzporthálózatok

Az alkalmazási lehetőségek közül elsősorban a nagytávolságú pont—pont közötti rendszereket kell megemlíteni. A WDM alkalmazásával egy optikai szál átviteli kapacitása megsokszorozható. Ezek a rendszerek jól integrálhatók a már létező SDH hálózathoz.

Az optikai add-drop multiplexek (OADM) segítségével egyszerűbb esetben hullámhossz leágaztatás valósítható meg, jelentősen csökkentve az elektronikus leágaztatás bonyolultságát. Ma még csak fix, előre beállított leágaztatás valósítható meg, de ígéretesek a dinamikusan változtatható leágazású berendezésekre irányuló fejlesztések is. Az OADM alkalmazásának másik lehetősége az öngyógyító WDM gyűrűk megvalósítása. Az SDH technikából jól ismert osztott védelmű gyűrűk (OMS-SPRing) már az önálló optikai hálózati réteg megvalósíthatóságát ígérik. A kissé távolabbi jövőben a teljes konnektivitású hullámhossz rendezők (OXC) lehetővé fogják tenni a teljesen optikai tartományi hálózat megvalósítását.

3.2. Nagyvárosi WDM hálózatok

A nagyvárosi hálózatokat a kisebb távolságok és a nagyobb átviteli kapacitások és esetenként a kiemelkedően magas megbízhatósági követelmények jellemzik. A nagyvárosi WDM gyűrűk szolgálhatnak a nagy előfizetők elérésére, vagy kisebb kapacitású gyűrűk összekapcsolására, forgalmaik összegyűjtésére és továbbítására. A jövőben fontos szerepük lesz az egyes Internet szolgáltatók (ISP-k) nagy csomópontjainak összekötésében.

3.3. WDM helyi hálózatok

Ígéretes kutatások folynak a WDM helyi (access) optikai hálózatokban történő felhasználásával. A lakásokig eljutó optikai hálózat (FTTH) eszméje már nem új, gyakorlati megvalósítását főként a gazdaságosság és az igazán attraktív szolgáltatások hiánya korlátozza. A WDM speciálisan erre a célra fejlesztett, olcsóbb alkatrészekkel reális alternatívája az időosztásos FITL rendszereknek.

3.4. WDMA hálózatok

A számítógép hálózatokban jól ismert többszörös hozzáférésű (multiple access) hálózatok az optikai tartományban a különféle hullámhosszakon valósítják meg a hálózat tetszőleges kettő vagy több pontja közötti kapcsolatot. A szétosztás általában passzív optikai osztókkal történik. Busz, gyűrű és csillag architektúrákat valósítottak meg különféle kísérleti hálózatokban (LAMDANET, RAINBOW, STARNET, CORD stb.). A hullámhossz szelektív kiválasztáshoz vagy hangolható lézer, vagy hangolható optikai szűrőre van szükség. Az ütközésdetektáláshoz többfajta hálózati protokollt valósítottak meg. A hálózat méretét a rendelkezésre álló hullámhosszak száma és a szűrők szelektivitása határozza meg.

4. A HAZAI LEHETŐSÉGEK

Magyarországon a nyolcvanas években megkezdett fénytávközlési alkatrész és berendezés fejlesztési próbálkozások az elmaradott technológiai háttér miatt megrekedtek és többé-kevésbé elakadtak. Az alkalmazástechnika azonban kezdetben a MATÁV-nál, később más szolgáltatóknál (MÁV, MVM stb.) megerősödött. Kiépültek országos kiterjedésű optikai gerinchálózatok, és a nagyvárosokban helyi optikai hálózatok valósultak meg. Ezek eredményeképp Magyarországon megteremtődött egy olyan optikai

infrastruktúra, melyre a jövő hálózati fejlesztéseit bátran lehet alapozni.

5. AZ „ELSŐ MAGYAR WDM WORKSHOP"

A workshop tartalmi felépítését úgy készítettük el, hogy az első blokk magyar nyelvű, alapozó jellegű előadásaitól indulva, a témában járatlan, de a digitális hírközlés, és a fénytávközlés alapjaival tisztában lévő hallgató, olvasó fokozatosan be tudjon kapcsolódni a mélyebb, kutatási fázisban lévő előadások témáiba is.

Az alapozó blokkban négy előadás található. A szerzők (Kapovits Ádám, Paksy Géza, Jakab Tivadar, dr. Frigyes István és Habermajer István), a WDM kulcselemeinek fizikai és technológia alapjait, a WDM berendezéseket és hálózati alapstruktúrákat, a WDM hálózatok tervezési kérdéseit, és a műanyag optikai szálak jövőbeni alkalmazását tárgyalják.

A kutatások területéről az európai kutatási programok keretében futó WDM vonatkozású eredményeket ismertetik a szerzők. Az EURESCOM, az európai távközlési szolgáltatók közös kutató intézetének projektjeiből a P615 és P709 projektek eredményeit ismerteti Marcel Schiess, a Swisscom kutatója.

Ezekben a projektekben a MATÁV és a BME kutatói is részt vettek, vesznek. Daniel Lecroisnier, a France Telecom-tól a WDM egy új és ígéretes alkalmazási lehetőségét mutatja be, az EURESCOM P614 projekt és az ACTS: Tobasco projektjeinek eredményei alapján a WDM technika elérési (access) hálózatokbeli alkalmazási lehetőségeit ismerteti.

Mauro Ravera előadásában, az ACTS program PANEL projektjének eredményeit ismerteti az SDH/WDM hálózatokban alkalmazható védelmi stratégiákat. Az előadásból kiderül, hogy az SDH és a WDM hálózati rétegek együttműködése fontos kérdés lesz a jövő az öngyógyító hálózatainak kialakításában. Cinkler Tibor a hullámhossz szerinti optikai útvonal optimalizálás elméleti kérdéseit ismerteti.

Az ipari eredmények blokk szerzői a PIRELLI, a LUCENT, az ERICSSON és a SIEMENS munkatársai. Az előadások a WDM berendezések fejlesztési és alkalmazási eredményeit mutatják be. A PIRELLI a Wavemux, a SIEMENS a TransWave és TransXpress berendezés, az ERICSSON az Eiron, a LUCENT pedig WaveStar berendezés családon keresztül világítja meg a WDM technika jelenlegi és várható fejlesztési fázisait. Az előadások nemcsak a berendezések műszaki megoldásaival foglalkoznak, hanem a berendezés családokból felépíthető hálózatokkal is, és a létrehozható szolgáltatásokat is bemutatják.

Az utolsó blokkban a nagy európai szolgáltatók számolnak be a WDM rendszerek alkalmazása során nyert tapasztalataikról. A Deutsche Telekom kutatója, Armin Ehrhardt egy 750 km hosszú WDM pilot hálózat vizsgálati eredményeiről számol be. A British Telecomtól Russel Davey a WDM berendezések gyakorlati bevezetésének problémáit ismerteti. A France Telecom kutatója, André Hamel a CS gyűrűk hálózati alkalmazását elemzi.

6. BEFEJEZÉS

A WDM technika egy új fejezetet nyitott a transzport hálózatok fejlődésében minden eddigiektől nagyobb átviteli sebességek, a terabites tartományok meghódítása kezdődött el. Az információtechnológia hasonlóan gyorsan fejlődő többi elemével együtt az információfeldolgozás és átvitel egy olyan új szakaszába léptünk, ahol a fénytartomány egyre meghatározóbb szerepet kap, a teljesen optikai tartományban működő távközlő rendszerek és hálózatok pedig átveszik ama használatos rendszerektől (SDH, ATM) a meghatározó szerepet. Ennek a viharos fejlődésnek egy pillanatfelvételét, az 1999-es állapotot mutatja be ez a folyóirat szám.

A vendégszerkesztő köszönetet mond mindazoknak, akik közreműködtek vagy segítették az *„Első magyar WDM workshop"* megrendezését és e Híradástechnika szám megjelenését, és ezzel a szerény hozzájárulással segíthettük a magyar távközlés fejlődését.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] T. Cinkler, K. Cinkler, T. Trón, E. Halász: On Almost-All-Optical ATM Networks, Eighth IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, Potsdam, August 1996

[2] T. Cinkler, L. Ast, A. Faragó, T. Henk: Configuration of the ATM-Layer over Optical Networks, Fifth International Conference on Telecommunication Systems: Modelling and Analysis, Nashville, TN, March 1997

[3] T. Cinkler: Heuristic Algorithms for Configuration of the ATM-Layer over Optical Networks, ICC'97, IEEE International Conference on Communications, Montréal, June 1997

[4] T. Cinkler, R. Castro, S. Johansson: Configuration and Re-Configuration of WDM Networks, NOC'98, European Conference on Networks & Optical Communications, Manchester, UK, June 1998

[5] T. Cinkler, C. P. Larsen: Integer Linear Programming (ILP) formulation of the Optimal Light-Path Configuration Problem in Wavelength-Routing WDM Networks, ONDM'99, Third Working Conference on Optical Network Design and Modelling, IFIP TC6/WG 6. 10 (Task Group on Photonic Communication Networks), Paris, France, February 1999

[6] T. Cinkler, D. Marx, C. P. Larsen, D. Fogaras: Heuristic Algorithms for Joint Configuration of the Optical and Electrical Layer in Multi-Hop Wavelength Routing Networks, Submitted to IEEE INFOCOM 2000

[7] L. Blain, A. Hamel, T. Jakab and A. Sutter: „Comparison of classical and WDM based ring Architecture" Proc. of NETWORKS'96, Vol. 2, pp. 607-612, Nov. 1996, Sydney, Australia

[8] L. Blain, A. Hamel, T. Jakab, A. Sutter: Comparison of classical and WDM based ring architecture, Proc. of the European Conference on Networks and Optical Communications 1996, Vol. Broadband Superhighway, pp. 261-268

[9] T. Jakab, M. Schiess: Techno-economical analysis of optical network architectures and their introduction into today's networks. Proc. of the European Conference on Networks and Optical Communications 1997, Vol. Broadband Access Networks

[10] T. Jakab, D. Arató, P. Fonseca, J. Orfanos, A. Ruiz Cantera, M. Luyten, D. D. Marcenac, A. Hamel: Techno-economical analysis of some optical network architecture, results from EURESCOM P615 Project, Proc. of NOC'98, Vol. 3, pp. 227-234, June 1998, Manchester UK

[11] T. Jakab, D. Arató, A. Hamel: Availability Modelling and Analysis of Optical Transmission Network Architecture, 6th

Int. Conf. on Telecomm. Systems, Proc. pp. 372-387, March 1998, Nashville, TN, USA

[12] T. Jakab, D. Arató, D. D. Marcenac: Availability Analysis of Some Optical Ring Network Architectures – Results from EURESCOM P615 Project, Proc. of DRCN'98, Ref. O43, May, 1998, Brugge, Belgium

[13] T. Jakab, D. Arató, A. Ruiz Cantera: Cost Efficient Optical Ring Architectures – Results from EURESCOM P615 Project, Proc. of *NETWORKS'98*

[14/1]A. Mattheus, M. Salerno, J. Schneider, P. Schroeter, E. Demierre, U. Ferrero, B. Jacobs, G. Paksy: Business Opportunities for FTTH as a Consumer Product. Proc. of the European Conference on Networks and Optical Communications 1998, Vol. Broadband Accessand Network Management, pp. 119-126

[14/2]A. Mattheus, M. Salerno, J. Schneider, P. Schroeter, E. Demierre, U. Ferrero, B. Jacobs, G. Paksy: Business Opportunities for FTTH as a Consumer Product. Technical Journal of Telecom Ireland, No. 14. Winter 1998

[15] Paksy Géza: Fotonikai alapú transzporthálózatok rendszertechnikája PKI Tudományos napok. 1996. november 19-20.

[16] Kapovits Ádám: Fotonikus hálózatok elemei. PKI Tudományos napok. 1996. november 19-20.

[17] Cinkler T.: A korszerű optikai hálózatok áttekintése, Magyar Távközlés, X. évf., 2. szám, pp. 4-6, 1999 február

[18] A. Mattheus, M. Salerno, J. Schneider, P. Schroeter, E. Demierre, U. Ferrero, B. Jacobs, G. Paksy: Üzleti lehetőségek az FTTH-alapuló szolgáltatásokban. Magyar Távközlés, X. évf., 2. szám, pp. 20-24, 1999 február

[19] Horváth Imre: Az optikai hálózatok fejlesztése 1. rész. Magyar Távközlés, IX. évf., 9. szám, pp. 38-42, 1999 február

[20] Horváth Imre: Az optikai hálózatok fejlesztése 2. rész. Magyar Távközlés, IX. évf., 11. szám, pp. 20-24, 1999 február

[21] Horváth Imre: Optikai átviteltechnikai hálózatok Európában, Magyar Távközlés, X. évf., 2. szám, pp. 35-38, 1999 február

[22] dr. Lajtha György: A fénytechnológia újabb lehetőségei. PKI tanácskozás a WDM módszereiről és alkalmazásáról. Magyar Távközlés X. évf., 4. szám, pp. 52-56, 1999. április

WAVE DIVISION MULTIPLEXED LIGHTWAVE COMMUNICAITONS

G. PAKSY

MATÁV HUNGARIAN TELECOMMUNICATIONS COMPANY LTD
PKI TELECOMMUNICATIONS DEVELOPMENT INSTITUTE
H-1456 BUDAPEST, P.O.B. 2
TEL: (36-1) 456-8476, FAX: (36-1) 456-8314
E-MAIL: PAKSY.GEZA@LN.MATAV.HU

First conference in Hungary on wavelength division multiplexed optical communications was held at March 1999. in Budapest. In this introductory paper brief history and the state-of-the art of WDM technology are presented. The paper summarises the potential future application of WDM, too. Finally publications of Hungarian authors, and papers published in Hungarian are collected.

Paksy Géza villamosmérnök, átviteltechnikai szakmérnök. 1966-tól 1980-ig a Távközlési Kutató Intézet tudományos kutatója, majd a Telefongyár fejlesztési osztályvezetője. Ez idő alatt a részt vett több digitális (PCM) átviteltechnikai rendszer és mérőberendezés kifejlesztésében. 1993-tól a MATÁV-nál a PKI Távközlésfejlesztési Intézet osztályvezetője. Jelenlegi munkakörében a nagykapacitású transzporthálózatok fejlesztési kérdéseivel foglalkozik. Részt vesz az EURESCOM optikai hálózatokkal kapcsolatos kutatásaiban. Puskás Tivadar és Békésy György díjas.

PHOTONICS SPECTRA OVERVIEW: QUO VADIS WDM?

Yearly flashes of the best selling photonics professional Journal, Photonics Spectra, a Laurin Publication is used to illustrate the revolutionary developments of the WDM technology from the nothing to the recent dominant positions in the long-haul and metro communications solutions. It is shown that from 1995 to 2000 a radical improvement can be seen at the research & development level to satisfy the market pressure. It is also obvious that we are again of the beginning of the emerging market of a more sophisticated ultra DWDM technology. It is now the end of the beginning of WDM.

1995, Fiber Networks

Using Special Fibers For High-Speed Networks

by George F. Wildeman
Corning Incorporated, Opto-Electronics Group

Operation of telecommunication networks in the 1550-nm region is gaining favour as a means of adding capacity, providing longer links and enhancing system economy. Using dispersion-shifted (DS) fiber optimised for 1550-nm performance will allow designers to achieve transmission levels several times the current capacity over repeater-less distances substantially longer than those now standard.

The 1550-nm systems also are being considered for new local exchange networks intended to add route diversity and reliability to the telephone network. Extending the reach of fiber through optical amplification in cable television systems is another application.

Optical systems using dispersion-shifted fiber can become an important supplement to existing networks using conventional step-index (SI) fiber. Operation at 1550 nm will be particularly beneficial where new fiber deployment is planned for capacity growth or for long link lengths using optical amplification.

The 1550-nm solution

The appeal of new fiber networks optimised at 1550 nm has been enhanced by the remarkable (and ongoing) technological developments in this transmission region:

- Faster direct modulation speeds of teleco lasers and external modulation techniques that boost potential transmission capacity;
- Wavelength-division multiplexing (WDM) technology that enables the multiple channels per fiber;
- Optical amplifiers, now becoming available for 1550-nm operation, and dispersion-shifted fiber that combine to extend regenerator spacing, thus reducing equipment requirements and system costs.

The significance of dispersion-shifted fiber is that it combines in one region (1550 nm) minimal dispersion (which maximizes capacity) and minimal attenuation (which maximizes transmission distance).

Attenuation and dispersion

The bandwidth (or information-carrying capacity) of optical fiber is, for all practical purposes, unlimited. However, viable transmission distances and bit rates are affected by two physical characteristics that limit its ability to transmit optical signals: attenuation and dispersion.

Attenuation, a measure of the loss in signal strength that naturally occurs in the fiber, limits the transmission distance possible without regeneration. It is largely due to the effects of Rayleigh scattering an effect caused by microscopic non-uniformities of the refractive index of the core glass. The effect is inversely proportional to the wavelength, so, in general, the attenuation magnitude is lower at longer wavelengths. The lower the attenuation, the longer the possible link span without regeneration.

Chromatic dispersion, or just dispersion in single-mode (SM) fibers, is the spreading out in time of a light pulse. As pulses become increasingly distorted or blurred and harder to distinguish at the receiving end, transmission rates must be restricted. The lower the dispersion, the higher the allowable bit rate over a given length of fiber cable.

In conventional SI fiber, these two characteristics are at their lowest levels at different wavelengths. Near-zero dispersion occurs at 1310 nm, while low attenuation is the natural property of silica fibers in the 1550-nm region. So, optimising transmission capability of SI fiber necessarily involves trading off one attribute against the other. Avoiding that compromise would yield the combined advantages of increased distance and higher bit rate. DS fiber achieves both of these objectives.

DS fiber fabrication

The optical properties of Corning DS fiber are derived using an outside vapour deposition (OVD) manufacturing process, which is also used to manufacture conventional SI single-mode fiber. The geometrical and mechanical characteristics of the two fibers remain virtually identical. The optical difference between conventional SI and DS fibers is created during pre-form making.

Source: PHOTONICS DESIGN & APPLICATIONS HANDBOOK, 1995.

1996, Photonics Business World

Dense WDM Market Seen Topping $12-Billion Mark by 2005

by Charles T. Troy

SAN MATEO, Calif. — From an "introductory" level of $101 million last year, the global market for dense wavelength division multiplexing (DWDM) components is expected to hit $4.17 billion by 2000 and then grow to *$12.1 billion by 2005.*

According to a new market study by ElectroniCast Corp., the advance will be led by North America with a 44 percent share in 2000 and 47 per-cent by 2005. North America currently is a net importer of WDM components but, said the report, will evolve into a net exporter by 2005.

The report defines dense WDM as multi-channel transport with channel spacing of 2 nm or less. The technology is seen as one more likely solution to the increasing demand for communication bandwidth.

Because initial installed cost will be a factor in which solution triumphs, advances in DWDM component technology give it an advantage in long-haul applications. And, as technology advances further and per gigabit-kilometer costs drop, WDM will increasingly be applied in shorter links, said Jeff D. Montgomery, ElectroniCast chairman.

The report points out that transmitters and receivers are the most vital components, in terms of both cost and technology.

While the receiver's detector can be relatively broadband, the laser diodes of the transmitter must be precisely locked to wavelengths within +0.1 nm with drift held to equally tight tolerances.

Because of the importance of laser diodes, and a need to continually expand their limits, most tend to be fabricated in-house by major telecom equipment firms. Smaller firms must buy them packaged as modules from independents or from competitors' device-sales groups.

Encouraging competition

By contrast, optical fiber amplifiers are available from multiple suppliers, opening a strong market for manufacturers of laser-diode pump modules. Multiplexer/demultiplexer filter modules also are much less captive than transmit/receive components, and are thus not often found in vertical integration. However, the report says, the potential is large enough to encourage competition among established suppliers and to drive start-up firms.

The "Dense Wavelength Division Multiplex Products Global Market Forecast" is available from ElectroniCasts for $12,000 (US). Contact Montgomery at (415) 343-1398; Fax: (415) 343-1698.

Global Consumption Value Forecast, by Region (Average Annual)

Region	1995		2000		2005		Growth Rate, %/yr	
	$Million	%	$Million	%	$Million	%	1995-00	2000-05
North America	52.52	52	1828.7	44	5729	47	103	26
Europe	37.41	37	1461.7	35	3986	33	108	22
Japan/Far East	10.96	11	598.4	14	1487	12	123	20
Rest of World	0.00	0	285.4	7	926	8	NA	27
Total:	101.00	100	4174.0	100	12128	100	111	24

NOTE: Totals may not be exact, because of rounding

Source: PHOTONICS SPECTRA, December 1996, p. 58.

1997, Photonics Global Markets

Fiber Optic Industry Is at a Crossroad

by Michael D. Wheeler, Associate News Editor

For those who have kept a close eye on the burgeoning fiber optic market in recent years, it comes as no surprise that 1996 generally has been labeled the "*year of wavelength division multiplexing*" (WDM). In just two years the technology has increased capacity by orders of magnitude, enabled a freer architecture and revived fiber-to-the-curb and fiber-to-the-home as near-term possibilities.

Although WDM may not be unanimously viewed as a panacea for all communications problems, its emergence fortuitously coincided with key global developments. In Europe and Latin America, for instance, privatisation and competition have opened new markets; worldwide, the Internet and other new services are driving demand forever more bandwidth. The convergence of these factors was on the minds of the 240 participants at the 20th Annual Newport Conference on Fiber Optics Markets in Newport, R. I.

Fiber forecast

What became clear as the conference unfolded was that while the US and other developed countries are preparing for the next hurdle in achieving a functional network architecture, the rest of the world continues to play catch-up. This sets the stage for explosive growth in certain areas over the next few years.

One hot spot is Western Europe, poised to take advantage of new mandates passed by the European Union encouraging a more open market. That has opened the door for a number of telecommunications carriers to begin building network backbones. KMI Corp. analyst Richard Mack projects a growth rate of 31 percent for 1998. This kind of growth, however, won't be sustained for long. As construction on those backbones progresses, the growth rate is likely to fall off to between 15 and 20 percent at the turn of the century.

South America is another hotbed for near-term growth in the fiber optic cable market. The governments of Argentina, Brazil, Chile and Colombia, as well as Mexico, recently relinquished ownership of their telecommunications networks, opening the door for private ownership. This has attracted increased competition and an influx of foreign capital into regions that have an underdeveloped infrastructure. All of this points to double-digit growth for single-mode fiber in the next few years.

"We're looking for what's driving fiber in these countries," said Lee Peters, an analyst with KMI. "We're seeing rising personal incomes and increasing integration in the world marketplace."

Meanwhile, very different market forces are at work within the US. AT&T, MCI and Sprint have completed most of their fiber route construction, and the market has reached a saturation point. Mack projects a modest 7 percent increase in demand for fiber, compared with an 18 percent increase in 1997.

There is one major exception to this trend: the "fiber in the loop" segment, currently dominated by competitive access providers and local exchange carriers. Those carriers recently embarked on fiber-based building projects that will compete directly with the regional Bells and established local exchange carriers. For the last two years, optical fiber earmarked for the local telecom segment accounted for 36 percent of the world's fiber demand. Mack estimates that this is likely to balloon to 56 percent by 2002.

Connector market growing

Worldwide demand for fiber optic connectors, the core element of interconnect hardware, will continue to grow at a rapid clip, in large part because of improved quality and eroding prices. Connectors today offer better refraction and are available from more suppliers – driving prices down. Charles Xu, a senior analyst at KMI, projects compounded yearly growth of 23 percent for the global market for single- and multimode connectors. That translates into an increase from 82 million units in 1996 to 283 million units by 2002, Connectors and affiliated technology accounted for $1.2 billion of the $10.2 billion in overall sales of fiber optic cable, transceiver and interconnect products.

Last year the Asia-Pacific region overtook North America with the world's largest interconnect volume. Xu predicts that that region will continue as the dominant player for single-mode volume, growing from 38 percent to 45 percent by 2002. The North American share is effected to more than double in six years from 9.3 million units in 1996 to 20.1 million units in 2002, a compounded growth rate of 14 percent. The most rapid growth for singled multimode connectors will be in South America, accounting for a 44 percent growth in market share. Ranking behind South America is Eastern Europe with 31 percent growth, followed by the Middle East at 21 percent.

Move toward networks

For many at the international conference, WDM's rapid transition from laboratory prototype to commercial success promises to alter the industry's future. Originally developed to increase bandwidth in an already installed infrastructure, WDM looms as the basis for the wide-area and metropolitan networks of tomorrow.

"There is a great deal of discussion about the use of WDM in pure optical networks, as opposed to simple point-to-point systems," said Joseph Berthold, vice president of network architecture for Ciena Corp. "It is in this environment that WDM has the capacity to shine as more than dust' a means of increasing bandwidth."

The push toward networks also will create a greater demand for photonic components. Alastair Glass, director of photonics research at Lucent Technologies, predicted that a "slew of new devices" would pace the development of networks. Those components include new fiber designs to transport multiple wavelengths without cross-channel interference and optical amplifiers that increase spectrum and gain flatness across the entire bandwidth.

For optical networks, researchers are pursuing wavelength-agile lasers. One such laser is a new chirped pulse laser that would provide wavelength control via modulator phase control. The feasibility of such networks is contingent, however, upon component costs. "For penetration in local-area networks and access markets the price of photonic components must fall considerably from the present values, and new manufacturing technologies must be introduced for high-volume, low-cost component fabrication," Glass said.

Worldwide fiber optic cable by region in	**1997**	**2002**
North America	**37 %**	**26 %**
Western Europe	**17 %**	**17 %**
Eastern Europe	**4 %**	**7 %**
Asia-Pacific	**35 %**	**42 %**
Emerging Markets	**8 %**	**9 %**
Installations (total in Millions)	**35,8**	**73,3**

Source: PHOTONICS SPECTRA, December 1997, 61-62.

1998, Photonics Technology World

Lucent Makes Gains in Network Technologies

by Michael D. Wheeler

MURRAY HILL, N. J. – Lucent Technologies has unveiled two types of optical fiber: one that promises increased bandwidth for local networks and another that features low dispersion for long-distance systems.

For metropolitan networks, the company developed AllWave, which provides 100 nm more bandwidth than conventional single-mode fiber. Its second fiber, TrueWave reduced slope, for long-distance networks, promises to decrease signal loss and increase capacity by up to 25 percent in dense wavelength division multiplexing (WDM) systems.

In designing its AllWave fiber, Lucent's engineers devised a method to eliminate the small amount of water that the glass retains during production. Water inhibits light from passing through certain regions, specifically in the 1400-nm band between 1350 and 1550 nm. Researchers devised a proprietary, ultra-purifying process that yields fiber that, they say, contains no detectable water molecules. Consequently, Lucent can use virtually the entire fiber spectrum, including the 1400-nm band.

"What that means is you have an optimal zone for high-speed transmission," said Janice Haber, systems engineering and technical marketing director for Lucent. "In [the 1400-nm] band, dispersion is much lower, much like non-zero dispersion fiber."

She said the new fiber could accommodate a data rate of 10 Gb/s at two to three times the distance of conventional fiber at 1550 nm. Lucent is designing a multi-terabit dense WDM system known as WaveStar All-Metro OLS to support AllWave's wider operating spectrum. The company recently tested 1400-nm lasers with the fiber, which will be available commercially in 1999.

Long-distance solution

To accommodate the demands for higher capacities and higher speeds on future long-distance networks, the company developed glass fiber that allows transmission in the third and fourth optical windows.

The wavelength range known as the third window — 1530 to 1565 nm — is used by today's optically amplified dense WDM systems. Emerging systems will use the fourth window (1565 to 1620 nm) as well. Lucent says the TrueWave fiber optimises performance in both wavelength ranges by reducing dispersion — the property that causes signals to spread out and interfere with each other.

Haber said the fiber features 33 percent less dispersion than other nonzero-dispersion fibers and 55 percent less dispersion than large-area fibers, a mark that she says is close to ideal.

Source: PHOTONICS SPECTRA, July 1998, p. 28.

1999, Photonics Circle of Excellence Award Winners

Ditech Corp., Dense WDM Monitor

Responding to the market need for cost-effective intelligent monitoring of dense wavelength division multiplexing (WDM) at the optical level, Ditech Corp. of Sunnyvale, Calif., produced the MON-100 dense WDM monitor.

This new spectrum analyser provides measurements of wavelength, amplitude and signal-to-noise ratio of each channel and issues alarms if performance levels degrade. It is a solid-state combination of a 256-element InGaAs detector array and optics that enables parallel optical processing of optical channels in the 1529 to 1562-nm window. Designed for field use, the instrument employs a conventional diffraction grating for spectral dispersion, ensuring reliability and stability. Its spectral measurements and accuracy are similar to those of laboratory spectrum analysers.

Its features and functionalities, such as flexible shelf mounting, compact size, channel tracking and telemetry channel interfacing enable field deployment. It also has the capability to individually set and report alarm levels for any optical channel, as well as track their drift history. The monitor can be installed in any communications site and requires only a 1 percent tap of the transmitted signal to measure the power, wavelength and signal-to-noise ratio of channels. Even after significant attenuation, down to -65 dBm, it can feed back this information to the network manager or the transmission equipment either by the telemetry channel or Ethernet, or locally via the serial ports.

Source: PHOTONICS SPECTRA, May 1999, p. 90.

1999, Photonics Business World

WDM Spurs Demand for Next-Generation Components

by Laurel M. Sheppard

INDIANAPOLIS — With optical fiber capacity increasing by *a factor of two every year*, wavelength division multiplexing (WDM) is becoming critical to continued growth of that number. This is what Alastair M. Glass, director of the Photonics Research Laboratory at Lucent Technologies' Bell Laboratories in Murray Hill, N.J., told attendees during the Orton Memorial Lecture at the American Ceramic Society's annual meeting in April.

Glass predicted that commercial optical fiber soon will be handling a terabit of information. The World Wide Web is the primary cause: From 1995 to 1998 the number of Web users increased almost *sevenfold* to more than 40 million; the number of servers jumped from 100,000 to more than 3 million (*3000 %!*); the *monthly traffic* increased by several orders of magnitude to *3000 TB*; and the Internet backbone demand *is doubling every six months.*

WDM now forms the basis of flexible optical networking for wide area networks, metropolitan area networks and local area networks. The residential access network is the next challenge, and Glass predicted that significant progress in this area will occur over the next several years. For continued penetration, low-cost optical components will be required.

The progress in optical network systems is dependent on the components. Next-generation components that will be needed include 1000 x 1000 optical cross-connects, wavelength-selectable lasers, reconfigurable add/drop multiplexers, wavelength monitors, tunable WDM couplers, ultra-broadband amplifiers, dynamic gain and dispersion equalizers, in-line optical spectrum analysers, and high-capacity elements for network management. At this point, many of these devices exist only in the research lab.

Source: PHOTONICS SPECTRA, June, 1999, p. 66.

2000, Photonics: Technology World

One Chirping Laser Sings 1022 Frequencies on a Fiber

by S. A. Weiss

HOLMDEL, N. J. — In standard communications math, 40 lasers + 40 modulators and + one fiber = 40 channels of dense wavelength division multiplexing. In Lucent Technologies' new math, one laser + one modulator + one fiber = *1022 channels of ultradense* wavelength division multiplexing.

Scientists at Lucent Technologies' Bell Labs announced the record wavelength density in November'99 to highlight the enormous potential of *femtosecond* (fs) laser technology in communications. The demonstration extends a 1997 experiment that transmitted 206 wavelengths on one fiber, Wayne Knox, head of Bell Labs' need Photonics Research Department, said the technology could stretch to produce 16,000 wavelengths from one laser on one fiber.

In the latest arrangement, a mode-locked erbium-doped fiber ring laser from Clark-MXR of Ann Arbor, Mich., creates femtosecond pulses of broadband ("white") light. The light passes through a combination of Lucent's dispersion-compensating and dispersion-shifted optical fibers. The fiber effectively stretches the laser pulses while separating wavelengths, producing 10 GHz wavelength spacing within the traditional communications wavelength band. A time division multiplexed electro-absorption modulator encodes data at 37 Mb/s onto the resulting chain of wavelengths.

The technology offers tremendous economic prospects for communications firms that buy one transmitter per wavelength for today's state-of-the-art wavelength division multiplexing systems.

A significant stumbling block for commercialization, however, will be producing femtosecond sources that can satisfy the typical communications lifetime, temperature and vibration requirements.

If it ever leaves the lab, a single-laser ultra dense wavelength division multiplexing system would radically alter the economics of communications.

Source: PHOTONICS SPECTRA, January 2000, p. 20.

MERRE HALADSZ WDM?

1995-ben a PHOTONICS SPECTRA éves kézikönyvében már megjelennek a WDM technológia ígéretes alapelemei: a direkt lézer moduláció, a több csatornás WDM lehetőség, ill. az optikai erősítő és a minimális diszperziójú és alacsony csillapítású üvegszálas megoldások.

1996-ot széles körben a WDM áttörés évének nevezték, jóllehet ez a tény csak jóval később került pontos megfogalmazásra. Ekkor azonban már megjelennek a DWDM elemek globális térhódítását jellemző számok; az 1995-ös 100 millió US$ értékű WDM piacról az előrejelzések azt mutatják, hogy 2000-ben 4 milliárd, 2005-re 12 milliárd US$ értékre növekszik majd. Bizonyos, hogy ezek az előrejelzések indították be az eddig tapasztalt legnagyobb mértékű távközlési egyesülési és felvásárlási hullámot, amely az utóbbi évek meghatározó jelenségévé vált – meghatározó módon a DWDM eredményeknek is köszönhetően.

1997-ben már kereszteződési pontról beszélnek és a kontinensek közötti nagyon éles WDM verseny is előre vetítődik. Ez azután hajtóereje lesz az USA és az EU piaci liberalizációinak is, a világméretű globalizációs törekvéseknek is. Eddigre ugyanis az előrejelzések már rendre bejönnek; a WDM kijut a gyakorlatba és mozgásba hozza az operátorok piacát. Az eredmények azután még nagyobb nyomást gyakorolnak az optikai komponensek fejlesztési ütemére.

1998-ban bejelentik, hogy számos optikai technológia újítás felhasználásával sikerült a meglevő WDM korlátokat ledönteni; a még több csatornás WDM hullám, fokozatosan javuló fizikai paraméterekkel beindulhatott.

1999-ben a növekedés állandó ütemét sikerült stabilizálni; évente meg lehetett duplázni a WDM kapacitást. Rögtön felmerült a kérdés, hogy milyen feltételek mellett lehet a növekedésnek ezt a félelmetes ütemét hosszú távon biztosítani. A laboratóriumi eredmények többnyire alátámasztották a fokozódó követelmények teljesítésének jóslatait.

2000-ben sikerült 1022 csatornás WDM elrendezést előállítani egyetlen lézer, egy modulátor és egy üvegszál segítségével. Ugyanez a megoldás evolúciós módszerekkel akár 16000 csatornás ultra DWDM előállítását is el tudja érni egy lézerrel, egy üvegszálon. Ezzel valami új lendületet vehet a WDM fejlődés spirálja...

Ami a komponens technológiákat illeti, a laboratóriumi munkák messze előre futottak, bár még viszonylag sok idő eltelhet a WDM igazi támogatását biztosító eredmények piacra kerüléséig. Az atomi rétegek szintjén precizírozott és nanométeres aktív lézer ma 80 csatornás WDM tömeggyártását teszi lehetővé. Az átviteli utak megfelelő kezelését az optikai erősítők, mint kulcselemek biztosítják. Egy konstans erősítésű, erbium-szennyezésű üvegszálas erősítő a WDM teljes sávszélességét erősíteni tudja, tipikusan az 1.5 dB laposságnál jobb megvalósítással. A vételi oldalon a demultiplexálási technikák optikai megvalósítása a domináns tényező. A demultiplexálást ma optikai szűrőkkel (Bragg cellákkal és Fabry–Perot üregekkel) és hullámvezetők tömb elrendezéseivel lehet a legjobban megoldani, kihasználva a mai lézer technológia nagyságrendileg megnövelt stabilitását. A stabilitást a legjobban a hullámhossz-pontosság megadásával lehet számszerűsíteni; ez ma 0,1 nanométer 15 évre, a 0 és 70 C°-os hőmérséklettartományban.

A WDM immáron elérte a terabit/second átvitelt, elsősorban a gerinchálózati (1000 km-es) összeköttetések viszonylatában. Kicsit lemaradva követi ezt a metropolitan (100 km-es) WDM technológia. Az alapvető eltérés, hogy kisebb távolságokon nem biztosítható, hogy az ismétlő egységek közösek legyenek, mint a nagytávolságú összeköttetéseknél. A hiányzó láncszem a WDM esetében is az utolsó kilométer hozzáférési megoldásában van. Hibrid üveg-koax kábel architektúrák fejlesztése folyik, amelyek már a WDM flexibilitását a hálózat forgalmi menedzselés teljes kézbentartására hasznosítani tudják majd. A legnagyobb várakozás a teljesen-optikai megoldás, az optikai réteg optikai elemeinek (optical add/drop mux, cross-connect, optical switching) beérkezésével kapcsolatos.

Addig pedig a napról napra javuló eredmények jelzik a gyorsuló fejlődést. 1998-ra sikerült egy integrált indium-phosphide WDM lézer-chipes modulátor elrendezést kifejleszteni, ami már a félvezető tokozásnak is megfelelő standard optikai építőelemnek számít. Időközben a WDM forrását adó lézer-chipek teljesítménye 3 év alatt 2 mW-ról 30 mW-ra növekedett, hogy a metropolitan WDM megoldások vevőoldali erősítői elhagyhatók legyenek. Hibrid optikai passzíve erősítőket is sikerült kifejleszteni, hogy ezekkel az ún. kompakt erősítőkkel kisebb térfogatban és olcsóbban lehessen a WDM távolság és csatornaszám növelésével együtt járó meghajtó teljesítménybeli növekedési igényekkel lépést tartani. Bizonyos, hogy ahogy az IC elektronikus századot csinált az előzőből, a WDM, a lézer és az optikai modulok fotonikus évszázaddá avatják majd a most megkezdettet.

Forrás: OPTICAL COMPONENTS LEAD THE WAY TO DWDM, EuroPhotonics, January 2000, p. 28-29.

WDM PMA-8
Application Note

MARCONI COMMUNICATIONS

1. INTRODUCTION

1.1. Market Drivers

With the rapid growth in today's telecommunications markets, more and more demands are being put on the networks for mixed services, high bandwidth and flexibility. In addition to this, the continued liberalisation of the market place is putting further demands on the network operators to be competitive in terms of customer service, rapid response to new demands, quality of service and price. Marconi Communications' family of DWDM products are designed to help network operators meet these demands.

The guiding principles for network operators can be summarised as follows:

- exploit the existing fibre infrastructure to reduce installation costs;
- grow capacity incrementally to avoid high initial costs;
- support industry standards to prevent lock-in to one vendor;
- deploy mature technologies to reduce operational risks;
- simplify the network to reduce operational costs;
- improve the network reliability to minimise service disruption.

1.2. Efficient Use of Fibre

Experience has shown that approximately 80 % of network traffic is retained in metropolitan networks within major cities. With the rapid growth in services and traffic there is, consequently, a massive requirement for additional bandwidth which puts great strains on the existing fibre infrastructure. A very cost effective way to meet these bandwidth demands is to use DWDM technology in a ring architecture to significantly increase the bandwidth of the fibre and provide the flexibility to add, drop and reconfigure bandwidth delivery on demand.

Fig. 1 (in colours*) illustrates how an optical network can cater for IP and ATM services and transport PDH and SDH payloads.

1.3. All-Optical Network

In the long term, the move towards building all-optical networks is expected to become a major driver in the transmission market. All-optical networks offer the potential to transport large amounts of traffic at a lower cost than electro-optic technology. They also offer the opportunity to bypass conventional layers of the transport network, reducing the quantities of equipment required, giving reduced purchase costs, reduced complexity and increased reliability (see *Fig. 2* in colours*).

1.4. Future Proofing

WDM is currently the only viable technology for increasing the capacity of fibre beyond 10 Gbit/s (STM-64). It will therefore be used by network operators that require to transport large volumes of traffic within their networks. Operators that plan to upgrade their networks in stages may select WDM technology so as to minimise the amount of upgrade activity and cost in the future.

1.5. The Competitive Edge

As telecommunications markets liberalise, network operators are finding that they cannot compete on price alone and that the key component to competing effectively is customer service and agreeing to stringent service level agreements. Marconi Communications range of DWDM product will not only bring all the cost benefits of *more effective use of fibre* through the availability of higher bandwidths and the ability to *deliver mixed services over the same fibre*, but through its unique *Add Drop capability*, bring all the benefits currently enjoyed in the SDH environment of *Flexibility, Network Protection, Common Management.* Marconi Communications offers in addition to point-to-point DWDM line systems, a unique re-configurable optical add/drop multiplexer, 'PMA'.

1.6. Service Quality

By constructing the DWDM network in a ring architecture using the Marconi Communications PMA products, network operators will be able to provide the same level of protection in the DWDM network as is already provided in the SDH network. This will provide a cost effective way of meeting customers ever increasing demands for quality and unbroken service. This will give the network operator a key differentiator as the market becomes more deregulated.

1.7. Flexibility

Marconi Communications' PMA product offers the network operator the ability to add and drop high volumes of bandwidth optically at any point in the network. This unique capability will allow the network operator to rapidly provision and change services to meet its customer demands via a common management system giving the ability to meet customer' needs in a highly competitive manner. The ability to add and drop capacity at any node in the network also provides for a flexible approach to new customer connection and service deployment.

As customer demand for data grows, the PMA offers the ability to deliver increasing traffic rates without the need to change-out equipment. Increasing the client-channel data rate from, for example, STM-4 to STM-16 can be achieved by re-configuration from the remotely sited management equipment. This service flexibility provides a greatly improved ability to respond to unexpected data-led traffic demands. An additional benefit of this approach is that a low-rate traffic service can be quickly provisioned before additional SDH equipment is installed. This service can subsequently be consolidated into a higher-rate SDH payload and the additional capacity made available for other customers, with the WDM client channel being re-configured to transport the traffic from the newly installed SDH equipment.

1.8. Common Management

The key component in a telecommunications network to ensure quality of service whilst keeping cost to a minimum is a comprehensive management system, which gives a common interface to all components in the network.

Marconi Communications' EM-OS platform is widely deployed in many operators networks to manage SDH and access products. Marconi Communications' Photonics products will be managed by the same platform. This will give operators the means to manage its network in a cost effective manner whilst delivering high quality, differentiated services to their customers.

The Network Control Layer (NCL) provided by EM-OS provides the ability to manage end-to-end services, not only within the WDM network, but also down to SDH and PDH service levels.

2. WDM APPLICATIONS

2.1. Trunk Networks

Many long distance routes are approaching maximum capacity. The operators of such routes are therefore faced with an immediate need to upgrade their networks. Installation of fibre is often prohibitively expensive and the constraints associated with upgrading to 10 Gbit/s make this option unattractive for certain routes (e.g. routes with many splices or low-grade fibre are not likely to support 10 Gbit/s). Consequently, WDM systems are attractive to these operators. Where high performance fibre has been installed, carriers will want to multiplex multiple 10 Gbit/s over these routes. The benefits of deploying WDM in long-haul applications are as follows:

- reuse of existing fibre;
- reuse of existing SDH equipment;
- incremental capacity upgrade;
- bit-rate and format independent operation;
- initial step towards the 'all-optical network';
- increased repeater spacing to 120km.

2.2. Metropolitan Networks

The long-term success of WDM equipment depends on its acceptance in the short-haul or regional network level, where the largest amount of fibre is installed and is heavily utlised. Today, network operators are upgrading to higher bit rate SDH systems (e.g. STM-1 to STM-4 or STM-4 to STM-16). However, these networks are also running out of capacity and WDM systems will be deployed in both point-to-point and ring topologies to overcome congestion on urban routes. The benefits of deploying WDM in regional networks are:

- reduces network infrastructure costs by reusing the installed fibre;
- enables customers to lease channels;
- improved network reliability due to fewer electronic components and optical restoration;
- similar protection mechanism to those for SDH rings.

2.3. Access Networks

Where a mixture of analogue and digital services are delivered to residential and small/medium enterprises (SMEs), WDM can provide a migration path for fibre-to-the-kerb or fibre-to-the-home systems. Customers can access specific services over an optical network by selecting wavelengths that carry particular services. This approach can maximise cost efficiencies by sharing network elements.

2.4. Enterprise Networks

Enterprise and Local Area Networks (LANs) are increasing in bandwidth to gigabit rates. The ATM forum is discussing 2.5 Gbit/s and 10 Gbit/s LAN systems, and the IEEE 802.3 committee is developing Gigabit Ethernet standards that may extend to 10 Gbit/s rates in the future. Currently, most enterprise networks use multimode fibre in the backbone and twisted pair copper for distribution.

IBM and Hewlett-Packard are developing WDM systems for use in high-speed LANs and enterprise backbone networks. However, to be successful, these systems must be low-cost and offer value beyond the currently available alternative systems (e.g. Gigabit Ethernet).

3. WDM PRODUCTS

3.1. TDM versus WDM

3.1.1. Moving to Higher Capacity Networks (TDM versus WDM)

The capacity demands being placed on network infrastructures are unprecedented. Carriers are therefore looking for methods of increasing the capacity of their networks in a cost effective and flexible manner. Network capacity can be increased in three ways:

- install additional fibre;
- upgrade to higher bit-rate TDM equipment;
- deploy WDM equipment.

Installing additional fibre is often expensive or even impossible due to rights-of-way issues. The cost of installing new fibre routes varies from $40,000 to $80,000 per mile depending on the available conduit space, rights-of-way etc. [Source: IGI Consulting] Installation time can also be lengthy.

For longer routes, installation of additional fibres carries a further cost penalty with the need for electrical regenerators. Where WDM is deployed, a single optical amplifier,

carrying several channels on different wavelengths, is used to replace multiple electrical regenerators.

Upgrading to higher bit-rate TDM equipment has been the traditional approach to increasing capacity within networks. However, WDM systems are providing an alternative to this approach. Upgrading to STM-64 has the following advantages, compared to a WDM solution:

- extension of the existing SDH technology;
- lower switching granularity.

Upgrading to STM-64 equipment has the following disadvantages, compared to a WDM solution:

- dispersion effects limit the transmission distance;
- capacity can only be added in large increments;
- can render existing SDH equipment redundant.

Dispersion effects tend to limit the distance that light pulses can travel down conventional single mode fibre before they need to be regenerated by a repeater. These effects become significant at high bit-rates (i.e. at 10 Gbit/s and above). Chromatic dispersion tends to broaden out the signal as it travels along the fibre. A four fold increase in speed tends to reduce the transmission distance by a factor of 16. Typically, 10 Gbit/s TDM systems can not carry information further than 60 km, without special dispersion compensation techniques being adopted. Dispersion shifted fibre and non-zero dispersion fibre has been developed to overcome these limitations. However, the majority of fibre installed is of the conventional type.

The capacity of SDH equipment can only be increased in large increments (e.g. the next level of expansion beyond 10 Gbit/s is 40 Gbit/s). WDM equipment enables carriers to upgrade their network capacity in smaller increments (e.g. one channel at a time, which may be equivalent to 2.5 Gbit/s).

WDM and SDH technologies are complementary in that SDH multiplexers provide the tributary interface for WDM systems. Consequently, both technologies will be deployed in future networks. Initially, WDM systems will carry multiple STM-16 signals, but carriers will ultimately require multiple STM-64 signals to be carried over their network. The major concern for carriers is therefore how to ensure that these technologies work together to provide a flexible and cost-effective solution to their network problems.

Fig. 3 (in colours*) shows the expected positioning of SDH and WDM equipment in terms of bit rate and distance. SDH will dominate at lower bit rates (up to 2.5 Gbit/s). WDM will dominate at higher bit rates (20 Gbit/s and above). At 10 Gbit/s, WDM systems carrying STM-16 will dominate for long distance applications, due to the need for fewer regenerators. At shorter distances the picture is less clear. STM-64 and WDM systems will compete for the carrier's budget at this level. WDM systems are currently less competitive in this sector due to the high cost of optical devices. However, the cost of optical components are expected to fall more rapidly than the cost of electronics. Therefore, WDM systems will become an attractive option in these short-haul applications.

Fig. 4 (in colours*) shows the network capacity upgrade trends. TDM systems have dominated the upgrade trend up to 2.5 Gbit/s. The limitations associated with standard single mode fibre, technical difficulties associated with achieving 10 Gbit/s bit rates, and the introduction of Erbium Doped Fibre Amplifiers (EDFA) has enables WDM systems to take over as the technology for increasing capacity, with multiple channels of 2.5 Gbit/s. Higher bit rate TDM systems (OC-192 and STM-64) are beginning to be deployed, particularly by operators that have installed dispersion shifted fibre. WDM systems will continue to increase the number of channels available and also carry multiple 10 Gbit/s bit rates over non-zero dispersion fibre. Thus, the optimum solution for achieving very high bit rates is as follows:

- WDM systems;
- high bit rate TDM systems;
- non-zero dispersion fibre;
- Erbium doped fibre amplifiers.

3.2. Re-configurable Optical Add Drop Multiplexer (ROADM)

As discussed the early application of WDM technology will be to increase the traffic carrying capacity of existing fibres as opposed to laying new fibres or adding repeaters for higher rate STM systems.

As services proliferate and the WDM systems are used for more mixed services (such as PDH, ATM, IP etc.) it will be important to have the ability to add and drop channels from these systems. The first optical add/drop multiplexers will be of fixed configuration, with dropped channels determined by hardware selection (see *Fig. 5* in colours*).

Marconi Communications' PMA-8 offers greatly enhanced flexibility and cost benefits as the current SDH add/drop multiplexers, by the addition of a remotely reconfigurable optical switch matrix. This type of element is known as a Re-configurable optical add/drop multiplexer (ROADM) (see *Fig. 6* in colours*).

The ability to add/drop at the optical layer eliminates the cost of expensive de-multiplexers at channels of each drop point, making this a viable solution for metropolitan and access topologies.

Use of the OADMs in the ring architecture then provides similar, high levels of protection a flexibility as currently enjoyed with SDH.

3.3. Ring Versus Chain

3.3.1. Network Topologies

Marconi Communications' WDM product family includes equipment to supports long haul links with fixed add drop requirements as well as the PMA, which is for metropolitan ring systems. The applications very much mirror the SDH applications, where line systems are used to instigate a core backbone, with rings supporting local metropolitan access requirements. The typical usage is shown in *Fig. 6* (in colours*) below.

This demonstrates the importance of ring based systems. The ring architecture provides flexible remote traffic configuration, as well as flexible protection schemes. As with SDH networks, it is the ideal architecture for relatively local traffic distribution requiring rapid response for bandwidth allocation, flexible protection and re-configuration.

The network can be considered as a large number of 'Virtual Fibres' giving the following advantages over fixed fibre:

- Cheaper to install than new fibre.
- Configurable and monitored. It allows re-configuration and growth without physical movement of fibre. This allows a flexible management of what is traditionally fixed in the ground. The net results are increased responsiveness to traffic demand and changes.
- Flexible allocation of protection at the optical level — OSNC (see *Fig. 7* in colours*).

3.4. Network Management

The efficient operation of a complex flexible photonics network demands the ability to remotely manage and maintain the elements within it and the services it supports.

Further benefits are achievable by integrating the management of the photonics layer with that of all other transport layers in the network. A management system is required which can expand to match the scale of the network and the technology it utilises.

Marconi Communications' Management System addresses these needs. *Fig. 8* (in colours*) shows the architecture.

Marconi Communications can offer the benefit of integrated management across the complete range of equipment. This development will integrate the Photonics Platforms with existing SDH and Access products, under common network management control.

The integrated management solution will be scaleable from small networks up to very large networks where the TMN system will be distributed across multiple Hewlett Packard computers. It will offer full management of the photonics equipment, with facilities equivalent to those already provided for SDH:

- network map, with sub-networks;
- management of photonics trails across the network;
- alarm display through the network map and alarm lists;
- equipment configuration through a realistic shelf display;
- performance monitoring and logging.

The user interface for photonics management will be similar to the existing interfaces for SDH management, so that user training requirements are minimised.

An integrated management solution operating at all layers of the network from Access to Photonics, offers significant benefits to network operators:

- support for multiple users, having access to a common database;
- a common set of user classes giving controlled secure access to the network;
- a common approach to managing different network element types, offering ease of use and reducing training times;
- a proven solution, removing risks of inter-working and inter-operability between different network layers and managers;
- ease of fault reporting and localisation, from a single user interface, reducing time to repair;
- ease of network reconfiguration during fault or maintenance, maintaining high network availability;
- network wide performance statistics, giving the operator a full visibility of his service offering to customers, and enabling him to demonstrate service levels achieved;
- ease of upgrade to maintain a state-of-the-art network and network management system, as the network evolves while maintaining high quality service to the customer.

Marconi Communications has a strong track record in network management systems in use by many network operators around the world.

4. PMA APPLICATIONS

4.1. Overcoming Congestion in Specific Areas of the Network

In situations such as that shown below, where two the traffic from two (or more) rings is carried over a single cable, the fibres on that link may become fully utilised. Addition of PMAs at the ends the shared section of cable allows a considerable increase in capacity, removing the need to install new fibre (see *Fig. 9* in colours*).

4.2. Interconnection of SDH Traffic Islands

Where an operator's network incorporates SDH equipment from more than one vendor, as shown below. it may be necessary to interconnect islands of equipment from different vendors. This situation is particularly likely, where mergers or acquisitions have combined several networks. Possible incompatibilities in areas such as overhead handling mean that it is best to avoid direct inter-connection between the two vendors SDH traffic. By transporting the traffic over a WDM ring, incompatibilities are avoided and the traffic from the two vendors equipments can share a single fibre (see *Fig. 10* in colours*).

4.3. Delivery of Mixed Payloads

Using traditional transmission methods, different types of payloads require separate fibres for their transportation, or must be multiplexed into a common bearer service (such as SDH). Use of separate fibres may not be possible where fibre exhaust problems are encountered, and multiplexing into a higher speed transport format imposes a cost penalty. The PMA, with its configurable-format client-channel interfaces allows the transport of a wide variety of payloads on different wavelengths. The PMA has an added advantage here, in that it can be remotely reconfigured should the customer wish to change their payload. (see *Fig. 11* in colours*).

4.4. Carrier for 3rd Party Services (Dim Fibre)

Where a network operator or infrastructure owner leases fibres to other operators, a dramatic increase in capacity, and hence revenue, can be obtained by equipping the fibre with WDM systems and offering leased wavelengths. The PMA supports a broad range of traffic services, allowing the third party operator similar flexibility to that offered by a leased fibre. At the same time, the

transponder-based inputs ensure that traffic on different leased wavelengths remains separate and that there is no interference.

4.5. Leasing of specific wavelengths to individual customers

Where customers wish to build a virtual private network, they may wish to lease a wavelength through an operator's network. This allows them considerable flexibility in design of their VPN and enables use of large IP routers for which the SDH network is ill-suited.

5. PMA DEPLOYMENT

5.1. Single Point-to-Point Link

Marconi Communications believe that in the metropolitan network, a flexible, re-configurable network is essential. As traffic grows, or as there is a demand for new services, it is likely that there will be demand for additional network connections across point-to-point links (or single sections of a ring). As an initial step to a flexible, ring-based network, these pinch-points can be overcome using Marconi Communications' PMA-8 equipment. For this application, the PMA-8 is partially equipped to act as a terminal, allowing a reduced entry cost. This allows subsequent up-grade to a full Add/Drop equipment without further disruption to traffic or removal of any traffic cards (see *Fig. 12* in colours*)

It is not anticipated that protection is required in this configuration. The PMA-8 can be configured as a terminal equipment, in which mode it offers line-protection of the WDM section.

Marconi Communications propose that systems configured as single-terminals are initially installed to overcome fibre shortage. Such configurations are initially unlikely to require more than two or three equipped wavelengths. When several such WDM-equipped sections exist in the area, these can be upgraded to a ring configuration, providing improved flexibility and resilience. This scenario is expanded in section 1b, below.

5.2. Upgrade of Point-Point Systems to a Ring Configuration (illustration)

i. The SDH ring is beginning to run out of fibre capacity (see *Fig. 13* in colours*).

ii. PMAs, configured as terminals are installed on the link between A and B to carry the increasing traffic. In order to install each terminal, the SDH traffic is switched, using SDH protection mechanisms, to use an alternative path around the ring. The section between A and B can then be broken to insert the OADMs (see *Fig. 14* in colours*).

iii. As traffic increases, lthe link between D and E becomes congested. Terminal-configured PMAs are added at D and E. Traffic re-routing is required as in ii above, while breaking the link between D and E (see *Fig. 15* in colours*).

iv. The link between B and C is upgraded to WDM, by adding a terminal-configured PMA at C, and upgrading the PMA at B to an OADM configuration. Again, the link between B and C must be broken, with SDH mechanisms re-routing traffic (see *Fig. 16* in colours*).

v. The remaining links are upgraded to WDM by upgrading the PMAs at A, C, D and E to WDM (see *Fig. 17* in colours*).

5.3. Traffic Protection

5.3.1. PMA Traffic Protection schemes

The Marconi Communications ROADM provides two forms of protection, these being 1+1 OMSP and Optical Sub Network Connection Protection (OSNCP).

The 1+1 OMSP requires the duplication of the receive and transmit section cards to provide duplicated transmit and receive functions. The protection is designed to protect against failure of the fibre between nodes. As the equipment supports 2 line interfaces, then 1+1 MSP is only applicable in point to point or chain configurations.

OSNCP is primarily intended for ring operation, although it can also be configured for use in point to point and chain applications. The optical signal is split in the tributary card function, and then sent over two independent paths (e.g. both ways around a ring). The receiving tributary card has a switch allowing it to select which optical channel to use. End to end signalling over the Optical Path Overhead (OPOH) allows bi-directional operation as well as unidirectional switching.

As with SDH SNCP the OSNCP can be configured on a per optical path basis, allowing flexible allocation of bandwidth between traffic and protection requirements.

5.3.2. Other Protection Topologies

Where the client equipment already supports traffic protection, it is possible to utilise this instead of actually protecting at the optical level. For example SDH equipment supports Sub Network Connection Protection (SNCP). It is possible to provide over the WDM system(s) two independent paths. These are not protected in there own right at the optical level, and are seen by the SDH equipment as two separate paths. It is then possible to configure the SDH equipment to use its own SNC over the two paths, providing traffic protection without any restoration occurring at the optical (WDM) level.

Where the client equipment does not support protection itself, then optical level protection is essential.

*** Coloured pictures cited are shown separately in the colour pages (A69-A78) of this issue.**

Copyrights of this presentation were arranged by written permission.

OPTIKAI HULLÁMVEZETŐK KUTATÁSA AZ MTA MFA-BAN, ILL. AZ MTA MFKI-BAN

ANDOR LÁSZLÓ, BALÁZS JÁNOS, MAKAI JÁNOS, MAKAI JÓZSEF, RÁCZ MIKLÓS, RÉTI ISTVÁN, TÜTTŐ PÉTER

MTA MŰSZAKI FIZIKAI ÉS ANYAGTUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZET
1525 BUDAPEST, PF. 49. TEL.: 395-9220

Fényvezető szálak és síkhullámvezetők tulajdonságait vizsgálták az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézetében és elődjében a Műszaki Fizikai Kutató Intézetben. A fényvezető szálak kutatása főleg metodikai jellegű. Különböző mérési módszereket dolgoztak ki és hasonlítottak össze, pl. veszteségméréseket, törésmutató profil méréseket stb. Néhány száloptikai műszert is kifejlesztettek. GaAs alapú optikai hullámvezetőket hoztak létre és ezek optikai tulajdonságait analizálták. Más, szenzor célra kifejlesztett hullámvezetőt is vizsgáltak.

1. BEVEZETÉS

Az optikai hullámvezetők közül a fényvezető szálak és a síkhullámvezetők tulajdonságait az elmúlt huszonöt évben kiterjedten vizsgálták világszerte, miközben ipari alkalmazásuk egyre nagyobb mérvű lett.

Az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézetében és jelenleg az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetében mindkét területen folytak és folynak kutatások, szinte természetes következményeként az intézetben folyó félvezető lézer és LED, félvezető detektor, illetve félvezető technológiai kutatásoknak.

A fényvezető szálak kutatása elsősorban metodikára szorítkozott, különböző külföldi eredetű szálak minősítése történt, több esetben különböző mérési módszereket alkalmaztunk tulajdonságaik meghatározására. Az így kapott eredményeket természetesen össze is vetettük egymással. Így pl. a veszteségmérésnél a visszavágásos, a kaloriméteres és az optikai visszaszóráson alapuló módszert alkalmaztuk, az idődiszperziót megmértük mind idő-, mind frekvenciatartományban, a törésmutatót pedig a reflexió, a közeltér és a refraktált közeltér méréséből határoztuk meg, illetve hasonlítottuk össze.

A kutatásokhoz kapcsolódóan műszereket fejlesztettünk ki optikai teljesítmény, törésmutató-profil és veszteség mérésére.

Az MFKI korábbi félvezető technológiai kutatásai tették lehetővé, hogy GaAs alapú optikai hullámvezetőket hozzunk létre, legegyszerűbb elemeket kialakítva. Az itt nyert tapasztalatok segítségével ráccsal ellátott, szenzor célra használt optikai hullámvezetőket is vizsgáltunk. Ennek során effektív törésmutató-mérő műszert fejlesztettünk ki.

2. FÉNYVEZETŐ SZÁLAK

2.1. Veszteségmérések

A fényvezető szálak egyik fontos transzmissziós paramétere, amelyet többféle módon lehet mérni. A különböző módszerek eltérő igényeket elégítenek ki (átlagos érték, eloszlás, lokális érték stb.).

Visszavágásos módszer

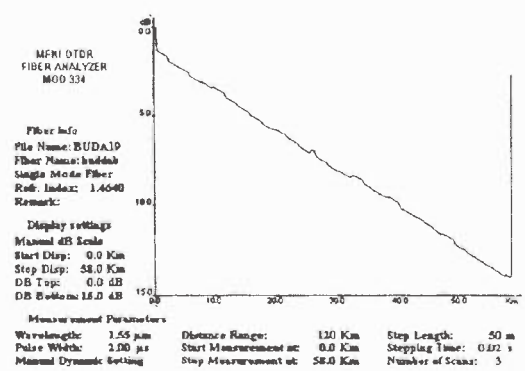
A mérendő szál végén megmérjük az áthaladó fényteljesítményt, majd a szálat rövidre visszavágva, változatlan becsatolási feltételek mellett, az így áthaladó fényteljesítményt. A kettő logaritmikus hányadosából a szál átlagos vesztesége meghatározható. Gyakran van szükség a veszteség spektrális eloszlására, ekkor a fenti módszert alkalmazva a fény hullámhosszát folyamatosan változtatva meghatározzuk a két spektrális eloszlásgörbét és ebből értékpárok képzése segítségével kapjuk meg a spektrális csillapításeloszlást.

Optikai visszaszórás (OTDR)

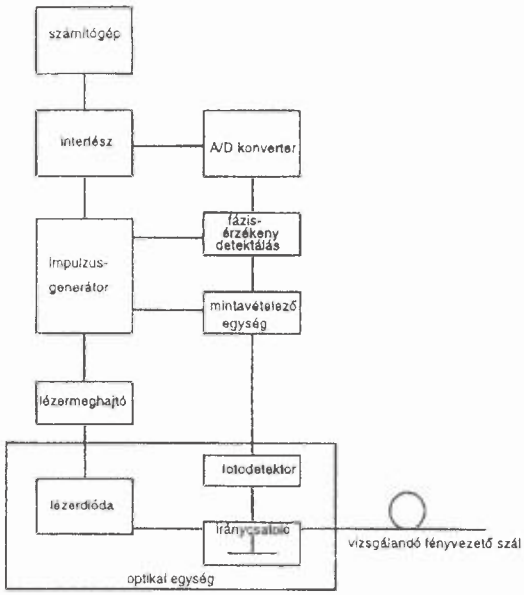
A módszer segítségével egy adott hullámhosszon a veszteség szálmenti eloszlását tudjuk meghatározni. A módszer lényege, hogy a szálba periodikusan fényimpulzust csatolunk be, ez a szálvégeken Fresnel-reflexiót, a szálban szórást szenved. Nem nagy optikai teljesítmény esetén az uralkodó szórási mechanizmus a Rayleigh-szórás, aminek visszafelé mutató összetevőjét mérjük. Az így mért jel arányos a távolsággal (idővel), a becsatolt teljesítménnyel és a csillapítással, így a csillapítás szálmenti eloszlása meghatározható. Az idő–távolság transzformáció a vákuumbeli fénysebesség és a szál törésmutatójának ismeretében mindig elvégezhető. Ennek alapján meghatározhatjuk a szál hosszát és bármilyen észlelhető hibahely szálvégtől mért távolságát is. Egy- és többmódusú szálak mérésére műszereket fejlesztettünk ki. Egy mérési görbe látható az 1. ábrán.

Az egymódusú, 1,31 és 1,55 μm hullámhosszon működő, hordozható notebook-ba beépített műszer blokkvázlata a 2. ábrán látható.

Ezt a műszert továbbfejlesztjük.



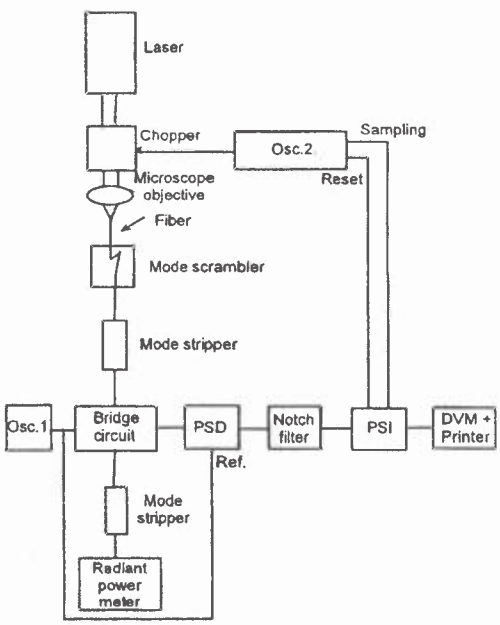
1. ábra. OTDR mérési görbe



2. ábra. OTDR blokkvázlata

Szálkaloriméter

A veszteségmérés nem optikai úton történik. A szál által elnyelt fényenergia hőenergiaként jelenik meg. Ezt a hőenergiát kézenfekvő az okozott hőmérséklet-változás méréséből meghatározni. A hőmérséklet-változást úgy mértük, hogy a mérendő szálat vákuumba helyezett vékony kvarccsőbe tettük, és a kvarccső hőmérsékletének változását mértük a kvarccsőre tekert vékony nikkelhuzal ellenállásának változásából. A kis ellenállás-változást célszerű váltóáramú híd-áramkörben mérni. A 3. ábrán látható a mérőrendszer blokkvázlata. A kvarccső hossza kb. 20 cm, tehát a mérés lokális, mivel a szál rövid darabjáról kapunk információt. Ez a mérési módszer szálhúzáskor alkalmazható, amikor is a szálat áthúzzák a kaloriméteren és igény szerint mérnek rajta veszteséget. A kaloriméterrel összveszteség és abszorpciós veszteség mérhető.

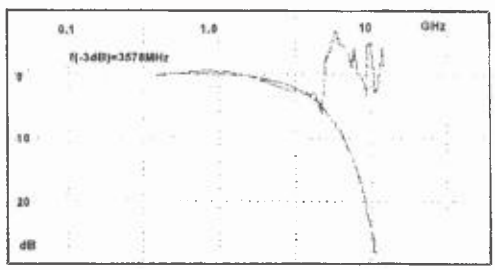


3. ábra. Kaloriméter mérőrendszer blokkvázlata

A különböző módszerekkel mért veszteségértékek a mérések hibahatárán belül megegyeznek. Itt kell megjegyezni, hogy az OTDR műszerek fejlődésével, tökéletesedésével lényegében a visszavágásos módszer pontossága elérhető.

Idődiszperzió mérése

A fényvezető szálak másik fontos transzmissziós paramétere a sávszélesség vagy diszperzió, ami a szálban terjedő információ sebességére ad felvilágosítást. Ilyen méréseket többmódusú szálakra 0,85 μm hullámhosszon végeztünk idő- és frekvenciatartományban. Az előbbi esetben igen keskeny (150 ps) Gauss-jellegű impulzus kiszélesedését mértük, és ebből határoztuk meg a sávszélességet (határfrekvenciát). Fourier-analízissel kiértékelt mérési eredményre mutat példát a 4. ábra. A $\sim$ 5 GHz feletti tartományban látható zaj feltehetőleg a jitter következménye. A frekvenciatartománybeli mérés esetében meghatároztuk azt a határfrekvenciát, ahol az átmenő teljesítmény a maximális érték felére csökken (3 dB). Jó egyezést találtunk a mindkét módszerrel megmért szálak adatai között.



4. ábra. Az időtartományú diszperziós mérésből számolt átviteli függvény

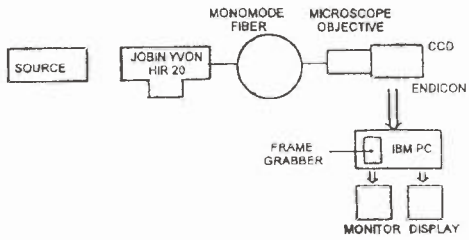
Törésmutató-profil mérése

A transzmissziós paraméterek mellett a törésmutató, ill. törésmutató-profil a fényvezető szálak egyik legfontosabb paramétere. Mérésére számos módszert dolgoztak ki, ezek közül kezdetben a reflexiós módszert alkalmaztuk, amikor merőleges beesésnél a Fresnel-formula segítségével határoztuk meg a törésmutatót. A módszer egyszerű, de nagyon érzékeny a külső körülményekre. A másik, viszonylag egyszerű módszer a szál közelterének mérését használja, a harmadik módszer pedig a refraktált közeltér módszere.

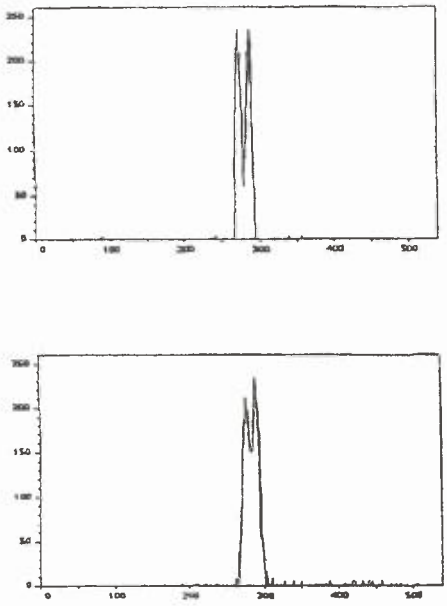
Közeltér módszer

A törésmutató-eloszlást megkapjuk, ha az optikai teljesítmény-eloszlást mérjük a Lambert-sugárzóval egyenletesen megvilágított rövid szál távolabbi végénél. A közeltér módszer azért alkalmas a törésmutató-eloszlás meghatározására, mert a vezetett módusok okozta fényteljesítmény-eloszlás arányos a mag és a köpeny törésmutatóinak különbségével. Ez a megállapítás okozza a módszer fő nehézségét is, mivel rövid szálat használva óhatatlanul belemérjük a szivárgó módusokat is. Ezt korrekcióba szokták venni.

Emellett a módszer alkalmas móduseloszlások meghatározására is. Az 5. és 6. ábrákon egy ilyen mérési elrendezés és egymódusú szálak közeltéri eloszlása látható.



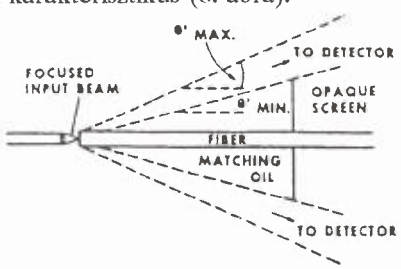
5. ábra. Közeltéri eloszlásmérő



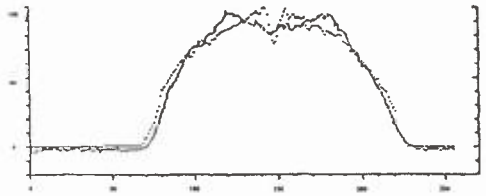
6. ábra. Egymódusú szálak közeltéri eloszlása

Refraktált közeltér

Az egyik legpontosabb és legelterjedtebb módszer, a refraktált közeltéri módszer kiküszöböli a szivárgó módusok hatását. A módszer lényege, hogy mérésre nem a szálban vezetett módusokat (fényt) használjuk, hanem a magból a köpenybe, majd onnan is kilépő fényt. Körülbelül egy μm átmérőjű fényfolt előtt mozgatjuk a mérendő, cellában elhelyezett szálat. A különböző törésmutatójú pontokból mind az optikai út, mind a detektorra kerülő intenzitás különböző. A kapott intenzitás-eloszlás a törésmutató-eloszlással arányos. Ismert törésmutatójú folyadékokkal a rendszer kalibrálható. A mérőcella vázlata a 7. ábrán látható. A törésmutató meghatározására összehasonlító közeltér és refraktált közeltér méréseket végeztünk, utóbbi finomabb felbontásra képes. A refraktált közeltéri technika a gyártási technológiából adódó, a szálmag közepén lévő törésmutató-csökkenést jól mutatja, míg a másik módszernél ez nem karakterisztikus (8. ábra).



7. ábra. Refraktált közeltéri mérési módszer elvi vázlata

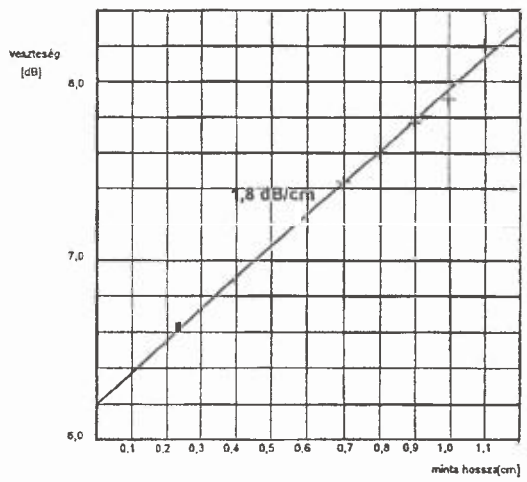


8. ábra. Szál törésmutató eloszlások összehasonlítása

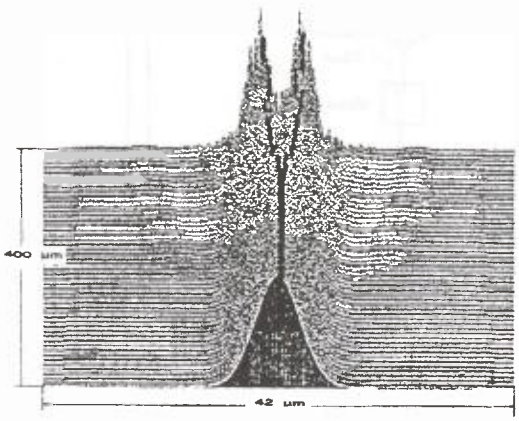
3. OPTIKAI SÍKHULLÁMVEZETŐK

A fényvezető szálak mellett az optikai síkhullámvezetők (passzív és aktív) szintén fontos szerephez jutottak az utóbbi évtizedekben. A szálakhoz hasonlóan a kiváló minőségű hullámvezetőket mind a fénytávközlésben, mind egyedi alkalmazásokban gyakran alkalmazzák. Így merült fel az ötlet, hogy az MFKI-ban meglévő GaAs technológiára támaszkodva állítsunk elő integrált optikai elemeket és végezzünk modellszámításokat.

GaAs szubsztrátra GaAs epitaxiát növesztve egyszerű elemeket alakítottunk ki. Közeltéri mérésekkel az optikai tér nagyságát és eloszlását vizsgáltuk. Meghatároztuk a hullámvezetők csillapítását (9. ábra). A ténylegesen kialakított Y taghoz számításokat végeztünk az optikai tér meghatározására (10. ábra), melyet a közeltér mérésével igazoltunk.



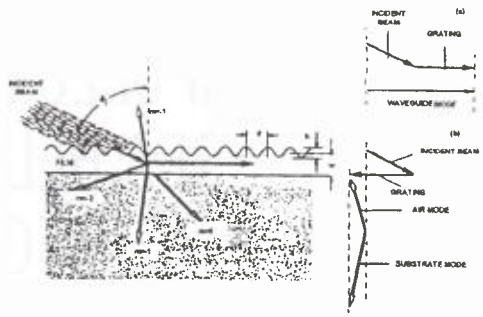
9. ábra. Integrált optikai elem csillapítása



10. ábra. Y tag optikai téreloszlása

A GaAs alapú hullámvezetőknél szerzett tapasztalatok tették lehetővé, hogy bekapcsolódjunk a rács-csatolású, szenzor célra előállított SiO_2-TiO_2 hullámvezetők bizonyos

tulajdonságainak vizsgálatába. Az üveg szubsztrátra felvitt hullámvezető diffrakciós rácsot tartalmaz, amely a hullámvezetőbe való becsatolást szolgálja (11. ábra). A szenzor elsősorban biológiai minták tulajdonságait vizsgálja az effektív törésmutató meghatározása alapján. A becsatolási szöge függ a minta törésmutatójától. A módszer nagyon kis anyagmennyiségek kimutatását teszi lehetővé. A mérés megvalósítása után effektív törésmutató műszert fejlesztettünk ki.



11. ábra. Rács-csatolású szenzor

HIVATKOZÁSOK

[1] Andor L., Balázs J., Gál M., Hoffmann Gy.: Finommechanika – Mikrotechnika, *21*, p. 321 (1982)
[2] Balázs J., Tüttő P., Serényi M.: Finommechanika – Mikrotechnika, *23*, 225 (1984)
[3] J. Balázs, P. Tüttő unpublished
[4] I. Giczi, J. P. Makai: 1. Lichtwellenleitertagung, 1987, Leningrád
[5] J. Balázs, J. P. Makai, J. J. Makai: MFKI évkönyv, 1988
[6] I. Giczi, J. Lánc, L. Gáspár, J. P. Makai, Ernst Abbe Conference, Jena, 1989, p. 67
[7] I. Giczi, J. Lánc, J. P. Makai: 2. Lichtwellenleitertagung, 1990, Karl-Marx-Stadt, pp. 53-55
[8] L. Andor, J. Balázs, J. J. Makai, J. P. Makai, P. Tüttő: 2. Lichtwellenleitertagung, 1990, Karl-Marx-Stadt (poster)
[9] Andor L., Balázs J., Makai J. P., Makai J. J., Tüttő P., Magyar Távközlés, **II/5.**, p. 8 (1991)
[10] J. Balázs, I. Giczi, M. Lengyel, Optical Engineering, **32**, p. 2522 (1993)
[11] J. Balázs, M. Rácz, I. Szendrő, J. Vörös, A. Hámori, Zs. Szabó: Proceedings of the 9th hungarian—corean seminar, Budapest, 1997, p. 301

OPTICAL WAVEGUIDES RESEARCH

The properties of optical fibers and planar waveguides have been investigated in the Research Institute for Technical Physics and Material Sciences and in its predecessor in the Research Institute for Technical Physics. The research of optical fibers is of methodical character, different measuring techniques have been elaborated and compared to each other, e.g. loss measurements, refractive index profile measurements, etc. Some fiber optical instruments have been developed. GaAs based waveguides have been developed and constructed, their optical parameters were analysed. Some special purpose waveguide based sensors were investigated.

Makai János 1977-ben végzett villamosmérnökként a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. Fejlesztőmérnökként dolgozott a budapesti Mechanikai Mérőműszerek Gyárában 1977-től 79-ig, majd villamosmérnökként az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézet Elektronikai osztályán (1979-82). Ugyanitt 1982-ben az Optikai osztályon tudományos munkatársi, majd tudományos osztályvezetői (1986-91) beosztásba került. Vendégkutatóként dolgozott az USA-ban a National Institute of Standards and Technology-ban (MD, Gaithersburg 1991-94). Hazatérése után újra tudományos kutató lett az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében. Részmunkaidőben oktatóként és tudományos kutatóként tevékenykedett a BME Fizikai Intézetében (1995-96). Ph.D. fokozatot szerzett a BME Gépészmérnöki karának Finommechanika Optika Tanszékén 1997-ben. Kutatási és fejlesztési területei: radiometria, optikai hírközlés, holografikus interferometria, IR spektrofotometria és mikroprocesszor vezérelt rendszerek szoftver és hardver fejlesztése.

Balázs János 1964-ben szerzett fizikusi diplomát az ELTE TTK fizikusi szakán. 1964-től 1984-ig az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetének Félvezető osztályán dolgozott, ahol félvezetők és félszigetelők elektromos tulajdonságait vizsgálta. 1981-től fényvezető szálak optikai tulajdonságaival foglalkozik. 1984-től az Optikai és Elektronikai osztályon optikai visszaszóráson alapuló csillapításmérőt (OTDR) fejlesztett egy- és többmódusú optikai szálak vizsgálatára. 1991 óta a fényvezető szálak mérése mellett különböző alapú optikai hullámvezetők mérésén és modellezésén dolgozott. 1998 óta az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézetének tudományos munkatársa.

Rácz Miklós az ELTE TTK-n 1972-ben fizikus oklevelet, a BME Villamosmérnöki Karán 1979-ben digitális elektronikai szakmérnöki oklevelet, majd 1994-ben a KLTE TTK-n egyetemi doktori címet szerzett. Doktori dolgozatában ultraibolya dózismérő papírok vizsgálatáról számolt be. A Villamosipari Kutatóintézetben 1972-1975 között napelemek és tüzelőanyag-elemek fejlesztésén és mérésén, 1975-1981 között a MOM Laborműszer osztályán spektrofotométerek, színmérők elektronikai tervezésén dolgozott. 1981-től az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézet Fotometriai osztálya, ennek átalakulása után 1998-tól az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet Vegyületfélvezető osztálya tud. munkatársa. Itt fotometriai, radiometriai, színmérési területen mérésekkel és műszerfejlesztéssel, valamint félvezető eszközök optikai tulajdonságainak mérésével foglalkozik. 1997-99-ben két évet vendégkutatóként az USA Nemzeti Mérésügyi és Technológiai Intézetének (NIST) Optikai Technológiák főosztályán infravörös standard detektorok mérésén és fejlesztésén dolgozott.

RÖVID IMPULZUSOK ELŐÁLLÍTÁSA KÜLSŐ REZONÁTORBA HELYEZETT FÉLVEZETŐ LÉZER SEGÍTSÉGÉVEL

SERÉNYI MIKLÓS

MTA MŰSZAKI FIZIKAI ÉS ANYAGTUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZET
1525 BUDAPEST, PF. 49.

Ebben a cikkben egy olyan, rövid impulzusok keltésére szolgáló kísérleti összeállítást és mérési eredményeit mutatjuk be, amely bármilyen egyszerű lézerdiódával megvalósítható. A hangolhatóság miatt ez az összeállítás alkalmas a különböző átviteli rendszerek vizsgálatára. A kísérletek 840 nm-es Hitachi diódával történtek, de a mérések bármilyen hullámhosszú lézerdiódákkal elvégezhetők.

1. BEVEZETÉS

Technológiájuk tökélesedésével a különböző hullámhosszakon működő lézerdiódák az optoelektronika legfontosabb eszközévé váltak. Különös jelentőségük van a spektroszkópia, távközlés, valamint az optikai adatátvitel, illetve tárolás területén történő felhasználásoknak. A lézerdiódák alkalmazásának egyik szempontja az, hogy a fény által biztosított 10^{14} Hz vivőfrekvenciák rendkívül nagy sávszélességet biztosítanak az adatátvitelhez. Nem kevésbé fontos tény, hogy a lézerdiódák fénye elektromosan rendkívül egyszerűen modulálható és jó hatásfokkal csatolható be a fényvezető szálba. A kutatók törekvése tehát arra irányul, hogy minél rövidebb, néhány pikoszekundumos (1 ps = 10^{-14} s) időtartamú, változtatható hullámhosszú impulzusokat állítsanak elő, a lehető legnagyobb ismétlődési frekvenciával. Nyilvánvaló követelmény az, hogy a fényforrás koherenciatulajdonságai ne romoljanak.

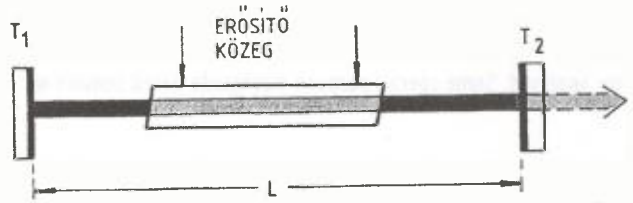
Félvezető szálak alkalmazása esetén, 1300-1500 nm hullámhosszon működő lézerdiódákat használnak. A hullámhossz stabilitást bonyolult, sok elemből álló, pl. elosztott visszacsatolású (DFB) vagy elosztott reflexiójú (DBR) struktúrákkal valósítják meg, a hullámhosszhangolás pedig integrált optikai elemekkel történhet. Ezek az elemek rendkívül drágák, alkalmazásuk adatátviteli rendszer adómoduljában történő felhasználás esetén lehet indokolt. A félvezető gyártástechnológia jellegéből következik, hogy ezen fényforrások fizikai és műszaki paraméterei adottak és utólag nem változtathatók.

Az első részben áttekintjük a rövid fényimpulzusok keltésének azokat a lehetőségeit, amelyek a félvezető lézerek esetében is alkalmazhatók. A második részben pedig egy speciális lehetőséggel, a külső rezonátorba épített lézerdiódák aktív módusszinkronizációjának kérdésével foglalkozunk részletesen.

Célkitűzésünk az volt, hogy ilyen rendszerből az elméletileg meghatározott legrövidebb, az ún. koherens impulzusokat állítsuk elő. Ez a rész az optimalizálás érdekében a kereskedelemben kapható lézerdiódákon végzett technológiai jellegű beavatkozást, továbbá a mérési összeállítások leírását, a kísérletek eredményeit, valamint azok kvantitatív értelmezését tartalmazza.

2. KÍSÉRLETI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A lézer tulajdonképpen egy fényhullám generátor, és ennek megfelelően – mint az elektromágneses hullámforrások – két lényeges egységből áll: erősítő és visszacsatoló elemből. Az erősítő közeg lehet gáz, folyadék, szilárd test vagy félvezető struktúra, melyben megfelelő gerjesztéssel (pumpálással) bizonyos energiaállapotokra nézve fordított eloszlást (populációinverziót), és ezáltal bizonyos hullámhossztartományban fényerősítő képességet hozunk létre. A visszacsatoló elem többnyire két, egymással szemben álló tükörből kialakított rezonátor; a hasznos teljesítmény a részben fényáteresztő tükrön keresztül lép ki (1. ábra).



1. ábra. L hosszúságú Fabry–Perot lézer sematikus felépítése (T_1, T_2: tükör)

Ha célunk az, hogy egy folytonosan működő fényforrásból pikoszekundumos időtartamú impulzusokat állítsunk elő, elvileg elegendő egy gyors, optikai vagy elektromos kapcsolóval a fénysugarat kapcsolgatni. Ilyen kapcsoló azonban a gyakorlatban nem létezik; vagy ha létezne is, az így előállított impulzusokban a fotonok száma nagyon kicsi lenne. Célszerűnek látszik, hogy a lézer által kibocsátott sugárzás fotonjait, a kívánt impulzus időtartamára egy „csomagban" tömörítsük össze. Ennek nyilvánvaló módja, hogy rövid külső gerjesztő impulzust használunk. A gerjesztés a gyakorlatban szinte kizárólag elektromos, azonban az elektronikus megoldások nem kötődnek a lézerekhez, ezeket bármelyik spontán fényforrásnál is alkalmazni lehet. Léteznek azonban olyan impulzusrövidítési eljárások, melyek alapvetően a lézerek működéséhez kapcsolódnak; az ún. „Q kapcsolás" és a módusszinkronizáció.

A „Q kapcsolás" olyan lézerek esetében alkalmazható eredményesen, amelyekben az erősítő, aktív közegben a populációinverzió élettartama viszonylag hosszú. Az alapötlet abban áll, hogy ezt a hosszú élettartamot kihasznál-

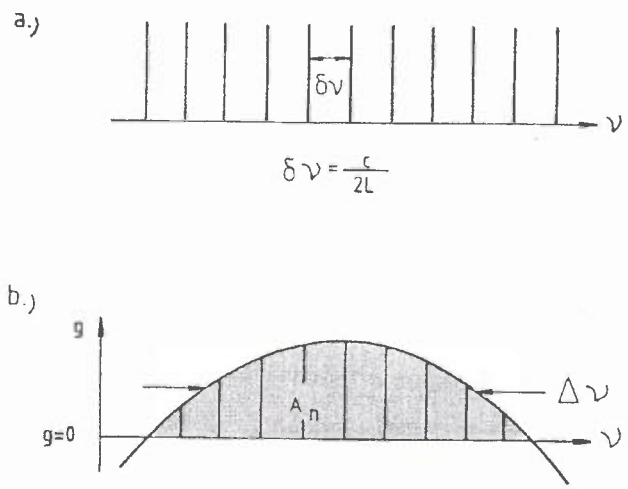
va a populációinverziót jóval a lézerküszöb fölötti értékre növeljük, egy ideig meggátolva a lézer beindulását. Ha ezután hirtelen ismét lehetővé tesszük a lézer működését, a küszöbnél sokkal magasabb inverzió miatt gyorsabban fog a sugárzási tér felépülni, a normál impulzusoknál sokkal nagyobb intenzitású, ezért rövidebb időtartami impulzust eredményezne. A lézerműködés fenti korlátozását és hirtelen elindítását, a rezonátorveszteségek változtatásával, jósági tényezőjének (Q) kapcsolásával lehet elérni. A gyakrabban – leginkább a szilárdtestlézereknél – alkalmazott módszerek közül az elektrooptikai elemek, esetleg forgó tükrök vagy prizmák aktív módon valósítják meg a Q kapcsolást. Ez azt jelenti, hogy a gerjesztés megindulása után csak egy bizonyos idő elteltével teszik lehetővé az optikai visszacsatolás kialakulását, azaz a kis veszteségű rezonátor létrejöttét. A rezonátor megnövekedett jósági tényezője és a közben felépült nagy populációinverzió létrehozza a rövid impulzust, melynek tipikus időtartama szilárdtest lézerek esetén 10-20 ns és teljesítménye akár MW is lehet [36].

A módusszinkronizációt rövid impulzusok keltésére olyan lézerekben alkalmazzák, ahol a lézer átmenetek sávszélessége relatív nagy, tehát a rezonátorban egyszerre nagyszámú módus gerjeszthető. A legegyszerűbb rezonátorkonstrukció az ún. Fabry–Perot rezonátor, amely két párhuzamos síktükörből áll és magában foglalja a külsőleg gerjesztett erősítő közeget.

A rezonátorban kialakuló stabil hullámformák, a módusok a különböző hullámhosszúságú állóhullámok, hiszen ezek a rezonátorban többszörös visszaverődés után is konstruktív interferenciára képesek. Ezek frekvenciája egymástól csak kissé különbözik, a szomszédok frekvenciakülönbsége az L rezonátorhosszal fordítottan arányos:

$$\delta\nu = c/2L$$

Itt a fénysebesség $\delta\nu$ a spektrális, vagy más néven módustávolság, melynek reciprok értékét szemléletesen a rezonátor futási idejének nevezzük. A rezonátorban lévő erősítő közeg csak bizonyos energiatartományban képes erősíteni, az ezen kívüli sugárzás számára abszorpciót jelent. Ezt a tulajdonságát az erősítés sávszélességével jellemezzük (2. ábra).



2. ábra. Fabry–Perot rezonátor longitudinális móduseloszlása (a) és a módusok erősítő közeg által meghatározott amplitúdóeloszlása; (b) az erősítés félértékszélessége

A lézerben az elektromágneses hullám pillanatnyi elektromos tere a lehetséges A_n amplitúdójú, φ_n relatív fázisú longitudinális (a továbbiakban a rezonátor tengelyére merőleges irányú függést nem írjuk ki) módusok összegeként írható fel:

$$E(t) = \sum_n \frac{1}{2} A_n e^{i\varphi_n + i(\omega_0 + n\cdot\delta\omega)t} + C.C.$$

Az összegzést az erősítés tartományára kell elvégezni, legyen ez

$$-\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}$$

A kifejezésben $\delta\omega/2\pi = \delta\nu = c/2L$ a módustávolság. Ha a különböző módusok fázisa egymástól független és véletlenszerűen a $-\pi < \varphi_n < \pi$ tartományban helyezkedik el, akkor a kimeneten megjelenő intenzitás időben nem állandó, hanem zajszerű. Időbeli átlaga:

$$I \propto \overline{E^2(t)} = \sum_n \frac{1}{2} |A_n|^2$$

Amennyiben a különböző módusok egymáshoz képest meghatározott fázisban vannak, azaz

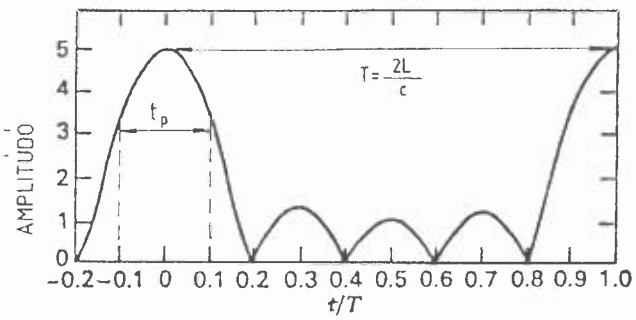
$$\varphi_n - \varphi_{n-1} = \alpha = \text{const.}$$

a helyzet alapvetően megváltozik, a kimenet szabályos időközökre lévő éles csúcsok sorozata lesz, hiszen egymástól kissé eltérő hullámhosszú hullám interferenciájáról van szó. Továbbiakban, az egyszerűség kedvéért, egy idealizált esetet vizsgálunk és feltételezzük, hogy minden módust azonos A_0 amplitúdóval gerjesztünk, így kiindulási egyenletünk analitikusan összegezhető:

$$E_t = A_0 \frac{\sin(N\frac{\delta\omega\cdot t+\alpha}{2})}{\sin(\frac{\delta\omega\cdot t+\alpha}{2})} e^{i\omega_0 t} + C.C. \qquad (1.1)$$

Ez egy ω_0 körfrekvenciájú vivőhullám, amely egy burkolóval van modulálva. Ahhoz, hogy a lézerben keletkező sugárzási tér amplitúdójának időbeli változását tanulmányozhassuk, a 3. ábrán ábrázoltuk az 1.1 függvényt (az $e^{i\omega_0 t}$ tényező mellőzésével) az $N = 5$ és $\alpha = 0$ esetre. Ennek alapján a következő, általános érvényű megállapításokat tehetjük:

- N módus azonos ($\alpha = 0$), vagy szinkronizált ($\alpha = \text{const.}$) fázisban van, a kimenet egy impulzus sorozat, melynek periódus ideje $T = 2L/c$, a rezonátor futási ideje.
- Az impulzus időtartamát $t_p \approx T/N$ idővel jellemezhetjük.
- A tér amplitúdójának csúcsértéke az egyes módusok amplitúdójának N-szerese.
- A csúcsintenzitás az átlagintenzitás N-szerese.



3. ábra. A sugárzási tér amplitúdójának időbeli változása módusszinkronizáció esetén (1.1 függvény, $N = 5$, $\alpha = 0$)

A fenti példából levonhatjuk azt a következtetést, hogy az N a szinkronizált módusok számának növelésével, egyre rövidebb impulzusokat generálhatunk úgy, hogy a lézer sugárzás teljesítménye ezekben koncentrálódik. Azokat az eljárásokat, amellyel biztosítjuk, hogy az egyes oszcilláló módusok fázisa egymáshoz képest rögzítve legyen, módusszinkronizációnak (mode locking) nevezzük.

Az egyidejűleg oszcilláló módusok N számát a $\Delta\nu$ erősítési sávszélesség és a módustávolság aránya adja, azaz $N \approx \Delta\nu/(c/2L)$. Így az impulzusok szélessége annál kisebb, minél több módus oszcillál egyidejűleg, vagyis minél nagyobb a sávszélesség, hiszen

$$t_p \cong \frac{T}{n} = \frac{2L/c}{2\Delta v \cdot L/c} = \frac{1}{\Delta v}$$

Tehát azt az idealizált esetet tekintve, amikor feltételeztük, hogy minden módust azonos A_0 amplitúdóval gerjesztünk, azt állíthatjuk, hogy $\Delta\nu \cdot t_p \approx 1$, azaz az erősítés- sávszélesség és az impulzushossz szorzata egységnyi és konstans. Tekintsünk most egy reálisabbnak mondható esetet, egy olyan impulzust, mely elektromos terének időben lassan változó része komplex Gauss-függvénnyel írható le:

$$E(t) = E_0 e^{-\gamma t^2 + i\beta \cdot t^2}$$

A γkonstans az impulzus időbeli lefutására jellemző, az impulzus intenzitásának, az $I(t) = |E(t)|$-nek t_p félértékszélességével kapcsolatos:

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot \ln 2}{\gamma}}$$

Az $E(t)$ függvény komplex kitevőjében βt^2 a pillanatnyi fázist, így βt a szögsebesség pillanatnyi értékét határozza meg. Eszerint az impulzusban, egy időben lineárisan változó frekvenciaeltolódás, ún. „chirp" jelenik meg, amit gyakorlatban a közeg diszperziója okozhat. Az impulzus spektrális eloszlásának a $\Delta\nu$ félértékszélességét Fourier-transzformáció alkalmazásával határozhatjuk meg:

$$\Delta v = \frac{1}{\pi}\sqrt{2 \ln 2 \frac{\gamma^2 + \beta^2}{\gamma}}$$

így az idő–sávszélesség szorzat:

$$t_p \cdot \Delta v = \frac{2 \ln 2}{\pi}\sqrt{1 + (\beta/\gamma)^2} \qquad (1.2)$$

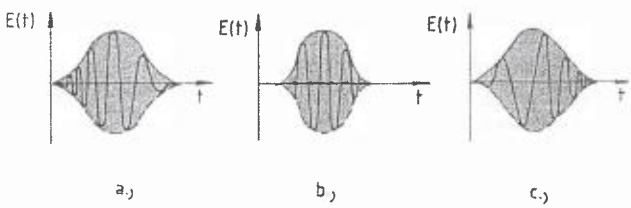
Ha $\beta = 0$, tehát az impulzuson belül nincsen frekvenciaeltolódás (az impulzus „chirp"-mentes), a szorzat értéke Gauss-impulzust feltételezve 0,44. A sávszélesség és impulzushossz szorzata a fenti gondolatmenettel meghatározható különböző impulzusformákra és értéke függ:

- az impulzus alakjától (Gauss, exponenciális, sech, ...),
- $\Delta\nu$ és t_p definíciójától (rms, FWHM),
- a „chirp" jelenlététől, vagy pulzus esetleges strukturáltságától (pl. burst).

Ha az idő–sávszélesség szorzat megközelíti az elméleti értéket, „transzform-limitált", vagy koherens pulzusról beszélünk; a „chirp" vagy a strukturáltság jelenléte a szorzat növekedését jelenti. Abban az esetben, ha az impulzuson belül a magasabb frekvenciájú komponenseket az alacsonyabbak követik, „down-chirp"-ről beszélünk, ellenkezőleg „up-chirp" a neve (4. ábra). Az idő–sávszélesség szorzat a rövid impulzusgenerálás sikerességének a mértéke; jelzi, hogy a legrövidebb impulzust „chirp" nélküli esetben állíthatunk elő. Az 1. táblázatban feltüntettük néhány lézer közeg spektrális sávszélességét és az elméletileg előállítható legrövidebb, Gauss-impulzusok időtartamát.

1. táblázat. Néhány lézerközeg spektrális sávszélességének nagyságrendje és az elméletileg előállítható Gauss-impulzus időtartama

	$\Delta\nu$ (GHz)	t_p [ps]
He-Ne	1	400
AR^+	4	110
Nd: YAG	10	30
Nd: üveg	3000	0,25
Félvezető (GaAs)	10000 (10 nm)	0,05
Festék	30000 (30 nm)	0,02



4. ábra. Impulzus elektromos terének amplitúdóváltozása (a) „down-chirp", (c) „up-chirp" (b) „chirpmentes" esetben

A módusok relatív fázisának a rögzítése megvalósítható a lézer rezonátor valamely paraméterének a periodikus megváltoztatásával, modulálásával. *Aktív módusszinkronizáció* során a rezonátor veszteségeit az $\omega_{\text{mod}}/2\pi = c/2L$, a futási időnek megfelelő frekvenciával periodikusan modulálják. Az amplitúdómoduláció elméletéből ismert módon ekkor minden oszcilláló $A_n \cos n \cdot t$ módus mellett $c/2L$ távolságban oldalsávok jelennek meg azonos fázisban:

$$A_n(1 + \cos\omega_{\text{mod}})\cos\omega_n t =$$

$$A_n\omega_n t + \frac{A_2}{2}\cos(\omega_n \pm \omega_{\text{mod}})t$$

Mivel a longitudinális módusok $\delta\nu = c/2L$ távolságban vannak, ez azt jelenti, hogy a szomszédos módusok oldalsávjai kölcsönösen egymásra esnek, s így az egyes módusok egymáshoz csatolódnak. Szemléletesen úgy tekinthetjük, hogy egy erősítési görbe közepén működő „főmódus" körül megjelennek a modulációs oldalsávok, melyek éppen

egy lehetséges másik módusra esnek, és azt belekényszerítik a megfelelő fázisba. E módszer előnye, hogy jól reprodukálható impulzussorozatot biztosít, hátránya, hogy technikailag magas követelményeket támaszt a lézer rezonátorának és modulátorának stabilitásával szemben.

Ha olyan modulátort helyezünk el a rezonátorban, amelyet maga a lézerben körüljáró fény vezérel, *passzív módusszinkronizációs* technikáról beszélünk. Ilyenkor a rezonátorba ún. telítődő abszorbens anyagot helyeznek el. A telítődő abszorbensnek az a tulajdonsága, hogy transzmissziója intenzitásfüggő; nagy intenzitást kevésbé, a kis intenzitást nagyon elnyeli. Az ilyen lézerekben a rövid impulzus a fluktuációs mechanizmus szerint alakul ki. E szerint a lézersugárzás a spontán zajból fejlődik ki; a spontán zaj egy csúcsa kezdi „nyitogatni" a kapcsoló elemet, aminek a hatására ez a csúcs a háttér rovására nemlineárisan erősödik. Az abszorbensen való áthaladás során a nagy intenzitású komponensek alig gyengülnek, a kisintenzitású csúcsok pedig nagyon. Ez a folyamat minden áthaladás során megismétlődik. A passzív módusszinkronizáció módszerét a festéklézereknél kezdték alkalmazni [8], a keltett impulzusok időtartama 1—10 ps között van. Más típusú lézerrendszerek esetében rendkívül eredményes az aktív és passzív technika együttes alkalmazása; ilyenkor hibrid módusszinkronizációról beszélünk. Alkalmazása impulzus szilárdtest lézerek esetén 0,5 ps időtartam GW teljesítményű impulzusok keltését eredményezheti [26].

Módusszinkronizációt nemcsak a rezonátor veszteségeinek periodikus modulálásával, hanem az optikai erősítés modulálásával, *szinkrongerjesztéssel* is létre lehet hozni. Lényege abban áll, hogy az erősítő anyagot nem folyamatosan, hanem egy $2L/c$, a futási időnek megfelelő periódusú impulzussorozattal gerjesztik. Ekkor az erősítő a rezonátorban körbefutó fénynek csak azt a részét erősíti, amely éppen akkor ér oda, amikor az erősítő gerjesztve van.

3. LÉZERDIÓDÁK ALKALMAZÁSA RÖVID IMPULZUSOK GENERÁLÁSÁRA

Az utóbbi évtized technológiai fejlődése eredményeképp a félvezető lézerek kereskedelmi forgalomban beszerezhető, szobahőmérsékleten megbízhatóan működő, néhányszor tíz milliamper küszöbáramú kicsiny, kompakt eszközök, melyek a 0,5—5 μm-es hullámhossztartományban emittálnak összetételüktől függően. Rövid impulzusok keltésére rendkívül alkalmassá teszi őket az, hogy fényük egyszerűen, a meghajtó áram változtatásával akár több gigahertzes (1 GHz = 10^9 Hz) frekvenciával modulálható és a fényerősítés tartománya relatív széles (összehasonlításul lásd 1. táblázat). A gáz, festék és szilárdtest lézerekhez hasonlóan a „Q kapcsolás" és a módusszinkronizációs eljárások alkalmazhatók rövid, koherens impulzusok generálása; de ennek áttekintése előtt szükség van a lézerdiódák néhány speciális fizikai tulajdonságának ismertetésére.

A félvezető lézeroptikailag aktív tartománya egy minden oldalon magasan adalékolt p-n átmenet. Ha ezt az átmenetet nyitóirányban előfeszítjük, elektronok diffundálnak át a rétegen az n oldalról a p oldalra, és kialakul egy keskeny ($\sim$ 1m) aktív tartomány, ahol az elektronok a vezetési, a lyukak pedig a valenciasávbeli energiaállapotokat töltenek be. Ezek az elektronok stimulált emisszió révén sugárzásos átmenettel rekombinálódnak a valenciasávba, így optikai erősítés alakul ki a tiltott sávnál kissé nagyobb energiákra. A lézerküszöb akkor alakul ki, amikor a keletkezett fotonok száma egyenlő az aktív rétegben abszorbeálódott fotonok számával. A félvezető lézert injekciós lézernek is nevezik; az erősítést az aktív rétegbe injektált töltéshordozók populációinverziója biztosítja.

A lézerdióda rezonátora egy síktükrökből álló Fabry—Perot rezonátor, amelyet az egykristály alapú struktúra hasításakor kialakuló párhuzamos kristály síkok alakítanak ki. A félvezető anyag törésmutatója kb. 3,5; így a határfelület 30 %-os reflexiójú tükröt jelent a sugárzás számára. A modern félvezető diódák szerkezete egy bonyolult, ún. kettős heterostruktúra; ennél a vékony (< 1 μm) aktív réteget olyan tiltott sávú rétegek vesznek körül, melyek összetartják a töltéshordozókat, ugyanakkor — kisebb törésmutatójuk révén — kétdimenziósnak tekinthető optikai hullámvezetőt alakítanak ki. Az aktív réteg geometriai tulajdonságai és az átmeneteken jelentkező törésmutató ugrás szabja meg a p-n átmenettel párhuzamos irányú (transzverzális) módustulajdonságokat. Az átmenet környezetébe növesztett különböző típusú rétegek a töltéshordozók laterális irányú összetartását biztosítják, amely szükséges ahhoz, hogy a lézerküszöb kialakulásához szükséges töltéshordozó koncentráció (küszöbáram) a lehető legkisebb legyen [25].

A félvezető lézerdióda jellege és geometriai mérete néhány, a hagyományos lézerektől eltérő tulajdonságot határoz meg. Bár a felhasználás szempontjából rendkívül kedvező a kicsiny méret, fontos megemlíteni az ebből származó hátrányokat is.

- A dióda hossza $\sim$ 300 μm; ezért a hasított kristályfelületek által kialakított rezonátor futási ideje $2L/c \sim 1$ ps. Ha 900 nm környékén sugárzó GaAs alapú lézert veszünk alapul, a longitudinális módusok távolsága 0,2 nm lesz, tehát a spektrum egymástól 0,2 nm-re lévő csúcsok sorozata.
- A fényvezető aktív réteg vastagsága a fény hullámhosszával összemérhető, ezért a kilépő sugárzás divergenciája nagy, akár 100° is lehet. Ha a dióda rezonátorát járulékos optikai elemekkel bővítjük ki, célszerű a rezonátort alkotó kristályfelület reflexióját antireflexiós bevonattal minimalizálni; lehetetlen azonban divergens nyalábra tökéletes antireflexiós réteget készíteni.

Az említett hátrányokkal szemben ki kell emelni azokat a tulajdonságokat, amelyek nemcsak a kommerciális felhasználó számára teszi vonzóvá a lézerdiódák használatát, hanem a rövid impulzusok generálása szempontjából kiemelkedően fontos.

- A lézerdióda kis mérete miatt kis kapacitású eszköz, melynek a gyakorlatilag néhányszor tíz milliamperes munkaponti áramát gigahertzig rendkívül egyszerű módon lehet modulálni.
- A különböző négykomponensű (kvaterner) vegyületfélvezető felhasználásával a látható (0,6 μm), a doppolt üvegszálat tartalmazó erősítőt pumpáló (1,06—1,15 μm), és az optikai hírközlésben használatos (1,33—1,55 μm) tartományon kívül, egészen 10 μm-es hullámhossztartományig készíthetők félvezető lézerek.
- A félvezető lézerben a sáv-sáv átmenet relatív széles energiatartományban történhet, ezért az optikai erősítés sávszélessége, pl. GaAs anyagú lézert alapul véve folya-

matos injekció mellett elérheti a 10, impulzus üzemben pedig a 30 nm-t [17]. Ennek alapján az elméletileg meghatározható koherens impulzushossz a szubpikoszekundumos időtartományba esik.

A rövid impulzusok keltésének legegyszerűbb módja a direkt moduláció, amikor a lézerdiódát egy gyors áramimpulzussal a lézerküszöb fölé kapcsoljuk. A gyakorlatban a diódán a küszöbáramnál valamivel kisebb egyenáramot hajtanak át (előfeszítik) és erre szuperponálják a kapcsoló impulzust. Ez a működtetési forma egyrészt elektronikai jellegű probléma; az impulzus ideje elsősorban a kapcsoló elektronika gyorsaságától függ, továbbá biztosítani kell, hogy a lézerdióda nagyfrekvenciás szempontból illesztett legyen. A direkt modulációval generálható impulzusok rövidségének fizikai korlátját az jelenti, hogy a dióda nem modulálható tetszőlegesen nagy sebességgel. A dióda nagyfrekvenciás átviteli függvénye egy karakterisztikus frekvenciánál, a relaxáció-oszcilláció frekvenciájánál rezonáns jelleget mutat, ennél nagyobb frekvenciáknál a függvény élesen levág. A kapcsoló impulzus hosszát tehát úgy célszerű megválasztani, hogy a rövidebb legyen, mint a relaxáció oszcilláció egy periódusa. Ezzel a módszerrel 23 ps időtartamú impulzusokat állítottak elő [19] úgy, hogy a dióda nem volt előfeszítve. Előfeszítést és szinuszos modulációt alkalmazott [1], amivel 28 ps-os pulzusokat generált 1,5 GHz ismétlődési frekvenciával. A 20-100 ps-os tartományban a direkt moduláció a legegyszerűbb, hátránya azonban az, hogy az impulzusok nem koherensek. A relaxáció-oszcilláció jelenségének a hatása megszűntethető akkor, ha a lézerdiódán két, egymáshoz közvetlenül kapcsolódó, de függetlenül vezérelhető szegmenset alakítunk ki. Az egyik szegmens folyamatos üzemű lézerként működhet, a másik — gyakorlatilag sokkal rövidebb — szegmenset pedig abszorbensként, Q kapcsolóként használjuk. A többszegmensű lézerek kialakítása technológiailag egy magasabb szintű feladat; működtetésük során a direkt modulációnál már említett nagyfrekvenciás problémákat kell megoldani, hiszen a hatásos Q kapcsolás is egy gyors tranziens eredménye. Ez a módszer alkalmazása 18 ps-os impulzusok előállítását tette lehetővé [2].

A passzív módusszinkronizáció megvalósításához valamilyen telítődő abszorbenst tartalmazó tartományt kell a léterdiódán belül kialakítani. Ilyen tulajdonságot mutat egy félvezető lézer struktúra, amely nagy koncentrációban tartalmaz hibahelyeket. Kristályhibákkal teli tartomány alakul ki egy gyorsított égetési folyamat során, vagy alakítható ki — célszerűen a rezonátorfelület közelében — protonbombázással. Ilyen (a diódát egy alkalmasan választott hosszúságú külső rezonátorba helyezve és egyenárammal meghajtva) 0,5 ps időtartamú, 1 GHz-es önpulzációt figyeltek meg először van der Ziel és munkatársai [35]. Ezután több, hasonló kísérlet eredményeit publikálták, azonban a működési mechanizmus nem pontosan tisztázott [17], [33]. Telítődő abszorbensként működik, ha a lézerdióda aktív rétegének egy néhány μm hosszú szakaszát elektromosan különválasztjuk (többnyire ionimplantációval) és ezt a szegmenst záróirányban feszítjük elő. Ez a rész így lényegében detektorként működik; a rajta áthaladó fény egy része abszorbeálódik úgy, hogy töltéshordozó párokat kelt. A kis térfogat miatt a töltéshordozók koncentrációja annyira megnőhet, hogy az abszorbens szegmens átlátszóvá válik az impulzus további része számára. Ez az intenzitásfüggő abszorpcióváltozás vesz részt az impulzus időtartamának a lerövidítésében [12]. Az abszorbens szegmens feszültséggel vezérelhető, így alkalmas a rezonátor veszteségének modulálására. Aktív módusszinkronizációt akkor tudunk megvalósítani, ha a moduláló jel periódusa a rezonátor futási idejéhez illeszthető. Ha a modulátor vezérlésére 10 GHz-es generátor áll a rendelkezésünkre, kb. 15 mm-es rezonátor hosszat kell biztosítani. Félvezető lézeres alkalmazásoknál ez azt jelenti, hogy a rezonátort külső optikai elemekkel, esetleg integrált optikai módszerekkel a modulálási frekvenciának megfelelően ki kell terjeszteni [11].

A félvezető lézer tulajdonságaiból következik, hogy a rövid impulzusok keltésnek a legegyszerűbb módja a szinkrongerjesztés; tehát a lézer erősítésének közvetlenül a meghajtó áram által történő modulálása. A külső rezonátort leggyakrabban egy kollimátor és egy síktükör segítségével alakítják ki [16], [34], [6], [1], de lehetséges homorú tükör [16]. Az elért eredményeket összefoglalva [5] megállapíthatjuk, hogy 100 MHz — 5 GHz ismétlődési frekvenciával, 10—20 ps időtartamú, közel koherens ($t_p \cdot \Delta\nu \sim 0,4$) impulzusok keltése lehetséges, ha kizárólag a meghajtóáram modulációjával előidézett szinkrongerjesztést alkalmazzuk.

4. LÉZERDIÓDA MŰKÖDTETÉSE KÜLSŐ REZONÁTORBAN

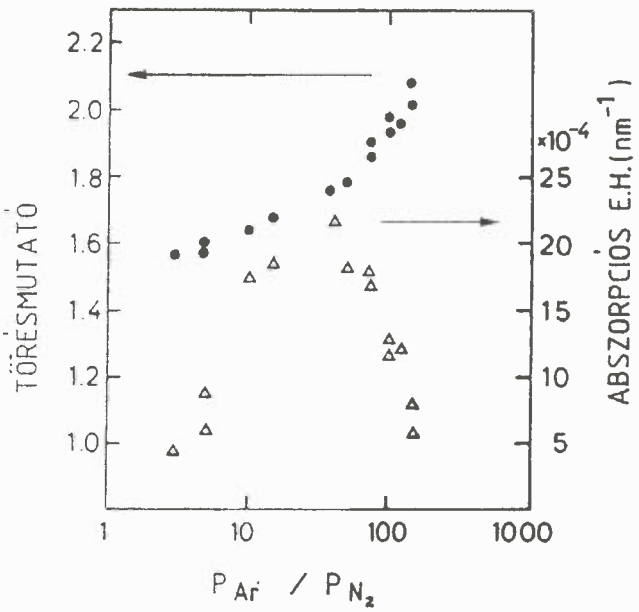
A módusszinkronizáció megvalósításához olyan rezonátorra van szükség, amelynek a futási ideje megegyezik a moduláló frekvenciaperiódusával. Ezért a lézerdiódát egy külső rezonátorhoz kell csatolni. Az optikai csatolás akkor működik hatásosan, ha a dióda egyik oldalát antireflexiós bevonattal látjuk el.

A Fresnel-formulákból [4] ismeretes, hogy az ns törésmutatójú dielektromos réteg reflexiója hullámhosszú fény merőleges beesése esetén zérus, ha $n_s = n^2$ és $n \cdot d = \lambda/4$, illetve ennek páratlan számú többszöröse. Szubsztrátként $= 3,5$ törésmutatójú GaAs-t véve a réteg törésmutatójának optimális értéke $n = 1,87$ kell hogy legyen. A nemsztöchiometrikus Si_3N_4 rendelkezik ilyen törésmutató értékkel, ugyanakkor abszorpciója is kicsi [10]. A nemsztöchiometrikus sziliciumnitrid előállítása, többek között katódporlasztással lehetséges. A katódporlasztásos technológia lényege az, hogy a leválasztani kívánt anyagból (a targetből) nagyfeszültség által felgyorsított nemesgáz ionok atomokat löknek ki, melyek a targettel szemben lévő felületen lecsapódva egy amorf réteget képeznek. A katódporlasztásos eljárás szigetelő dielektrikumok porlasztására is alkalmas, ha a targetre negatív potenciálon kívül egy nagy teljesítményű nagyfrekvenciás (szabványosan 13,56 MHz) jelet is kapcsolunk. A plazmában lévő szabad elektronok és az ionok mozgékonyságkülönbsége miatt a szubsztrát és a target között egy elektromos tér alakul ki; az ionáram pedig a szigetelő targeten, mint egy kondenzátor dielektrikumán keresztül, eltolási áram formájában folyik. A katódporlasztás előnyei a szokásos, párologtatásos, elektronsugaras vagy kémiai leválasztásokkal szemben a következők:

- Az eljárás folyamán a szubsztrát hőmérséklete nem emelkedik jelentősen; ez a lézerdióda, mint rendkívül érzékeny félvezető eszköz szempontjából előnyös.

- A réteg növekedési sebessége viszonylag lassú (3—10 nm/perc), és jól kontrollálható: tehát az optimális rétegvastagság jól meghatározható.
- A plazma összetételét változtatva a leválasztott amorf réteg egyik összetevőjéből felesleg épülhet be; a réteg anyaga nemsztöchiometrikussá tehető.

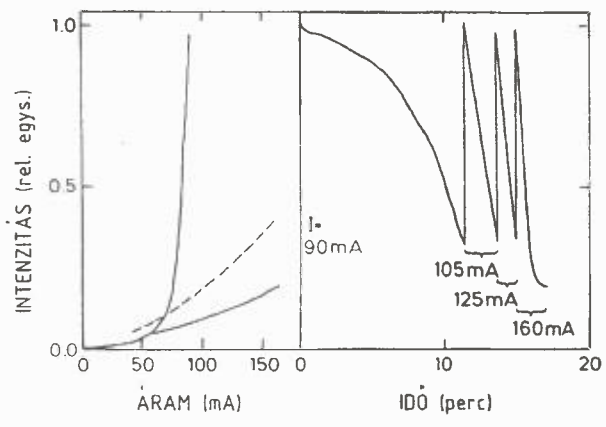
Az 5. ábrán a porlasztott réteg törésmutatóját és abszorpciós együtthatóját ábrázoltuk az alkalmazott nitrogén parciális nyomás függvényében. Látható, hogy a törésmutató a növekvő argon parciális nyomással együtt monoton növekszik, és $P_{Ar}/P_N = 150$ értéknél eléri a sztöchiometrikus szilíciumra jellemző $n = 2$ körüli értéket. Az abszorpciós együttható maximumot mutat, amikor relatív nagy, $P_{Ar}/P_N = 40$ parciális nyomásnál nitrogén felesleg épül be a rétegbe.



5. ábra. Porlasztott sziliciumnitrid réteg törésmutatójának (fekete pontok) és abszorpciós együtthatójának (háromszögek) változása a nitrogén parciális nyomásának függvényében

A félvezető lézer aktív tartományából kilépő fény divergenciája a vékony hullámvezető réteg miatt nagy, ezért egy antireflexiós réteg különböző módusokra vonatkozó maradék reflexiója különbözik a síkhullámokra vonatkozó, a Fresnel-formulák által meghatározott értékétől, [9] részletes numerikus analízise megmutatta, hogy az optimális reflexiómentesítő bevonat paraméterei kissé eltérnek a $\lambda/4$-es illesztő réteg paramétereitől. Számításának eredményét felhasználva, az $n_s = 3,5$ törésmutatójú rezonátorfelületre $n = 1,82$ törésmutatójú réteget választottunk le. Az optimális rétegvastagságot a maradék reflexió hatásának in-situ mérésével határoztuk meg; a növesztési folyamatot a minimális maradék reflexió elérésénél szakítottuk meg. A lézerműködés in-situ kontrollja lehetővé teszi, hogy a reflexió minimum az aktuális lézer hullámhosszához legyen illesztve. Ezáltal biztosítva van az is, hogy az alacsony maradék reflexiójú tartomány és a lézer erősítési tartománya átfedi egymást. A rétegnövekedés in-situ ellenőrzésének szükségességét igazolja az a tény is, hogy pl. 5 nm/perc növesztési sebesség esetén a reflexiós minimumhoz tartozó hullámhossz ~ 36 nm/perc sebességgel tolódik a növekvő hullámhosszak felé ($\lambda = 4 \cdot n \cdot \Delta d$). Ha a reflexiós minimumot néhány nm-es hullámhossz tartományra kívánjuk beállítani, a növesztési folyamatot a perc tört része alatt meg kell szakítani. A lézerdiódát, a melegedés elkerülése érdekében impulzusüzemben működtetjük, a meghajtó árammal arányos feszültséget egy soros ellenálláson mérhetünk. Az esetleges feszültségtranziensektől a lézerdiódát egy ellenkező polaritással párhuzamosan kapcsolt gyors egyenirányító dióda védi. A lézer hátsó (nem bevonandó) rezonátorfelületéről kilépő fényt a vákuumrendszerből egy fényvezető kábellel vezetjük ki és intenzitását egy kis felbontású monokromátoron keresztül PIN diódával mértük. A lock-in erősítő nagyon kis jelek zajmentes mérését teszi lehetővé; használatával leválasztható a plazmából származó fény zavaró hatása. Az x-y írót a fényteljesítmény-áram karakterisztika mérésére, az x-t író pedig az intenzitás időbeli változásának regisztrálására szolgál. A monokromátort a növesztési folyamat megkezdése előtt a lézer emissziós spektrumának maximumára kell állítani, így a rétegnövekedésnek az erősítési görbe maximumának megfelelő hullámhossznál kifejtett hatását figyelhetjük meg szelektíven.

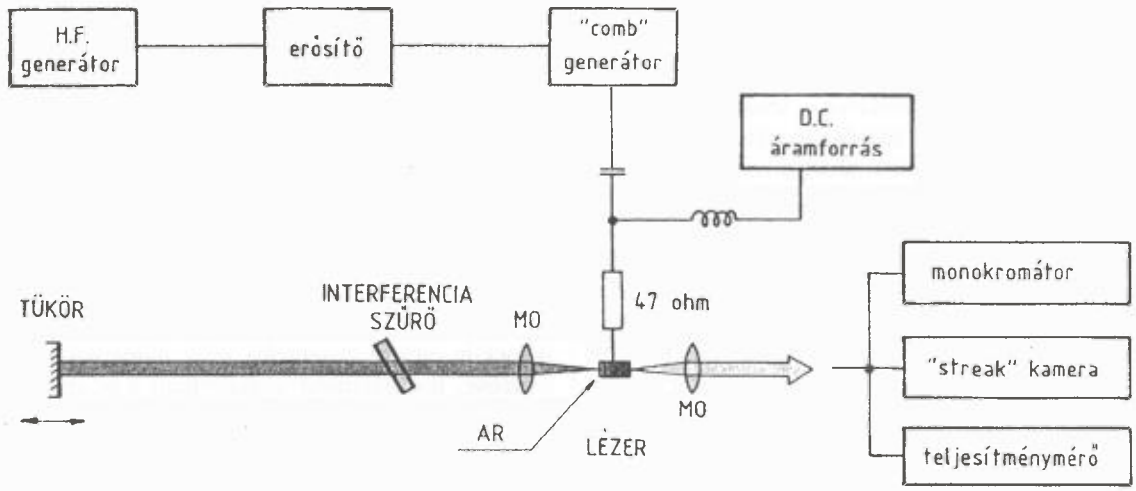
A 6. ábra egy 830 nm-en sugárzó lézerdióda fényteljesítmény-áram karakterisztikáját mutatja be a növesztési folyamat előtt és után, a jobb oldalon pedig a növesztési folyamat közben fellépő intenzitás csökkenés látható. Az antireflexiós réteg növekedése közben a rezonátorfelület reflexiója, és így a hátoldalon kilépő fény intenzitása monoton csökken. Az optimális vastagság elérését a lézerműködés megszűnésével együttjáró határozott intenzitásminimum jelzi. A lézerdióda meghajtó áramát a pontosság növelése érdekében több lépésben megnöveltük. A rétegnövekedés sebességét figyelembe véve megbecsülhető, hogy ezzel a mérési módszerrel egy adott hullámhosszon hatásosan működő antireflexiós réteg vastagsága 1 nm-en belül megegyezik az optimális értékkel.



6. ábra. Lézerdióda fényteljesítmény-áram karakterisztikája a porlasztási folyamat előtt és után, valamint az in-situ mért intenzitás a porlasztás idejének függvényében

Az ellenőrző mérések szerint, a vastagságmérés in situ kontrollján alapuló eljárás, a GaAs alapú lézerek 830 nm körüli emissziós hullámhosszán hatásos antireflexiós réteg készítése esetén, tipikusan 10^{-4} maradék reflexió elérését tette lehetővé.

A 7. ábra a külső rezonátor felépítését, a lézerdióda meghajtására szolgáló elektronika kapcsolási vázlatát, valamint a kilépő fényimpulzusok tulajdonságainak a mérésére szolgáló összeállítást mutatja be.



7. ábra. A külső rezonátor felépítése, a lézerdióda meghajtására szolgáló elektronika kapcsolási vázlata és a fényimpulzusok mérésére szolgáló összeállítás (MO: mikroszkópobjektív, AR: antireflexiós réteg)

A kísérleteink során kereskedelemben kapható Hitachi gyártmányú HLP 1400 típusú lézerdiódákat használtunk, melynek paramétereit – a gyári katalógus alapján – a 2. táblázatban tüntettük fel. Ez a típus kísérleti célokra nagyon jól használható tokozatlan eszköz, melynek felépítése olyan, hogy mindkét rezonátorfelületről kilépő fénysugár útja szabad.

2. táblázat. Hitachi gyártmányú, HLP 1400 típusú lézerdióda katalógusadatai

Szerkezet	Channeled Substrat Planar
Maximális teljesítmény (mW)	15
Hullámhossz (nm)	830
Küszöbáram $I)$th (mA)	60
Munkaponti áram I_0 (mA)	$I_{\text{th}} + 25$
Munkaponti teljesítmény P_0 (mW)	5
Sugárdivergencia $\|\| \times \perp$ (°)	10×25

Az antireflexiós réteggel bevont lézerdiódát egy Peltier-elemet tartalmazó hőmérsékletstabilizált befogóra szereltük. A lézerdióda antireflexiós rezonátorfelületével szemben, attól L távolságra, mikropozícionálókkal szerelt dielektrikum rétegekből készített tükröt helyeztünk, melynek reflexiója 830 nm-en $\sim$ 98 %. A lézerből kilépő divergens nyalábot egy 6 mm-es fókusztávolságú, 0,35 numerikus apertúrájú mikroszkópobjektív segítségével fókuszáltuk vissza a külső tükrön keresztül. A Fabry–Perot rezonátor ebben az összeállításban a lézerdióda hasított (nem bevont), kb. 30 % reflexiójú rezonátorfelülete és a külső tükör alkotja. A rezonátor hosszát $\sim 1,75$ m-nek választottuk, ami kb. 12 ns-os futási időnek ($\sim$ 85 MHz) felel meg. A rezonátor hosszát a tükör mozgatásával μm-es pontossággal lehetett megváltoztatni; ez biztosította a rezonátor futási idejének a moduláló frekvenciaperiódusával való nagypontosságú szinkronizálását. A rezonátor külső tükrének, valamint a mikroszkópobjektív munkatávolságának jusztírozásával az optikai visszacsatolás optimalizálható. A jusztírozás úgy történt, hogy a diódára az eredeti (antireflexió nélküli) küszöbáramnál valamivel nagyobb áramot kapcsoltunk, és mértük az optikai teljesítményt. A jól beállított külső rezonátornál a rendszer küszöbárama kb. 10 %-kal kisebb az eredeti lézer küszöbáramánál. Ez azt jelenti, hogy a mikroszkópobjektíven keresztül történő becsatolási veszteség ellenére is külső tükör hatása dominál. A külső rezonátor sugármenetét blokkolva, a lézereffektus megszűnik.

A külső rezonátorba egy elfordítható állványra keskeny sávú ($\Delta\lambda = 5$ nm) interferenciaszűrőt helyeztünk, amelynek transzmissziója a lézer 830 nm-es hullámhosszánál 98 %. Ennek kettős rendeltetése van, egyrészt meghatározza az emisszió sávszélességét; másrészt lehetővé teszi a lézer hullámhosszának folyamatos változtatását azon a tartományon belül, ahol az antireflexiós réteg hatásosan működik. Az interferenciaszűrő transzmissziójának csúcsa a rövidebb hullámhosszak felé tolódik el, ha a fénysugár nem merőlegesen, hanem növekvő beesési szöggel halad át a szűrőn. Hullámhossz szelektív elemként szokás reflexiós rácsot is alkalmazni [3], ebben az esetben a rács tölti be a külső tükör funkcióját is.

Ha a lézer hullámhosszát az erősítés maximumához tartozó hullámhossztól elhangoljuk, a küszöbárama megnövekszik. Kísérleteink során a lézerre mindig az aktuális küszöbáramnál kisebb meghajtó áramot kapcsoltunk. A szinkrongerjesztés – a rezonátor futási idejének megfelelő periódussal – rövid, nyitóirányú elektromos impulzusokkal történt egy LC körből álló leválasztó tagon (HP 33150A bias-tee) keresztül. A 150 ps időtartamú, 250 mA amplitúdójú áramimpulzusokat egy tűimpulzus generátor (HP 33002A comb generátor) szolgáltatta, melynek a meghajtásához szükséges 0,5 W-os szinuszos teljesítményt digitális pontosságú nagyfrekvenciás generátor (frekvenciaszintetizátor) jelének erősítésével állítottunk elő. A reflexiómentes illesztettség érdekében közvetlenül a lézerdiódára egy 47 Ω indukciómentes ellenállást forrasztottunk. Figyelembe véve a lézer néhány ohmos differenciális ellenállását, az 50 ohmos meghajtó rendszer nagyfrekvenciás szempontból lezártnak tekinthető. A lézerdióda hasított, nem bevont rezonátorfelületéről kilépő fény hasznosítható; mikroszkóp objektív segítségével a divergens nyaláb kollimálható, vagy egy pontra fókuszálható. A párhuzamos nyalábot féligáte-

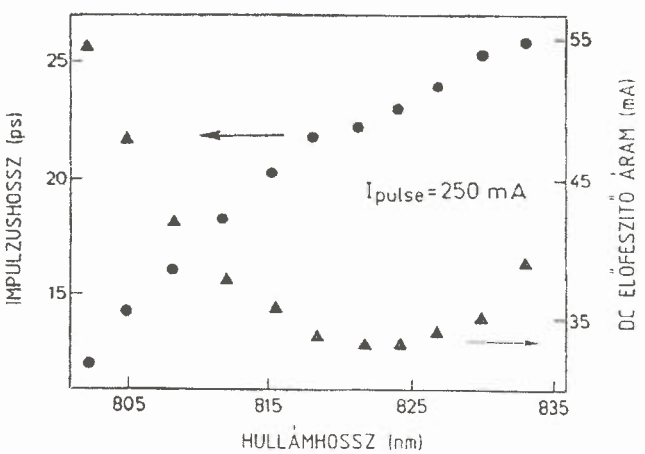
resztő tükrökön keresztülvezetve, a kilépő impulzussorozat teljesítményét, spektrális és időbeli tulajdonságait egyidejűleg mérhettük. A gyors félvezető detektorok, a lavina diódák felbontóképessége kb. 100 ps, ezért a rövid impulzusok mérésére egy különleges eszközt, „streak-kamerát" használtunk. Működésének lényege a következő: egy fényérzékeny ernyőre vetített impulzusszorozat hatására az intenzitással arányos számú elektron emittálódik, amelyet gyorsító feszültség hatására fluoreszcens ernyőre képeznek le. Ha az elektronnyalábot, irányára merőlegesen, egy lineárisan változó elektromos tér téríti el, akkor a képernyőn, az impulzus időtartamától függő mértékben, az eltérítés irányába „elkenődött" kép jelenik meg, aminek az intenzitás eloszlását mérjük. A kamera hitelesítése Michelson interferométerrel történik. A fénysugarat kettéosztva, az egyik nyalábot késleltetve a kamera képernyőjén kettőzött impulzusok jelennek meg; a késleltetési idő az interferométer méretéből meghatározható. A periodikusan ismétlődő nagyfeszültségű triggerelt eltérítő jel frekvenciája 80 – 100 MHz lehet; ehhez a frekvenciához alkalmazkodva végeztünk kísérleteinket 1,8 m-es külső rezonátorban.

10 ps-nél rövidebb impulzusok mérése nemlineáris optikai effektus felhasználásával történik, úgy hogy az időtartam mérését hosszúságmérésre vezetjük vissza. Az autokorrelációs mérési technikánál frekvenciakétszerező nemlineáris optikai kristályt (a közeli infravörös tartományban $LiIO_3$-t vagy βBBO-t) használunk. A fénysugarat Michelson interferométerben nyalábosztóval két, azonos intenzitású nyalábra választjuk és változtatható késleltetés után mindkettőt a nemlineáris kristály ugyanazon pontjára fókuszáljuk. A frekvenciakétszerezett fény intenzitása a beeső fény intenzitásának négyzetével arányos. Ha időben a két impulzus átfedi egymást a második harmonikus intenzitás maximumot mutat. A késleltetés megváltoztatásával az intenzitás csökken, mert a két impulzus csak részlegesen fedi át egymást. A frekvenciakétszerezett fény intenzitását egy egyszerű, lassú detektorral mérhetjük; az autokorrelációs függvény a késleltetés folyamatos változtatásával felrajzolható. Az impulzushossz az autokorrelációs függvény félértékszélességéből becsülhető meg; pontos értéket úgy kapunk, ha valamilyen impulzusformát feltételezve, az annak megfelelő, elméletileg meghatározott autokorrelációs függvényt illesztjük a mérésre [18]. Ezzel a mérési módszerrel gyakorlatilag 10 fs-os (1 fs = 10^{-15} s) felbontás realizálható; ez a késleltetést létrehozó interferométer egyik tükrének 0,15 μm-es elmozdítását jelenti.

5. AZ EMISSZIÓ HULLÁMHOSSZÁNAK VÁLTOZTATÁSA

A lézerdióda erősítésének maximuma környezetében hatékony antireflexiós réteg lehetővé teszi, hogy a külső rezonátor hullámhossz-szelektív elemével az emisszió hullámhosszát egy viszonylag széles tartományon belül megváltoztassuk. Az itt bemutatott méréseket egy olyan lézerdiódával végeztük el, melynek a küszöbárama interferenciaszűrőt nem tartalmazó külső rezonátorban $I^*_{th} = 54$ mA volt. Ilyen körülmények között a lézerdióda eredeti, erősítési maximumának megfelelő hullámhosszon emittál. Ha a külső rezonátorba helyezett interferenciaszűrő alkalmazásával ettől a hullámhossztól eltérünk, a küszöbáram megnövekszik, hiszen az erősítés csökken. A hullámhossz megváltoztatható mindaddig, amíg az antireflexiós réteggel bevont rezonátorfelület maradék reflexiója okozta optikai visszacsatolás nem eredményez egy, a külső rezonátortól független lézerküszöböt. A mérésben alkalmazott lézerdiódánál a meghajtó áramot az eredeti küszöbáram több, mint kétszeresére lehet növelni úgy, hogy a külső rezonátor tükrét letakarva, lézerműködés nem volt megfigyelhető. Ez az áramtartomány, interferenciaszűrőt tartalmazó külső rezonátorral, közel 50 nm-es hullámhossztartományon belüli hangolhatóságot tett lehetővé.

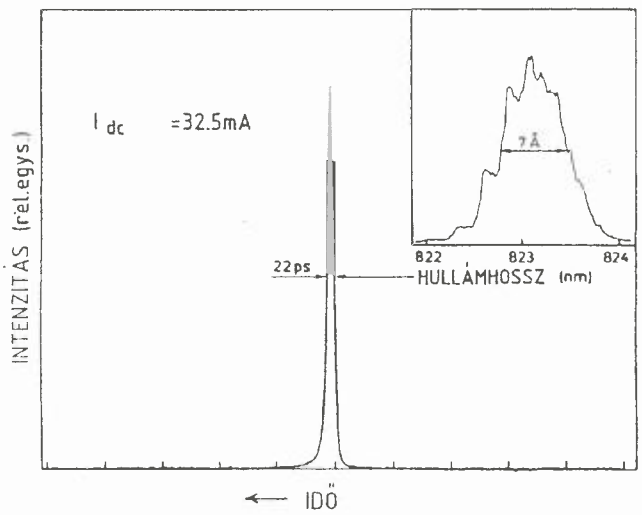
A 8. ábra bemutatja a mért fényimpulzus időtartamokat az emittált fény hullámhosszának függvényében. A kísérlet során a dióda erősítését állandó I_{pulse} = 250 mA amplitúdójú áramimpulzusokkal moduláltuk; az egyenáramú komponenst úgy választottuk meg és a rezonátor hosszát úgy korrigáltuk, hogy adott hullámhosszon a legrövidebb, monoton lefutású, ún. szatellitmentes fényimpulzust kapjunk. A tapasztalat ugyanis azt mutatja, hogy az optimálisnál kissé rövidebb rezonátor, vagy nagyobb d.c. komponens alkalmazása esetén az impulzust egy kisebb amplitúdójú szatellit követi. Ennek az a magyarázata, hogy vagy a fényimpulzus érkezik a moduláló jelhez képest „túl korán" az erősítő aktív rétegbe, vagy pedig az erősítés túl nagy. Így a fényimpulzushoz képest lassú töltéshordozó injekció az erősítést, az impulzus áthaladása után, ismét a küszöbérték fölé növeli. A szinkrongerjesztés létrehozásának az érzékenységére jellemző, hogy a legrövidebb mért hullámhosszon az egyenáramú komponenst csak $\pm 0,5$ mA-en, a rezonátorhosszat pedig ± 20 μm-en belül (a rezonátorhossz 1,7 m) lehetett megváltoztatni, anélkül, hogy az impulzus időtartama, vagy alakja megváltozott volna. Az erősítés maximumánál ez az érzékenység csökken; az optimálisnál 1 mm-rel rövidebb rezonátor esetén szatellit jelenik meg, 1 mm-rel hosszabb pedig az impulzus eltűnéséhez vezet. Az impulzussorozat átlagteljesítménye 0,4 mW, ami a kitöltési idő figyelembevételével 250 mW csúcsteljesítményt jelent.



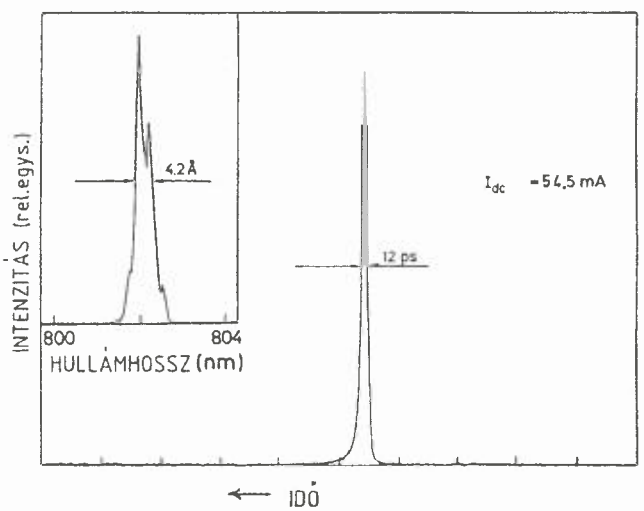
8. ábra. Az impulzusidőtartam mért értékei (fekete pontok) és a hozzátartozó optimális egyenáramértékek (háromszögek) a hullámhossz függvényében. Az eredeti lézeremisszió hullámhossza 824 nm.

Hangolva a lézert 825 nm-től 802 nm-ig, a mért impulzus félérték folyamatosan csökken 26 ps-tól 12 ps-ig. Figyelembe véve a streak kamera véges, 10 ps-os felbontóképességét, ez 24 ps, illetve 7 ps tényleges időtartamnak felel meg.

A 9. ábrán a 824 nm-en, az erősítés maximumánál mért streak kamera felvétel, a 10. ábrán pedig a 802 nm-en felvett látható. Mindkét ábra tartalmazza az impulzusok nagyfelbontású (10^{-3} nm) spektrumát is. A 824 nm-en mért spektrum gyakorlatilag alig, míg a 802 nm-en mért kissé modulált; ezen négy különálló csúcs figyelhető meg. Ez azzal magyarázható, hogy az antireflexiós réteg a növesztés során az erősítés maximumára volt optimalizálva, 802 nm-en a réteg maradékreflexiója által okozott, a lézerdióda Fabry–Perot rezonátorához tartozó moduláció jelenik meg. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az erősítés maximumánál előállított, viszonylag hosszú impulzusért nem a nem tökéletes antireflexiós réteg felelős, hiszen a nagyobb maradék reflexiójú hullámhossztartományban rövidebb impulzusok generálhatók. Azonban optimális paraméterekkel rendelkező antireflexiós réteg szükséges ahhoz, hogy a hangolhatósági tartomány minél szélesebb legyen, függetlenül attól, hogy az erősítés hullámhosszánál nagyobb hullámhosszú tartomány az impulzusrövidülés szempontjából érdektelen.



9. ábra. Streak kamera felvétel és az emisszió spektruma 824 nm-en

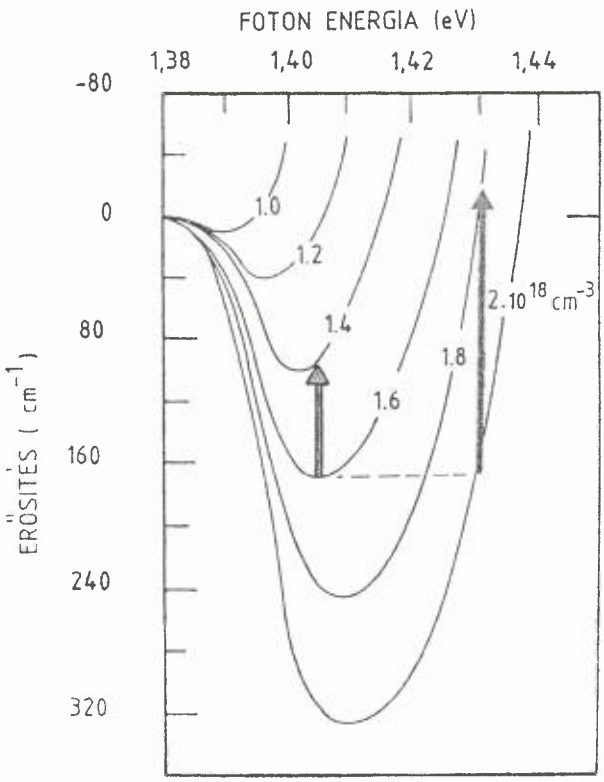


10. ábra. Streak kamera felvétel és az emisszió spektruma 802 nm-en

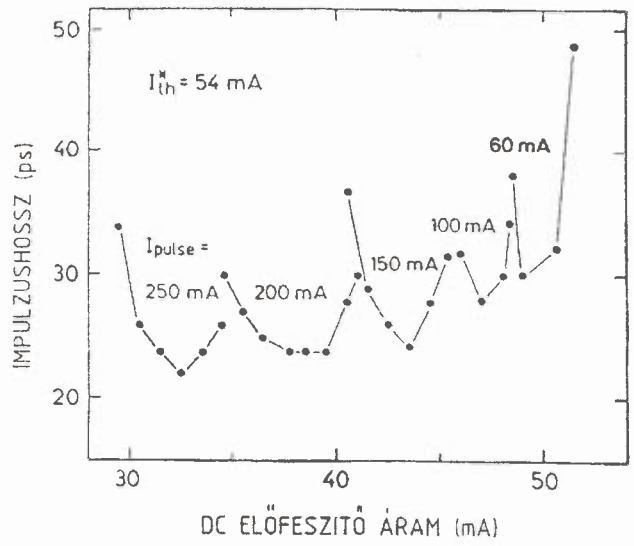
A módusszinkronizált rendszer által kibocsátott fényimpulzusok időtartamának határozott hullámhosszfüggését a félvezető lézer erősítésének dinamikus viselkedésével lehet megmagyarázni. A fénykibocsátás az aktív rétegbe injektált töltéshordozók rekombinációjának az eredménye; egy fényimpulzus kialakulása közben a töltéshordozók koncentrációja csökken, ami egyben a Fermi szintek csökkenését is jelenti.

A 11. ábra a GaAs alapú lézerdióda erősítésének a kibocsátott fotonok energiájától való függését mutatja be, különböző N töltéshordozó koncentráció esetén [7]. Tételezzük fel, hogy egy fényimpulzus keletkezése közben a töltéshordozó koncentráció $\Delta N = -2 \times 10^{-17}$ cm^{-3}-t változik. Látható, hogy ez a koncentráció változás az erősítés maximumához tartozó energiánál magasabb energiájú fény erősítése esetén nagyobb erősítésváltozással jár együtt, mint az erősítés maximumánál.

Így magasabb energiák esetén, a Fermi-nívók közelében, egy impulzus keletkezése közben az erősítési tranziens gyorsabb és abszorpciót is eredményezhet. Ez az abszorpció hatásosan vesz részt az impulzus lefutó élének formálásában: az impulzus rövidülését eredményezi.



11. ábra. GaAs alapú lézerdióda erősítése a kibocsátott foton energiájának függvényében, különböző töltéshordozó koncentráció esetén [7]



12. ábra. Az erősítés maximumánál ($\lambda = 824$ nm) mért impulzushosszak az előfeszítő áram függvényében, különböző I_{pulse} amplitúdójú áramimpulzusokkal történő moduláció esetén. A lézerdióda külső rezonátorban mért küszöbárama $I^*_{\text{th}} = 54$ mA

6. KOHERENS IMPULZUSOK ELŐÁLLÍTÁSA

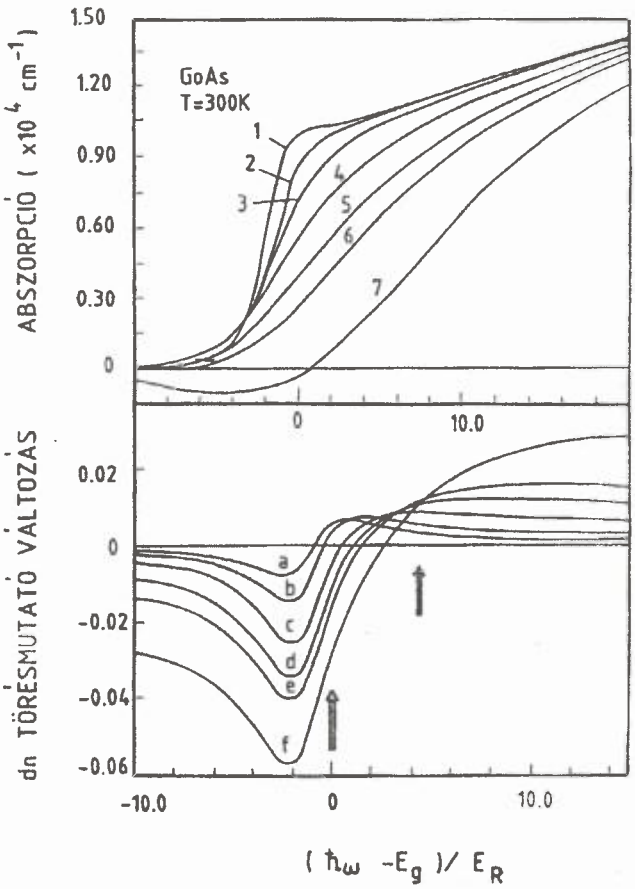
Visszatekintve az előző részben leírt kísérlet eredményeire, megállapíthatjuk, hogy a lézer emissziójának a rövidebb hullámhosszak felé történő megváltoztatása nemcsak az impulzusok időtartamának rövidülését, hanem az impulzus időtartam–sávszélesség szorzat jelentős csökkenését is eredményezi. Felhasználva a 9. és 10. ábrán feltüntetett mérési eredményeket, az erősítés maximumánál keltett impulzusra az idő–sávszélesség szorzat értéke $\sim$ 6-nak, míg a 802 nm-es $\sim$ 1,4-nek adódik. Látható tehát, hogy a rövidebb hullámhosszaknál keltett impulzusok koherenciatulajdonságai kedvezőbbek, azonban az idő–sávszélesség szorzat, még itt is meghaladja az elméletileg meghatározott értéket. Ez azt jelenti, hogy az impulzus időtartama alatt jelentős frekvenciaeltolódás (chirp) történik, amit törésmutató változásnak tulajdonítunk. A fényimpulzus kibocsátása közben az aktív rétegbe injektált töltéshordozók koncentrációja a rekombináció miatt csökken. A koncentráció változása törésmutató változással jár együtt, amelynek két komponense van [28]: a szabad töltéshordozók abszorpciója által okozott törésmutató változás, valamint az abszorpciós él eltolódása miatt keletkezett járulék.

Adott λ hullámhosszon a szabad töltéshordozók abszorpciója által indukált δn_c törésmutató változás nem más mint az optikai térben mozgó, szabad elektronokból és lyukakból álló plazma által okozott diszperziós effektus, amely arányos a töltéshordozó koncentrációval [14]:

$$\delta n_c = -\frac{r_0}{2\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{n} \cdot \left(\frac{N}{m_c} + \frac{P}{m_h} \right)$$

ahol $r_0 = 2,82 \times 10^{-13}$ cm, a klasszikus elektronsugár, m_e, m_h elektron, ill. lyuk effektív tömeg; N, P elektron, ill. lyuk koncentráció, n a törésmutató. GaAs lézerek esetén $\delta n_c = (-1,5 \times 10^{-21}\ \text{cm}^3) N$ vagy, figyelembe véve egy szokásos lézerdióda paramétereit, ($\delta n_c \approx -0,006$ a lézerküszöbhöz tartozó töltéshordozó koncentrációnál.

Ha az aktív rétegbe injektált töltéshordozók koncentrációja kicsi ($N < 10^{18}$ cm^{-3}), akkor a tiltott sáv energiájánál nagyobb energiájú fotonok abszorbeálódnak; a stimulált emisszió hiánya miatt erősítés nem jön létre. A koncentráció növelésével, a sáv betöltődésével, az abszorpciós él a magasabb energiák felé tolódik el. Ez a „Burnstein–Moss shift", amely közelítőleg arányos az injektált töltéshordozó koncentrációval [29]. Az abszorpciós spektrum eltolódása által okozott törésmutató változás a Kamers–Kronig transzformációval határozható meg. A 13. ábra a szobahőmérsékletű GaAs abszorpciós spektrumát és az eltolódásából számított törésmutató változást mutatja be [24] alapján. A töltéshordozó koncentráció legkisebb értéke 10^{15} cm^{-3}, ami az injekció nélküli, dopolásból származó érték; a legnagyobb koncentráció pedig, $1,5 \times 10^{18}$ cm^{-3}, a lézerküszöb eléréséhez szükséges, térfogategységbe injektált töltéshordozók száma. Az ábrán a, b,..., f betűkkel jelzett dn változás alatt a 10^{15} cm^{-3} koncentrációhoz tartozó törésmutatótól való eltérés értendő. A törésmutató változás a lézerküszöb elérése esetén $dn \approx -0,04$ a tilos sáv energiájának megfelelő fotonenergiánál és gyorsan csökken, sőt előjelet is vált nagyobb energiák, azaz rövidebb hullámhosszak felé.



13. ábra. GaAs számított abszorpciós spektruma különböző töltéshordozó koncentráció esetén [(1) 10^{15}, (2) 8×10^{16}, (3) 2×10^{17}, (4) 6×10^{17}, (5) 10^{18}, (6) 15×10^{18}, (7) 2×10^{18} cm^{-3}], valamint a spektrum eltolódásából Kramers–Kronig transzformációval meghatározott törésmutató változás [24] alapján. Az **a** *jelű görbe $\alpha(1) - \alpha(2)$, a* **b** *jelű $\alpha(1) - \alpha(3)$, ...stb. abszorpciós változáshoz tartozik. A vízszintes tengelyen $E_g = 1,42$ eV és $E_R = 4,2$ meV.*

A GaAs emissziós hullámhosszánál a törésmutató változást elsősorban a töltéshordozó koncentráció változás által indukált dn komponens határozza meg, hiszen a szabad töltéshordozók abszorpciójából származó δn_c járulék közel egy nagyságrenddel kisebb. dn értéke a rövidebb hullámhosszak felé gyorsan csökken és elvileg kompenzálhatja δn_c járulékát.

A fényimpulzus keletkezése közben a törésmutató változás miatt létrejövő hullámhossz eltolódást

$$d\lambda/\lambda \propto dn/n$$

összefüggés határozza meg [27]. Mivel az impulzus kibocsátása alatt a töltéshordozó koncentráció csökken, dn (az erősítés maximuma környezetében biztosan) pozitív, ezért az impulzuson belül hullámhossz növekedésre, „down-chirp" jelenlétére számítunk.

Koch és Bowers [26] elméletileg bizonyította, hogy a lézerdióda modulációjával keltett impulzusok esetén a sávszélesség–idő szorzat

$$t_p \cdot \Delta v = c \cdot \sqrt{1+\alpha^2}$$

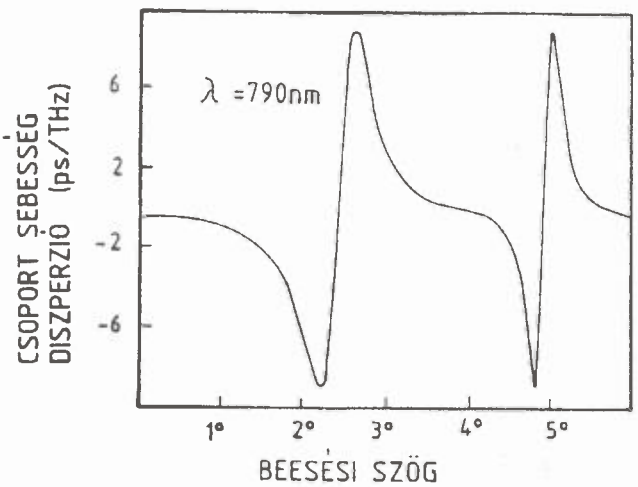
alakban írható fel, ahol a c constans a koherens impulzusra jellemző érték. Az ettől való eltérést az α, az ún. emissziós vonalszélességet meghatározó faktor okozza

$$\alpha = -\frac{4\pi}{\lambda}\frac{dn/dN}{dg/dN}$$

A számlálóban a dN koncentrációváltozás által indukált törésmutató-változás, a nevezőben pedig erősítésváltozás jelenik meg (ez a differenciális erősítés, amely a 11. ábra szerint, növekvő fotonenergiák felé növekszik).

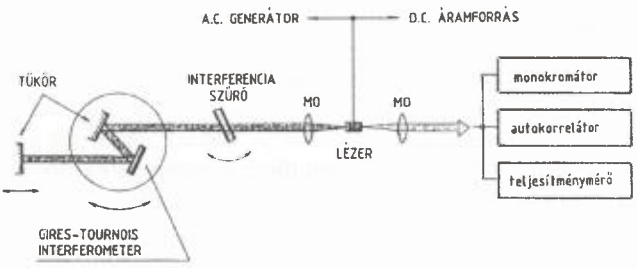
A külső rezonátorban végzett kísérletek eredményei alapján megállapítottuk [32], hogy hangolva a lézert a rövidebb hullámhosszak fel, nem impulzusok rövidülnek, hanem a koherenciatulajdonságot jellemző impulzus időtartam–sávszélesség szorzat is csökken, amit a törésmutató-változással együttjáró chirp csökkenése magyaráz. Az faktor pontos ismerete arra utal, hogy magasabb energián az impulzus kialakulásához szükséges koncentrációcsökkenés által okozott erősítés és törésmutató változás mechanizmusa egyidejűleg vesz részt a koherens impulzus kialakításában.

Az a tény, hogy az abszorpciós él eltolódása által indukált törésmutató változás a magasabb fotonenergiáknál előjelet vált és ebben az energiatartományban a módusszinkronizált impulzusok időtartama csökken, arra engedne következtetni, hogy megfelelő mértékű elhangolás esetén „transzform-limitált" impulzusokat generálhatunk. Az elhangolás mértékét azonban korlátozza az, hogy az antireflexiós réteg maradék reflexiója nem nulla és a lézerdióda – elsősorban termikus tulajdonságai miatt – nem gerjeszthető tetszőlegesen nagy árammal. Mivel a lézerdiódát az elhangolhatóság határán működtetve sem kaptunk $t_p \cdot \Delta\nu \approx 1$-nél kisebb értékeket, a maradék chirp kompenzálását a külső rezonátorba helyezett Gires–Tournois interferométer (GTI) segítségével kíséreltük meg [31]. A GTI tulajdonképpen egy 300 μm vastag kvarcból készült Fabry–Perot etalon, melynek egyik felülete 30, a másik pedig 100 % reflexiójú dielektrikum rétegekből álló tükörrel van bevonva [21]. A GTI-re eső fénysugár beesési szögét kismértékben változtatva az etalon rezonátorhossza változik, így különböző beesési szögeknél a $\Phi(\omega$ fázis $d\Phi/d\omega$-val definiált fáziskésése és $d^2\Phi/d\omega^2$-tel definiált csoportsebesség diszperziója is változik. A mérés során használt GTI csoportsebesség diszperzióját a beesési szög függvényében a 14. ábra mutatja be, J. Kuhl számolása alapján. A csoportsebesség diszperzió, a GTI néhány fokos elforgatásával, a -8 és $+8$ ps/THz tartományban változtatható folyamatosan és így, az ebbe a tartományba eső lineáris frekvenciaeltolódás („up" vagy „down" chirp) kompenzálására alkalmas.



14. ábra. A Gires–Tournois interferométer csoportsebesség diszperziójának számolt értékei különböző beesési szögek esetén

A külső rezonátorba helyezett GTI-vel módosított mérési összeállítás a 15. ábrán látható. Az interferométert egy 100 % reflexiójú tükörrel párhuzamosan egy forgatható asztalra szereltük, így a beesési szög változtatásánál a külső rezonátor hossza nem változik meg. Az impulzushossz meghatározása nemlineáris optikai kristályban ($LiIO_3$) keltett frekvenciakétszerezett fény intenzitásának mérésével, autokorrelációs technikával történt. A lézerdióda gerjesztési körülményei a előzőekben bemutatott mérési összeállítással azonosak voltak.



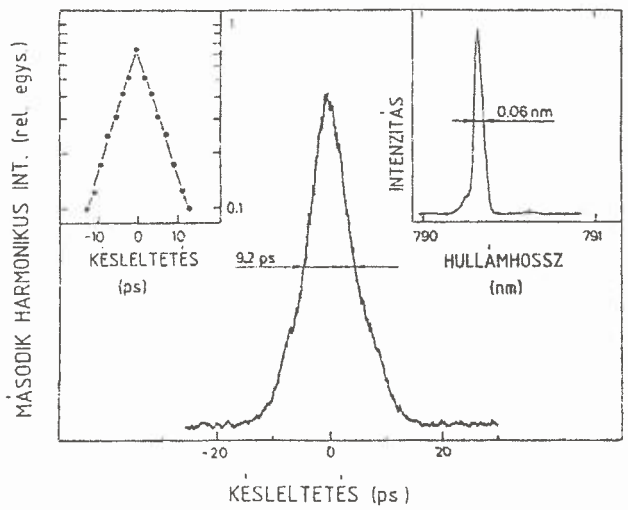
15. ábra. A Gires–Tournois interferométerrel kiegészített külső rezonátoros mérés sematikus rajza (MO: mikroszkópobjektív)

A 16. ábrán a 790 nm-en keltett legrövidebb impulzus autokorrelációs függvényét mutatja be, a hozzátartozó spektrummal együtt. Az autokorrelációs függvény exponenciális lefutású, amit a második harmonikus intenzitásának logaritmikus léptékben való ábrázolása is bizonyít. Az exponenciális lefutású impulzus autokorrelációs függvényét az

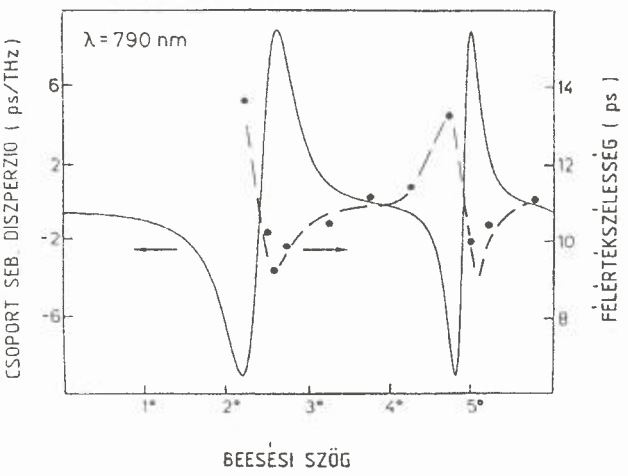
$$I_{\mathrm{korr}}(\Delta t) \propto \exp[-(\ln 2)\Delta t/t_p]$$

kifejezés adja [18], ahol Δt a késleltetés, t_p pedig az impulzus félértékszélessége. A függvénynek a mért görbére

való illesztése után $t_p = 4,6$ ps-nak adódik. Az emissziós spektrum félértékszélesség 0,06 nm és így a sávszélesség–impulzushossz szorzat 0,13, ami csaknem egybeesik az exponenciális lefutású (single-sided exponential) impulzusformára elméletileg meghatározott 0,11-es értékkel. Ez a jellegzetes, aszimmetrikus és exponenciális forma a streak kamera felvételen megfigyelhető.



16. ábra. Módusszinkronizált impulzus spektruma és a nemlineáris kristályban keltett második harmonikus fény intenzitásával mért autokorrelációs függvénye



17. ábra. A Gires–Tournois interferométer által generált csoportsebesség diszperzió és az autokorrelációs függvény félértékszélessége (fekete pont) a beesési szög függvényében

A külső rezonátorba helyezett GTI alkalmazásával létrehozott chirpkompenzáció hatékonyságát illusztrálja a 17. ábra. Ez a külső rezonátorban lévő sugárnyaláb GTI-re történő beesési szögének függvényében a 790 nm-en mért autokorrelációs függvények félérték szélességeit ábrázolja. Az ábra bemutatja a csoportsebesség diszperzió számított értékeit is. Legrövidebb impulzust akkor kaptunk, amikor a GTI pozitív diszperziót generál; tehát – úgy, ahogy a törésmutató-változás előjele alapján vártuk – impulzuson belüli hullámhossznövekedést („down chirp") kompenzál. Ha a diszperzió értéke nulla, akkor 20 %-os impulzushossz növekedést mértünk. A negatív diszperzió az impulzus időtartamának jelentős növekedését eredményezi.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A félvezető lézer nagy erősítési sávszélessége és könnyű modulálhatósága miatt, ideális eszköz az aktív módusszinkronizációval megvalósítható rövid impulzus keltésére. Azonban a lézerdióda fizikai paraméterei olyanok, hogy a szinkrongerjesztés csak járulékos optikai elemekből álló külső rezonátor segítségével oldható meg. Ahhoz, hogy a lézer a külső rezonátorban hatásosan működjön, szükség van arra, hogy az illesztés hatásfoka nagy legyen: azaz minél több fényt lehessen a rezonátorba csatolni. Ez szükségessé teszi, hogy a dióda egyik felületét az emisszió hullámhosszánál hatásos antireflexiós réteggel lássuk el. Az alacsony maradék reflexiójú réteg egyben a lézerdióda emissziós hullámhosszának megváltoztatását is lehetővé teszi. A megvalósított kísérletek során, elsősorban a hullámhosszfüggés szisztematikus vizsgálatával, arra a kérdésre próbáltunk választ adni, hogy milyen fizikai mechanizmusok korlátozzák az elméletileg legrövidebb, koherens impulzusok kialakulását.

A kis maradék reflexiójú ($< 10^{-4}$) lézerdiódák külső rezonátorba helyezve, a külső rezonátor hullámhosszszelektív elemével széles hullámhossz tartományban hangolhatók: így lehetővé teszik az aktív módusszinkronizációval előállított impulzusok hullámhosszfüggésének vizsgálatát. Megállapítottuk, hogy a lézert a rövidebb hullámhosszak felé hangolva, monoton impulzusrövidülés érhető el. Itt a sávszélesség–időtartam szorzat egyre jobban közelíti az elméletileg meghatározható értéket. Az ettől való eltérés azonban az impulzus különböző spektrális összetevőinek sebességeltérésére, chirp jelenlétére utal.

Az impulzusok időtartamának hullámhossz szerinti változása az aktív rétegbe injektált töltéshordozók kvázi-Fermi nívói által meghatározott fényerősítés dinamikájától függ. A differenciális erősítés nagyobb, így az erősítési tranziens gyorsabb a magasabb energiájú oldalon. Egy fényimpulzus kibocsátása az elektronlyuk koncentrációnak, így a kvázi-Fermi szintek csökkenésével jár együtt; azaz rövidebb hullámhosszú impulzusok kibocsátása esetén az erősítés abszorpcióvá változhat. Ez a mechanizmus játszik szerepet az impulzus lefutó élének formálásában.

A lézermissziót a rövidebb hullámhosszak felé hangolva egyidejűleg a töltéshordozók koncentrációváltozásához kapcsolódó törésmutató változás által okozott chirp is csökken. GaAs-ben a dinamikus törésmutató változás elsősorban az abszorpciós él eltolódása miatt lép fel. Az erősítési görbe maximuma közelében az abszorpcióból a meghatározható törésmutató változás hozzáadódik a szabad töltéshordozók abszorpciójából származó változáshoz. Nagyobb energiák felé haladva ez a járulék azonban csökken, sőt előjelet is válthat, így ebben a tartományban a chirp kevésbé játszik szerepet az impulzusok kiszélesedésében.

A külső rezonátoros rendszer magasabb emissziós energiák felé történő elhangolása után maradó, feltehetően lineáris chirpje a rezonátorba helyezett Gires–Tournois interferométerrel kompenzálható. A legrövidebb impulzusok akkor keletkeztek, amikor az interferométer pozitív csoportsebesség diszperziót generált, ellenkező esetben impulzusszélesedés volt megfigyelhető, úgy ahogy ez a chirpre tett elméleti megfontolások alapján várható.

A dolgozatban bemutatott munkát az 1230. számú OTKA támogatás tette lehetővé. További célunk az, hogy hazai fejlesztésű [30] lézerdiódák felhasználásával a külső rezonátoros mérési összeállítást optikai hullámvezető felhasználásával, kompakt formában megépítsük.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] AuYeung, J. 1981, Appl. Phys. Lett. **38**, 308
[2] Arakawa, Y., Larsson, A., Paslaski, J. and Yariv, A. 1984, Appl. Phys. Lett. **45**, 204
[3] Bird, D., Fatah, R., Cox, M., Constantine, P., Regnault, J. and Cameron, K. 1990, Electron. Lett. **26**, 2086
[4] Born, M. and Wolf, E. 1980, „Principles of Optics", Pergamon Press, Oxford
[5] Bowers, J., Marton, P., Mar, A. and Corzine, S. 1989, IEEE J. Quantum Electron. **QE-25**, 1426
[6] Bradley, D., Hadbrook, M. and Sleat, W. 1981, IEEE J. Quantum Electron. **QE-17**, 658
[7] Casey, H. and Panish, M. 1978 „Heterostructure Lasers" Academic Press, New York, Part A, 164
[8] Dienes, A., Ippen, E. and Shank, C. 1971, Appl. Phys. Lett. **19**, 258
[9] Eisenstein, G. 1984, Bell Syst. Tech. J. 63, 357
[10] Eisenstein, G. and Stulz, L. 1984, Appl. Opt. 23, 161
[11] Eisenstein, G., Tucker, R., Koren, U. and Korotky, S. 1986, IEEE J. Quantum Electron. **QE-22**, 142
[12] Harder, C., Smith, J., Lau, K. and Yariv, A. 1983, Appl. Phys. Lett. **42**, 772
[13] Hargrove, L., Fork, R. and Pollack, M. 1964, Appl. Phys. Lett. **5**, 45
[14] Henry, c., Logan, R. and Bertness, K. 1981, J. Appl. Phys. 52, 4457
[15] Henry, C. 1982, IEEE J. Quantum Electron. **QE-18**, 259
[16] Ho, P. 1979, Electron. Lett. **15**, 525
[17] Ho, P. T. 1984, „Picosecond Optoelectronic Devices" ed. C. H. Lee, Academic Press, New York, 11
[18] Ippen,E. and Shank, C. 1977, „Ultrashort Light Pulses" ed. Shapiro, S., Springer-Verlag, Berlin, 1988
[19] Klein, H., Bimberg, D., Beneking, H. Kuhl, J. and Göbel, E. 1982, Appl. Phys. Lett. **41**, 394
[20] Koch, T. and Bowers, J. 1985, Electron Lett. **20**, 1038
[21] Kuhl, J. and Heppner, J. 1986, IEEE Trans. Quantum Electron. **QE-22**, 182
[22] Kuhl J. and Serenyi M. 1287, Opt. Lett. **12**, 334
[23] Kuizenga, D. and Siegman, A. 1970, IEEE J. Quantum Electron. **QE-6**, 694
[24] Lee, Y., Charez-Pirson, A., Koch, S., Gibbs, H., Park, S., Morhange, J., Jeffery, A., Peyghambarian, N., Banyai, L., Gosard, A and Wiegmann, W. 1986, Phys. Rev. Lett. **57**, 2446
[25] Lendvay, Ö. 1985, „Félvezető lézerek" Akadémiai Kiadó, Budapest
[26] Lewis, M. and Knudtson, J. 1982, Appl. Opt. **21**, 16
[27] Manning, J. and Olshansky, R. 1981, Electron Lett. **17**, 506
[28] Manning, J. Olshansky, R. and Su, C. 1983, IEEE J. Quantum Electron. **QE-19**, 1525
[29] Mendoza-Alvarez, J., Nunes, F. and Patelm, N. 1980, J. Appl. Phys. **51**, 4365
[30] Püspöki S., Rakovics V., Koltai F. and Serenyi M 1996, Semicon. Sci and Techn. **11**, 1468
[31] Serenyi M. and Habermaier H. U. 1987, Appl. Opt. **26**, 845
[32] Serenyi M. and Kuhl J. 1987, Appl. Phys. Lett. **50**, 1213
[33] Sanders, S., Eng, L., Paslaski, J. and Yariv, A. 1990, Appl. Phys. Lett. **56**, 310
[34] van der Ziel, J. 1981, J. Appl. Phys. **52**, 4435
[35] van der Ziel, J. Tsang, W. Logen, R. Mikulyak, R. and Augustyniak, W. 1981, Appl. Phys. Lett. **39**, 525
[36] Wang, C. C. 1963, Proc. IEEE **51**, 1767

SHORT PULSE GENERATION BY SEMICONDUCTOR LASER IN EXTERNAL CAVITY

The measurement of the short pulse generation by laser diode is presented in this paper. The setup is available for the investigation of transmission networks. The experiment was performed by Hitachi 840 nm diode, but every kind of laser diodes can be used.

Serényi Miklós 1974-ben végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetem fizikus szakán. Azóta a MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézet (1998-tól Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet) dolgozója. Kezdetben az akusztikus felületi hullámú eszközök, 1980-tól a GaAs alapú optoelektronikai eszközök fizikájával foglalkozott. 1984–1990 között vendégkutató a stuttgarti Max Planck Intézetben és a marburgi Philipps Egyetemen. Kutatási témája a külső rezonátorba helyezett félvezető lézerekkel kapcsolatos: antireflexiós rétegek előállítása, vizsgálata, valamint rövid impulzusok generálása lézerdiódákkal. 1993 óta vezeti a Félvezetőoptikai Főosztályt (jelenleg Vegyületfélvezető Osztály), melynek fő profilja a vegyületfélvezető optoelektronikai eszközök előállítása és vizsgálata. A fizikai tudomány kandidátusa fokozatot 1994-ben kapta meg. Tagja a az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, a The Institute of Electrical and Electronics Engineers és az Optical Society of America-nak.

RÁCS-CSATOLT HULLÁMVEZETŐ, MINT INTEGRÁLT OPTIKAI ELEM KUTATÁS-FEJLESZTÉSE AZ MTA MŰSZAKI FIZIKAI ÉS ANYAGTUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZETÉBEN

HÁMORI ANDRÁS

MTA MŰSZAKI FIZIKAI ÉS ANYAGTUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZET
1525 BUDAPEST, PF. 49.
TEL.: 395-9220/1288, E-MAIL: hamori@mfa.kfki.hu

A rács-csatolóval ellátott egymódusú vékonyréteg hullámvezető, mint önálló integrált-optikai elem, különlegesen nagy érzékenysége miatt alkalmas érzékelőelemként történő felhasználásra.
Az Intézetünkben kidolgozott gyártástechnológiával lehetőség nyílik az integrált optikai elem paramétereinek széles határok között változtatható és pontosan kézben tartható kialakítására. Az elvégzett modell számítás alapján lehetségesnek látszik ennek az integrált optikai eszköznek a sokcsatornás WDM rendszerek hullámhossz szelektív elemeként történő alkalmazása is.

1. BEVEZETÉS

Az integrált optikai eszközök már napjainkban is, de a közeli jövőben egyre szélesebb körben kerülnek alkalmazásra a híradástechnika, számítástechnika vagy a különböző célokra kifejlesztett szenzorok gyártásának területén.

Az integrált optikai eszközök nem csupán nevükben emlékeztetnek az elektronikát forradalmasító félvezető alapú integrált áramkörökre, de e két eszközcsalád felépítése és működése is sok hasonlóságot mutat.

Az integrált optikai eszközökben az eszköz jól meghatározott, pontosan lokalizált területein, illetőleg térfogataiban lokálisan módosítva az átviteli tulajdonságokat, olyan elemet valósíthatunk meg, amely az áthaladó optikai jelen tervezett, igen összetett transzformációkat hajt végre, az azonos funkciót megvalósító diszkrét elemeket tartalmazó összeállításhoz képest sokkal nagyobb megbízhatósággal. A jelenleg működő, illetve fejlesztés alatt álló integrált optikai eszközök nagy része a síkbeli vékonyréteg hullámvezetőn alapuló technológiát alkalmazza.

2. A SÍKBELI VÉKONYRÉTEG HULLÁMVEZETŐ FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

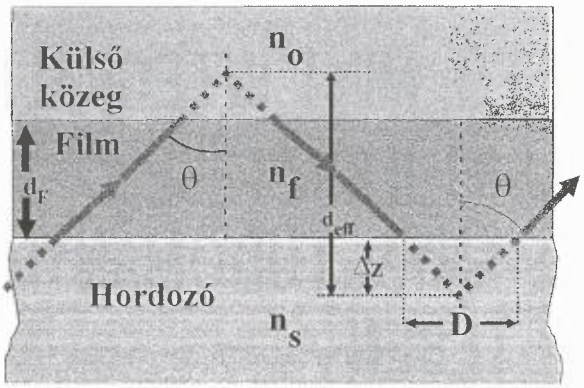
A síkbeli vékonyréteg hullámvezető felépítése és működése hasonló a száloptikák kialakításához. Mindkét optikai eszköz működése a teljes visszaverődés optikai jelenségén alapul. Mint az elemi optikából ismert a fény optikailag sűrűbb közegből ritkább közegbe való átlépéskor a közeghatárról – a törésmutató-ugrás értékétől függő határszögnél nagyobb beesési szög esetén – teljes mértékben visszaverődik.

Az 1. ábrán látható szerkezet akkor képes hullámvezetésre, ha a filmréteg törésmutatója (n_f) nagyobb értékű, mint a hordozó (n_s) és a külső közeg (n_0) törésmutatója. Ebben az esetben a filmréteg mindkét határfelületén létrejöhet a teljes visszaverődés. A vékonyrétegbe bejutó és a réteg síkjában terjedő elektromágneses sugárzás a határfelületeken teljes visszaverődéssel visszajut a vékonyrétegbe, és abból csak a hullámvezető éleinél, vagy megfelelő kicsatoló elem beiktatása esetén tud kilépni. Teljes visszaverődés esetén a határfelületen a fény fázisváltozása eltér a normális tükröződéskor bekövetkező fázisugrástól. A fázisváltozás mértéke (Goos–Hanchen shift) függ a két közeg törésmutatójától, a beesési szögtől, a hullámhossztól valamint a polarizációs állapottól. A fénynyaláb úgy verődik vissza, mintha Δz mélységig behatolna a szomszédos közegbe, és onnan történne a reflexió. Így a vezetett fénynyaláb D távolsággal eltolódva jelenik meg saját közegében.

Vezetett módus akkor jön létre, ha egy teljes cikkcakk szerű ciklusra teljesül az a feltétel, hogy a közegben való haladás során létrejövő és a teljes visszaverődésekkor bekövetkező fázistolások együttes értéke 2π egész számú többszöröse. Ezt az egész számot tekintjük a vezetett módus rendjének. Nagyobb d_F rétegvastagságok esetén a két közeghatár teljes visszaverődés határszögei közül a nagyobb érték felett sok, egymáshoz közeli szögnél létrejön a hullámvezetés.

Ha a rétegvastagság kicsi, akkor az indítható módusok száma csökken, míg egy adott rétegvastagság alatt már nem tudunk vezetett módust indítani. Az integrált optikai alkalmazások szempontjából kiemelt szerepet játszanak azok a szerkezetek, melyben egyetlen módus indítására van lehetőség. Ezt a követelményt a hullámvezető réteg vastagságának, továbbá a közegek törésmutatóinak megfelelő megválasztásával elégíthetjük ki.

Vezetett módusok indítására többféle módszer ismeretes. Indíthatunk módusokat a hullámvezető élének különleges kialakításával (tapered coupler), prizmás csatoló alkalmazásával továbbá optikai rács alkalmazásával. Számunkra a rács-csatoló alkalmazása bír a legnagyobb jelentőséggel, mert ez a struktúra – a rács-csatolóval ellátott egymódusú hullámvezető számos különleges tulajdonsággal rendelkezik.



1. ábra. Sugármenet egy vékonyréteg hullámvezetőben

3. INTEGRÁLT OPTIKAI ELEMEK KUTATÁS-FEJLESZTÉSÉNEK ELŐZMÉNYEI

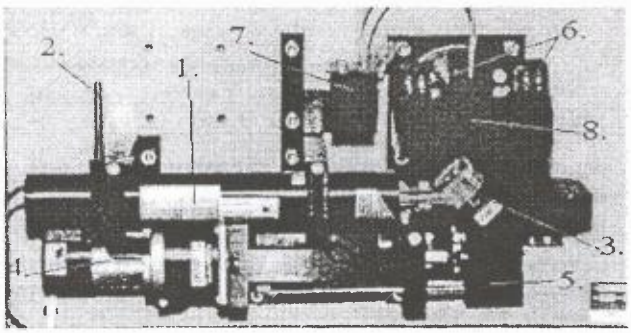
Rács-csatolt hullámvezető integrált optikai elem kutatás-fejlesztése a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetében a biokémiai analízis területén alkalmazható szenzorelem gyártástechnológiájának kidolgozását megcélzó EUREKA projekthez történt csatlakozással indult 1994-ben.

A biokémiai kutatások területén az egyik legalapvetőbb feladat meghatározott kémiai összetevők igen alacsony koncentrációinak mérése oldatokban és gázokban. Az utóbbi években előtérbe kerültek az integrált optikai érzékelőkön alapuló mérési módszerek. Az érzékelési módszer elvi alapja optikai hullámvezető felületén végbemenő szelektív adszorpció, mely egy határréteg optikai tulajdonságait módosítja, és így a hullámvezető vékonyréteg mérhető effektív törésmutatójának megváltozását eredményezi. A módszer egyik lehetséges megvalósítása a keresett kémiai összetevők specifikus receptorainak (pl. antitesteknek) a felületen történő immobilizálása, ezek megkötik a vizsgálandó anyagot, fedőréteget hoznak létre a hullámvezető felületén, ami az effektív törésmutató megváltozásaként detektálható.

Az effektív törésmutató meghatározása a hullámvezetőbe csatolt lézerfény becsatolási és hullámvezetési paramétereinek mérésével történik. A lézerfény becsatolása a hullámvezető felületén kialakított optikai rács segítségével történik. Az effektív törésmutató megváltozása a becsatolási rezonanciaszög megváltozását eredményezi.

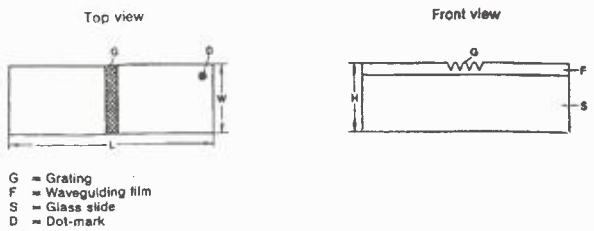
Az ismertetett módszer kutatását és fejlesztését tűzte ki célul az EU 947. számú „MEMOCS" EUREKA Project. A Project 1993. márciusában indult németországi és svájci partnerek részvételével. A német partner a BMG BOEHRINGER MANNHEIM GmbH (Tutzing) kutatási területe a megfelelő lipid és proteinszármazékok szintézise, a szenzor felület bevonásának felületkémiai vizsgálata és a folyamat optimalizálása klinikai és diagnosztikai célokra. A svájci partnerek közül az ASI ARTIFICIAL SENSING INSTRUMENTS AG. egyrészt olcsó rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzor kifejlesztését, másrészt a szenzorok segítségével a tényleges koncentrációváltozásokat mérő úgynevezett Integrált Optikai Szkenner kifejlesztését vállalta. A mérőrendszer ismertetése a következő fejezetben található. A másik svájci partner a BIOZENTRUM DER UNIVERSITÄT BASEL kutatási területe szenzor felület bevonása LANGMUIR–BLODGETT módszerrel, továbbá a szelektív réteggel ellátott szenzorok kötési és szelektivitási tulajdonságainak vizsgálata. A BIOZENTRUM DER UNIVERSITAET BASEL a MEMOCS Project koordinátora is.

A rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzor segítségével végzett koncentrációmérés az ASI AG. által kifejlesztett IOS-1 típusú Integrált Optikai Szkenner elnevezésű számítógép-vezérelt mérőrendszerben történik. Az IOS-1 típusú készülék optomechanikai egységének képe a 2. ábrán látható.



2. ábra. IOS-1 típusú készülék optomechanikai egysége. (A számokkal jelölt alkatrészek a következők: 1.: He–Ne lézer, 2.: polarizáció-állító, 3.: terelő tükör, 4.: léptető motor 5.: szöghelyzet pozícionáló asztal, 6.: detektorok 7.: mérendő folyadék-, ill. gázkezelő, 8.: rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzor (küvettaként kialakított tartó belsejében)

A mérésekhez az ASI AG. által gyártott ASI 2400 típusú rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzort használják. A szenzor adatlapjának részlete a 3. ábrán látható.

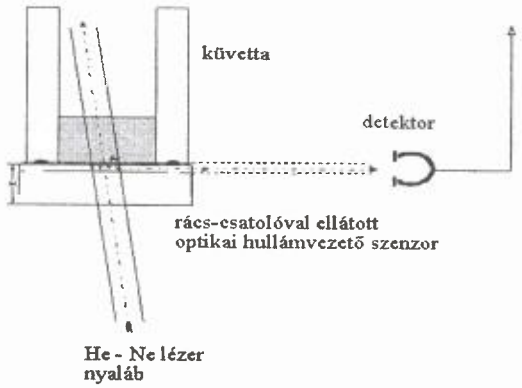


3. ábra Az ASI AG. által gyártott ASI 2400 típusú rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzor (G: optikai rács-csatoló, F: hullámvezető réteg, S: üveg hordozó, D: front-felület jelölése)

A rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzorból és küvettából kialakított érzékelő térfogat optikai vázlata, valamint a He–Ne lézernyaláb sugármenete a 4. ábrán látható.

A diffrakciós becsatoló rács feladata, hogy a hullámvezető síkjában terjedő elektromágneses sugárzást juttasson a vékonyrétegbe. Az IOS-1 típusú Integrált Optikai Szkennerben a szenzorelem megvilágítása a szubsztrát oldaláról, közel 90°-os beeséssel He–Ne lézer 632,8 nm-es polarizált nyalábjával történik. A szubsztráton és az ezt követő vékonyrétegen áthaladó lézernyaláb egy része az optikai rácson közel 90°-os szögben diffraktálódik, és így a réteg síkjához közel párhuzamos irányban terjed. A beesési szög változtatásával a diffraktált nyaláb iránya is megváltozik,

így pontosan megkereshető az a szöghelyzet, amelynél az adott elrendezésben a hullámvezetőbe való becsatolás optimális (rezonancia szög). A rezonancia szög értéke egy adott elrendezés esetén már csak a hullámvezető vékonyréteg szubsztráttal ellentétes oldalán található közeg törésmutatójától függ, és ez az érték az integrált optika egyenleteiből meghatározható.



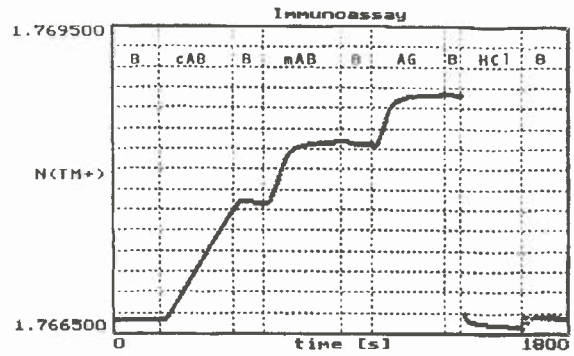
4. ábra. A He—Ne lézernyaláb sugármenete az érzékelő térfogatban

A koncentrációmérés elvégzésekor a szenzorból és küvettából kialakított érzékelő térfogat és a He—Ne lézernyaláb relatív szöghelyzetét az érzékelő térfogat léptetőmotor segítségével történő forgatásával folyamatosan változtatják. A forgatás során detektálható intenzitás értékeket a szöghelyzet függvényében a vezérlő számítógépben eltárolják. Rendszerint elsőként a keresett anyagot nem tartalmazó oldószer szöghelyzet — intenzitás görbéjét veszik fel, ezután a küvetta tartalmát kicserélve a keresett kémiai összetevőt tartalmazó oldatra ismét felveszik az intenzitás — szöghelyzet görbét. A két görbe közötti különbségből a keresett kémiai összetevő koncentrációja meghatározható. A mérést adott időközönként megismételve a koncentráció változások időbeli viselkedése is nyomon követhető. Egy tipikus, idő függvényében elvégzett mérés eredményét szemlélteti az 5. ábra.

Az 5. ábrán látható görbe az idő függvényében mutatja a vezetett transzverzális mágneses módushoz tartozó törésmutató értékét. Az ábra fejlécén található időintervallumokban a következő kémiai összetevőket áramoltatták át az érzékelő térfogaton:

- „**B**": puffer oldat
- „**cAB**": megkötő antitest
- „**mAB**": monoklon antitest
- „**AG**": antigén
- „**HCl**": regeneráló HCl oldat (pH = 2)

A „B", „cAB", „mAB", „AG", oldatok áramlási sebessége 30 ml/perc; míg a regeneráló „HCl" oldaté ennél jóval nagyobb volt. A mérés megkezdése előtt a szenzor elem felületén „**A**" típusú proteint immobilizáltak.



5. ábra Az IOS-1 készülékkel detektált szenzogram. (az effektív törésmutató időbeli változásának görbéje)

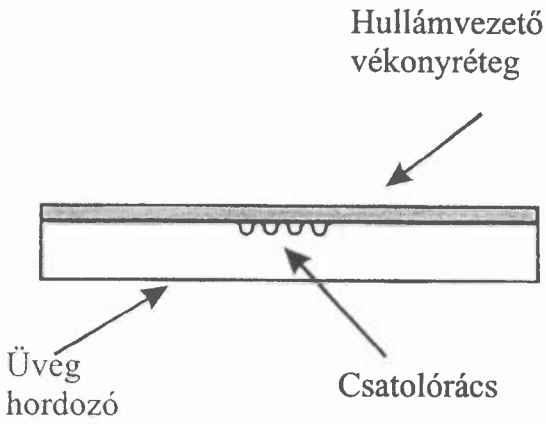
Mint az ábrán követhető, a mérés kezdetén az első „B" időszakasz alatt a mért törésmutató érték nem változott. A „cAB" időintervallumban az átáramló oldatból a szenzorelem felületén kialakul a szelektív abszorpciót biztosító megkötő antitestekből álló réteg, mely az effektív törésmutató növekedését eredményezi. A réteg stabilitását jellemzi, hogy a következő „B" időintervallum alatt a puffer oldat átáramoltatásakor a törésmutató nem változik. Ezt követően kétféle keresett kémiai összetevő detektálása figyelhető meg az ábrán: először az „mAB" időintervallumban egy antitest szelektív abszorpciója történik. Látható, hogy a görbe a vizsgált oldat átáramoltatása közben telítésbe kerül, mutatva, hogy a keresett komponens koncentrációja ekkora törésmutató változást tud előidézni. Az ezt követő „B" időintervallum alatt a puffer oldat átáramoltatásakor a törésmutató ismét változatlan marad. A másik „AG" intervallumban átáramoltatott oldattal a mérés az előző ciklussal hasonló jelleget mutat. A mérés befejezésekor a „HCl" szakaszban a hullámvezető felületére levált rétegeket eltávolítják. A mérés mutatja, hogy az effektív törésmutató értéke ismét a kiinduláskor mért értékre állt be.

4. A SZENZORELEM ELŐÁLLÍTÁSÁRA KIDOLGOZOTT ÚJ GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA

A kutatási és fejlesztési feladatokat a mikroelektronikai litográfia, holográfia, optikai vékonyréteg előállítás valamint mikroelektronikai vékonyréteg strukturálás területén meglévő eszközök és tapasztalatok felhasználásával és továbbfejlesztésével oldottuk meg. A szenzorelem megkövetelt jellemző paraméterei a következők:

- optikai minőségű üvegből készített szubsztrát, törésmutatója 1,5315,
- egymódusú hullámvezető vékonyréteg, törésmutatója $> 2,1$, vastagsága kb. 200 nm,
- csatolást végző diffrakciós rács rácsállandója 2666 vonalpár/mm.

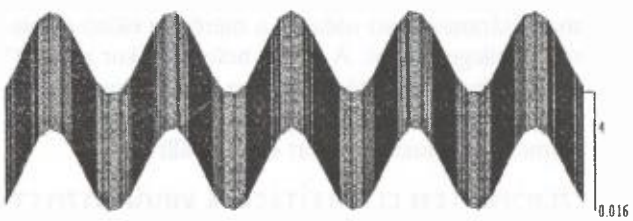
Az intézetben kifejlesztett rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető szenzor — mint az a 6. ábrán látható — a következő optikai funkciókat megvalósító részekből áll.



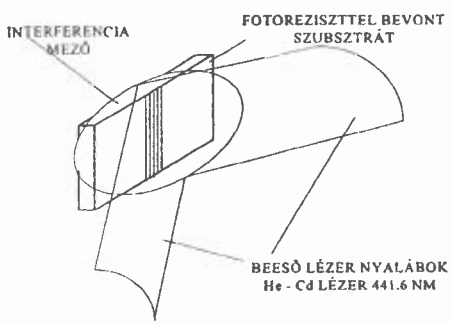
6. ábra. A rács-csatolóval ellátott optikai hullámvezető felépítése

5. A CSATOLÓRÁCS KIALAKÍTÁSA

A csatolórács kialakítása hagyományos litográfiai módszerekkel nem lehetséges. A megkövetelt rácsállandó kb. 0,19 μm-es vonalak és közök kialakítását igényli, lehetőleg szinuszos profillal. Holográfia alkalmazásával azonban ez a rács-sűrűség viszonylag egyszerűen elérhető. Ha két síkhullám fázisfrontú lézernyalábot interferáltatunk egymással, akkor az interferenciamező intenzitás-eloszlása az interferáló nyalábok szögétől függő rácsállandójú közel szinuszosan változó függvénnyel jellemezhető. He–Cd lézer 441,6 nm nyalábjainak 70°-os szög alatti interferenciájakor kialakuló mező számított intenzitás-eloszlását szemlélteti a 7. ábra.



7. ábra. He–Cd lézer 441,6 nm nyalábjainak 70°-os szög alatti interferenciájakor kialakuló mező intenzitás-eloszlása (az intenzitás-eloszlás helyfüggése)



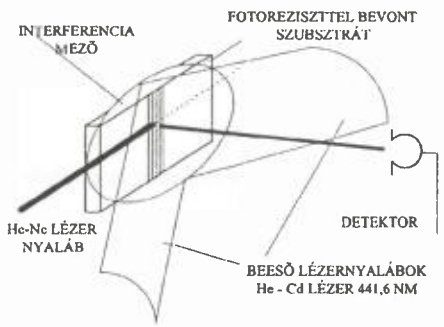
8. ábra. A holografikus exponálás felvételi elrendezésének vázlata

A holografikus rács exponálásakor a felvételi körülményeket a holográfiában megkövetelt módon kell biztosítani. Ezek a következők:

- rezgésmentes felvételi elrendezés,
- a kívánt rácsállandót eredményező felvételi geometria,
- megfelelő hullámhosszú, intenzitású és koherencia tulajdonságú lézer fényforrás.

6. KAPCSOLÓDÓ MÉRÉSI ÉS MINŐSÍTÉSI MÓDSZEREK

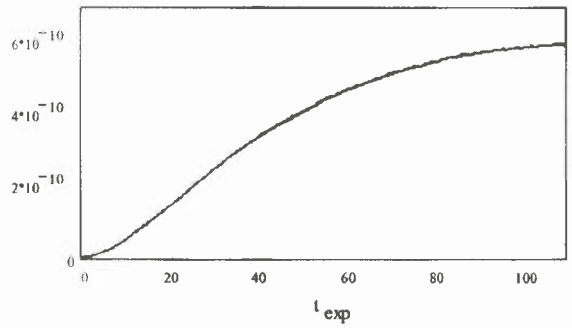
Az expozíció eredményének a folyamat közben történő vizsgálatára lehetőséget nyújt egy érdekes megfigyelés. A fotoreziszt exponálódásakor a végbemenő fotokémiai reakciók egy része már az exponálás során optikai változást idéz elő a fotoreziszt anyagában. Az így kialakuló rejtett kép az exponált réteg előhívása nélkül is mérhető, vizsgálható. A rács exponálása során az exponálódó területre He–Ne lézer fényét vezetjük, és mérjük a kialakuló rejtett képen diffraktálódó fényt. (A He–Ne lézer hullámhosszán a fotoreziszt már teljesen érzéketlen, így ez a mérőfény fotokémiai változást biztosan nem okoz.)



9. ábra. A holografikus exponálás felvétel közben történő monitorozásának vázlata

Egy felvétel közben detektált „exponálódási" görbe képe látható a 10. ábrán.

A mérés lehetőséget ad arra, hogy a rezisztábra minőségét már a hívási folyamat elvégzése előtt meg tudjuk határozni, valamint arra is, hogy a felvétel expozíciós idejét a kialakuló rejtett kép mérése alapján tudjuk beállítani.



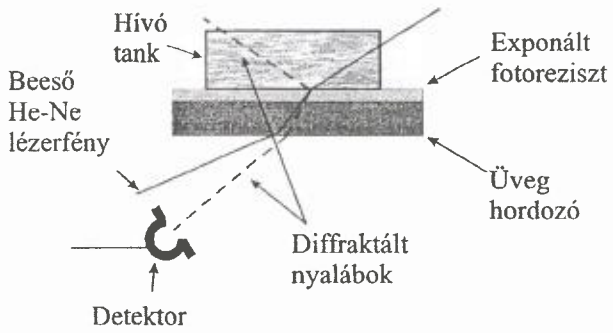
10. ábra. Egy holografikus rács exponálódási görbéje (a detektor fotoárama [A] az exponálási idő [sec] függvényében)

7. A LAKKÁBRA ELŐHÍVÁSA

Az exponált rezisztréteg hívása sem azonos a mikroelektronikában megszokottal. Az áramkörök kialakításakor általában ablakok nyitása szükséges minél nagyobb geometriai pontossággal, ezért a lehető legnagyobb rezisztfal meredekség a követelmény. A diffrakciós rács kialakításakor ezzel szemben az exponáló intenzitás-eloszlást lehetőleg lineárisan követő domborzati minta létrehozása a cél. A technológiai lépés kritikus paramétereinek kézbentartá-

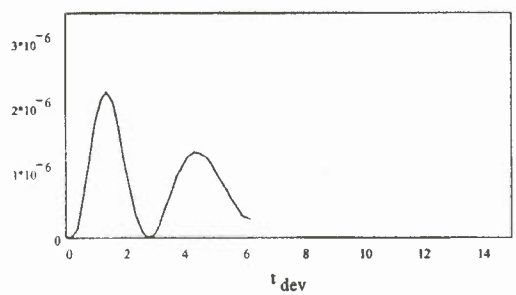
sára a gyártásban alkalmazott eszközök és berendezések nem felelnek meg. A holografikusan exponált lakkábra előhívására a hívás folyamatának valósidejű monitorozását biztosító eljárást és berendezést fejlesztettünk ki.

A felvétel monitorozásához hasonlóan a hívás alatt álló területre megfelelő szög alatt He–Ne lézer fényét vezetjük (11. ábra). A beeső He–Ne lézerfény a hívási folyamat megkezdése előtt az exponált rejtett képen, a hívási folyamat megindulása után pedig az egyre mélyülő domborzati rácson diffraktál.



11. ábra. A rezisztréteg monitorozott hívására alkalmas összeállítás

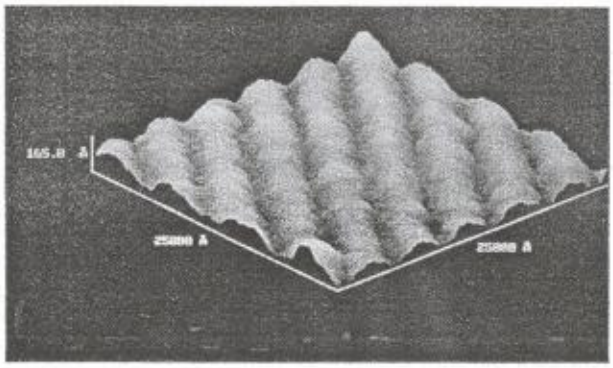
A detektált görbe lehetőséget ad arra, hogy a rezisztábra minőségét a hívási folyamat alatt nyomon tudjuk követni, valamint arra is, hogy a hívás idejét a kialakuló domborzati ábra mérése alapján tudjuk beállítani (12. ábra).



12. ábra. Holografikus rácselőhívási görbéje (a detektor fotoárama [A] a hívási idő [sec] függvényében)

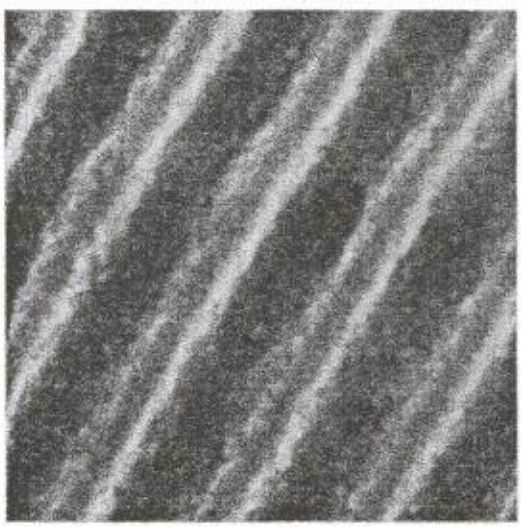
A technológiai lépés eredményének minősítése azonban független mérési eljárás alkalmazását igényli. A kialakított domborzati mintázat minősítésére kipróbáltuk a Pásztázó Alagút Mikroszkóp alkalmazását. A mintát először 20 nm-es arany réteggel fedtük be, majd ezután felvettük az intézetünkben kifejlesztett STM mikroszkóp-fej alatt a közel atomi felbontású képet. A felvétel eredménye a 13. ábrán látható.

A rezisztábra felszínének minősítésére elektronmikroszkópos felvételeket is készítettünk. A 14. ábrán egy 2666 vonalpár/mm rácsállandójú optikai rács felületének elektronmikroszkópos képe látható.



13. ábra. STM felvétel egy előhívott, arannyal bevont fotoreziszt rácsról

A felvételek alapján a rács geometriai paraméterei és a rácsprofil alakja pontosan meghatározható. Ez lehetőséget teremt a képek alapján az exponálási és hívási paraméterek változtatására, valamint a változások hatásának kiértékelésére.



14. ábra. elektronmikroszkópos felvétel egy előhívott, arannyal bevont fotoreziszt rácsról

8. A SZUBSZTRÁT STRUKTÚRÁLÁSA

Az már ismert, hogy az ion implantáció során az üvegbe bevitt atomok mechanikai feszültséget hoznak létre ott, ahol lefékeződnek és megállnak az anyagban. Ennek a mechanikai feszültségnek a hatására helyileg megváltozik az üveg törésmutatója. Ha az ion implantáció egy megfelelően kialakított maszkon keresztül történik, akkor létre lehet hozni egy laterálisan struktúrált törésmutató változást. Az előbb leírt módon létrehozott reziszt struktúrán keresztül történő ion implantációkor az előhívott rezisztráccsal azonos periódusú törésmutató rács alakul ki a reziszt alatti üveg hordozó felületi rétegében.

Az ion implantáció technológiai paramétereit úgy kell megválasztani, hogy a kívánt hatást érjük el. Az implantálás energiája 100 keV, ennél az energiánál a teljes vastagságban megmaradt rezisztrétegben már megállnak az implantált ionok, míg az elvékonyodott rezisztrészeken szinte fékezés nélkül keresztüljutnak az ionok, és elérik az üveg felületét. Nitrogén ionokat implantálunk 1×10^{16} atom/cm^2 dózisban mert ez az ionfajta és dózis hoz létre elegendően nagy törésmutató-változást az üvegben.

9. A HULLÁMVEZETŐ KIALAKÍTÁSA

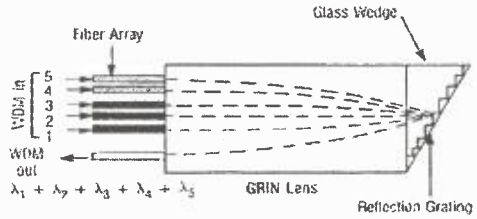
A követelményeknek megfelelő hullámvezető réteget elektronsugaras vákuumpárologtatással állítottuk elő. A felgőzölt tantál-pentoxid (Ta_2O_5) rétegek törésmutatója 2,1 körüli értéket mutat, a rétegvastagság kívánt értéke (200 nm) mellett megfelelő hőkezelés után igen kis veszteségű, jó optikai minőségű hullámvezető réteget adnak.

A struktúrált hordozóra gőzölt rétegek és a kialakított csatoló rácsok az elvégzett mérések alapján megfelelőek analitikai célokra történő felhasználásra. A mintapéldányokon levegő közegben elvégzett mérések a transzverzális elektromos és mágneses alapmódusok jó hatásfokú becsatolását jelzik. A méréseket számítógép-vezérelt összeállítás segítségével végeztük, a mozgatás szögfelbontása jobb, mint 0,5 szögperc.

10. SZÁLOPTIKAI ADATÁTVITELBEN ALKALMAZHATÓ WDM ELEMEK

A száloptikás adatátvitel előnyös tulajdonságai: nagy megbízhatóságú átvitel, igen nagy modulációs sávszélesség (több GHz, mivel a száloptikán áthaladó jel „vivőfrekvenciája" az optikai frekvenciatartományba esik, ami 1014 Hz nagyságrendű). Nem érzékeny sem elektromos, sem mágneses zavarokra. Ezekkel az előnyökkel együtt több tonnányi hagyományos kábelt lehetne helyettesíteni néhány kilogramm üveggel.

A száloptikai adatátviteli rendszerek kapacitásának növelésére az egyik lehetséges megoldás a WDM rendszerek (hullámhossz osztott multiplexálás) kialakítása. A 15. ábrán lencséből, prizmából és optikai rácsból kialakított, hullámhossz-osztott multiplexálást megvalósító optikai összeállítás látható.



15. ábra. Hagyományos optikai elemekből kialakított WDM nyaláboló

Az egyidejűleg nyalábolható csatornák számát ebben az összeállításban elsősorban alkalmazott hullámhossz-szelektív elem, az optikai rács felbontóképessége korlátozza. A vázolt összeállításban 5 csatorna nyalábolására van lehetőség. A napjainkban tervezés illetve fejlesztés alatt álló WDM rendszerek célkitűzésében szereplő csatornák száma ennél nagyságrenddel több. A javasolt csatornakiosztás figyelembe véve a rendelkezésre álló félvezetőlézerek hullámhossz tartományát, továbbá a száloptikák átviteli tulajdonságait (1. táblázat).

1. táblázat

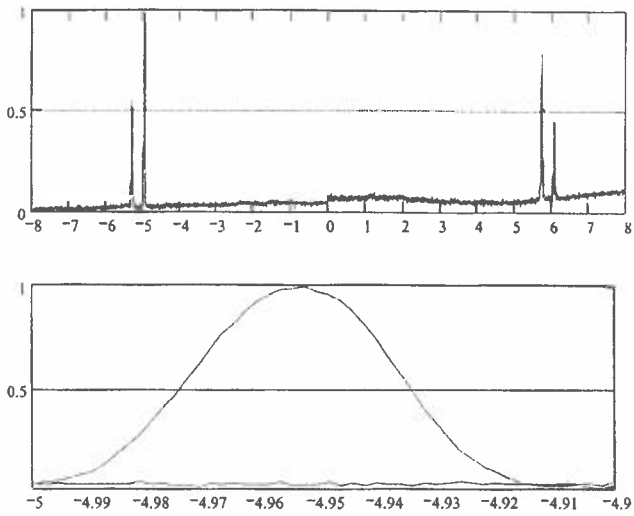
„KÉK SÁV" (1529–1536 nm)	„VÖRÖS SÁV" (1542–1561 nm)	„INFRAVÖRÖS SÁV" (1575–1602 nm)
100 GHz sávszélesség mellett 8 csatorna	100 GHz sávszélesség mellett 24 csatorna	100 GHz sávszélesség mellett 32 csatorna
50 GHz sávszélesség mellett 16 csatorna	50 GHz sávszélesség mellett 48 csatorna	50 GHz sávszélesség mellett 64 csatorna

Az optikai rácsok felbontóképessége: $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$.

Az „Infravörös Sáv" közepének hullámhosszán, ahol $\lambda = 1588,5$ nm, a fény „vivőfrekvenciája" $f = 1,887 \cdot 19^{14}$ Hz. $\Delta f = 50$ GHz kívánt sávszélesség mellett ez az adott hullámhossz környezetében az egyes csatornák között minimálisan $\Delta\lambda = 0,421$ nm hullámhossz különbséget jelent. Így az optikai ráccsal szemben támasztott felbontási igény $R = 3776$, mely érték -1 mm kiterjedésű optikai rácsot feltételezve – durva közelítésben azt jelenti, hogy legalább 3776 vonalpár/mm sűrűségű optikai rácsot kellene alkalmaznunk a felbontási igény minimális szintű kielégítése érdekében. Ismert azonban, hogy a fényhullám a hullámhossz felénél sűrűbb optikai rácson már nem képes diffraktálni. Ezért a fentebb vázolt WDM összeállítás csak nagyobb méretű optikai rács, ennek következtében nagyobb méretre tágított fény-nyalábok esetén biztosítaná a kívánt felbontást.

11. RÁCS-CSATOLT VÉKONYRÉTEG HULLÁMVEZETŐN ALAPULÓ INTEGRÁLT OPTIKAI ELEMEK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

A csatolórács segítségével történő módus indítás vékonyréteg hullámvezetőkben adott hullámhossz esetén csak pontosan meghatározott szöghelyzeteknél lehetséges. Mérve a becsatolt fény mennyiségét a szöghelyzet függvényében (az úgynevezett módus-spektrumot) igen éles maximumokkal rendelkező, rezonancia görbére emlékeztető függvényt detektálhatunk. A maximumok élessége számos paramétertől függ. Befolyásolja az élességet a csatolórács sűrűsége, diffrakciós hatásfoka, a rácsvonalak profilja, a vékonyréteg hullámvezető minősége, valamint a becsatolandó fény divergenciája. Modell kísérletben CORNING 7059 típusú üvegen felhordott $0,5$ μm vastag SHIPLEY AZ 1805 fotorezisztet vizsgáltunk, mint hullámvezetőt. Csatolórácsként a minta közepén holografikus expozícióval kialakított, 2666 vonalpár/mm sűrűségű, 1 mm széles optikai rácsot alkalmaztunk. Az így kialakított integráltoptikai elembe 1 mW teljesítményű He–Ne lézer fényét csatoltuk be. A detektált módus-spektrum, valamint egy rezonancia csúcs kinagyított képe a 16. ábrán látható.



16. ábra. A detektált módus-spektrum, valamint egy rezonancia csúcs kinagyított képe (normalizált intenzitás a szöghelyzet függvényében [°])

A detektált rezonancia csúcs mért félérték-szélessége 0,04 fok, amely érték tekinthető az adott elem mért felbontóképességének.

Annak megítélése érdekében, hogy ez a felbontóképesség alkalmazható-e WDM rendszerekben hullámhossz szelektív elemként meg kell vizsgálnunk egy hasonló felépítésű, de a hullámhossz különbségnek megfelelően átskálázott integrált optikai elem viselkedését. A modellszámítás segítségével elvégzett analízissel azt kívánjuk kiszámítani, hogy egy megvalósítható rács-csatolt hullámvezető a szomszédos WDM csatornák közötti hullámhossz különbség esetén mekkora rezonancia-szög különbséget mutat.

12. RÁCS-CSATOLÓVAL ELLÁTOTT HULLÁMVEZETŐ SPEKTRÁLIS FELBONTÓKÉPESSÉGÉNEK ANALÍZISE

A szubsztrát (üveg) törésmutatója: n_0 $n_0 = 1,5315$

A réteg (fotoreziszt) törésmutatója: n_1 $n_1 = 1,64$

A réteggel érintkező külső közeg törésmutatója: n_2 $n_2 = 1,0$

A levegő törésmutatója: $n\ air$ $n_0 = 1,0$

$\mu \equiv 10^{-6}\cdot$m nm$\equiv 10^{-6}\cdot$nm $c = 299792458 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

A mérőfény („Infravörös Sáv") közepén működő félvezető lézer hullámhossza: λ_{1air} $\lambda_{1air} = 1588,5\cdot$nm

A mérőfény frekvenciája: ν_1

$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda_{1\text{air}}} \quad \nu_1 = 1,887 \cdot 10^{14} \cdot \frac{1}{\text{sec}}$$

A mérőfény körfrekvenciája: ω_1, hullámszáma: k_1

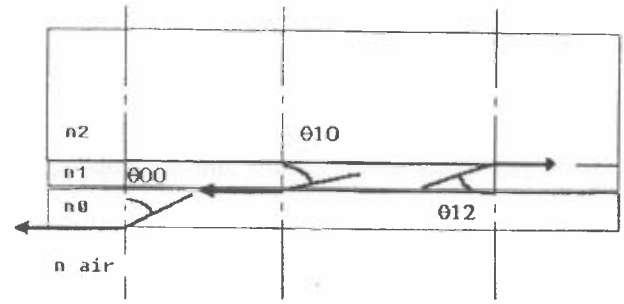
$$\omega_1 = 2\pi \cdot \nu_1 \; k_1 = \frac{\omega_1}{c} \; k_1 = 3,955 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

A teljes visszaverődés határszögei:

a szubsztrát-réteg határfelületen: $\theta 10$ min

a szubsztrát-levegő határfelületen: $\theta 00$ min

a réteg-külső közeg határfelületen: $\theta 12$ min



$\theta 10\text{min}(n_1) = \text{asin}\frac{n_0}{n_1}$ $\theta 10\text{min}(n_1) = 69,042 \cdot \text{deg}$

$\theta 0\text{amin}(n_1) = \text{asin}\frac{n_{\text{air}}}{n_1}$ $\theta 0\text{amin} = 40,765 \cdot \text{deg}$

$\theta 12\text{min}(n_1) = \text{asin}\frac{n_2}{n_1}$ $\theta 12\text{min}(n_1) = 37,572 \cdot \text{deg}$

A rétegben vezetett módus $\theta 10 \text{ min} < \theta 1 < \pi/2$ szögtartományban jön létre.

A módusok fázisugrása (Goos—Hanchen shift) a különböző határfelületeken:

mágneses módus a szubsztrát-réteg határfelületen: $\theta 10M$

mágneses módus a réteg-külső közeg határfelületen: $\theta 12M$

elektromos módus a szubsztrát-réteg határfelületen: $\theta 10E$

elektromos módus a réteg-külső közeg határfelületen: $\theta 12M$

$$\Phi 10M(\theta 1M, n_1) = a_{tan} \frac{\sqrt{n_1^2 \cdot \sin(\theta 1M)^2 - n_0^2}}{n_1 \cdot \cos(\theta 1M)} \cdot \frac{n_2^2}{n_0^2}$$

$$\theta 10\text{min} < \theta 1M$$

$$\Phi 12M(\theta 1M, n_1, n_2) = a_{tan} \frac{\sqrt{n_1^2 \cdot \sin(\theta 1M)^2 - n_2^2}}{n_1 \cdot \cos(\theta 1M)} \cdot \frac{n_2^2}{n_2^2}$$

$$\theta 12\text{min} < \theta 1M$$

$$\Phi 10E(\theta 1E, n_1) = a_{tan} \frac{\sqrt{n_1^2 \cdot \sin(\theta 1E)^2 - n_0^2}}{n_1 \cdot \cos(\theta 1M)}$$

$$\theta 10\text{min} < \theta 1E$$

$$\Phi 12E(\theta 1E, n_1, n_2) = a_{tan} \frac{\sqrt{n_1^2 \cdot \sin(\theta 1E)^2 - n_2^2}}{n_1 \cdot \cos(\theta 1M)}$$

$$\theta 12\text{min} < \theta 1E$$

Az m-ed rendű vezetett módushoz tartozó rétegvastagság az az érték, ahol a fázisugrások és a réteg fázistolásának összege $m\ 2\pi$

az m-ed rendű elektromos módoshoz tartozó rétegvastagság: WE (m)

az m-ed rendű mágneses módoshoz tartozó rétegvastagság: WM (m)

$$WE_1(m, \theta 1E, N_2, N_2) =$$

$$\frac{(\Phi 10E(\theta 1E, n_1) + \Phi 12E(\theta E, n_1, n_2)) \cdot 2 + 2 \cdot m \cdot \pi}{2 \cdot k_1 \cdot n_1 \cdot \cos(\theta 1M)}$$

$$WM_1(m, \theta 1M, N_2, N_2) =$$

$$\frac{(\Phi 10M(\theta 1M, n_1) + \Phi 12M(\theta M, n_1, n_2)) \cdot 2 + 2 \cdot m \cdot \pi}{2 \cdot k_1 \cdot n_1 \cdot \cos(\theta 1M)}$$

A vezetett mágneses módus effektív törésmutatója: $n_{\text{eff}}M$

A vezetett elektromos módus effektív törésmutatója: $n_{\text{eff}}E$

$n_{\text{eff}}M(\theta 1M, n_1) = n_1 \cdot \sin(\theta 1M) \quad n_{\text{eff}}M, n_{\text{eff}}E > n_0$

$n_{\text{eff}}E(\theta 1E, n_1) = n_1 \cdot \sin(\theta 1E) \quad n_{\text{eff}}E, n_{\text{eff}}E > n_2$

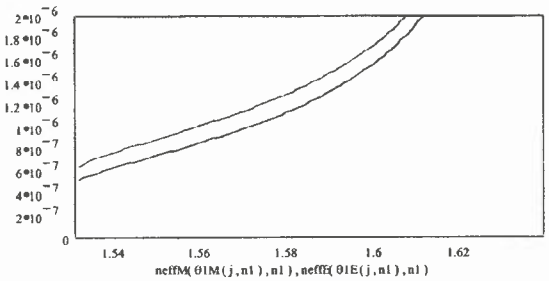
$n_{\text{eff}}E, n_{\text{eff}}E < n_1$

Ábrázolva a 0. rendű módusok vezetésére képes réteg vastagságát a vezetett módus effektív törésmutatójának függvényében:

$$j = 0..200 \qquad \delta\theta(n_1) = \frac{\frac{\pi}{2} - \theta 10\min(n_1)}{200}$$

$$\theta 1M(j, n_1) = \theta 10\min(n_1) + j \cdot \delta\theta(n_1)$$

$$\theta 1E(j, n_1) = \theta 10\min(n_1) + j \cdot \delta\theta(n_1)$$



$WM_1(0, \theta 1M(j, n_1), n_1, n_2)$

$WE_1(0, \theta 1E(j, n_1), n_1, n_2)$

A csatolórács „hullámhossza" (Λ):

$$\Lambda = \frac{1 \cdot \text{mm}}{1400} \qquad \Lambda = 0,714 \cdot \mu$$

A becsatolási rezonancia szög a vezetett elektromos és mágneses 0. rendű módusokra: ΩE_1, ΩE_2

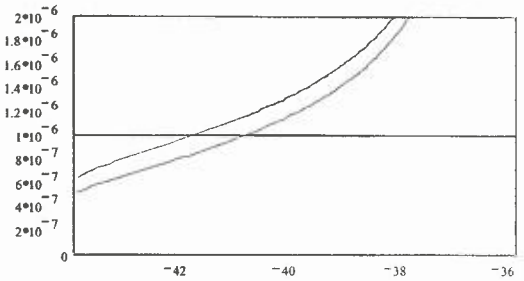
$$\Omega E_1(j, n_1 = \text{asin}\left[\frac{n_{\text{eff}}E(\theta 1E(j, n_1), n_1) - \frac{\lambda_{1air}}{\Lambda}}{n_{\text{air}}}\right]$$

$$\Omega M_1(j, n_1 = \text{asin}\left[\frac{n_{\text{eff}}M(\theta 1M(j, n_1), n_1) - \frac{\lambda_{1air}}{\Lambda}}{n_{\text{air}}}\right]$$

$$\Omega_{1\min} = \text{asin}\left[\frac{n_0 - \frac{\lambda_{1air}}{\Lambda}}{n_{\text{air}}}\right] \qquad \Omega_{1\min} = -43,82 \cdot \text{deg}$$

$$\Omega_{1\max} = \text{asin}\left[\frac{n_1 - \frac{\lambda_{1air}}{\Lambda}}{n_{\text{air}}}\right] \qquad \Omega_{1\max} = -35,725 \cdot \text{deg}$$

Ábrázolva a 0. rendű módusú vezetésére képes réteg vastagságát a módusok indítására alkalmas becsatolási rezonancia szög függvényében:



$WM_1(0, \theta 1M(j, n_1), n_1, n_2)$

$WE_1(0, \theta 1E(j, n_1), n_1, n_2)$

$1 \cdot \mu$

Adott d_1 rétegvastagsághoz és n_1 törésmutatóhoz tartozó becsatolási rezonanciaszög érték meghatározása:

$d_1 = 1,0 \cdot \mu \qquad j = 100$

$xM_1(m, n_1, n_2, d_1) =$

$root[[WM_1(m, \theta 1M(j, n_1), n_1, n_2) - d_1 \cdot 10^{18}], j]$

$xE_1(m, n_1, n_2, d_1) =$

$root[[WE_1(m, \theta 1E(j, n_1), n_1, n_2) - d_1 \cdot 10^{18}], j]$

A mintán mérhető becsatolási rezonancia szögek:

$\Omega E_1, \Omega M_1$

$\Omega M_1(m, n_1, n_2, d_1) =$

$\text{asin}\, n_{\text{eff}}M\theta 1M\ xM_1(m, n_1, n_2, d_1), n_1, n_1 - \frac{\lambda_{1air}}{\Lambda}$

$\Omega E_1(m, n_1, n_2, d_1) =$

$\text{asin}\, n_{\text{eff}}E\theta 1E\ xE_1(m, n_1, n_2, d_1), n_1, n_1 - \frac{\lambda_{1air}}{\Lambda}$

A 0. rendű vezetett módusokra:

$\Omega_{1M_0} = \Omega M_1(0, n_1, n_2, d_1)$

$\Omega_{1E_0} = \Omega E_1(0, n_1, n_2, d_1)$

$\Omega_{1M_0} = -41,616 \cdot \text{deg}$

$\Omega_{1E_0} = -40,695 \cdot \text{deg}$

A szomszédos csatorna hullámhosszának meghatározása:

$\lambda = \lambda_{1air} \qquad f = \frac{c}{\lambda} \qquad f = 1,887 \cdot 10^{14} \cdot \text{Hz}$

$\Delta f = 50 \cdot \text{GHz} \qquad \Delta\lambda = \frac{c}{f} - \frac{c}{f + \Delta f} \qquad \Delta\lambda = 0,421 \cdot \text{nm}$

A szomszédos csatorna mérőfényének hullámhossza (λ_{2air}:

$$\lambda_{2air} = \lambda_{1air} + \Delta\lambda \quad \lambda_{2air} = 1588,92 \cdot \text{nm}$$

Meghatározva ennél a hullámhossznál a 0. rendű vezetett módusokhoz tartozó rezonanciaszög értékeket kapjuk:

$$\Omega_{2M_0} = -41,663 \cdot \text{deg} \quad \Omega_{2E_0} = -40,741 \cdot \text{deg}$$

A két szomszédos csatorna megfelelő módusokat indító rezonanciaszög értékei közötti különbség:

$$\Delta\Omega_M = \Omega_{1M_0} - \Omega_{2M_0} \Delta\Omega_E = \Omega_{1E_0} - \Omega_{2E_0}$$

$$\Delta\Omega_M = 0,047 \cdot \text{deg} \Delta\Omega_E = 0,046 \cdot \text{deg}$$

A kiszámított szögeltérés értéke nagyobb, mint a kísérletben mért integrált optikai elem felbontóképessége.

A számítások eredménye alapján megállapítható, hogy a modellként választott integrált optikai elem hullámhossz szelektivitása megfelelhet a korszerű WDM rendszereknél támasztott követelményeknek.

13. ÖSSZEFOGLALÁS

A rács-csatolóval ellátott egymódusú vékonyréteg hullámvezető, mint önálló integrált-optikai elem különlegesen nagy érzékenysége miatt alkalmas érzékelőelemként történő felhasználásra. Az Intézetünkben kidolgozott gyártástechnológiával lehetőség nyílik az integrált optikai elem paramétereinek széles határok között változtatható és pontosan kézben tartható kialakítására. Az elvégzett modell számítás alapján lehetségesnek látszik ennek az integrált optikai eszköznek a sokcsatornás WDM rendszerek hullámhossz szelektív elemeként történő alkalmazása is.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Kapany and Burke: Optical Waveguides. Academic Press, 1972.
[2] Newport Corporation: Projects in Fiber Optics. Newport Corporation, 1986.
[3] Dietrich Marcuse: Integrated Optics. IEEE New York, 1972.
[4] Paolo Mazzoldi and George W. Arnold: Ion beam modification of insulators ELSEVIER, 1987.
[5] K. Tiefenthaler, W. Lukosz: Sensitivity of grating couplers and integrated-optical chemical sensors. J. Opt. Soc. Am.B. Vol. 6, No. 2 (1989) pp. 209-220.
[6] Olivier Parriaux et al.: Coupling gratings as waveguide functional elements. Pure Appl. Opt. 5 (1996) pp. 453-469.

INTEGRATED OPTICAL ELEMENT RESEARCH

A. HÁMORI

RESEARCH INSTITUTE FOR TECHNICAL PHYSICS AND MATERIALS SCIENCE
H-1525 BUDAPEST, PF. 49.

The rating-coupled single mode polanar waveguides – as integrated optical elements – due to their extreme sensitivity can be used as sensors. Based on the manufacturing technology – developed in our institute (patent pending) – wide rage, versatile, custom-tailored parameters of the integrated optical elements can be realised with high reproducibility. The calculations and preliminary experiments indicate possible application of this integrated optical element in the field of WDM systems, as wavelength selective component.

Hámori András 1973-ban végzett fizikusként a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán. Doktori ösztöndíjasként kezdett dolgozni jelenlegi munkahelyének jogelődjében, a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutatóintézetében. 1976-ban szerzett egyetemi doktori fokozatot. 1976-tól 1977-ig tudományos segédmunkatársi, majd tudományos munkatársi beosztásba került. Pályája során művelt kutatási és fejlesztési területei: koherens optikai adatfeldolgozás, képkivonás holografikus interferometriával, pásztázó infravörös lézermikroszkóp, integrált optikai szenzorelem kifejlesztése.

OPTICAL INFORMATION TRANSMISSION FOR MILLIMETER WAVE MOBILE COMMUNICATIONS

T. BERCELI, G. JÁRÓ, T. MAROZSÁK,
S. MIHÁLY, E. UDVARY, Z. VARGA, A. ZÓLOMY

TECHNICAL UNIVERSITY OF BUDAPEST, DEPARTMENT OF MICROWAVE COMMUNICATIONS
H-1111 BUDAPEST, GOLDMANN GYÖRGY TÉR 3, HUNGARY
TEL.: (36)-1-463-4142, FAX: (36)-1-463-3289
E-MAIL: BERCELI@MHTBME.HU
WWW: HTTP://WWW.MHTBME.HU/~BERCELI

A novel method is presented for optical information transmission in the millimeter mobile communications. The well-known methods in which the millimeter wave signal is distributed via a fiber have many drawbacks because they need very high speed photonic components. These problems are overcome by the new approach which utilizes a low frequency reference signal to phase lock a millimeter wave oscillator. The advantage of the new approach is in the application of low cost photonic components and in the low sensitivity to the fiber dispersion.

1. INTRODUCTION

The mobile communication systems tend to use the millimeter wave (MMW) frequencies in cellular applications [1], [2]. The signal distribution system uses single mode fibers between the center station and the local base stations for the transmission of the millimeter wave carrier. There are several well-known approaches to generate millimeter waves by optical methods for MMW mobile systems.

In one approach two lasers are used with off-set frequency stabilization. Their frequency difference is kept constant utilizing a millimeter wave signal as a reference. For the stabilization one of the lasers is tuned by a phase locked loop.

In another approach a single laser operating in two modes is applied. The frequency difference between the two laser modes is kept constant by injection locking techniques utilizing a millimeter wave signal.

In a third approach a single mode laser beam is modulated by the millimeter wave signal. This method seems to be simpler than the previous two ones, however, it needs a high frequency external modulator what is rather expensive. A further problem arises in the transmission of the optical wave carrying a millimeter wave signal. Due to the chromatic dispersion of the fiber transmission minima are obtained for longer fiber lengths.

The chromatic dispersion problem may be overcome by the use of several modulation techniques at the transmitter end which effectively mitigate the effect of the fiber chromatic dispersion, such as single-side-band modulation [3], minimum transmission bias or maximum transmission bias of the Mach-Zehnder (MZ) modulator [4]. However, the single-side-band modulation is more complex while at the minimum or maximum transmission bias the modulation linearity is poor.

Our approach utilizes a low frequency reference signal [5] and the millimeter-wave carrier is generated by phase locking technique [6] at the radio base station. This method is not affected by the dispersion problem (because the usual distances between the center and the radio base stations are less than 10 km), relatively simple and utilizes inexpensive optical devices.

The new system has many advantages compared to the well-known methods, because it doesn't need:

- a tuned laser and its off-set frequency stabilization,
- a two-mode laser and its injection locking stabilization,
- a high frequency external modulator,
- expensive high frequency photonic components.

However, there is a noticeable disadvantage, namely the more complex optical receiver set-up. Nevertheless, this problem can easily be solved by the application of the integrated circuit technology.

Employing the low-frequency reference signal transmission architecture – instead of using a conventional local oscillator without reference input [7] – offers several advantages: the millimeter wave carrier frequencies of the radio base stations are synchronized, what is important for the efficient utilization of the available frequency band; applying a low-noise, stable reference signal the noise contribution of the local oscillator is significantly reduced.

2. SYSTEM CONCEPT

The proposed system is based on the simultaneous transmission of the information and the reference signal via an optical intensity modulated channel, both placed in the low microwave frequency range (about 1 GHz). In this approach instead of transmitting the millimeter-wave signal, one of its subharmonic is optically transported and at the reception side the millimeter-wave is generated utilizing the subharmonic signal as a reference frequency. A single mode laser is intensity modulated by the subharmonic reference signal, the optical signal is transmitted via monomode optical fiber and detected by a simple PIN photodiode. Beside the reference signal subcarriers are used for the optical transmission of the information channels. A microwave phase-locked oscillator operating in the desired millimeter wave band (MMW-PLO) is locked to the subharmonic frequency reference. The generated MMW signal is used to up-convert the information channel by a microwave mixer for radiation. The schematic block diagram of this system is shown in Fig. 1.

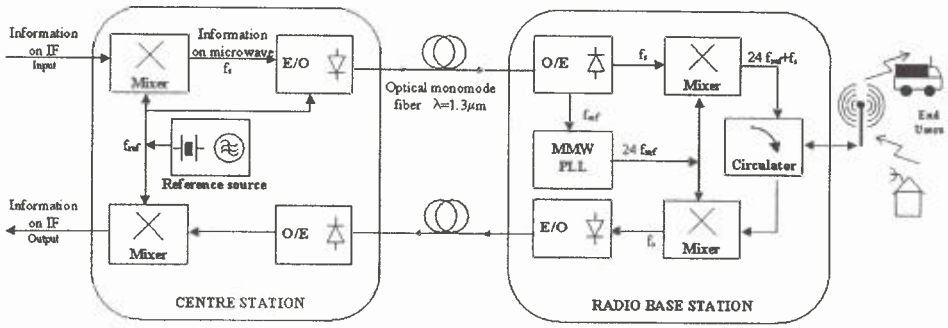


Fig. 1. Simplified block diagram of the system

Between the center station and the radio base stations two-way connections are needed. The signals of the mobile terminals are received by the radio base stations and transmitted to the center station over the fiber. In the present system the same millimeter wave local oscillator signal is used to down-convert the received radio signals at the radio base stations for transmitting them over the fiber on a subcarrier in the low frequency band.

The millimeter wave carrier generation at the radio base station is a significant part of the system. The block diagram of the MMW PLO is shown in Fig. 2. The frequency of the fundamental signal of the harmonic VCO ($n \cdot f_{\mathrm{ref}}$, $n = 8$ in our case) is divided down by 8 and compared to the incoming optically transmitted subharmonic reference. The output signal of the phase detector called "error signal" is proportional to the phase difference between its two input signals. After filtering and amplification this error signal is used to control the frequency of the VCO. This way the frequency and noise of the VCO is mainly determined by the frequency and noise of the reference signal. One of the harmonic frequencies ($k \cdot f_{\mathrm{VCO}}$, $k = 3$ in our case) is coupled out of the oscillator and utilized as a MMW local oscillator signal after proper amplification. The millimeter wave harmonic oscillator was designed to have high level of harmonics at the output by a new method [8].

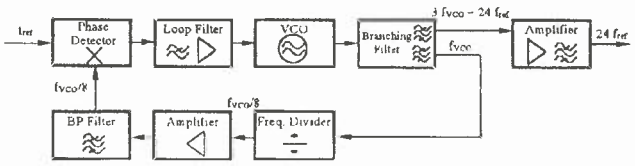


Fig. 2. Block diagram of MMW PLO

3. SYSTEM DEMONSTRATOR

A system demonstrator was built for verification. The center station was simplified to be able to transmit one information channel to the radio base station having 30 MHz bandwidth. As a reference $f_{\mathrm{ref}} = 1.055$ GHz was chosen with 390 MHz IF subcarrier and hence, 1.445 GHz microwave subcarrier. The laser diode was a simple Fabry Perot type one operating at 1310 nm. The photodetector is followed by a branching filter, which separates the microwave reference signal from the subcarrier. The system utilizes the third harmonic of the VCO, which is at 25.32 GHz.

The reference frequency is chosen to minimize the noise contribution of the laser diode. The RIN (relative intensity noise) of the laser is small enough around 1 GHz because the relaxation oscillation frequency is high enough, it is around 5 GHz. At 1 GHz reference frequency the optical transmission does not add any noticeable contribution to the noise and this way the BER (bit error rate) is also not affected.

In Fig. 3 a detailed block diagram of the complete transmitter is given. This subsystem consists of several functional elements, each corresponding to a specific task. Some of the circuits have been integrated into a common block to reduce the number of building units.

The 1055 MHz PLXO (element 1) is a crystal driven source to provide the system with a coherent L-band reference signal. The PLXO applies a programmable PLL to set the desired frequency and is operating on a single power supply. The L-band unit (elements 2−7 and 18) has many features and includes all the circuitry that had to be realized on standard microwave substrate. The unit has two main inputs, one for the coherent reference signal coming from the PLXO and the other for the information signal arriving after the first upconversion to the 390 MHz second IF. The unit contains the necessary branching filter to provide a single output, which can be directly connected to the laser modulator.

The 390 MHz band-pass filter (BPF) is a traditional L-C filter on common FR-4 substrate, with fixed tuning to its pass-band. The main aim of this filter is to block all the spurious intermodulation products coming from the mixer output of the IF unit.

The 70 MHz digitally modulated IF signal is connected to the input of the IF unit. After some filtering the 70 MHz information band is upconverted to a second IF at 390 MHz. This procedure requires a 320 MHz local oscillator signal. The input band is set by a band pass filter.

The optical receiver with MMW-PLL subsystem (Fig. 4) consists of a direct optical detector followed by a branching filter to separate the reference signal from the modulated information signal. A PLL circuit generates the MMW signal with phase lock to the incoming reference. An output mixer produces the output modulated MMW signal from the L-band information signal and the MMW generated signal.

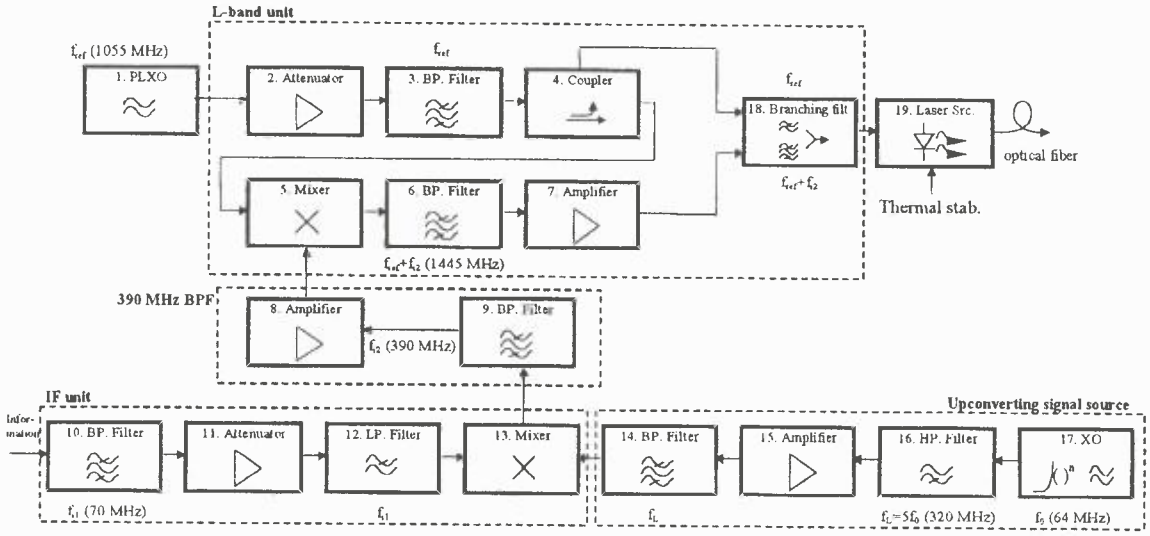


Fig. 3. The block diagram of the optical transmitter

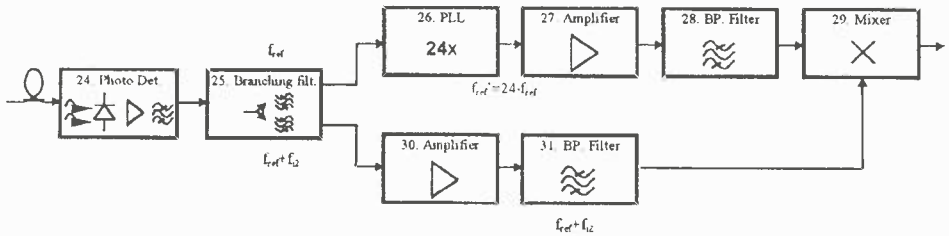


Fig. 4. Block diagram of the optical receiver

4. EXPERIMENTAL RESULTS

4.1. Spectrum measurement

The PLL was measured both in free running and locked condition. During the free-running measurements the tuning voltage of the VCO was changed and the power and the frequencies were measured after a frequency division by 8, i.e. in the 1 GHz frequency range where the phase comparison is made (Fig. 5). The power of the measured signal versus tuning voltage is constant in the entire tuning range. The relative tuning range is about 1.6 % changing the VVCO between 0–12 V.

The PLL was also measured in the locked condition. The spectrum of the original reference, the transmitted reference and the harmonic signal were measured by a spectrum analyzer, the results are presented in Fig. 6. The reference frequency is chosen to minimize the noise contribution of the laser diode. The RIN (relative intensity noise) of the laser is small around 1 GHz because the relaxation oscillation frequency is higher. So the optical transmission does not add any noticeable contribution to the noise at 1 GHz reference frequency. As seen the shape and the noise of the reference signal (Reference) provided by a quartz oscillator is unchanged when it is used by a direct electrical connection (Electrical) or through the optical connection (Optical).

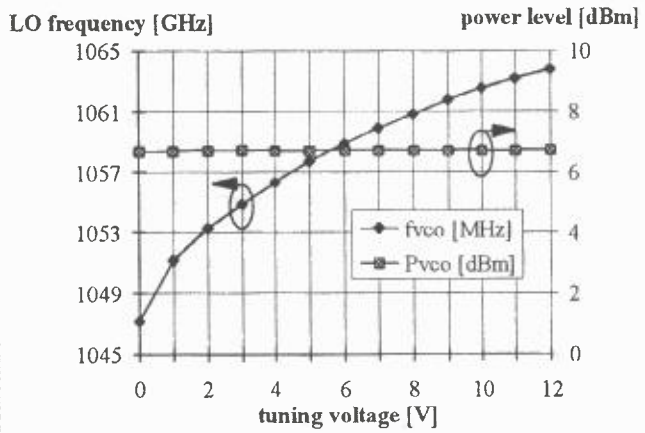


Fig. 5. Frequency and power dependence

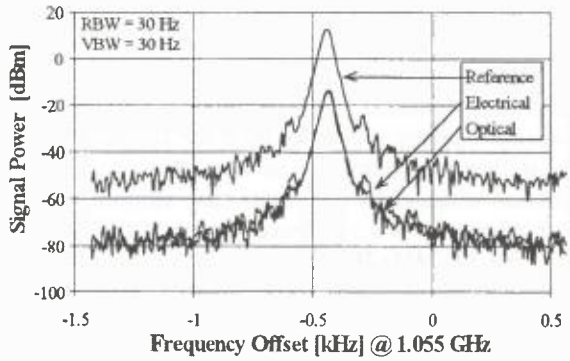


Fig. 6. Spectrum of the reference signal

The main task is to ensure the low noise property of the millimeter wave signal. Comparing the well-known methods and the present method it is obvious that the electronic system part producing the millimeter wave signal provides the same stability and noise performance when it is applied either at the optical transmitter side or at the optical receiver side. Therefore it is very relevant to use a quartz crystal oscillator with a low noise as the basic reference. Finally, the spectrum of the harmonic signal output is presented in Fig. 7.

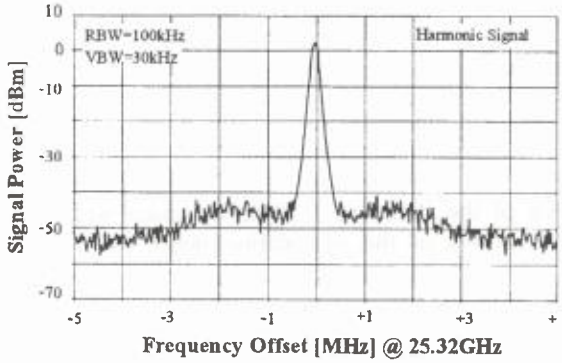


Fig. 7. Spectrum of the MMW signal

4.2. Phase jitter measurements

The measurement setup has been developed to eliminate the phase jitters originating from the generators used for down-converting the millimeter wave signal. An IQ demodulator operating at 885 MHz was utilized, and the millimeter wave signal was down-converted into this band by a mixer. The I and Q signals were displayed on an oscilloscope and the phase jitter distribution was recorded and calculated by a computer.

Fig. 8 shows the phase histogram compared to the Gaussian distribution and Fig. 9 shows the phase constellation. The distribution has 2.25° standard deviation. As the reference signal has a phase jitter of $\approx 0.09°$ and the multiplication number of the frequency is 24, the noise contribution of the system is negligible. Thus the origin of the 2.25 degree average phase jitter is in the noise of the applied reference source. With an improved reference source the average phase jitter at the millimeter wave can be reduced below 1 degree.

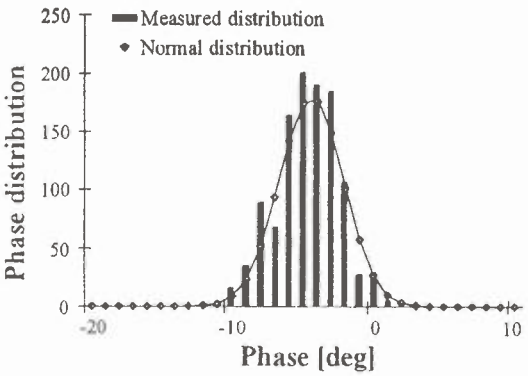


Fig. 8. Phase histogram

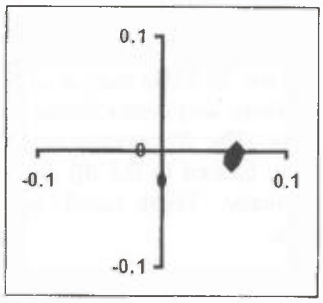


Fig. 9. Phase constellation of I/Q signal

From the phase jitter data the error probability versus. maximum allowable phase deviation can be calculated (see Fig. 10) In principle the maximum allowable phase deviation is 90° for 4 QAM, and approx. 18° for 16 QAM.

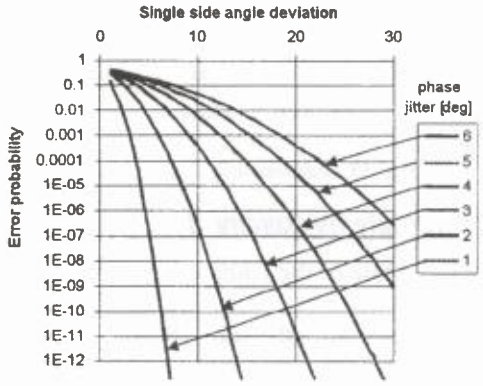


Fig. 10. Error probability versus allowable phase deviation

4.3. Transmission measurements

The circuit-construction scheme and the transmission characteristic of the direct intensity modulated laser transmitter are presented in Figs. 11, 12 respectively. The transmission characteristic has a flat response up to 2 GHz.

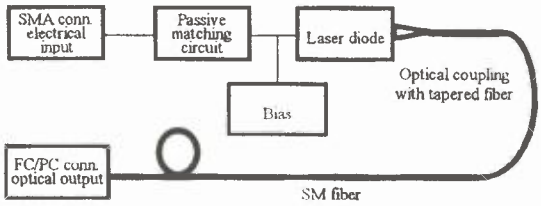


Fig. 11. The modulated laser source

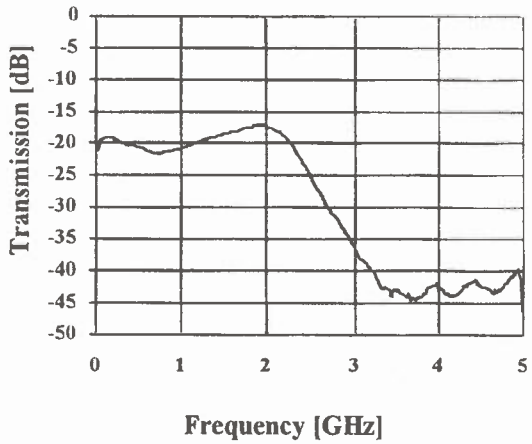


Fig. 12. Overall transfer characteristics of the direct modulated laser

The amplitude transmission and the group delay variation of the complete system were measured between the 70 MHz input and the 70 MHz output of the system (not including the modulator and demodulator) by a vector analyzer (see Fig. 13). The fluctuation of the transmission and group delay are limited to 0.5 dB and 3 ns in a ± 10 MHz band, respectively. These results are good enough for our applications.

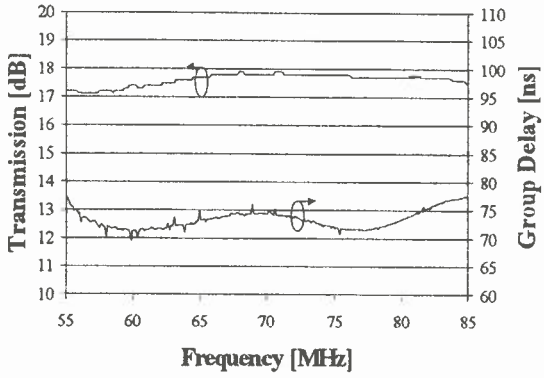


Fig. 13. Transmission measurement

4.4. Bit error rate measurements

The bit error rate of the complete system was measured in case of different modulations. The system performance has been evaluated with changing the signal-to-noise ratio of the radio frequency signal (see Fig. 14). The curve for MODEM refers to the back-to-back MODEM measurement. The curve of ELECTRICAL test gives the data for the case when direct electrical connection was between the center station and the radio base station. Finally, the curve of OPTICAL transmission shows a very small degradation compared to the ELECTRICAL connection.

In these measurements a QPSK signal was transmitted with a 30 Mbit/s bit rate. The signal-to-noise ratio was measured in a 30 MHz transmission band. The more sophisticated modulation formats are more sensitive to the phase jitter. That can be seen in the measured data presented in Table 1. showing a small degradation for the 8 PSK and 16 QAM signals compared to the QPSK signal.

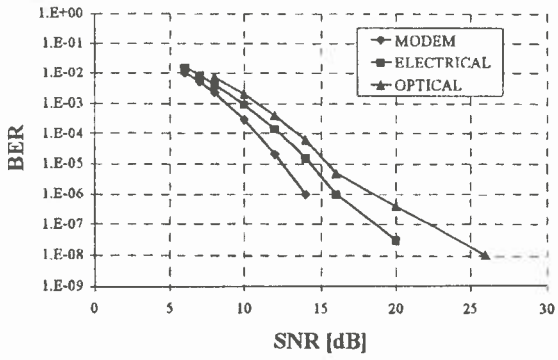


Fig. 14. Bit error rate as a function of the signal-to-noise ratio

Table 1. Bit error rate for different modulation formats

MODULATION	BER
8 PSK	$\leq 10^{-7}$
16 QAM	$\leq 10^{-7}$

In the above measurements the fiber length was 1 km. However, the measured results were checked with longer fibers up to 10 km without any noticeable change in the bit error rate of the specific modulation formats. The reason for these results is that the optical carrier-to-noise ratio is mainly determined by the laser relative intensity noise.

4.5. Intermodulation measurements

The intermodulation distortion is a relevant problem because several carriers are used in a real system. The linearity of the laser was tested on two laser types. The levels of the third order mixing products were measured as functions of the modulation depth and the number of carriers. Applying four carriers with 2 MHz spacing and 12 % optical modulation depth, the intermodulation products are given by Table 2.

Table 2. Third order intermodulation products

Laser type	DFB	Fabry-Perot
With isolator	79 dBc	79 dBc
Without isolator	71 dBc	71 dBc

As the table shows there was no difference between the Fabry Perot (FP) and Distributed Feedback (DFB) lasers. It is very important to mention that FC/APC connectors and a low reflection photo-detector were used, so the optical reflection level was below -60 dB.

5. CONCLUSION

A novel method has been presented to generate MMW signals using fiber connections in cellular radio systems. It is based on the optical transmission of a low frequency reference signal for phase locking a MMW harmonic VCO at the radio base stations. The advantages of this method are the relative low cost and small sensitivity for the fiber dispersion.

6. ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the Commission of the European Union and the Hungarian Scientific Research Fund for their support to their research work (under the projects of KIT, FRANS and OTKA No. T017295, F024113, T030148, T026557, T019857).

REFERENCES

[1] D. Wake, D. G. Moodie: "Passive Picocell – prospects for increasing the radio range", IEEE Topical Meeting on Microwave Photonics, MWP'97 Digest, pp. 269-271, Duisburg, Germany, September 1997

[2] Westbrook, D. Nesset : "Novel Techniques for High-Capacity 60-GHz Fiber-Radio Transmission Systems" IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 45, pp. 1416-1423, August, 1997

[3] G. H. Smith, D. Novak, Z. Ahmed: "Novel Technique For Generation Of Optical SSB With Carrier Using A Single MZM To Overcome Fiber Chromatic Dispersion", Microwave Photonics Workshop, MWP'96 pp. 5-8 (PDP-2), Kyoto, Japan, 1996

[4] J. M. Fuster, J. Marti, V. Polo, F. Ramos, J. L. Corral: "Mitigation of dispersion-induced power penalty in millimetre-wave fibre optic links", ELL (Electronics Letters), Vol. 34, p. 1869-1871

[5] T. Berceli: "A new approach for optical millimeter wave generation utilizing locking techniques", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Vol. III, pp. 1721-1724, Denver, USA, June 1997

[6] T. Marozsák, T. Berceli, G. Járó, A. Zólomy, A. Hilt, S. Mihály, E. Udvary, Z. Varga: "A new optical distribution approach for millimeter wave radio", MWP'98, International Topical Meeting on Microwave Photonics, Technical Digest, pp. 63-66, Princeton, USA, October 1998

[7] Q. Z. Liu, R. Davies, R. I. MacDonald: "Fiber-Optic Microwave Link with Monolithic Integrated Optoelectronic Up-Converter" IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 7, No. 5, p. 567-569, May 1995

[8] A. Zólomy, V. Biró, T. Berceli, G. Járó, A. Hilt: "Design of harmonic oscillators for millimeter wave signal generation in optical systems", Conference Proceedings of the 28th European Microwave Conference, pp. 75-80, Amsterdam, The Netherlands, October 1998

OPTIKAI INFORMÁCIÓÁTVITEL A MILLIMÉTERHULLÁMÚ MOBIL TÁVKÖZLÉSBEN

A mobil kommunikációs rendszerek fejlődésének egyik irányvonalát a milliméterhullámú jelek használata jelenti. Ezekben a jövőbeli rendszerekben a jel elosztását monomodusú optikai szálon keresztül oldják meg, ami azonban sok problémát vet fel. Az ismert eljárások alkalmazásakor nagyon nagy sebességű és meglehetősen drága fotonikai eszközökre van szükség. Az általunk bemutatott módszer esetén egy alacsony frekvenciájú mikrohullámú referencia jelet viszünk át optikai úton, a milliméterhullámú jelet pedig a vevőben állítjuk elő fáziszárt hurok segítségével. Ebben a megközelítésben csak kis sebességű, olcsó fotonikai eszközöket használunk. További előny, hogy a rendszer a kromatikus diszperzióra alig érzékeny. A cikk első része a milliméterhullámú jelek optikai átvitelének lehetőségeivel, illetve ezek összehasonlításával foglalkozik. Ezt követi az általunk javasolt rendszer bemutatása, a működési alapok leírása. Végezetül a megvalósított kísérleti berendezés mérési eredményeit ismertetjük.

Tibor Berceli graduated in electrical engineering at the Technical University of Budapest. He received the Candidate of Technical Science (Ph.D.), and the Doctor of Technical Science (D.Sc.) degrees from the Hungarian Academy of Sciences. He had his first job at the TKI, Research Institute for Telecommunications. At the same time Dr. Berceli had a part time job at the Technical University of Budapest. Now he is Professor of Electrical Engineering there. He has courses on combined optical-microwave techniques and active nonlinear microwave circuits. Prof. Berceli is Fellow of IEEE. He is the author of 106 papers and 6 books published in English.

Eszter Udvary received M.Sc. degree in electrical engineering from the Technical University of Budapest (TUB), Hungary in 1997. Her MSc. thesis was on the design and test of microwave oscillators. Now, she is a Ph.D. student at the TUB, Department of Microwave Telecommunications. Her research interests includes optical communication systems, optical and microwave interactions and applications of electro-optical devices (semiconductor optical amplifier and electro-absorption modulator).

Attila Zólomy received the M.Sc. degree from the Technical University of Budapest in 1994. Between 1994-1998 he worked at the Department of Microwave Telecommunications as Ph.D. student. Since 1998 he has worked as a research fellow. His main research interest is in the field of high speed optical receivers, wideband distributed amplifiers, optical generation of millimeter wave signals, harmonic millimeter wave VCO-s. He is member of the IEEE and author or co-author of more than 20 papers.

Tamás Marozsak received the M.Sc. degree in 1995 at the Technical University of Budapest. From 1995 to 1998 he was Ph.D. student at the Department of Microwave Telecommunications. From 1998 he works as a research fellow at the same department. His main research interests are the high speed optical transmitters, transmission of millimeter wave signals in optical systems. He is author or co-author of more than 15 technical papers.

Gábor Járó received the M.Sc. degree in electrical engineering from the Technical University of Budapest in 1994. The title of his M.Sc. thesis was: "Development an X-band scatterometer". In 1994 he joined the Department of the Microwave Telecommunication, TUB, where he is working toward his Ph.D. degree. His research interest is in the areas of noise in high-speed optical receiver and optical system, millimeter-wave signal generation in optical systems. He has a submitted Ph.D. Thesis with the title of "High speed optical receivers". Currently he is working for NOKIA Networks.

Sándor Mihály received M.Sc.: Technical University of Budapest (TUB) 1984; Ph.D.: Hungarian Academy of Sciences, 1999. Asistant professor at TUB 1987 to 1999. 1992-94 temporary leave for Telespazio, Rome, Italy, working on X-SAR Space Shuttle born X-band imaging radar data verification project. Research and education: theory and application of RF, microwave and optical circuits and systems, radio communication systems, remote sensing tools and equipment, personal, mobile-wireless communications. Authored fifty papers. Member of IEEE, Hungarian Infotechnology Society and the Hungarian Association of Astronautics. Currently he is with Nokia Networks.

Zoltán Varga received the M.Sc. degree in 1997 at the Technical University of Budapest. The subject of his diploma thesis was a theoretical and experimental analysis of microstrip antennas. Then he started the Ph.D. course in the Department of Microwave Telecommunications at the Technical University of Budapest. His research activities are in the field of optical and microwave interactions include optical cellular millimeter-wave radio systems, optical control of microwave filters, VCSEL lasers and optical links in radiated environment.

IP ÉS WDM INTEGRÁCIÓJA

KAPOVITS ÁDÁM

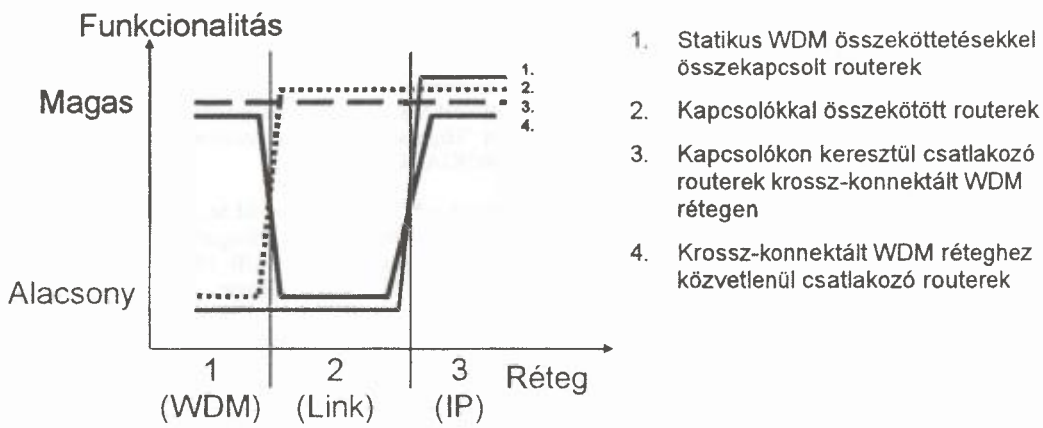
EURESCOM GmbH
HEIDELBERG, D-69118
SCHLOSS-WOLFSBRUNNENWEG 35
FAX: (49) 6221-989-209; E-MAIL: KAPOVITS@EURESCOM.DE

Az elmúlt néhány évet az adatforgalom, ezen belül is az IP alapú alkalmazások forgalmának kiemelkedően dinamikus növekedése jellemezte. A jelenlegi trend alapján az IP alapú forgalom néhány éven belül eléri, illetve meghaladja a hagyományos távbeszélő forgalmat, és ezért meghatározó jelentőségű a jövő hálózatai szempontjából.
Ugyanezen időszakban a hullámhossz osztásos multiplexálás (WDM) olyan fejlődésen ment keresztül, hogy biztosítani tudja az exponenciálisan növekvő adatforgalom számára szükséges kapacitásokat az átviteli hálózatokban.
Központi kérdés, hogy hogyan lehet IP alapú forgalmat költséghatékonyan továbbítani, azaz hogyan lehet az overheadet minimalizálni úgy, hogy közben továbbra is biztosítjuk a szolgaltatások differenciálását, a nagy rendelkezésre állást és biztonságot.
Az EURESCOM P918-as projektje eddigi tevékenysége során áttekintette az IP csomagok WDM hálózatokban történő hatékony továbbításához szükséges beágyazásra született különböző megoldásokat, megoldási javaslatokat. A különböző megoldások részletes analízise jelenleg folyik, de már most be tudok számolni a különböző megoldások hatékonyságának összehasonlításáról. A következőkben a projekt eredményei alapján bemutatom, hogy az IP csomagok nagysebességű útvonaliányításhoz milyen hardver és szoftver elemek állnak rendelkezésre, illetve áttekintem, hogy a WDM réteg hogyan tudja az IP hálózati réteg funkcionalitását kiterjeszteni, bővíteni, például a szolgáltatásminőség (QoS) támogatásával, védőátkopcsolással, vezérelt útvonal átkapcsolással (OXC).

1. BEVEZETÉS

Az EURESCOM P918-as projektje 1999 februárjában indult és a tervek szerint 2000 márciusában fejeződik be. A projektben 11 részvényes vállalat vesz részt (British Telecom, Swisscom, Tele Danmark, Deutsche Telekom, France Telecom, Telecom Italia, KPN, Telenor, OTE, Telia és Telefónica).

A projekt célja, hogy összehasonlítsa az IP csomagok WDM hálózatokban történő továbbításának racionalizálására született különböző műszaki megoldásokat, illetve javaslatokat. Az 1. ábrán a különböző rétegek közötti lehetséges funkcionalitás megosztást mutatjuk be. Az ábrán négy különböző esetet foglaltunk össze. Ezek az esetek eltérőek abban a tekintetben, hogy az 1-es jelű WDM és 2-es jelű vonali rétegeknek alacsony, vagy magas a funkcionalitása. Az IP rétegben mindig magas a funkcionalitás, mivel IP alapú forgalmat feltételezünk és minden esetben routerek alkalmazását, legalábbis a hálózat peremén. A WDM rétegbeli magas funkcionalitás alatt például azt az esetet értjük, amikor optikai OXC-ket alkalmaznak védőátkapcsolásra és hullámhossz útvonalválasztásra (routolásra). A 2-es rétegbeli magas funkcionalitásra példa lehet, amikor ATM kapcsolókat alkalmaznak a kapcsolásra és a szolgáltatásminőség biztosítására.



1. ábra. A funkcionalitás lehetséges megoszlása a rétegek között

A projektben először az IP réteg lehetőségeit tekintették át, felmérve, hogy milyen funkcionalitások, szoftver és hardver elemek állnak rendelkezésre. Elsősorban az Internet Protocol version 4-et és 6-ot hasonlították össze. Szintén felmérték a routerek fejlődési trendjét és értékelték az úgynevezett Gigabit routereket, mivel ezek kulcsfontosságú elemei az IP csomagok WDM hálózaton történő továbbításának.

2. IPv4 kontra IPv6

Jelenleg két verziója létezik az IP protokollnak: IP version 4 (IPv4), amit az IETF RFC 791 definiál, és IP

version 6 (IPv6), amelyet az 1883-1887 RFC-k definiálnak. Az IP deinícója a következő fontos elemeket tartalmazza:

- Az IP definiálja az adatok azon alapvető egységét, amelyet át lehet küldeni az Interneten, azaz az IP definiálja az adatok alapegységének, a datagrammnak a formáját.
- IP szoftver végzi az adatcsomagok útvonalirányítását (routolását) az IP cím alapján.
- Az IP tartalmazza a szabályok egy halmazát arra vonatkozóan, hogy a routerek hogyan kell kezeljék (például továbbítsák) a datagrammokat, mikor és hogyan generáljanak hibaüzeneteket, és mikor dobhatják el a datagrammokat. Az IPv6 létrehozását alapvetően az IPv4 kínálta címtartomány kimerülése indokolta. A fejlesztés egy másik nagyon fontos szempontja volt, hogy javítsák az útvonalirányítás (routolás) hatékonyságát. A következőkben a két protokoll főbb jellegzetességeit tekintjük át és hasonlítjuk össze.

2.1. IPv4

Az IPv4 a felhasználókat és eszközöket egy egyszerű kétszintű címzési hierarchiába sorolja, amelyik a hálózati azonosítókból (network ID) és a host ID-ből áll. Azért, hogy mind a nagy, mind pedig a kisméretű hálózatok igényeit támogassák a 32 bites címtartományt három osztályra bontották az unicast alkalmazásokhoz: A, B és C, azaz nagy, közepes és kisméretű hálózatokra. A világon üzemeltetett számítógépek milliónyinak címzése az IPv4 által alkalmazott kétszintű hierarchiában igen nagy méretű irányítási táblázatokhoz vezet. A hálózatban lévő routerek számára ez hatalmas feldolgozási terhet jelent. 1992-ben az IPv4 címzési módszer problémái közel kerültek ahhoz, hogy az Internet fejlődésének akadályává váljanak, elsősorban a B osztályú címek hiánya, és az útvonalirányítási táblázatok méretének növekedése miatt.

2.2. Az IPv4 s IPv6 közötti választás

Az IPv6 nem fogja egy szempillantás alatt felváltani az IPv4-et, várhatóan a két IP verzió együtt kell működjön több évig.

Alapvetően az IPv6-ot mint egy szoftver upgrade-et lehet telepíteni a meglevő IPv4 berendezésekre és egy további átmeneti időszakot (Simple Internet Transition) biztosít az új berendezések költségének minimalizálásával és a múltbeli befektetések értékének védelmével. Ugyanakkor kétséges, hogy vajon valamennyi Internet hálózatüzemeltető átáll-e az IPv6 technológiára – ez nagymértékben attól függ, hogy a kérdéses hálózatüzemeltető milyen előnyét látja az IPv6-ra történő áttérésnek. Jelenleg, amikor a legtöbb hálózatüzemeltető IPv4 routereket használ, illetve ilyen routerekhez kapcsolódik kifelé, és a forgalom jelentős részét IPv4 alapú hálózatokhoz kell illeszteni, akkor igen kicsi a motiváció a változásra. Ilyen körülmények között az IPv6 új plug-and-play tulajdonságai (amelyek az IPv4-el összehasonlítva megkönnyítik az ilyen hálózatok konfigurálását és fenntartását) vonzóvá tehetik azt elsősorban az olyan hálózatüzemeltetők számára, akik gyorsan fejlődő hálózattal rendelkeznek. Az IPv4-ről az IPv6-ra történő áttérés elősegítéséhez és megkönnyítéséhez szükség van az IPv4 alkalmazások IPv6-tal történő együttműködésére, azaz például az Internet browserek fejlesztői olyan klienseket kell szállítsanak, amelyek mind az IPv4-el, mind pedig az IPv6-al képesek kommunikálni. (A Microsoft jelenleg fejleszt egy IPv4 / IPv6 implementációt a Windows NT platformon. Lásd: http://research.microsoft.com/msripv6/.) Az együttműködés fontos feltétele, hogy az IPv6-ra felkészített hostok kettős stacket használnak, egyet az IPv4 protokoll stack számára, egyet pedig az IPv6 protokoll stack számára.

Rövid távra előretekintve arra a következtetésre juthatunk, hogy az IPv6 megjelenése csak bonyolított a helyzeten, hiszen a hatékonyabb útvonalirányítás előnyeinek megvalósulása a többi hálózatüzemeltető döntésén is múlik, azon, vajon ők is áttérnek-e az IPv6-ra. Kissé hosszabb távon gondolkodva azonban nincs kétség afelől, hogy az IPv6 egy teljesebb és hatékonyabb protokoll, mint az IPv4, és azok, akik kellő időben továbblépnek versenyelőnyt szereznek azonnal, amint megjelennek az IPv6 előnyeit (QoS támogatása) kihasználó IP alkalmazások.

2.4. IPv6 a WDM alapú IP számára

Az EURESCOM P918-as projektje által vizsgált központi kérdés az, hogy mire van szükség a hálózatban és mit lehet elhagyni ahhoz, hogy egy WDM gerinchálózaton az IP forgalom szállítását a lehető leghatékonyabbá tegyük. Ebben a tekintetben az IPv6 a legmegfelelőbb választás ennek az új, optimális hálózatnak a megvalósításához. Az IPv6 alkalmazásával az overhead csökkenthető (és növelhető a hatékonyság), mivel megszabadulunk a hibaellenőrzés terhétől (az IPv6 protokollban nincs hibaellenőrzés). Mindez a WDM hálózattal, mint platformmal szemben alapvető követelményként a megbízhatóságot támasztja. Ennek a biztosítása nem jelenthet gondot, hiszen a WDM hálózatok egyik fontos jellemzője a megbízhatóság.

Mindehhez mindenképpen szükség van az IP és a WDM közti illesztésre. Az IP és a WDM hálózati rétegek közötti illesztő réteg képes kell legyen a WDM rétegbeli erőforrások lefoglalására azért, hogy az IPv6-ban meglévő QoS támogatást megfelelőképpen ki lehessen használni. Erre az erőforrás-foglalásra több különböző lehetőség kínálkozik, amelyekről később szó lesz.

Ez a fejlődési út, illetve jövőkép egy WDM maghálózatot (gerinchálózatot) feltételez, amelyhez a hálózat határán IPv4 routerek illesztik a forgalmat egyidejűleg biztosítva a sima átmenetet és a tiszta elkülönítését a különböző halózatrészeknek. A WDM maghálózatban IPv6-ot alkalmazva egy jobban skálázható, hatékony és jövőbiztos hálózatot hozhatunk létre, mint IPv4-re alapozva.

3. ROUTEREK

A hálózatokban jelenleg alkalmazott, úgynevezett hagyományos routerek nem képesek lépést tartani az IP adatforgalom növekedésével. Éppen ezért a projektben vizsgálták a routerek lehetséges fejlesztési irányait, a fejlesztési lehetőségeket mind a hardver, mind pedig a szoftver területén.

3.1. Hardver

A hardvert illetően megfigyelhető, hogy az olyan, korábban szoftverrel megoldott feladatokat mint címkeresés

(address lookup), IP, TCP és UDP fejléc feldolgozás, valamint checksum igyekeznek ASIC áramkörök alkalmazásával gyorsítani, és a központi processzorra jutó feldolgozási igényt, terhelést csökkenteni.

Megfigyelhető továbbá, hogy a hagyományos IP routerek busz rendszere helyett a Gigabit routerekben már kapcsolómezőket alkalmaznak, mivel a busz architektúra, a korlátozott sávszélességű közös erőforrás akadályává vált annak, hogy az IP csomagokat gigabit sebességgel legyenek képesek fogadni és feldolgozni.

A fentieken túlmenően a Gigabit routerek vonali meghajtó kártyáit felkészítették az IP-re, azaz a kártyákon hardverben oldják meg az IP továbbítást, pufferelést és időzítést, megintcsak azért, hogy ne a központi vezérlő egységet terheljék.

3.2. Szoftver

Szoftver tekintetében a Gigabit routerekben fontos feladat az útvonalirányítási táblázatból a cím kikeresésének optimalizálása, gyorsítása. Átlagosan 2000 bit hosszúságú IP csomagokat feltételezve másodpercenként 500000 csomagot kell továbbítani 1 Gb/s teljes áteresztőképesség eléréséhez. Ezért például egy 10 Gigabites routernél egy csomag továbbítása nem tarthat tovább, mint 200 ns.

A cím kikeresésének optimalizálására két út kínálkozik: 1. megfelelő adatstruktúrák és algoritmusok használata; 2. a beérkező IP forgalom adatfolyamokba történő sorolása, osztályozása.

(Ezeket a feladatokat ma már közvetlenül hardverben oldják meg, és a szoftver kifejezés használata némiképp félrevezető, azonban az útvonalirányításnál és továbbításnál alkalmazott algoritmusok és eljárások összefoglalására itt mégis ezt használjuk.)

A címfeloldási problémánál általában fa struktúrát szoktak alkalmazni. A fa struktúrában legrosszabb esetben N lépésre van szükség a cím meghatározásához, ahol N a maximális címhossz bitekben kifejezve, azaz például egy IPv4 cím feloldásához 32 lépésre van szükség. Különböző megoldások léteznek a feladat egyszerűsítésére, gyorsítására.

Adatfolyamon a csomagok olyan sorozatát értjük, amelyekre ugyanaz az útvonalirányítási döntés vonatkozik. Egy példa az ilyen adatfolyamra az IP csomagoknak egy olyan sorozata, amelyiknek ugyanaz a forrás és fogadó IP címe. Mód van továbbá a folyamokba sorolásnál figyelembe venni nemcsak a címeket, hanem a portokat (kapukat) is, így különböztetve meg egymástól a különböző alkalmazásokhoz tartozó csomagokat. Ezzel a módszerrel tehát meg lehet különböztetni az eltérő alkalmazásokhoz tartozó csomagokat és kezelni lehet az eltérő QoS igényeket.

A továbbítási döntés a folyamba tartozó első csomag feldolgozásakor történik. Az IP csomagok folyamokba sorolására kitűnő példa a Tag Switching és a MultiProtocol Label Switching (MPLS).

MPLS

Számos eltérő javaslat született arra, hogy az adatforgalom kezelését lehetőség szerint minél alacsonyabb szinten, azaz a 2-es rétegben oldják meg kapcsolással, a 3-as rétegbeli útvonalirányítás helyett.

A MultiProtocol Label Switching (MPLS) egy az IETF által javasolt megoldás erre a célra, és mint ilyen kísérlet arra, hogy egy szabványosított megoldást hozzanak létre. Az MPLS-ben a címke egy olyan szám, amelyet az MPLS sziget (domain) szélén lévő IP router ad a csomagnak az MPLS szigetbe történő belépéskor, és amelyik egy útvonalat határoz meg a hálózaton keresztül, és így a csomagok gyorsabban kerülnek feldolgozásra és továbbításra, anélkül, hogy szükség lenne a csomagban lévő cím feldolgozására (lookup). Ezt a címkét vagy az IP csomaghoz fűzik hozzá, vagy pedig az IP csomag beágyazására szolgáló keretben helyezik el egy erre a célra szolgáló megfelelő mezőben.

4. IP ÉS WDM INTEGRÁCIÓJA

A következőkben 5 különböző eljárást takintünk az IP és WDM integrációjára. Ezek a következők:

- IP/ATM/SDH
- IP/ATM
- IP/SDH (Packet over SONET – POS)
- IP/SDL
- IP/Gigabit Ethernet

Ez a lista nem feltétlenül teljes, és nagyon valószínű, hogy további altenatív megoldásokra születnek javaslatok a közeljövőben.

4.1. Az overhead

Az IP csomagok WDM hálózatban történő átviteléhez szükséges adaptációs módszereket sávszélesség-hatékonyság szempontjából összehasonlítva az 1. táblázatban összegezett adatokat kapjuk. Az összehasonlításnál 350 bájt hosszúságú IP csomagokat feltételeztünk, a számítások ilyen hosszúságú IP csomagok esetére vonatkoznak. Az összeköttetés STM-16 szintű az első négy módszer esetében, és 1,25 Gb/s-os GbE az utolsó esetben.

1. táblázat. Az overheadek és vonali kapacitások százalékos összefoglaló összehasonlító táblázata a különböző beágyazási módszerek esetében.

Beágyazás/ keretezés	Overhead (%)	Vonali kapacitás (Mb/s)
IP/ATM/SDH	22	1.944
IP/ATM/Cellbased	19	2.011
IP/PPP/SDH	6	2.338
IP/SDL	3	2.411
IP/GbE	28	902

4.2. Az IP beágyazásának kívánatos tulajdonságai WDM hálózatban történő átvitelhez

WDM hálózatokban az optikai jelek különböző torzulásoknak, nemkívánatos hatásoknak vannak kitéve, amelyek bithibát, illetve súlyosabb esetben szolgáltatás kiesést okozhatnak. Ilyen hatások a következők:

- zaj halmozódása,
- diszperzió,
- fényvezető szál nemlinearitások,
- dzsitter halmozódása (például transzponderekben és teljesen optikai hullámhossz konverterekben), és wander,
- hibás csatlakozások,
- optikai teljesítmény-tranziensek és változások,

- fényvezető szál szakadások, elvágások és berendezéshibák.

Azért, hogy ezeket a nemkívánatos hatásokat kiküszöböljük, illetve hatékonyan szembeszálljunk velük a beágyazási protokollnak a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie:

- útvonal nyomkövetés annak ellenőrzésére, hogy a megfelelő csatornát (hullámhosszúságú jelet) vesszük-e,
- opcionális hibajavítás, például erős Forward Error Correction (FEC),
- robosztus szinkronizációt lehetővé tévő megfelelő időütemezési információ,
- védőátkapcsolási protokollok lehetősége, támogatása,
- nód a hibafigyelésre,
- lehetőség menedzsment információk átvitelére,
- alacsony overhead.

Az SDH keret — függetlenül attól, hogy ATM, illetve PPP adaptáció történik — a fenti követelmények közül majdnem mindnek eleget tesz. Az SDL és a Gigabit Ethernet a szükséges képességek közül csak kevéssel rendelkeznek, ezért használatuk várhatóan kisebb méretű hálózatokra korlátozódik majd.

4.3. A WDM réteg által biztosított funkcionalitások

A WDM réteg a következő funkcionalitásokat tudja biztosítani:

- vezérelt útvonal-átkapcsolás (OXC),
- hullámhossz szerinti útvonalirányítás,
- védelem és helyreállítás,
- QoS biztosítása IP hálózatokban különböző hullámhosszak segítségével.

Nézzük ezek közül részletesen a szolgáltatásminőségnek IP hálózatokban hullámhosszak segítségével történő biztosítására kínálkozó lehetőségeket.

Tekintsük először azonban azt az esetet, amikor a védelem és helyreállítás kizárólag az IP tartományban történik. Az IP forgalom helyreállításához az IP rétegben az irányítási táblák módosítására van szükség. Ennek a sebessége függ a hálózat méretétől és az alkalmazott útvonalirányítási algoritmustól. Hagyományos IP routereket alkalmazva egy nagyméretű hálózatban, az irányítási táblák mérete elérheti akár a 64 MB-ot is, és a forgalom megfelelő helyreállítása akár órákba is telhet. Más protokollok, mint például az MPLS, képesek lehetnek az irányítási/kapcsolási táblázataikat gyorsabban felfrissíteni, különösen kisebb hálózatok esetében, és összesen néhány perces kieséssel kell csak számolni.

QoS biztosítása IP hálózatokban különböző hullámhosszak segítségével

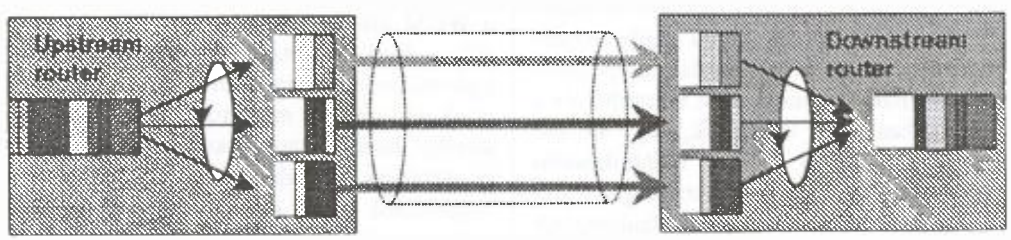
A WDM platform többféle lehetőséget kínál a trönkhálózatban az IP hálózatbeli szolgáltatásminőség megvalósításának támogatására. A WDM nyújtotta előnyök mellett mindazonáltal feltételezzük, hogy az IP réteg szintén támogatja a szolgáltatásminőség biztosítását az IntServ és DiffServ funkciók segítségével.

A továbbiakban három lehetőséget vázolunk arra, hogy szolgáltatásminőséget biztosítsunk IP hálózatokban, illetve hullámhosszakat CoS (Class of Service) megkülönböztetésére használjunk.

Összeköttetések bővítése

Ennél a megközelítésnél az összeköttetések sávszélességét az IP routerek közvetlenül kontrollálják. A hálózat átmenő forgalmát nagykapacitású routerek kezelik. A többhullámhosszúságú összeköttetésekben a hullámhosszakat mint megosztott erőforrást kezelik, és a hullámhossz dimenzióban statisztikus multiplexelést alkalmaznak, ahogyan azt a 2. ábra mutatja.

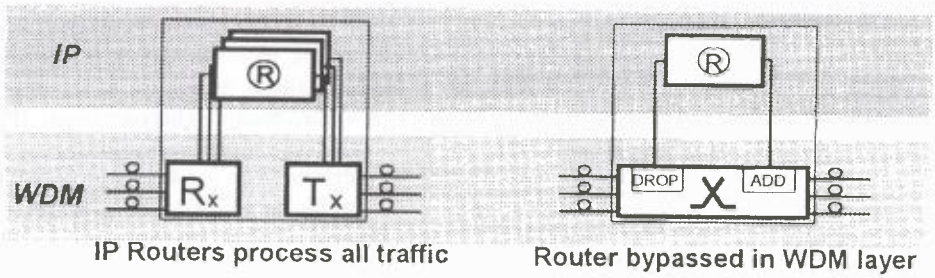
Az IP csomagoknak a statisztikus multiplexálása egy hullámhosszon a rendelkezésre álló kapacitás jobb kihasználását eredményezi. Ez azt jelenti, hogy így lehetőség van a minőség javítására a rendelkezésre álló kapacitás növelésével, a kapacitás túlbiztosításával.



2. ábra. Statisztikus multiplexelés alkalmazása a hullámhossz dimenzióban

QoS biztosítása hullámhossz szerinti útvonalirányítással

Ennél a megközelítésnél a forgalmat a hullámhossz szerint irányítják OXC-vel. Így elérhető az IP routerek kikerülése és az időigényes címkeresés az útvonalirányítási táblázatokban minden csomópontban (3. ábra). Ezzel a megoldással csökkenthető a hálózat késleltetése, és IP szinten lehetővé válik az egy lépéses (one-hop) csomagtovábbítás. Az eljárás hátránya, hogy az általános nézet szerint az IP útvonalirányítási protokollok működését hátrányosan befolyásolja, ha a routereknek nagyszámú szomszédja van. WDM szinten mindehhez szükség van (előfeltétel) a dinamikusan konfigurálható OXC-re.



3. ábra. Az a) eset olyan pont–pont WDM rendszert mutat, ahol minden csomag áthalad az R routeren. A b) eset olyan csomópontot ábrázol, ahol a WDM réteg lehetőséget nyújt az R router kikerülésére.

QoS biztosítása címke-kapcsolással

A hullámhossz nyomvonalakat MPLS valós áramkörökként lehet használni úgy, hogy minden MPLS címke egy hullámhossz csatornára mutat. Ennél a megoldásnál a dinamikus WDM OXC-t az IP réteg vezérli, mivel egy MPLS áramkör létrehozása a WDM OXC átkonfigurálását jelenti.

Egy javasolt megoldás az optikai címkekapcsolás (Optical Label Switching), ahol egy optikai fejlécet, illetve címkét használnak, amely tartalmazza az útvonalirányítási információkat. Ennek a megvalósításánál problémát jelent, hogy optikai jelfeldolgozásra van szükség az időtartományban, ami nem egyszerű feladat. Ugyanakkor ez a megoldás nagyon hasonló a hagyományos címkekapcsoláshoz, és így kevés a protokollal kapcsolatos probléma, illetve minden a protokollokat érintő kérdés könnyen megoldható.

Egy másik lehetséges megoldás a hullámhossz, mint címke használata. Ez a megoldás az IP routereket kikerülő korábban vázolt megoldásra hasonlít. Ezzel a megoldással kapcsolatban egy fontos kérdés, amelyet feltétlenül meg kell vizsgálni, hogy hány hullámhosszra van szükség a hálózatban ahhoz, hogy a hullámhosszakat mint címkéket lehessen használni.

Világos, hogy abban az esetben, ha a csomópontokban a hullámhosszak újrafelhasználása nincs megoldva, akkor nincs mód az MPLS-ben lehetséges számú címke egyértelmű leképezésére. Ugyanakkor gyakorlati szempontból elfogadható számú szomszéd csomóponttal számolva és a hullámhosszakat újrafelhasználva úgy tűnik, hogy 40 hullámhossz több, mint elegendő, és ilyen 40 hullámhosszas rendszerek már rendelkezésre állnak. Műszakilag mindez OEXC-k (Opto-Electronic Cross Connects) alkalmazását jelenti a csomópontokban, amelyekkel a hullámhosszak újrafelhasználásához szükséges hullámhossz konverzió minden csomópontban megoldható.

A fentieken túlmenően a címkézést a különböző szolgáltatásminőségi szintek (QoS) nyújtására, megkülönböztetésére is lehet használni. Különböző útvonalak különböző szolgáltatásminőségi szinteket nyújtanak. Ezzel a módszerrel lehetőség van a hálózaton belül virtuális magánhálózatok (VPN) kialakítására is, amelyek kitüntetett szolgáltatásminőséggel rendelkezhetnek.

5. KONKLÚZIÓK

A routerek fejlődését áttekintve összefoglalóan megállapítható, hogy a hálózati késleltetést jelentősen csökkenteni lehet a busz rendszer kiküszöbölésével és a nagy forgalomirányítási táblázatok (look-up táblák) alkalmazása helyett az IP csomagok folyamokba sorolásával és a folyamoknak alacsonyabb rétegben történő kapcsolásával. Különösen bíztató megoldásnak tűnik az IETF által javasolt MPLS, amely megszabadít a nagy forgalomirányítási táblázatok terhétől, ugyanakkor támogatja az olyan hálózati funkcionalitások megvalósítását, mint a virtuális magánhálózatok kialakíthatósága (CoS).

Ahhoz, hogy a routerek a WDM hálózatokban szokásos csatornasebességet portjaikon biztosítani tudják új belső architektúra alkalmazására van szükség ezekben az eszközökben. Ennek megfelelően az új generációs Gigabit routerek már nem busz rendszerűek, hanem kapcsolómezőket tartalmaznak.

Az IPv4-et és IPv6-ot összehasonlítva az IPv6 tűnik alkalmasabbnak az Internet protokollt alkalmazó WDM hálózatok megvalósítása szempontjából.

Megmutattuk továbbá, hogy az IP beágyazására, WDM hálózathoz való illesztésére született műszaki megoldások között nagy különbség van hatékonyság tekintetében. A javasolt protokollokat összehasonlítva megállapítható, hogy vannak közöttük olyanok, amelyek képességei szerények, a kívánatos tulajdonságok közül csak kevéssel rendelkeznek.

Végül pedig a szolgáltatásminőség példáján bemutattuk a WDM alkalmazásának lehetőségeit, azt, hogy a WDM milyen funkcionalitással járulhat hozzá az IP hálózat tulajdonságainak, paramétereinek javításához. Három különböző lehetőséget mutattunk arra, hogy a WDM hogyan járulhat hozzá a szolgáltatásminőség, differenciált minőségi osztályok megvalósításához. Rámutattunk, hogy ezek a megoldások egyéb előnyeik mellett hozzájárulnak a hálózatbeli késleltetések csökkentéséhez.

Ez a cikk az EURESCOM P918-as projektjének eredményeit mutatta be, azonban nem tekinthető az EURESCOM összes részvényesének közös műszaki álláspontjának. A szerző köszönetét fejezi ki a P918-as projekt résztvevőinek, mivel az ebben a cikkben foglaltak az Ő munkájuk eredménye.

Az EURESCOM projektjének eredményei elérhetők a következő címeken:

http://www.eurescom.de/Public/Projects/p900-series/P918/p918.htm

és

http://www.eurescom.de/Public/Publications/Projectresults/P900-series/900s.htm.

ESPICOM QUERY AND SEARCH RESULTS: DWDM

ESPICOM*
BUSINESS INTELLIGENCE LINCOLN HOUSE
CHICHESTER, WEST SUSSEX, PO20 6FS, UK

Query

DWDM

Options

Accept simple query syntax.

Search only licensed documents using individual product indexes. Retrieve all hits.
Sort results first in descending order of Score and then in descending order of Date.

CD-ROM Issue

1999. augusztus 12.

Search Results

Hits 44 Searched 1177 Search complete

Hit Access Score	Document title	Date Source product
1 Yes 92	EUROPE – GTS/HER introduce first IP-over-DWDM platform in Europe	Feb 99 International Telecommunications Intelligence
2 Yes 90	NETHERLANDS/SPAIN – Lucent to supply DWDM equipment to KPN and Telefónica	Jan 99 International Telecommunications Intelligence
3 Yes 86	UNITED STATES – GST first Carrier to use CIENA's long-haul/short-haul DWDM equipment	Jan 99 International Telecommunications Intelligence
4 Yes 86	CHINA/KOREA (SOUTH) – Lucent announces DWDM contracts	Jan 99 International Telecommunications Intelligence
5 Yes 84	EUROPE/CANADA – Alcatel to supply DWDM equipment for European section of Teleglobe's GlobeSystem	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
6 Yes 84	CANADA/UNITED STATES – Nortel Networks to supply SONET and DWDM equipment for MetroNet network	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
7 Yes 82	UNITED STATES – Intermedia to deploy CIENA's DWDM equipment	Jul 99 International Telecommunication Intelligence
8 Yes 82	UNITED STATES – Bell Atlantic approves CIENA's Multiwave Sentry	May 99 International Telecommunications Intelligence
9 Yes 82	EUROPE – Telemonde to deploy CIENA's DWDM equipment in TITAN network	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
10 Yes 82	UNITED STATES – Lucent to supply DWDM equipment to Hyperion	Feb 99 International Telecommunications Intelligence
11 Yes 80	IRISH REPUBLIC – Nortel Networks to supply fibre-optic backbone to Esat	Jul 99 International Telecommunications Intelligence
12 Yes 80	DENMARK – GTS acquires 100 per cent of Ebone	Jul 99 International Telecommunications Intelligence

* © Espicom Business Intelligence. Source: ITI CD-ROM Issue, Aug. 1999.

Hit Access Score	Document title	Date Source product
13 Yes 80	UNITED STATES/ITALY/SPAIN – Lucent and Ascend finalise merger secure US$ 500 million in orders in first week	Jul 99 International Telecommunications Intelligence
14 Yes 80	EUROPE – Taxis launches network	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
15 Yes 80	EUROPE – Unisource Carrier Services to upgrade network	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
16 Yes 80	TRANSATLANTIC – Tyco to install Hibernia cable system for WFI	Apr 99 International Telecommunications Intelligence
17 Yes 80	UNITED STATES – CIENA to acquire Lighters and Omnia	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
18 Yes 80	SOUTH AMERICA – Global Crossing to build US$ 1bn South American Crossing cable system	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
19 Yes 78	TRANSATLANTIC – Alcatel provides more details on Atlantica-1 contract	Jul 99 International Telecommunications Intelligence
20 Yes 78	EUROPE – Interoute to build Europe's largest and fastest fibre-optic network	Jul 99 International Telecommunications Intelligence
21 Yes 78	JAPAN/UNITED STATES – PC-1 completes landing in Japan	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
22 Yes 78	ASIA PACIFIC – MoU signed for second APCN cable	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
23 Yes 78	AFRICA – Africa ONE signs contracts with Lucent and Global Crossing	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
24 Yes 78	UNITED STATES – PF Net to be constructed using Lucent Technology's TrueWave fibre	Jun 99 International Telecommunications Intelligence
25 Yes 78	SOUTH AMERICA – Nortel to construct first phase of IMPSAT 2000	Jun 99 ITI
26 Yes 78	UNITED STATES – GST completes second phase of VITA network	Jun 99 ITI
27 Yes 78	DENMARK/IRISH REPUBLIC/INDIA – Tellabs to acquire Alcatel's DSC businesses in Europe	Jun 99 ITI
28 Yes 78	UNITED STATES – TSSL to supply Global West	May 99 International Telecommunications Intelligence
29 Yes 78	EUROPE – Viatel first in Europe to use Lucent's AllWave fibre	May 99 International Telecommunications Intelligence
30 Yes 78	UNITED STATES/CENTRAL AMERICA/ /SOUTH AMERICA – Telefónica and Tyco to build SAM-1 submarine cable system	May 99 International Telecommunications Intelligence
31 Yes 78	EUROPE – COLT and Level 3 to share network construction costs	May 99 ITI
32 Yes 78	SPAIN – GTS extends network to Barcelona and Valencia	May 99 ITI
33 Yes 78	UNITED KINGDOM – Racal Telecom adopts IP technology for integrated voice and data services	Apr 99 ITI

Hit Access Score	Document title	Date Source product
34 Yes 78	DENMARK/SWEDEN – FaciliCom installs submarine cable between Sweden and Denmark	Apr 99 International Telecommunications Intelligence
35 Yes 78	GERMANY – Metromedia Fiber to build network in Frankfurt	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
36 Yes 78	UNITED STATES – Adelphia acquires Century Communications	Mar 99 ITI
37 Yes 78	JAPAN – Japanese companies plan next-generation mobile telephone systems	Mar 99 ITI
38 Yes 78	GERMANY/SPAIN – GTS Carrier Services adds Madrid and Hamburg to network	Mar 99 ITI
39 Yes 78	IRISH REPUBLIC/UNITED KINGDOM – Telecom Eireann completes installation of Solas submarine cable	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
40 Yes 78	EUROPE/BELGIUM – Viatel completes first ring of Circe network ... introduces national/international leased-line services in Belgium	Mar 99 International Telecommunications Intelligence
41 Yes 78	INTERNATIONAL – Project OXYGEN network capacity increased	Feb 99 ITI
42 Yes 78	INTERNATIONAL – Global Crossing to use technologies technologies from Lucent for global network ... Lucent to supply equipment for Pan-European Crossing	Feb 99 ITI

EUROPE – GTS/HER introduce first IP-over-DWDM platform in Europe

Hermes Europe Railtel (HER), a subsidiary of US-based Global TeleSystems Group (GTS), has introduced what it claims is the first high-capacity transport "platform" in Europe using both Internet Protocol (IP) and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) technologies.

Initially, the IP-over-DWDM platform will be available to selected customers of GTS Carrier Services in six European countries – Belgium, France, Germany, the Netherlands, Switzerland, and the UK – in March. Full commercial service is expected later this year.

By combining the IP transmission standard with DWDM technology, GTS Carrier Services, which provides cross-border transport in Europe to other telecommunications companies, expects to make more efficient use of the HER network, with the potential to increase capacity more than 10 times that of current operational IP networks.

By combining capacity on the HER network and the FLAG Atlantic-1 submarine cable system, GTS Carrier Services plans to offer IP-based services to carriers and Internet Service Providers (ISPs) located in the 50 top European business centres, with connections between any of these cities and New York. In January 1999, GTS announced an agreement with FLAG Telecom Ltd to build and operate FLAG Atlantic-1, the world's first transoceanic dual cable system designed to carry voice, high-speed data, and video traffic at speeds up to 1.28 Tbit/s (see ITI Issue 644).

GTS Access Services, which provides facilities-based access services to businesses, plans to develop fibre-based local exchange operations in 12 European cities over the next three years. When these operations connect to office buildings throughout Europe, GTS plans to offer IP-based services desktop-to-desktop across fibre-optic cable using, in part, the new platform.

The IP-over-DWDM infrastructure, which is based on Cisco Systems routers and CIENA Corporation's DWDM technology, will also provide a new platform for HER's recently announced IP-over-Synchronous Digital Hierarchy (SDH) transmission services.

In addition, HER's Ebone subsidiary, one of the largest Internet backbone providers in Europe, will use the IP-over-DWDM infrastructure to transport Internet traffic among major European capitals.

GTS Carrier Services' HER network and its Internet transport facilities currently span almost 10,000km across Europe, serving telecommunications carriers and ISPs in 20 cities. The network s expected to exceed 20,OOO km in 44 cities and 18 countries by the end of 1999, and 25,OOO km in 50 cities and 20 countries by the end of 2000. The network currently serves more than 50 carrier customers and more than 80 ISPs.

In December 1998, GTS announced an agreement to acquire UK-based Esprit Telecom, a facilities-based provider of international and national telecommunications services with operations in seven European countries (see ITI Issue 641). Esprit is building a 9,000 route kilometre SDH and DWDM network through six European countries. It is understood that GTS will wait until the Esprit acquisition is completed (expected in March) before revealing its plans for launching IP-over-DWDM over the Esprit network.

Source: ITI CD-ROM Issue, Aug. 1999.

CONTENTS

SLIDE LIST OF WDM WORKSHOP

LECTURE#L1.: G. FRISCHMANN: WDM, A LIVING HISTORY OF TECHNOLOGY* **Page♣**

1. Header, MATÁV Rt. B1
2. Contents B1
3. Instead of Definition B2
4. What is Happening B2
5. Questions! (1) B3
6. Questions! (2) B3
7. Questions! (3) B4
8. Answers? B4

LECTURE#L2.: Á. KAPOVITS: WDM BASICS, ELEMENTS AND TECHNOLOGIES*

0. Tartalom B5
1. Címoldal, WDM kulcselemek, MATÁV PKI-FI B6
2. Motiváció – Miért WDM? B6
3. Megoldandó feladatok, alapvető funkciók B7
4. Optikai erősítés címoldal B7
5. Optikai erősítés B8
6. EDFA erősítők B8
7. EDFA erősítők működésének fizikája B9
8. EDFA erősítők belső felépítése B9
9. EDFA erősítők alkalmazása B10
10. EDFA erősítők fontosabb paraméterei B10
11. EDFA erősítők fontosabb paraméterei B11
12. Spontán emisszió erősítése (ASE) B11
13. Nagy kimenő teljesítményű, kétlépcsős optikai erősítő B12
14. Optikai erősítők alkalmazását befolyásoló tényezők B12
15. Optikai erősítők alkalmazását befolyásoló tényezők B13
16. Stimulált Brillouin szórás (SBS) 1. ..... B13
17. SBS 2. ..... B14
18. SBS 3. ..... B14
19. Négyhullámú keverés (FWM) B15
20. Önfázis moduláció (SPM) és fázisok közötti moduláció (XPM) 1. ..... B15
21. SPM és XPM 2. ..... B16
22. Stimulált Raman szórás (SRS) B16
23. EDFA erősítők fontosabb fejlesztési irányai B17
24. Úgynevezett „kétablakos” erősítő B17
25. Diszperziós torzulás kezelése, diszperzió kompenzálása B18
26. Diszperzió kompenzálási technikák B18
27. Diszperzió kompenzálásának elmélete B19
28. Kompakt diszperzió kompenzáló eszköz B19

♣ Letters are referring to the Parts of the Proceedings

29. WDM rendszerek jelforrásai és detektorai B20
30. WDM rendszerek jelforrásaival szemben támasztott követelmények B20
31. WDM rendszerekben alkalmazott jelforrások B21
32. WDM rendszerek jelforrásai, adóelemei B21
33. A sokfrekvenciás lézer (MFL) sematikus felépítése B22
34. WDM rendszerek detektorai és vevői B22
35. Optikai csatornák szétválasztása B23
36. Optikai csatornák szétválasztása B23
37. Szűrők B24
38. Szűrőtípusok B24
39. Szálba írt Bragg rács szűrők B25
40. Mach–Zehnder interferométer B25
41. Nem konfigurálható hullámhossz router B26
42. Optikai kapcsolás és hullámhossz konverzió B26
43. Optikai kapcsolás B27
44. Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 1. ..... B27
45. Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 2. ..... B28
46. Hullámhossz konverzió B28
47. Interferometrikus hullámhossz konverterek B29
48. Összefoglalás B29

LECTURE#L3.: G. PAKSY: WDM EQUIPMENT AND BASIC STRUCTURES*

0. Tartalom B30
1. Címoldal, WDM berendezések, MATÁV-PKI-FI B31
2. Optikai hálózat definíció B31
3. Hálózati funkciók B32
4. Optikai multiplex eljárások B32
5. Optikai regenerálás B33
6. (D)WDM berendezések B33
7. Optikai végződő multiplexer (OTM) B34
8. WDM pont–pontrendszer B34
9. Ajánlott csatorna kiosztás G.652 szál esetén B35
10. Optikai leágazó multiplexer (OADM) B35
11. Fix konfigurációjú OADM B36
12. Dinamikusan konfigurálható OADM B37
13. Optikai vezérelt rendező (OXC) B37
14. Optikai rendező (OXC) B37
15. OXC hullámhossz konverzióval B38
16. Optikai hálózati architektúrák B38
17. Szabványosítás, ajánlások B39
18. ITU-T ajánlások B39
19. G872 ..... B40
20. Hálózati rétegek együttműködése B40
21. G692 ..... B41
22. Optical Interworking Forum (OIF) B41
23. IP-WDM együttműködés B42
24. Összefoglalás B42

LECTURE#L4.: T. JAKAB: OPTICAL NETWORK SOLUTIONS*

0. Tartalom B43
1. Címoldal, Budapesti Műszaki Egyetem B44
2. Célkitűzés B44
3. Az SDH átviteli hálózatok felismerhető korlátjai B45
4. Optikai hálózati réteg B45
5. Várható előnyök B46
6. Gazdasági-műszaki elemzés, motiváció B46
7. Gazdasági-műszaki elemzés, módszer B47
8. Optikai hálózatok kialakítása B47
9. Az elemzett hálózati architektúrák B48
10. Színezett szakaszokból álló gyűrű B48
11. CS gyűrű csomóponti képe B49
12. CS gyűrű útképzés B49
13. CS gyűrű védelem B50
14. Színezett szakaszokból álló gyűrű B50
15. Extra védelmek CS gyűrűn B51
16. OMSSP gyűrű B51
17. OMSSP csomópont B52
18. OMSSP útképzés és védelem B52
19. OMSSP gyűrű B53
20. MWTN szövevény B53
21. MWTN csomópont B54
22. Elemzési szempontok B54
23. Optikai szál megtakarítása SDH MSSP gyűrűvel összehasonlításban B55
24. Méret, méretezés B55
25. Beruházási költségek megoszlása OMSSP gyűrű esetén B56
26. Beruházási költségek megoszlása MWTN szövevény esetén B56
27. Beruházási költségek megoszlása CS gyűrű esetén B57
28. Relatív költség-megtakarítások SDH MSSP gyűrűvel összevetve B57
29. Beruházási költségek összehasonlítása MWTN és SDH szövevényre B58
30. Költség: beruházási költség B58
31. CS gyűrű rendelkezésre állása B59
32a. OMSSP gyűrű rendelkezésre állása B59
32b. OMSSP gyűrű rendelkezésre állása B60
33. STM-1 kapacitású utak rendelkezésre állásának összevetése B60
34. STM-1 kapacitású utak rendelkezésre állása MWTN és SDH szövevényen B61
35. Rendelkezésre állás B61
36. Elektronikus és optikai kapcsolási idők MSSP esetén B62
37. Helyreállítási idők SDH és MWTN szövevényen B62
38. Üzemeltetés: reagálási idők B63
39. Színezett szakaszokból álló gyűrű B63
40. Osztott optikai multiplex szakaszok védett gyűrűje B64
41. Többhullámhosszú szövevény B64
42. Színezett szakaszokból álló gyűrű B65
43. Osztott optikai multiplex szakaszok védett gyűrűje B65
44. Többhullámhosszú szövevény B66

45. Optikai hálózatok tervezési kérdései B66
46. Összefoglalás, végkövetkeztetések B67
47. Optikai térhódítás előnyei B67

LECTURE#L5.: I. FRIGYES, I. HABERMAJER: POLYMER FIBRES IN DISTRIBUTION NETWORK**

0. Tartalom B68
1. Címoldal, Budapesti Műszaki Egyetem B69
2. Szélessávú szétosztó hálózatok B69
3. Sebességek és lehetőségek B70
4. All Optical példa B70
5. Műanyag optikai szálak B71
6. A szálak szerkezete B71
7. A szálak csillapítás spektruma és néhány jellemzője B72
8. Új műanyag szálak B72
9. Adó-vevő modulok B73
10. Optikai konverziós lehetőségek B73

LECTURE#L6.: M. SCHIESS: WDM BASED OPTICAL NETWORK ARCHITECTURES*

0. Contents C1
1. Results from EURESCOM Projects, Swisscom AG C2
2. From Today's Networks to Optical Networks C2
3. Outline C3
4. Optical Networking in EURESCOM C3
5. Overview P615 „Evolution Towards an Optical Network Layer" C4
6. Characterisation of Architectures C4
7. Studied Architectures C5
8. SDH Ring Network (Reference) C5
9. SDH Ring over WDM: Coloured Section Ring C6
10. Coloured Section Ring C6
11. Optical Channel — Dedicated Protection Ring C7
12. Optical Multiplex Section — Shared Protection Ring C7
13. Meshed Network According to MWTN C8
14. Evaluation and Comparison of Architectures (1) C8
15. Evaluation and Comparison of Architectures (2) C9
16. Evaluation and Comparison of Architectures (3) C9
17. Guidelines for the Introduction of Optical Networking Functions C10
18. Comparison of Single and Two Stages Installations C10
19. Optical Network Evolution (1) C11
20. Project P709 „Planning of Full Optical Networks" C11
21. Example: Wavelength Allocation C12
22. Parameter Values for OCH, OMS and OTS Layers C12
23. Project P918 „Integration of IP over Optical Networks" C13
24. Traffic Layering Today C13
25. Traffic Layering Tomorrow C14
26. Conclusions C14

LECTURE#L7.: D. LECROSNIER: OPPORTUNITIES FOR WDM TECHNOLOGIES IN ACCESS NETWORK*

0. Contents C15
1. An Overview from EURESCOM P614, France Telecom (FT), CNET C16
2. Outline C16
3. Access Network in EURESCOM C17
4. P614 Task 4: FTTx enabling technologies C17
5. WDM in Access Network: introduction C18
6. Fibre in Access Network: FTTx Architectures C18
7. WDM in Access: What are the Drivers? C19
8. How to Implement WDM? (1) C19
9. How to Implement WDM? (2) C20
10. How to Implement WDM? (3) C20
11. How to Implement WDM? (4) C21
12. Mirror Solution for WDM/PON C21
13. Service Separation (1) C22
14. Service Separation (2) C22
15. Is WDM Technology Ready for Access? C23
16. FSAN Cost Target for PON Opto-Electronic Converter C23
17. Conclusions (1) C24
18. Conclusions (2) C24

LECTURE#L8.: M. RAVERA: PROTECTION ACROSS NETWORK LAYERS*

0. Contents C25
1. Header, ACTS PANEL Project Main Achievements, CSELT, Turin, Italy C26
2. Project Information C26
3. Panel Statistics C27
4. Panel Statistics 2 ..... C27
5. Network Failures C28
6. Failures and Impact C28
7. Multiple-Layer Resilience C29
8. Problems (1) C29
9. Problems (2) C30
10. Outline C30
11. Outline Lowest Layer C31
12. Reference Network Concepts C31
13. Reference Network Results C32
14. Considered Failures C32
15. Recovery at Lowest Layer C33
16. Recovery at Lowest Layer C33
17. Outline Lowest Layer C34
18. Reference Case 1: No Survivability C34
19. Reference Case 2: SDH Survivability C35
20. Reference Case 2: SDH Survivability C35
21. Reference Results C36
22. Traditional Approach C36
23. Traditional Approach C37
24. Traditional Approach C37

25. Traditional Support Results C38
26. SDH Protection Selectivity Approach C38
27. SDH Protection Selectivity Approach C39
28. SDH Protection Selectivity Approach C39
29. SDH Protection Selectivity Results C40
30. SDH Protection Selectivity Results C40
31. Outline Lowest Layer C41
32. Common Pool Approach C41
33. Common Pool Approach C42
34. Common Pool Approach Results C42
35. Common Pool Approach Results C43
36. Outline C43
37. Recovery at Highest Layer C44
38. Outline C44
39. General Statements C45
40. Cost Evaluation: Lowest vs. Highest C45
41. Recovery at Highest Layer More Expensive C46
42. Studied Issues C46
43. SDH/WDM Scenario C47
44. SDH over WDM: Results C47
45. Results for SDH Protected over WDM Protected C48
46. Framework for Multiple-Layer Survivability C48

LECTURE#L9.: T. CINKLER: CONFIGURATION OF WAVELENGTH-ROUTING WDM NETWORKS**

0. Contents C49
1. Header, HSN Lab, Technical University of Budapest C50
2. Classification of Optical Networks C50
3. Networks of Interest: WDM vs. SDM C51
4. Problem Formulation C51
5. Illustration of the Problem C52
6. Multiple-Layer Optimisation C52
7. Known Methods C53
8. Wavelength Assignment only C53
9. Wavelength Assignment C54
10. Generally Applicable Heuristics for Discrete Global Optimisation C54
11. Joint RWA C55
12. The Model of Nodes – OADM C55
13. The Model of Nodes – EXC C56
14. The Model of Nodes – OXC C56
15. The Model of Nodes – OXC C57
16. Levels of Cross-Connecting Functions C57
17. Methods for Solving the Problem C58
18. Methods for Solving the Problem (1/4) C58
19. Methods for Solving the Problem (2/4) C59
20. Methods for Solving the Problem (3/4) C59
21. Methods for Solving the Problem (4/4) C60
22. Conclusions C60

LECTURE#L10.: J. GARDNER, J. TÖRÖK: TODAY'S WDM TO TOMORROW'S OPTICAL LAYER**

0. Contents C61
1. Header, Pirelli Cables and Systems C62
2. Outline C62
3. Technology Comparison C63
4. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 1 ..... C63
5. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 2 ..... C64
6. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 3 ..... C64
7. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4 ..... C65
8. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4 ..... C65
9. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 5 ..... C66
10. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 6 ..... C66
11. WDM Improves System Efficiency C67
12. WDM Saves Cost of Fibre C67
13. Benefit of the Optical Layer – Technical C68
14. Benefit of the Optical Layer – Commercial C68
15. Wave Mux-Platform for the Optical Layer C69
16. Wave Mux-Platform for the Optical Layer C69
17. Wave Mux-Scalability C70
18. Wave Mux-Scalability C70
19. Frame Work Element Management System C71
20. WaveMux-Band Separation Principle C71
21. WaveMux – 'Pay as You Grow' C72
22. Optical Layer Today: Cebit'99 Demonstration C72
23. Summary C73
24. WDM Layer for System Effficienty C73

LECTURE#L11.: J. KOVÁTS: SIEMENS WDM PRODUCTS TODAY & TOMORROW*

0. Contents D1
1. Header, Siemens D2
2. Main WDM Applications D2
3. Siemens Product Strategy D3
4. Siemens TransXpress WDM Portfolio D3
5. Leadership in Span Performance D4
6. Siemens TransXpress WDM Products, Reference Countries D4
7. Siemens Product Strategy D5
8. System Applications, Chain with Fixed OADM D5
9. System Applications, Transponders D6
10. High Capacity Research Projects D6
11. Siemens Product Strategy D7
12. 1+1 Line Protection Using SDH Mechanism D7
13. Optical 1+1 Line Protection Switching D8
14. TransXpress WaveLine – Integrates Optical Functionality D8
15. TransXpress WaveLine – High Modularity D9
16. Siemens Product Strategy D9
17. ACTS OTN Projects – Siemens & Italtel Participation D10

18. PHOTON and MOON Field Trials D10
19. Gigabit-Ethernet Transmission over 1570 km D11
20. Next Generation Optical Transport Network D11
21. Operator Benefits D12
22. WDM Transmission — Optical Routing D12

LECTURE#L12.: D. PLEKENPOL: OPTICAL CAPACITY INTO THE NEXT MILLENNIUM**

0. Contents D13
1. Header, Lucent Technologies, Optical Networking D14
2. Capacity into the Next Millennium D14
3. European Internet Backbone /Transit Traffic/ 1997 ..... D15
4. European Internet Backbone /Transit Traffic/ 2002 ..... D15
5. European Internet Backbone /Transit Traffic/ 2005 ..... D16
6. The Problems with Rear View Mirrors, up to 2010 ..... D16
7. Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (Elasticity) D17
8. Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (Electricity) D17
9. Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (DRAM) D18
10. Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices D18
11. DWDM-Technology Catalyst, Cost & Flexibility D19
12. The Type about DWDM-Sheer Capacity Gain D19
13. Commercialisation Strategies D20
14. A Rational Investment Model Evolves D20
15. Disruptive Technologies: Adapt or be Swallowed by the Black Mole D21
16. Keep Pace with the Technology Cost Curve or Die D21
17. The Supply Side Market is Populated D22
18. Supply-Side Capacity comes to Europe D22
19. Supply-Side Capacity comes to Europe D23
20. Supply-Side Capacity comes to Europe D23
21. Supply-Side Capacity comes to Europe D24
22. Supply-Side Capacity comes to Europe D24
23. Project Oxygen D25
24. Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe D25
25. Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe D26
26. Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe D26
27. European PTTs-Seizing Wholesale Market D27
28. Margin Advantage D27
29. From Optical Transport to Optical Networking D28
30. The Unifying Optical Layer D28
31. Networking Layers — Today D29
32. Network Layers — Vision D29
33. Optical Networking Portfolio D30
34. WaveStarTM OLS Family D30
35. WaveStarTM OLS 80G D31
36. WaveStarTM OLS 400G — is Your Network „STM-64 Ready?" D31
37. WaveStar TM 10G D32
38. 40 Gb/s WDM Systems, 1.2 Tb/s (30 Channels) D32
39. WaveStar TM Bandwidth Manager (BWM): The Concept D33
40. BWM, Global Crossing Pan European Network D33

41. BWM, Global Crossing Pan European Network 2 ..... D34
42. BWM, Global Crossing Pan European Network 3 ..... D34
43. BWM, Global Crossing Network Modelling D35
44. Realising the Terabit Office D35
45. The Packet Star IP Switch D36
46. Free Space Optics: Rapid Metro Entry D36
47. The Lucent Engineered TeraNet D37
48. Global Footprint-Optical Networking Customers D37
49. Welcome to Photon Valley D38
50. Wavestar Platform D38

LECTURE#L13.: E. SJÖGERAS: DOORWAY TO THE TERABIT SOCIETY**

0. Contents D39
1. Header, Ericsson Transmission Solutions D40
2. Outline D40
3. Challenges Facing Operators D41
4. 3 Ways of Cost Reductions by Utilising WDM Technology D41
5. A. Fiber Release & Equipment Reduction D42
6. B. Bypassing: SDH Equipment D42
7. B. Bypassing: Upgrading the ATM Switch D43
8. C. WDM Protection D43
9. Conclusions: WDM Cost Reductions D44
10. Conclusions: WDM Cost Reductions D44
11. ERION Networker is Our Newest Product D45
12. The ERION Networker D45
13. ERION TM Management D46
14. WDM is more than just Channels D46
15. Upgrading beyond 32 lambda D47
16. Transponder DWDM System D47
17. Embedded DWDM System D48
18. Why is Transponder System Superior D48
19. Transport Network Layers D49
20. Network Restoration Methods D49
21. When do I Choose Optical Protection? D50
22. ERION 1+1 Optical MSP D50
23. Features of ERION TM Self-Healing Ring D51
24. ERION Roll Out Plan'99 ..... D51
25. Road Map-Y2000 ..... D52
26. Stockholm Gigabit Network with the METON Demo D52
27. ERION Networker Conclusions D53
28. ERION – a World Success D53

LECTURE#L14.: A. EHRHARDT: WDM RESEARCH ACTIVITIES OF DT**

0. Contents D54
1. Header, Deutsche Telekom AG (DT), Technology Center D55
2. Overview D55
3. Introduction, Why? D56

4. 750 km WDM test link, Physical parameters D56
5. Transmission of 4x2.5 Gbit/s over 135 km D57
6. Compensation of Chromatic Dispersion, Advantages D57
7. Setup of the WDM Test Link D58
8. Dispersion Map Berlin-Darmstadt D58
9. Dispersion Map Darmstadt-Berlin D59
10. BER measurement Berlin-Darmstadt D59
11. Setup of loop back Experiment I. D60
12. Setup of loop back EAxperiment II. D60
13. BER Measurement with loop back D61
14. 10 Gbit/s Transmission Experiment D61
15. 10 Gbit/s Transmission Experiment D62
16. Experimental Results D62
17. WDM Test Network Munich—Passau—Vienna D63
18. WDM Link Munich—Erlangen—Berlin D63
19. Conclusions D64
20. Summary, Overview D64

LECTURE#L15.: R. DAVEY: PRACTICAL EXPERIENCES OF LAUNCHING WDM INTO THE BT NETWORK*

0. Contents D65
1. The BT UK Network D66
2. Drivers for WDM D66
3. BT WDM Deployments – Jan 1999 ..... D67
4. BT WDM Key Hardware Features D67
5. Remote Network Management D68
6. BT Technology Introduction Process D68
7. Lack of WDM565 Standards (Ternary Line Code) D69
8. Lack of WDM565 Standards (Ge APD Receivers) D69
9. Lack of WDM565 Standards (HF Noise) D70
10. Constant Power per Channel-1 (Client Ooading) D70
11. Constant Power per Channel-2 (Power out of Demux) D71
12. WDM sparing D71
13. SDH/Optical Protection Interactions D72
14. Lesson: Transponders have to go! (Optical Layer without them?) D72
15. The Future – too many Boxes and Interfaces! (Needs Standards) D73
16. The Future – Cost-Effective, Short Haul WDM (Metro WADM Rings?) D73
17. The Future – Bulk Transport Rings (WADMs Rings) D74
18. Header, BT Laboratories, UK D74

LECTURE#L16.: A. HAMEL, D. RONARC'H: WDM EXPERIMENT IN TRUNK NETWORK AND RING ARCHITECTURES*

0. Contents E1
1. Header, France Telecom (FT), CNET E2
2. Summary E2
3. Technical Options E3
4. The Long Distance Network E3
5. Schematic of the Paris—Rouen Link E4
6. Power Levels in Nominal Conditions E4

7. BER Curves at Paris with 8 Wavelengths E5
8. Optical Spectra at the Input and Output of the Preamplifier in Paris E5
9. BER Curves at Paris with Various Number of Wavelengths E6
10. Preamplifier Monitor Output at Rouen E6
11. WDM Link Robustness E7
12. Double Degradation in Paris–Rouen Link E7
13. WDM System Operations and Management E8
14. Restoration Policy in the FT Meshed Network E8
15. WDM in Trunk Network: Conclusions E9
16. Coloured Section Ring Architecture: Principle of Operation E9
17. Principle of a CS Ring E10
18. Hubbed Traffic E10
19. Nearest Neighbour Demand E11
20. Comparison of SDH Architectures, P413 (Eurescom Project) E11
21. Field Trial Experiment E12
22. Detailed Node Configuration E12
23. Ring Full Length According to Field Trial Implementation E13
24. Measurement Configuration E13
25. Add Extra Node in a CS Ring E14
26. CS Ring Experiment: Conclusions E14

LECTURE#P17.: B. CLESCA: ALCATEL WDM PRODUCTS

0. Contents E15
1. Alcatel Optinex Introduction E16
2. WDM Technology E16
3. Principle of TDM E17
4. Evolution of Fiber Optics E17
5. Transmission Limits E18
6. Polarisation Mode Dispersion E18
7. Principle of WDM E19
8. Wavelength Division Multiplex E19
9. WDM System Synoptic E20
10. Optical Amplifiers E20
11. Key Technical Enablers E21
12. Upgrade Strategies E21
13. Optinex WDM Products E22
14. Alcatel Optinex E22
15. WDM Products Highlights E23
16. Alcatel Optinex E23
17. Example of 16 Channels Plan E24
18. Forward Error Correction (FEC) E24
19. WDM Performance Monitoring E25
20. FEC for WDM Performance Monitoring E25
21. Optical Amplifiers E26
22. Clear Channels E26
23. Implementing WDM in SDH E27
24. Optical Supervising Channel E27
25. Alcatel Optinex E28
26. Optinex References E28

27. WDM Market Shares E29
28. Optinex WDM Market Shares E29

LECTURE#P18.: Á. KAPOVITS: IP OVER WDM

0. Contents E30
1. Transport and Routing, EURESCOM P918 ..... E31
2. Outline E31
3. EURESCOM Objectives E32
4. About Eurescom E32
5. Eurescom Work Program 1999 ..... E33
6. Motivation E33
8. P918 Objectives E34
7. P918 Project Outline E34
9. P918 Participants E35
10. Intermediate Results: Deliverable E35
11. IP Protocol Issues: Version 4&6 ..... E36
12. Support for QoS in IP E36
13. High Capacity IP Routers E37
14. IP routers: Hardware Solutions E37
15. IP routers: Software E38
16. Multi Protocol Label Switching: MPLS E38
17. MPLS E39
18. Pros/Cons to IP Network Providers E39
19. Integration of IP over WDM E40
20. IP/WDM Networking Alternatives E40
21. Framing vs. Overhead E41
22. WDM Signal Transport Issues E41
23. Desirable Features for Encapsulation E42
24. New Protocols E42
25. Functionality Provided by WDM Layer E43
26. Protection/Restoration in the IP Domain E43
27. Options for Protection in IP/WDM E44
28. Wavelengths for QoS in IP Networks E44
29. QoS 1: Link Capacity Upgrading E45
30. QoS 2: Wavelength Routing E45
31. QoS 3: Label Switching E46
32. Development Trends (1) E46
33. Development Trends (2) E47
34. Development Trends (3) E47
35. Conclusions E48
36. Future Work of P918 ..... E48

LECTURE#P19.: MARCONI COMMUNICATIONS, PLX40-SMART-PHOTONIX, DWDM LINE SYSTEMS

0. Contents E49
1. Point-to-Point Link E50
2. Chain E50
3. Interconnecting High Capacity Networks E51
4. Solving Bottlenecks E51

5. Stacking Multiple Rings E52
6. Realizing High Capacity Meshes E52
7. PLT40 Architecture E53
8. Asymmetric PLT40 Equipment Architecture E53
9. Extension of Sub-rack Topology E54
10. Integration with SDH/Sonet Product Family E54
11. PLT40 Mechanical Structure E55
12. Multiplexing/Demultiplexing Stages E55
13. Transponder Sub-Rack E56
14. PLA40 Mechanical Structure E56

LECTURE#P20.: COBNET PROJECT

0. Contents E57
1. Objectives and Concepts E58
2. Customer Premises Network Backbone E58
3. SDM Ring E59
4. WDM Ring E59
5. Field Network in East England E60
6. WAN CPN LEANet E60
7. Clear Channel WDM Connectivity E61
8. Closer Look at the Nodes E61
9. Optical Add/Drop Nodes E62
10. WDM/SDM Cross-Connect Node E62
11. PNI Unit E63
12. WDM Lasers Component E63
13. WDM Laser Realization E64
14. SDM Laser Array E64
15. Single-Channel Receivers E65
16. RX Realization E65
17. Receiver Arrays E66
18. Receiver Array Realization E66
19. Clear-Channel Retiming Chips E67
20. Planar WDM (De) Multiplexers E67
21. Demultiplexer Realization E68
22. Planar WDM Add/Drop Muxes E68
23. WDM Add/Drop Mux Realization E69
24. Optical Switches for SDM Protection E69
25. Optical Switching Realizations E70
26. SNMP Agent and CPN Manager E70
27. COBNET Network Manager E71
28. CPN's Management Information Exchange E71
29. Application Trial Infrastructure E72
30. VOD, Video Conferencing and PBX Applications E72
31. Business and HQ Video Transmission Solutions E73
32. Consortium E73

*** Slides with numbering** **** Slides without numbering**

MARCONI COMMUNICATIONS

WDM PMA-8

APPLICATION NOTE

List of Figures A69

Figure 1. The layered transport network A70
Figure 2. All-Optical Network A70
Figure 3. SDH and WDM Positioning A71
Figure 4. Network Capacity Upgrade Strategies A71
Figure 5. Fixed Configuration OADM A72
Figure 6. Reconfigurable Optical Add/Drop Mux (ROADM) A72
Figure 7. WDM Ring Based Systems A73
Figure 8. Network Management Architecture A73
Figure 9. Two Rings architecture A74
Figure 10. Multivendor Ring Topology A74
Figure 11. PMA with Delivery of Mixed Payloads A75
Figure 12. Point-to-Point link A75
Figure 13. SDH ring A76
Figure 14. WDM section in SDH ring A76
Figure 15. Terminal-configured PMA adding A77
Figure 16. Multiple WDM sections insertion into SDH ring A77
Figure 17. WDM ring upgrade A78
Figure 18. Logo A78

Marconi

Represented by SAGEM

Figure 1 - The layered transport network

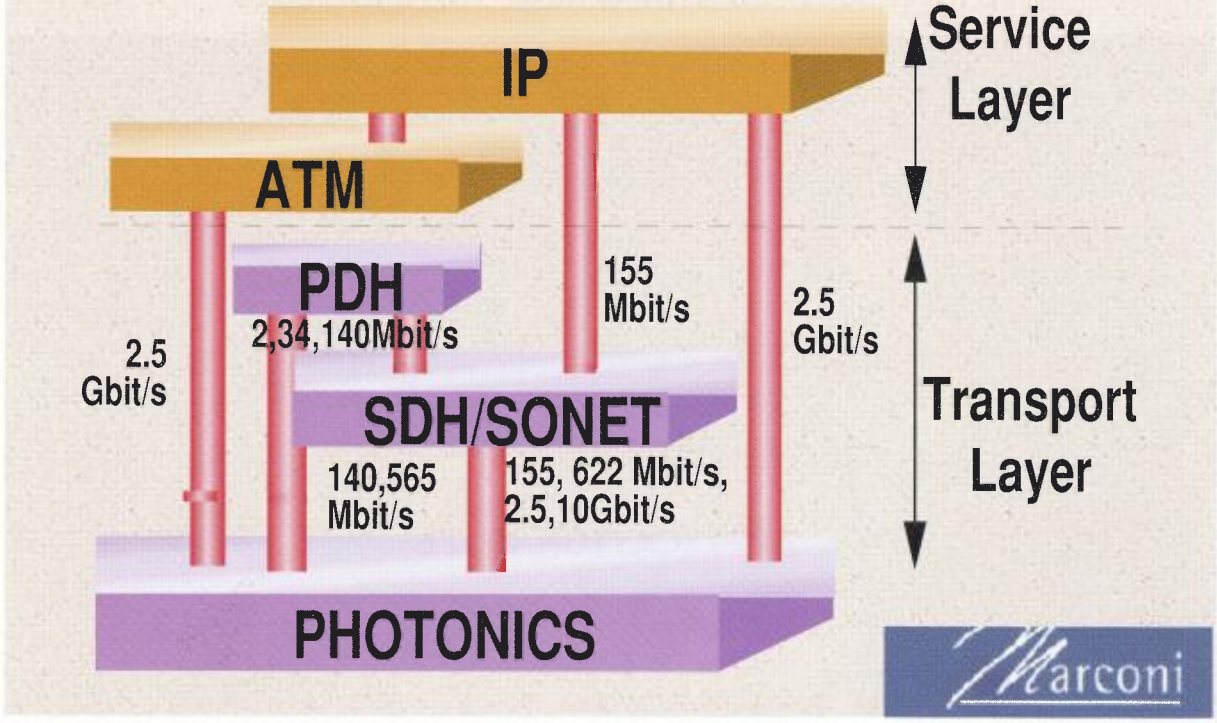


Figure 1. The layered transport network

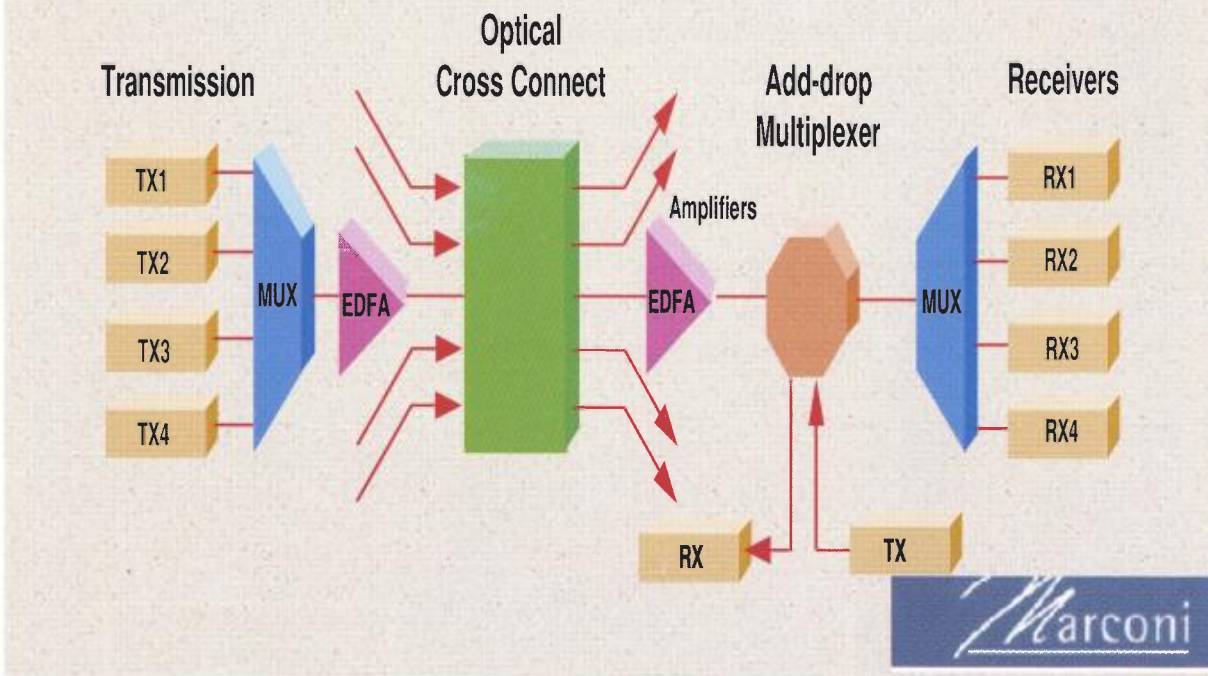


Figure 2. All-optical network

Figure 2 - SDH and WDM Positioning

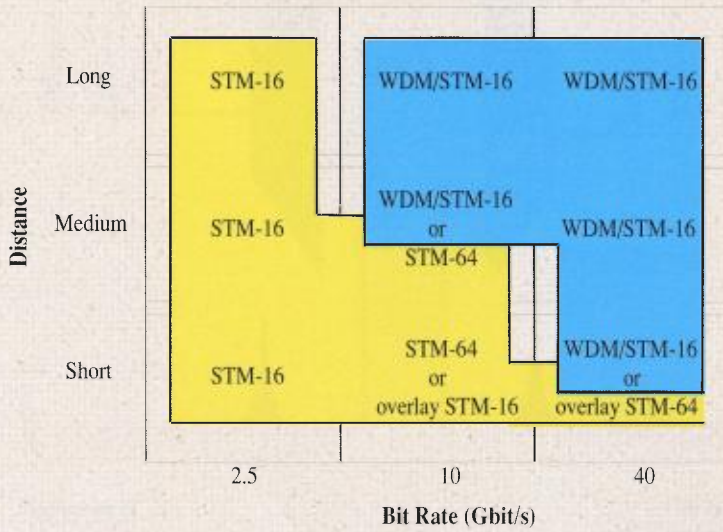


Figure 3. SDH and WDM positioning

Figure 3 - Network Capacity Upgrade Strategies

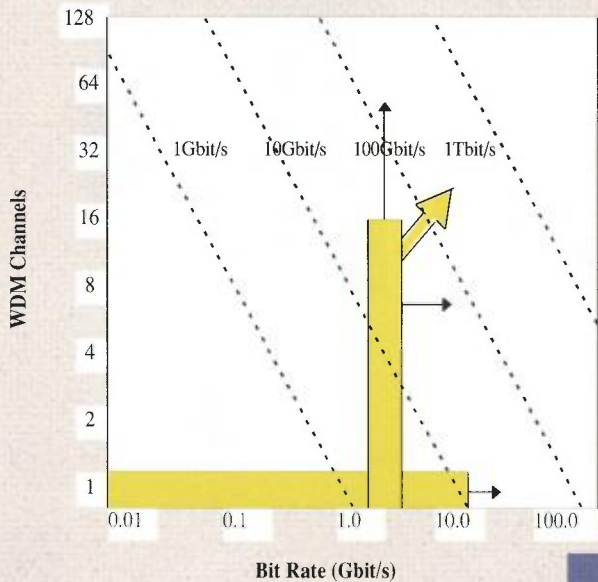


Figure 4. Network capacity upgrade strategies

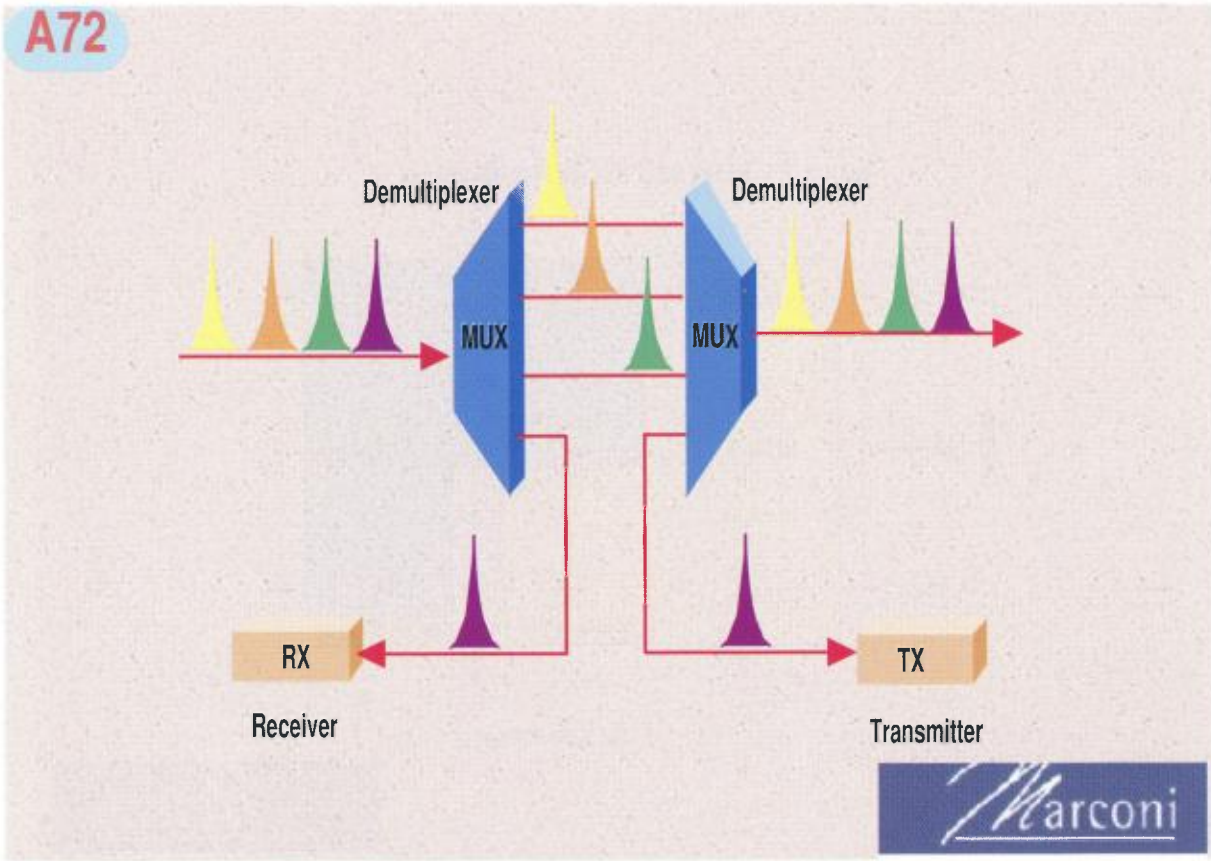


Figure 5. Fixed configuration OADM

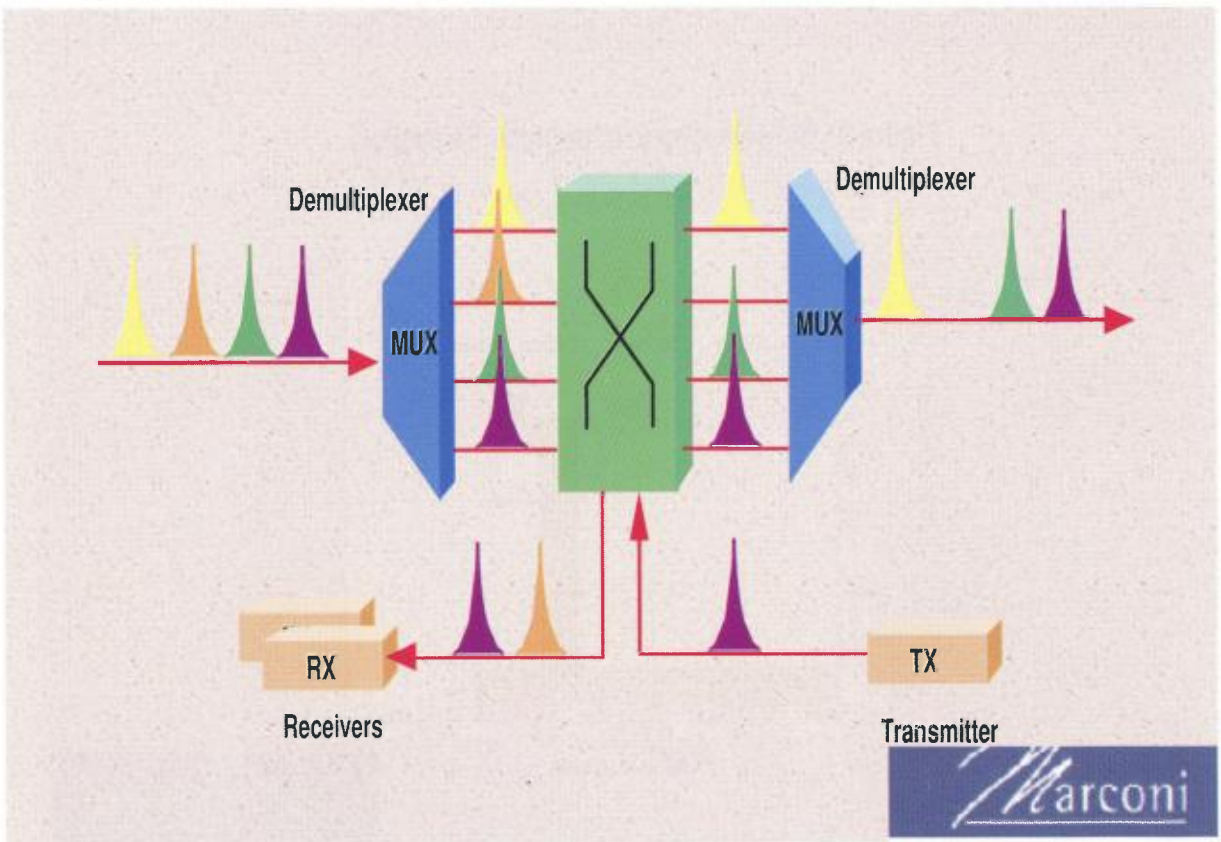


Figure 6. Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM)

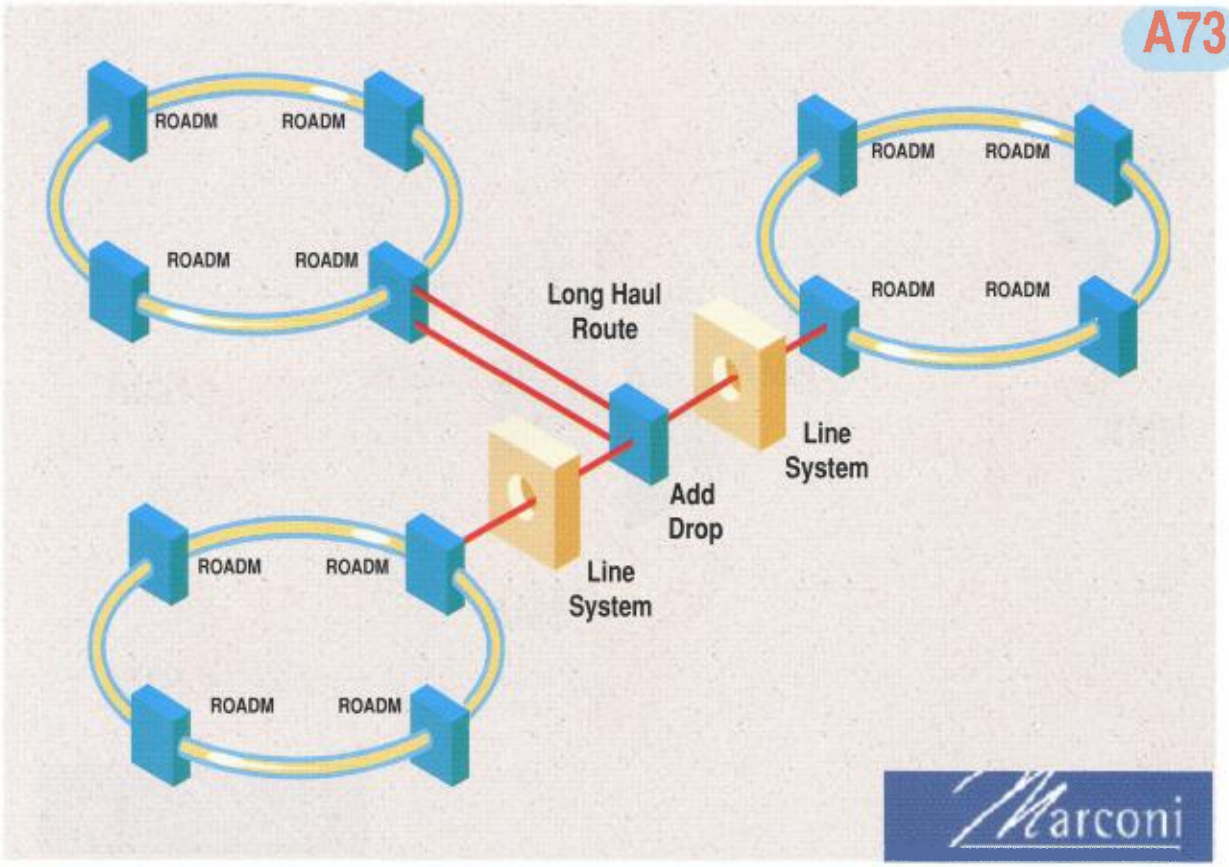


Figure 7. WDM ring based systems

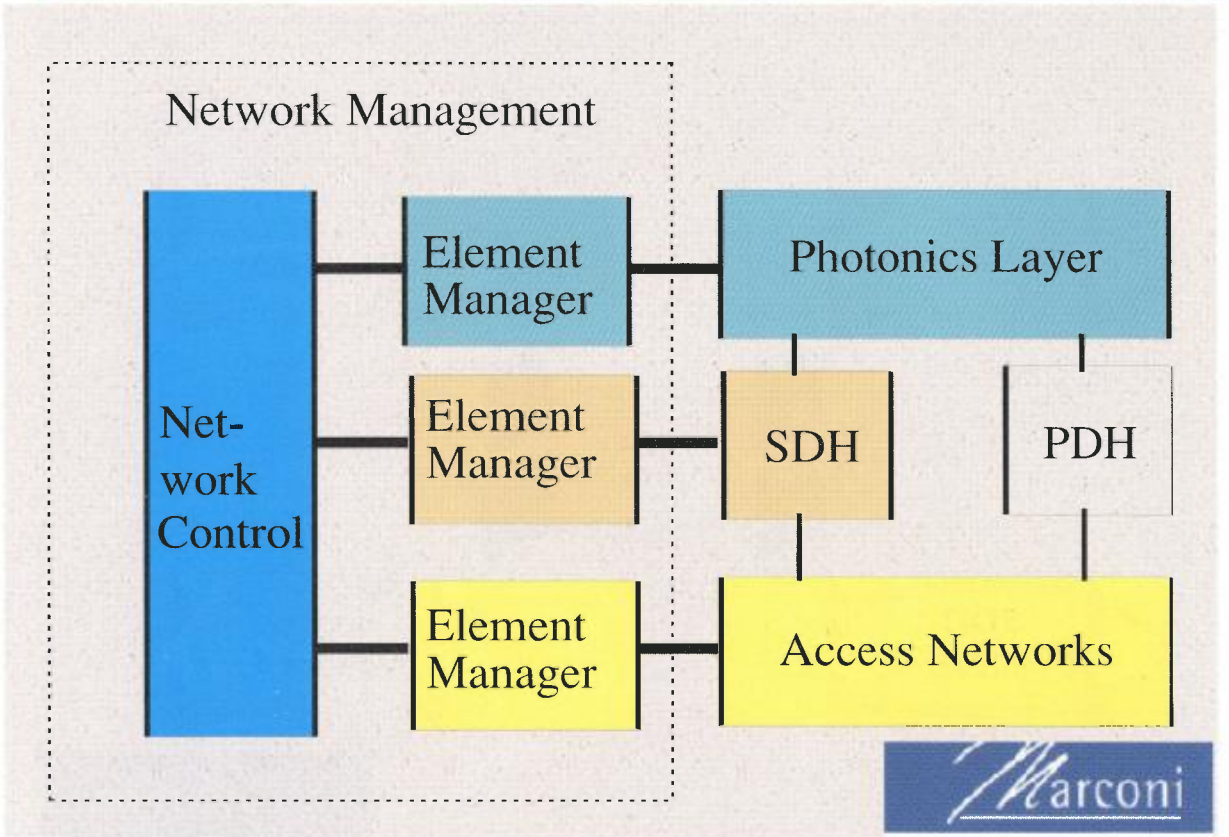


Figure 8. Network management architecture

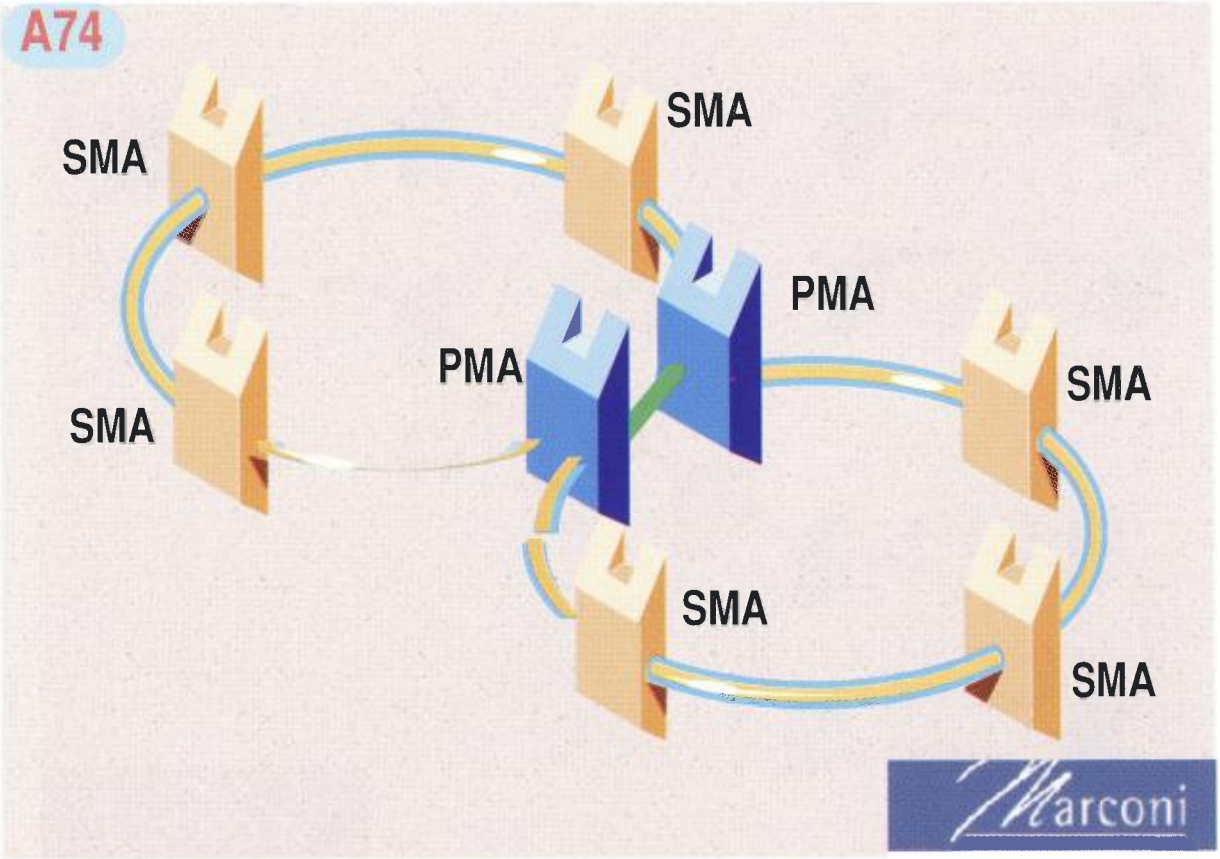


Figure 9. Two rings architecture

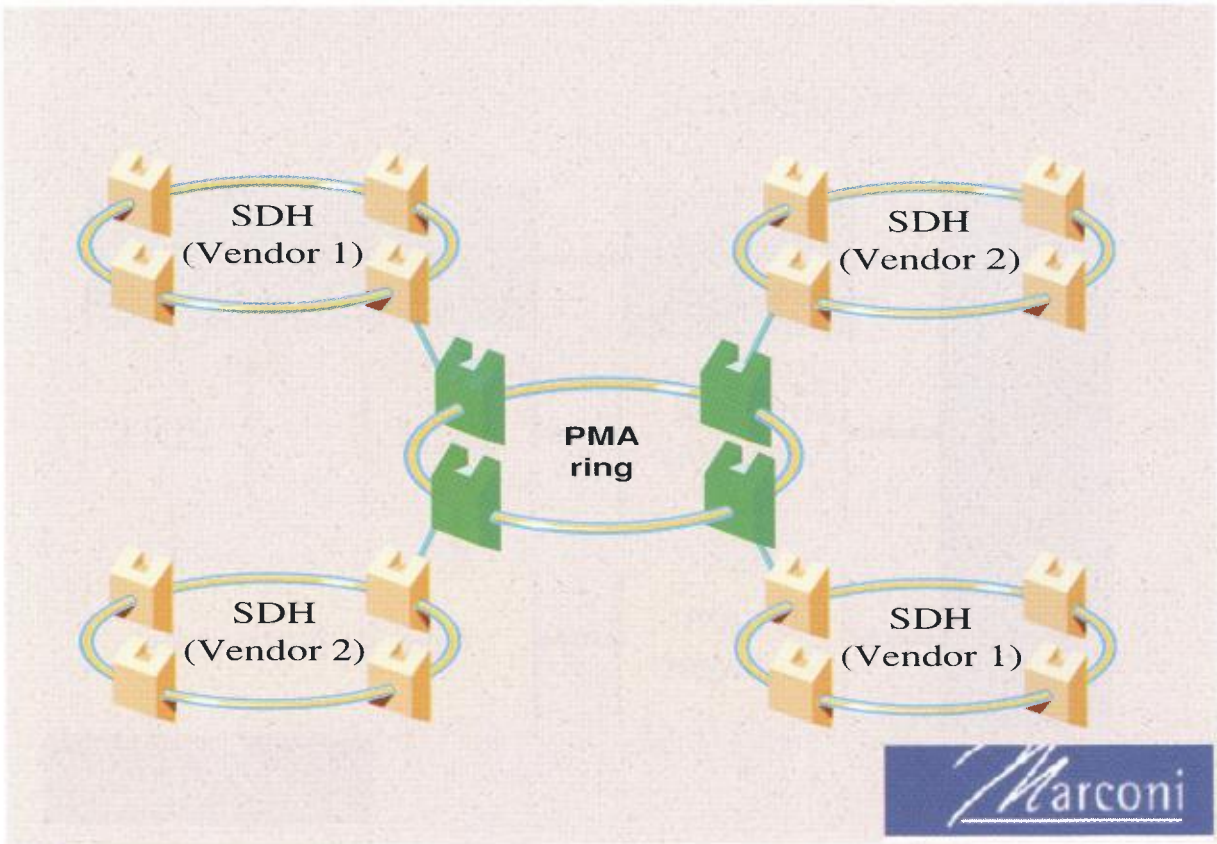


Figure 10. Multivendor ring topology

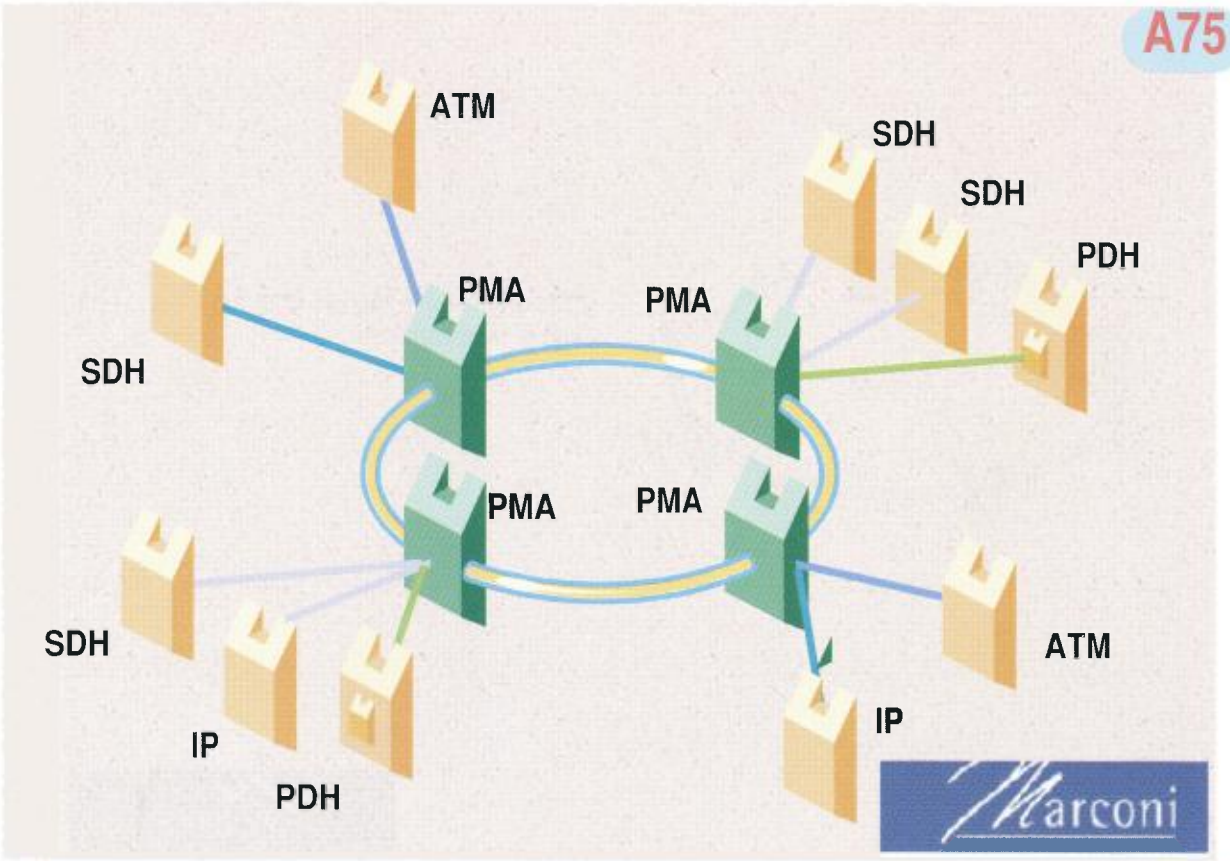


Figure 11. PMA with delivery of fixed payloads

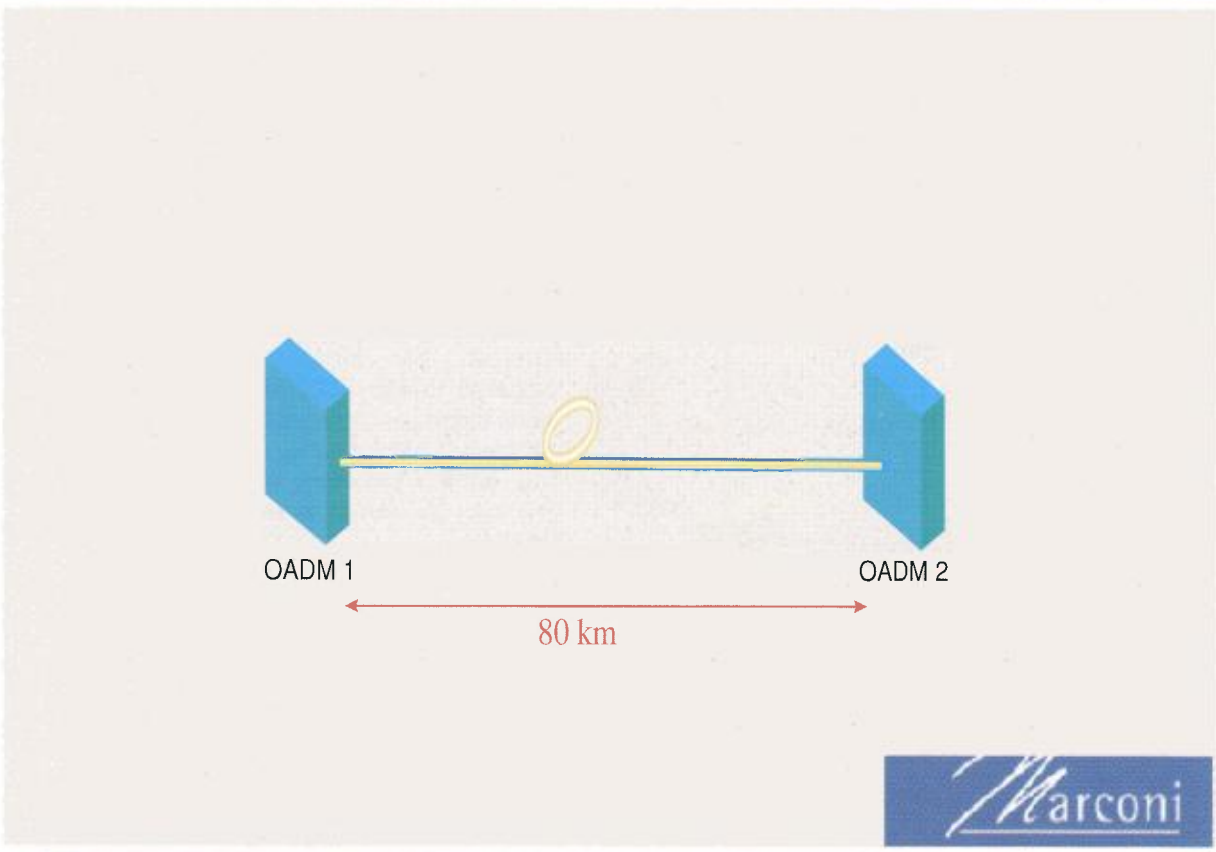
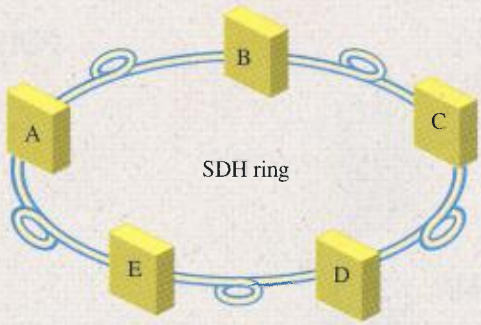


Figure 12. Point-to-point link

i.

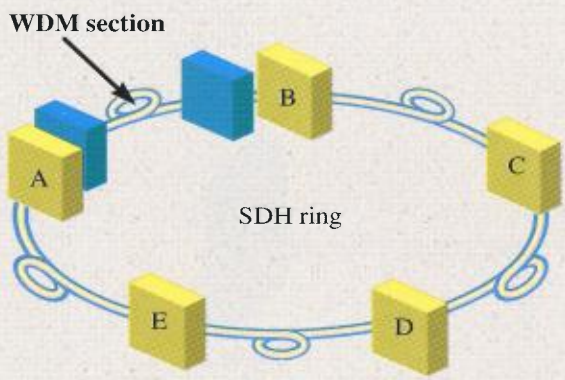


The SDH ring is beginning to run out of fibre capacity

Marconi

Figure 13. SDH ring

ii.

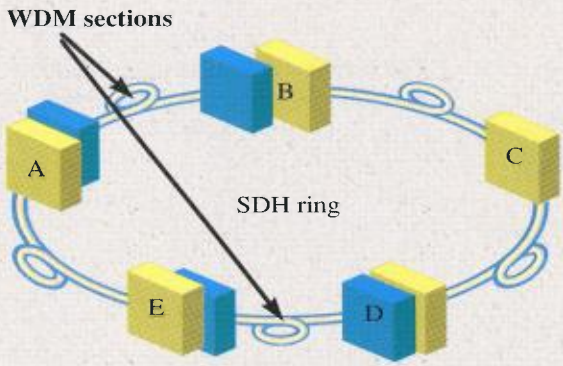


PMAs, configured as terminals are installed on the link between A and B to carry the increasing traffic. In order to install each terminal, the SDH traffic is switched, using SDH protection mechanisms, to use an alternative path around the ring. The section between A and B can then be broken to insert the OADMs.

Marconi

Figure 14. WDM section in SDH ring

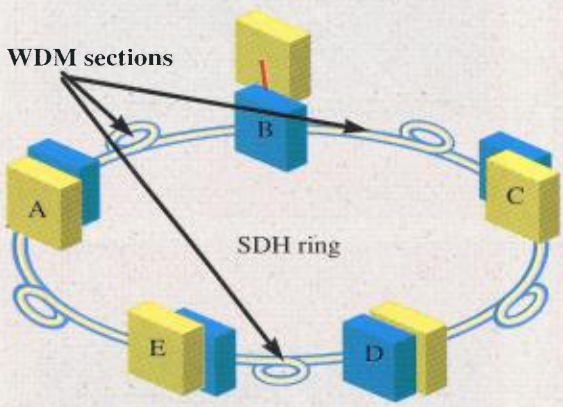
iii.



As traffic increases, lthe link between D and E becomes congested. Terminal-configured PMAs are added at D and E. Traffic re-routing is required as in ii above, while breaking the link between D and E.

Figure 15. Terminal-configured PMA adding

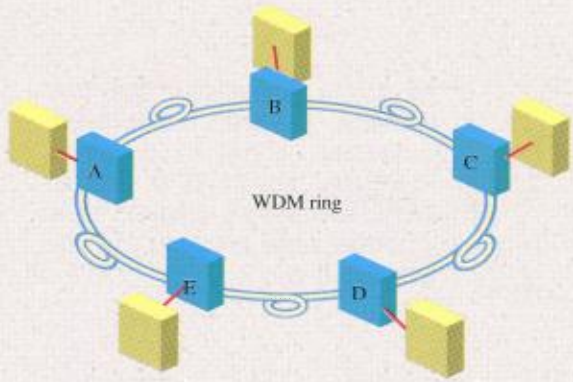
iv.



The link between B and C is upgraded to WDM, by adding a terminal-configured PMA at C, and upgrading the PMA at B to an OADM configuration. Again, the link between B and C must be broken, with SDH mechanisms re-routing traffic.

Figure 16. Multiple WDM sections insertion into SDH ring

v.



The remaining links are upgraded to WDM by upgrading the PMAs at A, C, D and E to WDM

Figure 17. WDM ring upgrade

Figure 18. Logo

híradástechnika

A79

February, 2000/2

1946-2000

VOLUME LV.

PROCEEDINGS of the

1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

Budapest, 23 March, 1999

PART B

Lecture # L1-L5

L1.	G. Frischmann: WDM, living history of technology*	A80
L2.	Á. Kapovits: WDM basics, elements & technologies*	B5
L3.	G. Paksy: WDM equipment & basic structures*	B30
L4.	T. Jakab: Optical network solutions*	B43
L5.	I. Frigyes, I. Habermajer: Polymer fibres**	B68

*Slides numbered L-Lecture **Slides w/o numbering

1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

Budapest, 23 March, 1999

OPENING ADDRESS

LECTURE # L1.:
G. FRISCHMANN: WDM, A LIVING HISTORY OF TECHNOLOGY*

1.	Header, MATÁV Rt.	B1
2.	Contents	B1
3.	Instead of Definition	B2
4.	What is happening	B2
5.	Questions! (1)	B3
6.	Questions! (2)	B3
7.	Questions! (3)	B4
8.	Answers?	B4

*Slides numbered

L-Lecture

B01

MATÁV

WDM
A Living History of Technology

G. Frischmann
Director of Development, MATÁV Rt.

1. Header, MATÁV Rt. B1

MATÁV

Contents

- *Instead of Definition...*
- *What is happening?*
- *Questions!*
- *Answers?*

2. Contents B1

Instead of Definition

- *What is WDM?*
  - *a complex technology*
  - *offering us better utilization of physical opportunities*
  - *a chance for full optical networks*
- *Why is it good for us?*
  - *huge bandwidth growth*
  - *benefits of no optical/electric conversion*

What is Happening?

- *New equipment in every month*
- *Continuously growing number of optical channels (16...32...40...64...128...?)...*
- *... and bandwidth x 2.5 GHz,*
- *while no breakthrough in some technologies*
- *Costs are still rather high*
- *Different operator's approaches: from very conservative upto very dynamic*

B03

MATÁV

Questions! (1)

Standardization?

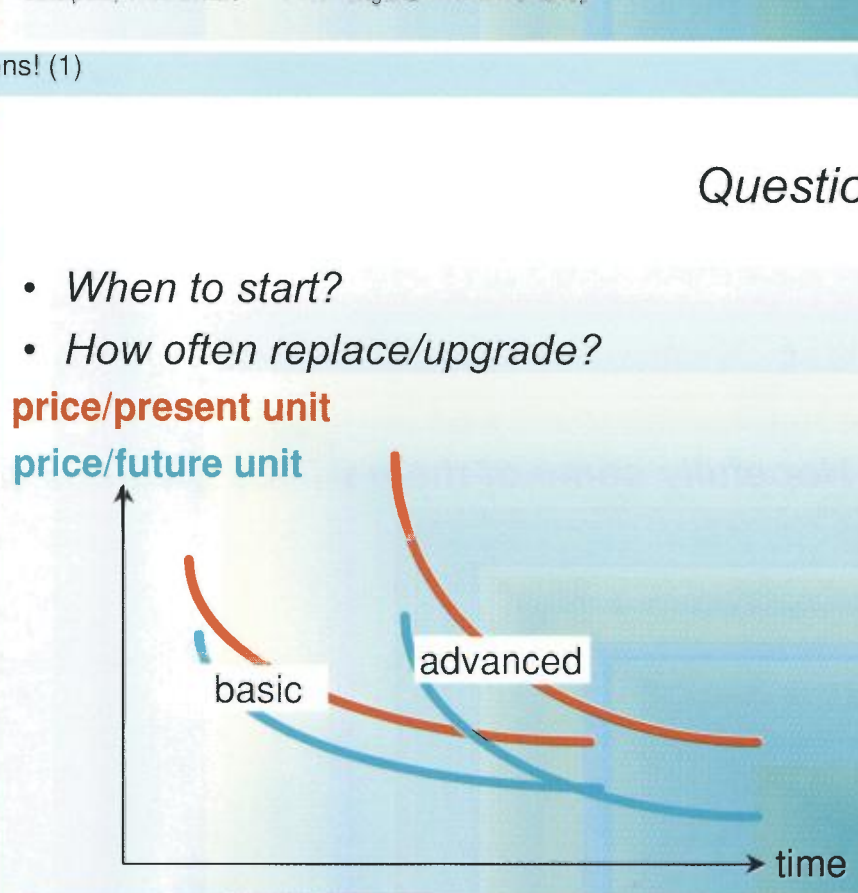
- *interoperability*
  - *among different products*
  - *in time (among generations)*
- *completeness*
  - *full optical layer*
- *directions of further development*
- *future proofness*

5. Questions! (1) B3

MATÁV

Questions! (2)

- *When to start?*
- *How often replace/upgrade?*



6. Questions! (2) B3

MATÁV

Question! (3)

- *Technology?*
  - *Optical switching (Photonic as promised or..)?*
  - *Access?*
- *Price?*
  - *Cost effective basic technology?*
  - *Mass production?*

MATÁV

Answers?

Hopefully some of them will be given here.

LECTURE#L2.: **KAPOVITS Á.: WDM BASICS, ELEMENTS AND TECHNOLOGIES***

0. Tartalom B5
1. Címoldal, WDM kulcselemek, MATÁV PKI-FI B6
2. Motiváció - Miért WDM? B6
3. Megoldandó feladatok, alapvetõ funkciók B7
4. Optikai erõsítés címoldal B7
5. Optikai erõsítés B8
6. EDFA erõsítõk B8
7. EDFA erõsítõk mûködésének fizikája B9
8. EDFA erõsítõk belsõ felépítése B9
9. EDFA erõsítõk alkalmazása B10
10. EDFA erõsítõk fontosabb paraméterei B10
11. EDFA erõsítõk fontosabb paraméterei B11
12. Spontán emisszió erõsítése (ASE) B11
13. Nagy kimenõ teljesítményû, kétlépcsõs optikai erõsítõ B12
14. Optikai erõsítõk alkalmazását befolyásoló tényezõk B12
15. Optikai erõsítõk alkalmazását befolyásoló tényezõk B13
16. Stimulált Brillouin szórás (SBS) 1. B13
17. SBS 2. B14
18. SBS 3. B14
19. Négyhullámú keverés (FWM) B15
20. Önfázisú (SPM) és fázisok közötti moduláció (XPM) 1. B15
21. SPM és XPM 2. B16
22. Stimulált Raman szórás (SRS) B16
23. EDFA erõsítõk fontosabb fejlesztési irányai B17
24. Úgynevezett „kétablakos" erõsítõ B17
25. Diszperziós torzulás kezelése, diszperzió kompenzálása B18
26. Diszperzió kompenzálási technikák B18
27. Diszperzió kompenzálásának elmélete B19
28. Kompakt diszperzió kompenzáló eszköz B19
29. WDM rendszerek jelforrásai és detektorai B20
30. WDM rendszerek jelforrásainak követelményei B20
31. WDM rendszerekben alkalmazott jelforrások B21
32. WDM rendszerek jelforrásai, adóelemei B21
33. A sokfrekvenciás lézer (MFL) sematikus felépítése B22
34. WDM rendszerek detektorai és vevõi B22
35. Optikai csatornák szétválasztása B23
36. Optikai csatornák szétválasztása B23
37. Szûrõk B24
38. Szûrõtípusok B24
39. Szálba írt Bragg rács szûrõk B25
40. Mach-Zehnder interferométer B25
41. Nem konfigurálható hullámhossz router B26
42. Optikai kapcsolás és hullámhossz konverzió B26
43. Optikai kapcsolás B27
44. Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 1. B27
45. Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 2. B28
46. Hullámhossz konverzió B28
47. Interferometrikus hullámhossz konverterek B29
48. Összefoglalás B29

MATÁV

WDM hálózatok kulcselemei, működésük fizikai elve és technológiájuk

Kapovits Ádám

MATÁV PKI-FI, Fejlesztéstervezési ágazat

1. Címoldal, WDM kulcselemek, MATÁV PKI-FI B6

MATÁV

Motiváció - Miért WDM?

- átviteli közeg: fényvezetõ szál
- a fényvezetõ szál átviteli sávszélessége THz-ben mérhetõ, amit a jelenlegi egy hullámhosszon működõ rendszerek nem használnak ki
- adódik, hogy több, egymás mellé pakolt diszkrét hullámhosszat alkalmazzunk, mint különbözõ információs csatornákat, megtöbbszörözve az átviteli kapacitást

2. Motiváció - Miért WDM? B6

B07

MATÁV

Megoldandó feladatok, alapvetõ funkciók

- Átviteli jel-torzulások kezelése, optikai kompenzálása
  - csillapítás –> optikai erõsítés
  - kromatikus diszperzió –> diszperzió kompenzálás
  - polarizációs módusdiszperzió
  - **nemlineáris jelenségek, csatornák közötti áthallás**
- adóelemek, hangolható, illetve több hullámhosszon sugárzó források, jelösszegzés
- detektálás, különbözõ hullámhosszúságú jelek szétválasztása
- optikai jelek kapcsolása, hullámhossz konverzió
- hálózatmenedzselés és felügyelet

3. Megoldandó feladatok, alapvetõ funkciók B7

MATÁV

Optikai erõsítés

4. Optikai erõsítés címoldal B7

Optikai erősítés

- elsősorban a III. optikai ablakban az 1550 nm-es hullámhossz környezetében működő fényvezető szál alapú optikai erősítőkkel (OFA) történik
- vannak kísérletek kompakt, félvezető alapú erősítőkkel (SOA) is, azonban gyakorlati alkalmazásuk még különböző problémák miatt távoli

  A SOA a félvezető lézerekhez hasonlóan egy aktív tartományt tartalmaz, amely egyben optikai vezetőként is szolgál, azonban a félvezető lézerektől eltérően - éppen a lézerműködés megakadályozása érdekében - általában antireflexiós megoldást alkalmaznak az eszköz két végén

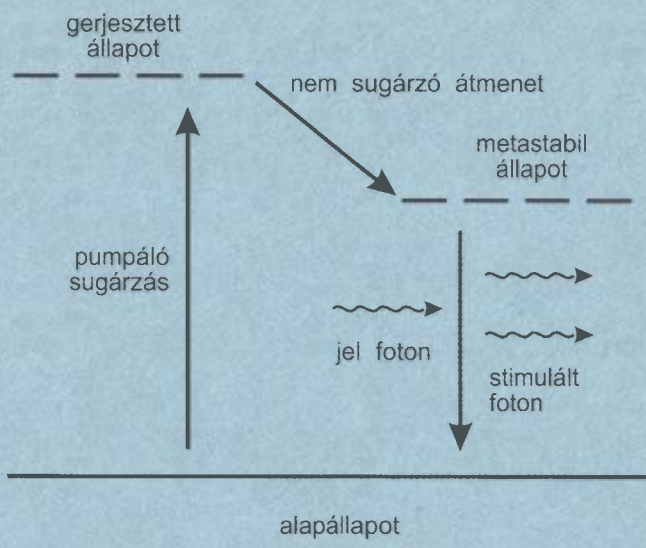
EDFA erősítők

- a gyakorlatban széles körben alkalmazott erősítők Erbiummal (esetleg más ritkaföldfémmel) adalékolt fényvezető szál erősítők
- a ritkaföldfém adalékolás mellett más adalékanyagokat is szoktak alkalmazni, például Al-t
- ezek az erősítők kizárólag a III. optikai ablakban működnek

B09

MATÁV

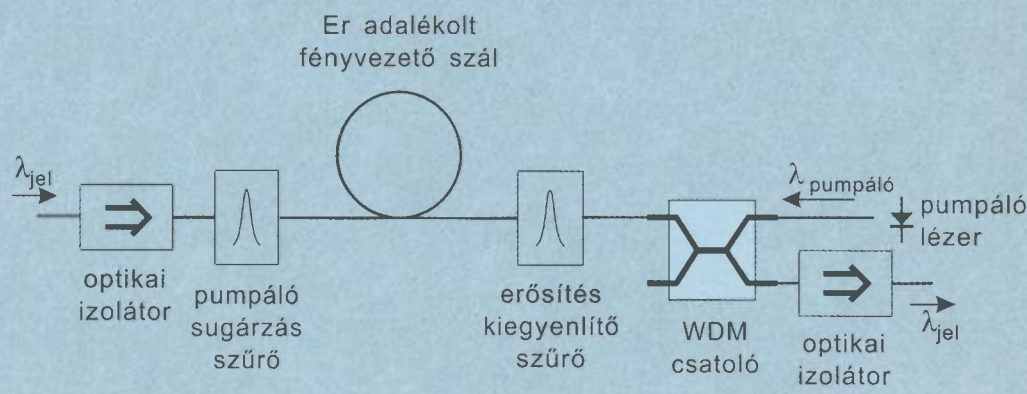
EDFA erősítők működésének fizikája



a pumpálás a 980, illetve az 1480 nm-es hullámhosszon történhet

MATÁV

EDFA erősítők belső felépítése



EDFA erõsítõk alkalmazasa

- Többféle alkalmazást különböztethetünk meg az erõsítõ elhelyezése szerint, úgymint
  - szintemelõ, vagy booster erõsítõ
  - vonali erõsítõ
  - elõerõsítõ

9. EDFA erõsítõk alkalmazása B10

EDFA erõsítõk fontosabb paraméterei 1.

- erõsítés
  általában 10-20 dB, alkalmazástól függõen
- az erõsítés sávszélessége
  általában 30-35 nm
- zajtényezõje
  általában néhány dB
- tolerált reflexiók
- tolerált egyedi reflexiók

10. EDFA erõsítõk fontosabb paraméterei B10

B11

MATÁV

EDFA erõsítõk fontosabb paraméterei 2.

- maximális elõre, és visszirányú ASE teljesítmény
- maximális elõre, és visszirányú maradék pumpáló teljesítmény
- maximális kimenõ optikai teljesítmény

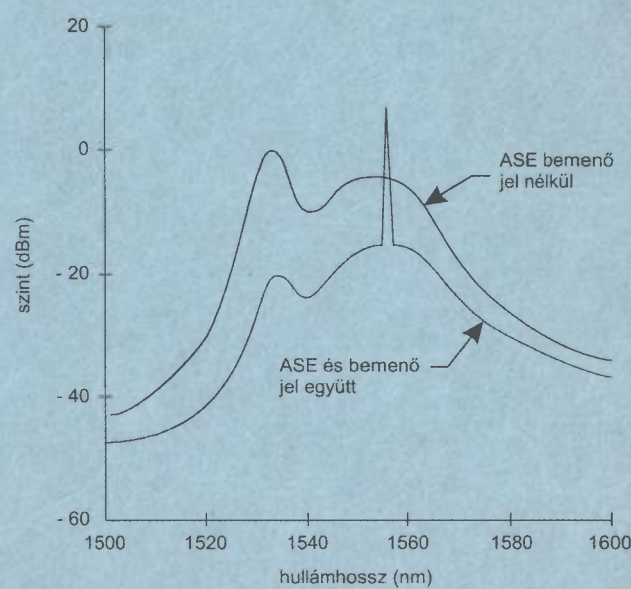
  általában a 3-20 dBm tartományba esik, konstrukciótól és alkalmazástól függõen

11. EDFA erõsítõk fontosabb paraméterei B11

MATÁV

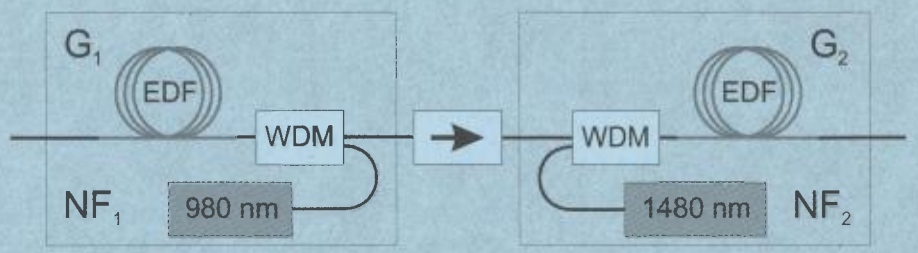
Spontán emisszió erõsítése (ASE)

- Az optikai erõsítõbõl kilépõ jel nemcsak az erõsített hasznos jelet tartalmazza, hanem a spontán emisszióval létrejött, az információt hordozó jel spektrumába esõ, szintén erõsített komponenset is!



12. Spontán emisszió erõsítése (ASE) B11

Nagy kimenõ teljesítményű és ugyanakkor kis z… kétlépcsõs optikai erõsítõ



$$NF_{\text{eredõ}} = NF_1 + \frac{NF_2}{G_1}$$

13. Nagy kimenõ teljesítményű, kétlépcsõs optikai erõsítõ B12

Optikai erõsítõk alkalmazását befolyásoló tényezõk, fizikai jelenségek 1.

- Optikai nemlinearitások
  - stimulált Brillouin szórás (SBS)
  - négyhullám-keverés (FWM)
  - modulációs instabilitás (MI)
  - önfázismoduláció (SPM)
  - szoliton képzõdés
  - XPM
  - stimulált Raman szórás (SRS)

14. Optikai erõsítõk alkalmazását befolyásoló tényezõk B12

B13

MATÁV

Optikai erõsítõk alkalmazását befolyásoló tényezõk, fizikai jelenségek 2.

- Polarizációs jellemzõk
  - polarizációs módusdiszperzió
  - polarizáció függõ csillapítás
  - polarizációs lyukégetés
- Diszperziós jellemzõk
  - kromatikus diszperzió
- további OFA alkalmazáshoz kapcsolódó jellemzõk
  - zaj halmozódása
  - ön-szűrés hatása
  - optikai "lökéshullám" képzõdés

15. Optikai erõsítõk alkalmazását befolyásoló tényezõk B13

MATÁV

Stimulált Brillouin szórás (SBS) 1.

- Oka:

  foton és akusztikus fonon közötti kölcsönhatás,

  tehát ez egy olyan folyamat, amelyben három hullám vesz részt:
  - a jelsugárzás,
  - az elektrostrikció keltette akusztikus hullám
  - a szórt (Stokes) hullám

16. Stimulált Brillouin szórás (SBS) 1. B13

MATÁV

Stimulált Brillouin szórás (SBS) 2.

- *Jellemzõi:*
  Brillouin sugárzás a jel terjedési irányával ellentétes irányban

$$f \pm \Delta f$$
$$\Delta f = 13{,}2\,\text{GHz}\,(1310\text{nm})$$
$$\Delta f = 11{,}1\,\text{GHz}\,(1550\text{nm})$$

frekvenciákon.

17. SBS 2. B14

MATÁV

Stimulált Brillouin szórás (SBS) 3.

- *Kritikus optikai teljesítmény: ~5 mW (spektrálisan keskeny forrás esetén)*
  (a kritikus optikai teljesítmény növekszik a jel spektrumának szélesedésével)
- *Hatása:*
  Gyakorlatilag limitálja a fényvezetõ szálon átvihetõ optikai teljesítményt, és egy adott bemenõ teljesítmény után a bemeneti teljesítményt tovább növelve a kimeneti teljesítmény nem változik, a teljesítmény növekmény visszaszóródik

18. SBS 3. B14

B15

MATÁV

Négyhullám keverés (FWM)

- Oka: több foton kölcsönhatása
- Jellemzõje:

  a létrejövõ keverési termékek:

$$f_4 = f_1 \pm f_2 \pm f_3$$

- Kritikus optikai teljesítmény: ~10 mW
  (G.653-as fényvezetõ szál)

  függ az optikai csatornák közötti távolságtól és a kromatikus diszperzió mértékétõl
- Hatása:

  csatornák közötti áthallás, és a jel kiürülése

19. Négyhullámú keverés (FWM) B15

MATÁV

Önfázismoduláció (SPM) és fázisok közötti moduláció (XPM) 1.

- Oka:

  Az optikai Kerr effektus, a törésmutató intenzitás-függése
- Jellemzõje:
  - ön, vagy szomszédos csatorna okozta fázistolás
  - spektrális kiszélesedés
- Kritikus optikai teljesítmény: ~ 10 mW

20. Önfázisú (SPM) és fázisok közötti moduláció (XPM) 1. B15

MATÁV

Önfázismoduláció (SPM), fázisok közötti moduláció (XPM) 2.

B16

- Hatása:
  - a spektrális kiszélesedés fokozza a diszperzió hatását
  - teljesítmény/diszperzió limitált nagy bitsebességű átvitel
  - impulzus kiszélesedé, illetve összenyomódás (pozitív diszperzió esetén)
  - szoliton létrejötte, és terjedése

21. SPM és XPM 2. B16

MATÁV

Stimulált Raman szórás (SRS)

- Oka:
  fotonok és optikai fononok közötti kölcsönhatás
- Jellemzője:
  Raman sugárzás megjelenése a jel terjedési irányával megegyező irányban
- Kritikus optikai teljesítmény
  egycsatornás rendszerben: ~1 W,
  DE kritikus csatornák közötti távolsággal rendelkező WDM rendszerben csak ~1 mW (!)
- Hatása:
  jelcsillapítás, és csatornák közötti áthallás WDM rendszerekben

22. Stimulált Raman szórás (SRS) B16

B17

MATÁV

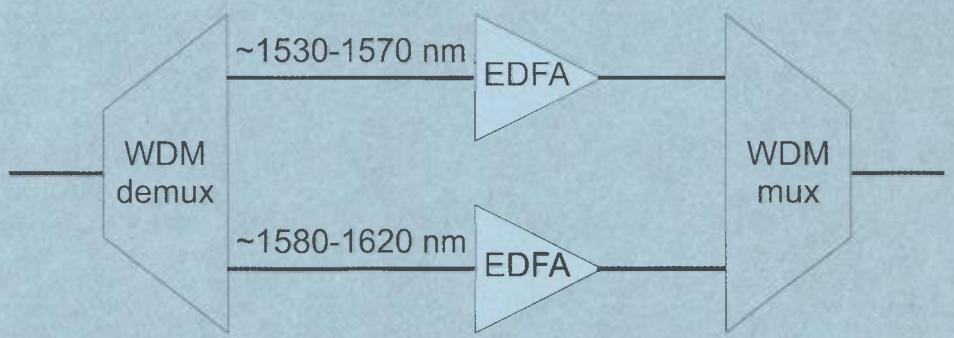
EDFA erõsítõk fontosabb fejlesztési irányai

- az erõsítés sávszélességének növelése
  Módszerek:
  - a sávszélesség növelése, az erõsítés egyenetlenségének simítása
  - úgynevezett "kétablakos", párhuzamosan kapcsolt erõsítõk alkalmazása, ahol az erõsítõk működési sávja el van tolva egymástól
- optikai „lökéshullám" kiküszöbölése, optikai csatornák számától kvázi független, önszabályozó erõsítés

23. EDFA erõsítõk fontosabb fejlesztési irányai B17

MATÁV

Úgynevezett "kétablakos" erõsítõ



24. Úgynevezett "kétablakos" erõsítõ B17

MATÁV

Diszperziós torzulás kezelése, diszperzió kompenzálása

25. Diszperziós torzulás kezelése, diszperzió kompenzálása B18

MATÁV

Diszperzió kompenzálási technikák

- Az optikai erősítők a kromatikus diszperzió okozta jeltorzulást nem kompenzálják
- A következő megoldások léteznek a kromatikus diszperzió hatásának ellensúlyozására:
  - passzív diszperzió kompenzáló eszközök:
    - diszperzió kompenzáló szálak
    - kompakt diszperzió kompenzáló eszközök (rácsok)
  - pre-chirping
  - szakaszközépi spektrális invertálás (a négyhullámkeverés felhasználásával)
  - (az önfázismoduláció felhasználása, szolitáris átvitel)

26. Diszperzió kompenzálási technikák B18

B19

MATÁV

Diszperzió kompenzálásának elmélete

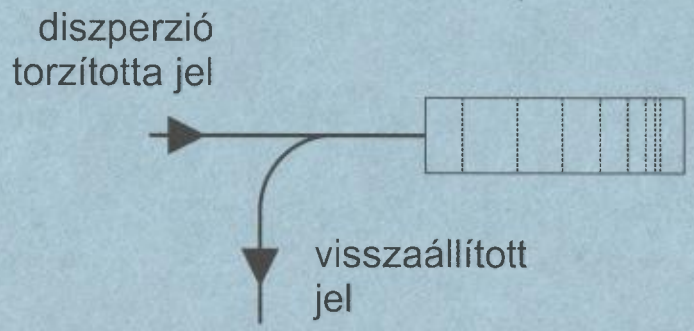
- *A diszperzió hatását úgy kompenzálhatjuk, hogy a jelet ugyanolyan mértékű (abszolút értékű), de ellenkezõ elõjelű diszperziónak tesszük ki.*
- *(Ezt úgy is megtehetjük, hogy a jelet spektrálisan invertáljuk, majd lehetõleg ugyanolyan diszperzióval rendelkezõ szakaszon visszük át. Ezen alapszik a szakaszközépi spektrális invertálás)*

27. Diszperzió kompenzálásának elmélete B19

MATÁV

Kompakt diszperzió kompenzáló eszköz

- *Felismerés: a fényvezetõ szálba UV fénnyel (megfelelõ körülmények között) tartós optikai rács "írható".*



28. Kompakt diszperzió kompenzáló eszköz B19

MATÁV

B20

WDM rendszerek jelforrásai és detektorai

29. WDM rendszerek jelforrásai és detektorai B20

MATÁV

WDM rendszerek jelforrásaival szemben támasztott követelmények

- jól definiált, gyártáskor szabályozható, állítható hullámhossz
- spektrális tisztaság (sűrűn kell az optikai csatornákat egymás mellé pakolni)
- hőmérsékleti stabilitás (szintén az optikai csatornák közötti áthallás miatt fontos)
- alacsony/kicsi chirp
- (hangolhatóság)

30. WDM rendszerek jelforrásainak követelményei B20

B21

MATÁV

WDM rendszerekben alkalmazott jelforrások

- alapvetõen nem különböznek a nagysebességű SDH rendszerekben alkalmazott forrásoktól
- a követelményeknek megfelelõ szóba jöhetõ forrás-típusok:
  - direkt modulálható, többszelvényű félvezetõ lézerek
    - DFB (Distributed Feed Back) lézer
    - DBR (Distributed Bragg Reflector) lézer
  - külsõ modulátorral rendelkezõ félvezetõ lézer

31. WDM rendszerekben alkalmazott jelforrások B21

MATÁV

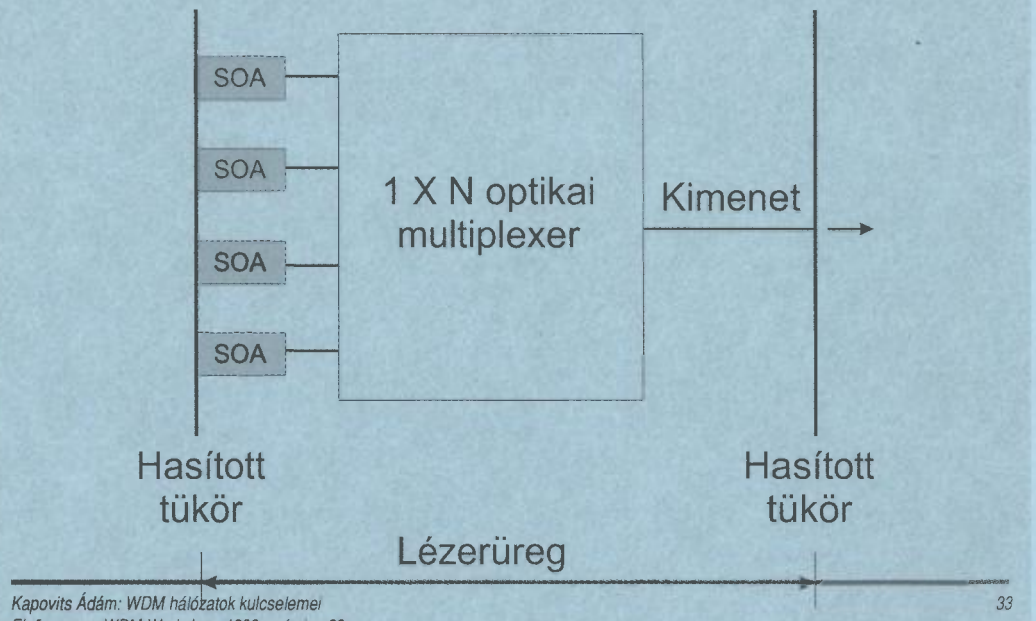
WDM rendszerek jelforrásai, adóelemei

- Jelenleg:
  - diszkrét, jól meghatározott hullámhosszon sugárzó keskeny spektrumú lézerek
- A fejlesztés iránya:
  - hangolható források
  - integrált DFB lézer tömbök
  - sokfrekvenciás lézerek

32. WDM rendszerek jelforrásai, adóelemei B21

MATÁV

Sokfrekvenciás lézer (MFL) sematikus felépítése



33. A sokfrekvenciás lézer (MFL) sematikus felépítése B22

MATÁV

WDM rendszerek detektorai és vevõi

- *Működési hullámhossz-tartomány: 1530-1620 nm*
  (Általában InGaAs pin fotodetektor)
- *nagy érzékenység*
- *alacsony teljesítmény-felvétel*
- *polarizáció független működés*
- *nagy hõmérsékleti stabilitás*
- *hangolhatóság, hangolási sebesség*
  - *csomagkapcsolt rendszerben sokkal gyorsabb hangolhatóságra van szükség*
- *a vevõkben hibrid vagy monolitikus megoldással integrálva van egy optikai demultiplexer*

34. WDM rendszerek detektorai és vevõi B22

B23

MATÁV

Optikai csatornák szétválasztása

MATÁV

Optikai csatornák szétválasztása

- Funkció megvalósítása:
  - optikai demultiplex eszközök, hullámhossz szétválasztók
  - szűrők (Fabry-Perot, Bragg, Mach-Zehnder, stb.)
- Fontos paraméterek:
  - szelektivitás, áthallás elnyomása
  - beiktatási csillapítás polarizáció-függése
- Fizikai megvalósítás:
  - fényvezető szál alapú eszközökkel,
  - planár hullámvezető alapon, integrált optikai úton

Szűrok

- *Konstrukciójukat tekintve lehetnek optikai rács, illetve interferométer alapúak*
  (az optikai rácsok olyan struktúrák, amelyekben a törésmutató periodikusan változik)
- *egy vagy több optikai jel (csatorna) kiszűrésére használhatók*
- *az optikai szűrõk lehetnek fix szűrõk, illetve hangolhatók*

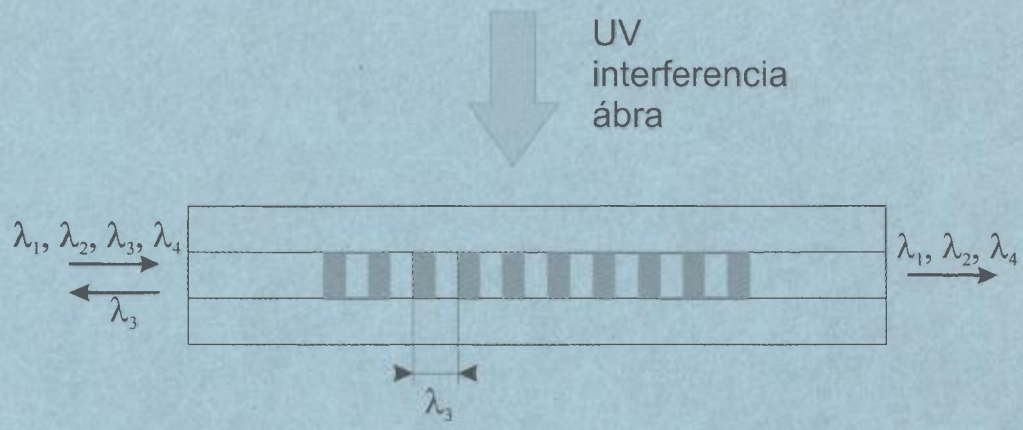
Szűrõtípusok

- *Fix szűrõk:*
  - *diffrakciós rács szűrõk,*
  - *fényvezetõ szálba írt Bragg rácsok*
- *Hangolható szűrõk:*
  - *sorba kapcsolt Mach-Zehnder interferométerek*
  - *akuszto-optikai szűrõk (AOTF)*
  - *elektro-optikai szűrõk*
  - *hangolható Fabry-Perot szűrõk*
  - *mikromegmunkált eszközök (FP szűrõk DBR tükrökkel)*
  - *aktív szűrõk (FP, DFB vagy DBR lézer alapúak)*

B25

MATÁV

Szálba írt Bragg rács szűrő



39. Szálba írt Bragg rács szűrők B25

MATÁV

Mach-Zehnder interferométer

40. Mach-Zehnder interferométer B25

MATÁV

Nem konfigurálható hullámhossz ro. B26
- az Arrayed Waveguide Grating (AWG)

41. Nem konfigurálható hullámhossz router B26

MATÁV

Optikai kapcsolás és hullámhossz konverzió

42. Optikai kapcsolás és hullámhossz konverzió B26

B27

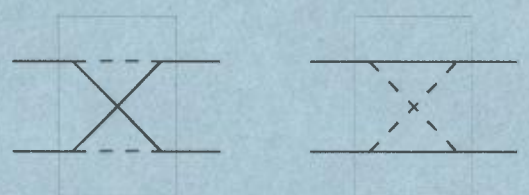
MATÁV

Optikai kapcsolás

- *optikai kapcsolók*
  - *már ma is fontosak, szerepet kapnak optikai gyűrűkben, illetve védelmi átkapcsolásnál*
  - *egyik legfontosabb paraméter a kapcsolási idõ (nagyon gyors kapcsolást a nemlineáris effektusok felhasználásával lehet elérni)*

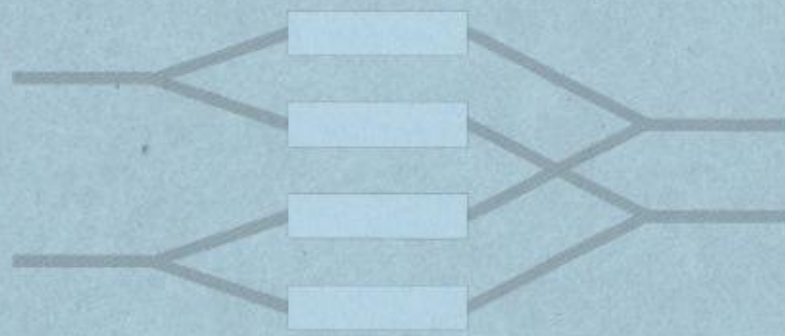
MATÁV

Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 1.



Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 2.

- Kapuzó kapcsolók



45. Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 2. B28

Hullámhossz konverzió

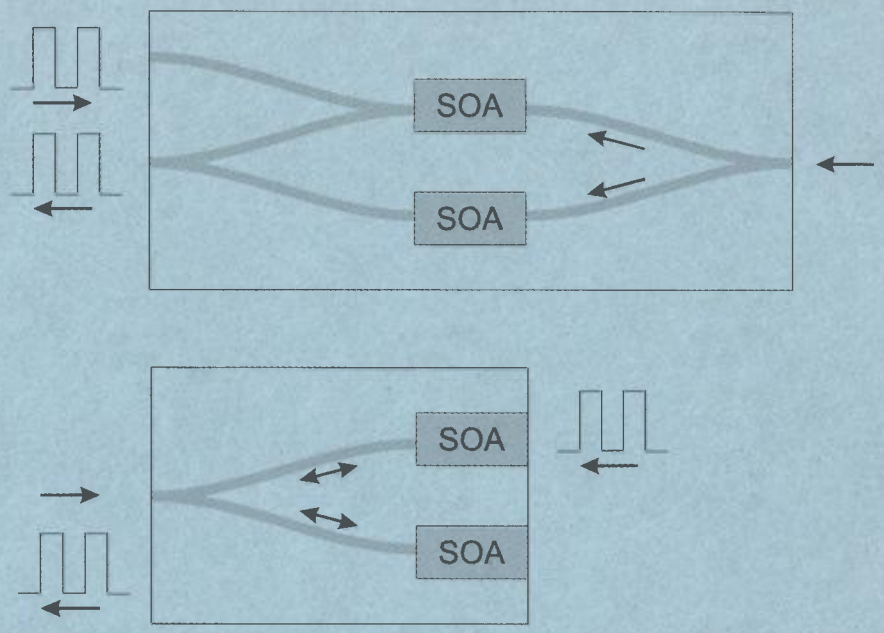
- Transzponderek
  A WDM rendszerek illesztése meglévõ rendszerekhez jelenleg transzponderekkel történik. A transzponder egy lebutított, leegyszerűsített ismétlõ (repeater). **Ez azonban még így is egy költséges megoldás**.
- Valódi hullámhossz konverterek
  Jelenleg még a fejlesztés fázisában vannak. Ezek olyan SOA alapú eszközök, amelyekben a SOA-ban lejátszódó XGM, illetve nemlineáris jelenségek (XPM, FWM) valamelyikét használják fel a hullámhossz konverzióra. Ezeknél az eszközöknél speciális optimalizációra (a nemlineáris viselkedés optimalizálására) van szükség, szemben az optikai erõsítõk hagyományos alkalmazásával, ahol éppen a lineáris erõsítés a cél.

46. Hullámhossz konverzió B28

B29

MATÁV

Interferometrikus hullámhossz konverterek



47. Interferometrikus hullámhossz konverterek B29

MATÁV

WDM hálózatok kulcselemei, működésük fizikai elve és technológiájuk

ÖSSZEFOGLALÁS

- ***ÉVENTE MEGDUPLÁZÓDÓ OPTIKAI KAPACITÁS***
- ***3000 TB/HÓ MAI Internet KAPACITÁSIGÉNY***
- ***A WDM INSTALLÁCIÓK 1997 és 2002 KÖZÖTT MEGDUPLÁZÓDNAK***
- ***SIKERES 1022 CSATORNÁS ULTRA DWDM LABORKÍSÉRLETEK***

48. Összefoglalás B29

LECTURE#L3.: G. PAKSY: WDM EQUIPMENT AND BASIC STRUCTURES*

0.	Tartalom	B30
1.	Címoldal, WDM berendezések, MATÁV-PKI-FI	B31
2.	Optikai hálózat definíció	B31
3.	Hálózati funkciók	B32
4.	Optikai multiplex eljárások	B32
5.	Optikai regenerálás	B33
6.	(D)WDM berendezések	B33
7.	Optikai végzõdõ multiplexer (OTM)	B34
8.	WDM pont-pontrendszer	B34
9.	Ajánlott csatorna kiosztás G.652 szál esetén	B35
10.	Optikai leágazó multiplexer (OADM)	B35
11.	Fix konfigurációjú OADM	B36
12.	Dinamikusan konfigurálható OADM	B36
13.	Optikai vezérelt rendezõ (OXC)	B37
14.	Optikai rendezõ (OXC)	B37
15.	OXC hullámhossz konverzióval	B38
16.	Optikai hálózati architektúrák	B38
17.	Szabványosítás, ajánlások	B39
18.	ITU-T ajánlások	B39
19.	G872	B40
20.	Hálózati rétegek együttmûködése	B40
21.	G692	B41
22.	Optical Interworking Forum (OIF)	B41
23.	IP-WDM együttmûködés	B42
24.	Összefoglalás	B42

B31

First Hungarian WDM Workshop

WDM berendezések és alapstruktúrák

Paksy Géza
MATÁV-PKI-FI

1. Címoldal, WDM berendezések, MATÁV-PKI-FI B31

Optikai hálózat definíció

Optikai hálózat (All optical network) definíció:

Olyan transzport hálózati réteg, melyben (majdnem) minden hálózati funkció és jelkezelés az optikai tartományban van megvalósítva.

A jelen:

Forrás-E/**O-szál-O**/E-jelkezelés-E/**O-szál-O**/E-***Nyelõ***

A (közel-) jövõ:

Forrás-E/**O-szál-jelkezelés-szál-O**/E-***Nyelõ***

2. Optikai hálózat definíció B31

Hálózati funkciók

Az optikai hálózatok megvalósításához szükséges hálózati funkciók

- optikai erõsítés, jelformálás
- regenerálás
- hullámhossz transzponálás
- hullámhossz konvertálás
- multiplexálás/demultiplexálás
- leágazás (add-drop)
- rendezés (cross-connect)
- kapcsolás (vonal, csomag)
- menedzselés

Optikai multiplexálási eljárások

Optikai multiplexálási eljárások

- SCM: Sub-Carrier Multiplexing
- OFDM/WDM/DWDM:frekvencia/hullámhossz osztású multiplexálás
- OTDM: optikai idõosztásos multiplexálás
- OCDM optikai kódosztásos multiplexálás

Optikai regenerálás

A digitális jelregenerálás alapfunkciói

- **1R:** erõsítés
- **2R**: erõsítés +jelformálás
- **3R**: erõsítés+jelformálás +újraidõzítés

Megvalósítás:

- **1R:** optikai erõsítõ
- **2R**: optikai erõsítõ +optikai amplitúdó korrertor.
- **3R: 2R** +elektronikus újraidõzítés

(D)WDM berendezések

(D)WDM berendezések osztályzása a hálózati funkciójuk alapján

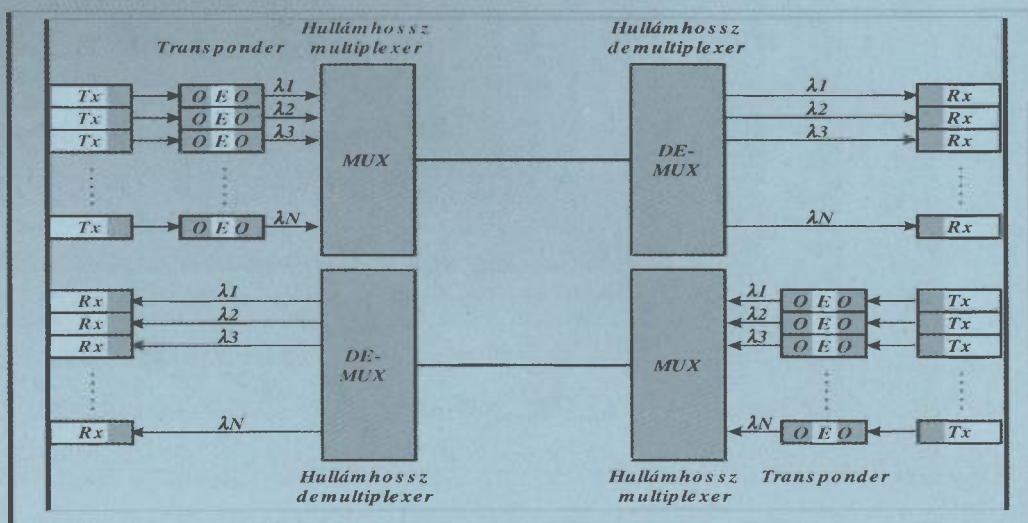
- Optikai végzõdõ multiplexer (OTM)
- Optikai leágazó multiplexer (OADM)
- vezérelt optikai rendezõ (OXC)
- Optikai erõsítõ (OA)

Optikai végzõdõ multiplexer (OTM)

Az **Optikai végzõdõ multiplexer (OTM) jellemzõi:**

- 8,16,24,40,48,64,(128...) hullámhossz
- "szinezett" interfész külsõ transzponderrel
- sebesség és protokoll független "nyitott" interfész (pl.:50 Mbit/s-2 Gbit/s közötti sebességű RZ jel és SDH)
- külön optikai szolgálati csatorna

WDM pont-pont rendszer



B35

Ajánlott csatorna kiosztás G.652 szál esetén (G.692)

THz	100 GHz	200 GHz	400 GHz	500 GHz	600 GHz	1000 GHz	THz	100 GHz	200 GHz	400 GHz	500 GHz	600 GHz
196.1	*	*					194	*			*	
196.0	*						193.9	*	*			
195.9	*	*					193.8	*				
195.8	*						193.7	*	*	*		*
195.7	*	*	*				193.6	*				
195.6	*						193.5	*	*		*	
195.5	*	*		*	*	*	193.4	*				
195.4	*						193.3	*	*	*		
195.3	*	*	*				193.2	*				
195.2	*						193.1	*	*			*
195.1	*	*					193	*			*	
195	*			*			192.9	*	*	*		
194.9	*	*	*		*		192.8	*				
194.8	*						192.7	*	*			
194.7	*	*					192.6	*				
194.6	*						192.5	*	*	*	*	*
194.5	*	*	*	*		*	192.4	*				
194.4	*						192.3	*	*			
194.3	*	*			*		192.2	*				
194.2	*						192.1	*	*	*		
194.1	*	*	*									

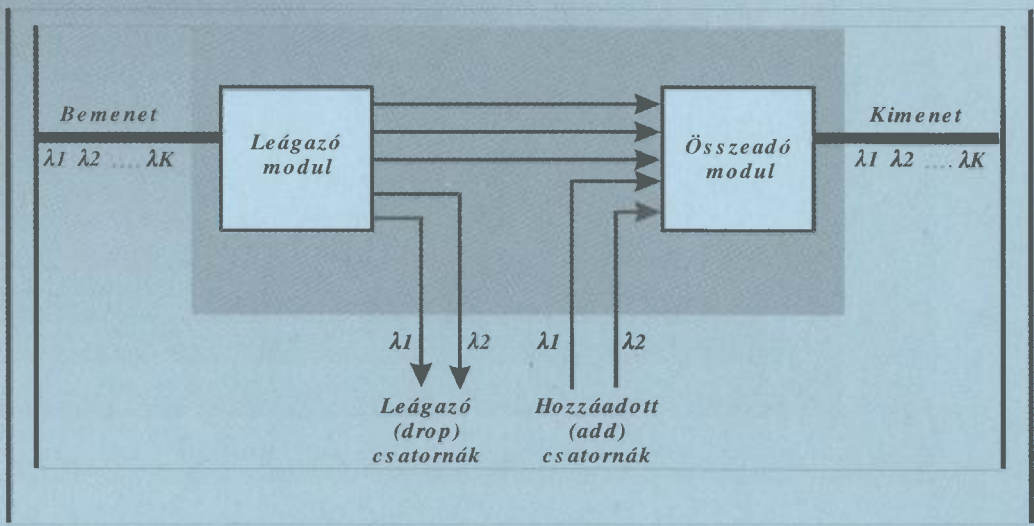
9. Ajánlott csatorna kiosztás G.652 szál esetén B35

Optikai leágazó multiplexer (OADM)

- Fix konfigurációjú OADM: passzív optikai elemekkel
- dinamikusan konfigurálható OADM
- Jellemzõk:
  - sorba kapcsolható OADM-ek száma
  - teljes rendezhetõség
  - transzparencia
  - hullámhossz újrahasznosítási lehetõség
- Korlátok:
  - beiktatási csillapítás
  - csatorna áthallás
  - csatorna stabilitás

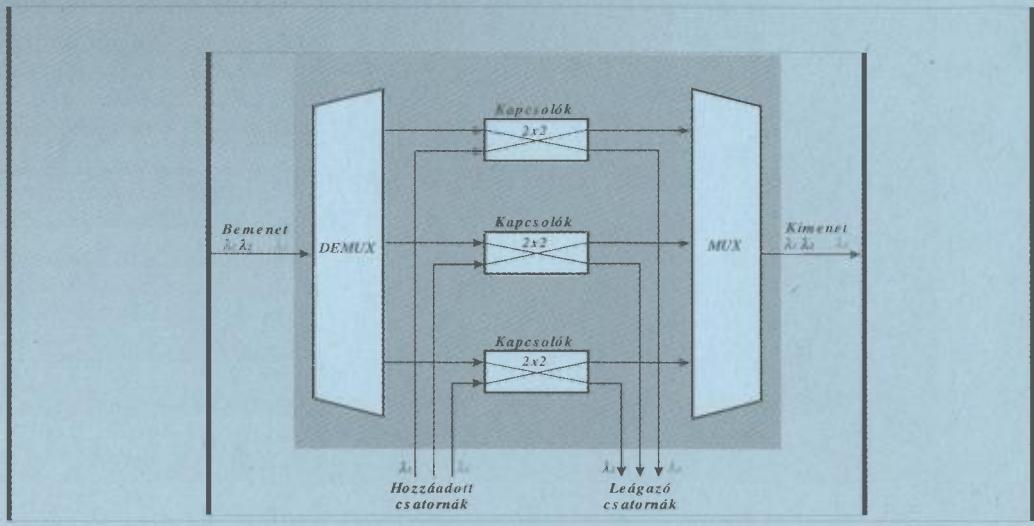
10. Optikai leágazó multiplexer (OADM) B35

Fix konfigurációjú OADM



11. Fix konfigurációjú OADM B36

Dinamikusan konfigurálható OADM



12. Dinamikusan konfigurálható OADM B36

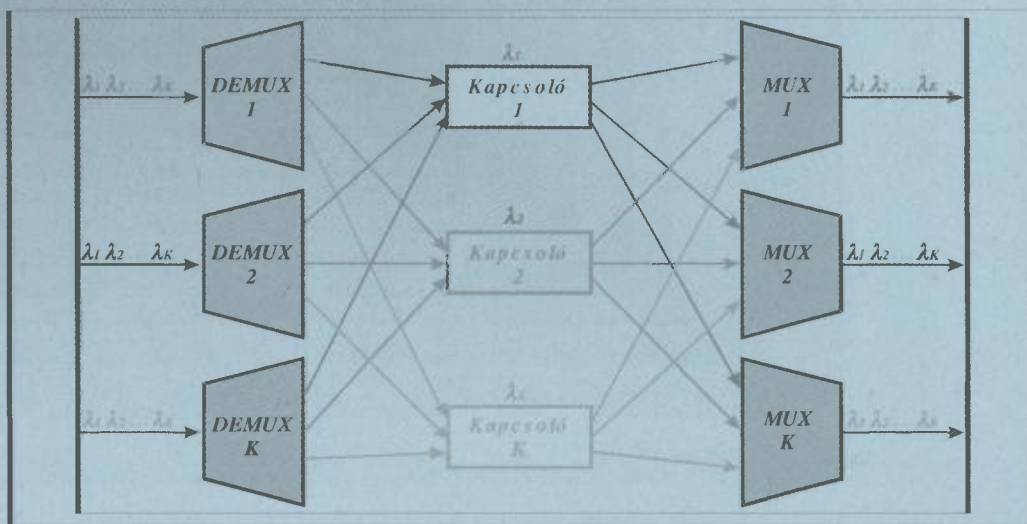
Vezérelt optikai rendezõ (OXC)

Az OXC-k kiemelkedõen fontos szerepet fognak játszani az optikai hálózatok kialakításában. Ehhez azonban még számos kutatási feladatot kell megoldani

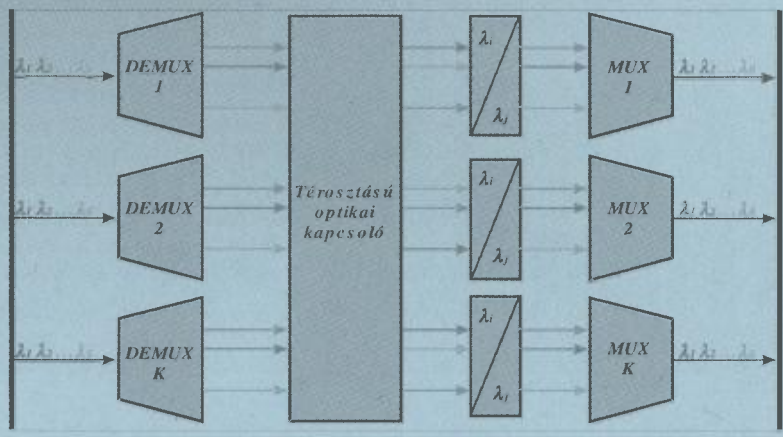
Passzív optikai utvonal irányítók:hullámhossz routerek

- Funkció:tér és hullámhossz kapcsolás:hullámhossz konverzióval, vagy nélkül.
- 2R regenerálás esetén nincs optikai transzparencia
- Granularitás: hullámhossz (kiegészíthetõ SDH VC-4 DXC-vel)
- Csak kisérleti rendszerek vannak. Pl.: RACE 2028 MWTN
- Alkalmazási lehetõség: szövevényes optikai hálózatokban
- Korlátok: technológiai, gazdaságossági, hálózattervezési

Optikai rendezõ (OXC)



OXC hullámhossz konverzióval



Optikai hálózati architektúrák

1. Optikai öngyógyító gyűrűk OADM alkalmazásával
   - egyirányú, kétirányú gyűrűk
   - kétszálas, négyszálas gyűrűk.
2. Optikai szövevényes hálózat OXC-k és WDM pont-pont rendszerek alkalmazásával
3. Összetett architektúrák
   - nem hierarchikus (flat) gyűrű-gyűrű hálózatok
   - hierachikus többszintű gyűrű-gyűrű, szövevény-gyűrű hálózatok

B39

Szabványosítás, ajánlások

- ITU-T ajánlások
- ETSI szabványok
- OIF (Optical Interworking Forum)
- IETF

ITU-T ajánlások

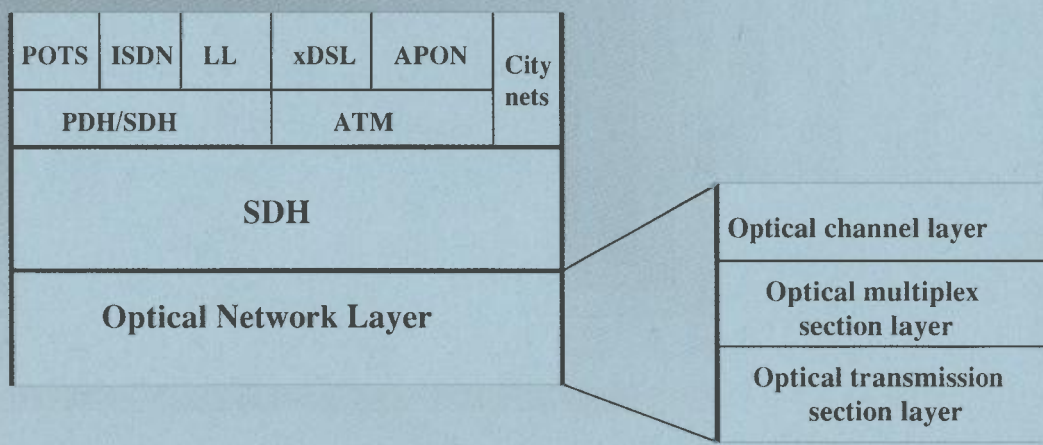
ITU-T G.xxx ajánlások:

- Optikai szálak: G.65x
- Optikai erõsítõk: G.66x
- Optikai elemek: G.67x
- WDM berendezések funkcionális leírása: G.681,
- Optikai interfészek: G.691, G.692
- Optikai hálózatok architektúrája: G.872
- Kidolgozás alatt: G.onr, G.oeg, G.oef, G.onm, G.oni, G.ons, G.onc

ITU-T G.872
Architectures of optical transport networks

- Kliens szerver kapcsolat
- Optical Channel Section layer (OCH)
- Optical Multiplex Section layer (OMS)
- Optical Transmission Section layer (OTS)
- Információs model a rétegek leírására:
  - felügyelet
  - védelem

Hálózati rétegek együttműködése



B41

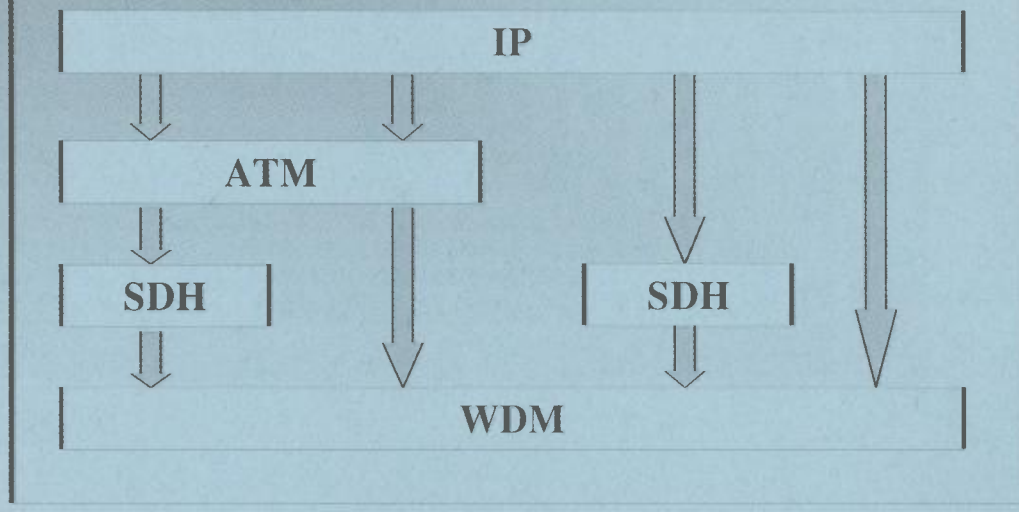
ITU-T G.692
Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers

- az optikai interfészek osztályzása és és jelölése
- optikai szolgálati csatorna megvalósítása (1480 nm)
- STM-4,-16, -64, (-256)
- egy vagy két szálon full-duplex átvitel
- hullámhossz allokáció G.652,653,655 szálakra
- csatorna kiosztási módszer nem egyenletes frekvenciatávolságokra

Optical Interworking Forum (OIF)

- Cél: Az optikai réteg közvetlen felhasználása a csomagkapcsolt (ATM,TCP IP) átvitel számára.
- ATM kapcsolók, IP routerek közvetlen optikai összekapcsolása.
- PPP protokoll optikán

IP -WDM együttműködés lehetõségei



23. IP-WDM együttműködés B42

First Hungarian WDM Workshop

ÖSSZEFOGLALÁS

- A WDM MINT INFLEXIÓS PONT
- A KOMPONENS FEJLESZTÉS ÜTEMÉT TARTANI KELL
- HARMONIKUS IP-WDM MEGOLDÁSOK
- ALL-OPTICAL HÁLÓZATOK

24. Összefoglalás B42

LECTURE#L4.: T. JAKAB: OPTICAL NETWORK SOLUTIONS *

0.	Tartalom	B43
1.	Címoldal, Budapesti Mûszaki Egyetem	B44
2.	Célkitûzés	B44
3.	Az SDH átviteli hálózatok felismerhetõ korlátjai	B45
4.	Optikai hálózati réteg	B45
5.	Várható elõnyök	B46
6.	Gazdasági-mûszaki elemzés, motiváció	B46
7.	Gazdasági-mûszaki elemzés, módszer	B47
8.	Optikai hálózatok kialakítása	B47
9.	Az elemzett hálózati architektúrák	B48
10.	Színezett szakaszokból álló gyûrû	B48
11.	CS gyûrû csomóponti képe	B49
12.	CS gyûrû útképzés	B49
13.	CS gyûrû védelem	B50
14.	Színezett szakaszokból álló gyûrû	B50
15.	Extra védelmek CS gyûrûn	B51
16.	OMSSP gyûrû	B51
17.	OMSSP csomópont	B52
18.	OMSSP útképzés és védelem	B52
19.	OMSSP gyûrû	B53
20.	MWTN szövevény	B53
21.	MWTN csomópont	B54
22.	Elemzési szempontok	B54
23.	Optikai szál megtakarítása SDH MSSP gyûrûvel	B55
24.	Méret, méretezés	B55
25.	Beruházási költségek megoszlása OMSSP gyûrû esetén	B56
26.	Beruházási költségek megoszlása MWTN szövevény esetén	B56
27.	Beruházási költségek megoszlása CS gyûrû esetén	B57
28.	Relatív költség-megtakarítások SDH gyûrûvel	B57
29.	Beruházási költség-összehasonlítás MWTN és SDH esetén	B58
30.	Költség: beruházási költség	B58
31.	CS gyûrû rendelkezésre állása	B59
32.	32OMSSP gyûrû rendelkezésre állása	B59
33.	32 OMSSP gyûrû rendelkezésre állása	B60
34.	STM-1 kapacitású utak rendelkezésre állásának összevetése	B60
35.	STM-1 rendelkezésre állása MWTN és SDH szövevényen	B61
36.	Rendelkezésre állás	B61
37.	Elektronikus és optikai kapcsolási idõk MSSP esetén	B62
38.	Helyreállítási idõk SDH és MWTN szövevényen	B62
39.	Üzemeltetés: reagálási idõk	B63
40.	Színezett szakaszokból álló gyûrû	B63
41.	Osztott optikai multiplex szakaszok védett gyûrûje	B64
42.	Többhullámhosszú szövevény	B64
43.	Színezett szakaszokból álló gyûrû	B65
44.	Osztott optikai multiplex szakaszok védett gyûrûje	B65
45.	Többhullámhosszú szövevény	B66
46.	Optikai hálózatok tervezési kérdései	B66
47.	Összefoglalás, végkövetkeztetések	B67
48.	Optikai térhódítás elõnyei	B67

EURESCOM B44

Optikai hálózati megoldások

Ígéretes optikai architektúrák

Jakab Tivadar
Budapesti Műszaki Egyetem
Híradástechnikai Tanszék
E-mail: jakab@hit.bme.hu

1. Címoldal, Budapesti Műszaki Egyetem B44

EURESCOM

Célkitűzés

- az optikai hálózati technológiából származó lehetséges előnyök számbavétele
- előnyös tulajdonságokkal rendelkező optikai hálózati architektúrák bemutatása
- klasszikus SDH és új optikai átviteli hálózati architektúrák gazdasági-műszaki összehasonlító elemzése
- az optikai hálózati architektúrákkal gerinchálózati és nagyvárosi környezetben elérhető előnyök összefoglalása
- optikai hálózatok tervezésének néhány lényeges szempontja
- az EURESCOM P615 és P709 projektek eredményei alapján,
- részletes információk: www.eurescom.de (angol nyelvű)

2. Célkitűzés B44

EURESCOM

Az SDH átviteli hálózatok felismerhetõ korlátai

- a rendelkezésre álló optikai szálak sávszélességének csak töredékét képesek kihasználni (egyetlen hullámhossz)
- a robbanásszerű átviteli kapacitásigény növekedést a technológia nem képes hatékonyan követni
- kapacitáskihasználási korlátok gyűrűkben (igénymintától függõen)
- kapacitásbõvítési nehézségek a telítés határára került gyűrűkben

3. Az SDH átviteli hálózatok felismerhetõ korlátjai B45

EURESCOM

Optikai hálózati réteg
Mi változhat és mi marad változatlan?

- változatlan
  - alapvetõ hálózati funkciók alapelvei (védelem, útképzés)
  - hálózati szerkezet (részhálózatok hierarchiájára épül)
  - a továbbítandó információ döntõen elektronikus formában
- újdonságok
  - komponensek, berendezések, hálózati funkciók imple-mentálása, passzív elemek meghatározó súlya
  - jellemzõk: költség - alacsony, megbízhatóság - magas
  - újabb hálózati réteg, többrétegű hálózatok

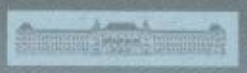
4. Optikai hálózati réteg B45

EURESCOM B46

Az optikai hálózati technológia térhódításától várható elõnyök

- az optikai szálak sávszélességének többszörös kihasználása: WDM - hullámhossz-multiplexálás
- hálózati szinten többlet átviteli kapacitás
  - viszonylag kis komplexitásnövekedés mellett
  - kis megbízhatósági többletkockázat mellett - a döntõen passzív optikai elemek nagy megbízhatóságúak
  - viszonylag kis többletköltség mellett - a döntõen passzív optikai elemek viszonylag olcsóak
- az optikai hálózati réteg kínálta többletrugalmasság szolgál-tatásminõségi és kapacitáskihasználtsági nyereséget eredmé-nyezhet

5. Várható elõnyök B46



EURESCOM

Optikai hálózati architektúrák gazdasági-műszaki elemzése Motiváció

- az optikai hálózati réteg kialakításában meghatározó szerepre alkalmas architektúrák jellemzése
- az egyes architektúrák relatív elõnyeinek és hátrányainak bemutatása (referencia a rokon SDH architektúra)
- az egyes architektúrák optimális alkalmazási feltételeinek meghatározása (pl. gerinchálózati/nagyvárosi környezet, optimális igényminta)

6. Gazdasági-műszaki elemzés, motiváció B46

B47

EURESCOM

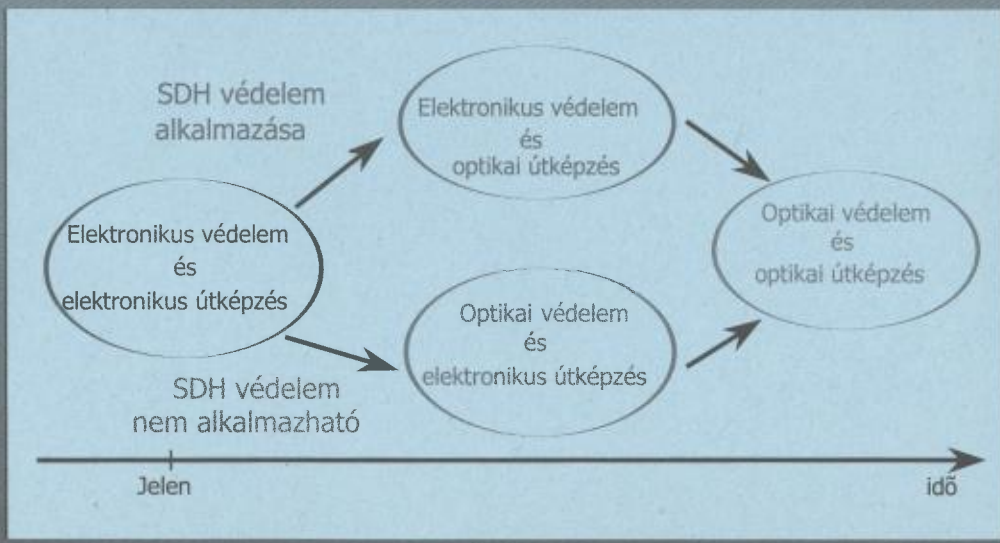
Optikai hálózati architektúrák gazdasági-műszaki elemzése Az alkalmazott elemzési módszer

- összehasonlítás tipikus hálózati alkalmazások alapján
- 5-8 csomópontos hálózati mintapéldák különböző átviteli igénymintákkal és igénynagyságokkal
- részletes hálózatméretezés (átviteli utak és útkapacitások, berendezéskonfigurációk és berendezéskapacitások)
- analízis a méretezett mintapéldák alapján

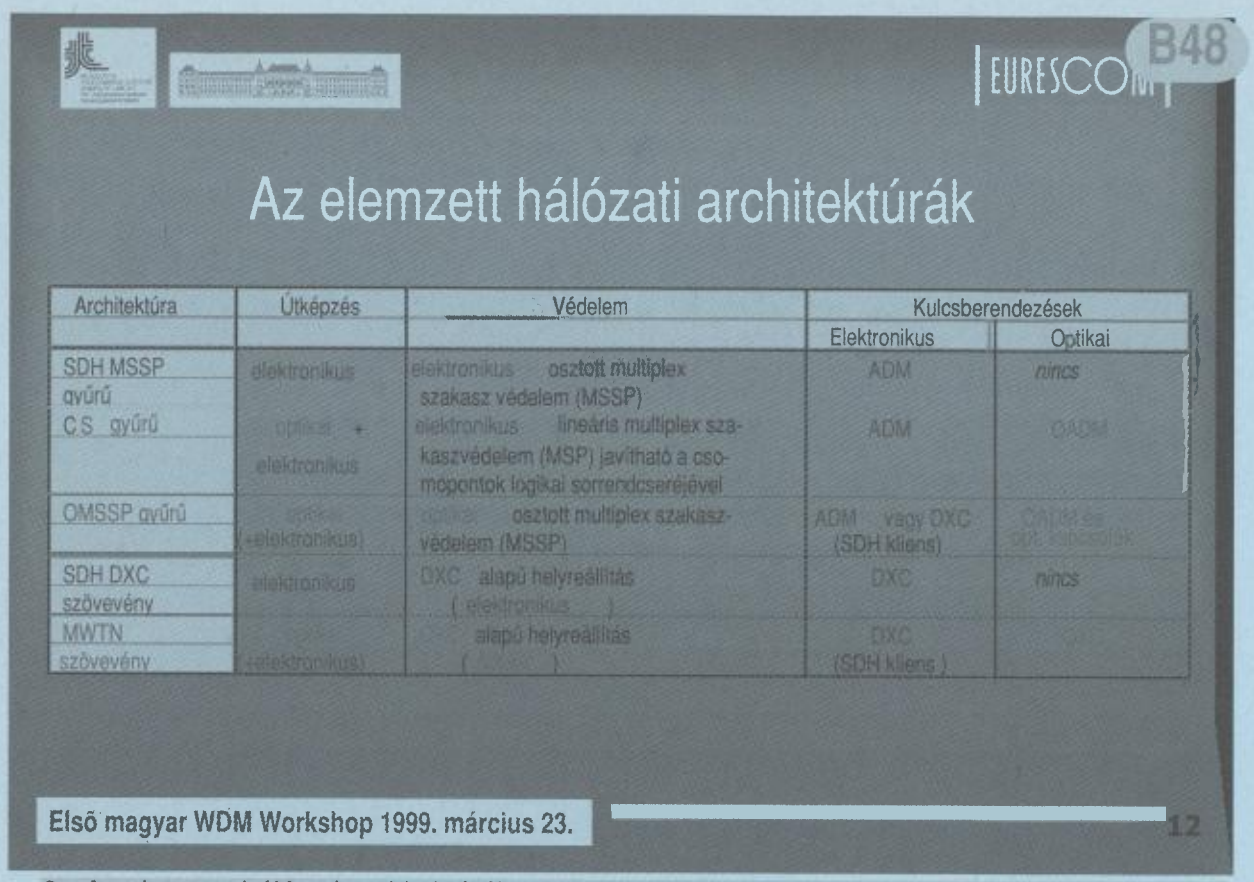
7. Gazdasági-műszaki elemzés, módszer B47

EURESCOM

Optikai hálózatok kialakítása

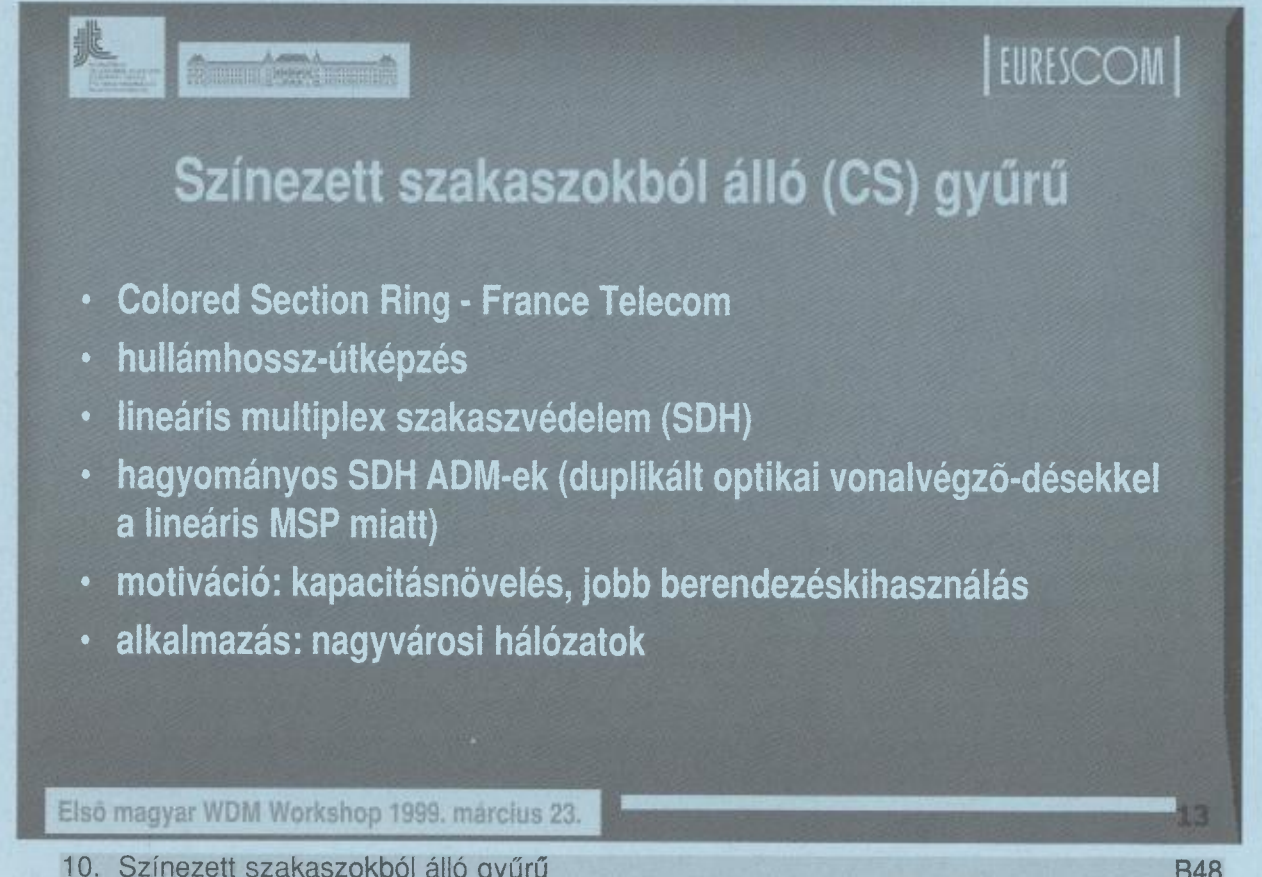


8. Optikai hálózatok kialakítása B47



Architektúra	Útképzés	Védelem	Kulcsberendezések	
			Elektronikus	Optikai
SDH MSSP gyűrű CS gyűrű	elektronikus optikai + elektronikus	elektronikus osztott multiplex szakasz védelem (MSSP) elektronikus lineáris multiplex szakaszvédelem (MSP) javítható a csomópontok logikai sorrendcseréjével	ADM ADM	nincs OADM
OMSSP gyűrű	optikai (+elektronikus)	optikai osztott multiplex szakaszvédelem (MSSP)	ADM vagy DXC (SDH kliens)	OADM és DXC kapcsolók
SDH DXC szövevény	elektronikus	DXC alapú helyreállítás (elektronikus)	DXC	nincs
MWTN szövevény	(+elektronikus)	alapú helyreállítás ( )	DXC (SDH kliens)	

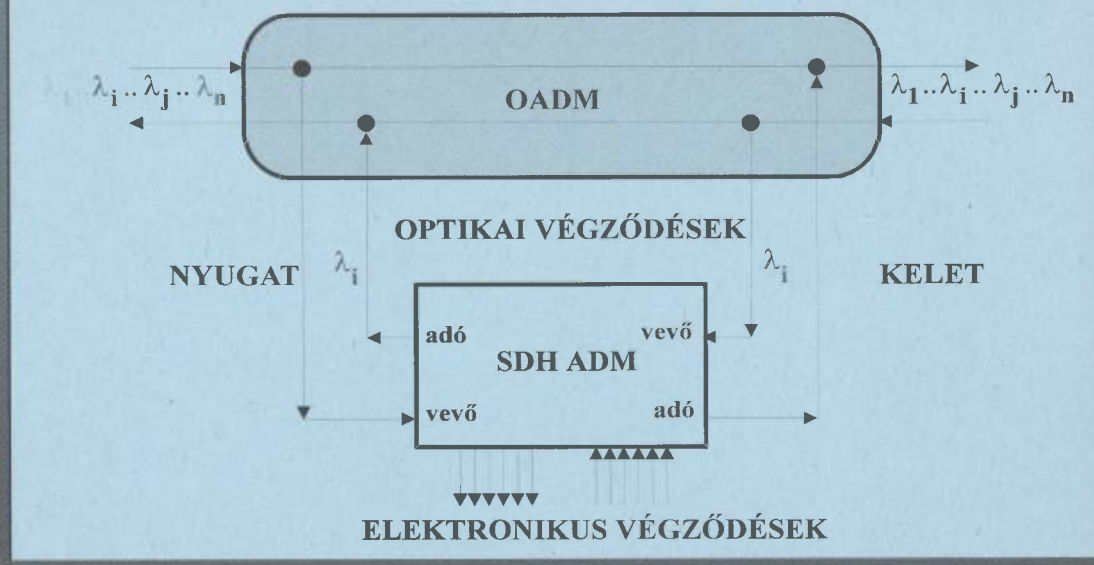
9. Az elemzett hálózati architektúrák B48



10. Színezett szakaszokból álló gyűrű B48

EURESCOM

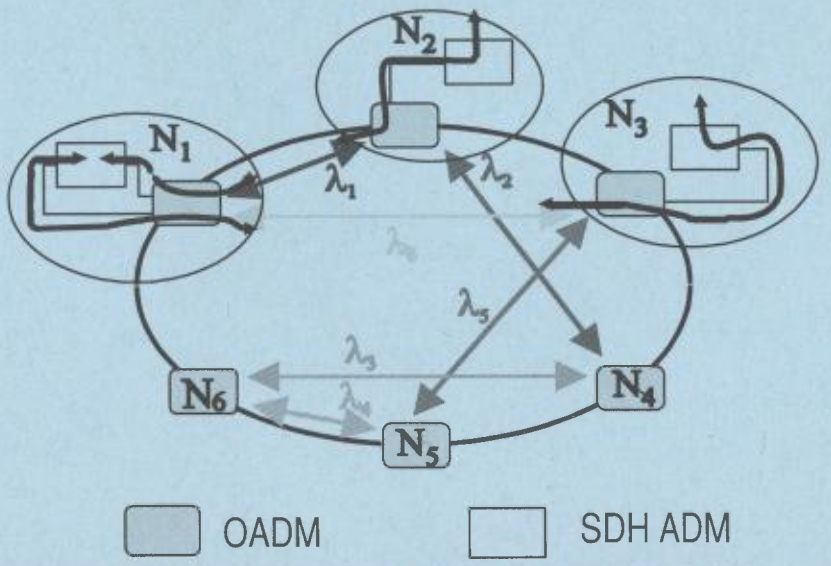
CS gyűrű csomóponti kép



11. CS gyűrű csomóponti képe B49

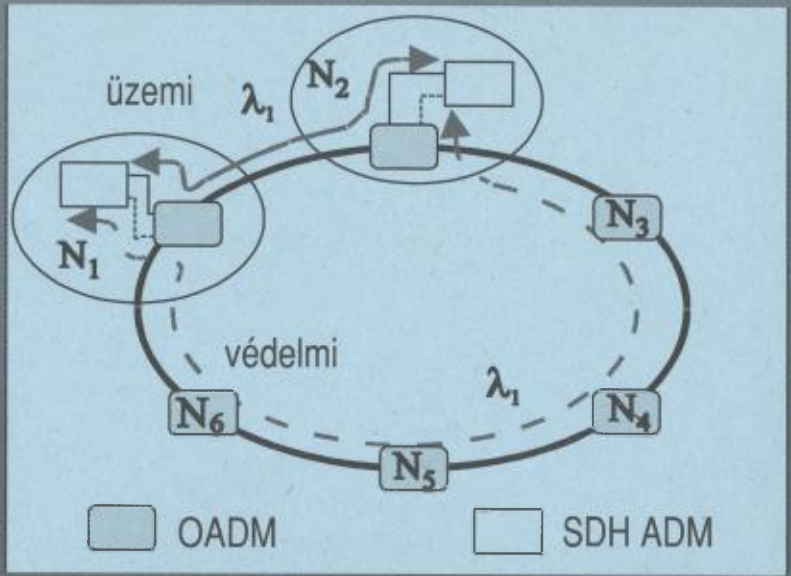
EURESCOM

CS gyűrű útképzés



12. CS gyűrű útképzés B49

CS gyűrű védelem



13. CS gyűrű védelem B50

Színezett szakaszokból álló (CS) gyűrű

- teljes elektronikus kapacitás üzemi célokra (>SDH PP, MSSP)
- logikai gyűrű: megváltoztatható csomópontsorrend
- logikai értelemben nem szomszédos csomópontok között elektronikus útképzés
- alapesetben az elektronikus útképző közbülső pontok hibájával szemben védtelen a lineáris MSP miatt

14. Színezett szakaszokból álló gyűrű B50

B51

EURESCOM

Extra védelmek CS gyűrűn

- MSSP gyűrű CS gyűrű felett
  - védelmet javítja
  - kapacitásfelhasználási előnyöket rontja
  - bonyolult együttes működtetés (lineáris MSP - MSSP)
- 1+1 útvédelem CS gyűrű felett
  - útvédelem a csomóponthiba ellen a kapacitásfelhasználási előnyök rontása árán
- csomópontok átsorrendezése a nem védett funkció eliminálására
  - a nem védett funkciót szükségtelenné teszi, nem kell elektronikus útképzés, a végpontok szomszédosak, minden út egyetlen multiplex szakasz

15. Extra védelmek CS gyűrűn B51

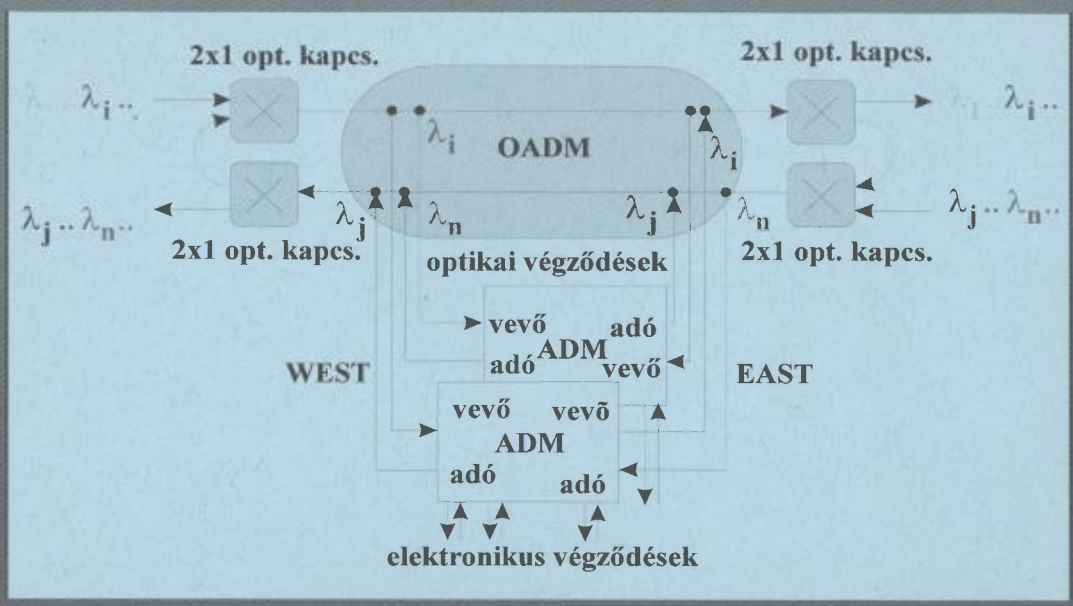
EURESCOM

OMSSP gyűrű

- osztott optikai multiplex szakaszvédett gyűrű
- optikai útképzés
- optikai védelem
- transzparens optikai architektúra
- SDH kliens esetén TM, ADM vagy DXC a csomóponti berendezés az OADM mellett

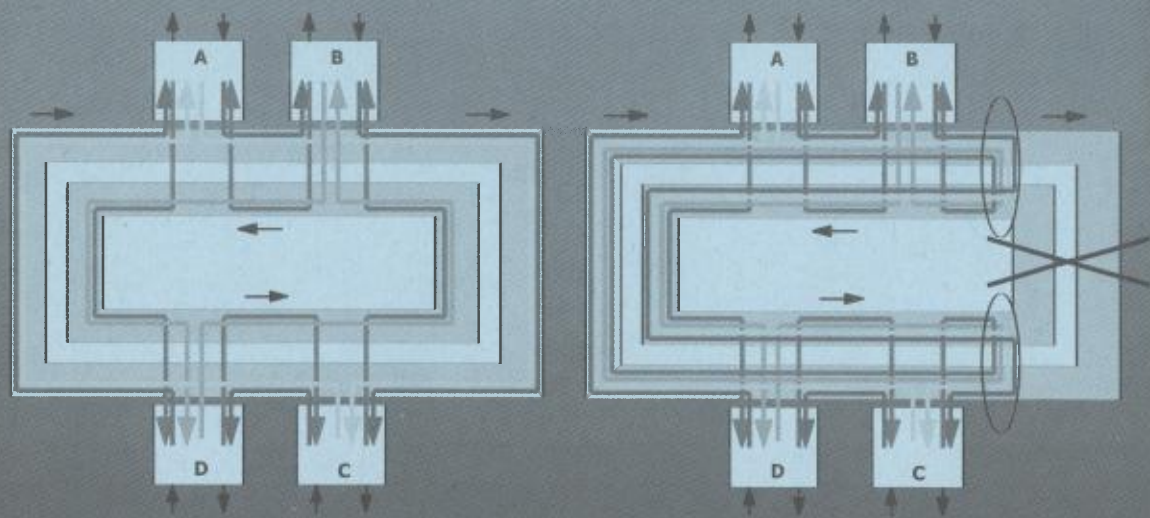
16. OMSSP gyűrű B51

OMSSP csomópont



17. OMSSP csomópont B52

OMSSP útképzés és védelem



18. OMSSP útképzés és védelem B52

B53

EURESCOM

OMSSP gyűrű

- transzparens optikai architektúra
- szövevény gyűrű infrastruktúrán
- könnyen bõvíthetõ
- csak optikai rétegbeli védelmet biztosít, a kliensrétegbeli funkciók védelmérõl gondoskodni kell

19. OMSSP gyűrű B53

EURESCOM

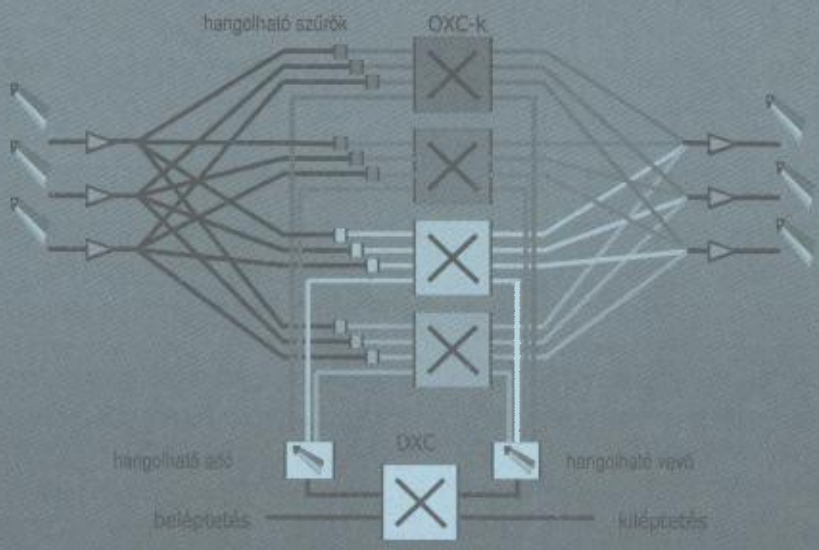
MWTN szövevény

- Multi-Wavelength Transport Network - ACTS projekt eredmény
- transzparens optikai architektúra
- optikai útképzés
- optikai védelem (helyreállítás)
- (lehetséges az elektronikus útképzés)
- (lehetséges az SDH alapú elektronikus helyreállítás)

20. MWTN szövevény B53

EURESCOM

MWTN csomópont



21. MWTN csomópont B54

EURESCOM

Elemzési szempontok

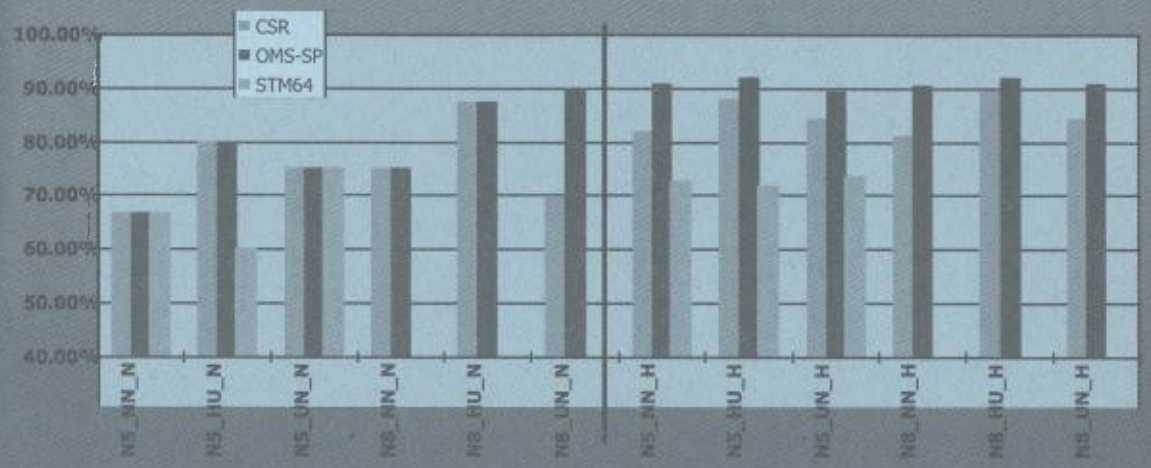
- fizikai méret
  - kapacitásigény, optikai szál szükséglet
- gazdasági szempontok - egyszerűsített megközelítés
  - csak beruházási költség (csak berendezés, optikai szál és alépítmény nélkül)
- rendelkezésre állás - egyszerűsített megközelítés
  - STM-1 kapacitású átviteli utak jellemzése: DTR
- üzemeltetés - csak korlátozott vizsgálatok
  - védelmi átkapcsolási idők - MSSP
  - helyreállítási idők - elosztott algoritmus esetén

22. Elemzési szempontok B54

B55

EURESCOM

Optikai szál megtakarítása SDH MSSP gyűrűvel összehasonlításban (%)



23. Optikai szál megtakarítása SDH MSSP gyűrűvel B55

EURESCOM

Elemzési szempontok szerinti következtetések (4/1)
Méret, méretezés

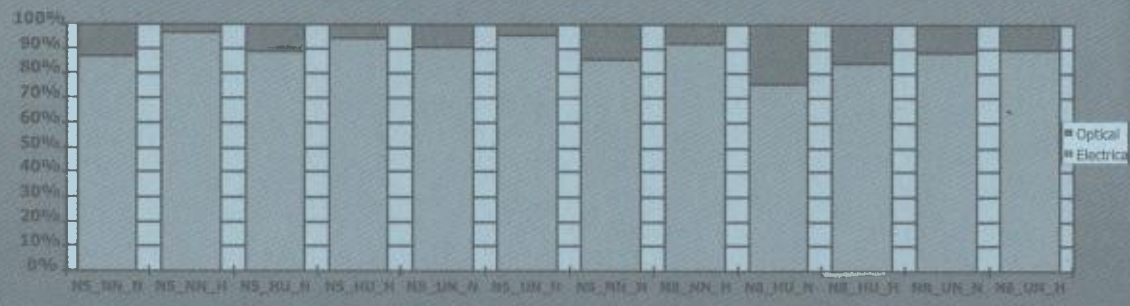
- jelentõs optikai szál megtakarítás érhetõ el az optikai architektúrák alkalmazásával (több mint 50%-os megtakarítás SDH MSSP STM-16 gyűrűvel összevetve)
- az egyes optikai architektúrák különbözõ igényminták esetén biztosítanak optimális kapacitáskihasználást
  - pl. CS gyűrű - ciklikus (csak szomszédok közötti) igények
- az SDH architektúrák méretezésére kifejlesztett módszerek az optikai architektúrákra adaptálhatók

24. Méret, méretezés B55

EURESCOM

Beruházási költségek megoszlása OMSSP gyűrű esetén

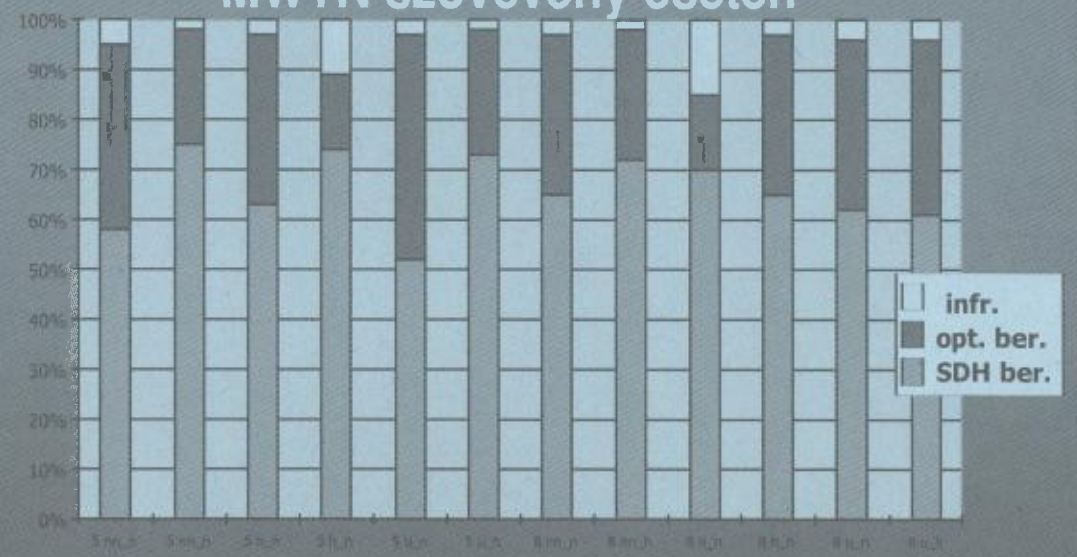
(SDH kliens réteg, SDH DXC ber.)



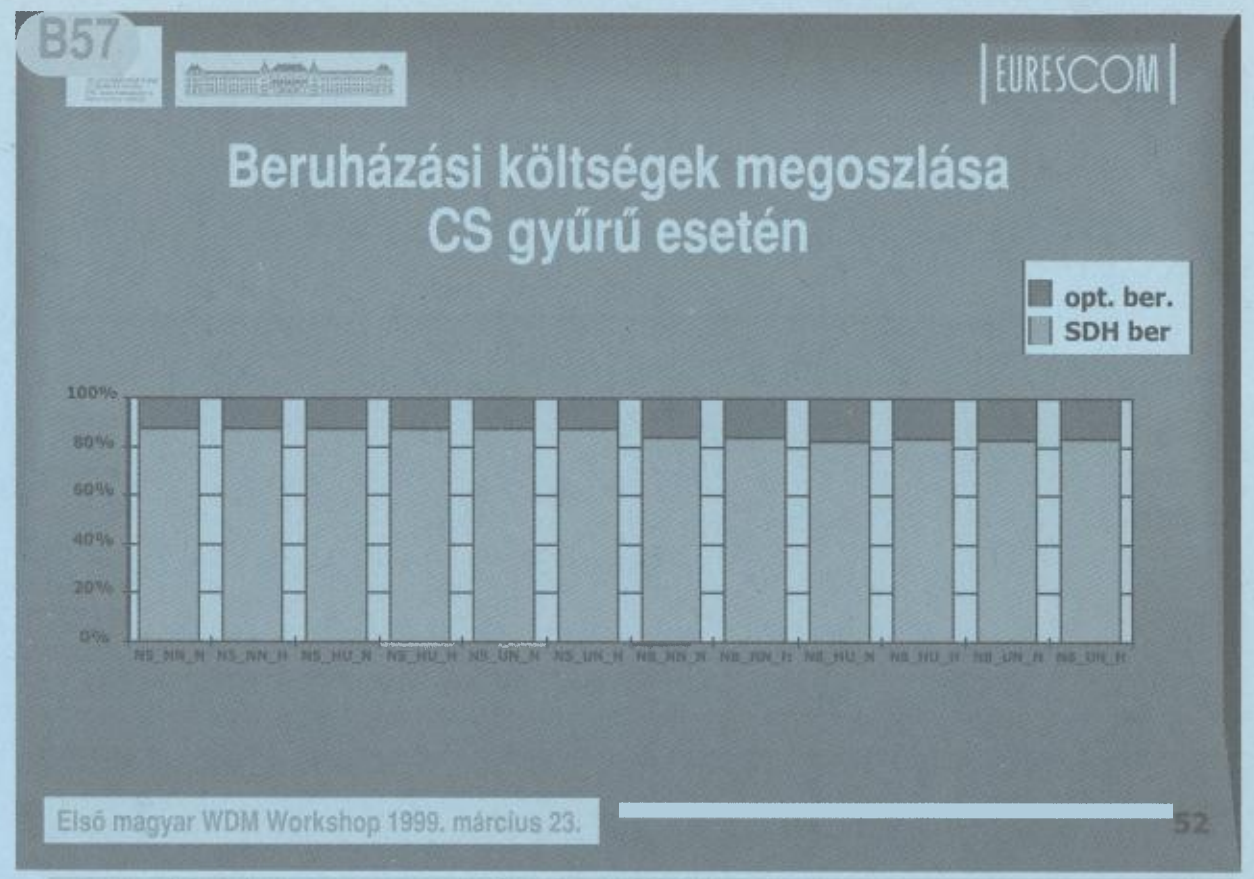
25. Beruházási költségek megoszlása OMSSP gyűrű esetén B56

EURESCOM

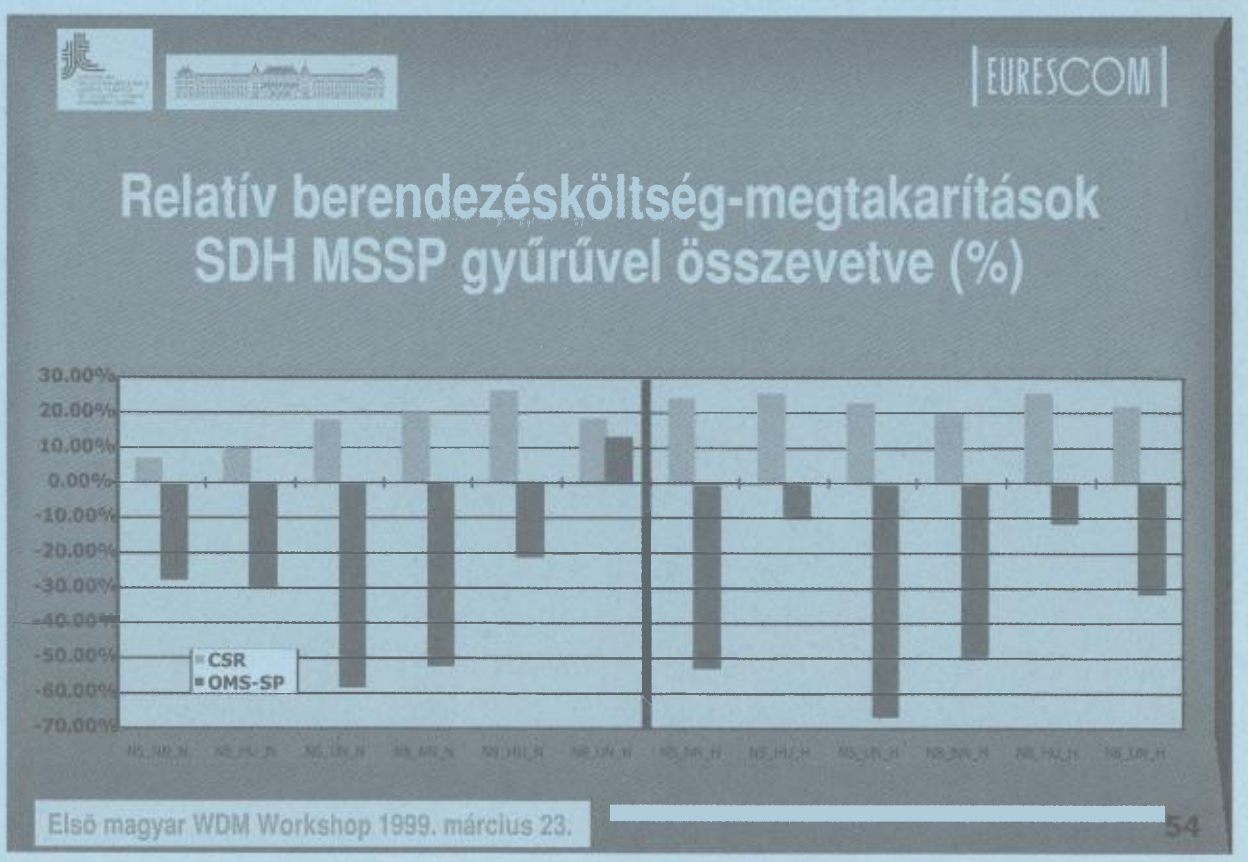
Beruházási költségek megoszlása MWTN szövevény esetén



26. Beruházási költségek megoszlása MWTN szövevény esetén B56

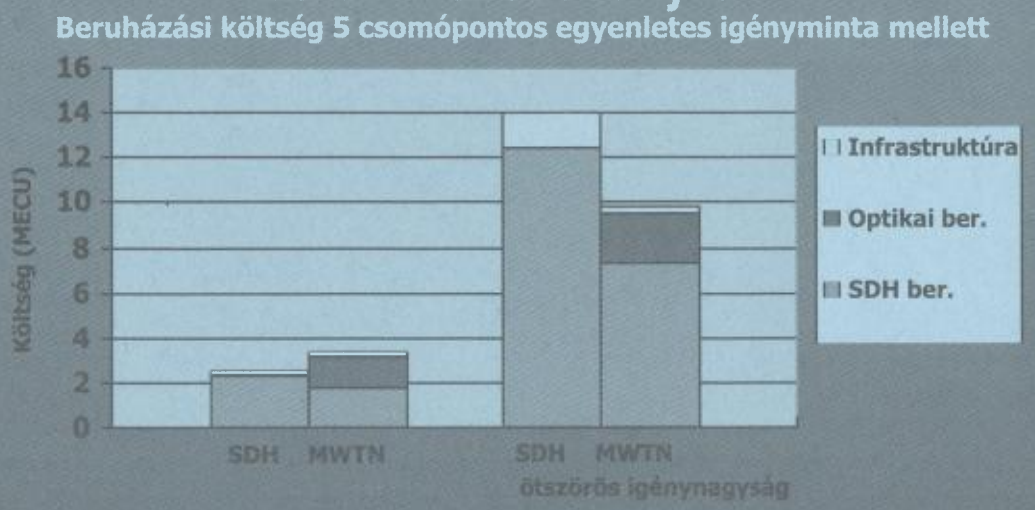


27. Beruházási költségek megoszlása CS gyűrű esetén B57



28. Relatív költség-megtakarítások SDHM MSSP gyűrűvel B57

Beruházási költségek összehasonlítása MWTN és SDH szövevényre



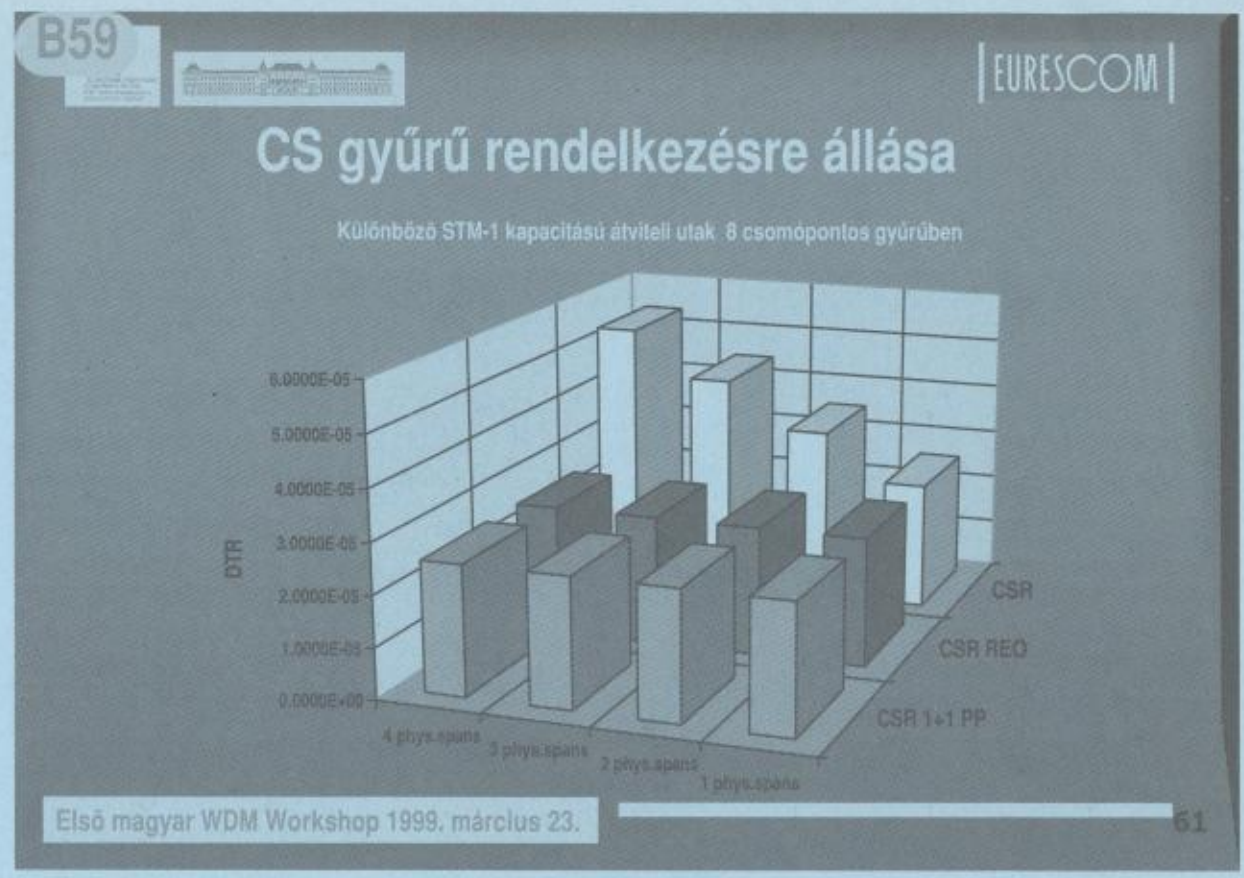
29. Beruházási költség-összehasonlítás MWTN és SDH esetén B58

Elemzési szempontok szerinti következtetések (4/2)

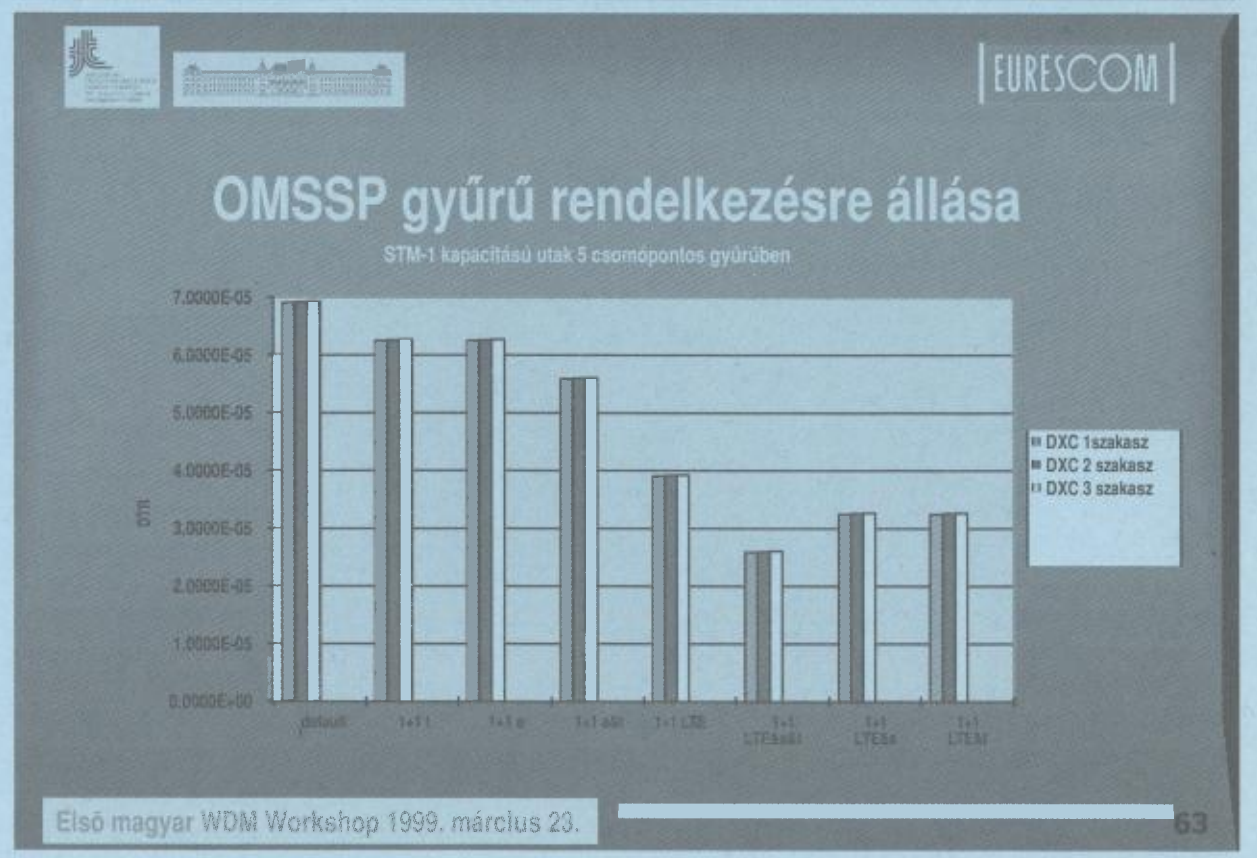
Költség: beruházási költség

- beruházási költségben jelentős megtakarítások érhetők el (30 -70% a referencia SDH architektúrákhoz viszonyítva)
- növekvő átviteli igényekkel a megtakarítások nőnek
- a beruházási költség jelentős részét az SDH berendezések adják (SDH kliensréteg)
- az optikai berendezések alacsony költségűek (SDH kliens esetén az SDH berendezésköltségekhez viszonyítva), az optikai berendezések költsége
  - az SDH berendezések költségének 5-25%-a
  - OXC alkalmazás esetén magasabb - megnőhet 40%-ra

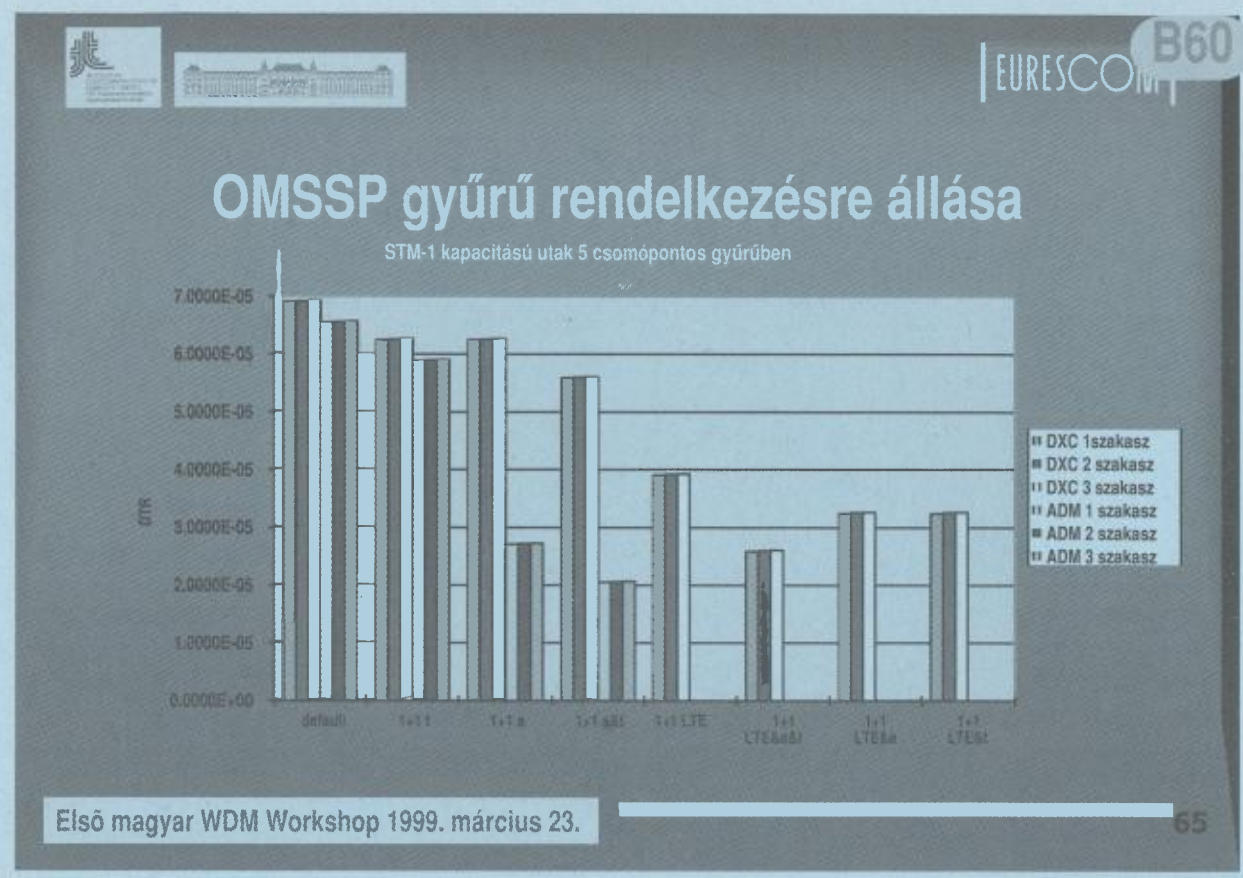
30. Költség: beruházási költség B58



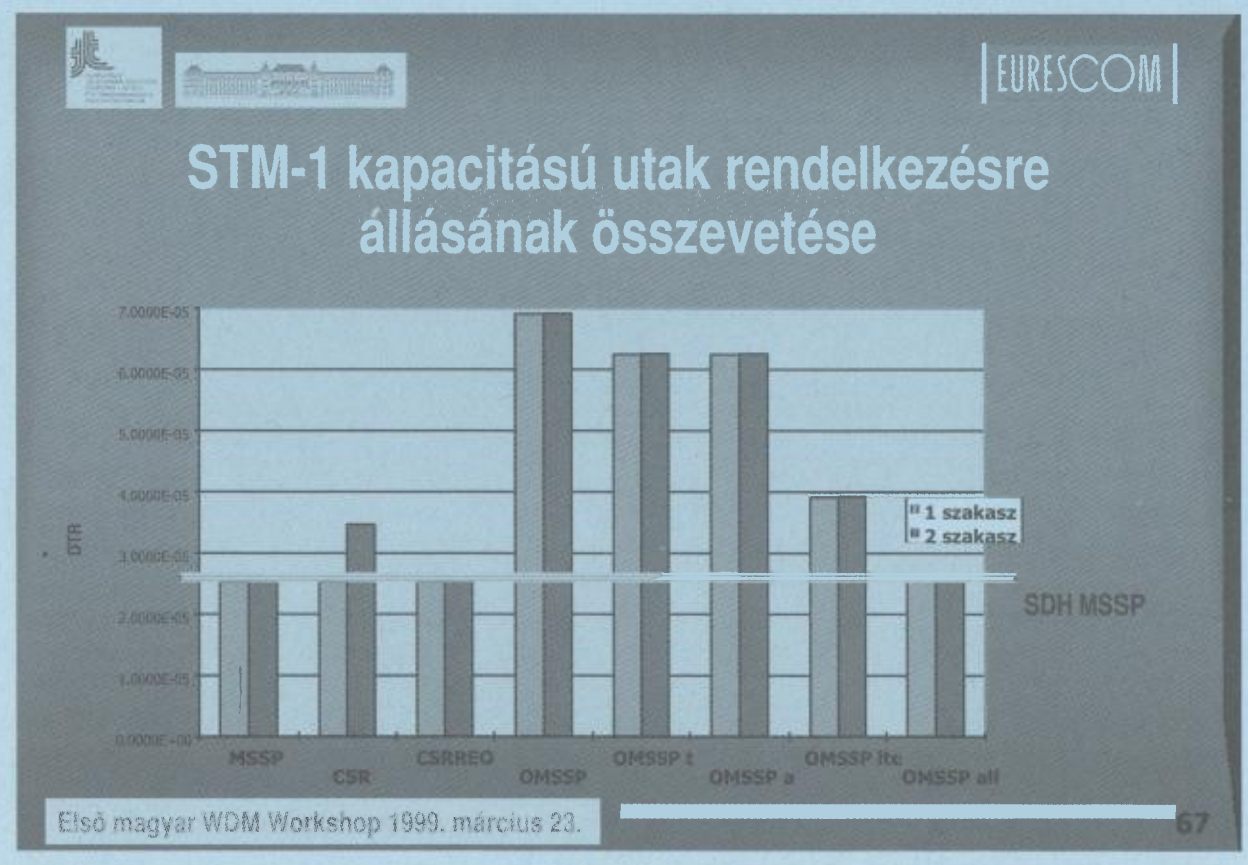
31. CS gyűrű rendelkezésre állása B59



32a OMSSP gyűrű rendelkezésre állása B59



32b OMSSP gyűrű rendelkezésre állása B60

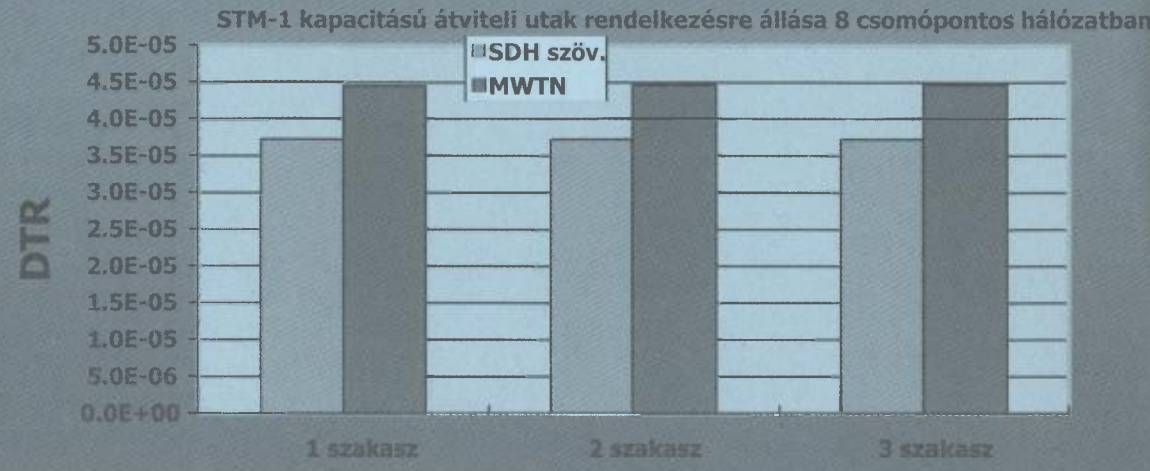


33. STM-1 kapacitású utak rendelkezésre állásának összevetése B60

B61

EURESCOM

STM-1 kapacitású utak rendelkezésre állásának összevetése MWTN és SDH szövevényen



34. STM-1 rendelkezésre állása MWTN és SDH szövevényen B61

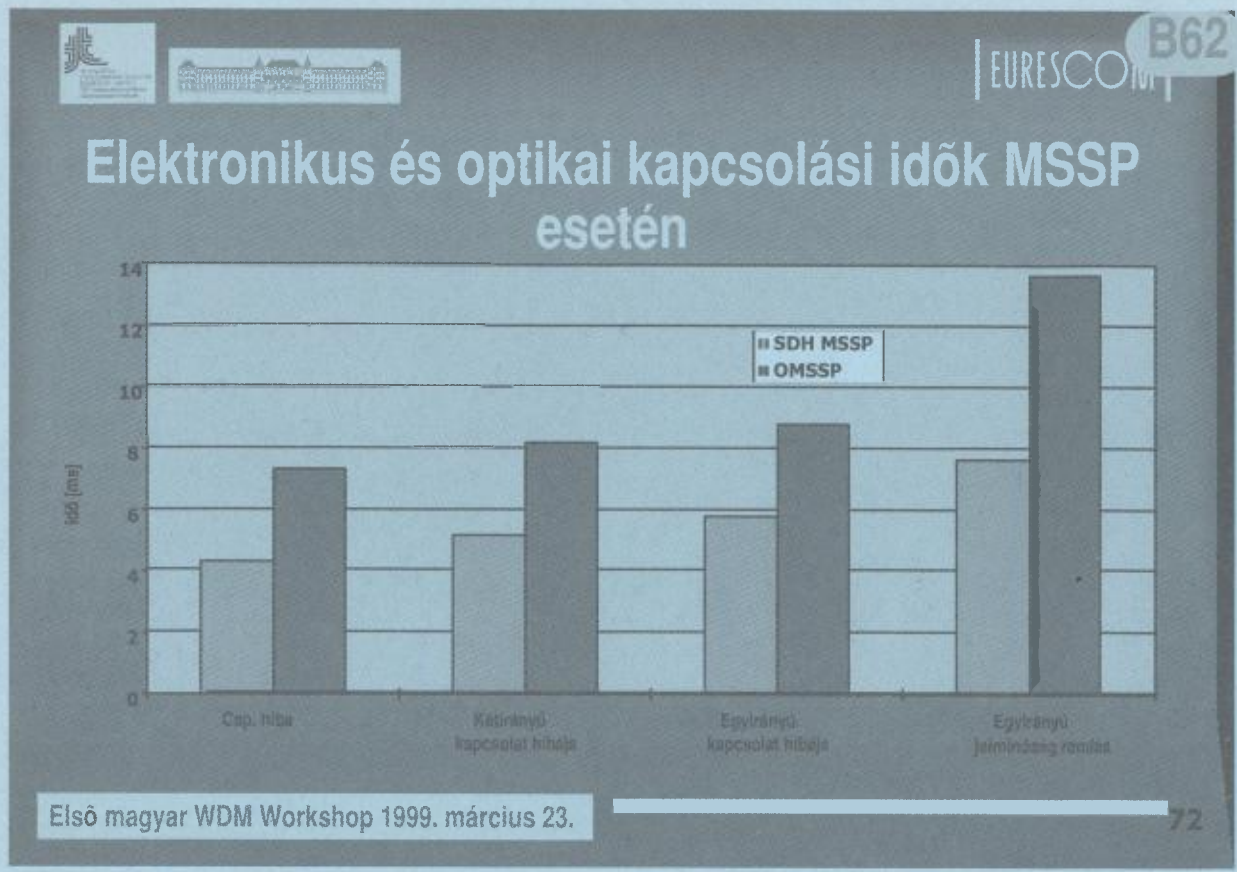
EURESCOM

Elemzési szempontok szerinti következtetések (4/3)

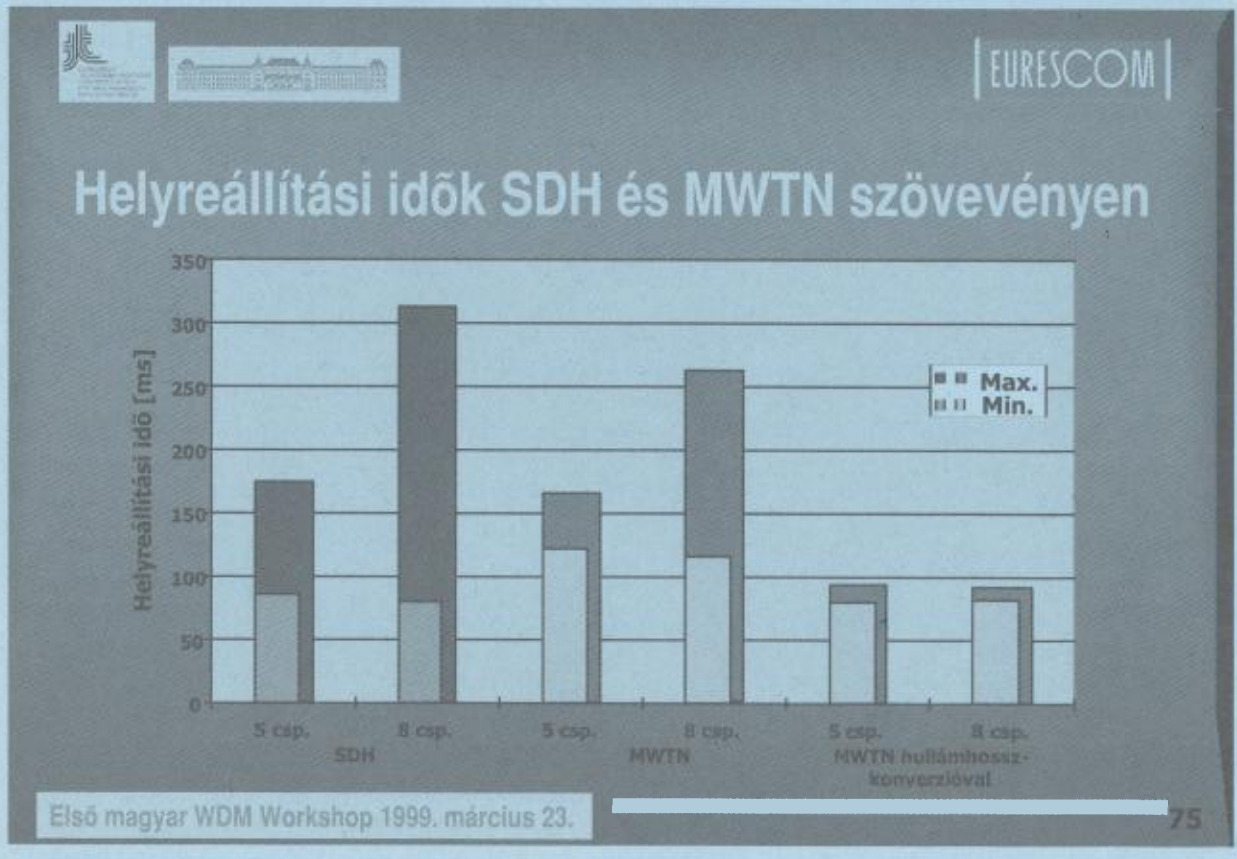
Rendelkezésre állás

- az optikai és SDH architektúrák rendelkezésre állási jellemzõi (átviteli utak vizsgálata alapján) hasonlóak
- az optikai gyűrűk kicsit jobb, az optikai szövevény kicsit rosszabb jellemzõket mutat, mint a megfelelõ SDH architektúra
- a különbség egy-egy STM-1 kapacitású átviteli útra nézve néhány tizedmásodperces eltérést jelent a rendelkezésre állásban éves szinten

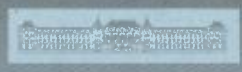
35. Rendelkezésre állás B61



36. Elektronikus és optikai kapcsolási idõk MSSP esetén B62



37. Helyreállítási idõk SDH és MWTN szövevényen B62



EURESCOM

Elemzési szempontok szerinti következtetések (4/3)
Üzemeltetés: reagálási idõk

- az optikai védelmi átkapcsolás lassabb, mint az elektronikus, de a 15 ms-os tartományon belül marad a vizsgált hétcsomó-pontos gyűrű esetén
- az optikai alapú helyreállítás 5-10%-kal lassabb, mint az elektronikus (min. értékek, elosztott algoritmus esetén)
- a hullámhossz-konverzió alkalmazása felgyorsítja az optikai alapú helyreállítást, és növeli a tartalékfelhasználás hatékonyságát

38. Üzemeltetés: reagálási idõk B63

EURESCOM

Architektúrák szerinti következtetések (3/1)
Színezett szakaszokból álló gyűrű

- a beruházási költség jelentõsen kisebb, mint SDH gyűrű esetén (30-70%), és kisebb, mint OMSSP gyűrű esetén
- az SDH gyűrűhöz képest elérhetõ költségmegtakarítás növekvõ átviteli igényekkel növekszik
- több optikai csatornát igényel, mint az OMSSP gyűrű
- a SDH kliensrétegben implementált védelem (lineáris MSP) véd mind a kliens-, mind a szerverrétegbeli hibákkal szemben, és hatékonyan javítható az optikai réteg többletrugalmasságának köszönhetõen
- az átviteli utak rendelkezésre állása kicsit jobb, mint MSSP gyűrűben

39. Színezett szakaszokból álló gyűrű B63

EURESCOM B64

Architektúrák szerinti következtetések (3/2)
Osztott optikai multiplex szakaszvédett gyűrű

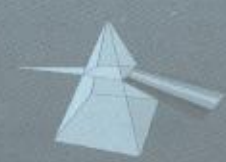
- hatékony költségfelhasználás nagy átviteli igények esetén érhető el
- bár az útképzés és a védelem optikai, a költségek meghatározó hányada az SDH berendezésekből származik (SDH kliens)
- védelmet csak az optikai (szerver)rétegben biztosít, a kliens-rétegbeli funkciók védelméről külön kell gondoskodni

40. Osztott optikai multiplex szakaszok védett gyűrűje B64

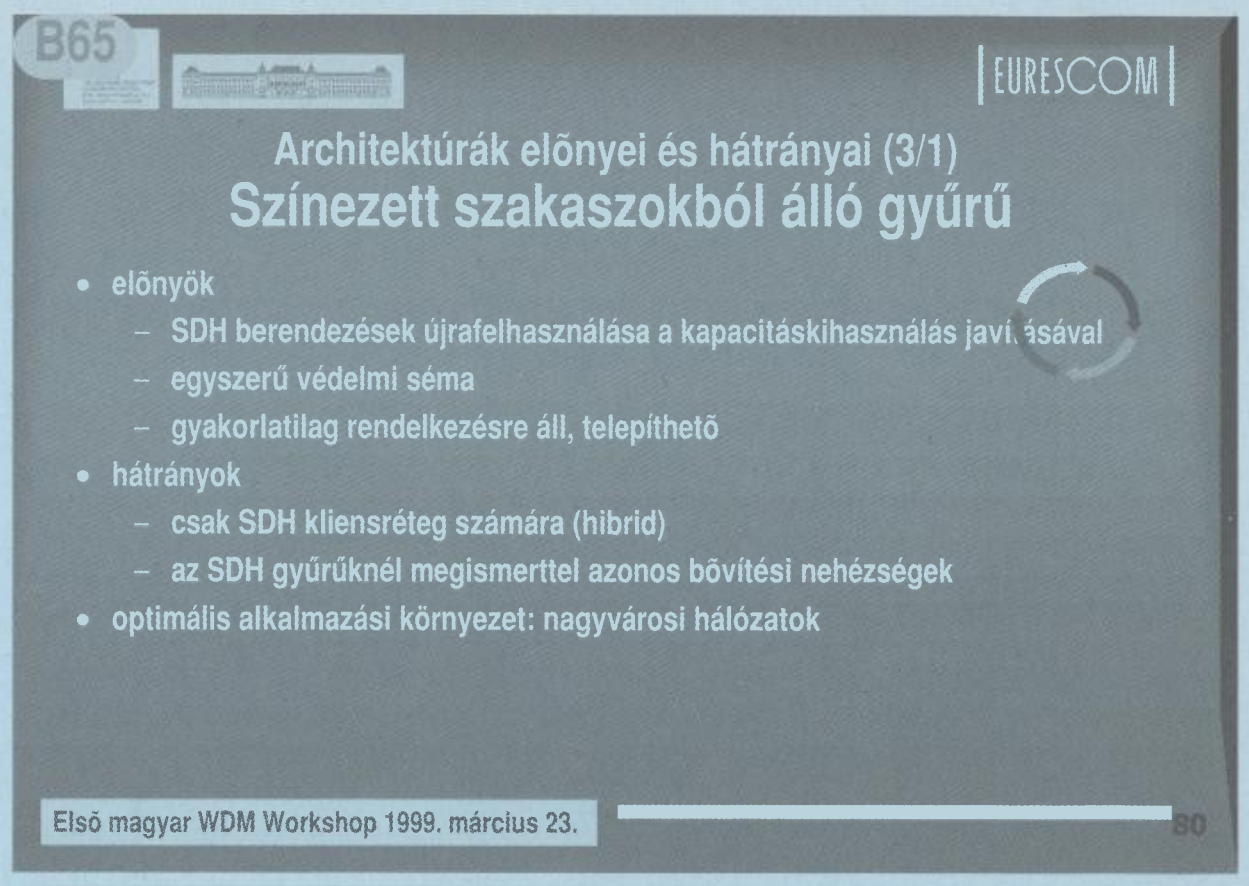
EURESCOM

Architektúrák szerinti következtetések (3/3)
Többhullámhosszú szövevény

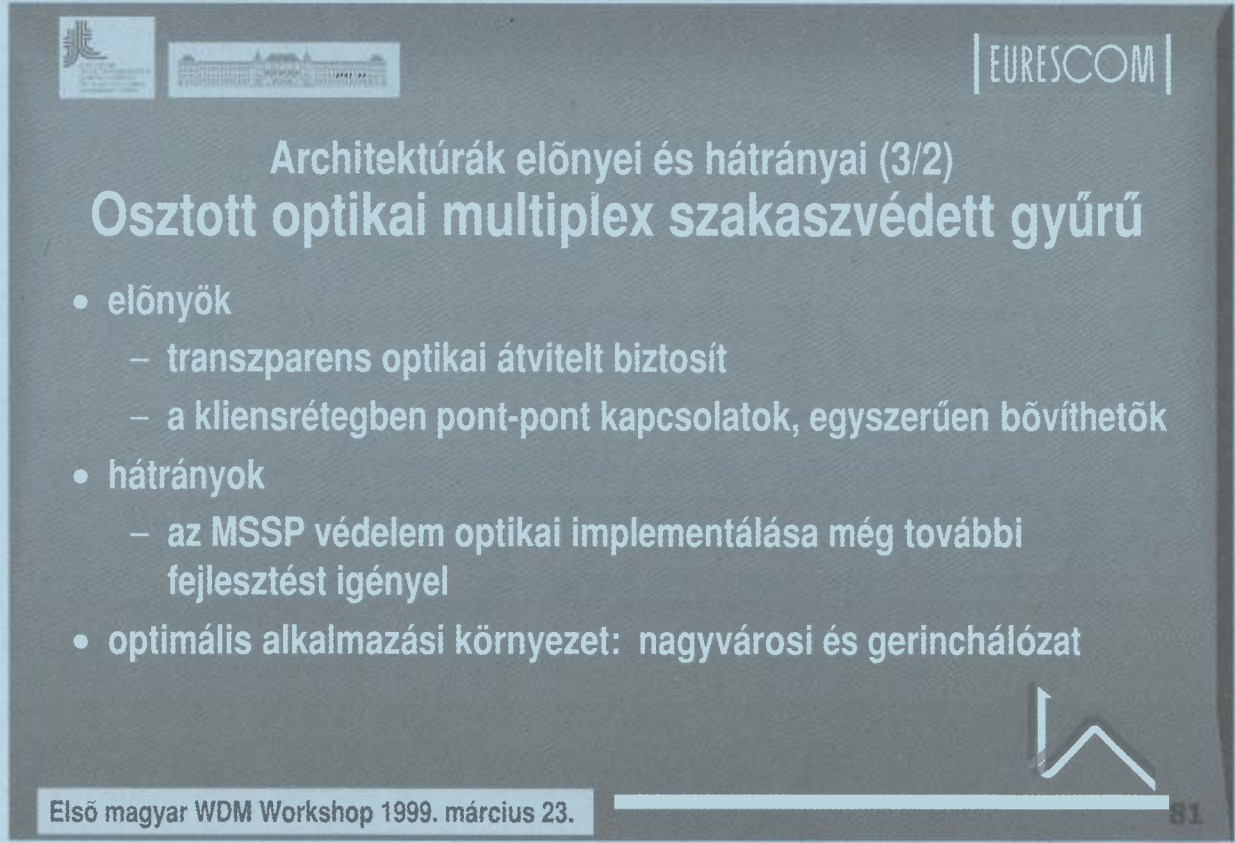
- hatékony költségfelhasználás nagy átviteli igények esetén érhető el
- az SDH szövevényhez képest elérhető költségmegtakarítás növekvő átviteli igényekkel növekszik



41. Többhullámhosszú szövevény B64



42. Színezett szakaszokból álló gyűrű B65



43. Osztott optikai multiplex szakaszok védett gyűrűje B65

EURESCOM B66

Architektúrák elõnyei és hátrányai (3/3)
Többhullámhosszú szövevény

- elõnyök
  - transzparens optikai átvitelt biztosít
- hátrányok
  - az optikai alapú helyreállítás további fejlesztéseket igényel az optikai hálózatmenedzselés terén
  - bevezethetõsége, alkalmazhatósága alapvetõen az optikai rendezõ (OXC) érettségétõl függ
- optimális alkalmazási környezet: gerinchálózat

44. Többhullámhosszú szövevény B66

EURESCOM

Optikai hálózatok tervezési kérdései

- az SDH hálózatok tervezése, méretezése során kidolgozott módszerekre és eljárásokra alapozható
- az SDH hálózatokra kidolgozott módszerek és eljárások jelentõs része adaptálható
- új tervezési részproblémák jelennek meg, új módszerek is szükségesek (néhány példa)
  - hullámhossz-útképzés - színezési probléma
  - CS gyűrű - csomópontsorrendezés
  - többrétegű hálózatok - hálózati funkciók optimális megvalósítása (védelem, helyreállítás)
- technológiafüggetlen tervezõeszközök szükségesek
- stratégiai tervek szükségesek (bevezetés, kialakítás)

45. Optikai hálózatok tervezési kérdései B66

Összefoglalás, végkövetkeztetések

- a hullámhossz-multiplexálás alapú optikai hálózatok jelentõs elõnyöket kínálnak az átviteli hálózatok fejlesztésében:
  - meglévõ optikai szálak kapacitásának kihasználása
  - nagyobb kapacitású átviteli rendszerek relatíve kis többletbonyolultság és többletköltség árán
  - új szolgáltatások, jobb szolgáltatásminõség, hatékonyabb költségfelhasználás
  - jelentõs megtakarítások az SDH architektúrákkal összehasonlítva (szál: >50% , költség: 20-50%)
- az optikai hálózatok tervezése a meglévõ tervezési módszerekre ráépíthetõ, új tervezési problémák is felmerülnek, a technológiafüggetlen tervezési megközelítésé a jövõ (tecnológiák - alkalmazások)

46. Összefoglalás, végkövetkeztetések B67

Az optikai hálózati technológia térhódításától várható elõnyök

- az optikai szálak sávszélességének többszörös kihasználása: WDM - hullámhossz-multiplexálás
- hálózati szinten többlet átviteli kapacitás
  - viszonylag kis komplexitásnövekedés mellett
  - kis megbízhatósági többletkockázat mellett - a döntõen passzív optikai elemek nagy megbízhatóságúak
  - viszonylag kis többletköltség mellett - a döntõen passzív optikai elemek viszonylag olcsóak
- az optikai hálózati réteg kínálta többletrugalmasság szolgál-tatásminõségi és kapacitáskihasználtsági nyereséget eredmé-nyezhet

47. Optikai térhódítás elõnyei B67

T-N

Tisztelt Partnerek!

A TKI-Network Kft a 2000. évben kibővült szolgáltatásokkal, új névvel és logóval jelentkezik és áll rendelkezésre minden kedves megrendelőjének.

A társaság új neve: T-Network Távközlési Hálózatépítő Kft.

A társaság rövidített elnevezése: T-Network Kft.

A társaság új logója:

T-N

A társaság telephelye:	**1142 Budapest, Ungvár u. 64-66.**
Telefon:	**(+361) 460 9000**
Fax:	**(+361) 460 9001**
Email:	**tnetwork@tnetwork.hu**

A társaság irányítását Molnár Ferenc ügyvezető igazgató és szakmai vezetői – akik egyben résztulajdonosai is a társaságnak –, Meng József műszaki igazgató, Bartha Ferenc kereskedelmi és marketing igazgató végzik.

A társaság, tevékenységi körét tekintve folytatja a mintegy 15 éves múlttal rendelkező Professzionális Vezeték nélküli Távközlési Hálózatok tervező és kivitelező munkáit, amelyet elődvállalatainál, a Távközlési Kutató Intézetnél, a Távközlési Innovációs Rt-nél és a TKI-Network Kft-nél kezdett meg.

Az újonnan felvett tevékenységek közül a társaság szeretné felhívni a figyelmet a mikrohullámú passzív elemek, abszorberek, a távközlési hálózatok egyedi igényeit kielégítő eszközök fejlesztésére és gyártására, valamint a speciális professzionális berendezések gyártására és az optikai hálózatokkal kapcsolatos hálózatépítői tevékenységekre.

A szakmai munkát a társaság a mintegy 30 fős, magasan kvalifikált, állandó foglalkoztatású munkatársa mellett a hosszú évek pozitív tapasztalatai által kiválasztott társ- és alvállalkozókkal együtt végzi – mindig a megrendelők teljes megelégedésére. A társaság ISO 9000... minőségbiztosítási rendszere az új szabványoknak megfelelően kidolgozás alatt áll és tesztelése folyik.

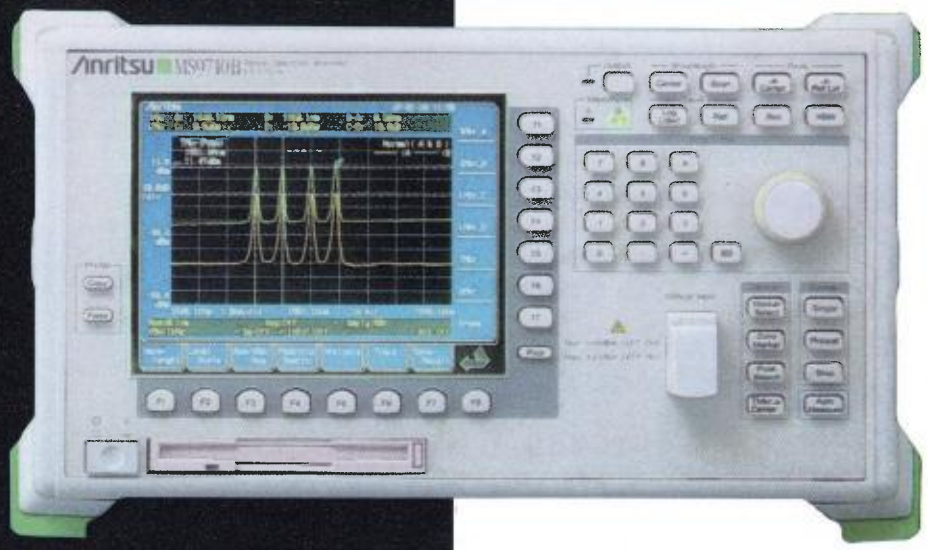
T-Network Kft.
1142 Budapest, Ungvár utca 64-66.
Tel: (+361) 460 9000 Fax: (+361) 460 9000
Email: tnetwork@tnetwork.hu

LECTURE#L5.: I. FRIGYES, I. HABERMAJER: POLYMER FIBRES IN DISTRIBUTION NETWORK†

0. Tartalom B68
1. Címoldal, Budapesti Mûszaki Egyetem B69
2. Szélessávú szétosztó hálózatok B69
3. Sebességek és lehetõségek B70
4. All Optical példa B70
5. Mûanyag optikai szálak B71
6. A szálak szerkezete B71
7. A szálak csillapítás spektruma és néhány jellemzõje B72
8. Új mûanyag szálak B72
9. Adó-vevõ modulok B73
10. Optikai konverziós lehetõségek B73

ELSINCO
Electronic Measurement Technology

Anritsu



„Hordozható optikai spektrumanalizátor/WDM-teszter/PMD-analizátor”

Anritsu MS9710C

Komplex

Az új optikai spektrumanalizátor teljes mértékben teljesíti az olyan nagy kapacitású információátviteli technológiák elvárásait is, mint amilyen például a hullámhossz-multiplex eljárás (WDM). Az ilyen méréseknél szükséges 70 dB dinamikatartományt, a –90 dBm garantált érzékenységet és a ±20 ppm-es hullámhossz pontosságot egyetlen, jól használható egységben ötvözi.

Hordozható

Az elsődlegesen helyszíni alkalmazásokat – beleértve az üzembe helyezést és karbantartást – megcélzó műszer hordozható kialakítású. Opcionálisan tartalmazhatja a kalibrációs és szélessávú jelforrásokat is, így azokat nem kell külön cipelni.

Sokrétű

A fényt kibocsátó eszközök alapvető spektrumvizsgálatán túl az MS9710C képes meghatározni passzív fényvezető eszközök veszteségi karakterisztikáját és WDM-rendszerek jellemzőit a hullámhossz függvényében csakúgy, mint optikai erősítők zajtényezőjét és erősítését, illetve a polarizációs módusdiszperziót.

Optimális

A nagy dinamikatartomány és érzékenység, valamint a rendkívüli pontosság kombinációja teszi az ANRITSU MS9710C műszert a lehető legjobb teljesítményű optikai spektrumanalizátorrá a piacon.

További információért hívjon telefonon!

ELSINCO Budapest Kft., 1136 Budapest, Pannónia u. 8. IV/1.
Telefon: (36-1) 339-0000 Fax: 339-4444
E-mail: elsinco@matavnet.hu Internet: http://www.elsinco.com

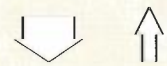
B69

MŰANYAG OPTIKAI SZÁL ALKALMAZÁSA A SZÉTOSZTÓ HÁLÓZATBAN

Frigyes István, Habermajer István
Budapesti műszaki Egyetem, MHT, EET

Szélessávú szétosztó hálózatok

- Bevezetésük: bizonyára a közeli jövõben
- Alkalmazás: Jelentõs mértékben *lakóssági* pl.:
  - » Banki-kereskedelmi szolg.
  - » Hatósági-közigazgatási
  - » Oktatás (Könyvtár, távoktatás, stb.)
  - » Interaktív multimédia (VoD)
  - » Otthoni munka stb.
- Fõ jellegzetességei:



  - » Asszimetrikus sebességigény
  - » Elõfizetõként lényegesen eltérõ forgalom
  - » Mobilitásigény

Sebességek és lehetõségek

2 Mbit/s
max 155 Mbit/s/
felhasználó.
Teljes (pl. épület):
2.5 Gbit/s

160 kbit/s
max 2 Mbit/s/
felhasználó.
Teljes (pl. épület):
300 Mbit/s

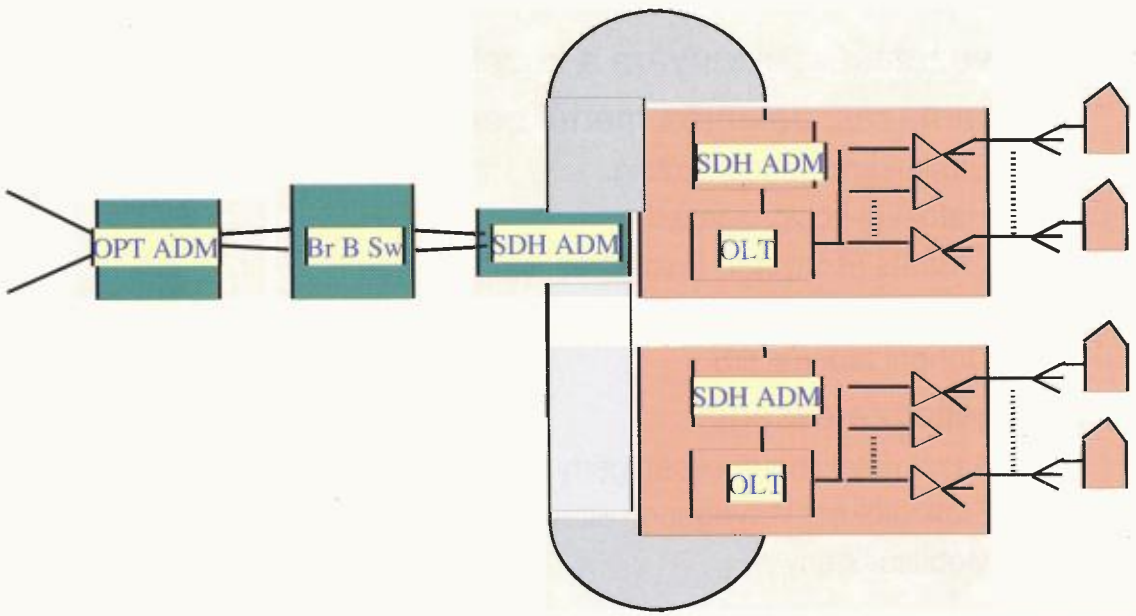
Mobilitásigény

Van
Vezeték nélküli ök.

Nincs

DSL (Szimm.)
Fib+Coax HFC
All Opt.

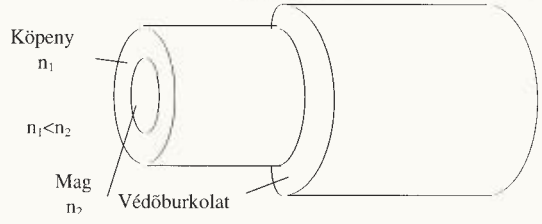
All Optical példa (minden összeköttetés optikai)



Műanyag optikai szálak

- Elõnyök: plaszticitás > nagyobb átmérõ > nagy radiális tűrések > lényegesen olcsóbb szerelés.
- Hátrányok: nagy diszperzió, nagy csillapítás,
  - » ~100 m áthidalható távolság
  - » A csillapításminimum 650 nm-en
  - » 650<->1550 nm hullámhosszkonverzió szükséges az AOFmegoldásokhoz
- Alkalmazás házon belüli hálózatokban

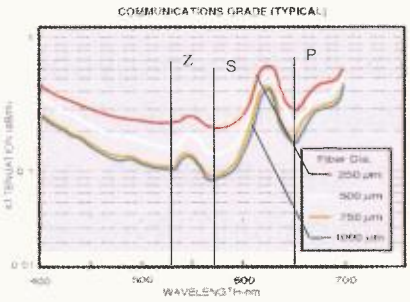
A szálak szerkezete



1.ábra . A szál szerkezete

- A mag profilja SI (legújabban GI).
  - » Anyaga PMMA (Plexi)
  - » Tipikus átmérõ 1mm
- A köpeny anyaga polyfluorin (Teflon), vastagsága a magátmérõ 1o%-a
- A védõburkolat fekete polietilén

A szálak csillapításspektruma és néhány jellemzõje



1. táblázat

	ESKA Premier	ESKA Mega
A mag törésmutatója (n1):	1.492	1.492
A köpeny törésmutatója (n2):	1.417	1.462
Numerikus Apertúra $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$:	0.47±0.03	0.3±0.02
Sugárzási kúpszög $(2 \cdot \sin^{-1}(N.A.))$ [°]	56	35
Csillapítás (dB/km, @ 650nm)	140	140
Átviteli sebesség (I.C) [km Mbps]	5	20
Működési hõmérséklet [C°]	-55... +85	-40...+85
Legkisebb hajlítási sugár [mm] (Ø 1mm szál esetén)	20	25

Új műanyag szálak

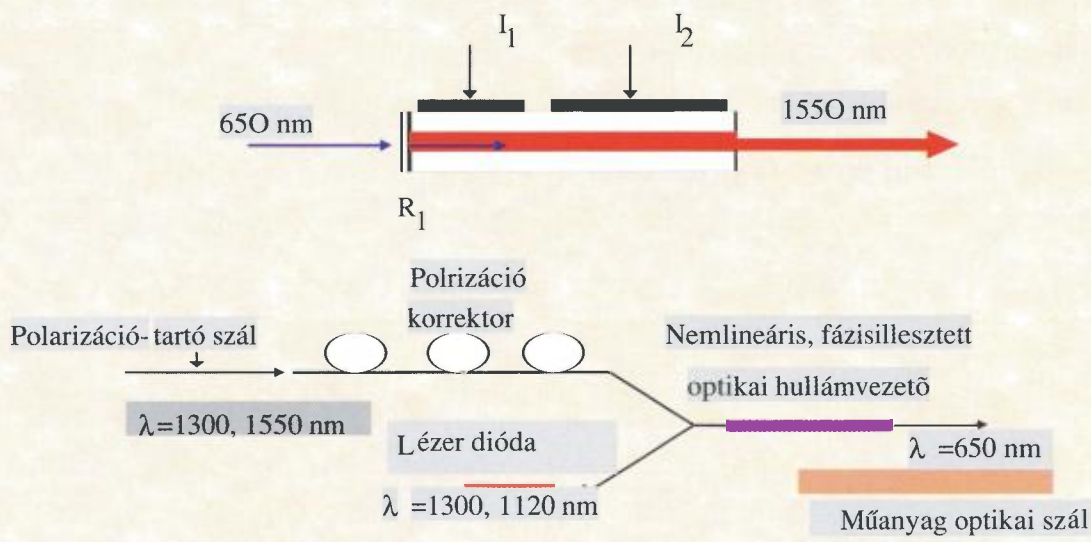
- Új technológiák: Deuterizálás, fluor diffúzió
- ESKA GIGA
  - » Profil GI
  - » Átmérõ 0.75mm
  - » Csillapítás (650 nm-en) 160-200 dB/km
  - » IxC=40-100 kmMbs
  - » C= 0.4-1 Gbps (100 m-en)

B73

Adó-vevõ modulok

- 5O Mbps-ig TTL +LED
- 15O Mbps-ig ECL+LED ⇢ **LD**

Optikai konverziós lehetõségek



híradástechnika

March, 2000/3

1946-2000

VOLUME LV.

PROCEEDINGS of the

1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

Budapest, 23 March, 1999

PART C

Lecture # L6-L10

L6.	M. Schiess: WDM optical network architectures*	C1
L7.	D. Lecrosnier: WDM technologies opportunities*	C15
L8.	M. Ravera: Protection across network layers*	C25
L9.	T. Cinkler: Wavelength-Routing WDM**	C49
L10.	Gardner, Török: Tomorrow's optical layer**	C61

*Slides numbered L-Lecture **Slides w/o numbering

LECTURE#L6.: M. SCHIESS: WDM BASED OPTICAL NETWORK ARCHITECTURES*

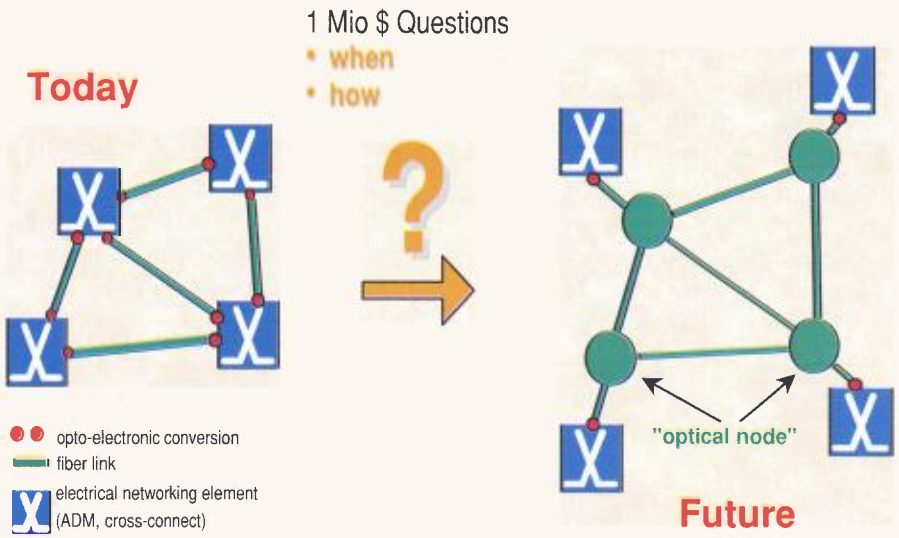
0. Contents	C1
1. Results from EURESCOM Projects, Swisscom AG	C2
2. From Today's Networks to Optical Networks	C2
3. Outline	C3
4. Optical Networking in EURESCOM	C3
5. Overview P615 „Evolution Towards an Optical Network Layer"	C4
6. Characterisation of Architectures	C4
7. Studied Architectures	C5
8. SDH Ring Network (Reference)	C5
9. SDH Ring over WDM: Coloured Section Ring	C6
10. Coloured Section Ring	C6
11. Optical Channel – Dedicated Protection Ring	C7
12. Optical Multiplex Section – Shared Protection Ring	C7
13. Meshed Network According to MWTN	C8
14. Evaluation and Comparison of Architectures (1)	C8
15. Evaluation and Comparison of Architectures (2)	C9
16. Evaluation and Comparison of Architectures (3)	C9
17. Guidelines for the Introduction of Optical Networking Functions	C10
18. Comparison of Single and Two Stages Installations	C10
19. Optical Network Evolution (1)	C11
20. Project P709 „Planning of Full Optical Networks"	C11
21. Example: Wavelength Allocation	C12
22. Parameter Values for OCH, OMS and OTS Layers	C12
23. Project P918 „Integration of IP over Optical Networks"	C13
24. Traffic Layering Today	C13
25. Traffic Layering Tomorrow	C14
26. Conclusions	C14

WDM Based Optical Network Architectures

Results from EURESCOM Projects

Marcel Schiess
Swisscom AG
Corporate Technology
CH - 3050 Bern / Switzerland

From Today's Networks to Optical Networks

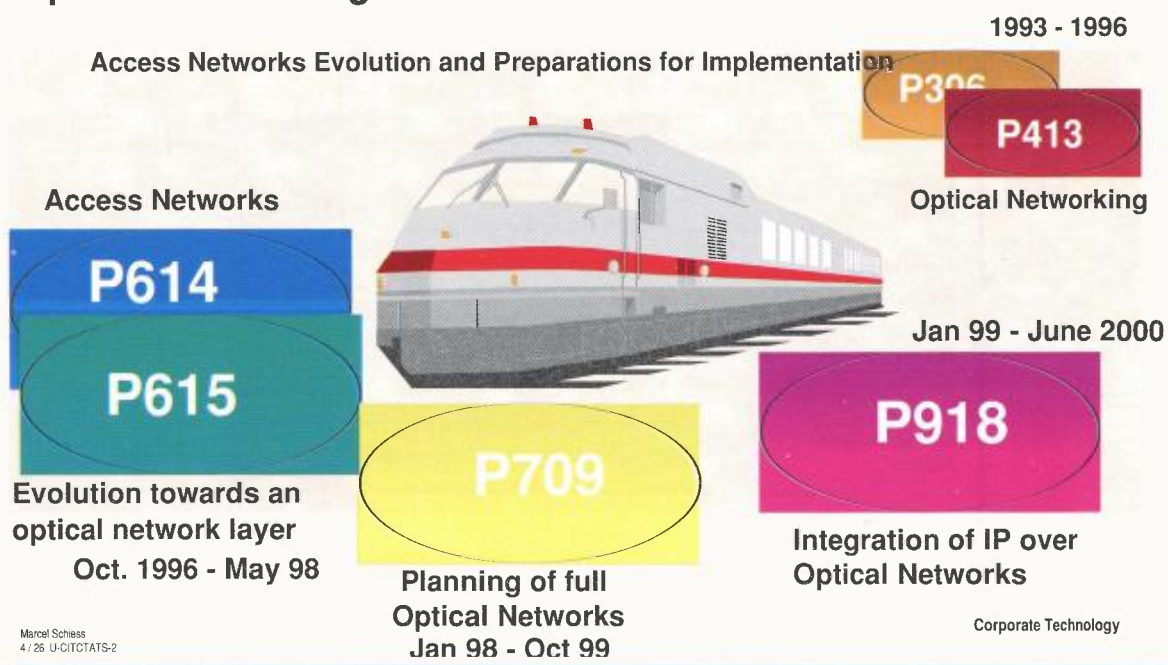


Outline

- Optical Networking in EURESCOM
- EURESCOM P615 "Evolution Towards an Optical Network Layer"
- EURESCOM P709 "Planning of Full Optical Networks"
- EURESCOM P918 "Integration of IP over Optical Networks"
- Conclusions

- Acknowledgement
  - EURESCOM P615, P709 project members

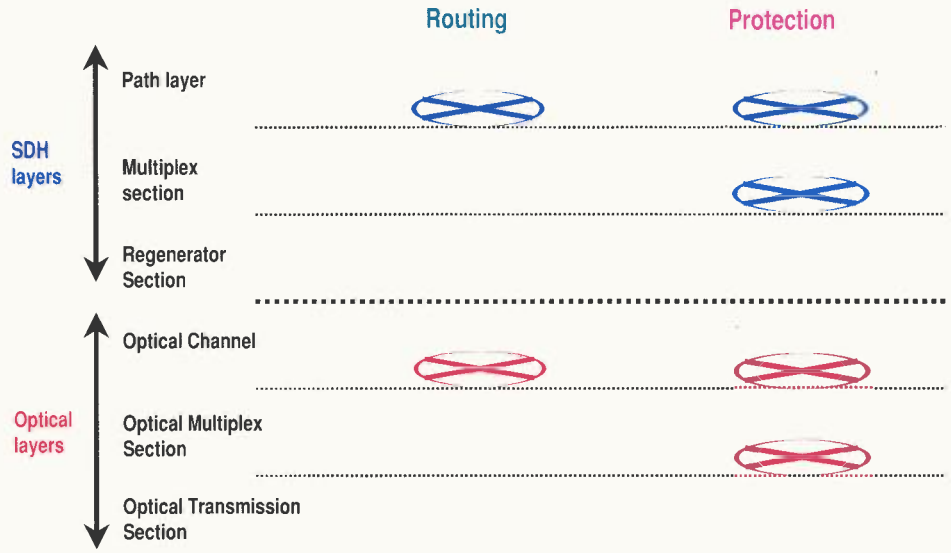
Optical Networking in EURESCOM



Overview P615 "Evolution Towards an Optical Network Layer"

- P615 is divided in 3 parts:
  - Task 1 identifies **basic network architectures** and refines the **OAM requirements**
  - Task 2 describes network scenarios with the aim of **comparing** different basic optical network architectures
  - Task 3 will provide **guidelines** for the **introduction** of the optical network layer
- Limitation to core network, metropolitan network

Characterisation of Architectures



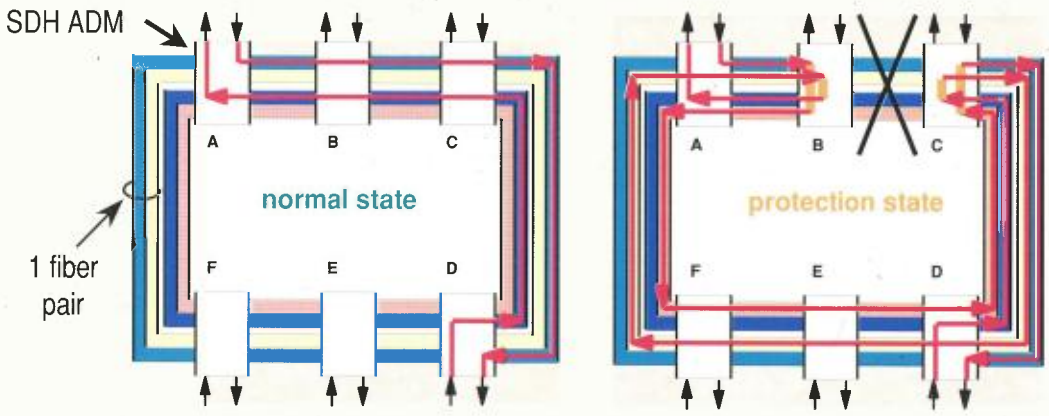
Studied Architectures

- SDH - MS protection ring (reference)
- Coloured Section Ring
- Optical Channel - Dedicated Protection Ring
- Optical Channel - Shared Protection Ring
- Optical Multiplex Section - Dedicated Protection Ring
- Optical Multiplex Section - Shared Protection Ring
- MWTN Mesh

Assessment in terms of
- Architecture
- Functional model
- Implementation
- Design rules

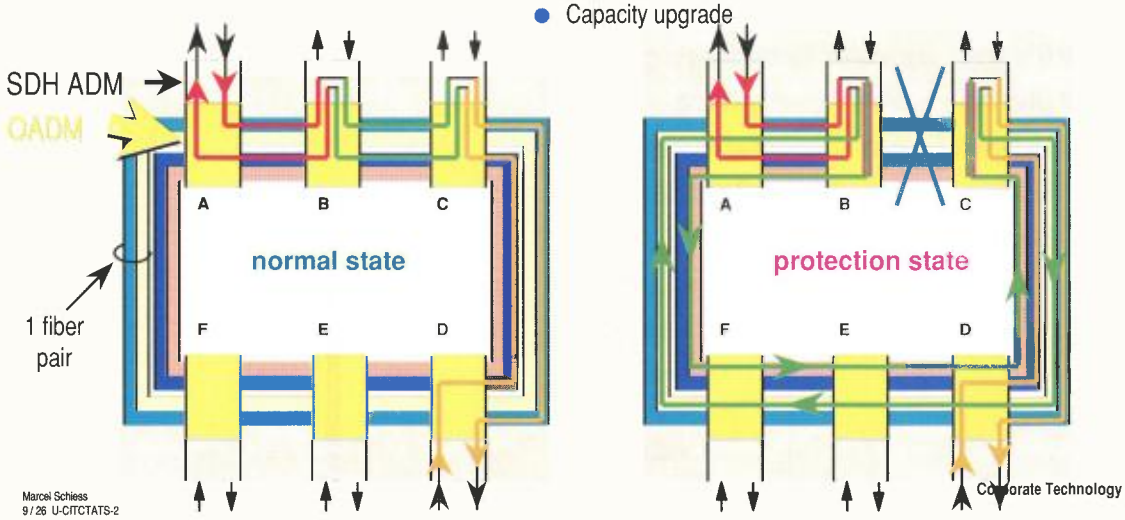
SDH Ring Network (Reference)

- Typically implemented in rings
- Routing: electrical
- Protection: electrical (multiplex section prot.)
- Bit rate: 2.48 Gb/s



SDH Ring over WDM: Colored Section Ring

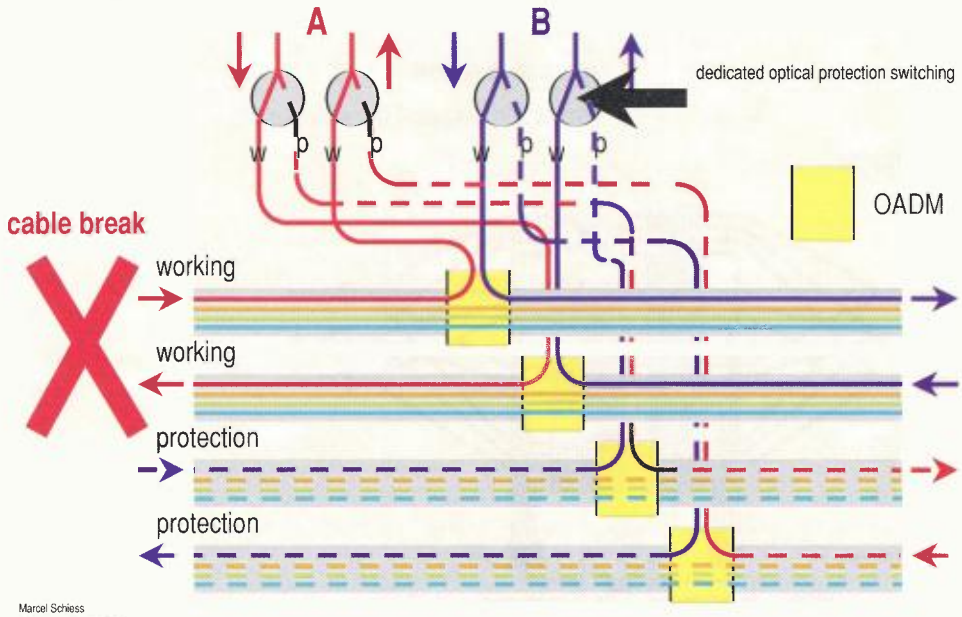
- Re-use of SDH equipment
- Routing: optical with OADMs
- Protection: electrical (SDH prot. switching)
- Bit rate: n x 2.48 Gb/s
- Capacity upgrade



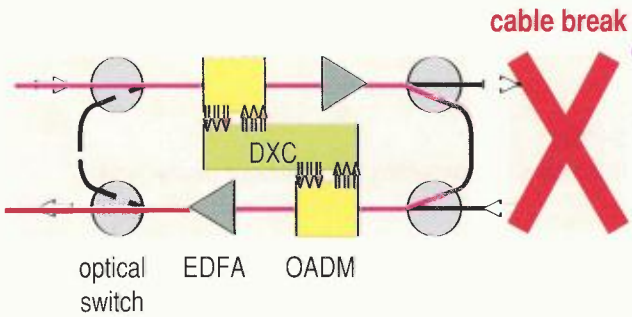
Coloured Section Ring

- **Multi hop**
  - The interworking between layers is rather complex
  - The routing and capacity upgradeability are complex.
  - The protection switching is simple
  - Protection is integrated in the overall network management
- **Single hop**
  - The interworking between layers is simple
  - The routing is simple
  - The protection switching is simple
  - Protection is integrated in the overall network management

Optical Channel - Dedicated Protection Ring



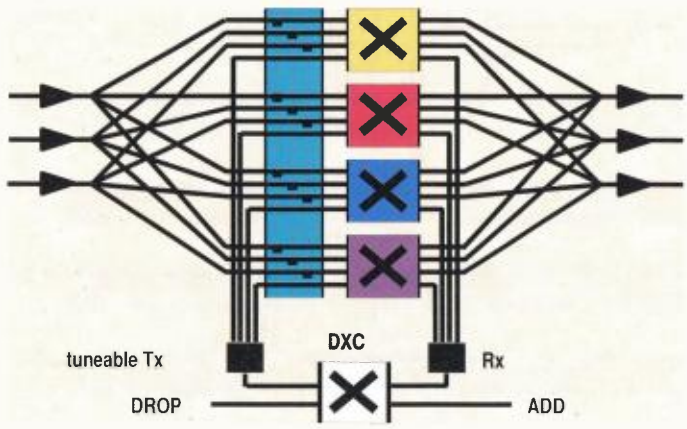
Optical Multiplex Section - Shared Protection Ring



- OMS protection allows simultaneous protection of all wavelengths
- Only half of the fiber capacity is used to transport working traffic, the other half being reserved for protection

Meshed Network According to MWTN

- Uses Optical Cross Connects
- (OXC)
- Wavelength routing possible
- Routing is optical
- Protection is optical per wavelength

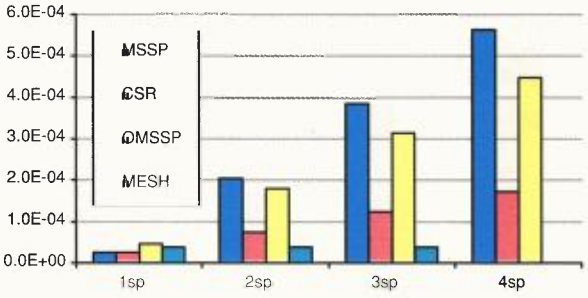


Evaluation and Comparison of Architectures (1)

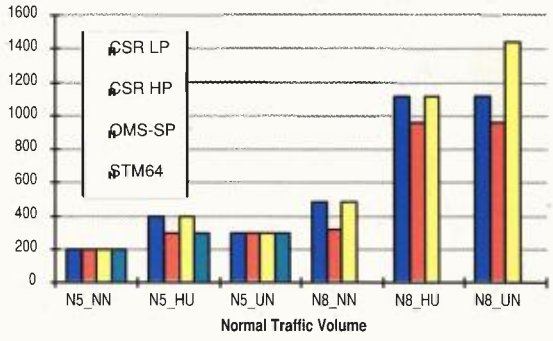
- Evaluate architectures in details
  - Economics
  - OAM aspects
    - Interworking capabilities and manageability
    - Complexity of OAM functions (e.g. fault localisation, protection and restoration mechanisms)
  - Technical aspects
    - Basic physical characteristics (e.g. typical transport capacity, switching granularity in the nodes)
    - Network development oriented characteristics (scalability, flexibility, upgradeability)
    - Service provisioning oriented parameters (reliability, availability)
- Compare architectures

Evaluation and Comparison of Architectures (2)

Down time ratio of single STM-1 demand routes in a 8 node network

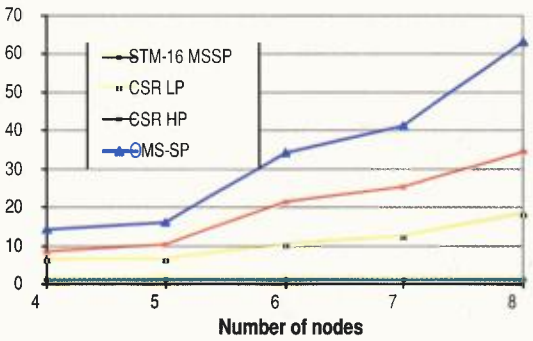


Fibre Length Savings

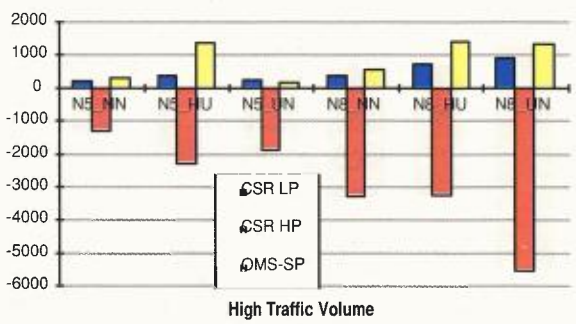


Evaluation and Comparison of Architectures (3)

Number of wavelengths



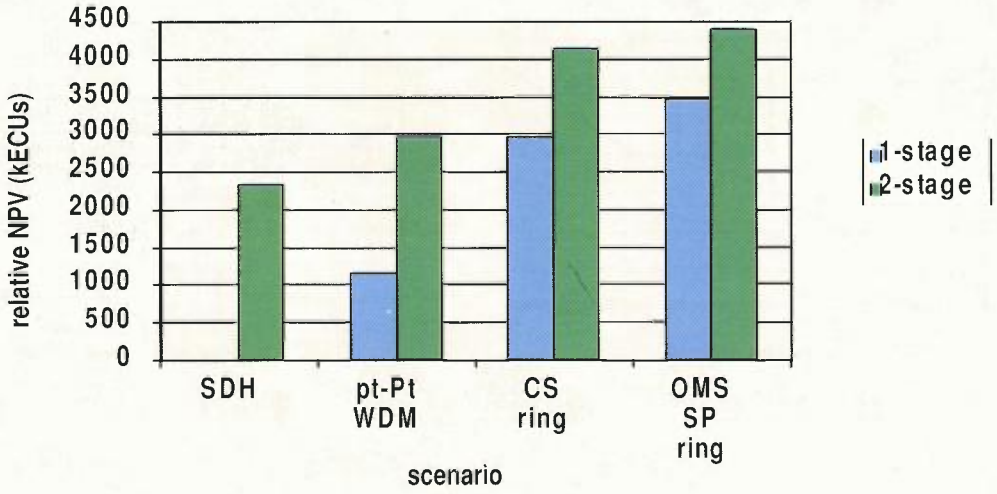
Equipment Cost Savings (KEuro)



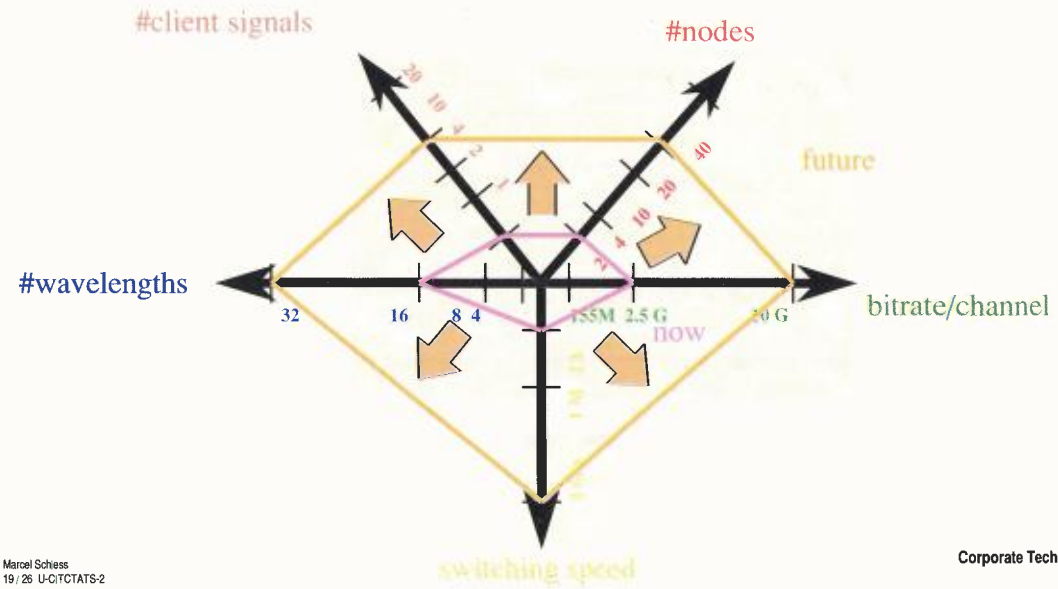
Guidelines for the Introduction of Optical Networking Functions

- Important aspects are
  - **Time frame**
  - **Interworking** between optical network layer and the existing (SDH) networks
  - **Comparison** of different introduction scenarios
  - **Economical** aspects

Comparison of Single Stage and Two Stage Installations: Relative Cost Savings



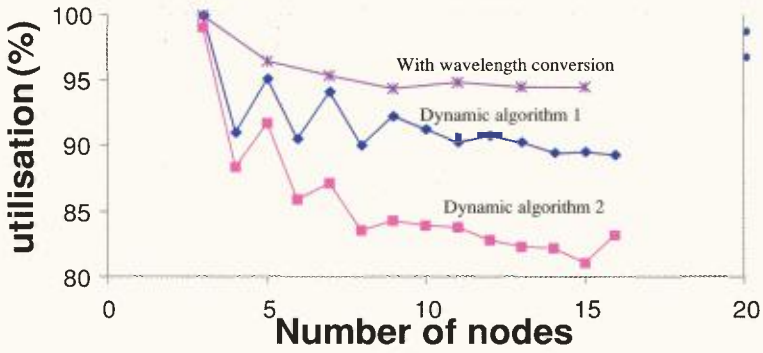
Optical Network Evolution (1)



Project P709 "Planning of Full Optical Networks"

- Background leading to the project
  - OXC, WDM and OADM techniques will permit the realization of a switched optical layer
  - Better exploitation of the fiber systems in a unified, optical network
- Goals of the project
  - Alternative planning strategies of optical transport networks
    - national networks
    - metropolitan networks
    - different types of architectures
  - Protection/restoration mechanisms
  - Methods and algorithms for
    - routing, grooming and dimensioning (e.g. routing over layered network)
    - network structure optimization (e.g. location of functions, number and location of nodes)

Example: Wavelength Allocation



random dynamic traffic
32-wavelength WDM ring

- Dynamic algorithm 1: routes all demands the shortest way around the ring and uses the first available wavelength. If all wavelengths are used, tries routing the long way.
- Dynamic algorithm 2: routes demands along the shortest path on wavelengths already in service. If this is not possible, routes the long way over wavelengths already in service. Failing this, brings a new wavelength into service.

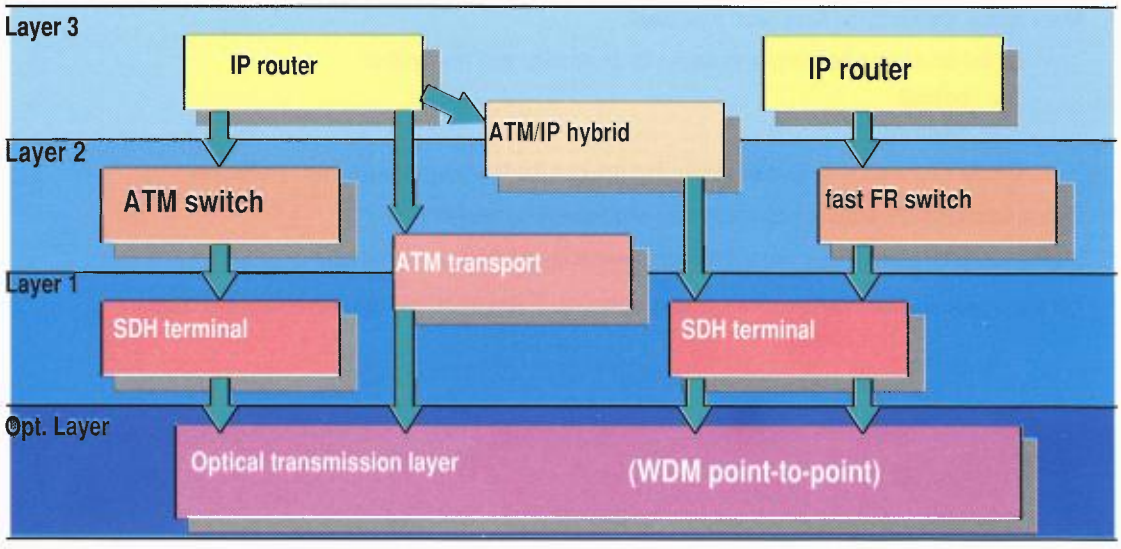
Parameter Values for OCH, OMS and OTS Layers

parameter	*available performance*	*announced performance*	*limits*
Optical channel (OCH) layer characteristics			
transparency			
number of optical nodes in cascade	6-7		
number of wavelength conversions	1-2		5-10
Optical Multiplex Section (OMS) layer			
number of available wavelengths	16-32	80-100	<200
optical cross-connect capacity	-	16x16	128x128
protection methods	?	?	?
supervision channel	?	?	?
Optical Transmission Section (OTS) layer			
power budget (for link between consecutive EDFAs) in EDFA cascade	<30dB	<30dB	<30dB
number of cascaded EDFAs (2.5Gbit/s client)	4-6		Min. 30 at reduced power budget of 20 dB, 300 possible
number of cascaded EDFAs (10Gbit/s client) G.652	4-6		Min. 15 at reduced power budget of 20 dB, 300 possible
dispersion budget (2.5Gbit/s client) no dispersion accommodation (DA)	12000 ps/nm		
dispersion budget (10Gbit/s client)	DA req.	DA req.	DA req.
accumulated noise	?		
cross-talk Inter-band Intra-band	 25 25	 35 30	 50 35

Project P918 "Integration of IP over Optical Networks - Networking and Management"

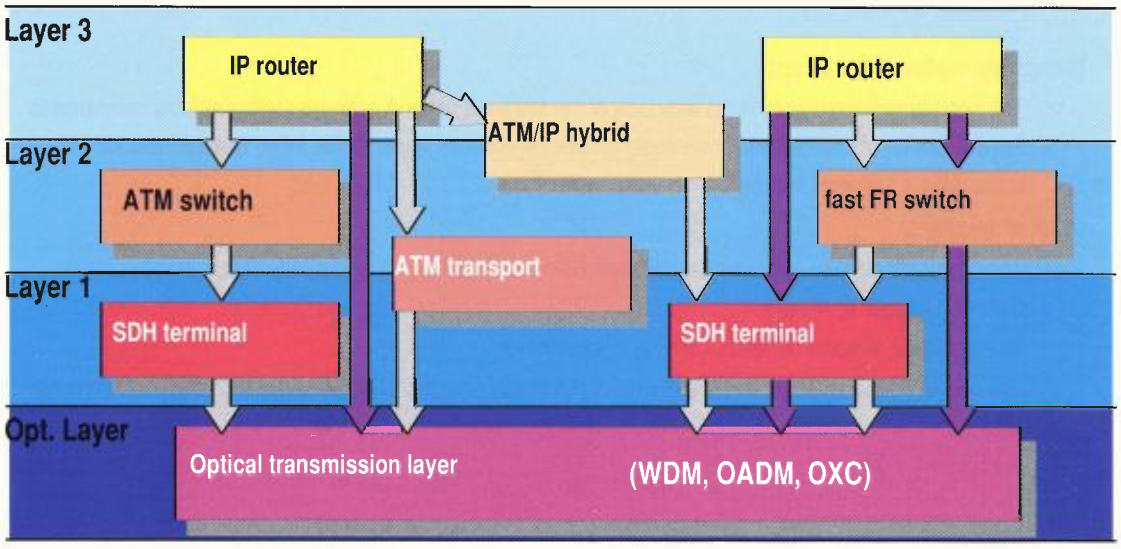
- Background leading to the project
  - The need to make progress in the definition of the transport network scenarios with particular reference to the distribution of the network functionality across the different layers (ATM, PDH, SDH, IP and WDM) composing a transport network.
- Goals of the project
  - To consider alternative approaches of IP over ATM, SDH and WDM, particularly IP backbone networks based on Gigabit IP routers
  - To investigate different protocols carrying IP over WDM
  - To investigate the distribution of the network functionality across the different layers of the transport network

Traffic Layering Today



Traffic Layering

Tomorrow



Conclusions

- Many optical architectures have been assessed:
  - for the time being best implementation for protection and restoration
    - optical
    - electrical
  - OADM improve the system simplicity, but reduces the flexibility in routing and protection
- Optical functionalities add increased capacity and networking flexibility
- Implementing functionalities in more than one network layer increases complexity
- For this an appropriate management system is required. These systems are currently not available.

LECTURE#L7.: D. LECROSNIER: OPPORTUNITIES FOR WDM TECHNOLOGIES IN ACCESS NETWORK*

0.	Contents	C15
1.	An overview from EURESCOM P614, France Telecom (FT)	C16
2.	Outline (FT), Cnet	C16
3.	Access network in EURESCOM	C17
4.	P614 Task 4: FTTx enabling technologies	C17
5.	WDM in access network: introduction	C18
6.	Fibre in access network: FTTx architectures	C18
7.	WDM in access: what are the drivers?	C19
8.	How to implement WDM? (1)	C19
9.	How to implement WDM? (2)	C20
10.	How to implement WDM? (3)	C20
11.	How to implement WDM? (4)	C21
12.	Mirror solution for WDM/PON	C21
13.	Service Separation (1)	C22
14.	Service Separation (2)	C22
15.	Is WDM technology ready for access?	C23
16.	FSAN cost target for PON opto-electronic converter	C23
17.	Conclusions (1)	C24
18.	Conclusions (2)	C24

C16

Opportunities for WDM technologies in access network
An overview from EURESCOM P614

Daniel LECROSNIER
France Telecom - CNET

DT : B. Jacobs
FT : C. Kazmierski, S. Mottet
TI : N. Caponio
OTE: Z. Ioannidis
PT : A. Ferreira, A. Oliveira
Swisscom : C. Zimmer

1. An overview from EURESCOM P614, France Telecom (FT) C16

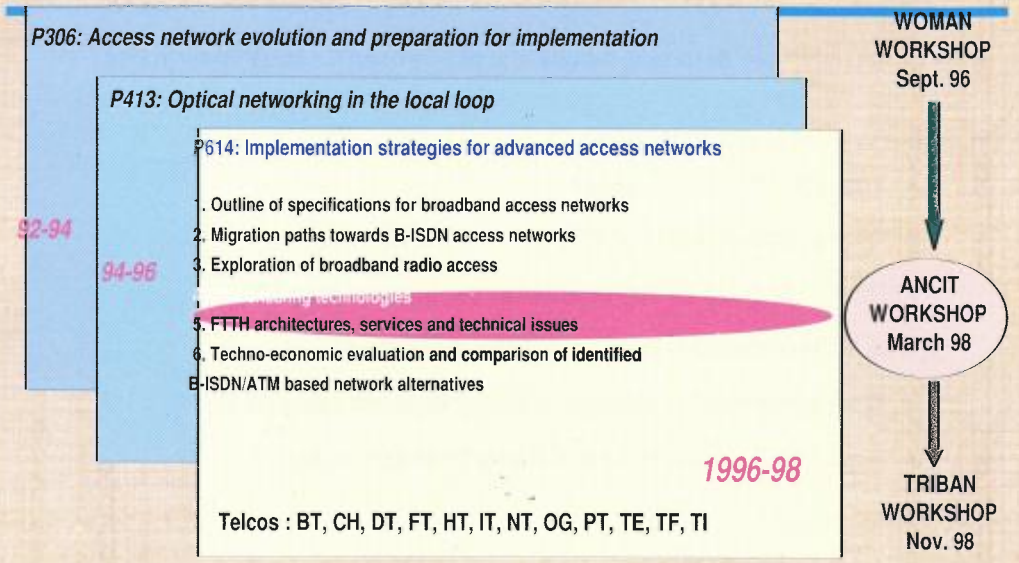
OUTLINE

- EURESCOM project P614
- WDM technologies in access network
  - Introduction
  - FTTx access network architectures
  - Drivers for WDM
  - How to implement WDM
  - Is WDM technology ready for access application
  - Conclusions

2. Outline (FT), Cnet C16

C17

Access network in EURESCOM



3. Access network in EURESCOM C17

P614 Task 4 : FTTx enabling technologies Deliverable contents

D5:
- Optical cabling technologies
- Optoelectronic modules
- Electronic functions
- Alternative fibres for low cost cabling
- Powering
- Civil work
- Installation techniques

D7:
- Point to point links
- Measurements and maintenance of the hardware
- Opportunities for WDM technologies in access
- Power lines communications

http:/www.cselt.it/Cselt/euresc/P614/welcome.html

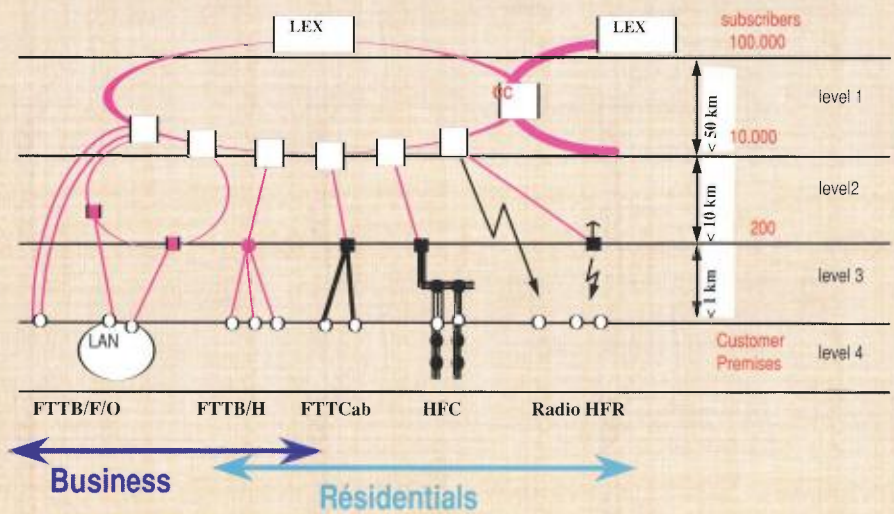
4. P614 Task 4: FTTx enabling technologies C17

WDM in access network : introduction

- WDM technologies are becoming mature and widely used for trunk applications
- In access networks, questions arise:
  - Where WDM could be used?
  - What are the drivers for WDM?
  - How WDM could be implemented in the access network?
  - Is WDM technology ready for access application?
  - What economical advantages could be foreseen using WDM?
  - What could be suggested to Network Operators today?

5. WDM in access network: introduction C18

Fibre in access network : FTTx architectures



6. Fibre in access network: FTTx architectures C18

C19

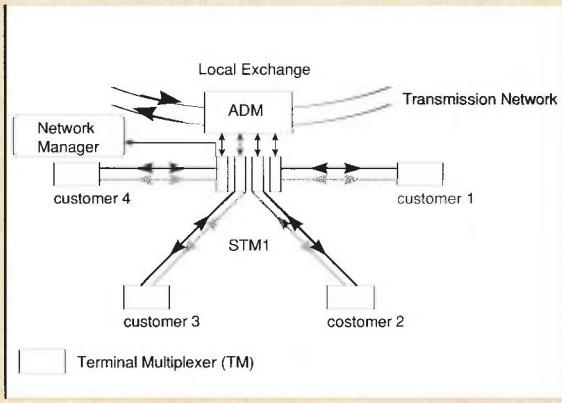
WDM in access : what are the drivers ?

- **Capacity upgrade of existing point-to-point links**
  - required today
- **Business customer needs**
  - expected in short term period
- **Capacity upgrade of ATM PONs**
  - expected in medium/long term period
- **Service separation**
  - expected in medium/long term period

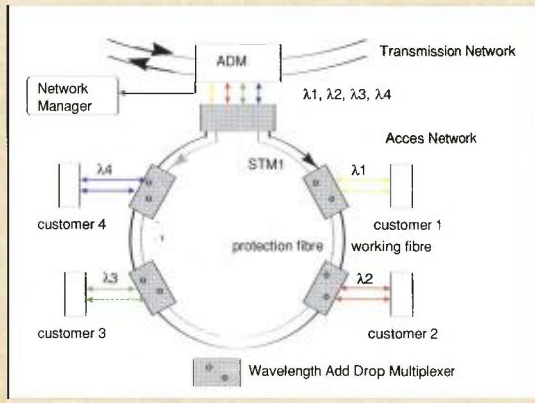
7. WDM in access: what are the drivers? C19

How to implement WDM ? (1)

For business customers



Upgrading today architecture

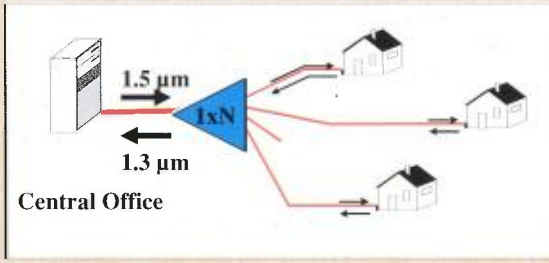


Coloured node ring

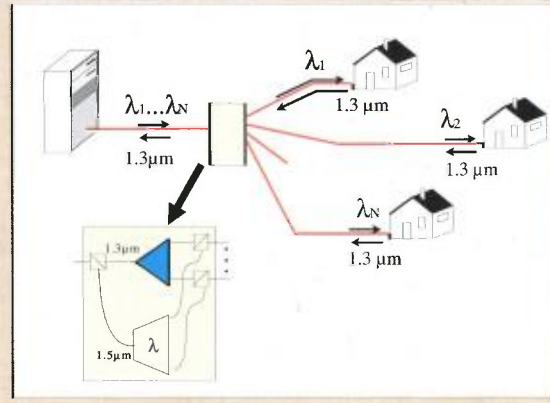
8. How to implement WDM? (1) C19

How to implement WDM ? (2)

Upgrading PON ➡ Increasing downstream bit rate



Today PON use power splitter
Bit rate (FSAN) :
155 Mbit/s symmetric
625 downstream/155 upstream

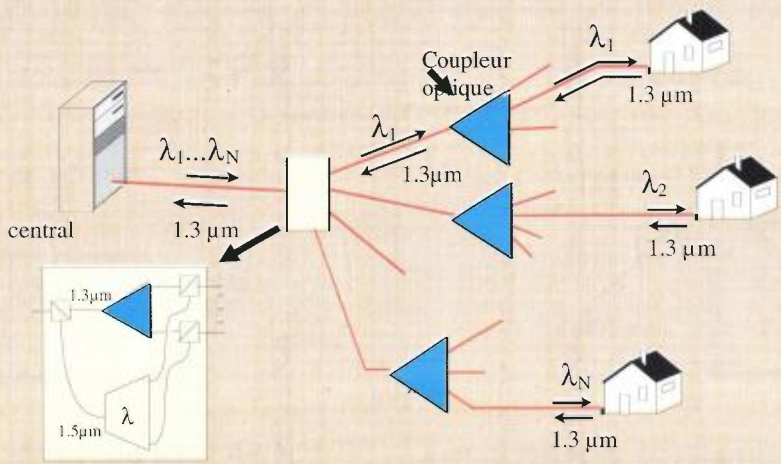


Downstream : WDM in 1.5 µm window
Upstream : 1.3 µm

9. How to implement WDM? (2) C20

How to implement WDM ? (3)

Upgrading PON ➡ Increasing the number of customers

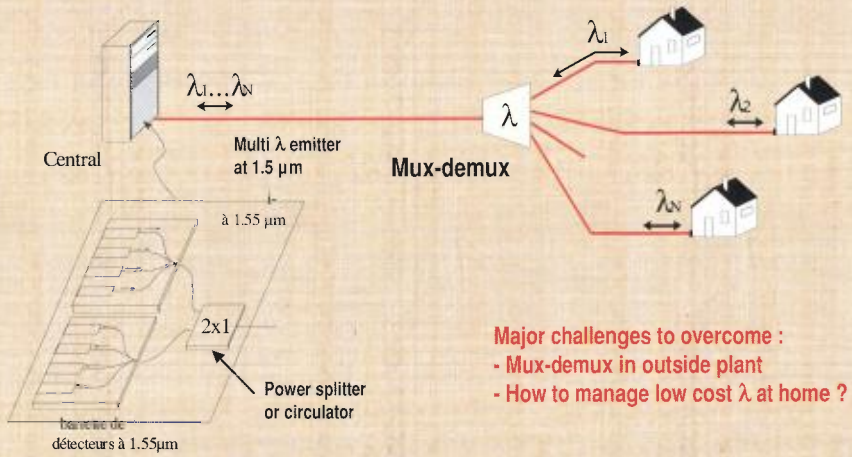


10. How to implement WDM? (3) C20

C21

How to implement WDM ? (4)

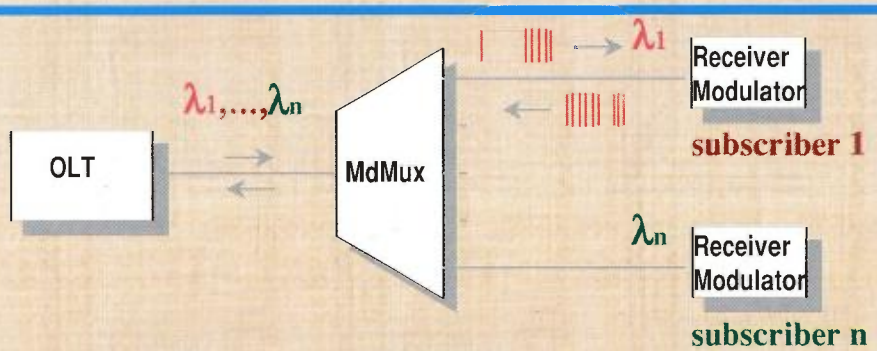
Upgrading PON → Towards point to point link



Major challenges to overcome :
- Mux-demux in outside plant
- How to manage low cost λ at home ?

11. How to implement WDM? (4) C21

MIRROR SOLUTION FOR WDM/PON



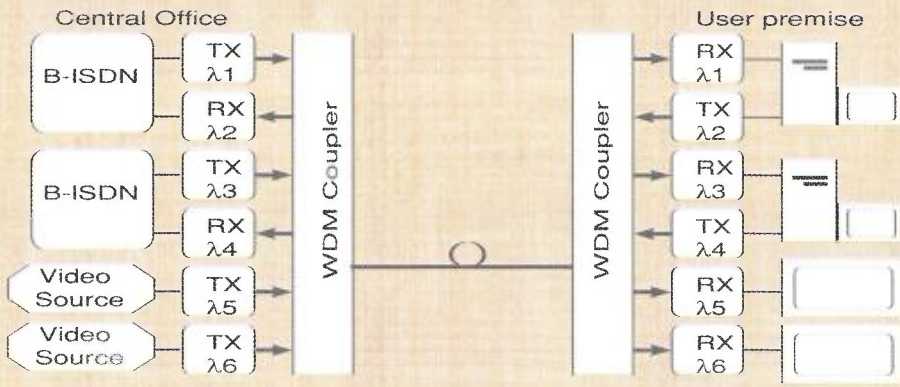
Receiver/modulator based on semiconductor laser amplifier reflector (SLAR)
Wavelength range 1520-1560 nm
Bit rate 155 Mbit/s

(N. Buldawoo et al. ECOC Madrid Sept.99)

12. Mirror solution for WDM/PON C21

SERVICE SEPARATION (1)

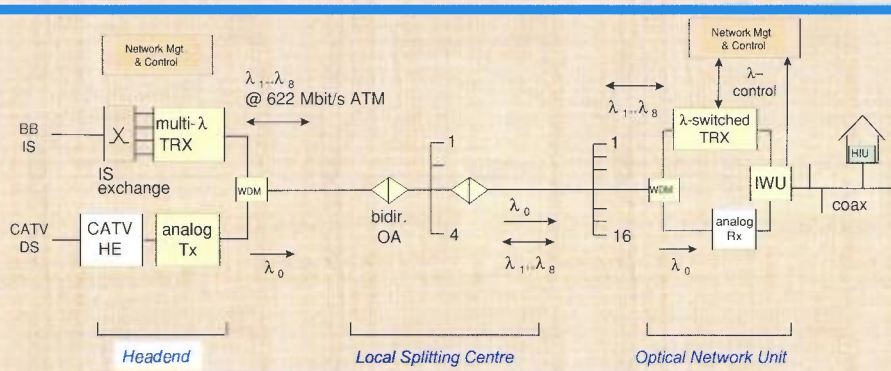
Open access network using WDM

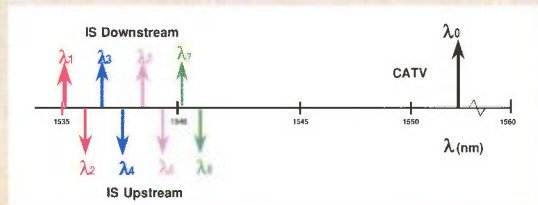


Multiplexing different services on the same fibre

SERVICE SEPARATION (2)

INTERACTIVE SERVICES + CATV : ACTS « TOBASCO » project





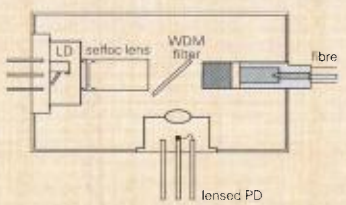
Is WDM technology ready for access ?

Today costs are prohibitive as regards residential access target (*)

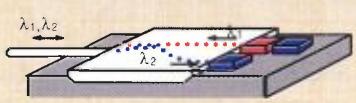
Components	Required improvements/development
Active devices Sources	Temperature stability, wavelength control DFB lasers Hybrid fibre or PLC grating lasers
Passive devices Mux-demux	No temperature control, passive compensation Integrated power splitter/mux-demux
Amplifiers	Semiconductor Laser Amplifier Reflector

15. Is WDM technology ready for access? C23

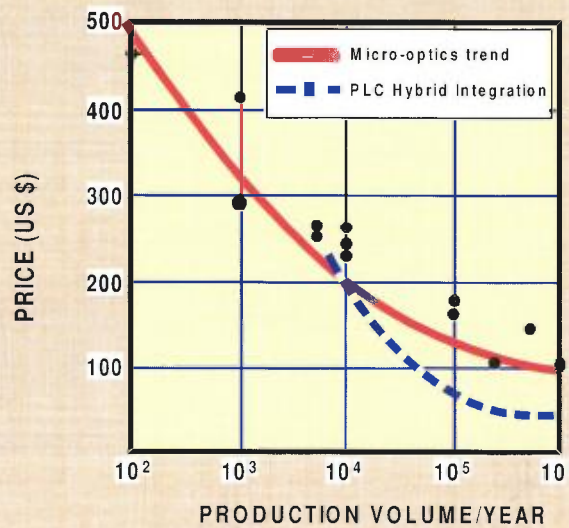
(*) FSAN cost target for PON optoelectronic converter



Micro-optics

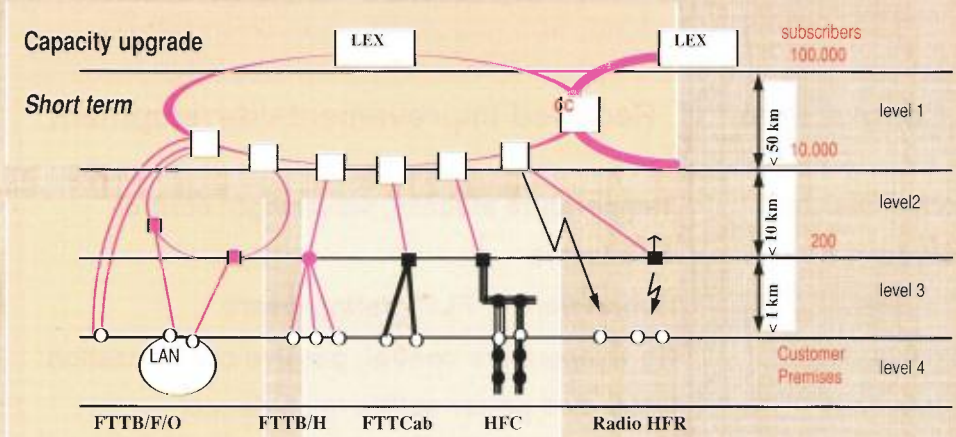


PLC hybrid



16. FSAN cost target for PON opto-electronic converter C23

CONCLUSIONS (1)
WDM in access. Where? Why? When?



Capacity upgrade
Dedicated λ
Short/mid term

Capacity upgrade
Service separation
Long term ?

CONCLUSIONS (2)

- **Impact of WDM on implementation strategies of access network:**
  - ***upgrading of existing fibre infrastructure***
    - increase data rate transmission
    - increase the number of connected customers
    - migrate from PON to point to point link
    - provide service separation
  - ***planning new fibre infrastucture***
    - must be designed to support full WDM technologies
    - WDM as alternative solution to PS/PON for shared fibre infrastructure
- **WDM system costs still far from access network requirements for large scale use**

LECTURE#L8.: M. RAVERA:
PROTECTION ACROSS NETWORK LAYERS *

0.	Contents	C25
1.	Header, ACTS PANEL Project Main Achievements,	C26
2.	Project Information, CSELT, Turin, Italy	C26
3.	Panel statistics	C27
4.	Panel statistics 2	C27
5.	Network failures	C28
6.	Failures and impact	C28
7.	Multiple-layer resilience	C29
8.	Problems (1)	C29
9.	Problems (2)	C30
10.	Outline	C30
11.	Outline Lowest layer recovery	C31
12.	Reference Network Concepts	C31
13.	Reference Network Results	C32
14.	Considered failures	C32
15.	Recovery at lowest layer	C33
16.	Recovery at lowest layer	C33
17.	Outline lowest layer	C34
18.	Reference case 1: no survivability	C34
19.	Reference case 2: SDH survivability	C35
20.	Reference case 2: SDH survivability	C35
21.	Reference results	C36
22.	Traditional approach	C36
23.	Traditional approach	C37
24.	Traditional approach	C37
25.	Traditional support results	C38
26.	SDH protection selectivity approach	C38
27.	SDH protection selectivity approach	C39
28.	SDH protection selectivity approach	C39
29.	SDH protection selectivity results	C40
30.	SDH protection selectivity results	C40
31.	Outline Lowest Layer	C41
32.	Common Pool Approach	C41
33.	Common Pool Approach	C42
34.	Common Pool Approach Results	C42
35.	Common Pool Approach Results	C43
36.	Outline	C43
37.	Recovery at highest layer	C44
38.	Outline	C44
39.	General statements	C45
40.	Cost evaluation: Lowest vs. Highest	C45
41.	Recovery at highest layer more expensive	C46
42.	Studied issues	C46
43.	SDH/WDM scenario	C47
44.	SDH over WDM: Results	C47
45.	Results for SDH protected over WDM protected	C48
46.	Framework for multiple-layer survivability	C48

PANEL

PROTECTION ACROSS NETWORK LAYERS

- IMEC
- TUM
- ITALTEL
- INT (France Telecom)
- SIRTI
- CSELT
- ITTI
- BELGACOM
- NTT

1. Header, ACTS PANEL Project Main Achievements, C26

INTRODUCTION

Project Information

project duration	September 96 ÷ November 98
manpower	211 MM (EC: 161; EEA: 32; NTT: 18)

WP0	Project management	*IMEC*
WP1	Theoretical aspects	*ITTI*
A1.1	Requirements Capture	*Belgacom*
A1.2	Concepts and Protocols	*Italtel*
A1.3	TMN aspects	*ITTI*
WP2	Implementation	*IMEC*
A2.1	Simulation and evaluation	*TUM*
A2.2	Planning	*CSELT*
WP3	Demonstration	*TUM*

2. Project Information, CSELT, Turin, Italy C26

PANEL statistics

- 13 plenary meetings and 6 activity meetings
- Collaborations with ACTS projects MISA, METON, REFORM, OPEN, PHOTON, MOON, ...
- NIG Guideline 'Towards resilient networks'
- 3 contributions to ITU-T / ETSI SGs
- 28 scientific publications

Common pool survivability for ATM on SDH Ring networks
Michael Gryseels, Piet Demeester - University of Gent / IMEC
Roberto Clemente, Mauro Ravera - CSELT

PANEL statistics (2)

DRCN'98

PANEL sponsored international workshop on the Design of Reliable Communication Networks

- project manager PANEL = workshop chair
- about 150 participants
- about 70 publications from which 6 PANEL papers

IEEE Communication Magazine

Special issue on Reliable Communication Networks

Network failures

1988: Fire in small switch in Hinsdale (Illinois)

35000 residential lines disconnected
37000 trunk lines disconnected
118000 long-dinstance lines failed
(500000 residential and business users affected, normally calling 3.5 million times a day, O'Hare airport closed)

1988: Two fuses of 600A blown (Massachusetts)

35000 users disconnected for whole day
banks closed for security reasons

1990 : Failure in signaling network (SS7)

65 million connections lost over US

1991 : 3 wrong lines of software (on a total of 2.1 million lines)

1 week no telephone connections between Washington, Los Angeles and Pittsburg

Failures and impact

CABLE BREAK :

MTBF : 1 750 000 hours per km cable
MTTR : 48 hours

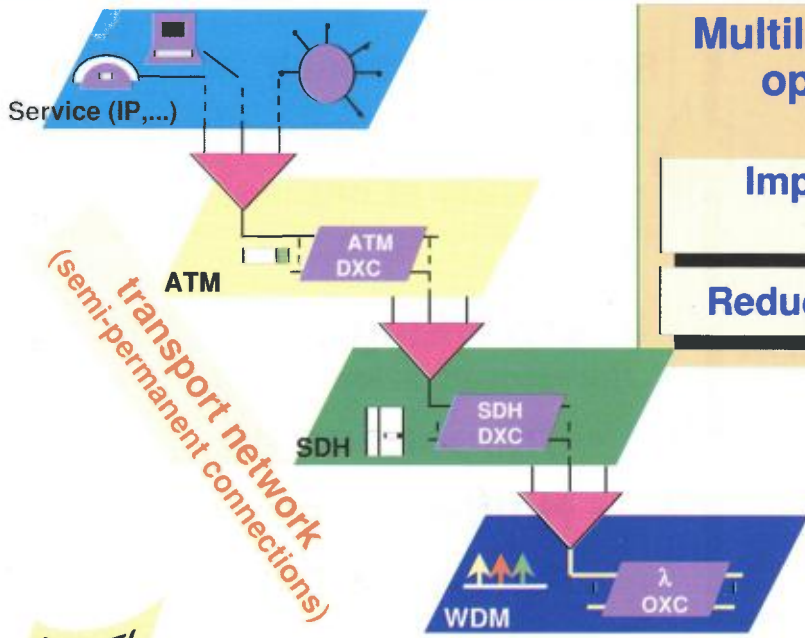
20 000 km cable (e.g., Pan-European Network)

cable break every 4 days

STM-16	2.5 Gbit/s	30 000 telephone lines
STM-64	10 Gbit/s	120 000 telephone lines
WDM	16 λ x 10 Gbit/s	2 million telephone lines
WDM	2 Tbit/s	25 million telephone lines

Total US traffic: 250 Gbit/s

Multilayer resilience



Multilayer resilience opportunities

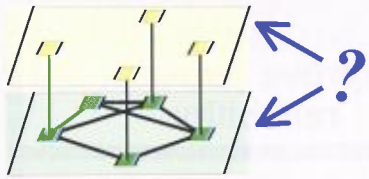
- Improve network reliability
- Reduce network cost

Problems (1)

- How will we detect a fault and how will the alarms propagate?
- How will we provide resilience in a multilayer network?
- If we have protection in different layers: how will they interwork?
- How can we provide spare resources?

Problems (2)

Where will the failure be recovered?



Recovery approach
- Recovery at lowest layer
- Recovery at highest layer

When does the client layer recovery start?

Interworking strategies
(for recovery at lowest layer)
- Uncoordinated
- Hold-off Time
- Recovery Token

Outline

LOWEST LAYER RECOVERY
- Fault detection and propagation
- Recovery Interworking
- Resource Planning

HIGHEST LAYER RECOVERY

HIGHEST <> LOWEST

ATM/SDH

SDH / WDM

CONCLUSIONS

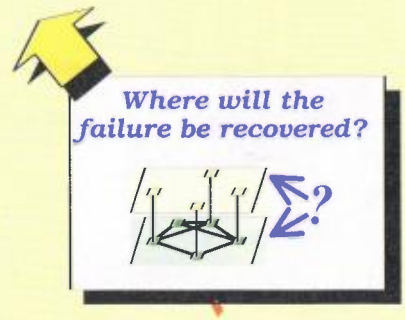
Outline

LOWEST LAYER RECOVERY

- Fault detection and propagation
- Recovery Interworking
- Resource Planning

HIGHEST LAYER RECOVERY

HIGHEST <> LOWEST



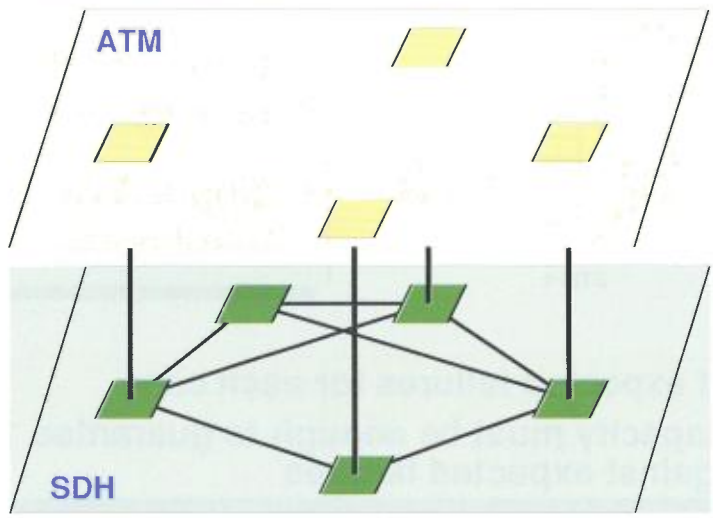
SDH / WDM

CONCLUSIONS

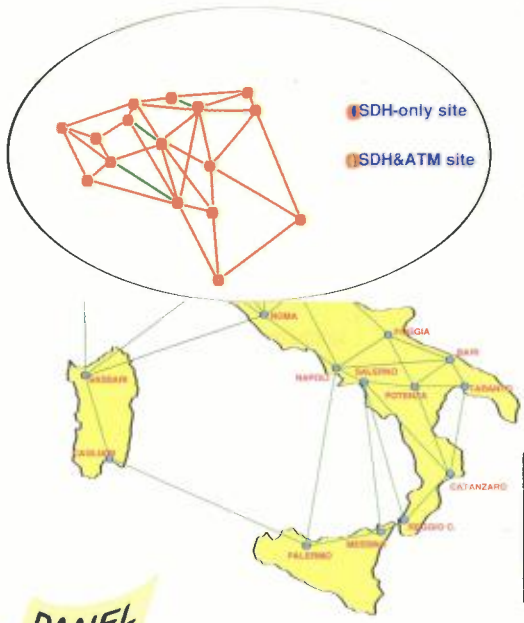
Reference Scenario

Reference Network CONCEPTS

ATM on SDH network



Reference Networks RESULTS

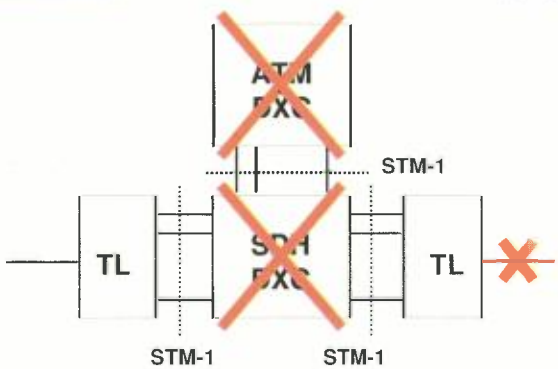


16-node & 32-node backbone networks with hybrid structure
- SDH only offices
- SDH & ATM offices

Two degrees of ATM equipment deployment:
- small (30%)
- medium (50%)

Recovery Mechanisms:
ATM: VP-APS (1:1), restoration
SDH: SNCP, restoration

Considered failures



- single cable cut
- single SDH DXC breakdown
- single ATM DXC breakdown

- same set of expected failures for each case
- the spare capacity must be enough to guarantee 100% of recovery against expected failures

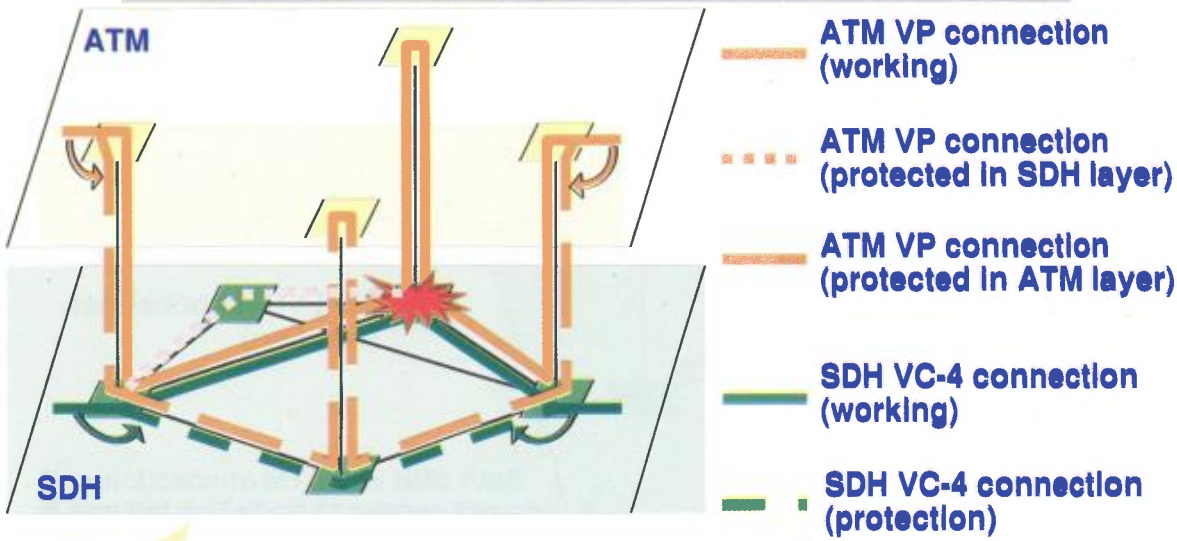
Outline LOWEST LAYER

- Reference Scenario
- **Lowest Layer Recovery Approach**
- Fault Detection and Propagation
- Multilayer Interworking
- **Client Layer Spare Resources Support**

Lowest Layer Recovery Approach

Recovery at lowest layer

Traffic is recovered at the layer closest to the failure



Outline LOWEST LAYER

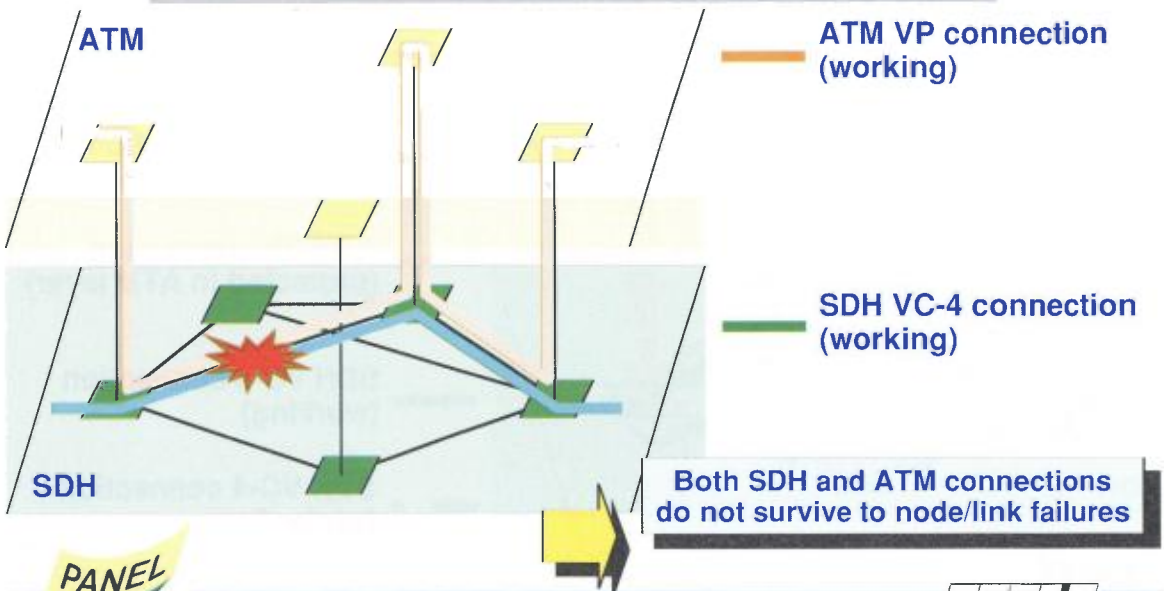
- Reference Scenario
- Lowest Layer Recovery Approach
- Fault Detection and Propagation
- Multilayer Interworking

•Client Layer Spare Resources Support

- **Reference Cases**
- **Traditional Approach**
- **SDH Protection Selectivity**
- **Common Pool**

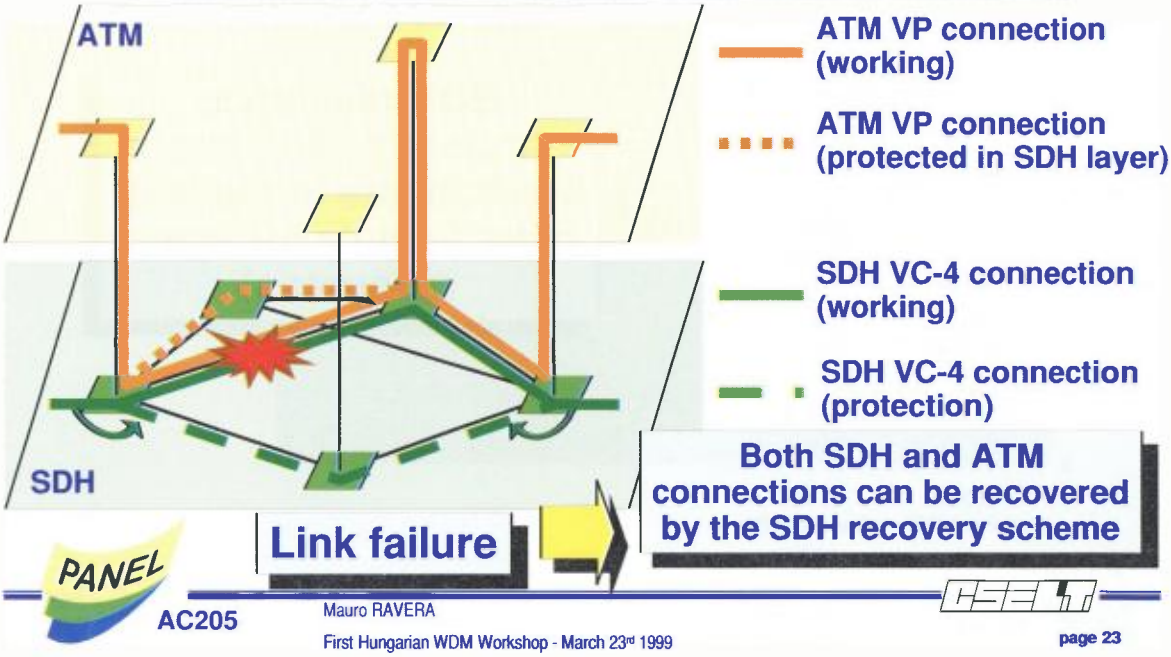
Reference case 1: no survivability

No resilience is assured in the 2-layer network



Reference case 2: SDH survivability

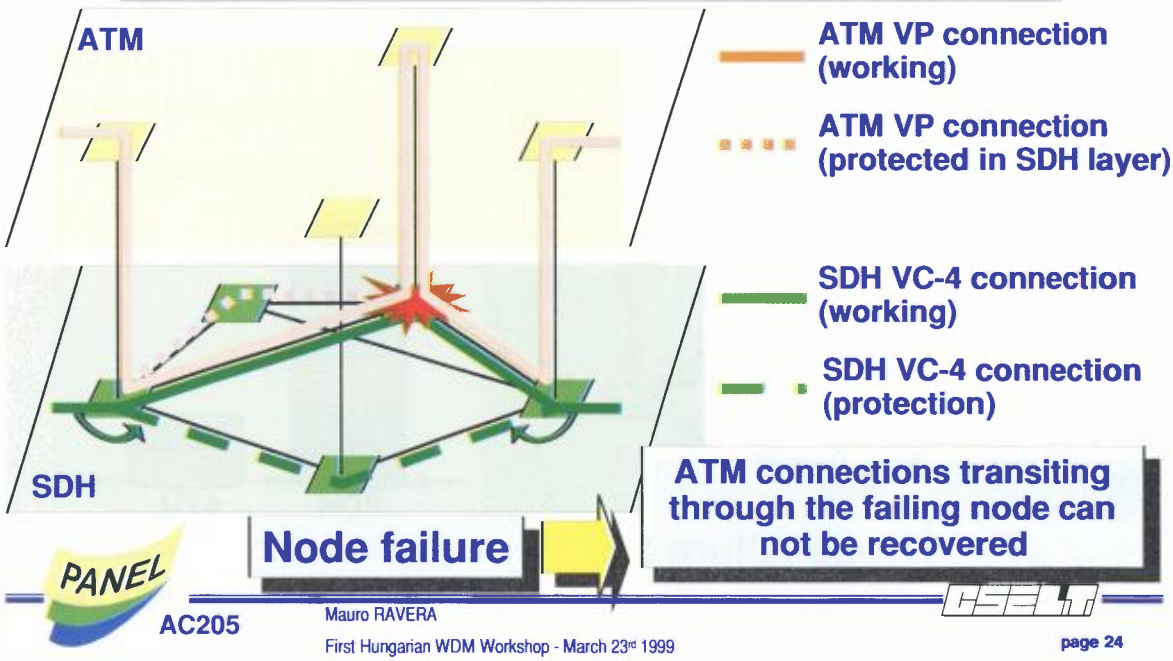
Resilience is only assured in the SDH layer network



19. Reference case 2: SDH survivability C35

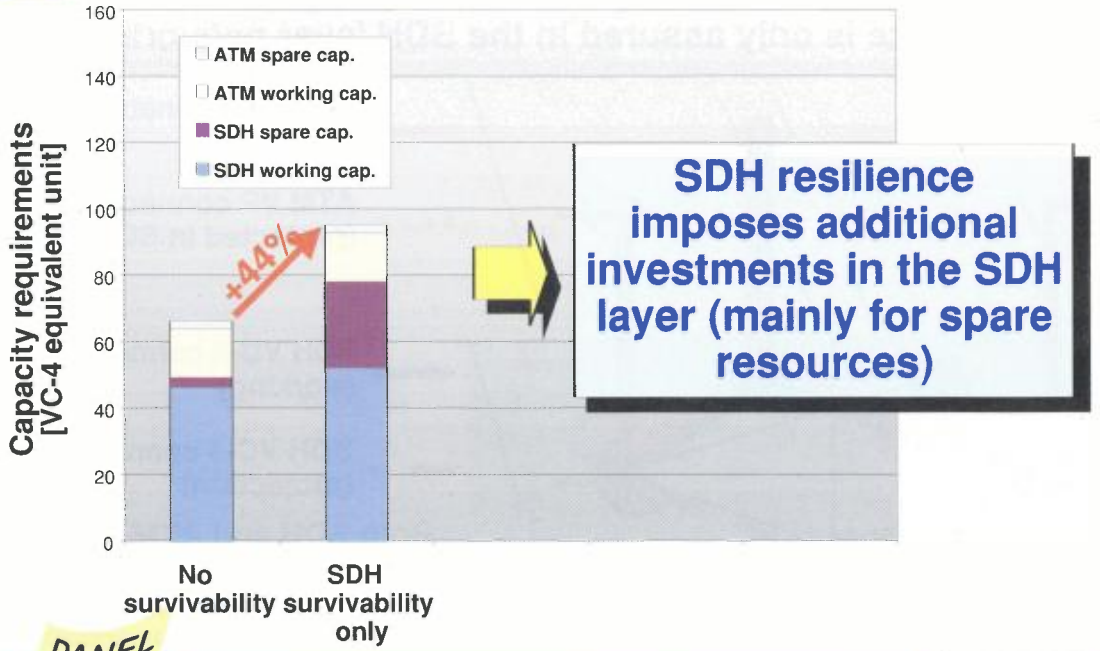
Reference case 2: SDH survivability

Resilience is only assured in the SDH layer network



20. Reference case 2: SDH survivability C35

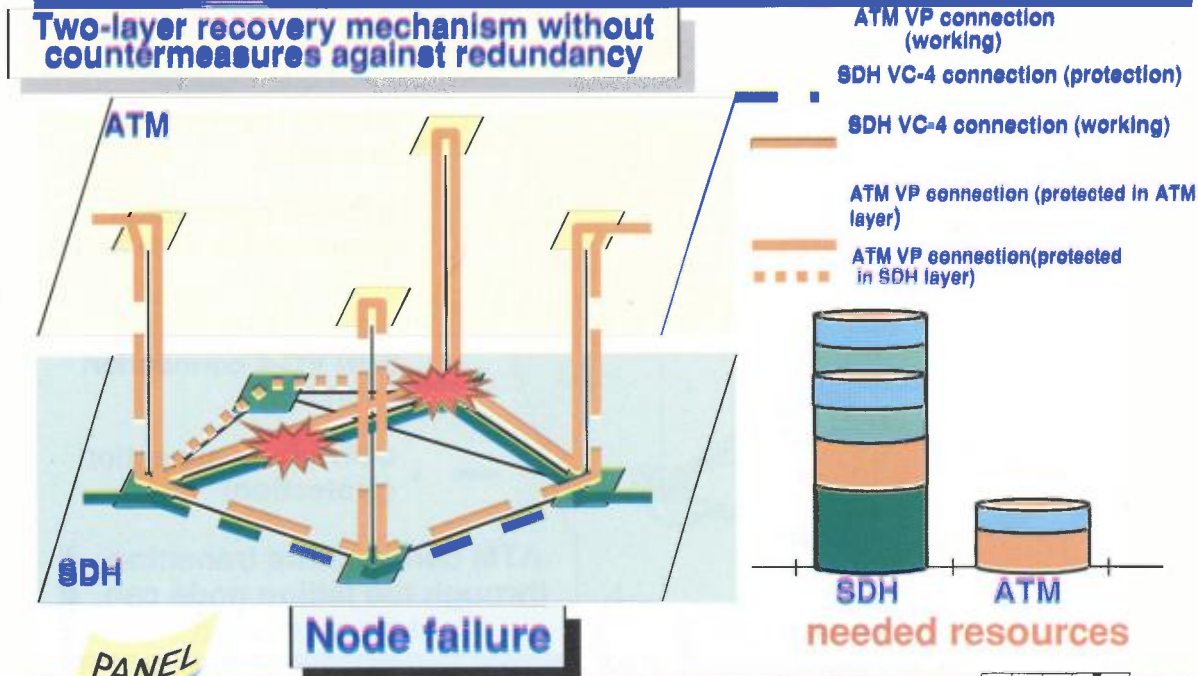
Reference results



21. Reference results C36

Traditional approach

Two-layer recovery mechanism without countermeasures against redundancy

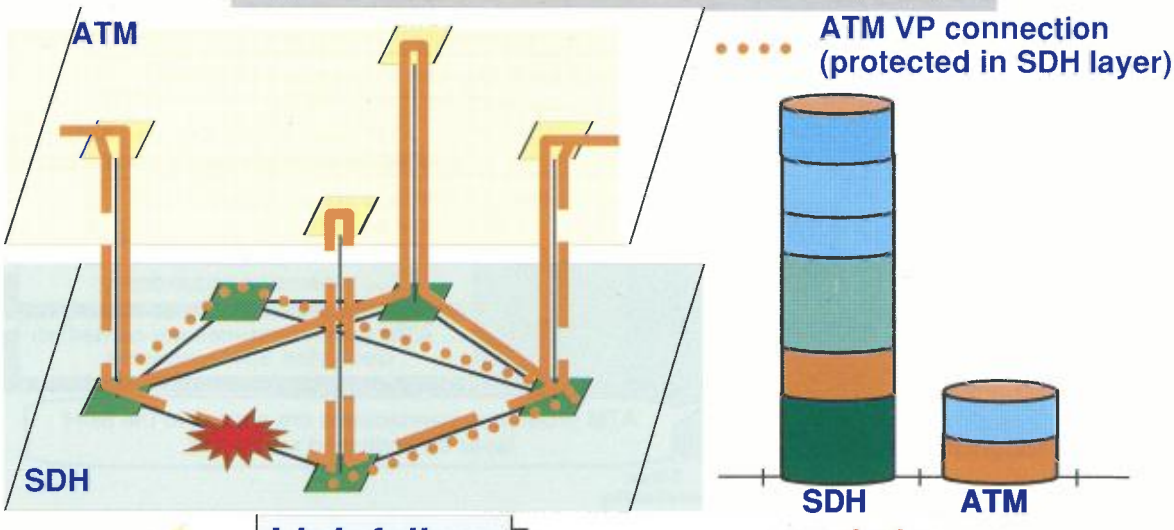


22. Traditional approach C36

C37 …er …sources support

Traditional approach

Two-layer recovery mechanism without countermeasures against redundancy



Link failure

23. Traditional approach C37

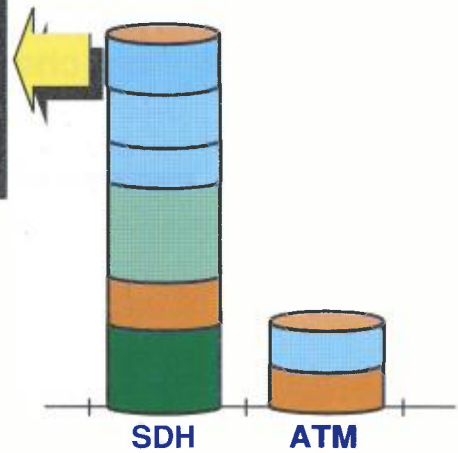
Client layer spare resources support

Traditional approach

Two-layer recovery mechanism without countermeasures against the redundancy

The ATM VP protection connections are protected in the SDH layer as well (because they are "seen" as working connections by the SDH layer)

Protection redundancy

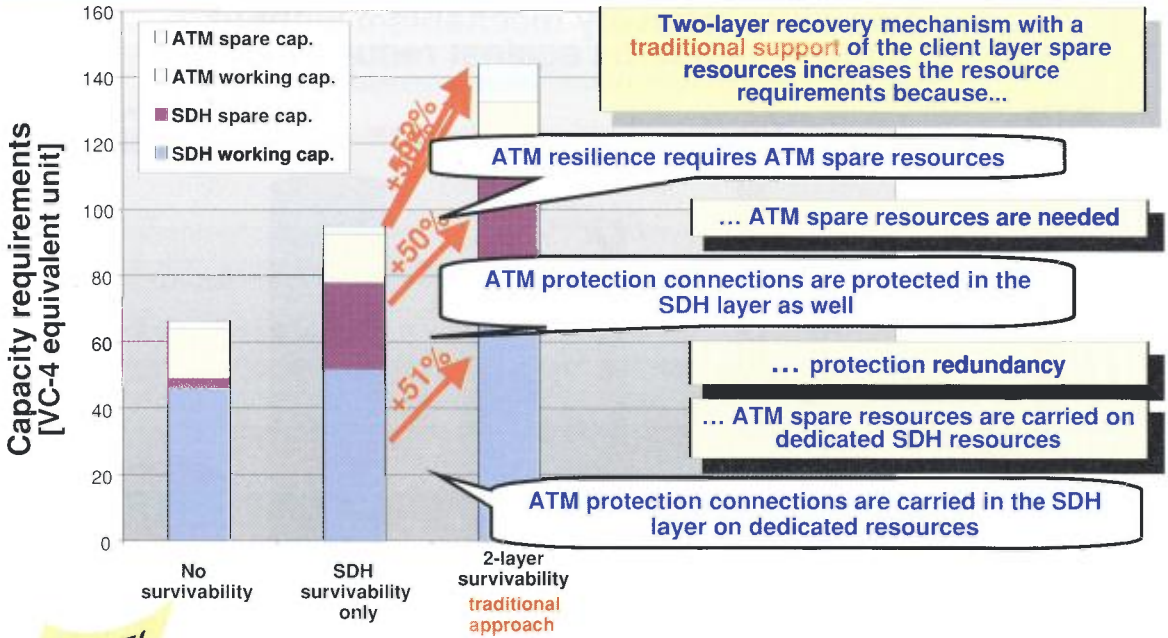


24. Traditional approach C37

Client layer spare resources support

Traditional support results

C38



25. Traditional support results C38

Client layer spare resources support

SDH protection selectivity approach

Two-layer recovery mechanism with countermeasures against redundancy

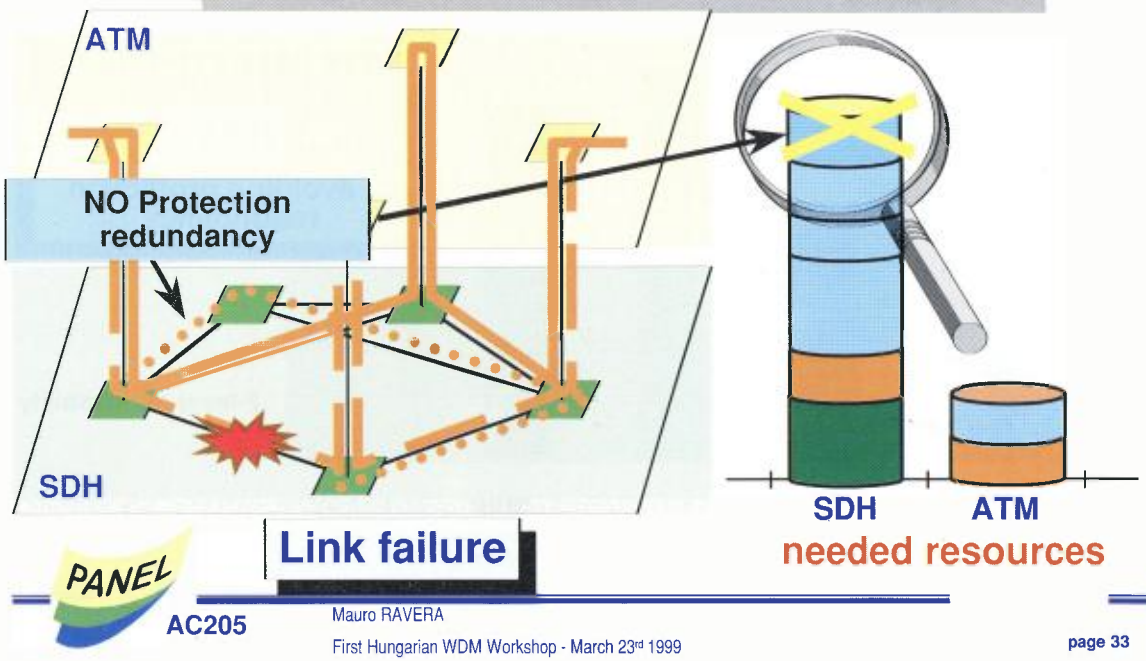
The global behavior of the 2-layer recovery mechanism does not change, but the ATM VP protection connections are not protected in the SDH layer

No protection redundancy

26. SDH protection selectivity approach C38

SDH protection selectivity approach

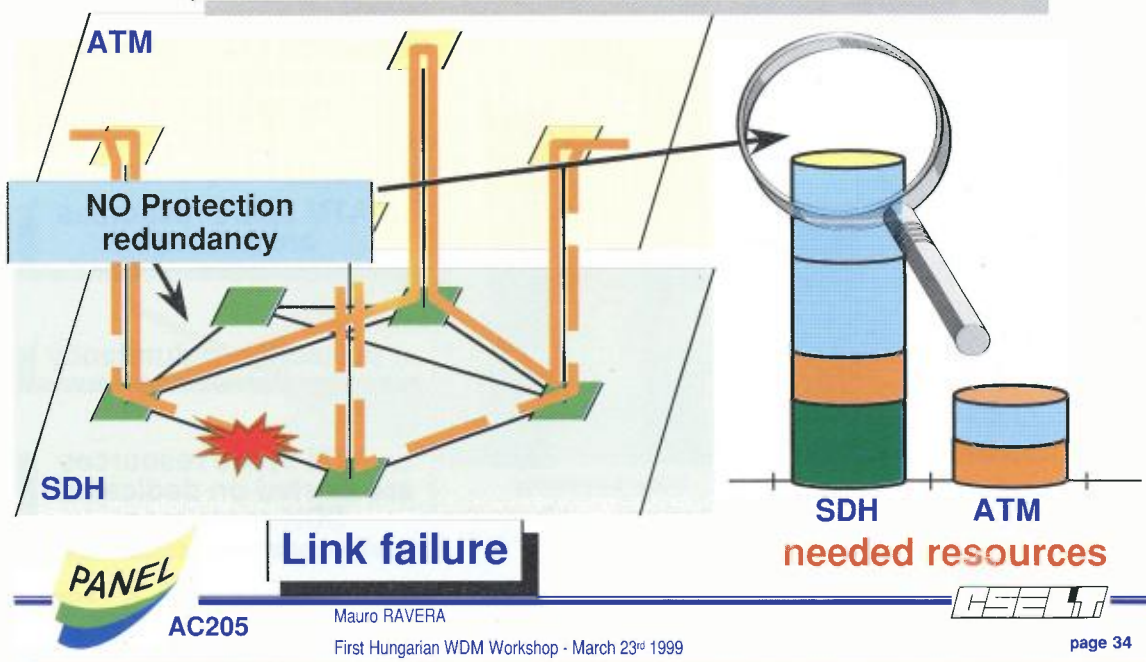
Two-layer recovery mechanism with countermeasures against redundancy



27. SDH protection selectivity approach C39

SDH protection selectivity approach

Two-layer recovery mechanism with countermeasures against redundancy

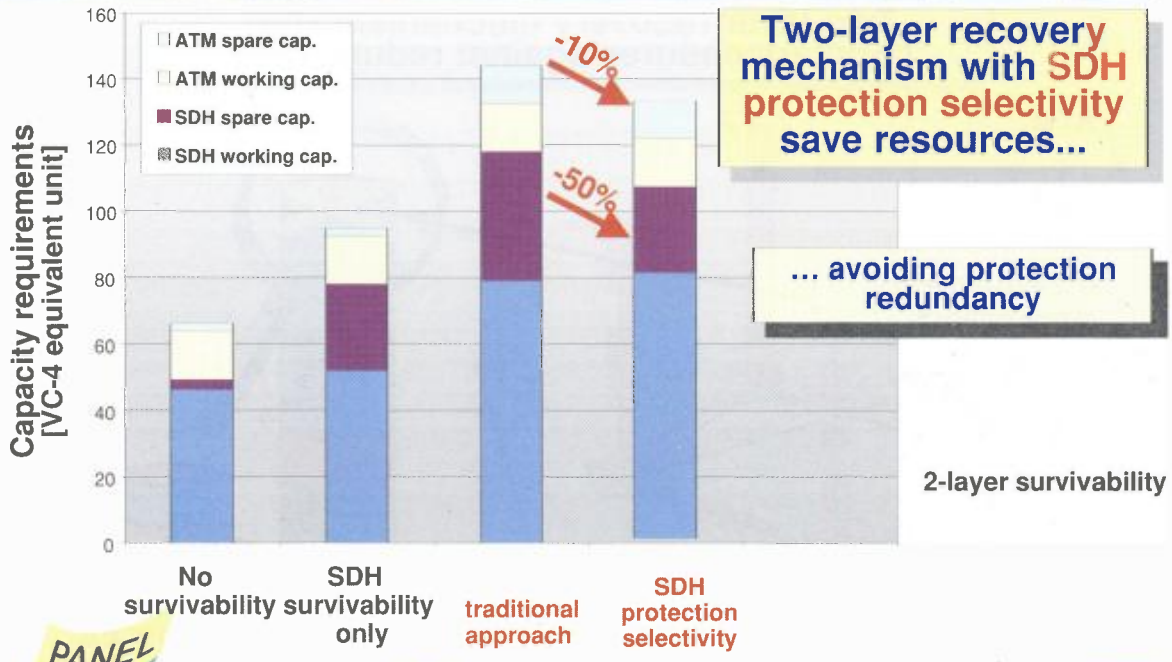


28. SDH protection selectivity approach C39

Client layer
spare resources
support

SDH protection selectivity results

C40



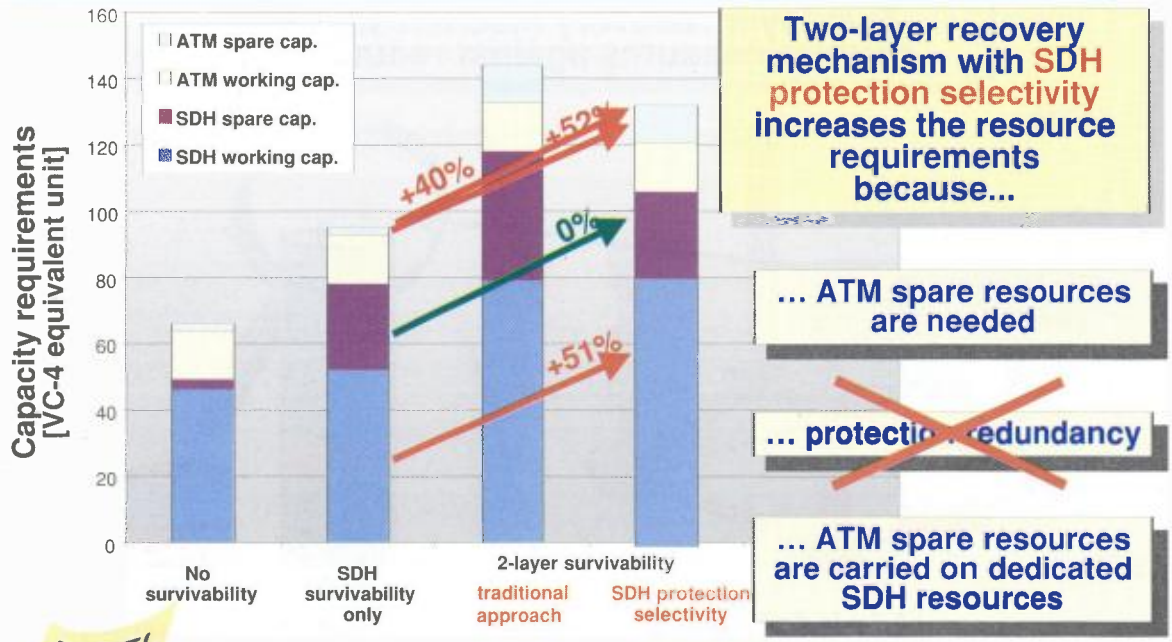
Two-layer recovery mechanism with SDH protection selectivity save resources...

... avoiding protection redundancy

29. SDH protection selectivity results C40

Client layer
spare resources
support

SDH protection selectivity results



Two-layer recovery mechanism with SDH protection selectivity increases the resource requirements because...

... ATM spare resources are needed

... protection redundancy

... ATM spare resources are carried on dedicated SDH resources

30. SDH protection selectivity results C40

C41 ayer y

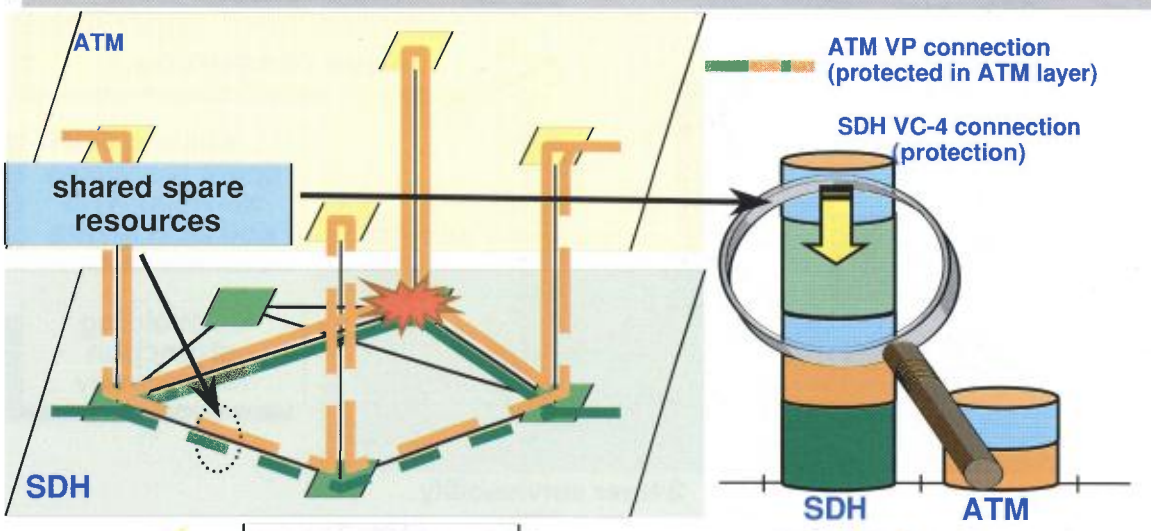
Outline LOWEST LAYER

- Reference Scenario
- Lowest Layer Recovery Approach
- Fault Detection and Propagation
- Multilayer Interworking
- **Support Client Layer Spare Resources**
  - Reference Cases
  - Traditional Approach
  - SDH Protection Selectivity
  - **Common Pool**

Client layer spare resources support

Common pool approach

Two-layer recovery mechanism with countermeasures against redundancy and sharing of spare resources between layers

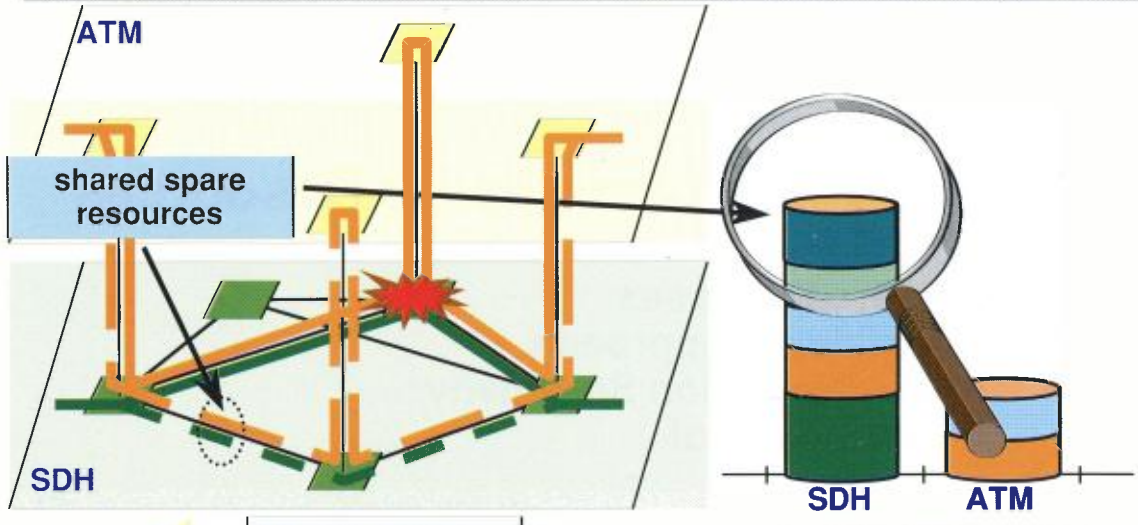


Client layer spare resources support

Common pool approach

C42

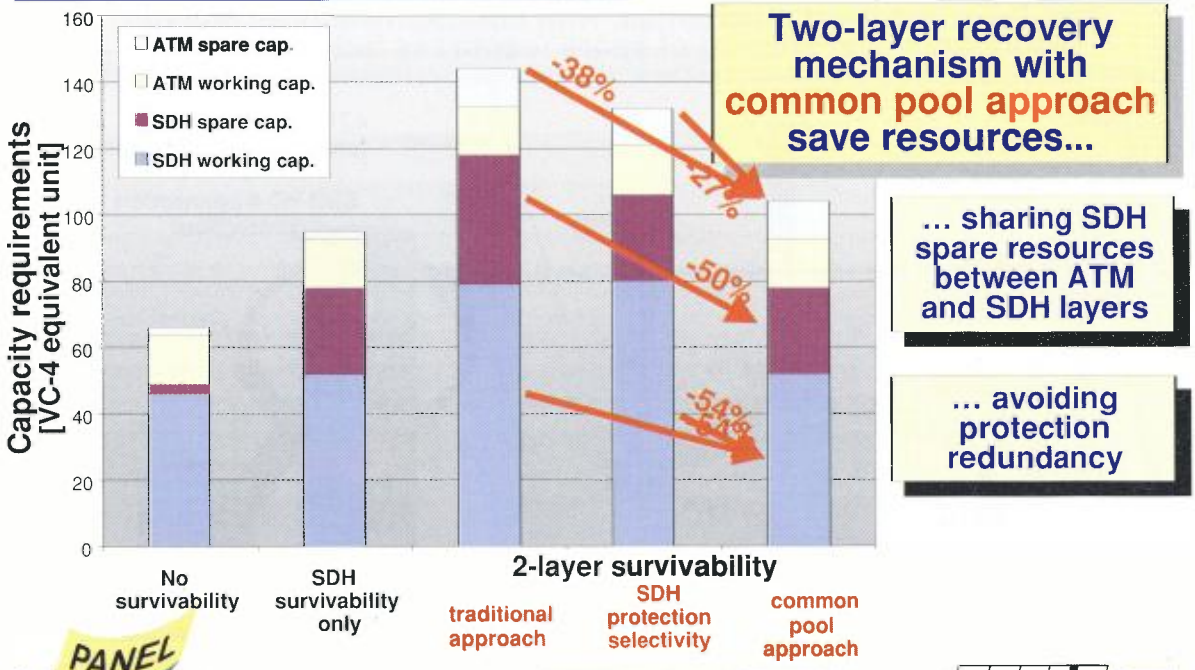
Two-layer recovery mechanism with countermeasures against redundancy and sharing of spare resources between layers



32. Common Pool Approach C42

Client layer spare resources support

Common pool approach results



Two-layer recovery mechanism with common pool approach save resources...

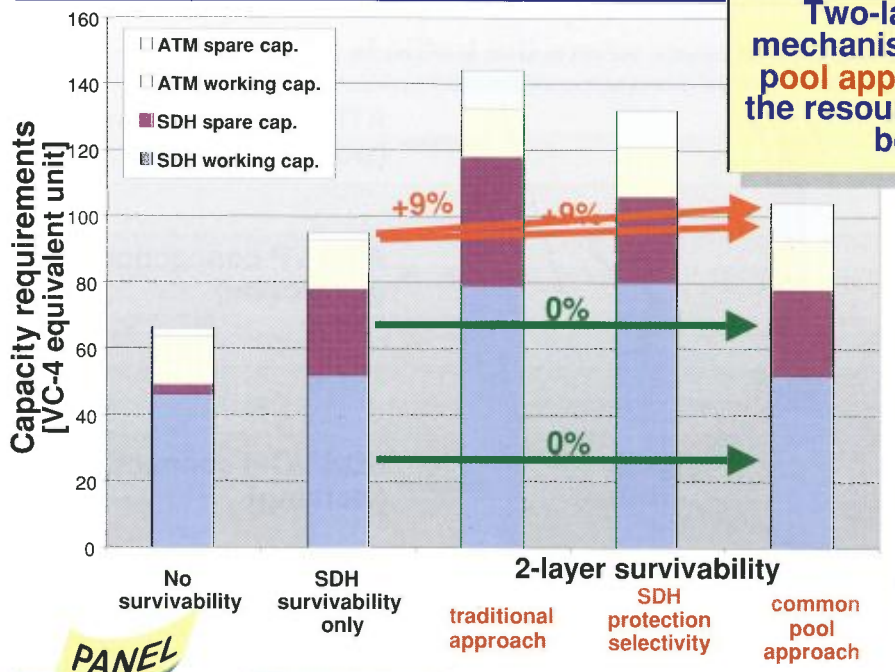
... sharing SDH spare resources between ATM and SDH layers

... avoiding protection redundancy

34. Common Pool Approach Results C42

C43 ...er ...sources support

Common pool approach results



Two-layer recovery mechanism with common pool approach increases the resource requirements because...

... ATM spare resources are needed

~~... protection redundancy~~

~~... ATM spare resources are carried on dedicated SDH resources~~

Outline

LOWEST LAYER RECOVERY
- Fault detection and propagation
- Recovery Interworking
- Resource Planning

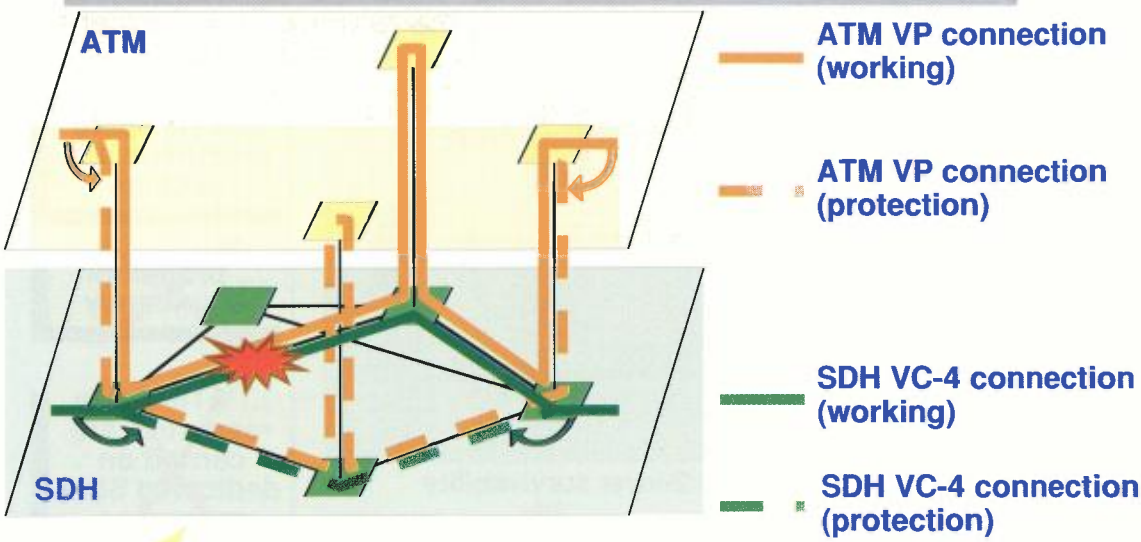
HIGHEST LAYER RECOVERY

HIGHEST <> LOWEST

SDH / WDMCONCLUSIONS

Recovery at highest layer

Traffic is recovered at the layer where the traffic is injected



Outline

LOWEST LAYER RECOVERY
- Fault detection and propagation
- Recovery Interworking
- Resource Planning

HIGHEST LAYER RECOVERY

HIGHEST <> LOWEST

ATM/SDH

SDH / WDM

CONCLUSIONS

C45 vs.

General statements

lowest

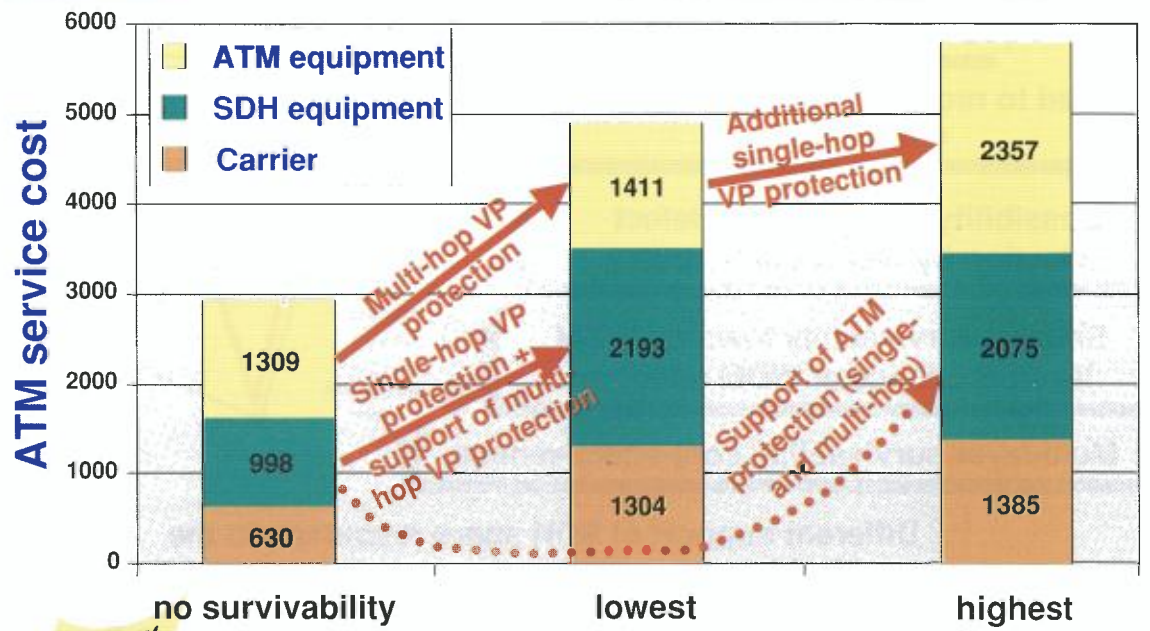
- Coarser switching granularity
- Simpler (in terms of number of connections to be rerouted)
- Recovery actions performed closer to the root failure
- Needs co-ordination with client layer recovery schemes
- Cost-effectiveness influenced by routing policy
- Risk of redundant protection

highest

- Complex failure scenario due to fault multiplication
- Many switching actions needed to recover server layer failures
- Supports offering of different survivability grades
- No co-ordination needed Simpler to be managed
- Not influenced by routing policy
- Not necessarily cheaper

Highest vs. Lowest

Cost evaluation: lowest vs. highest



Recovery at highest layer more expensive

C46

From a single-layer viewpoint VP-APS is more efficient than SDH SNCP, but there is also a cost related to SDH support of ATM layer spare capacity

Recovery at highest layer more expensive

With recovery at highest layer, the routes in the ATM layer are much more constrained (less room for optimization).

ATM layer = logical network layer.
Many VPs can be routed directly in the ATM layer.
Single-hop VPs only require SDH survivability with the recovery at the lowest layer approach.

41. Recovery at highest layer more expensive C46

Studied issues

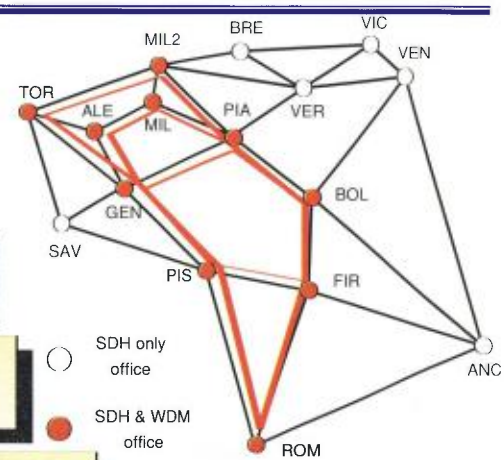
Fault localisation problem

Need to monitor performances of optical path

Possibility to avoid SDH defect detection by fast WDM recovery

Shifting survivability towards WDM layer: influence of WDM adoption

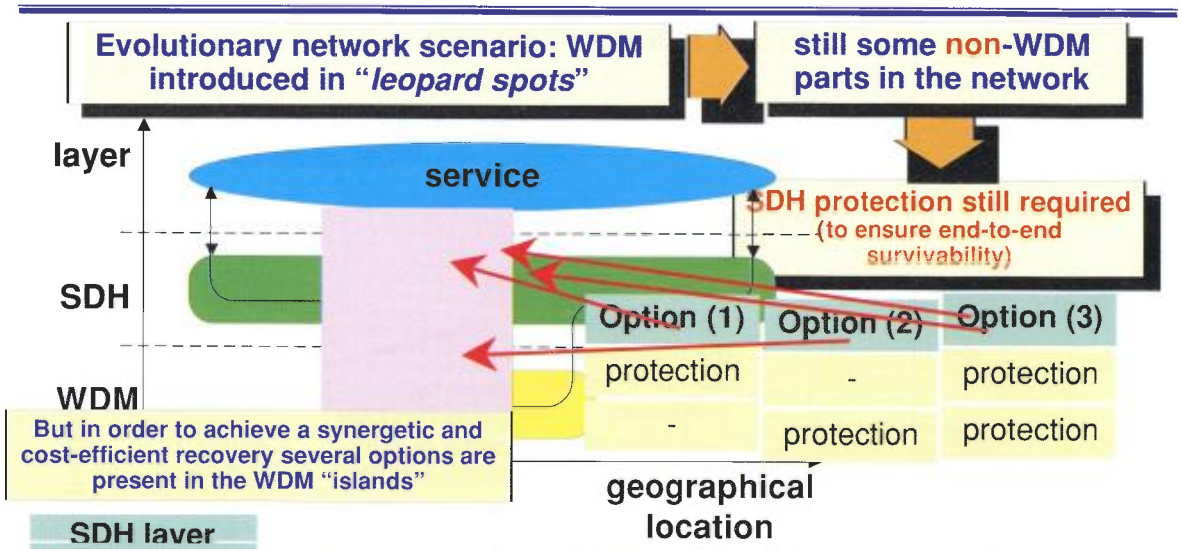
Multi-layer survivability cost-effectiveness



Different support of SDH spare resources in the WDM layer (i.e. traditional way, protection selectivity, common pool)

42. Studied issues C46

SDH / WDM scenario



SDH layer
WDM layer

Besides

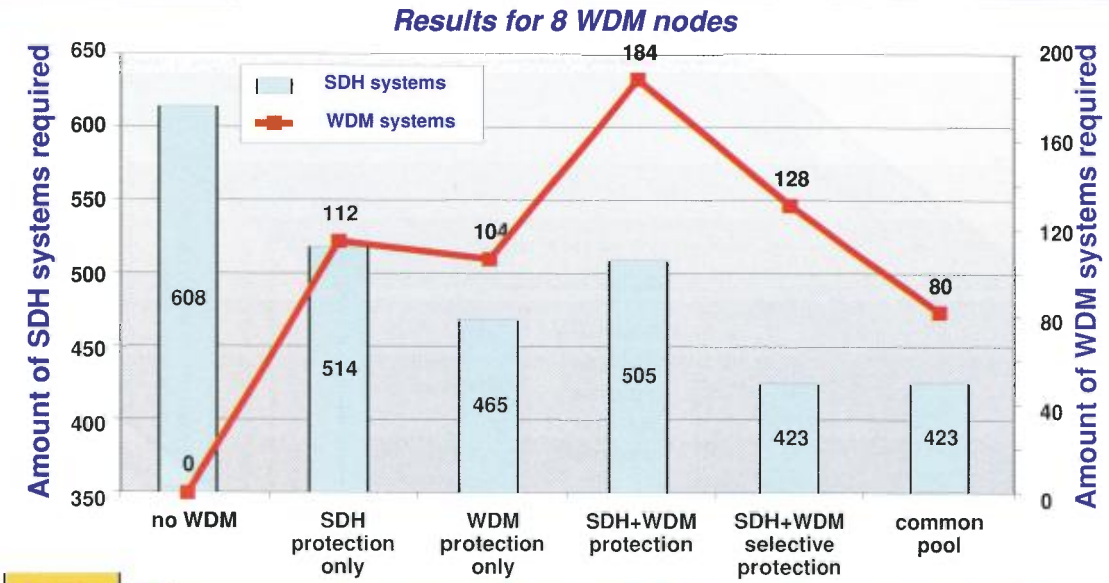
- some of the fault conditions are difficult to detect at the optical layer (e.g. excessive bit error rate)
- some transit to the electrical layer will remain in the end-to-end path of a connection (grooming)

PANEL AC205

43. SDH/WDM scenario C47

SDH over WDM

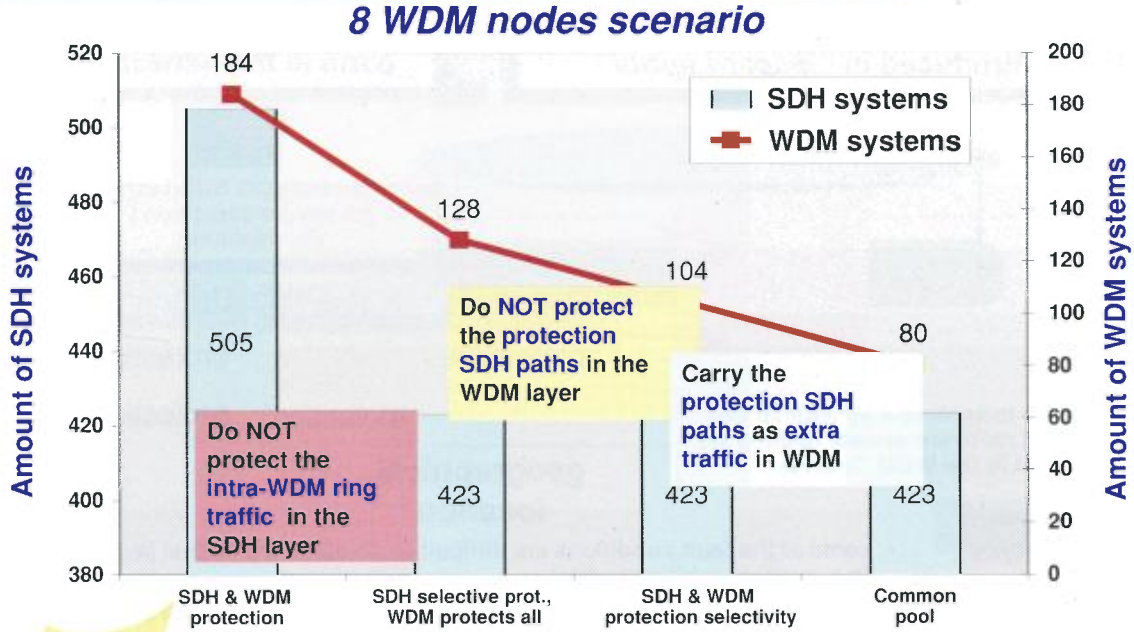
SDH over WDM: Results



PANEL AC205

44. SDH over WDM: Results C47

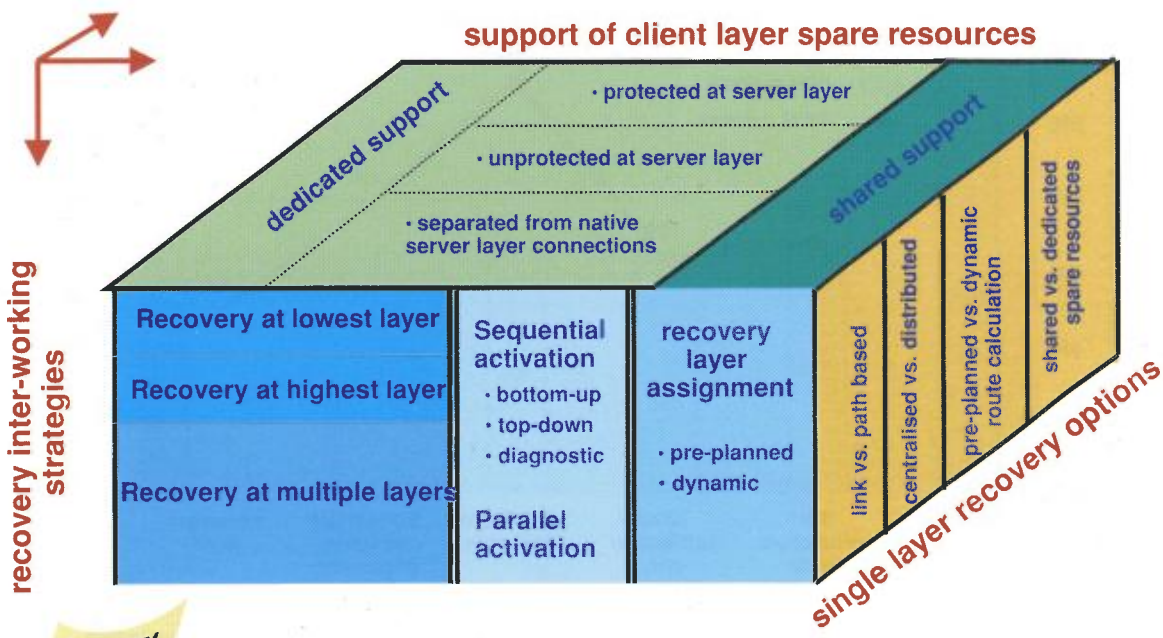
Results for SDH protected over WDM protected



45. Results for SDH protected over WDM protected C48

CONCLUSIONS

Framework for multi-layer survivability



46. Framework for multiple-layer survivability C48

LECTURE # L9.: T. CINKLER: CONFIGURATION OF WAVELENGTH-ROUTING WDM NETWORKS†

0.	Contents	C49
1.	Header, HSN Lab, Technical University of Budapest	C50
2.	Classification of Optical Networks	C50
3.	Networks of Interest: WDM vs. SDM	C51
4.	Problem Formulation	C51
5.	Illustration of the Problem	C52
6.	Multiple-layer Optimisation	C52
7.	Known Methods	C53
8.	Wavelength Assignment only	C53
9.	Wavelength Assignment	C54
10.	Generally Applicable Heuristics for Discrete Global Optimisation	C54
11.	Joint RWA	C55
12.	The Model of Nodes – OADM	C55
13.	The Model of Nodes – EXC	C56
14.	The Model of Nodes – OXC	C56
15.	The Model of Nodes – OXC	C57
16.	Levels of Cross-Connecting Functions	C57
17.	Methods for Solving the Problem	C58
18.	Methods for Solving the Problem (1/4)	C58
19.	Methods for Solving the Problem (2/4)	C59
20.	Methods for Solving the Problem (3/4)	C59
21.	Methods for Solving the Problem (4/4)	C60
22.	Conclusions	C60

Configuration of Wavelength-Routing WDM Networks

Tibor Cinkler

Cinkler@ttt-atm.ttt.bme.hu
High-Speed Networks Laboratory
Department of Telecommunications and Telematics
Technical University of Budapest
Pázmány Péter sétány 1/D, I.ép., B.229
H-1117 Budapest, Hungary
tel: +(36) 1 463-1861
fax: +(36) 1 463-3107

Classification of Optical Networks

- *OTDM Optical Time Division Multiplexing*
- *WDM Wavelength Division Multiplexing*
  - *WDM link*
  - *PON: Passive Optical Network*
  - *BaS: Broadcast-and-Select (FT-TR, TT-FR, TT-TR)*
  - *Wavelength routing*
    - single-hop (wavelenght path)
    - multi-hop (lightpath)
      - transparent: all-optical WL conversion (full or limited)
      - opaque: opto-electro-optical WL conversion
      - opto-electro-optical WL conversion with remultiplexing (space and time sw.)
- *OCDM Optical Code Division Multiplexing*
- *OSDM Optical Space Division Multiplexing*
- *Combination of above techniques (e.g. OCWDM)*

C51

Networks of Interest: WDM vs. SDM

WDM Wavelength Division Mpx.

Wavelength routing

- single-hop (wavelenght path)
- multi-hop (lightpath)
  - transparent: all-optical WL conversion (full or limited)
  - opaque: opto-electro-optical WL conversion
  - opto-electro-optical WL conversion with remultiplexing (space and time sw.)

OSDM Optical Space Division Mpx.

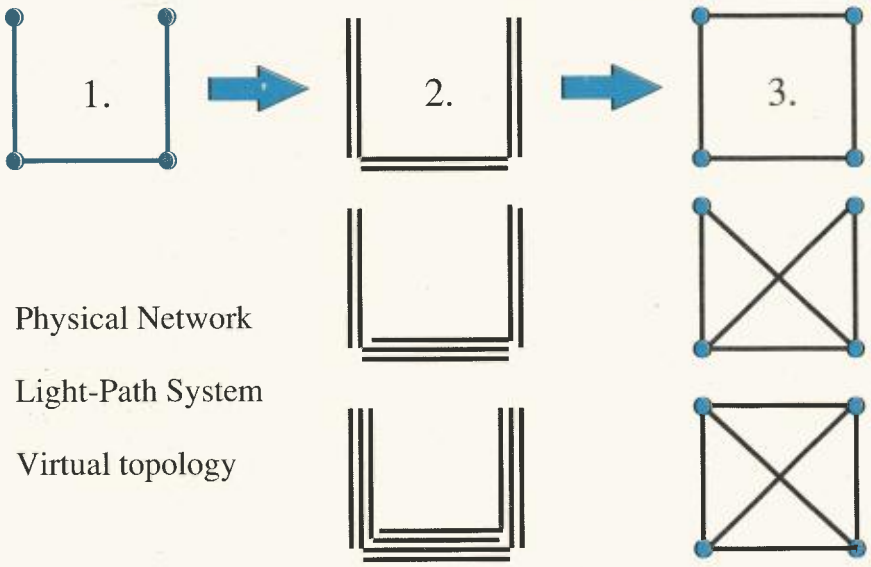
Fibre routing

- transparent: all-optical fibre switching (optical space switching)
- opaque: opto-electro-optical signal conversion (electrical space sw.)
- opto-electro-optical signal conversion with re-multiplexing (space and time sw.)

Problem Formulation

- Given
  - nodes (position and type, e.g., OADM, EXC, OXC)
  - links (no. of WLs and capacity of each WL)
- Wanted
  - cheapest WL-system configuration
    - with reduced electrical processing
    - with few WL conversions
    - shortest paths

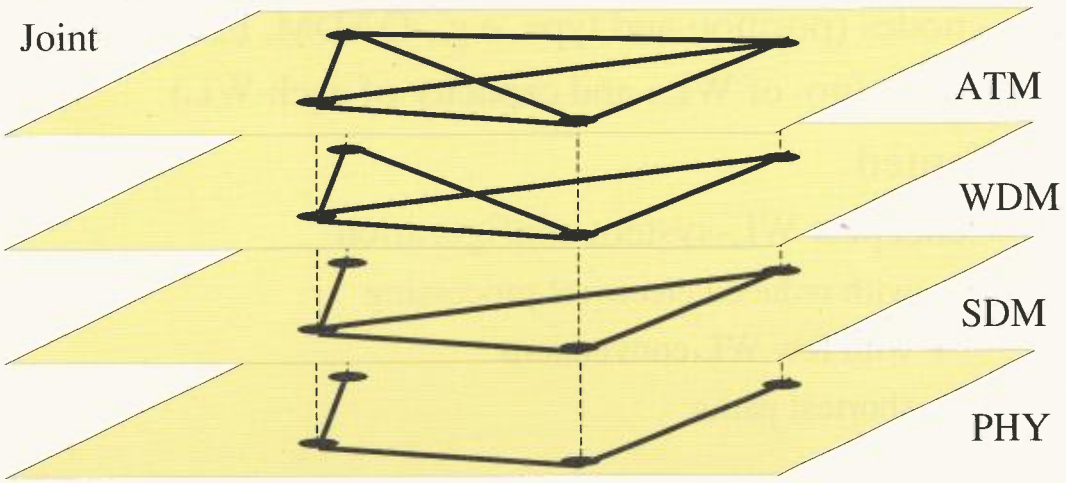
Illustration of the Problem



1. Physical Network
2. Light-Path System
3. Virtual topology

Multi-layer Optimisation

- Layer-by-layer
- Iterative
- Joint

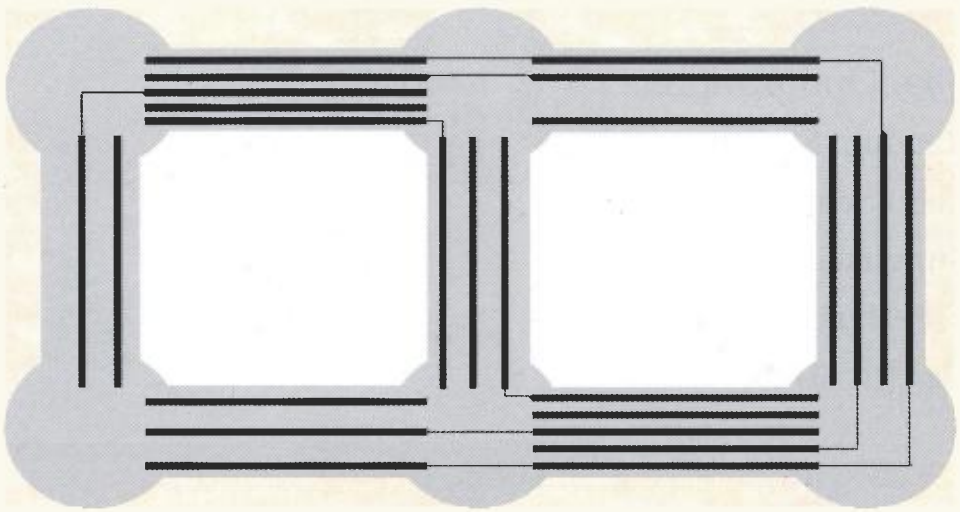


Known Methods

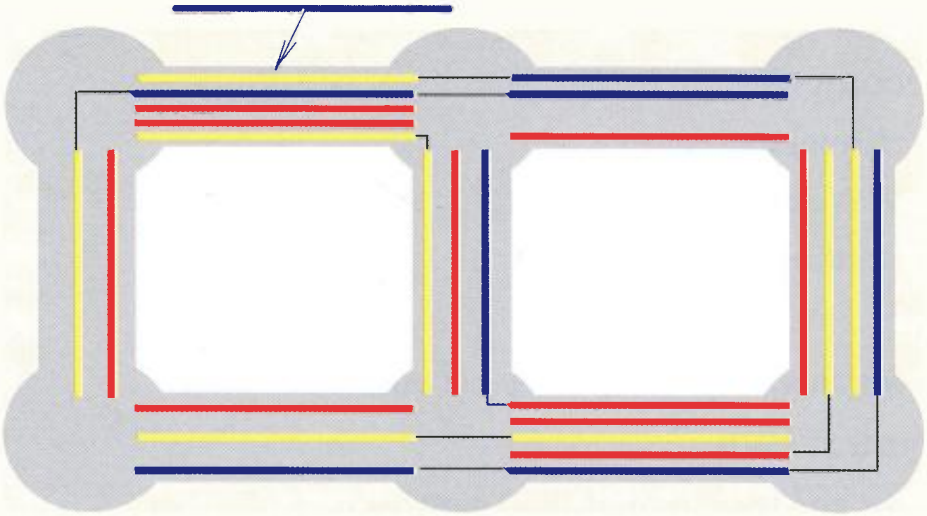
- Single-layer only!
- Decomposition
  - Virtual topology
  - Wavelength Assignment
  - Routing
- ILP
  - for single- and multi-hop networks
- Shortest Path
  - for single- and multi-hop networks

1. Wavelength Assignment only

The Basic Building Units



Wavelength Assignment



Generally Applicable Heuristics for Discrete Global Optimization

Global Optimization

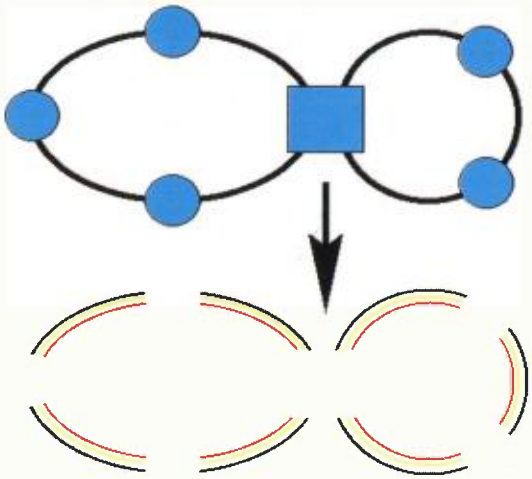
- Random Sampling (RS)
- Tabu Search (TS)
- Simulated Annealing (SA)
- Threshold Accepting (TA)
- Genetic Algorithm (GA)

Local Optimization

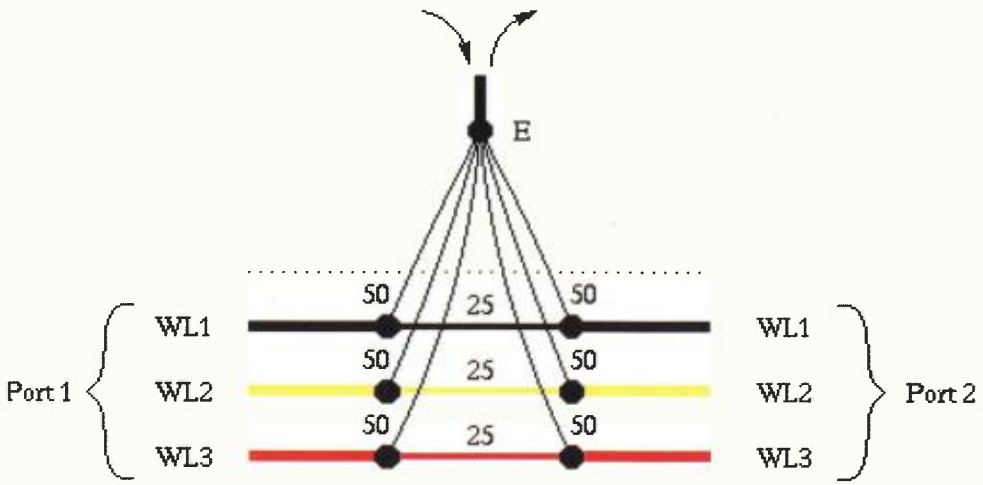
- Local Search (LS)
  e.g., hill-climbing

2. Joint RWA

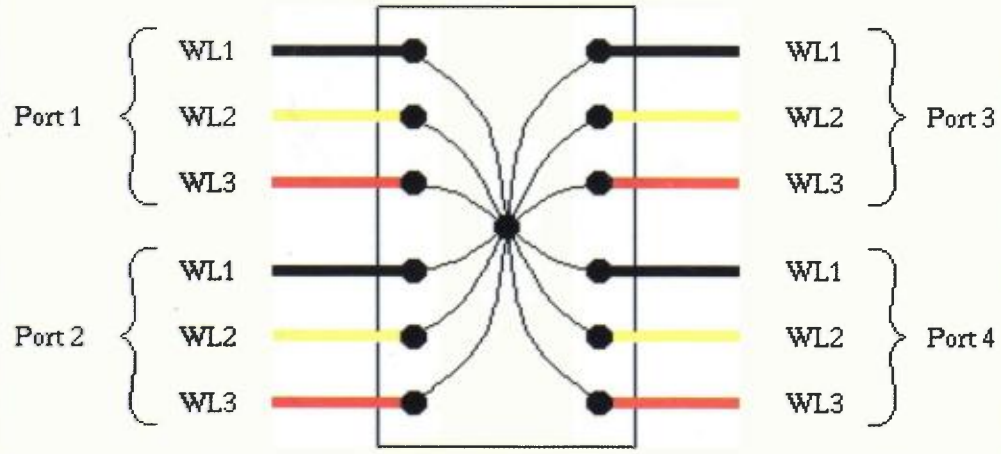
The Model of Links



The Model of Nodes - OADM

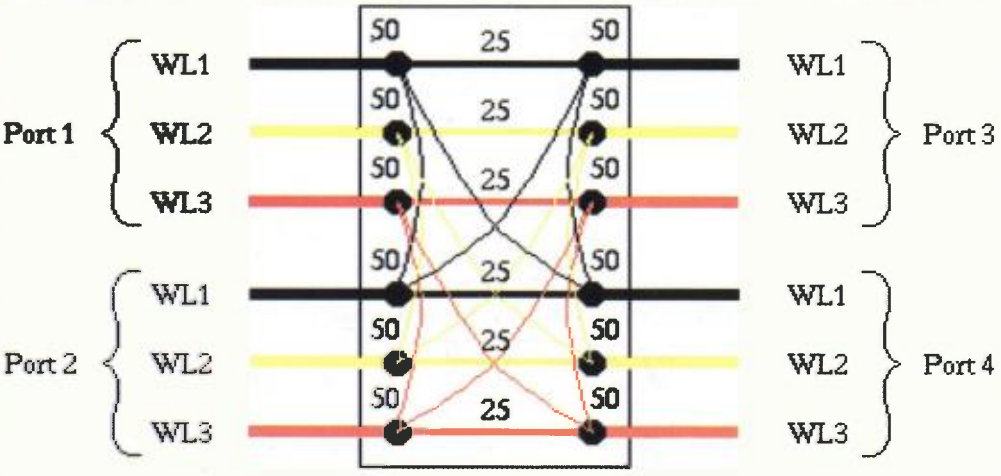


The Model of Nodes - EXC



The Model of Nodes - OXC

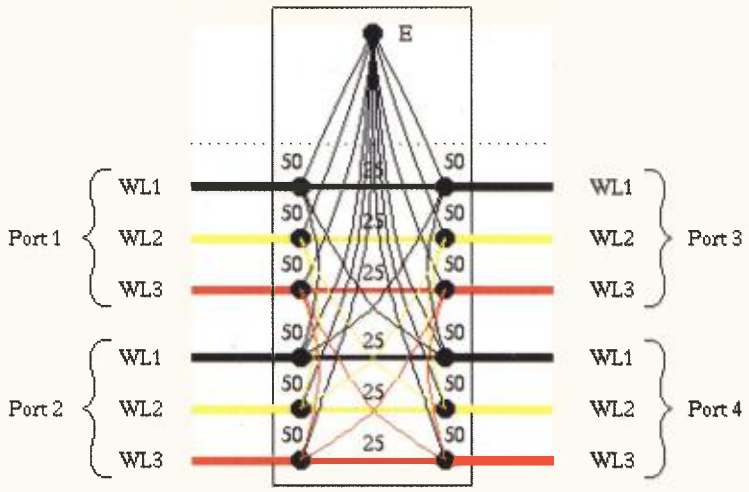
without WL conversion capability



The Model of Nodes - OXC

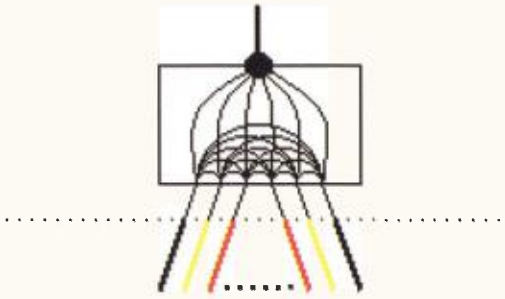
with WL conversion capability

(either all-optical or opto-electro-optical)



Levels of Cross-Connecting Functions

- WL transition
- WL translation
  - optical WL shifters
  - opto-electrical conversion + space-switching + electro-optical conversion



- electrical multiplexing and re-multiplexing
  - opto-electrical conversion + time switching + space switching + electro-optical conversion

Methods for Solving the Problem

- 1. Using ILP solvers
- 2. Randomised Heuristics for Global Optimisation *directly* applied to the formulated ILP
- 3. Randomised Heuristics for Global Optimisation applied to specially matched models
- 4. Other Heuristics based on Decomposition

Methods for Solving the Problem (1/4)

Using ILP solvers

– re-applied LP with branch-and-bound

– still NP-hard!

Numerical evaluation:

– LP_SOLVE

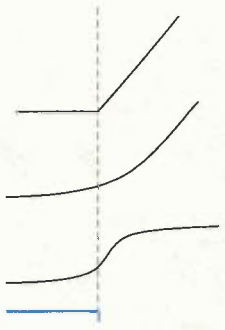
– CPLEX

Methods for Solving the Problem (2/4)

Randomised Heuristics for Global Optimisation directly applied to the formulated ILP

- Simulated Annealing (SA)
- Genetic Algorithm (GA)
- Tabu Search (TS)
- Threshold Accepting (TA)

- C_i measure of violating constraint *i*
- Linear combination of C_i added to the objective
- Instability due to definition of measure



Methods for Solving the Problem (3/4)

- Randomised Heuristics for Global Optimisation applied to specially matched models
  - avoid invalid movements instead of penalty terms
  - more complex, but faster convergence
  - a model specially matched to algorithms

Methods for Solving the Problem (4/4)

- Other Heuristics based on Decomposition
  - random order
  - randomised reallocation (SiAl)
  - sorting

Conclusion

1. WA
   - Wavelength assignment only.
2. RWA
   - General model
   - for various node-types along with
   - heuristic algorithms
   - for simultaneous WR and WA
   - for joint multi-layer optimisation!

LECTURE#L10.: J. GARDNER, J. TÖRÖK: TODAY'S WDM TO TOMORROW'S OPTICAL LAYER †

0.	Contents	C61
1.	Header, Pirelli Cables and Systems	C62
2.	Outline	C62
3.	Technology comparison	C63
4.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 1	C63
5.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 2	C64
6.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 3	C64
7.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4	C65
8.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4	C65
9.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 5	C66
10.	Key Stages in Photonics Road Map: Stage 6	C66
11.	WDM Improves System Efficiency	C67
12.	WDM Saves cost of fibre	C67
13.	Benefit of the Optical Layer – Technical	C68
14.	Benefit of the Optical Layer – Commercial	C68
15.	Wave Mux-platform for the optical layer	C69
16.	Wave Mux-platform for the optical layer	C69
17.	Wave Mux-scalability	C70
18.	Wave Mux-scalability	C70
19.	Frame work Element Management System	C71
20.	WaveMux-band separation principle	C71
21.	WaveMux – 'pay as you grow'	C72
22.	Optical layer today: Cebit'99 demonstration	C72
23.	Summary	C73
24.	WDM Layer for System Efficiency	C73

Contact:
James Gardner C.Eng MIEE
Pirelli UK, Newport, South Wales, UK
e-mail: GardnerJ@PirelliCables.co.uk

Jànos Török P.Eng
Pirelli Hungary,1118 Budapest, Minerva u. 13
Tel: 385-1075
e-mail: pirellikabel@mail.matav.hu

Pirelli proprietary 1999

Outline

- Review history of photonics
- Road map to the optical layer
- WDM v Fibre
- Benefits of the Optical layer
- Introduction to Pirelli's WaveMux platform
- Summary

Pirelli proprietary 1999

C63

PIRELLI

Technology comparison

- Electronics

  1935 Transmission of information
  1945 Processing of information

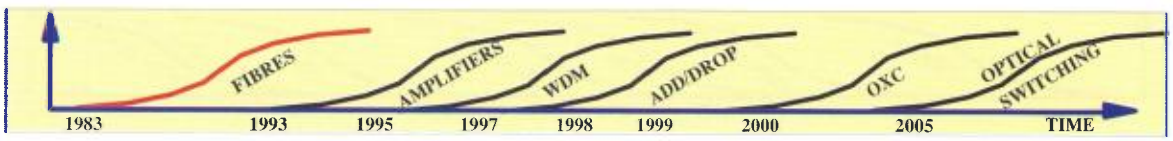
- Photonics

  1995 Transmission of information
  2005? Processing of information

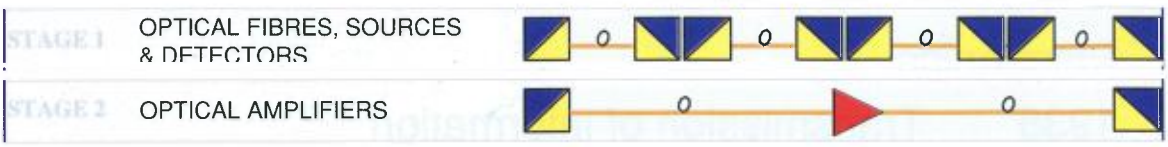
Pirelli proprietary 1999

PIRELLI

Key Stages in Photonics Road Map: Stage 1



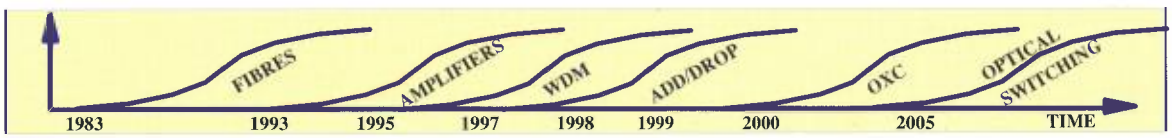
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 2



Amplifier capability

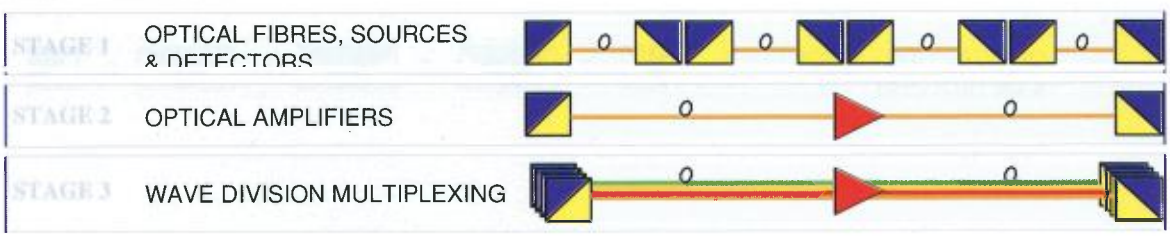
Optical amplifiers: 1529-1561nm C-band
1575-1602nm R-band

Optical reach now: 5 x 25dB (500km)



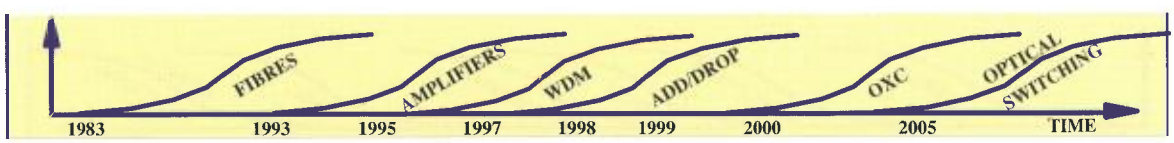
Pirelli proprietary 1999

Key Stages in Photonics Road Map: Stage 3



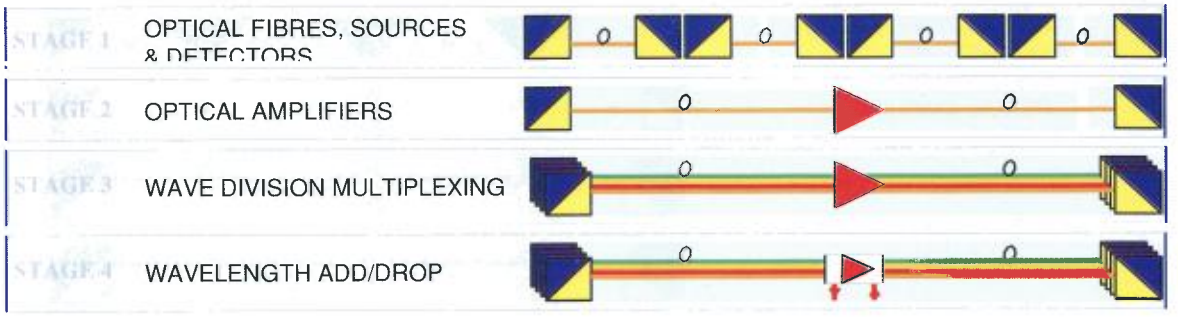
Expand fibre capacity

- SDH 10GBit/s
- DWDM 1280GBit/s



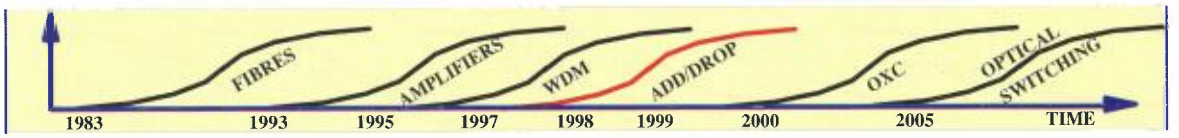
Pirelli proprietary 1999

Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4



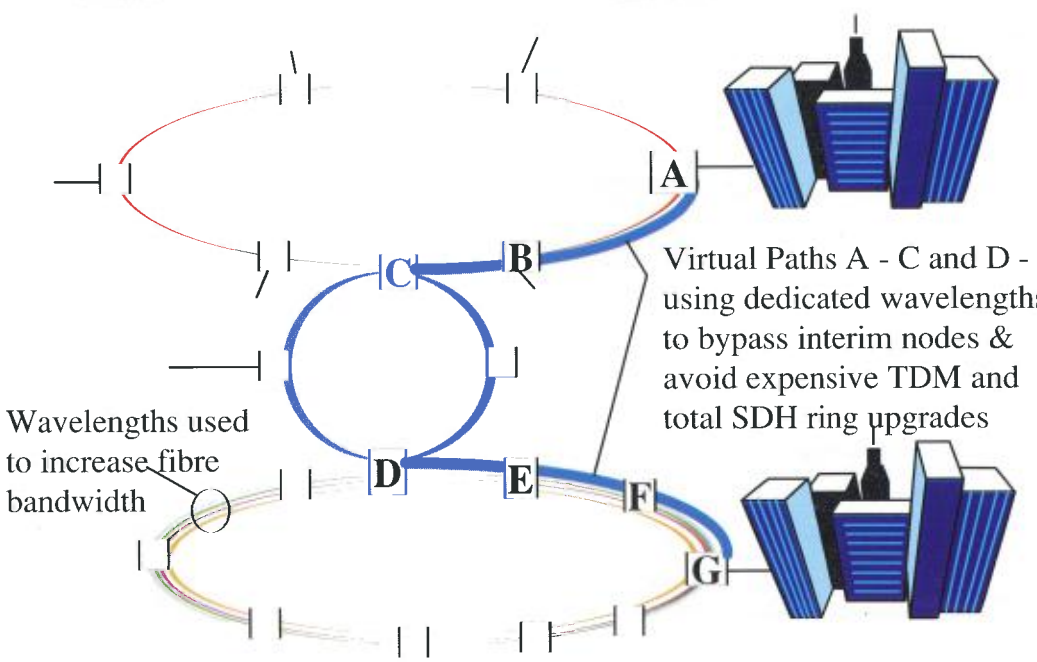
OADM capability

- 33%-50% of total number of wavelength at each amplifier site
- Reduced cost and footprint compared with a terminal site

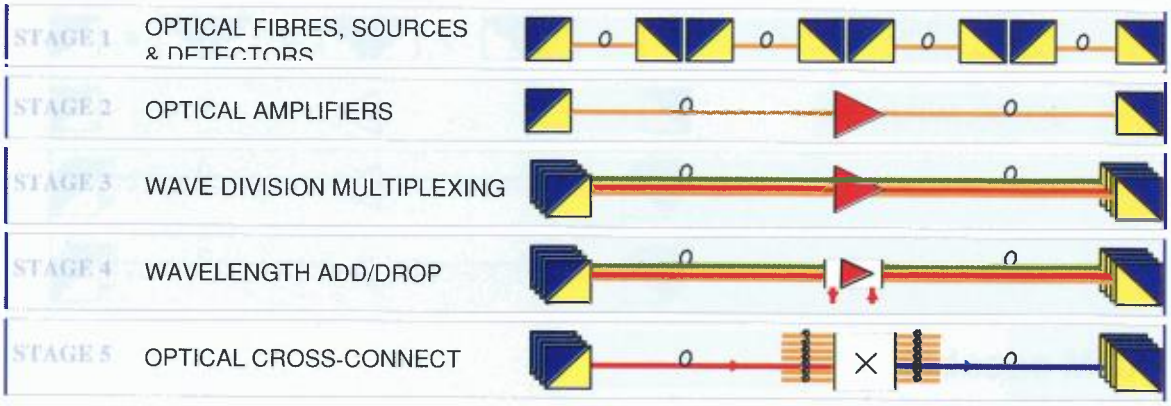


Pirelli proprietary 1999

Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4

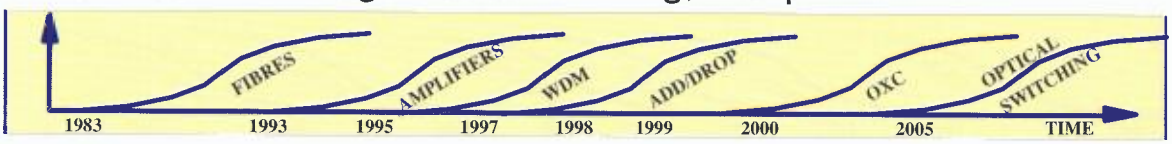


Key Stages in Photonics Road Map: Stage 5



Anticipated OXC capability

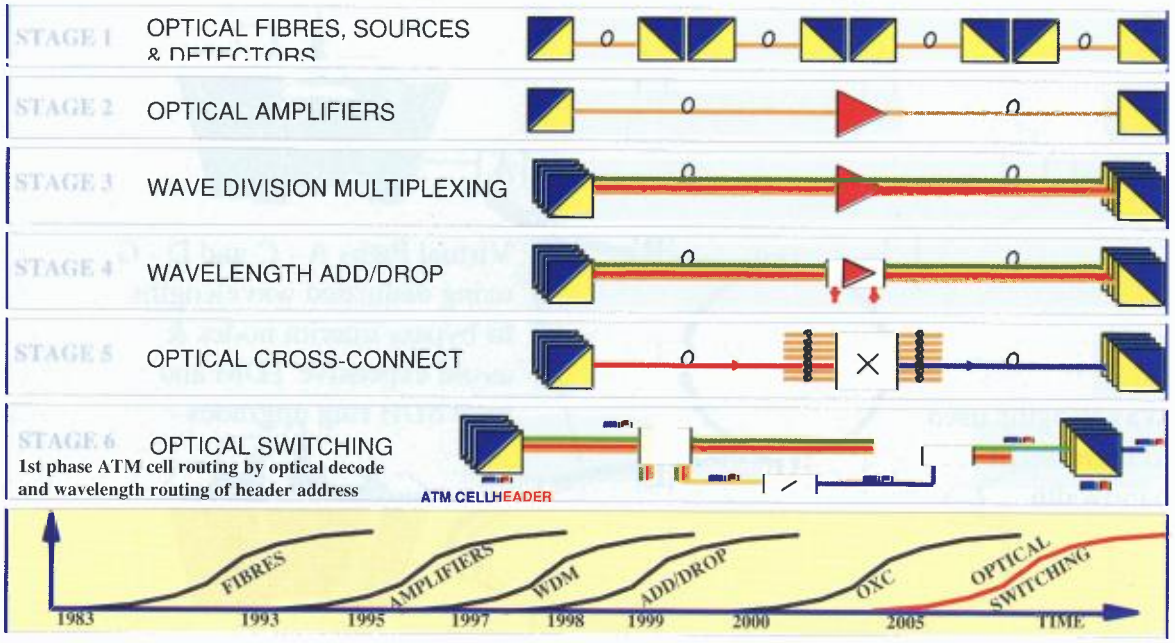
•512x512 wavelengths, non-blocking, fast protection



Pirelli proprietary 1999

9. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 5 C66

Key Stages in Photonics Road Map: Stage 6



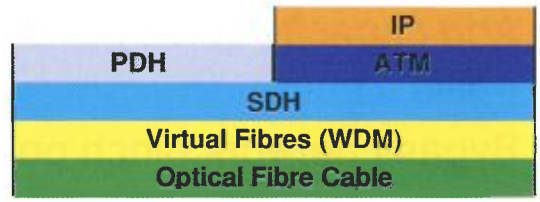
Pirelli proprietary 1999

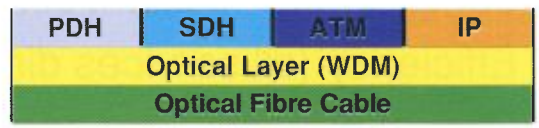
10. Key Stages in Photonics Road Map: Stage 6 C66

WDM Improves System Efficiency

Virtual fibres

'Active' optical layer





ITU-T G.874: Management of the optical layer must be separable from the client layers

Pirelli proprietary 1999

WDM saves cost of fibre

- Virtual fibre
  - "fibre exhaust"
    - US long haul
    - European metropolitan applications
  - "fibre saver"
    - Significant saving via use of WDM compared with multiple pairs of dark fibre

Pirelli proprietary 1999

Benefits of the Optical Layer - Technical

- It is manageable (unlike dark fibre)
- Add capacity quickly and without affecting existing traffic
- Bypass network pinch points
- Transponder-based WDM systems offer transparency to client services.
- Efficiency (all services directly on WDM)
- Optical protection for non-protected traffic (eg IP)
- Ready for the arrival of the OXC

Pirelli proprietary 1999

Benefits of the Optical Layer - Commercial

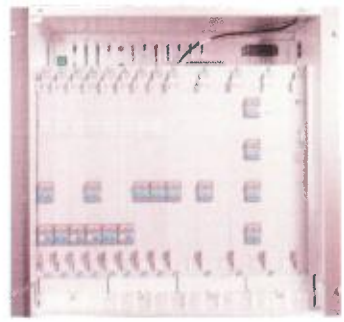
- Reduced network cost
  - "The cost of transferring one terabit of data over a network will reduce from $80K in 1999 to $300 in 2002"
    - Source: Datamonitor January 1999
- Time to market
- New products: sale of managed wavelengths

Pirelli proprietary 1999

C69

PIRELLI

WaveMux - platform for the optical layer



Pirelli proprietary 1999

PIRELLI

WaveMux - platform for the optical layer

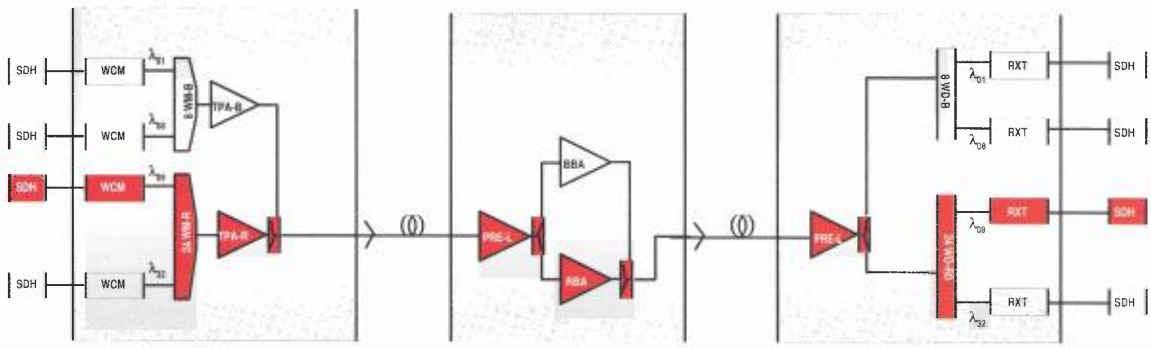
- **HIGH CAPACITY**
  (Up to 128 Channels / 1.28Tbit/s)
- **MULTIPLE BIT RATES**
  (STM-16 and STM-64)
- **COMPREHENSIVE FEATURES**
  (Add/Drop, Embedded Regeneration, optical protection)
- **FOUNDATION FOR FUTURE DEVELOPMENTS**
  (*WaveMetro*, *WaveLoop*, OXC ...)
- **TMN NETWORK MANAGEMENT**
  (*Framework* for all Pirelli platforms)
- **OPERATION ON ALL FIBRE TYPES**
  (G.652, G.653, G.655)

WaveMux - scalability

C70

Initial configuration :

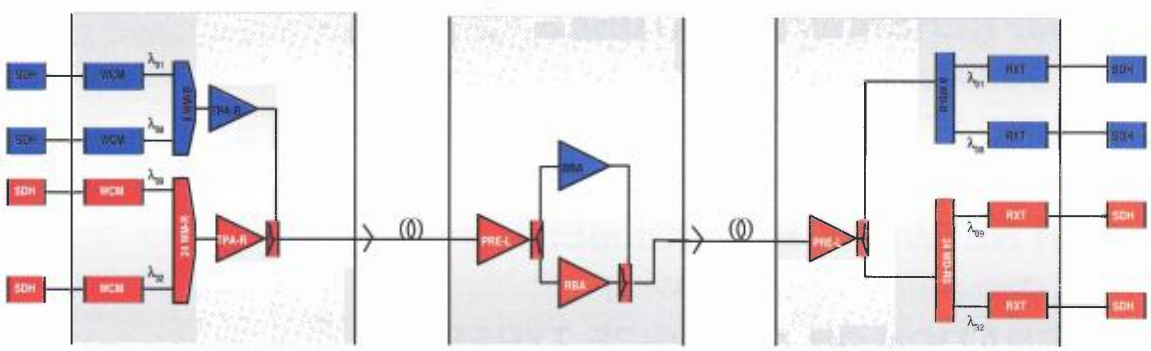
- 1 channel activated (1 WCM, 1 RXT)
- Start with the "red band" modules



WaveMux - scalability

Migration to 32 channels

- By adding "blue band" modules
- By adding transponders sequentially
- No interruption of service on "red band" channels



Pirelli proprietary 1999

C71

PIRELLI

Framework Element Management System

- TMN compliant
- Standards based: HP Openview, Q3 interfaces
- Remote access
- Scalability up to 300 network elements
- Management of Faults, Alarms, Configurations and Security (FCAPS)
- Software download

Pirelli proprietary 1999

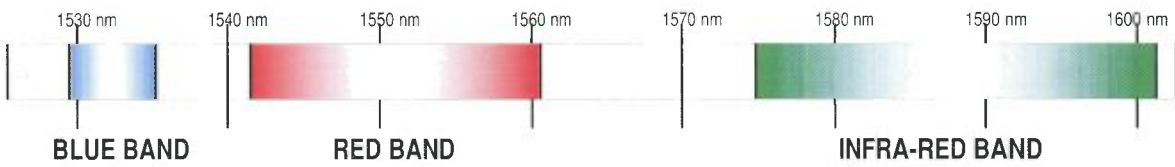
PIRELLI

WaveMux - band separation principle

BLUE BAND (1529-1536 nm region)
8 channels 100 GHz spaced, or
16 channels 50 GHz spaced can be multiplexed.

RED BAND(1542-1561nm region)
24 channels 100 GHz spaced, or
48 channels 50 GHz spaced can be multiplexed.

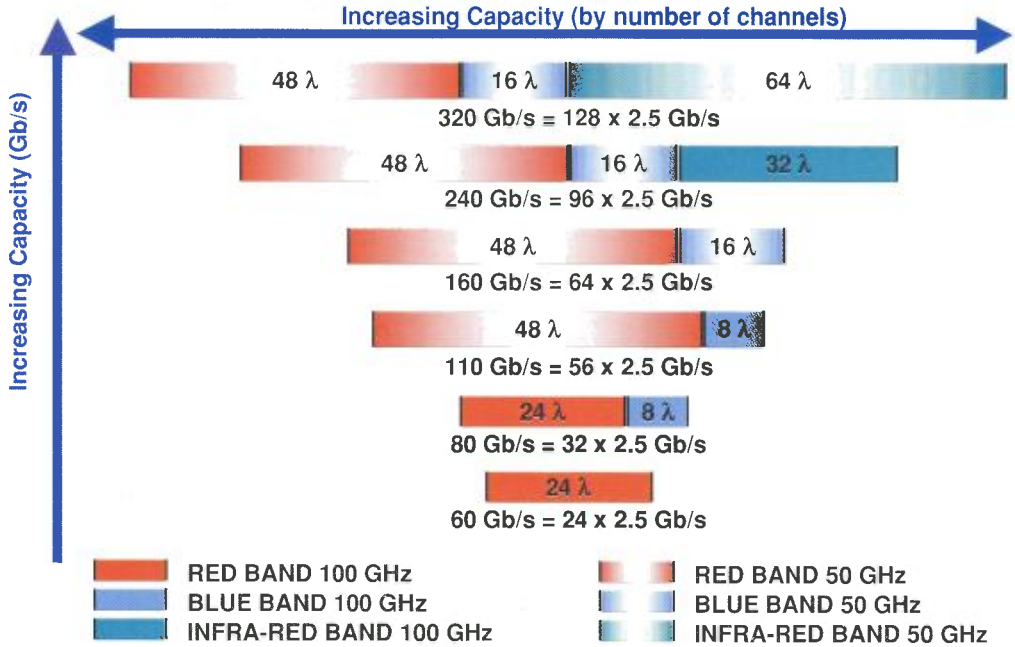
INFRA-RED BAND(1575-1602 nm region)
32 channels 100 GHz spaced, or
64 channels 50 GHz spaced can be multiplexed.



Pirelli proprietary 1999

WaveMux - 'pay as you grow'

C72

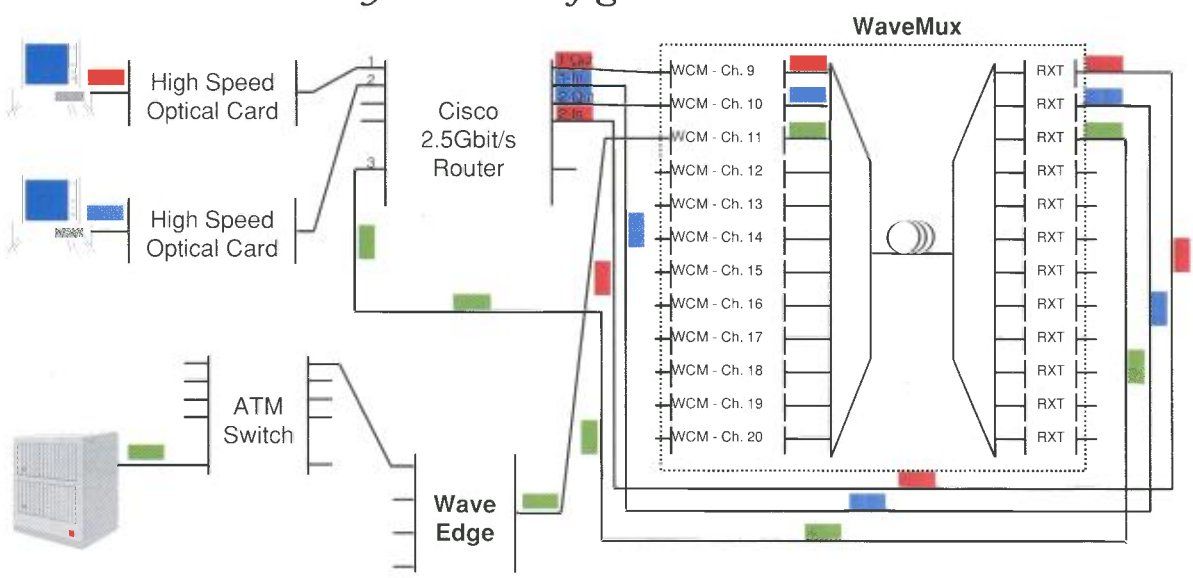


Pirelli proprietary 1999

21. WaveMux - 'pay as you grow' C72

Optical layer today : CeBit 99 demonstration

System Configuration



Pirelli proprietary 1999

22. Optical layer today: Cebit'99 demonstration C72

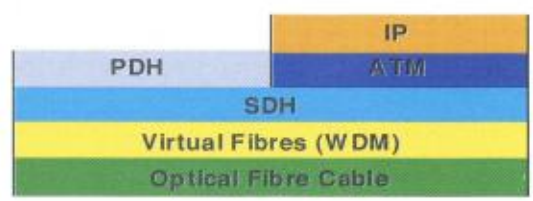
Summary

- The optical layer is available today
- New telecom investments should:
  - have a clear upgrade path (hardware and software) to full optical layer functionality
  - whilst minimising today's build costs
  - independence from client service layers (eg SDH)
- The optical layer offers
  - Network efficiencies essential to meet dramatic reductions in the price per bit anticipated over next few years
- WaveMux is the foundation : Pirelli will continue to pioneering future developments

Pirelli proprietary 1999

WDM Layer for System Efficiency

Virtual fibres



'Active' optical layer

ITU-T G.874: Management of the optical layer must be separable from the client layers

híradástechnika

April, 2000/4

1946-2000

VOLUME LV.

PROCEEDINGS of the

1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

Budapest, 23 March, 1999

PART D

Lecture # L11-L15

L11.	J. Kováts: Siemens WDM products*	D1
L12.	D. Plekenpol: Optical capacity of millenium**	D13
L13.	E. Sjögeras: Doorway to the terabit society**	D39
L14.	A. Ehrhardt: WDM research activities of DT**	D54
L15.	R. Davey: Experiences of WDM in BT networks*	D65

*Slides numbered L-Lecture **Slides w/o numbering

LECTURE#11.: J. KOVÁTS: SIEMENS WDM PRODUCTS TODAY&TOMORROW *

0	Contents	D1
1	Header, Siemens	D2
2	Main WDM Applications	D2
3	Siemens Product Strategy	D3
4	Siemens TransXpress WDM Portfolio	D3
5	Leadership in Span Performance	D4
6	Siemens TransXpress WDM Products, Reference Countries	D4
7	Siemens Product Strategy	D5
8	System Applications, Chain with Fixed OADM	D5
9	System Applications, Transponders	D6
10	High Capacity Research Projects	D6
11	Siemens Product Strategy	D7
12	1+1 Line Protection using SDH Mechanism	D7
13	Optical 1+1 Line Protection Switching	D8
14	TransXpress WaveLine – integrates Optical Functionality	D8
15	TransXpress WaveLine – High Modularity	D9
16	Siemens Product Strategy	D9
17	ACTS OTN Projects – Siemens & Italtel Participation	D10
18	PHOTON and MOON Field Trials	D10
19	Gigabit-Ethernet Transmission over 1570 km	D11
20	Next Generation Optical Transport Network	D11
21	Operator Benefits	D12
22	WDM Transmission - Optical Routing	D12

SIEMENS WDM PRODUCTS TODAY & TOMORROW

Main WDM Applications

- **All Network Areas:**
  fibre shortage
  - Multiple use of fibres
- **Long Distance Core Networks:**
  high capacity transmission
  - Multiple use of optical amplifiers yielding decreased investment and maintenance cost
- **Metropolitan Networks:**
  format and bit-rate transparency
  - eg data/video over optical transport networks

D03

SIEMENS TransXpress WDM Portfolio: *Leadership in Span Performance*

TransXpress Infinity
MULTIWAVELENGTH TRANSPORT SYSTEM

Ultra-high capacity 320 Gbit/s

Ultra-long haul 600 km

TransWave™ WL

longest span
non regenerated
1200 km

TransXpress Infinity WLS

longest unrepeated
span 370 km

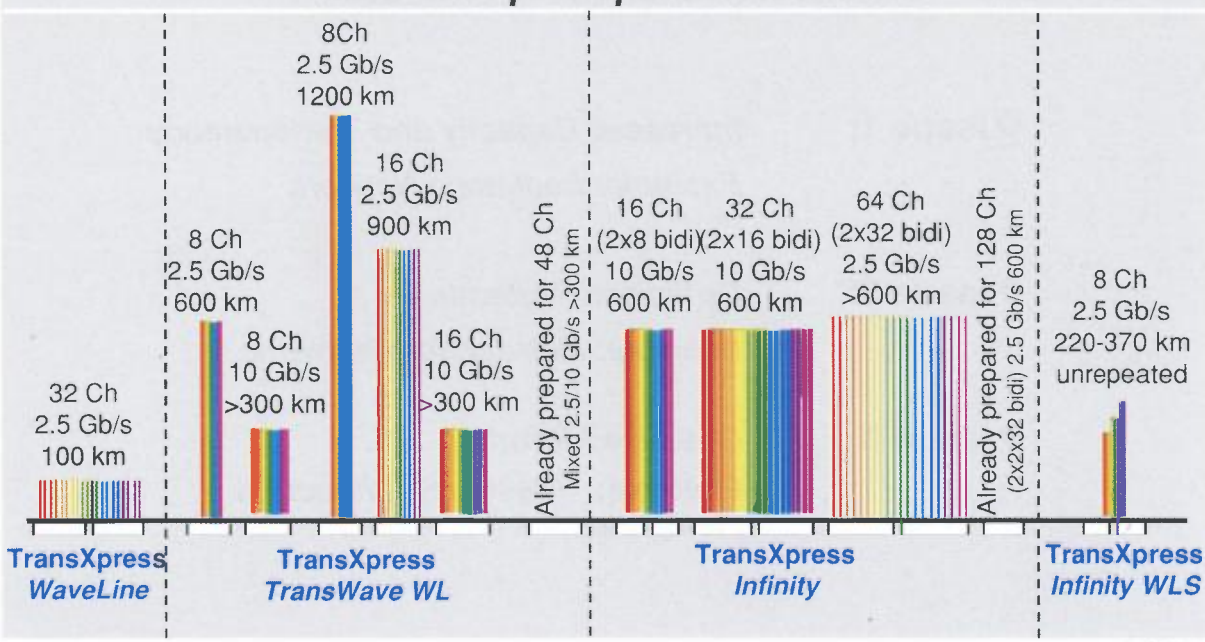
TransXpress WaveLine

Gigabit Services for
Metropolitan Area

3

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

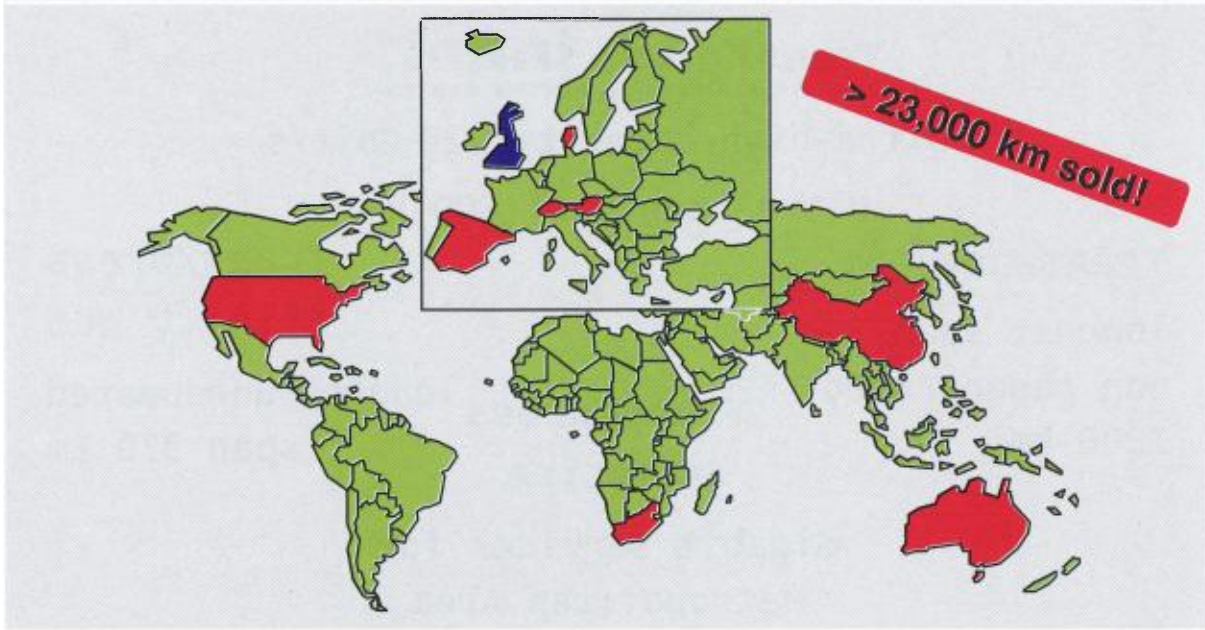
SIEMENS TransXpress WDM Portfolio: *Leadership in Span Performance*



4

J. Kovats

SIEMENS TransXpress WDM Products: Reference Countries



5

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

5. Leadership in Span Performance D4

Optical Transport Networks: SIEMENS Product Strategy

- **Issue 1:** *Increased Capacity and Transparency*
  Example: Backbone Network
- **Issue 2:** *Optimized Protection*
  Example: Metropolitan Network
- **Issue 3:** *Optimized Routing*
  Example: Research Projects & Field Trials

6

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

6. Siemens TransXpress WDM Products, Reference Countries D4

D05

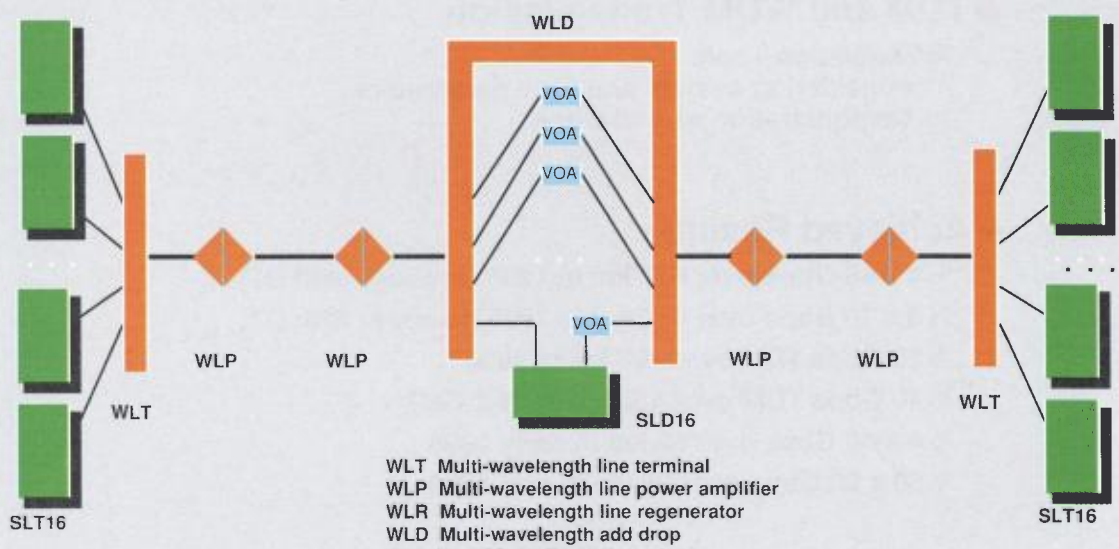
Optical Transport Networks: SIEMENS Product Strategy

◆**Issue 1:** ***Increased Capacity and Transparency***

TransXpress TransWave WL
for backbone & long distance networks

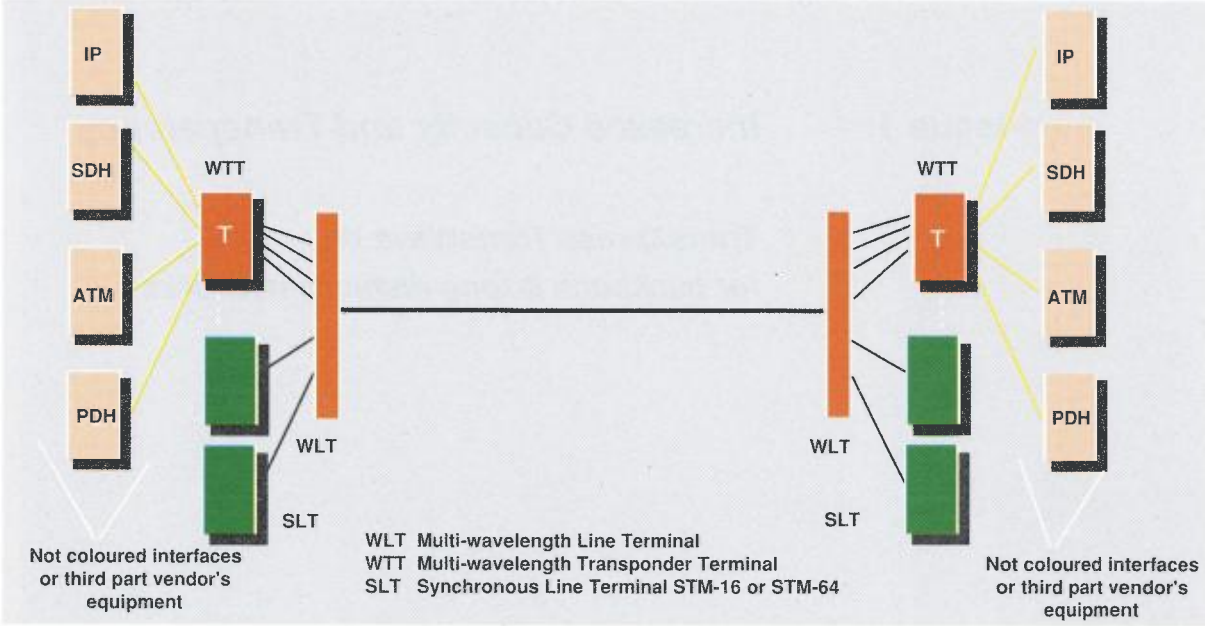
J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

System Applications
Chain applications with fixed OADM



J. Kovats

System Applications
Transponder applications



J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

Optical Transport Networks:
High Capacity Research Projects

- **TDM and WDM Transmission**
  - Simulation Tools
    considering system and fibre parameters
    Demonstration of ≥ 40 Gbps

- **Achieved Results**
  - 4 x 10 Gbps over 617 km in 1995 (in coop. with DT)
  - 8 x 10 Gbps over 412 km in 1995 (in coop. with DT)
  - 20 Gbps TDM over 198 km in 1996
  - 40 Gbps TDM over 150 km in mid 1997
  - 4 x 40 Gbps over 50 km in early 1998
  - 60 x 20 Gbps over 90 km in mid 1998

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

D07

Optical Transport Networks: SIEMENS Product Strategy

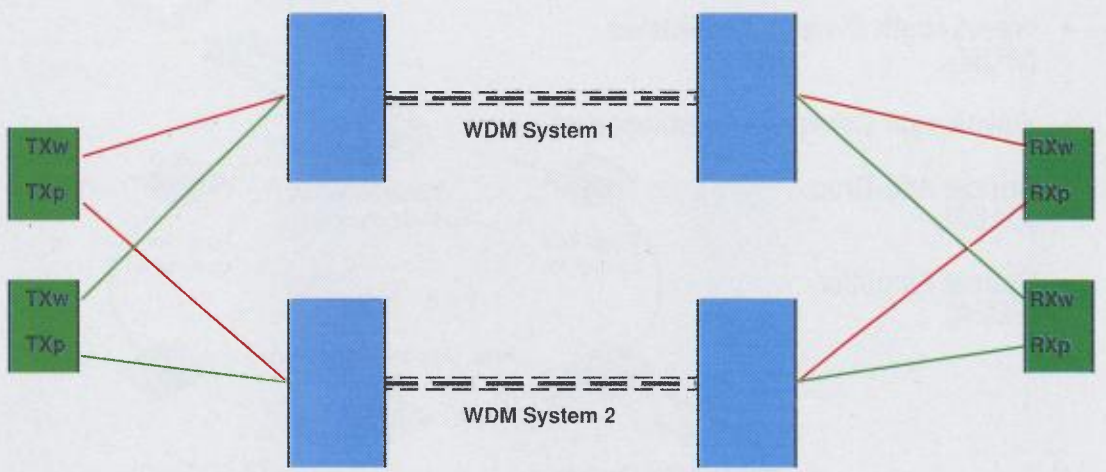
- **Issue 2:** *Optimized Protection*

  - Optical Line Protection
  - Optical Ring Protection

  TransXpress WaveLine
  for Metropolitan Networks

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

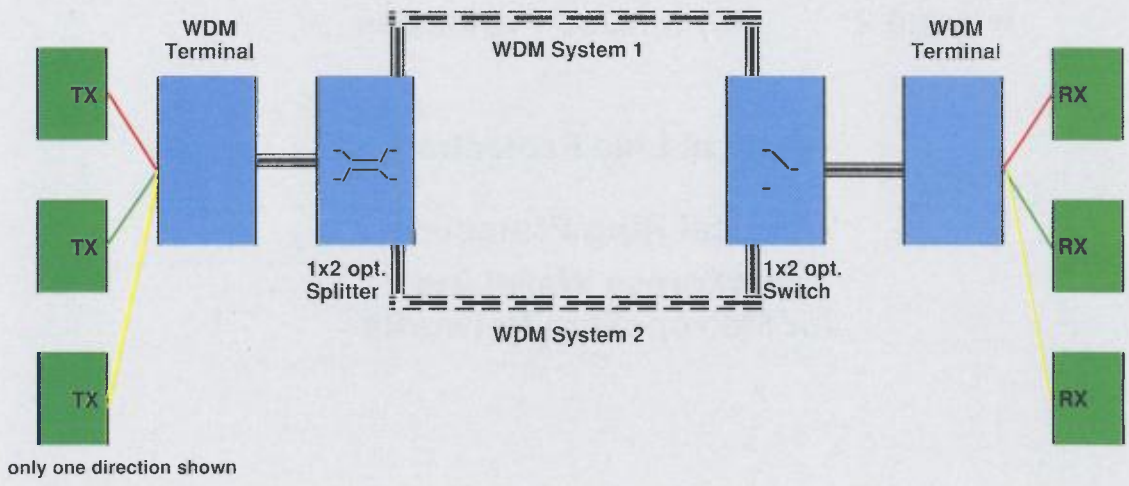
1+1 Line Protection using SDH Protection Mechanism



only one direction shown

J. Kovats

Optical 1+1 Line Protection Switching



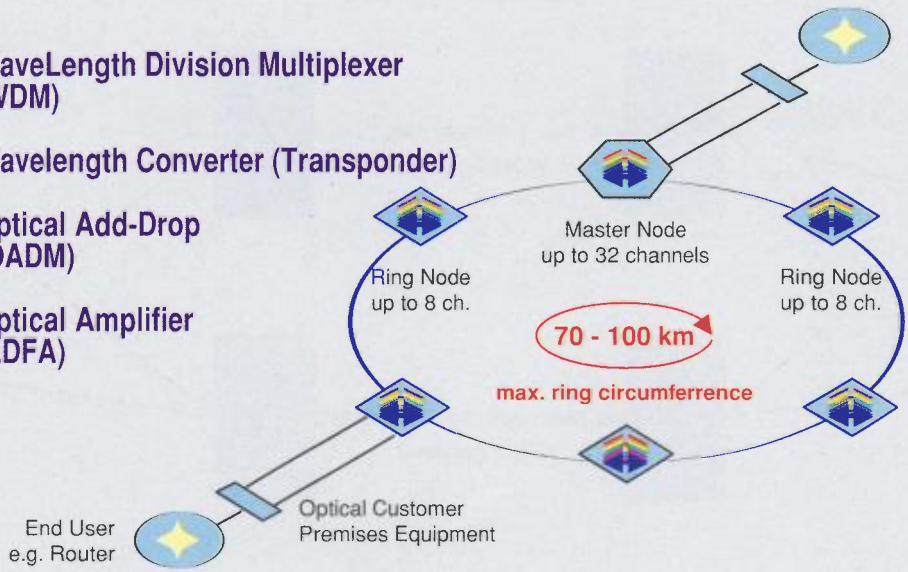
13

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

13. Optical 1+1 Line Protection Switching D8

TransXpress WaveLine integrates Optical Functionalities in one System

- WaveLength Division Multiplexer (WDM)
- Wavelength Converter (Transponder)
- Optical Add-Drop (OADM)
- Optical Amplifier (EDFA)



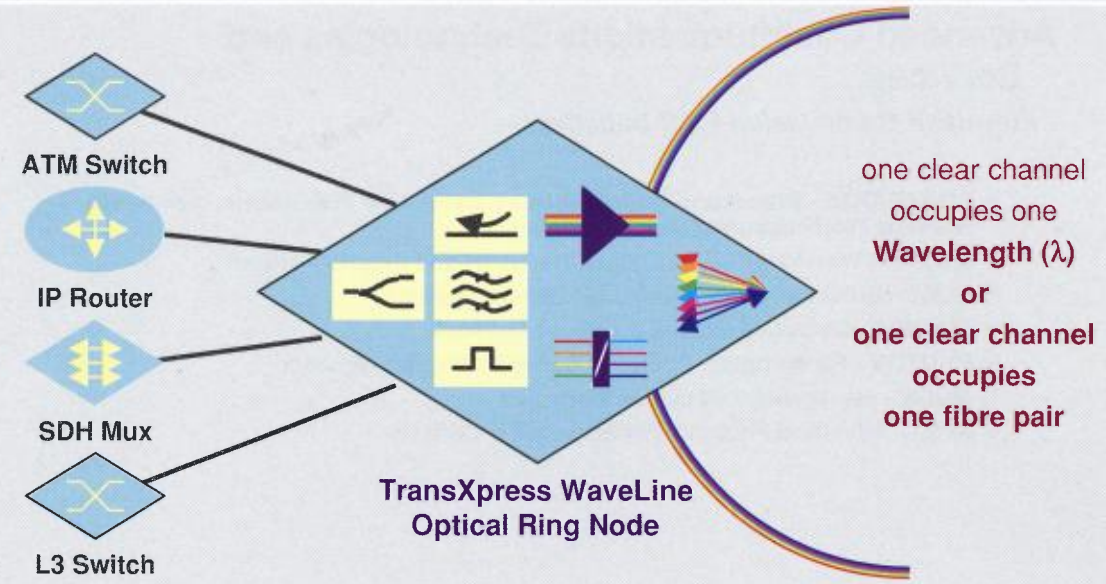
14

J. Kovats

14. TransXpress WaveLine - integrates Optical Functionality D8

D09

TransXpress WaveLine - High Modularity



15

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

15. TransXpress WaveLine - High Modularity D9

Optical Transport Networks: SIEMENS Product Strategy

- Issue 3: *Optimized Routing*

  - Optical Add-Drop Multiplexing
  - Optical Cross-Connecting

Research Projects and Field Trials
Future Optical Networks

16

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

16. Siemens Product Strategy D9

D10

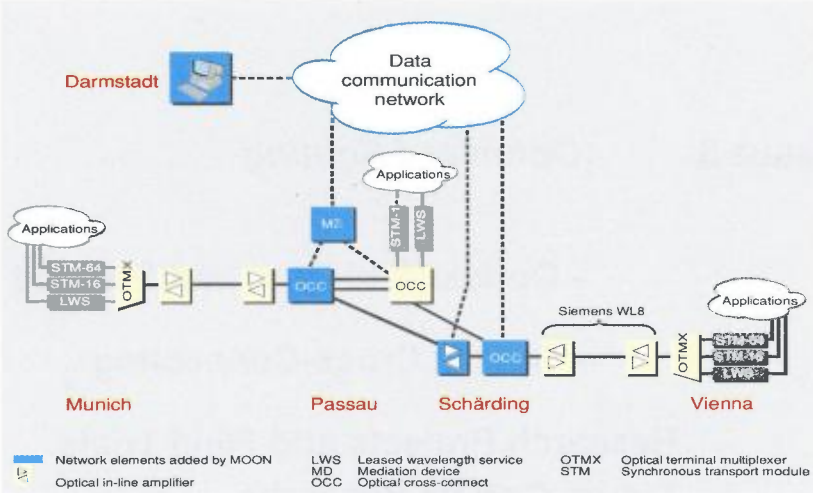
ACTS OTN Projects with SIEMENS and ITALTEL Participation

Advanced Communications Technologies and Services

- European Commission R&D Initiative -

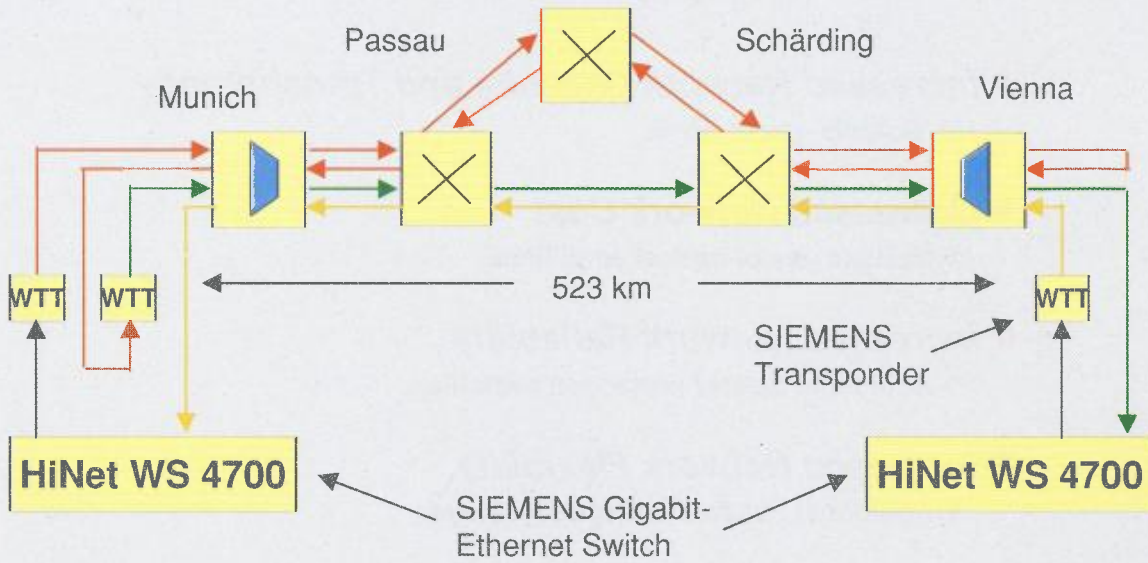
- BONAPARTE - Broadband Optical Network using ATM PON Access facilities in Realistic Telecommunications Environments
- WOTAN - Wavelength-agile Optical Transport and Access Network
- BLISS - Broadband Lightwave Sources and Systems
- COBNET - Corporate Optical Backbone Network
- *PHOTON - Paneuropean Photonic Transport Overlay Network*
- *MOON - Management Of Optical Networks*
- APEX - Advanced Photonic Experimental X-Connect

PHOTON and MOON Field Trials



D11

Gigabit-Ethernet Transmission over 1570 km using the MOON Field Trial Network

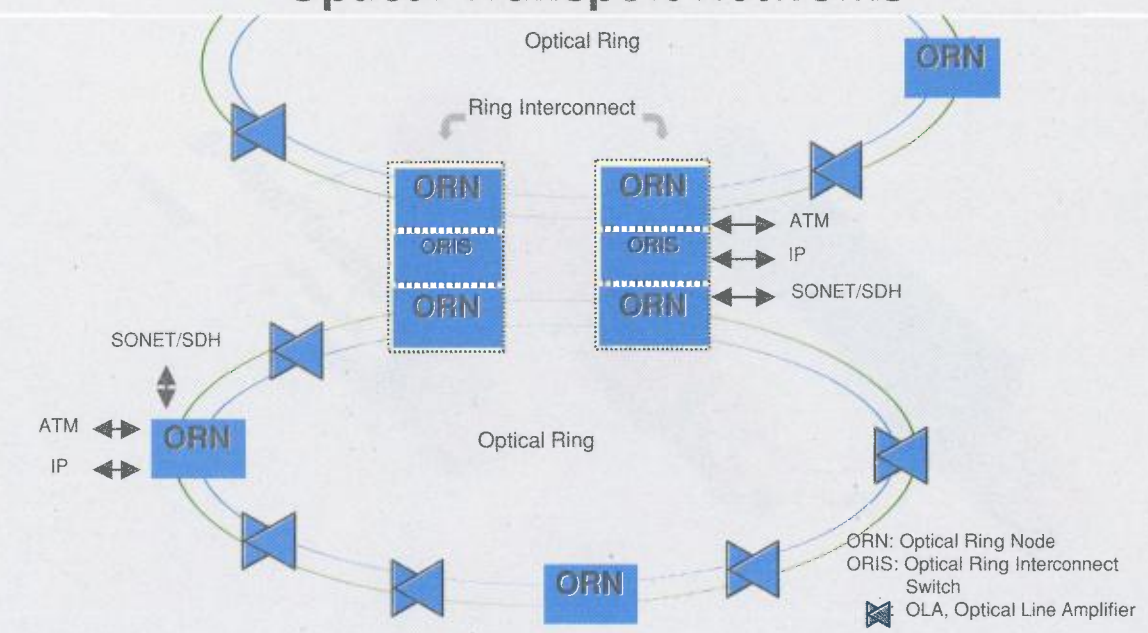


19

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

19. Gigabit-Ethernet Transmission over 1570 km D11

Next Generation Optical Transport Networks



20

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99

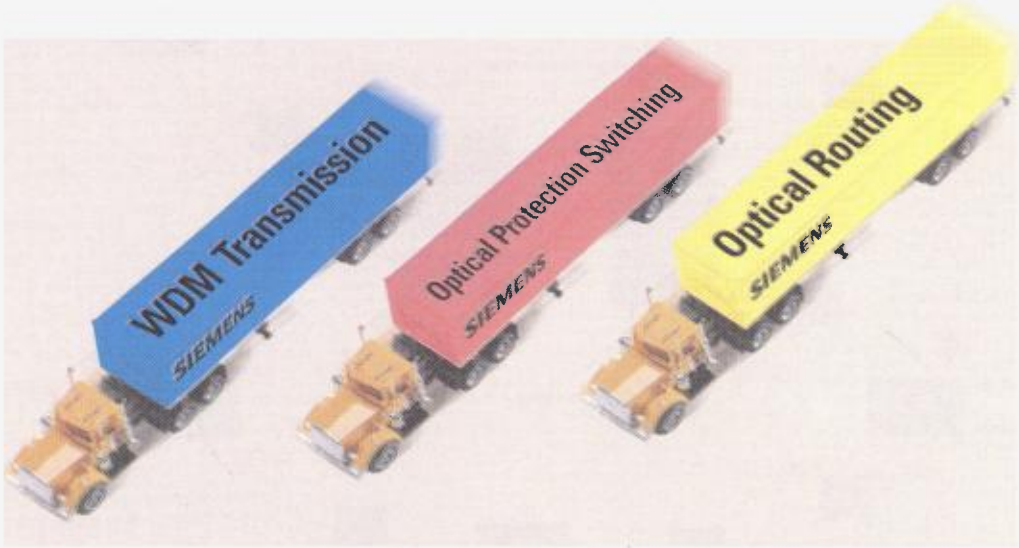
20. Next Generation Optical Transport Network D11

D12

Optical Transport Networks: Operator Benefits

- ***Increased Network Capacity and Transparency***
  - Multiple use of fibres
- ***Decreased Network Cost***
  - Multiple use of optical amplifiers
- ***Increased Network Reliability***
  - Additional optical protection switching
- ***Increased Network Flexibility***
  - Additional network layer: optical layer

J. Kovats
ICN TR VT1, 03/99



J. Kovats

LECTURE#12.: D. PLEKENPOL: OPTICAL CAPACITY INTO THE NEXT MILLENNIUM †

0.	Contents	D13
1.	Header, Lucent Technologies, Optical Networking	D14
2.	Capacity into the Next Millennium	D14
3.	European Internet Backbone/Transit Traffic/1997	D15
4.	European Internet Backbone/Transit Traffic/2002	D15
5.	European Internet Backbone/Transit Traffic/2005	D16
6.	The Problems with Rear View Mirrors, up to 2010	D16
7.	BW Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (Elasticity)	D17
8.	BW Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (Electricity)	D17
9.	BW Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (DRAM)	D18
10.	Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices	D18
11.	DWDM-Technology Catalyst, Cost & Flexibility	D19
12.	The type about DWDM-Sheer Capacity Gain	D19
13.	Commercialisation Strategies	D20
14.	A Rational Investment Model Evolves	D20
15.	Disruptive Techno.'s: Adapt or be Swallowed by the Black Mole	D21
16.	Keep Pace with the Technology cost Curve or Die	D21
17.	The Supply Side Market is Populated	D22
18.	Supply-Side Capacity comes to Europe	D22
19.	Supply-Side Capacity comes to Europe	D23
20.	Supply-Side Capacity comes to Europe	D23
21.	Supply-Side Capacity comes to Europe	D24
22.	Supply-Side Capacity comes to Europe	D24
23.	Project Oxygen	D25
24.	Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe	D25
25.	Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe	D26
26.	Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe	D26
27.	European PTTs-seizing Wholesale market	D27
28.	Margin Advantage	D27
29.	From Optical Transport to Optical Networking	D28
30.	The Unifying Optical Layer	D28
31.	Networking Layers – Today	D29
32.	Network Layers – Vision	D29
33.	Optical Networking Portfolio	D30
34.	WaveStar™ OLS Family	D30
35.	WaveStar™ OLS 80G	D31
36.	WaveStar™ OLS 400G – is your network „STM-64 Ready?"	D31
37.	WaveStar ™ 10G	D32
38.	40 Gb/s WDM Systems, 1.2 Tb/s (30 Channels)	D32
39.	WaveStar ™ Bandwidth Manager (BWM): The Concept	D33
40.	BWM, Global Crossing Pan European Network	D33
41.	BWM, Global Crossing Pan European Network 2	D34
42.	BWM, Global Crossing Pan European Network 3	D34
43.	BWM, Global Crossing Network Modelling	D35
44.	Realising the Terabit Office	D35
45.	The Packet Star IP Switch	D36
46.	Free Space Optics: Rapid Metro Entry	D36
47.	The Lucent Engineered TeraNet	D37
48.	Global Footprint-Optical Networking Customers	D37
49.	Welcome to Photon Valley	D38
50.	Wavestar Platform	D38

Bell Labs

Wireless

Data Networking

New Ventures

Optical Networking

Microelectronics

Network Products

Intellectual Property

Communications Software

Switching & Access Systems

Global Service Providers

BusinessCommunications Systems

Optical Capacity Into the Next Millenium

David Plekenpol
Optical Networking
Product Marketing Director

1. Header, Lucent Technologies, Optical Networking D14

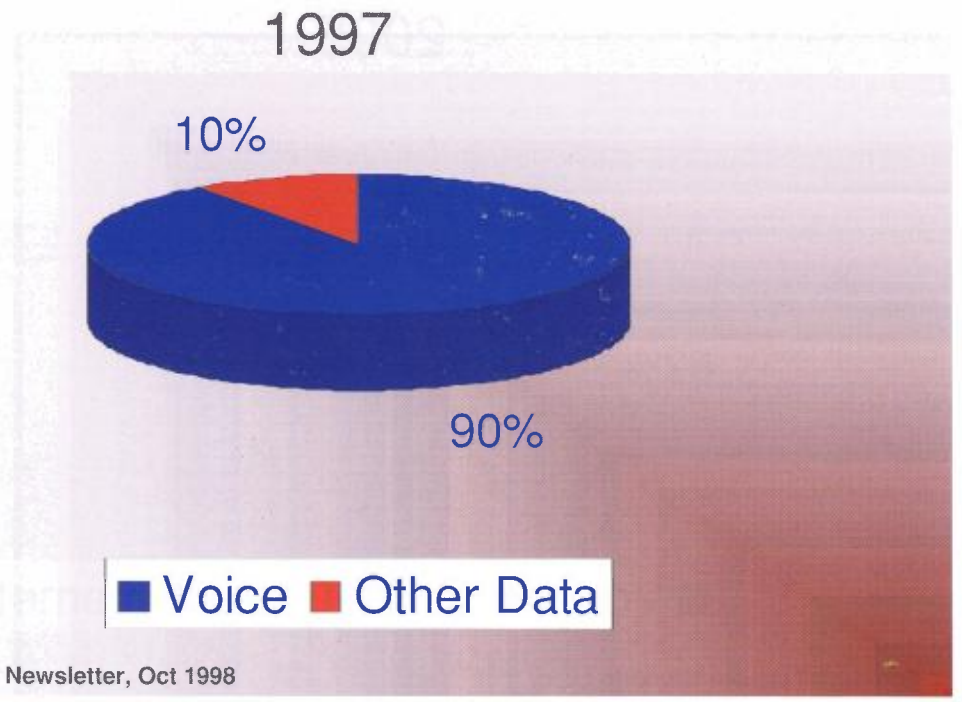
Capacity into the Next Millenium

- Bandwidth Explosion - Supply Side Economics
  - Disruptive Technologies alter European pricing
- Evolution from Optical Transport to Networking
- WaveStar Product Portfolio
- Investment leadership for the future

2. Capacity into the Next Millennium D14

D15

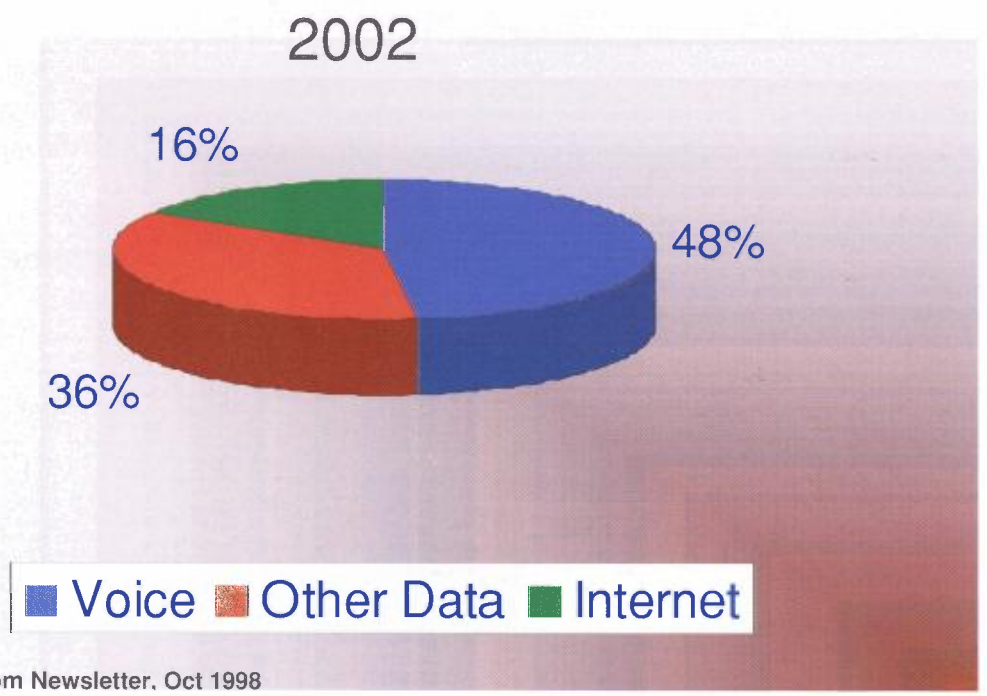
European Internet Backbone/Transit Traffic



European Telecom Newsletter, Oct 1998

3. European Internet Backbone/Transit Traffic/1997 D15

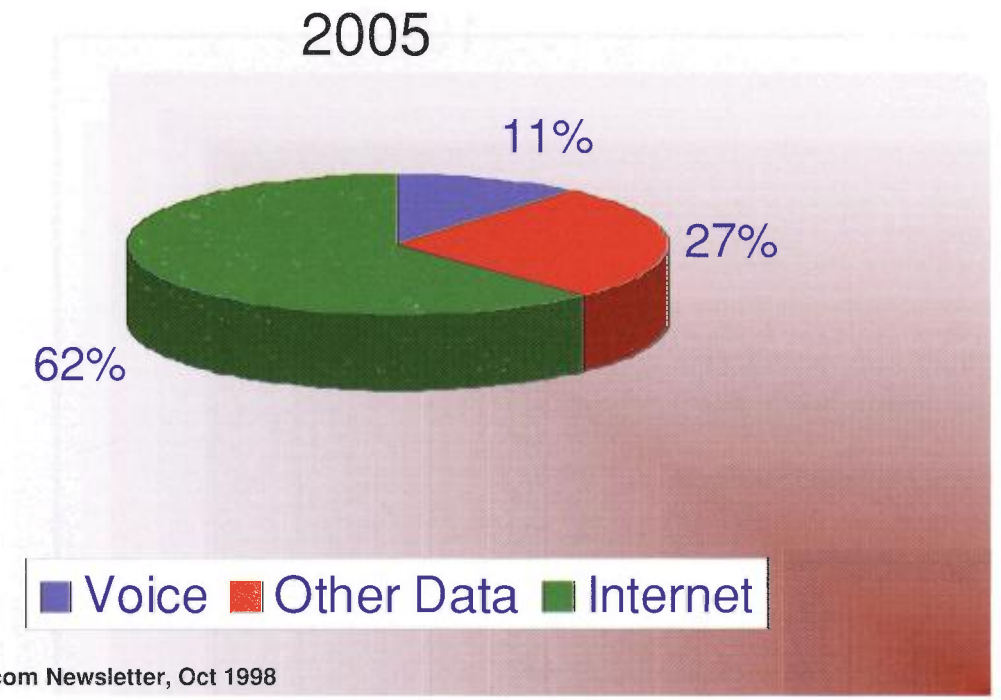
European Internet Backbone/Transit Traffic



European Telecom Newsletter, Oct 1998

4. European Internet Backbone/Transit Traffic/2002 D15

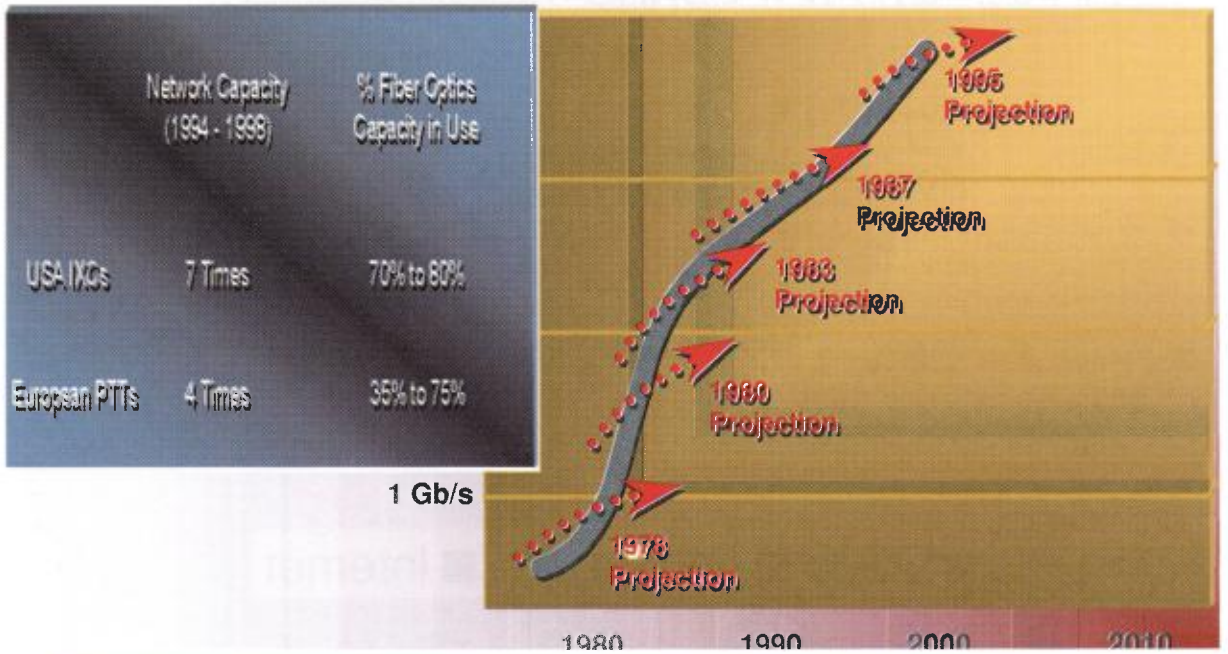
European Internet Backbone/Transit Traffic



European Telecom Newsletter, Oct 1998

5. European Internet Backbone/Transit Traffic/2005 D16

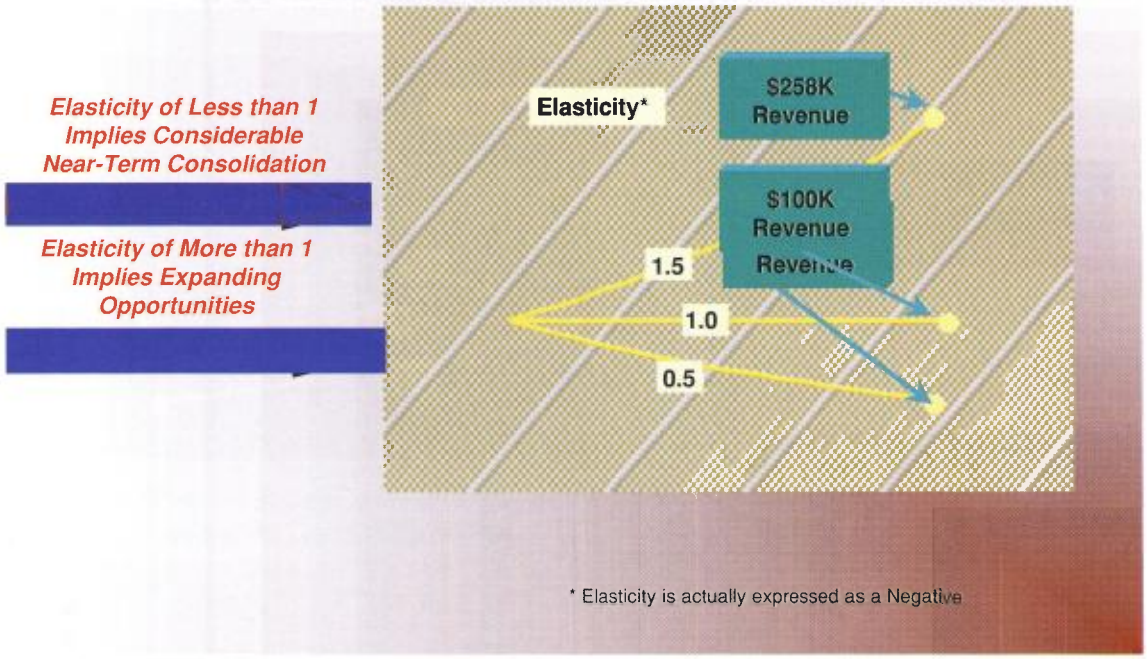
The Problems With Rear View Mirrors



6. The Problems with Rear View Mirrors, up to 2010 D16

D17 ndwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices

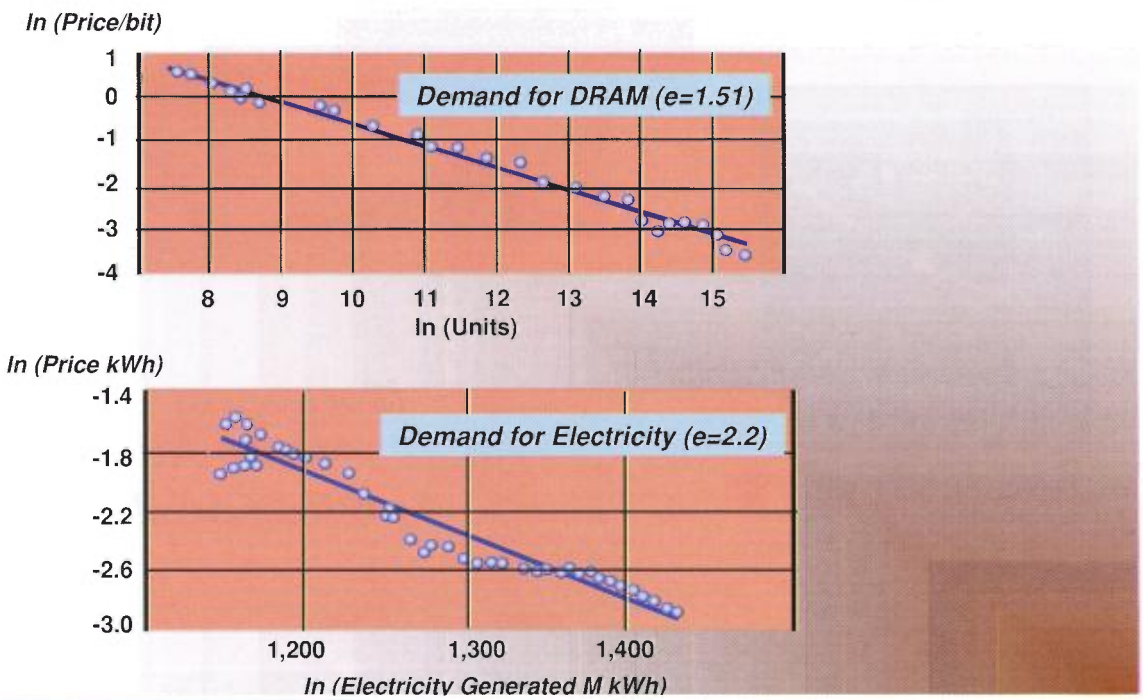
Supply Side Model



7. BW Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (Elasticity) D17

Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices

Supply Side Model



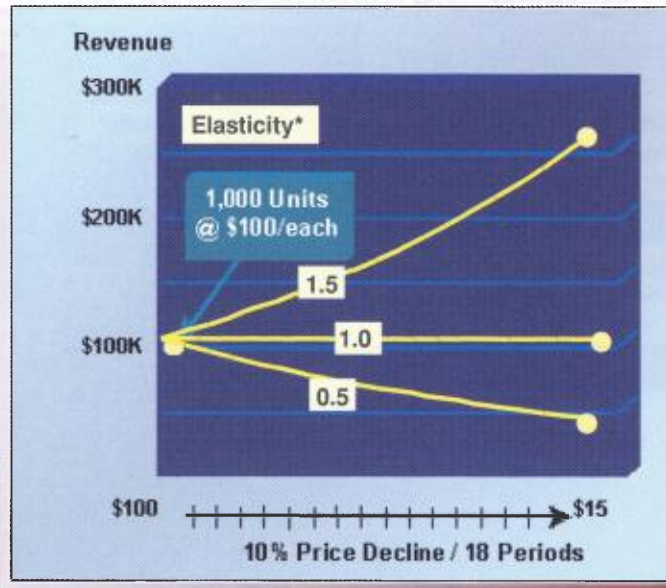
8. BW Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (Electricity) D17

Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices

Supply Side Model

Electricity = 2.2

DRAM = 1.51



Estimated Price Elasticity for Bandwidth is 1.4 to 1.5 !

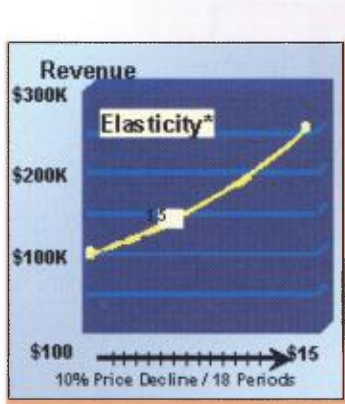
* Elasticity is actually expressed as a Negative

9. BW Economics: Impact of Rapidly Descending Prices (DRAM) D18

Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices

Supply Side Model

Will Elasticity Stay Constant at 1.4 - 1.5?



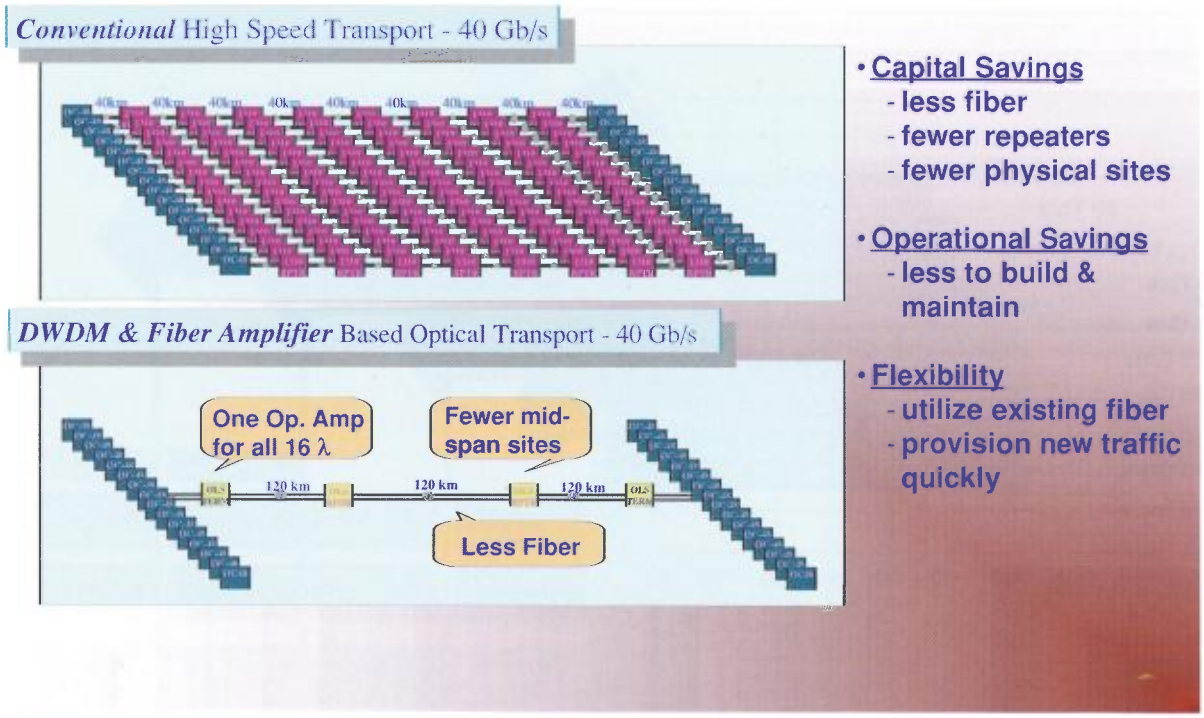
* Elasticity is actually expressed as a Negative

YES!

Marketing
Retail - Value Added
Applications!

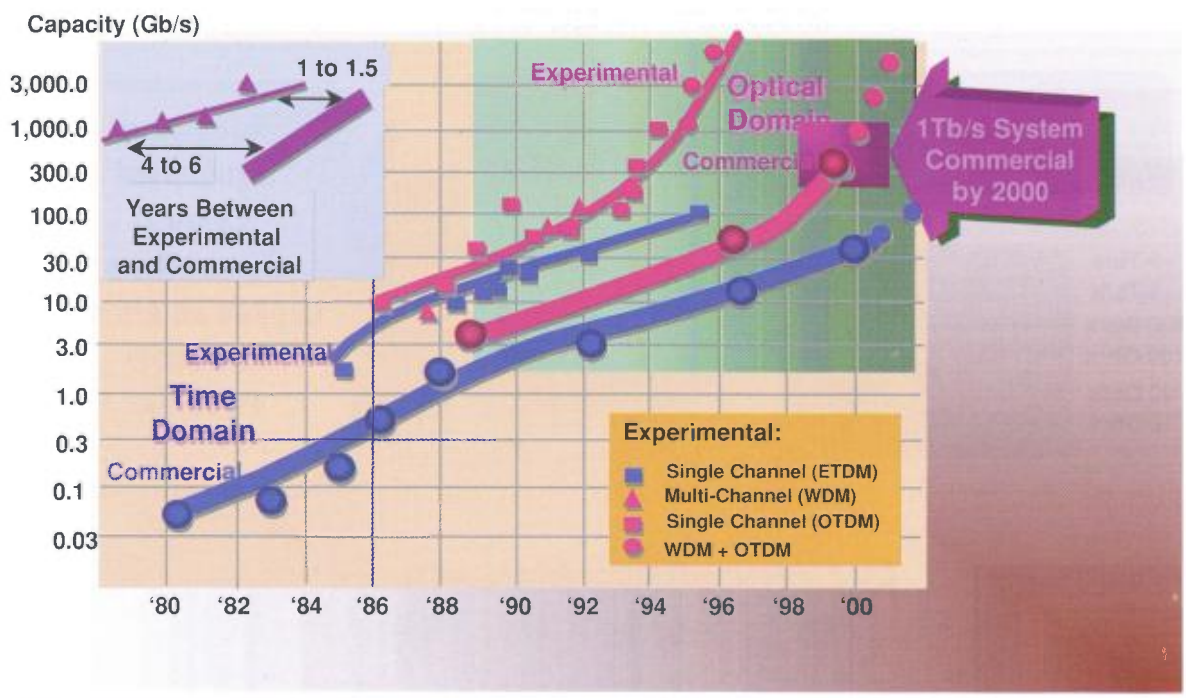
10. Bandwidth Economics: Impact of Rapidly Descending Prices D18

D19 M - Technology Catalyst
Cost & Flexibility



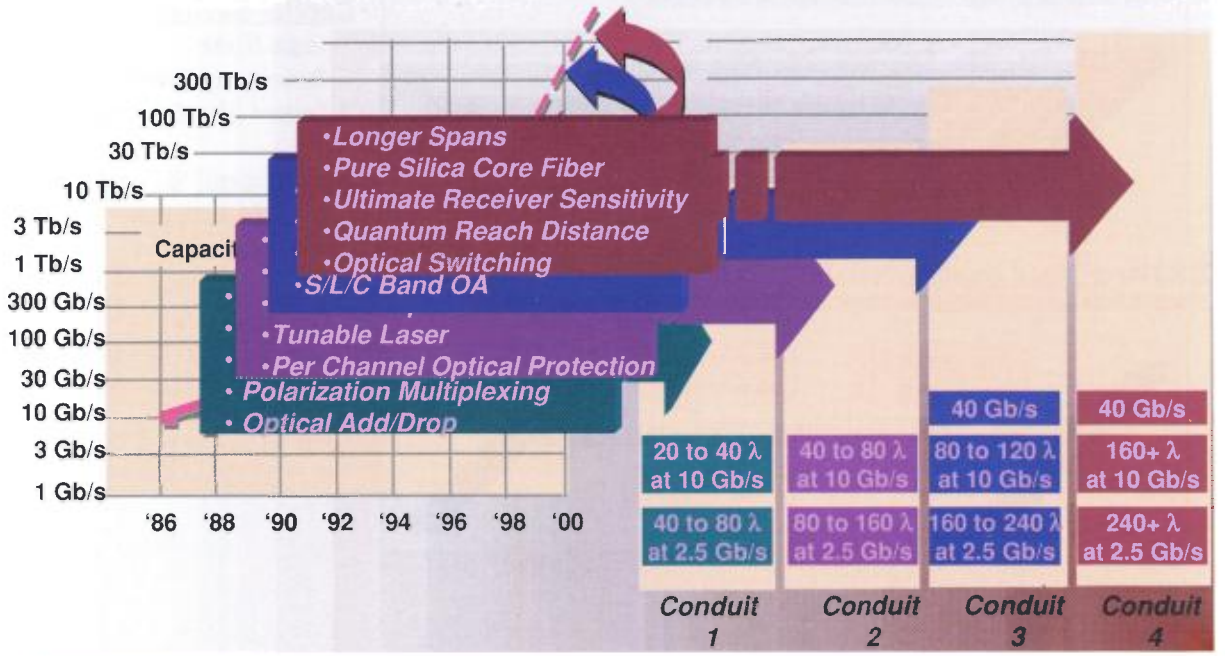
11. DWDM-Technology Catalyst, Cost & Flexibility D19

The Hype about DWDM - Sheer Capacity Gain



12. The type about DWDM-Sheer Capacity Gain D19

Commercialization Strategies

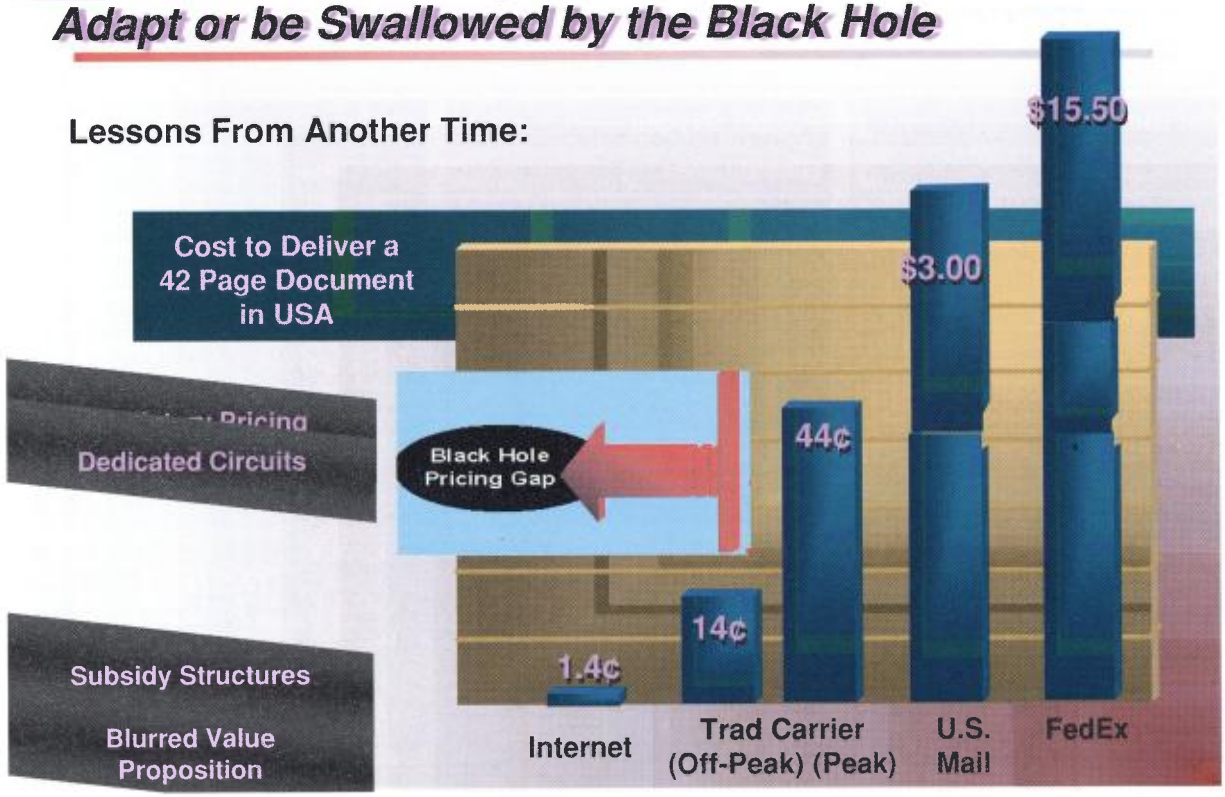


13. Commercialization Strategies D20

A Rational Investment Model Evolves

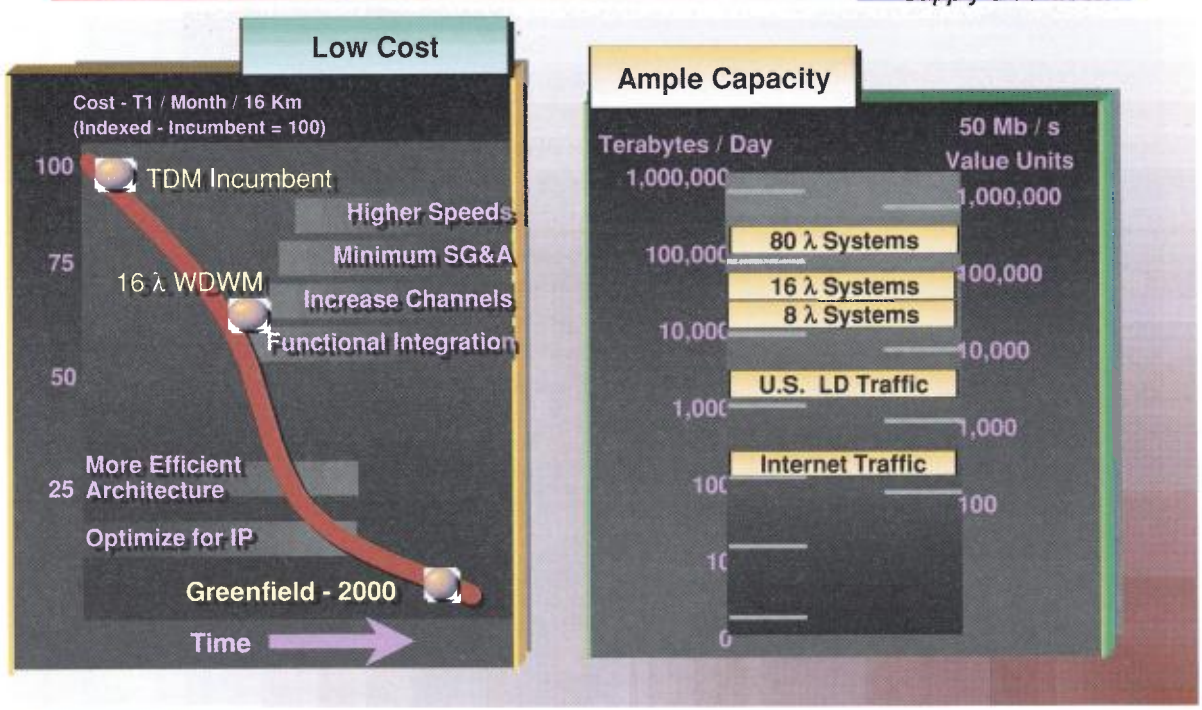
14. A Rational Investment Model Evolves D20

D21 ruptive Technologies: Adapt or be Swallowed by the Black Hole



15. Disruptive Techno.'s: Adapt or be Swallowed by the Black Mole D21

Keep Pace With the Technology / Cost Curve or Die



16. Keep Pace with the Technology cost Curve or Die D21

The Supply Side Market is Populated

17. The Supply Side Market is Populated D22

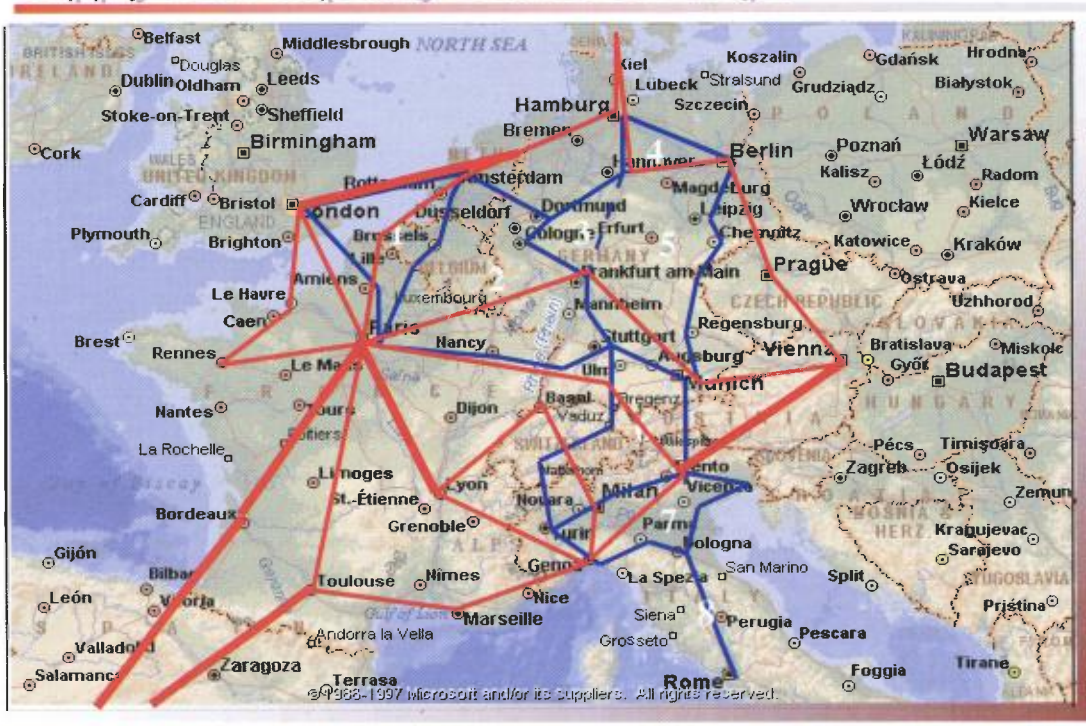
Supply-side Capacity comes to Europe

18. Supply-Side Capacity comes to Europe D22

Supply-side Capacity comes to Europe

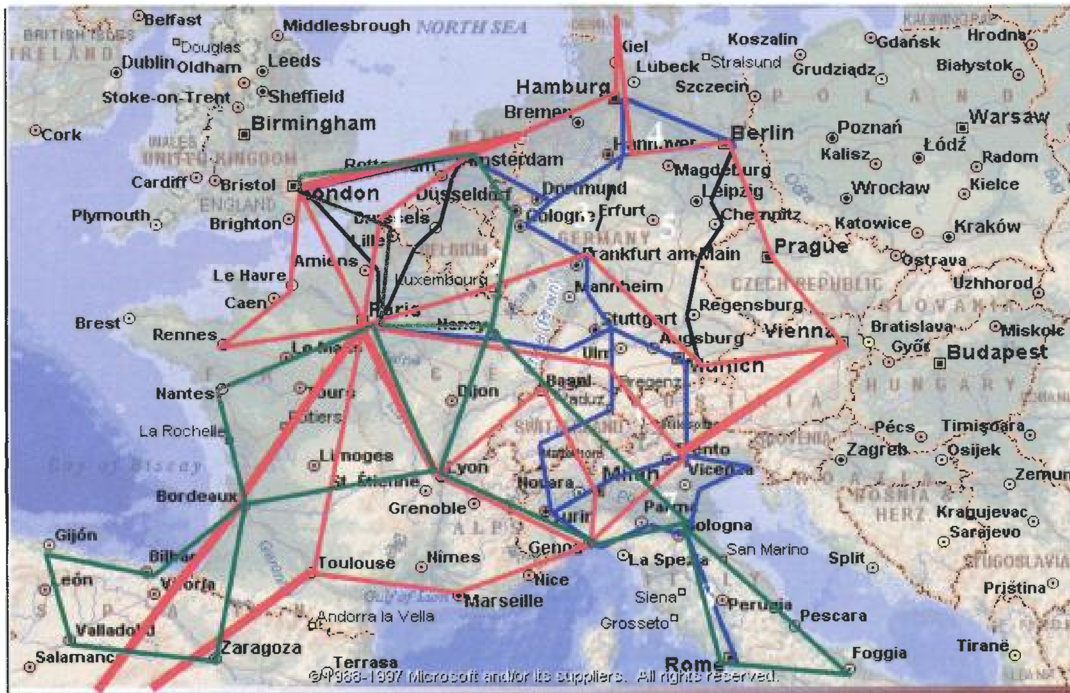
19. Supply-Side Capacity comes to Europe D23

Supply-side Capacity comes to Europe



20. Supply-Side Capacity comes to Europe D23

Supply-side Capacity comes to Europe



21. Supply-Side Capacity comes to Europe D24

Supply-side Capacity comes to Europe

22. Supply-Side Capacity comes to Europe D24

D25

Project Oxygen

Carriers and Users with Access to Bandwidth - Not Dedicated Circuits

67 X Cheaper than Satellite
100 X Cheaper than Existing Sub. Cable

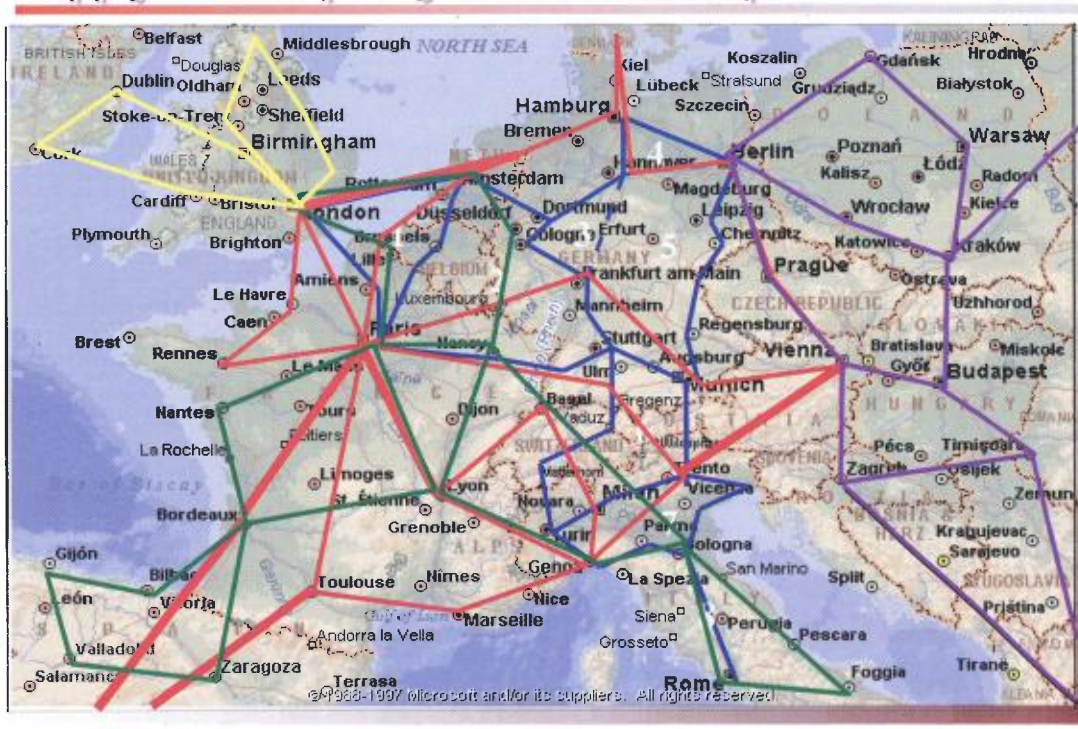
Sold in units ranging from 1.24 Gb/s to 100 Gb/s

Undersea Fiber Capacity (1997-2001)
Fiber Miles Expansion: +370%
Transmission speeds: 5 Gps to 160Gps
8,134% Capacity Increase

Fully Self-Restoring, Ring / Mesh
ATM Network

23. Project Oxygen D25

Supply-side Capacity comes to Europe

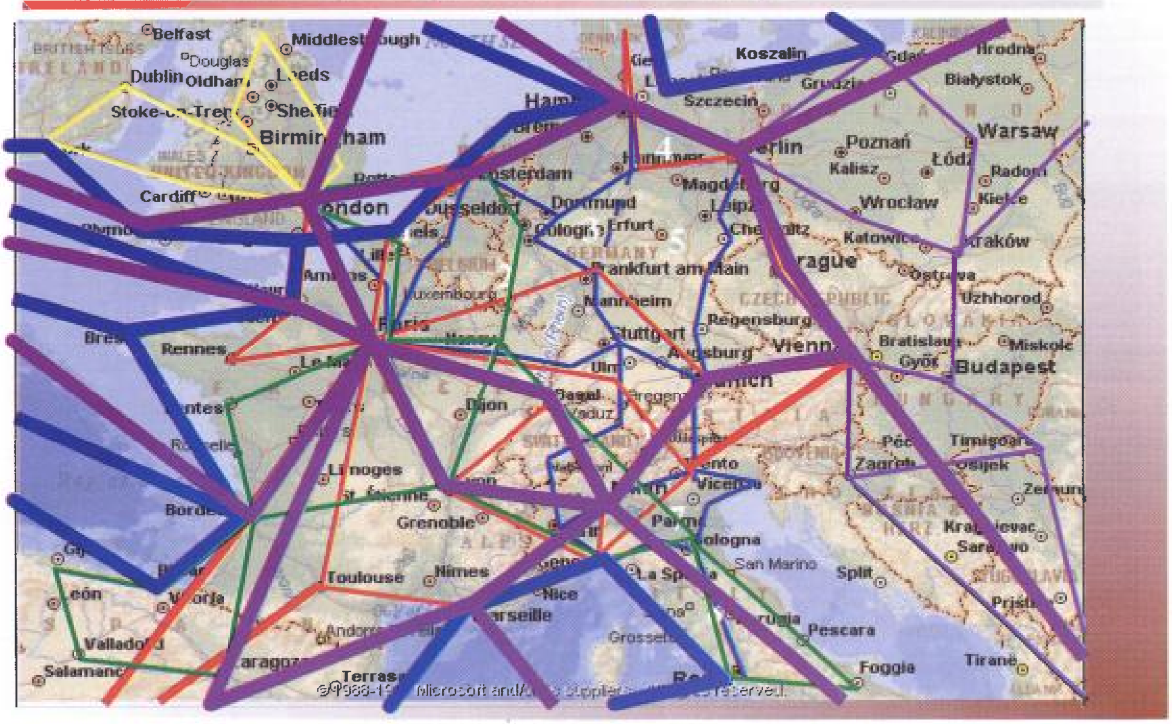


24. Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe D25

Supply-side Capacity comes to Europe

25. Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe D26

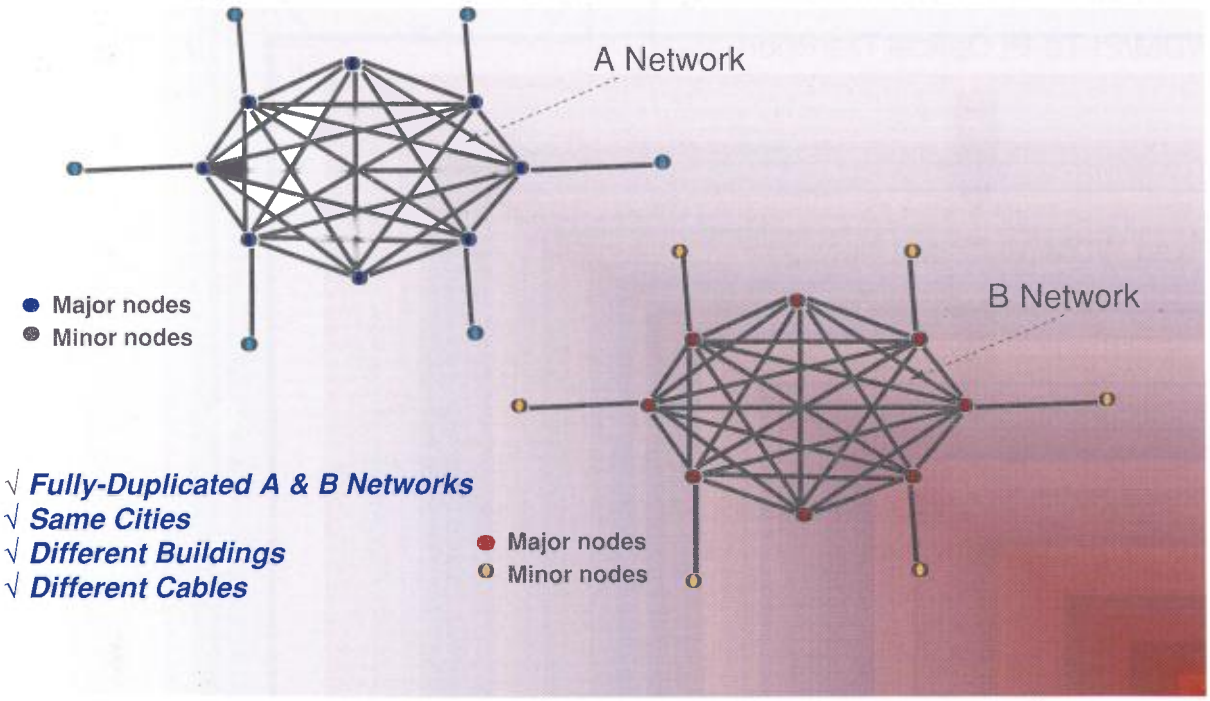
Supply-side Capacity comes to Europe



26. Supply-Side Capacity comes to Europe Capacity comes to Europe D26

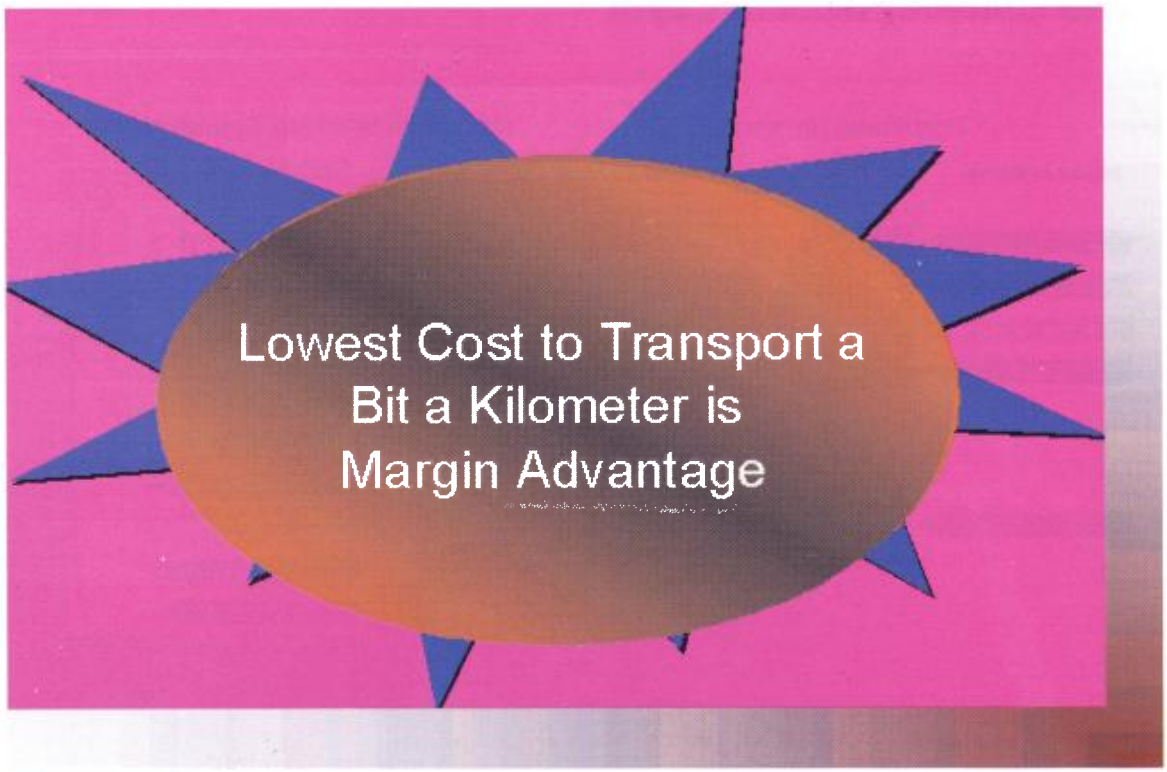
D27

European PTTs - seizing Wholesale market



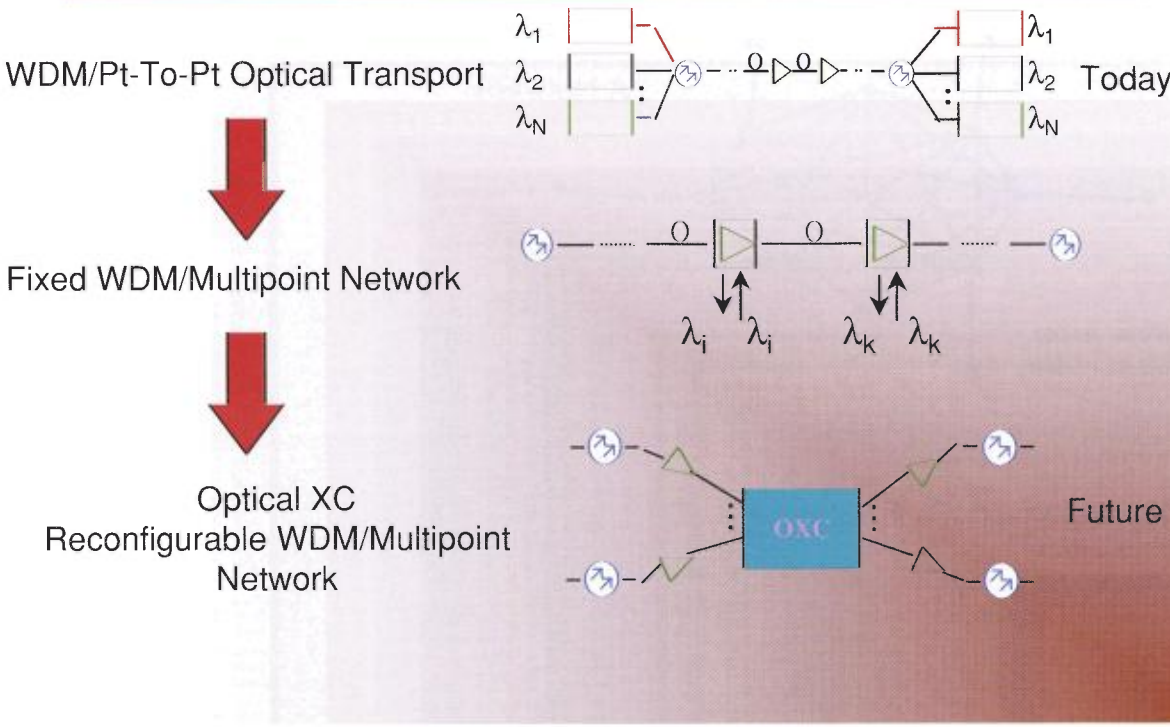
√ ***Fully-Duplicated A & B Networks***
√ ***Same Cities***
√ ***Different Buildings***
√ ***Different Cables***

27. European PTTs-seizing Wholesale market D27



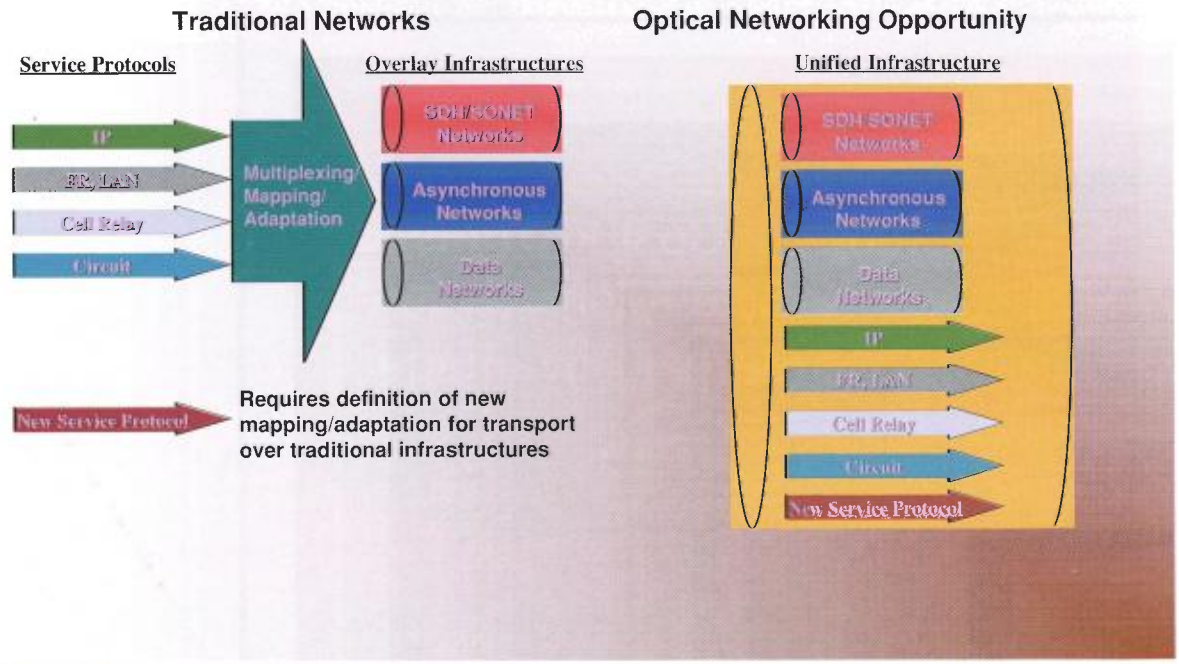
28. Margin Advantage D27

From Optical Transport to Optical Networking



29. From Optical Transport to Optical Networking D28

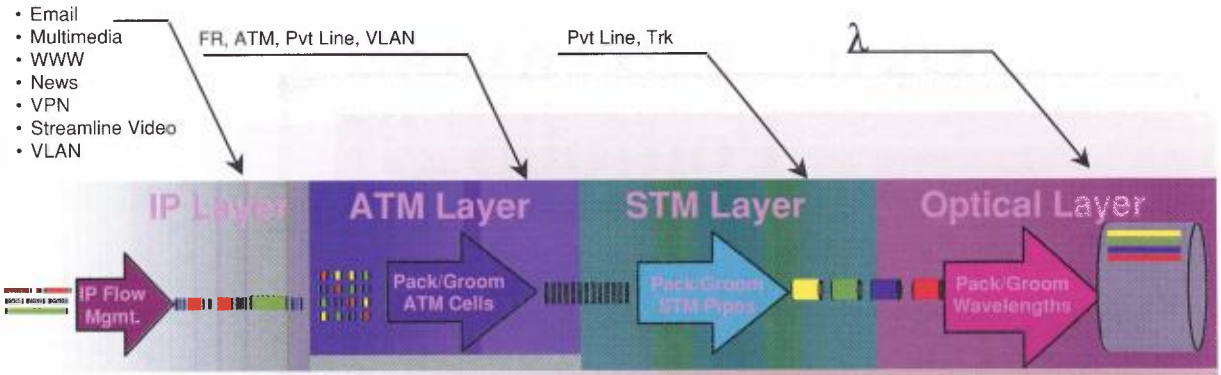
The Unifying Optical Layer



30. The Unifying Optical Layer D28

D29

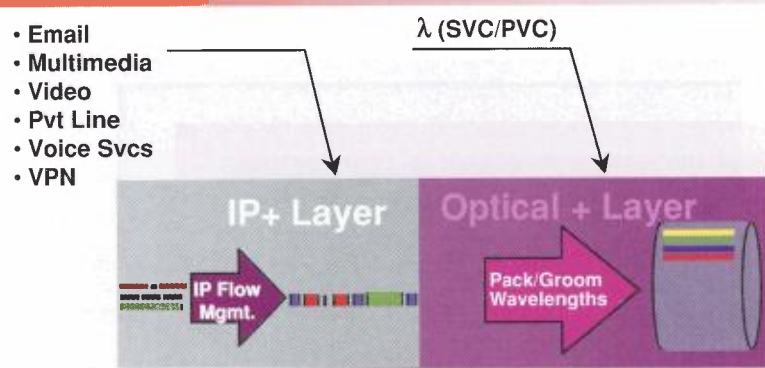
Networking Layers - Today



- **IP Networking Provides:**
  - Interoperability
  - Management Of IP Flow QOS
  - Security/VPN Support
  - Integration With Underlying Transport Layer
- **ATM Networking Provides:**
  - Unified Format Allows Single Network For All Services
  - Guaranteed Grades Of QOS End-To-End
  - Standards-Based Service Maintenance
  - Intelligent, Distributed Provisioning And Restoration Of Services
- **SONET And SDH Networking Provides:**
  - High-Reliability Facility Transport
  - Distributed High-Speed Facility Restoration
  - Circuit Bandwidth Management
- **Optical Networking Provides:**
  - Transport Network Flexibility
  - Independence Of Bit Rate And Format
  - Efficient Use And Rearrangement Of Embedded Optical Capacity As Demand Patterns Change

31. Networking Layers - Today D29

Network Layers - Vision



ATM Attributes

Today's IP Networking
+
Grades Of QOS
+
Service Maintenance
+
Restoration Of Services

Today's Optical Networking
+
High Reliability Transport
+
High Speed Restoration
+
BW Management

SDH Attributes

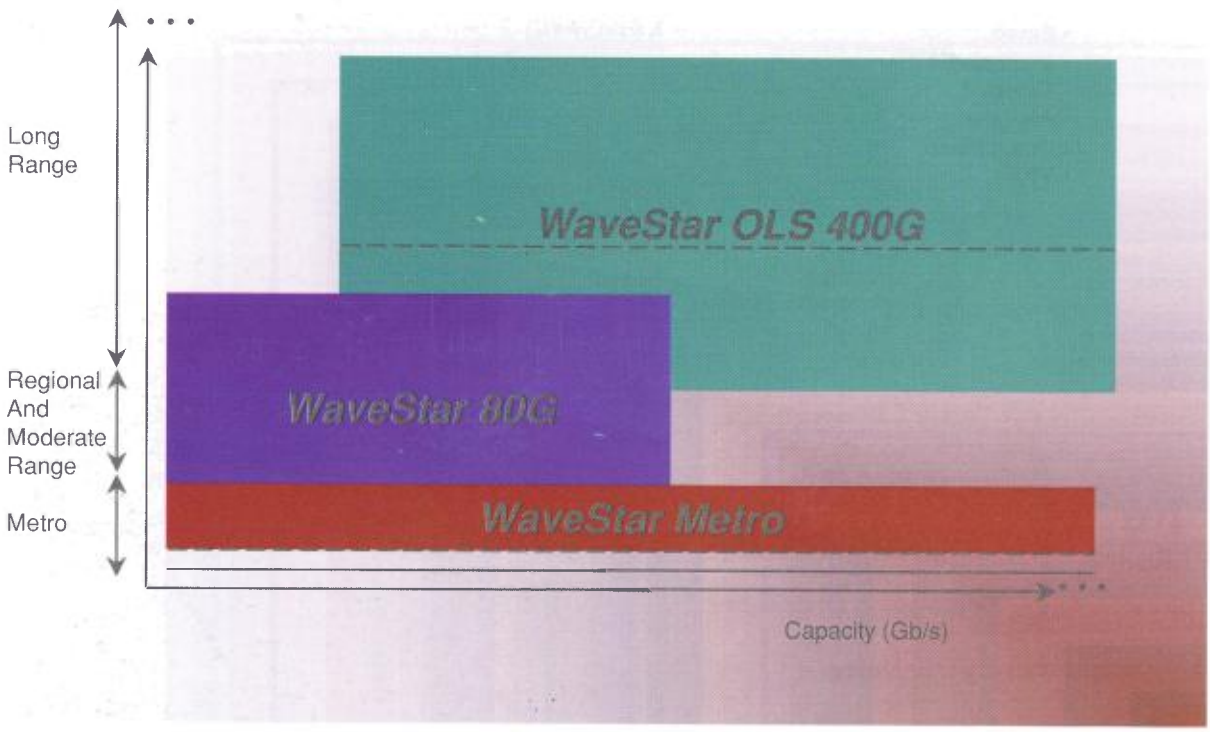
"The Definition Of IP And Optical Layer Will Change"

32. Network Layers - Vision D29

Optical Networking Portfolio

33. Optical Networking Portfolio D30

WaveStar™ OLS Family



34. WaveStarTM OLS Family D30

D31

WaveStar™ OLS 80G

- 16-λ systems
- 3x33dB, 5x30dB, 8x22dB Engineering Rules
- Integrated SDH Terminals or Open Systems
- OTUs: STM-1/4, 140/565 Mbps, Other-vendor-interface. Regenerators
- Managed by ITM-SC/NM

35. WaveStarTM OLS 80G D31

WaveStar OLS 400G - Is your network "STM-64 Ready?"

First to Market

- *400 Gb/s per fiber (40 Channels of 10 Gb/s)*
- *80 Channels of 2.5 Gb/s*
- *3.2 TB/s on 8 Fibers*
- Mix of 2.5 Gb/s AND 10 Gb/s

UltraDense Wave Division Multiplexing

Fully Open Interface Supporting ANY Vendor's Elements

Both SDH and SONET

Auto Adjusts as Channels are Added or Removed

5 Times Capacity of Any Existing System

Optical Add/Drop Capability

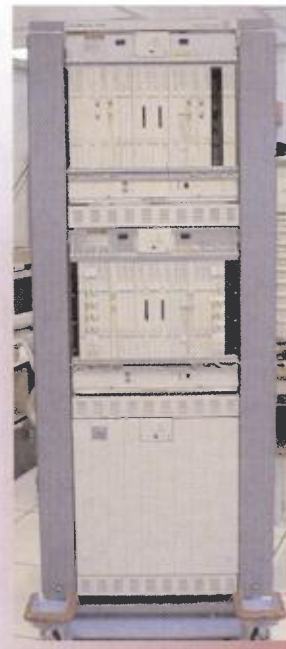
Pay as You Grow

36. WaveStarTM OLS 400G - is your network "STM-64 Ready?" D31

WaveStar 10G

WaveStar 10G 2F-MS SPRING features:

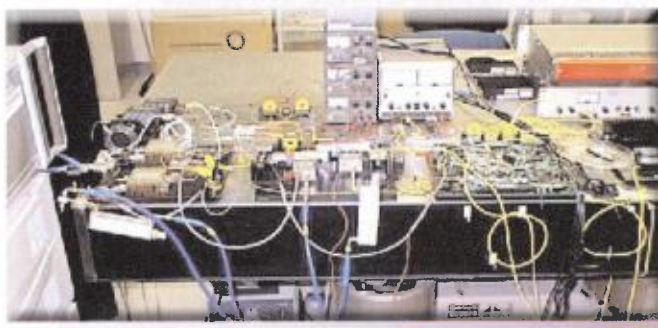
- ***Single bay configuration for full service and protection add/drop of 20Gb/s capacity***
- ***2-shelf start-up configuration***
- ***Additional trib shelves (up to 4 total) can be added to provide additional add/drop capacity and flexibility in service tributary configurations***



37. WaveStar TM 10G D32

40Gb/s WDM Systems 1.2Tb/s (30 Channels)

Market Disrupting Technologies



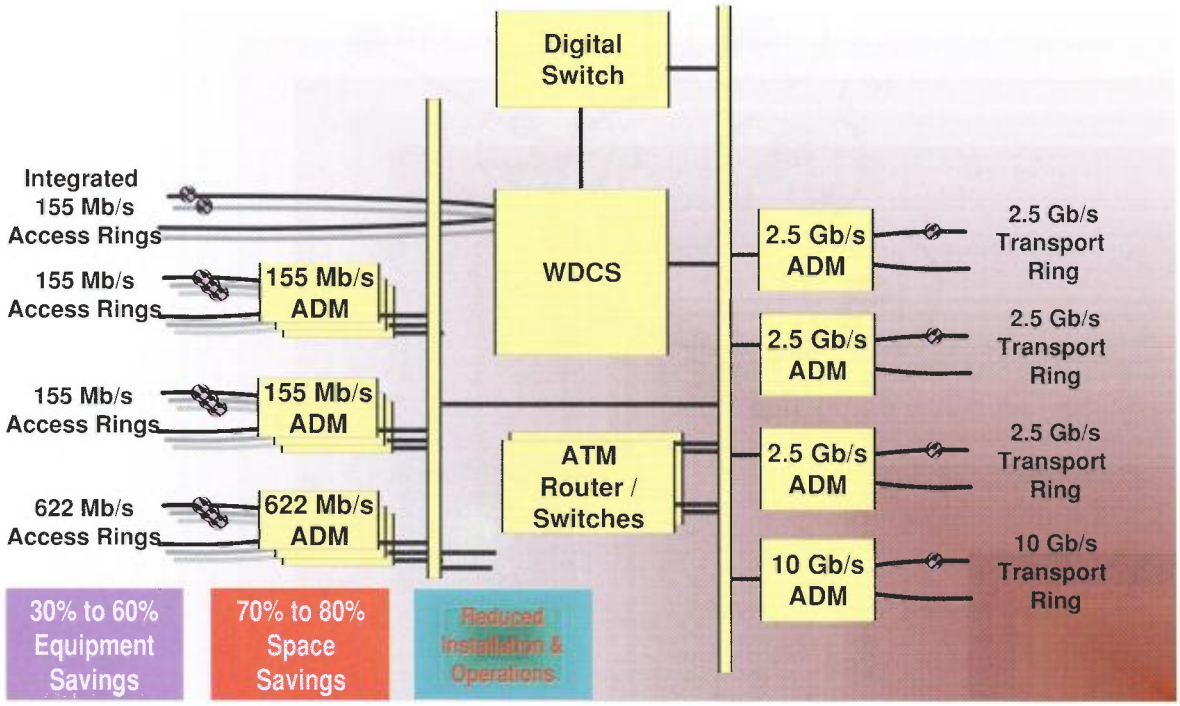
40 Gb/s OTDM Transmitter

30 Channel WDM Source

38. 40 Gb/s WDM Systems, 1.2 Tb/s (30 Channels) D32

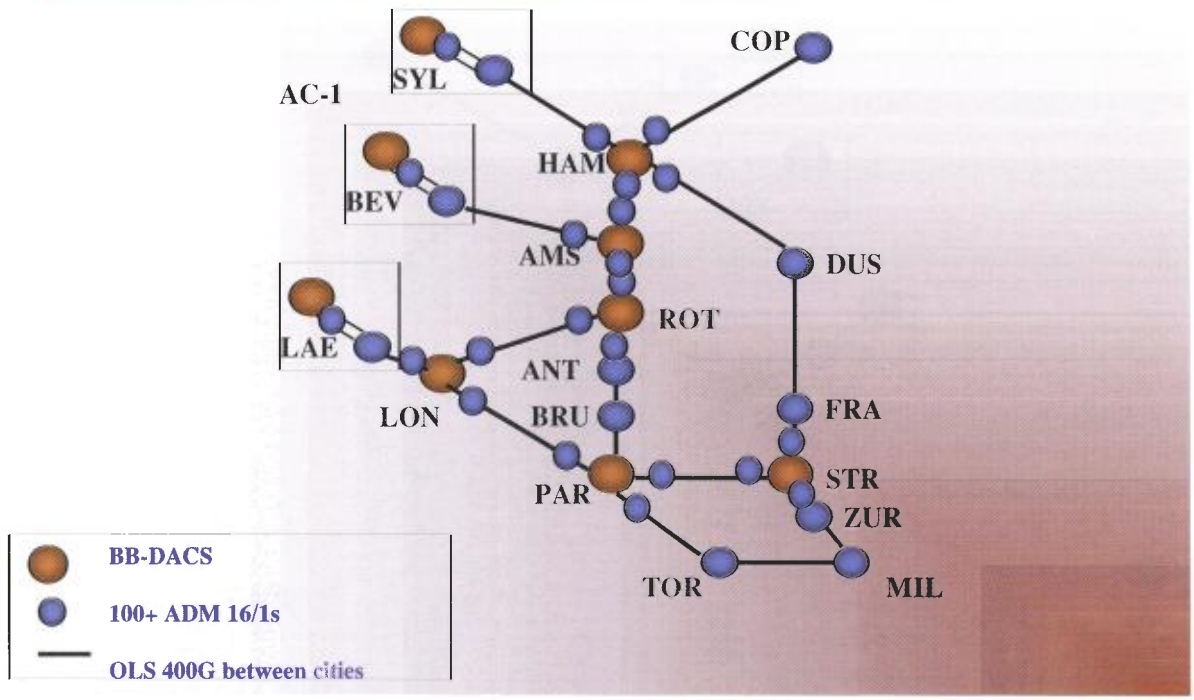
D33

...veStar BandWidth Manager:
The Concept - An Evolvable Platform



39. WaveStar TM Bandwidth Manager (BWM): The Concept D33

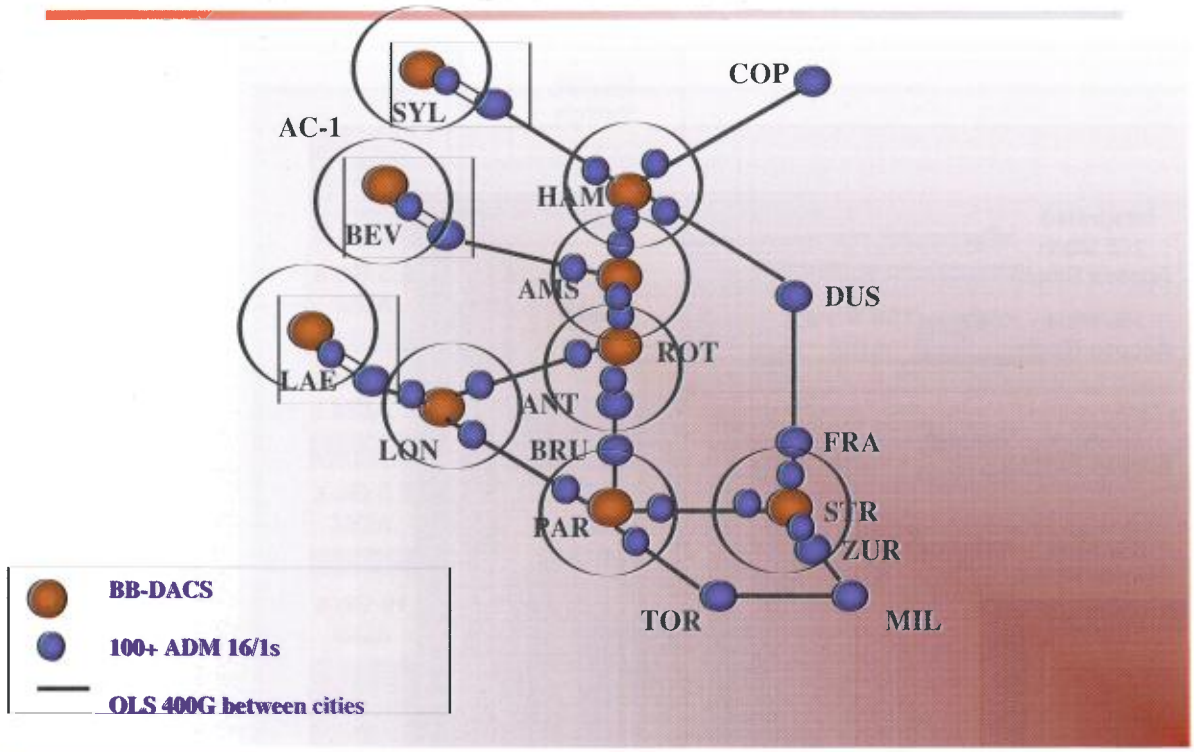
WaveStar BandWidth Manager (BWM)
Global Crossing Pan European Network



40. BWM, Global Crossing Pan European Network D33

WaveStar BandWidth Manager (BWM)

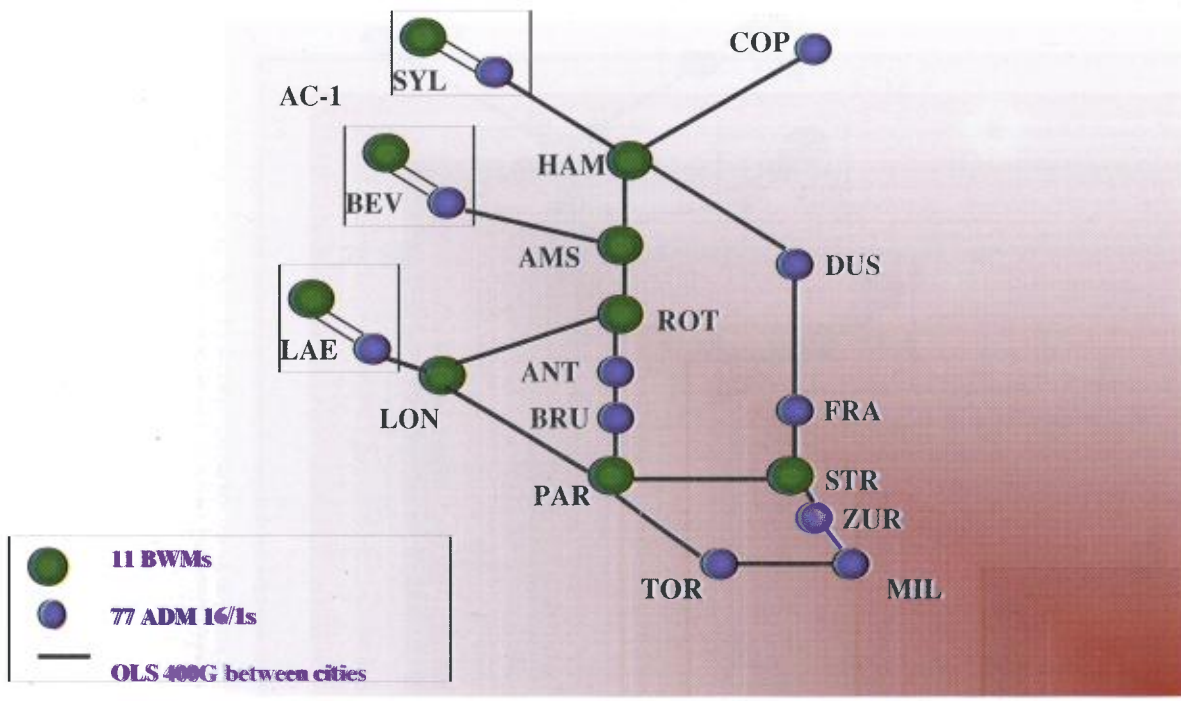
Global Crossing Pan European Network



41. BWM, Global Crossing Pan European Network 2 D34

WaveStar BandWidth Manager (BWM)

Global Crossing Pan European Network



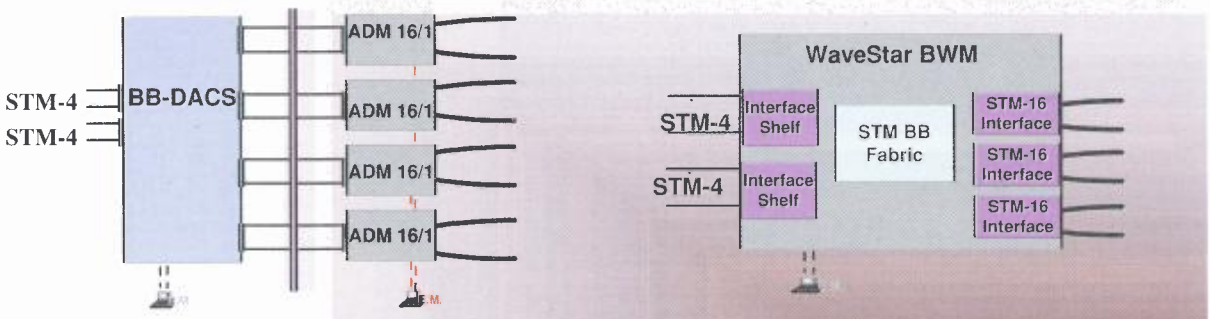
42. BWM, Global Crossing Pan European Network 3 D34

D35 eStar BandWidth Manager

Global Crossing Network Modeling

Benchmark Model
2-Fibre STM-16 ADMs, BBDACS, ODF

BWM Model
BWM w/ Integrated STM-16 Ring, STM-BB Switch Fabric



Dramatic equipment savings

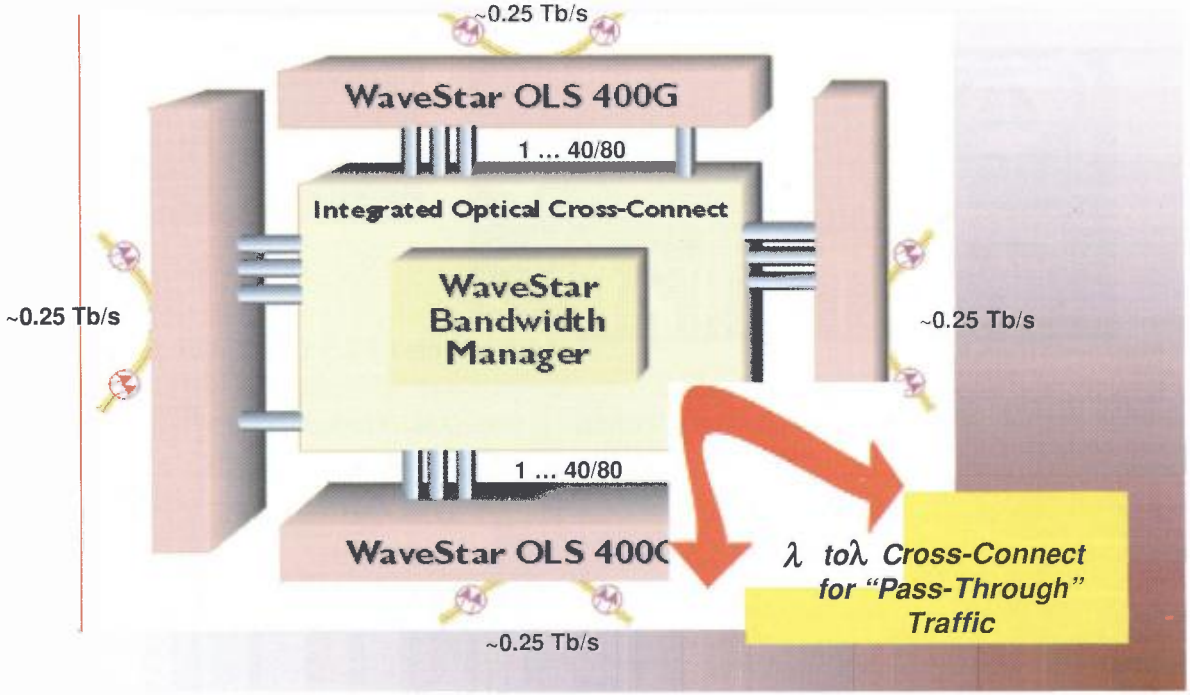
Savings ranged from 43% (in 1999) to 50% (in 2002) network wide

Dramatic reduction in space requirements

Typically 40-64 % reduction

43. BWM, Global Crossing Network Modelling D35

Realizing the Terabit Office



44. Realising the Terabit Office D35

The PacketStar IP Switch:

- Supports IP over SONET/SDH
- IP over ATM
- IP over DWDM

Traffic Queuing & Scheduling

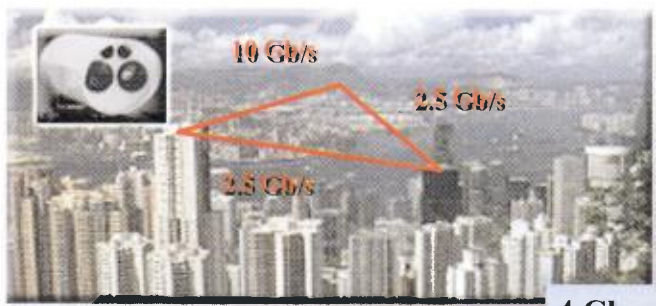
Carrier Grade Quality

PacketStar 6416: Highest Capacity - 32 Million Packets per Second - 128 Gb/s Backplane Capacity

45. The Packet Star IP Switch D36

Free Space Optics:Rapid Metro Entry

Market Disrupting Technologies

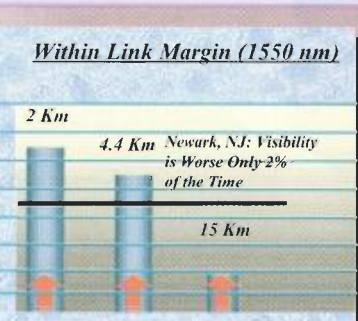


Secure
1550 nm Technology
Eye Safe
Reusable
Good Weather Performance

4 Channels of 2.5 Gb/s over 4.4 Km

Pre-Fiber Sele
Access Re
Economic Al
Alternative t
Effective for S
Disaster

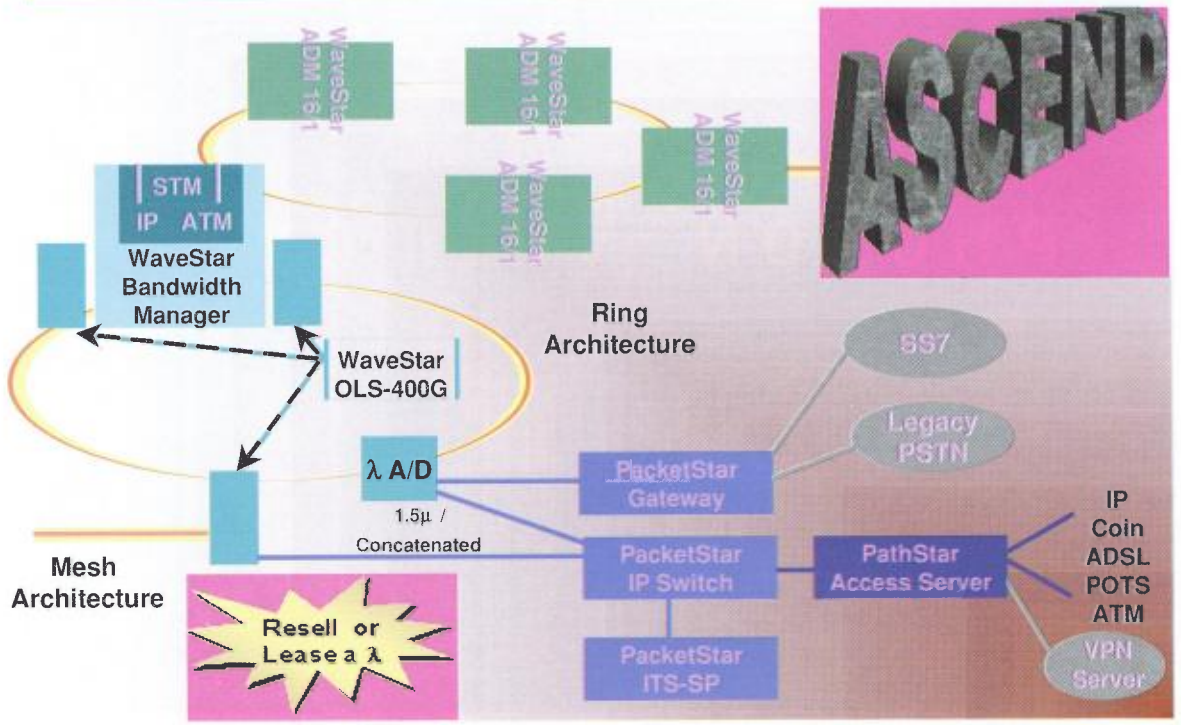
Condition	Precipitation (mm/hr)	Visibility (Km)
Dense Fog		0.0
Moderate Fog		0.5
Light Fog	100.0	1.0
Thin Fog	25.0	2.0
Haze	12.5	3.0
Light Haze	2.5	9.0
Clear	0.25	20.0
Very Clear		50.0



46. Free Space Optics: Rapid Metro Entry D36

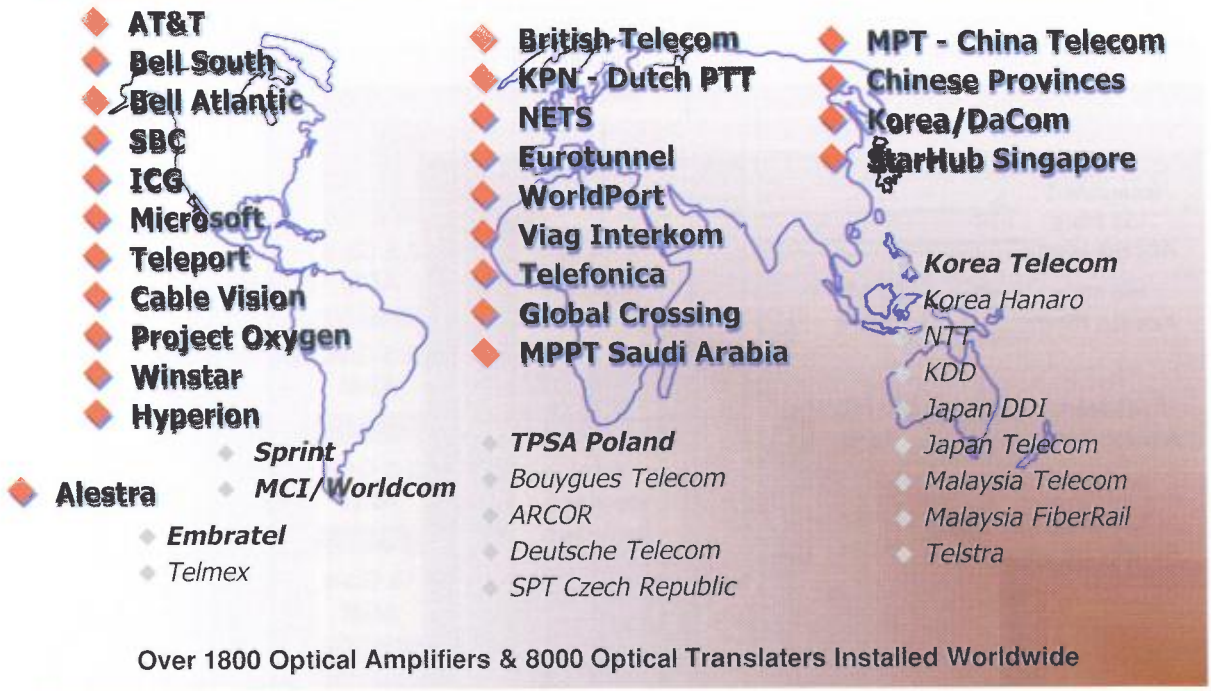
D37

The Lucent Engineered TeraNet

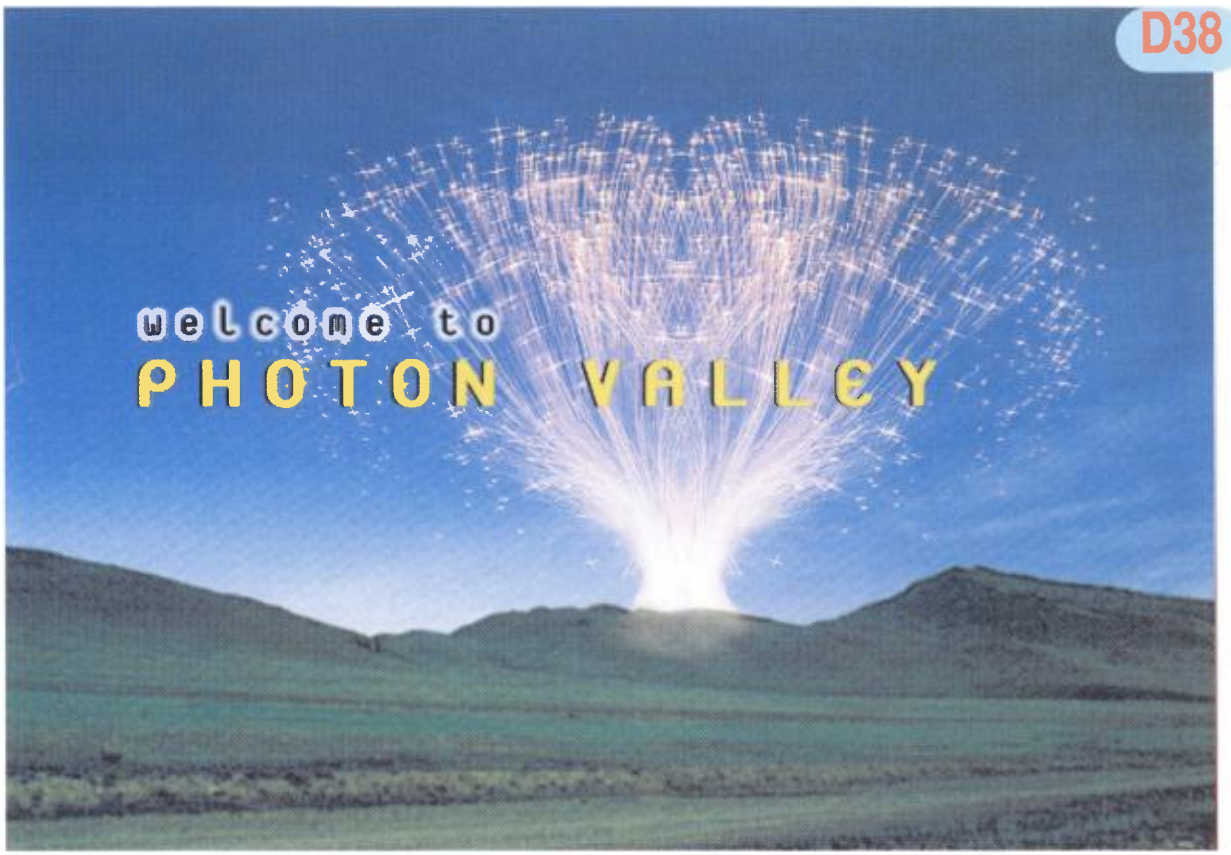


47. The Lucent Engineered TeraNet D37

Global Footprint - Optical Networking Customers

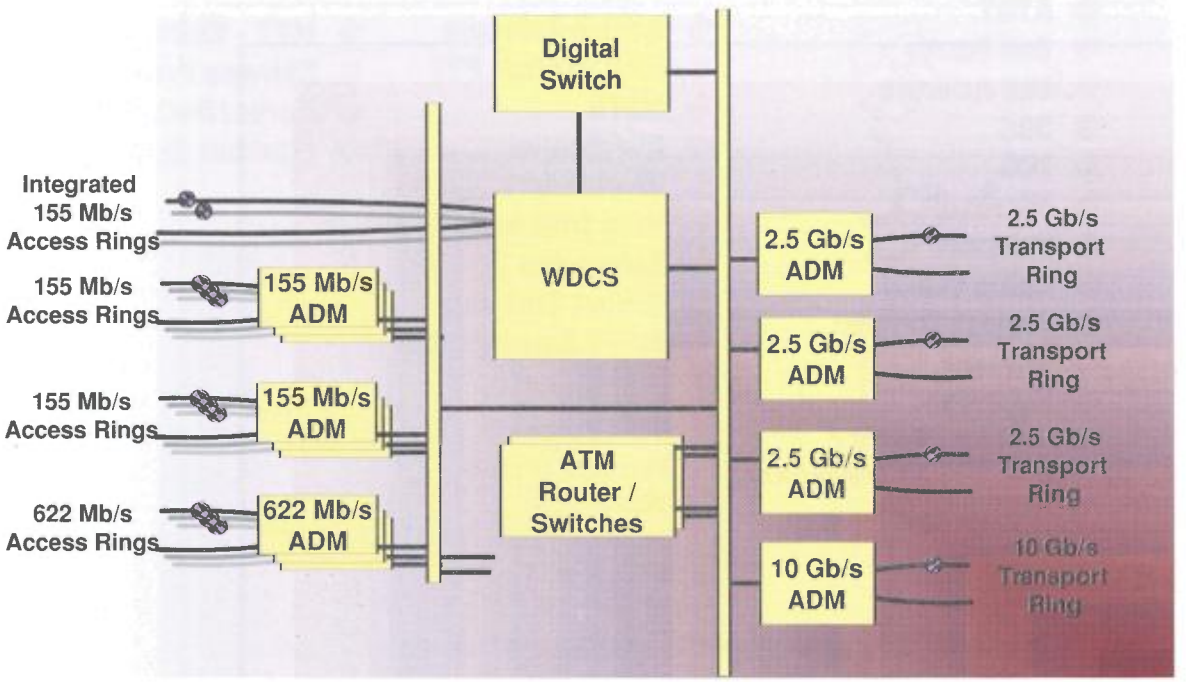


48. Global Footprint-Optical Networking Customers D37



49. Welcome to Photon Valley D38

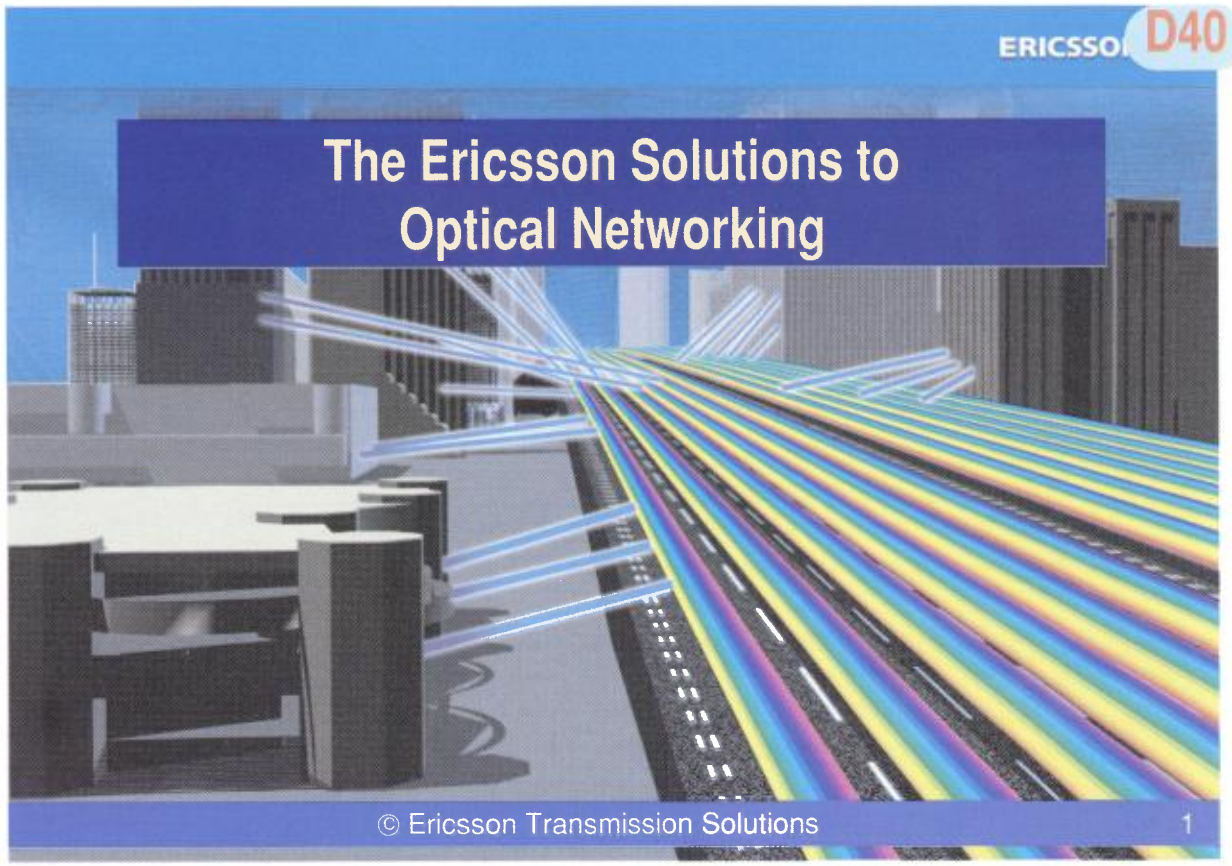
WaveStar BandWidth Manager: The Concept - An Evolvable Platform



50. Wavestar Platform D38

LECTURE#L13.: E. SJÖGERAS: DOORWAY TO THE TERABIT SOCIETY†

0	Contents	D39
1	Header, Ericsson Transmission Solutions	D40
2	Outline	D40
3	Challenges Facing Operators	D41
4	3 Ways of Cost Reductions by utilising WDM Technology	D41
5	A. Fiber release & equipment reduction	D42
6	B. Bypassing: SDH Equipment	D42
7	B. Bypassing: Upgrading the ATM Switch	D43
8	C. WDM Protection	D43
9	Conclusions: WDM Cost Reductions	D44
10	Conclusions: WDM Cost Reductions	D44
11	ERION Networker is our newest product	D45
12	The ERION Networker	D45
13	ERION Management	D46
14	WDM is more than just channels	D46
15	Upgrading beyond 32 lambdas	D47
16	Transponder DWDM System	D47
17	Embedded DWDM System	D48
18	Why is Transponder System Superior?	D48
19	Transport Network Layers	D49
20	Network Restoration Methods	D49
21	When do I choose Optical Protection?	D50
22	ERION 1+1 Optical MSP	D50
23	Features of ERION Self-Healing Ring	D51
24	ERION Roll Out Plan'99	D51
25	Road Map-Y2000	D52
26	Stockholm Gigabit Network with the METON demo	D52
27	ERION Networker Conclusions	D53
28	ERION – a World success	D53



1. Header, Ericsson Transmission Solutions D40

ERICSSON

Outline

1. Optical Networking business opportunities
2. The ERION Networker
3. Roll-out and Road Map - ERION

© Ericsson Transmission Solutions

2. Outline D40

D41

ERICSSON

Challenges facing Operators

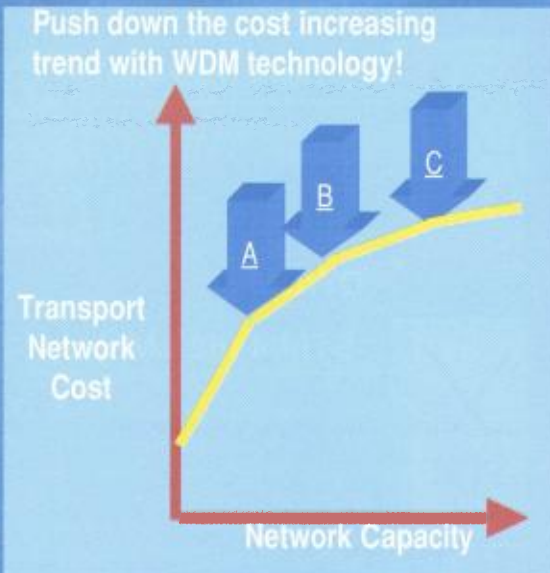
© Ericsson Transmission Solutions 3

3. Challenges Facing Operators D41

ERICSSON

Three Ways of Cost Reduction in Transport Networks by utilising WDM Technology

- A. Fibre and Regenerators
  - Reduction of expensive fibre and regenerator mountains
- B. Bypassing the SDH/SONET Layer
  - Transporting ATM/IP traffic direct into the WDM layer
- C. WDM Protection instead of SDH/SONET Protection
  - Protection of the traffic in bulk

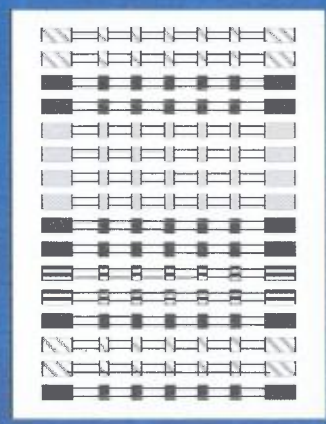


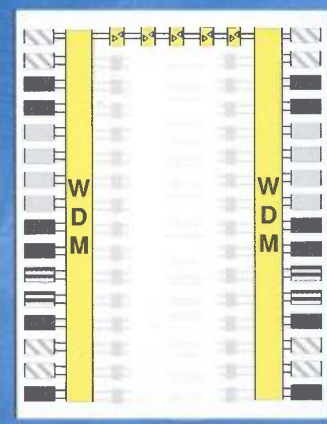
© Ericsson Transmission Solutions 4

4. 3 Ways of Cost Reductions by utilising WDM Technology D41

ERICSSON D42

A. Fiber release & equipment reduction





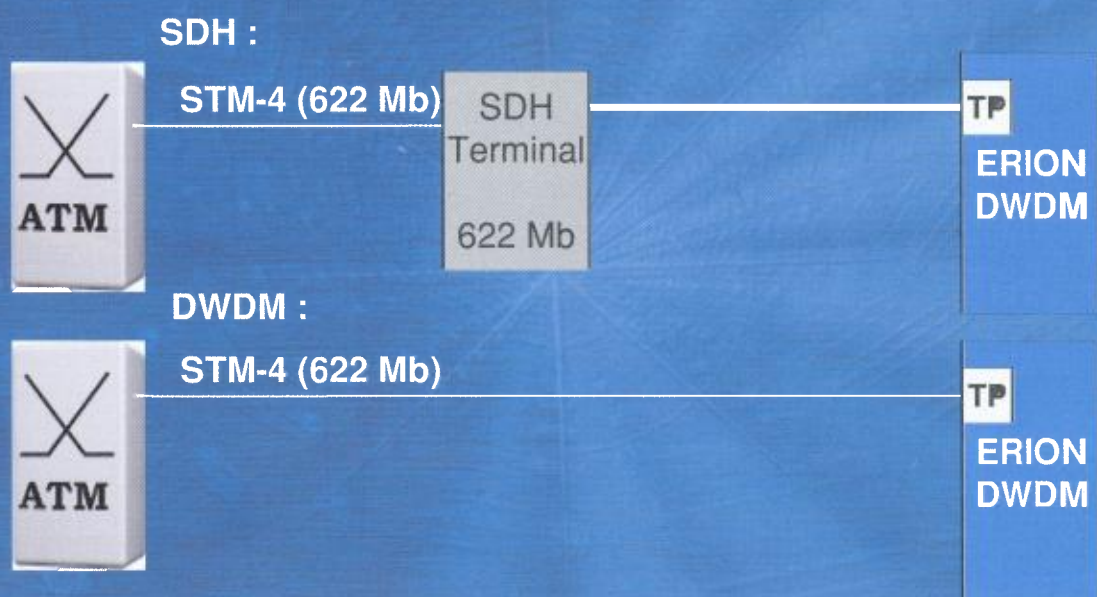
Installed intermediate amplifiers are already prepared for more traffic –> Adding another 2,5 Gb channel is done by adding one board in each end node Increased bandwidth FAST

© Ericsson Transmission Solutions 5

5. A. Fiber release & equipment reduction D42

ERICSSON

B. Bypassing SDH equipment

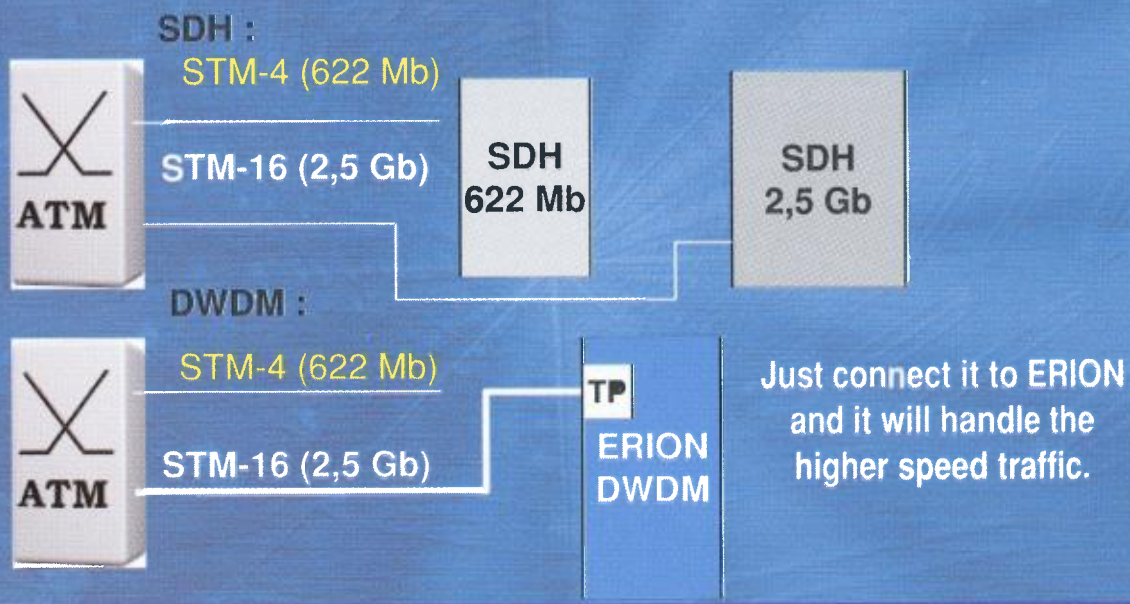


© Ericsson Transmission Solutions 6

6. B. Bypassing: SDH Equipment D42

ERICSSON

B. Bypassing: Upgrading the ATM switch



© Ericsson Transmission Solutions

7. B. Bypassing: Upgrading the ATM Switch D43

ERICSSON

C. WDM Protection

- Protection in the WDM layer, reduces the SDH/SONET equipment cost.
  - Instead of one extra SDH line card for each SDH signal -> add one extra amplifier board in the WDM, and protect all SDH signals.
  - Note: Protection in the WDM layer will give both a reduction in the availability of the traffic as well as the cost of the network. However, the cost will be reduced more than the availability. This results in a better pay-off for the WDM - network. Therefore is protection more cost efficient in the WDM network
  - Bypassing traffic often requires WDM protection

© Ericsson Transmission Solutions

8. C. WDM Protection D43

Conclusion: WDM Cost Reduction

- WDM reduces the network cost by
  - saving of fibre and regenerators
  - saving O&M cost for various technologies
  - Reduces risk for errors in the field.
- and
  - reduction of SDH/SONET equipment by bypassing traffic.
  - Also increases the effeiciency on the fiber –> use the bandwidth better.
- and
  - reduction of the protection cost by protection in the WDM layer
  - Simplifies O&M with one protection method for different technologies.
  - Faster protection switch than datacom rerouting methods.

© Ericsson Transmission Solutions

9. Conclusions: WDM Cost Reductions D44

Conclusion: WDM Cost Reduction

- This require WDM equipment with:
  - Wavelength multiplexing ability
- AND
  - Transponders
- AND
  - WDM ring protection
- Depending on network topology and the rate of bypassing traffic an reduction of the network cost of
  30% - 50% can easily be made when combining all three functions.

© Ericsson Transmission Solutions

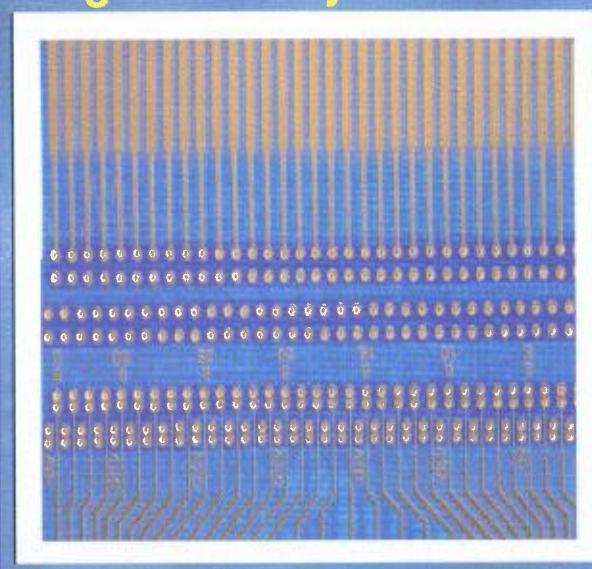
10. Conclusions: WDM Cost Reductions D44

D45

ERICSSON

ERION™ Networker is our newest product, and the one with the longest history

- 1986 - Ericsson presents the worlds first optical switch
- Optical research center in Stockholm, Sweden
- Genuine experience in transport networks (>70 countries)
- METON network employs ODXC from Ericsson
- ERION™ set a record 1998 when transporting IP over WDM for 650 km.



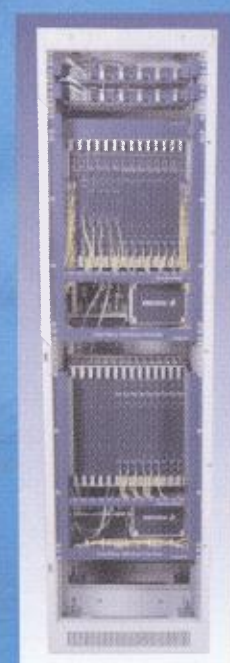
© Ericsson Transmission Solutions

11. ERION Networker is our newest product D45

ERICSSON

The ERION Networker

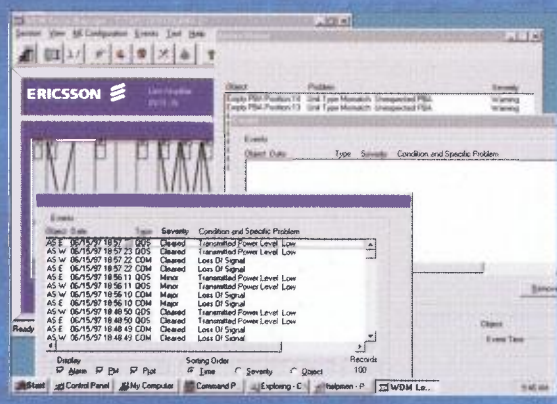
- Optical Self Healing Ring - Flexing bus & Protection point-to-point OMSP 1+1
- Modular building blocks. Same boards in OLA, OTM and OADM
  - Low sparing cost
  - Upgradable reusing all HW
  - Suits long haul and metro application
- Supports all client layer, from all vendors PDH, SDH/SONET, ATM & IP. All in the same interface module (transponder)
- Complete Mgmt offering. TMN Q3, SNMP and TL-1 interfaces.
- Optical supervisory channel (OSC) according to ITU-T for remote management of OLAs.)
- 16 channels today, upgradable to 32 and higher as technology becomes available



© Ericsson Transmission Solutions

12. The ERION Networker D45

ERION™ Management



- *Stand alone for WDM*
- *Integrated into a higher level*
- *Multi vendor Manager*

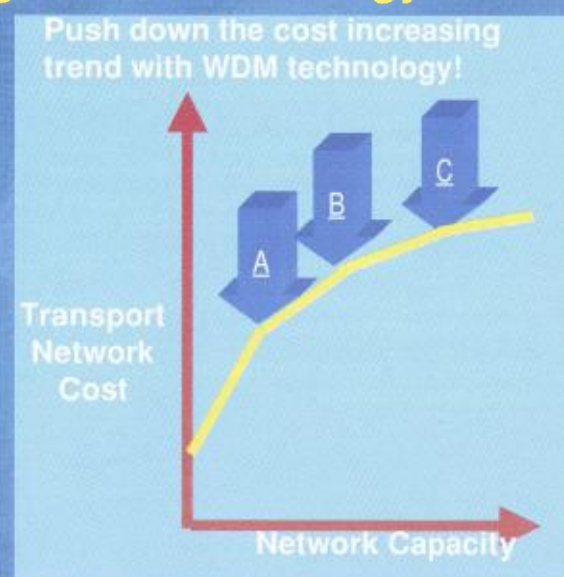
- PC Based, scalable with additional PC servers when required.
- Can integrate any open interface
- Already integrated : TL-1, CLI, SNMP, UNEM, DiaMux, Nokia PDH, NERA Radio, Ericsson SDH, Ericsson PDH …

© Ericsson Transmission Solutions

13. ERION Management D46

Three Ways of Cost Reduction in Transport Networks by utilising WDM Technology

- A. Fibre and Regenerators
  - Reduction of expensive fibre and regenerator mountains
- B. Bypassing the SDH/SONET Layer
  - Transporting ATM/IP traffic direct into the WDM layer
- C. WDM Protection instead of SDH/SONET Protection
  - Protection of the traffic in bulk



© Ericsson Transmission Solutions

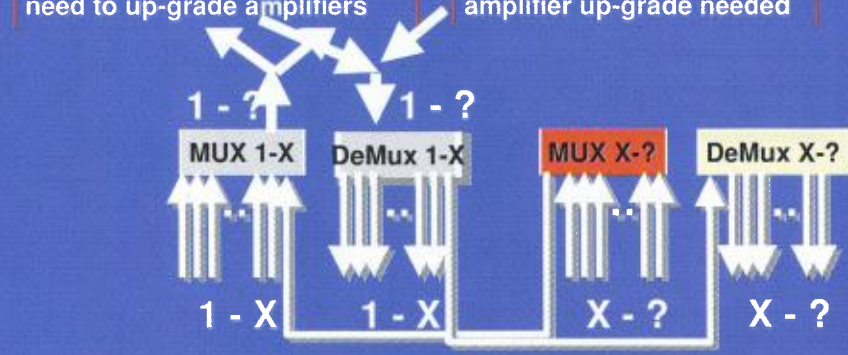
14. WDM is more than just channels D46

D47

ERICSSON

Upgrading beyond 32

The system is divided into a low and a high band side. This and OMSP allow hitless (20 ms) upgrading.



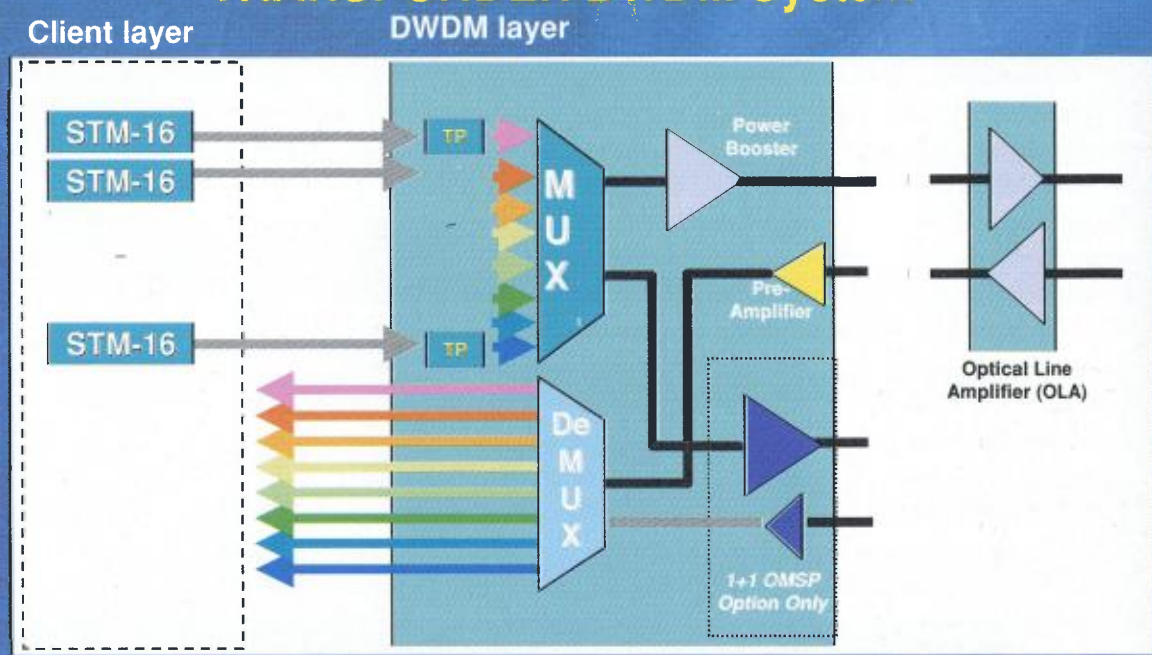
As more narrow channel separation becomes stable and available, the same upgrading procedure is applicable.

© Ericsson Transmission Solutions

15. Upgrading beyond 32 lambdas D47

ERICSSON

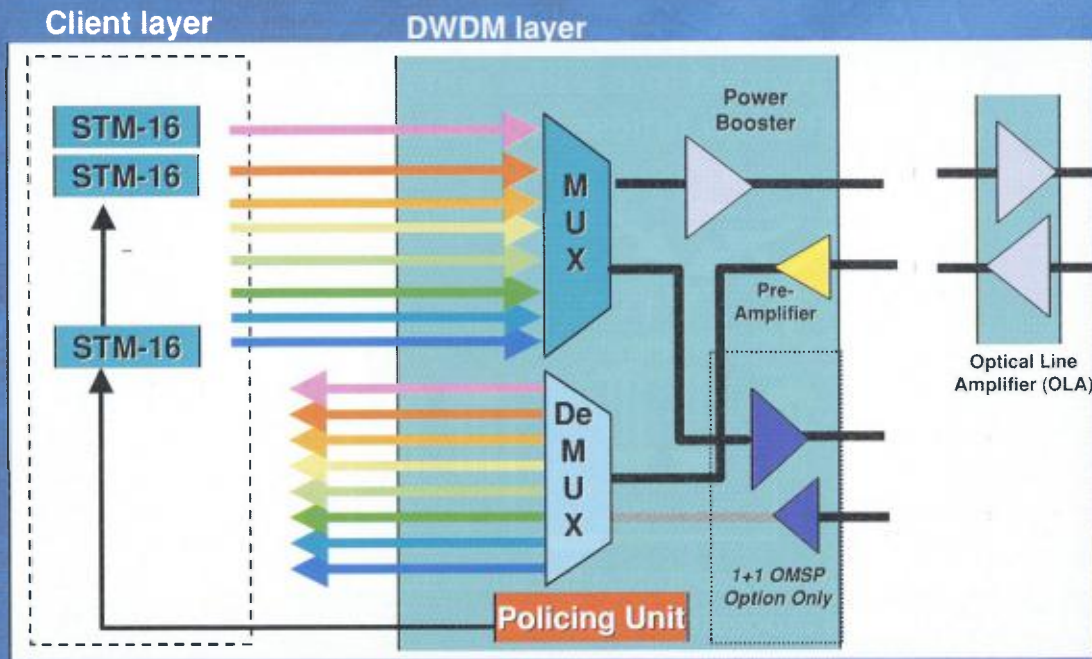
TRANSPONDER DWDM System



© Ericsson Transmission Solutions

16. Transponder DWDM System D47

EMBEDDED DWDM System



© Ericsson Transmission Solutions

17. Embedded DWDM System D48

Why is a Transponder system superior ?

- The transponder system accepts ALL types (PDH, SDH, ATM, IP), ALL speeds (140Mb - 2.5 Gb), and ALL vendors traffic.
- Cost savings in coloured ports is only valid when SDH is prepared in advance (Less than 1 % of installed base)
- The saving is only the cheap laser, which is not much.The wavelength stable laser has to be present in both cases.
- Not 100% control of transmission in WDM layer with an embedded system -> Needs a "policing unit".
- The sparing policy is cheaper with an open system.
- The Embedded system locks the operator into a one-supplier situation.

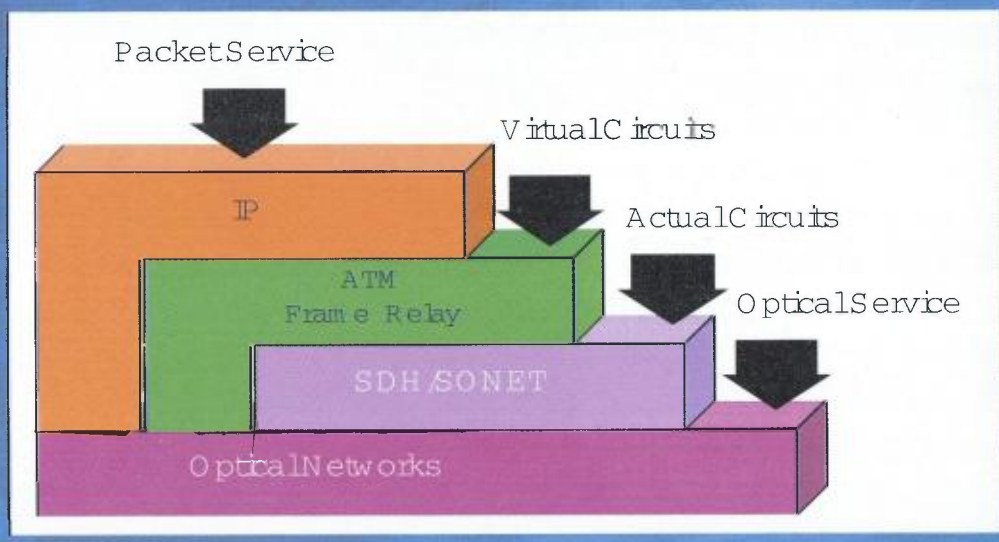
© Ericsson Transmission Solutions

18. Why is Transponder System Superior ? D48

D49

ERICSSON

Transport Network Layers



© Ericsson Transmission Solutions 20

19. Transport Network Layers D49

ERICSSON

Network Restoration Methods
Which one should you go for in the future?

WDM protection	No (Availability not good enough for certain services)
WDM rerouting	No (Too slow. Use restoration in client layers instead)
SDH protection	No (Not all traffic will be carried by SDH)
ATM rerouting	No (Too slow in large networks)
ATM protection	No (Too expensive to deploy in the whole network)
IP rerouting	No (Too slow in large networks)

© Ericsson Transmission Solutions 21

20. Network Restoration Methods D49

When do I choose Optical Protection?

1. Restoration problems in client network. Particularly interesting in legacy networks, e.g. PDH

2. Infrastructure is shared between several client technologies. The ON is carrying PDH, SDH, ATM and IP.

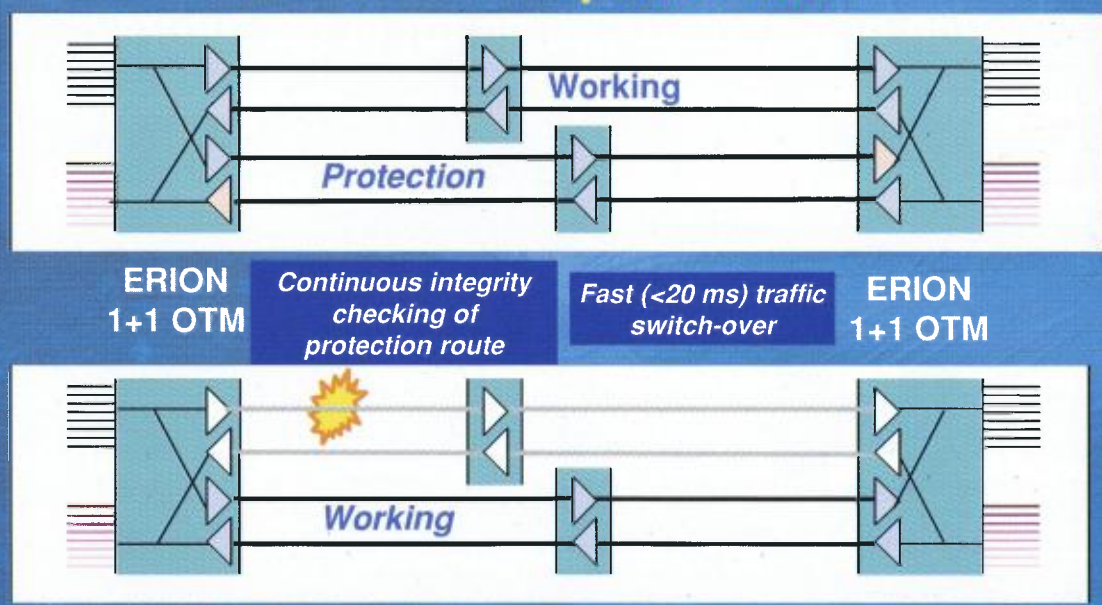
3. The availability offered by e.g. SDH is superfluous. The cost for SDH protection cannot be motivated.

4. Applications where extreme availability is required. Optical protection and path protection (in SDH) is a solution.

© Ericsson Transmission Solutions

21. When do I choose Optical Protection? D50

ERION 1+1 Optical MSP



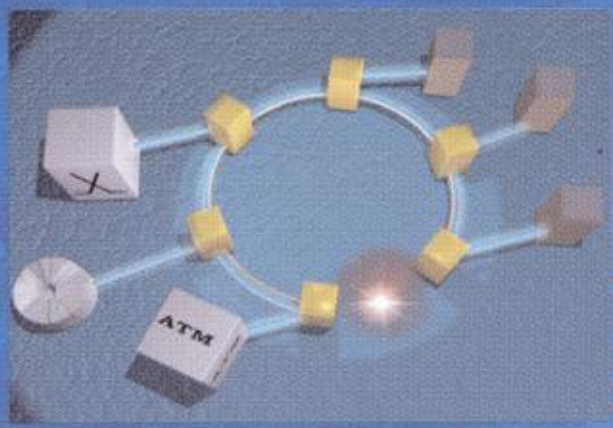
© Ericsson Transmission Solutions

22. ERION 1+1 Optical MSP D50

D51

ERICSSON

Features of ERION™ Self- Healing Ring



- 16 add/drop: one-way, two-way, or broadcast connections.
- Any combination of mesh and hub traffic.
- All traffic protected using a single fiber pair.
- Ring circumference <500 km (6 x22dB)
- Inter-nodal distance up to 22 dB
- Done without expensive and unreliable optical switches

© Ericsson Transmission Solutions

23. Features of ERION Self-Healing Ring D51

ERICSSON

ERION Roll out plan '99

- FlexingBus
- 10 Gbit/s Support
- 32 channel technology
- Linear Optical ADM

© Ericsson Transmission Solutions

24. ERION Roll Out Plan'99 D51

ERICSSON D52

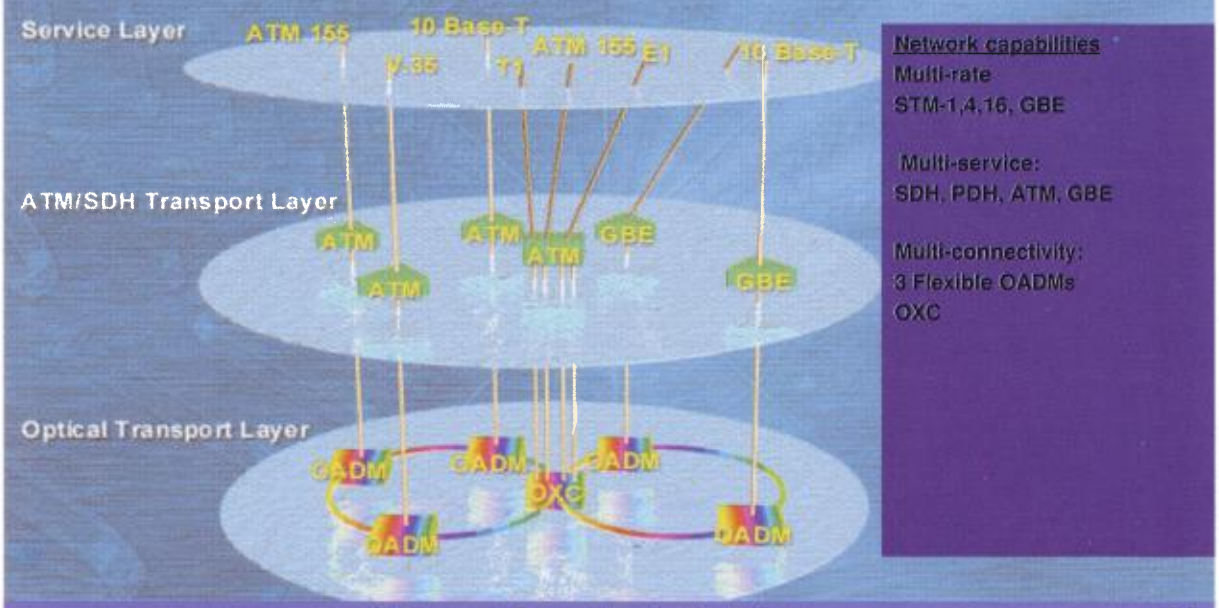
Road Map - Y2000

- 10 Gbps transponders
- FlexingBus improvements (capacity and functionality)
- <100 GHz technology
- Network management improvements
- Re-configurable OADM / Optical switching (channel prot.)

25. Road Map-Y2000 D52

ERICSSON

Stockholm Gigabit Network with the METON demo



26. Stockholm Gigabit Network with the METON demo D52

D53

ERICSSON

ERION™ Networker, conclusions

- Uses one single platform for different applications. (OLA/OTM/OADM)
- Can be configured for metro, short-haul and long-haul.
- Reliable and has a pragmatic approach to O&M
- Scaleable (16 -> 32 -> ....), and can be upgraded in service.
- Small in size and low power consumption.

© Ericsson Transmission Solutions

27. ERION Networker Conclusions D53

ERICSSON

ERION - a World success

- **Sonera**, Finland. First European WDM contract, (SDH and ATM)
- BT, United Kingdom. The biggest WDM network outside USA.
- Telefonica, Spain. For the national optical network.
- World breaking record when transmitting IP traffic (1.25Gb) over a 650 km WDM link.
- o-tel-o, Germany. Backbone 30 links network.
- Telecom Eireann (Ireland)
- Telia, Sweden FlexingBus field trial (ATM, VOD, SDH, IP)

© Ericsson Transmission Solutions

28. ERION - a World success D53

LECTURE#L14.: A. EHRHARDT: WDM RESEARCH ACTIVITIES OF DT†

0.	Contents	D54
1.	Header, Deutsche Telekom AG (DT), Technology Center	D55
2.	Overview	D55
3.	Introduction, Why?	D56
4.	750 km WDM test link, Physical parameters	D56
5.	Transmission of 4x2.5 Gbit/s over 135 km	D57
6.	Compensation of chromatic dispersion, advantages	D57
7.	Setup of the WDM test link	D58
8.	Dispersion map Berlin-Darmstadt	D58
9.	Dispersion map Darmstadt-Berlin	D59
10.	BER measurement Berlin-Darmstadt	D59
11.	Setup of loop back experiment I.	D60
12.	Setup of loop back experiment II.	D60
13.	BER measurement with loop back	D61
14.	10 Gbit/s transmission experiment	D61
15.	10 Gbit/s transmission experiment	D62
16.	Experimental results	D62
17.	WDM test network Munich-Passau-Vienna	D63
18.	WDM link Munich-Erlangen-Berlin	D63
19.	Conclusions	D64
20.	Summary, overview	D64

D55

WDM

field research activities of

Deutsche Telekom

Armin Ehrhardt
Deutsche Telekom AG
Technology Center

Overview

- Introduction, Motivation
- 750 km WDM test link
  - Compensation of chromatic dispersion
  - Link Setup
  - Experiments and Results
- Further WDM test links
- Conclusion

Introduction

Why do we need WDM test links?

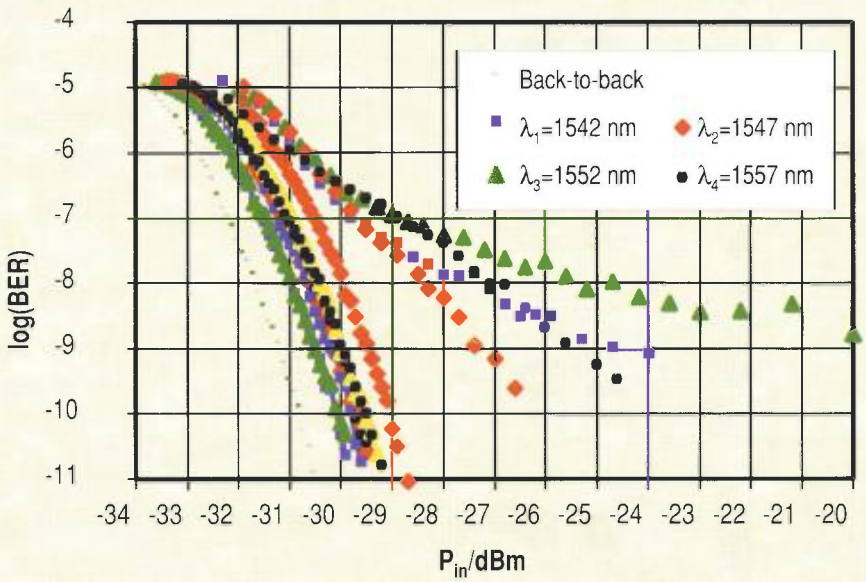
- Continuous growth of dates and applications
- Possible bottle-necks in fibre infrastucture
- Search for cost effective solutions
- Field tests of WDM-technique and components
- Test of advanced functions of WDM systems
- Investigation of physical effects limiting performance

Overview

- Introduction, Motivation
- 750 km WDM test link
  - Compensation of chromatic dispersion
  - Link Setup
  - Experiments and Results
- Further WDM test links
- Conclusion

D57

Transmission of 4x2.5 Gbit/s over 135 km



Deutsche Telekom

5. Transmission of 4x2.5 Gbit/s over 135 km D57

Compensation of chromatic dispersion

Chromatic dispersion limits transmission capacity and transmission length of optical fibre trunks

Compensation by dispersion compensating fibre (DCF)

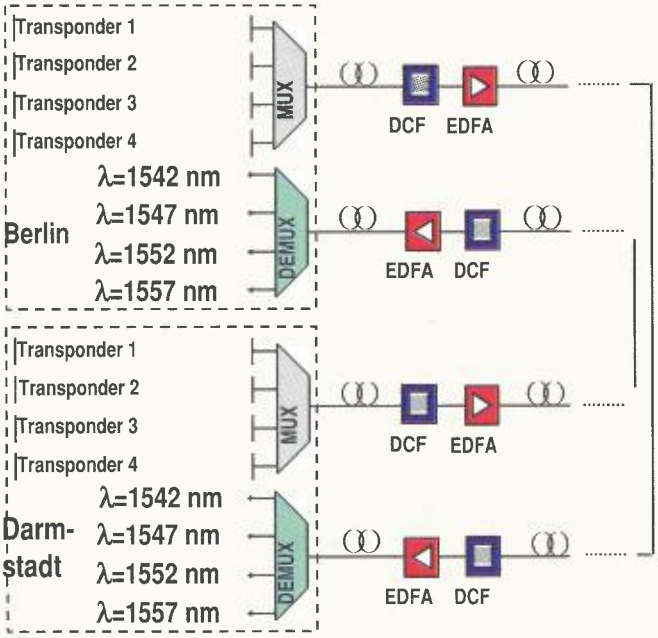
Advantages:

- **Simple method**
- **Transmission line becomes transparent for all data rates**
- **Directly modulated low-priced lasers can be used as signal sources**
- **Compensation for a relatively broad wavelength range**

Deutsche Telekom

6. Compensation of chromatic dispersion, advantages D57

Setup of the WDM test link

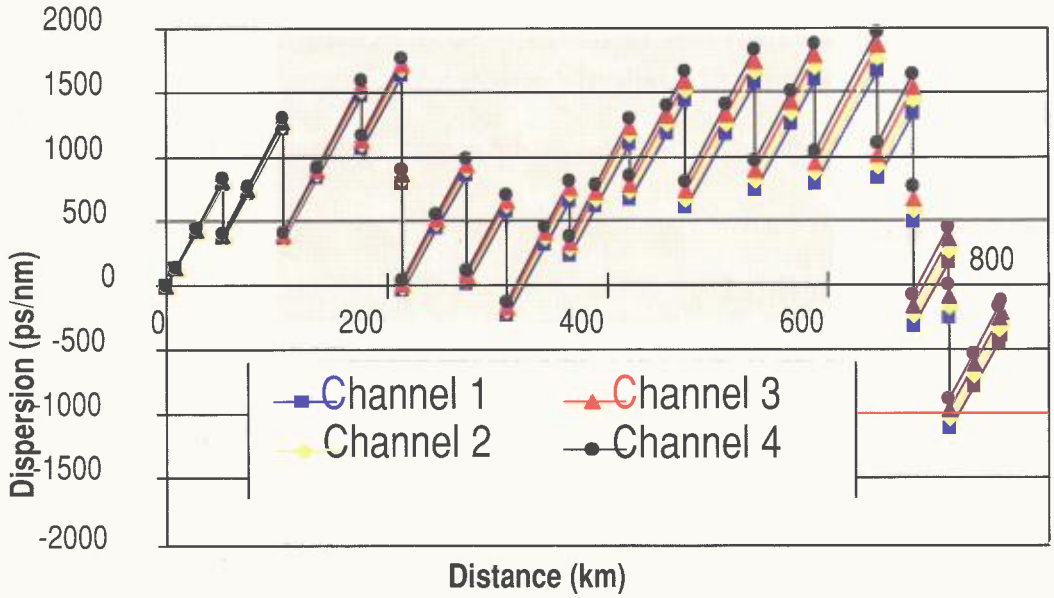


Germany

Deutsche Telekom

7. Setup of the WDM test link D58

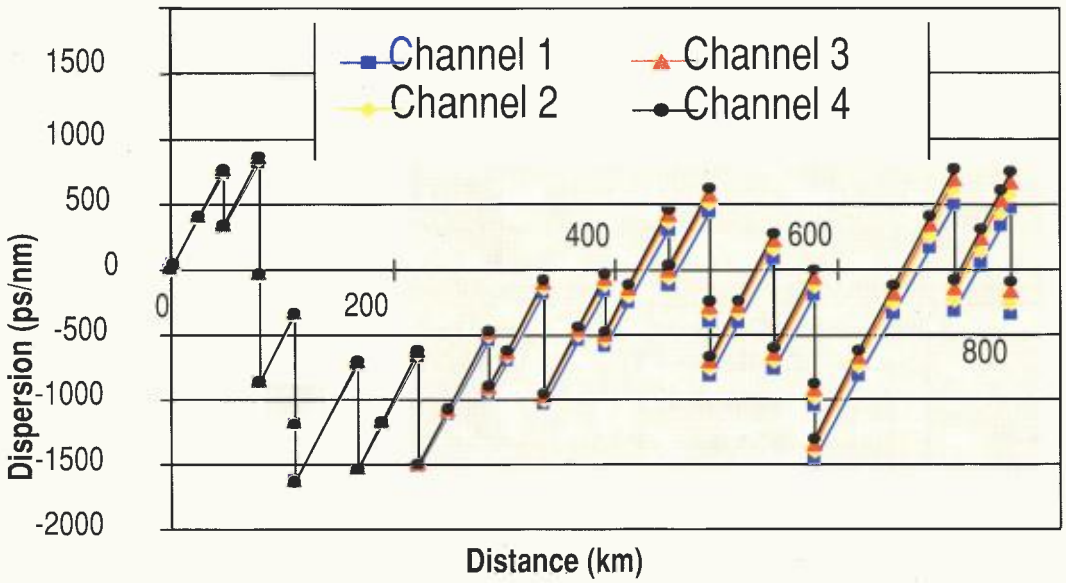
Dispersion map Berlin - Darmstadt



Deutsche Telekom

8. Dispersion map Berlin-Darmstadt D58

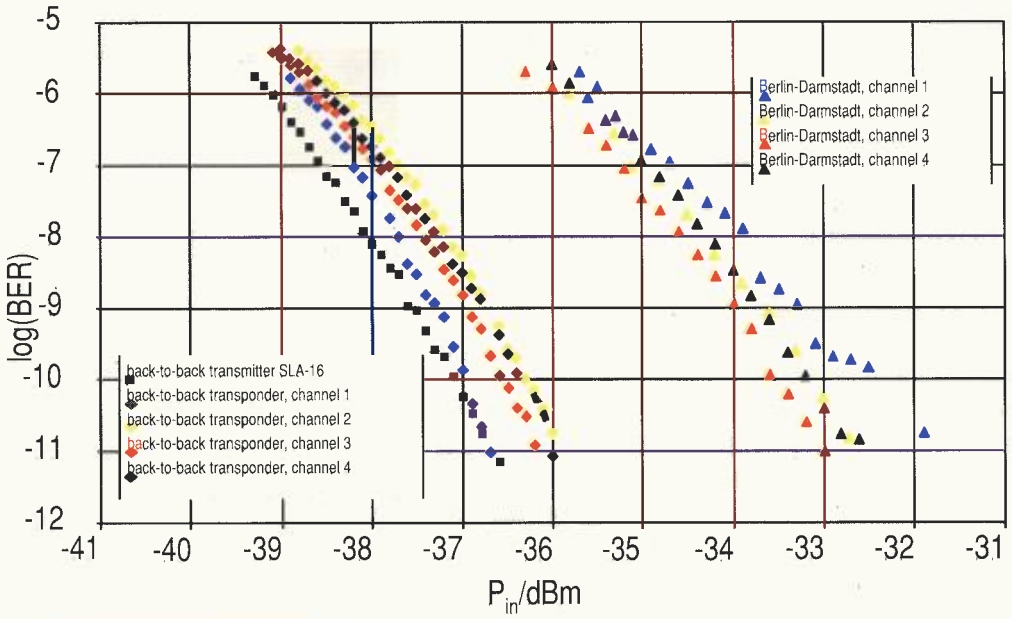
Dispersion map Darmstadt - Berlin



Deutsche Telekom

9. Dispersion map Darmstadt-Berlin D59

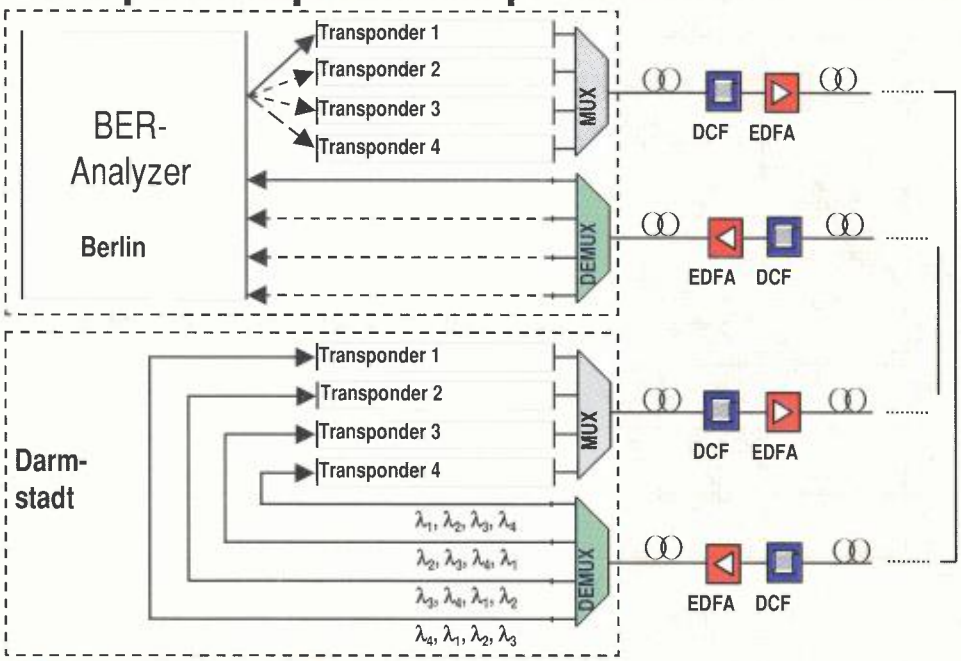
BER measurement Berlin - Darmstadt



Deutsche Telekom

10. BER measurement Berlin-Darmstadt D59

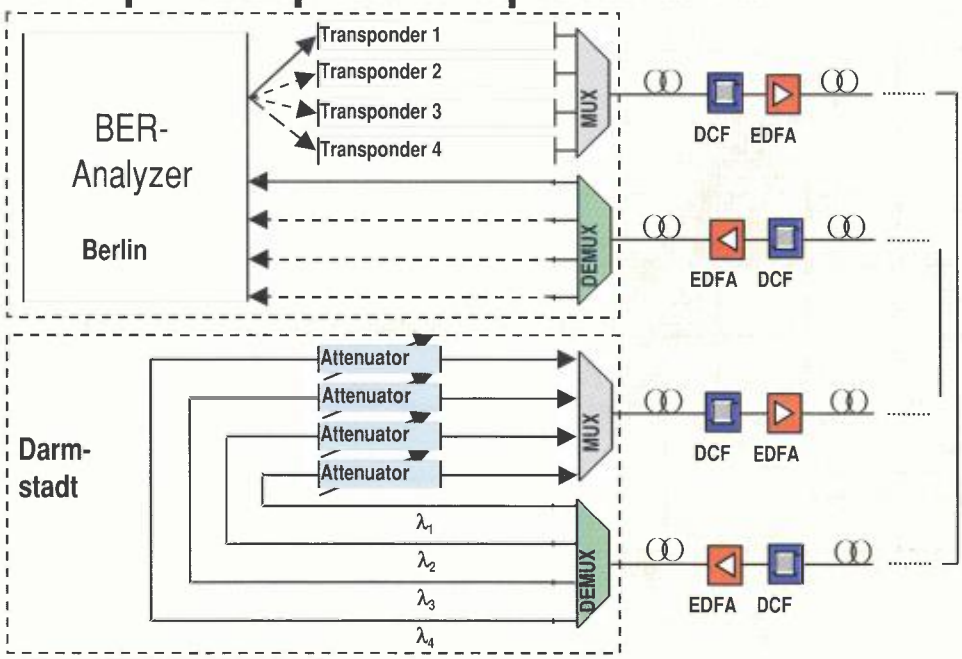
Setup of loop back experiments I



Deutsche Telekom

11. Setup of loop back experiment I. D60

Setup of loop back experiments II

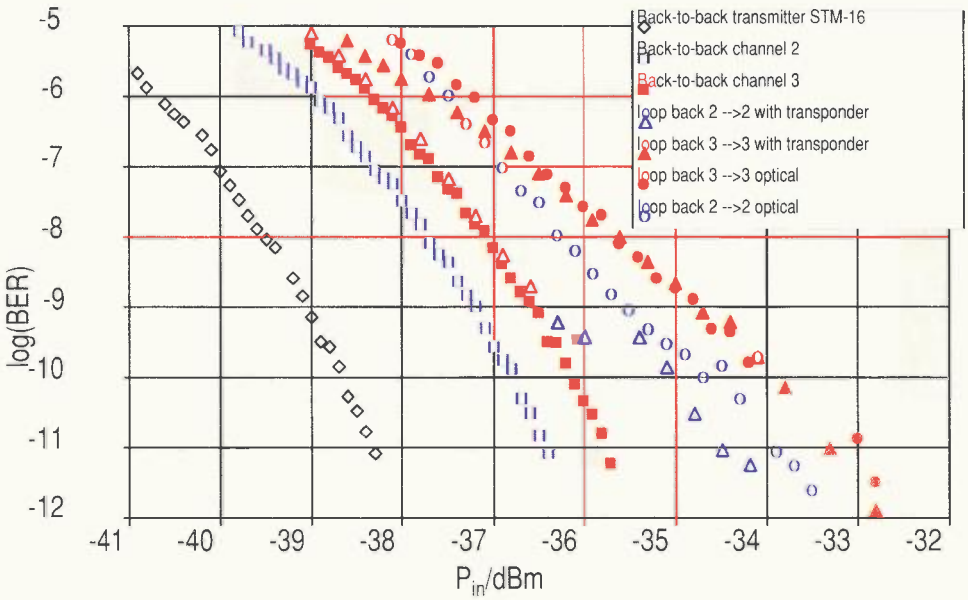


Deutsche Telekom

12. Setup of loop back experiment II. D60

D61

BER measurements with loop back

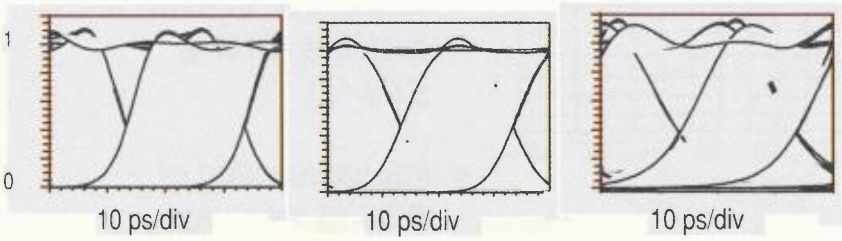


Deutsche Telekom

13. BER measurement with loop back D61

10 Gbit/s transmission experiment

- ***Channel λ=1557 nm from 2.5 to 10 Gbit/s***
- ***no changes on the link setup***
- ***total PMD-value: 10 ps***
- ***number of WDM-channels: 4***
- ***Results of simulations***:

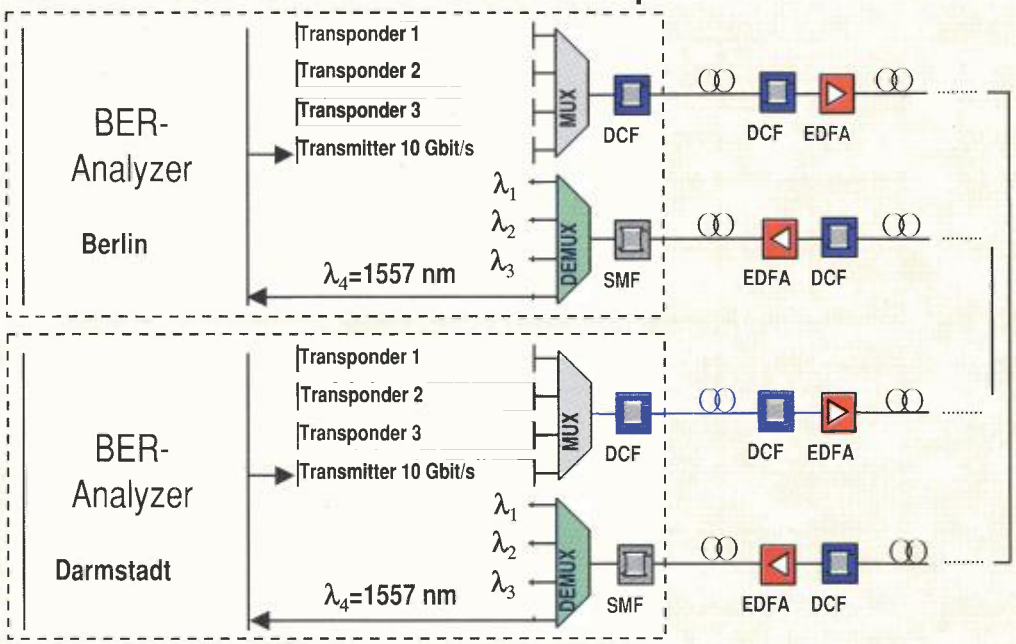


TX: -600 ps/nm	TX: -600 ps/nm	TX: -600 ps/nm
RX: 500 ps/nm	RX: 900 ps/nm	RX: 1300 ps/nm

Deutsche Telekom

14. 10 Gbit/s transmission experiment D61

10 Gbit/s transmission experiment

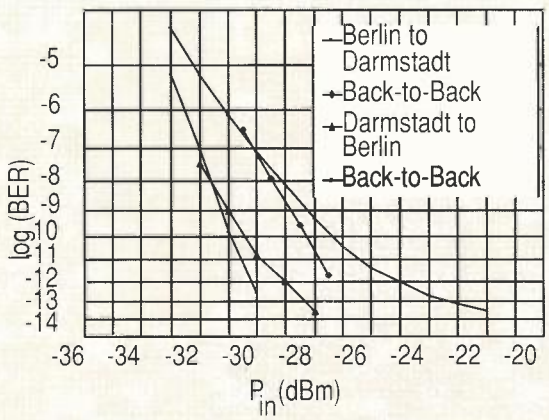


Deutsche Telekom

15. 10 Gbit/s transmission experiment D62

Experimental results

measured BER-curves 10 Gbit/s:



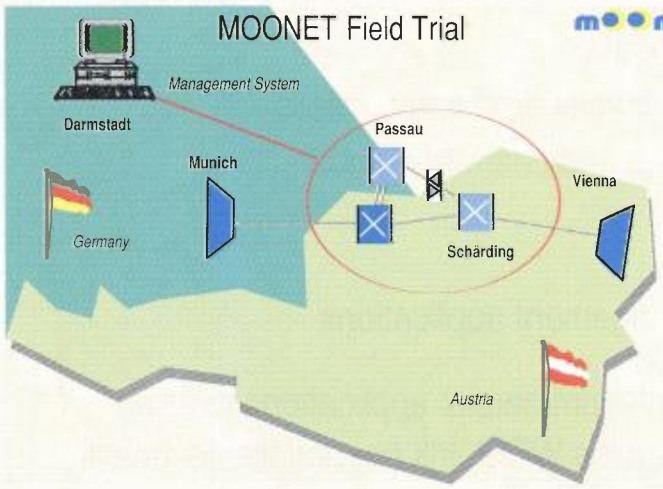
futher experiments and applications:

- ***connectionof IP-routers over 1500 km (STM-4c, STM-16c)***
- ***connection of ATM-switches (STM-4, STM-16)***
- ***interconnection of STM-16 networks***

Deutsche Telekom

16. Experimental results D62

WDM test network Munich-Passau-Vienna



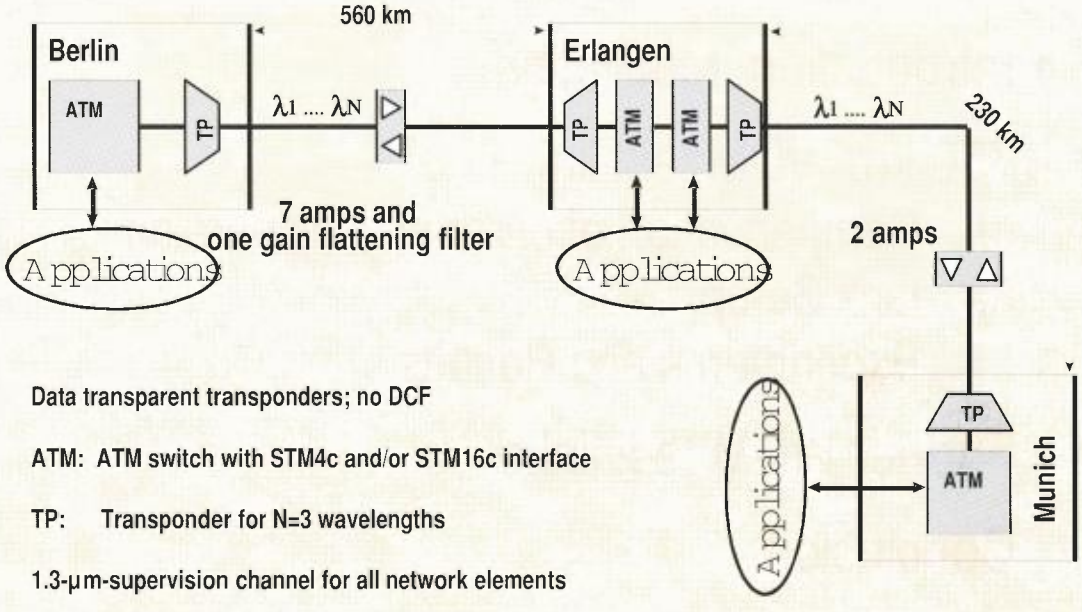
goals of the field trial:

- development of a management network for configuration and control of an optical network including optical protection switching
- remote control of the optical elements

Deutsche Telekom

17. WDM test network Munich-Passau-Vienna D63

WDM link Munich - Erlangen - Berlin



Data transparent transponders; no DCF

ATM: ATM switch with STM4c and/or STM16c interface

TP: Transponder for N=3 wavelengths

1.3-µm-supervision channel for all network elements

Deutsche Telekom

18. WDM link Munich-Erlangen-Berlin D63

Conclusion

- WDM test link for basic experiments in the physical layer
  - Dispersion compensation
  - Test of low-priced directly modulated lasers
  - Upgrade of data rate and channel number
  - Application tests
- Test network for management applications
- Data transmission with commercial applications over a cost effective repeaterless WDM-link beyond the technical specifications

Overview

- Introduction, Motivation
- 750 km WDM test link
  - Compensation of chromatic dispersion
  - Link Setup
  - Experiments and Results
- Further WDM test links
- Conclusion

LECTURE#15.: R. DAVEY: PRACTICAL EXPERIENCES OF LAUNCHING WDM INTO THE BT NETWORK*

0	Contents	D65
1	The BT UK Network	D66
2	Drivers for WDM	D66
3	BT WDM Deployments – Jan 1999	D67
4	BT WDM Key Hardware Features	D67
5	Remote Network Management	D68
6	BT Technology Introduction Process	D68
7	Lack of WDM565 standards (ternary line code)	D69
8	Lack of WDM565 standards (Ge APD receivers)	D69
9	Lack of WDM565 standards (HF noise)	D70
10	Constant power per channel-1 (client loading)	D70
11	Constant power per channel-2 (power out of demux)	D71
12	WDM sparing	D71
13	SDH/optical protection interactions	D72
14	Lesson: Transponders have to go! (optical layer without them?)	D72
15	The Future – too many boxes and interfaces! (needs standards	D73
16	The Future – cost-effective, short haul WDM (Metro WADM rings?)	D73
17	The Future – Bulk Transport Rings (WADMs rings)	D74
18	Header, BT Laboratories, U.K.	D74

The BT UK Network

Core Network

*Still lots of PDH - but no new installations
*Current Inner SDH core = mesh of STM-16 line systems + crossconnects
*Moving to STM-16 MS-SPRINGs today
*STM-64 MS-SPRINGs soon
*16λ point-to-point WDM today
*ATM switches connected to SDH today

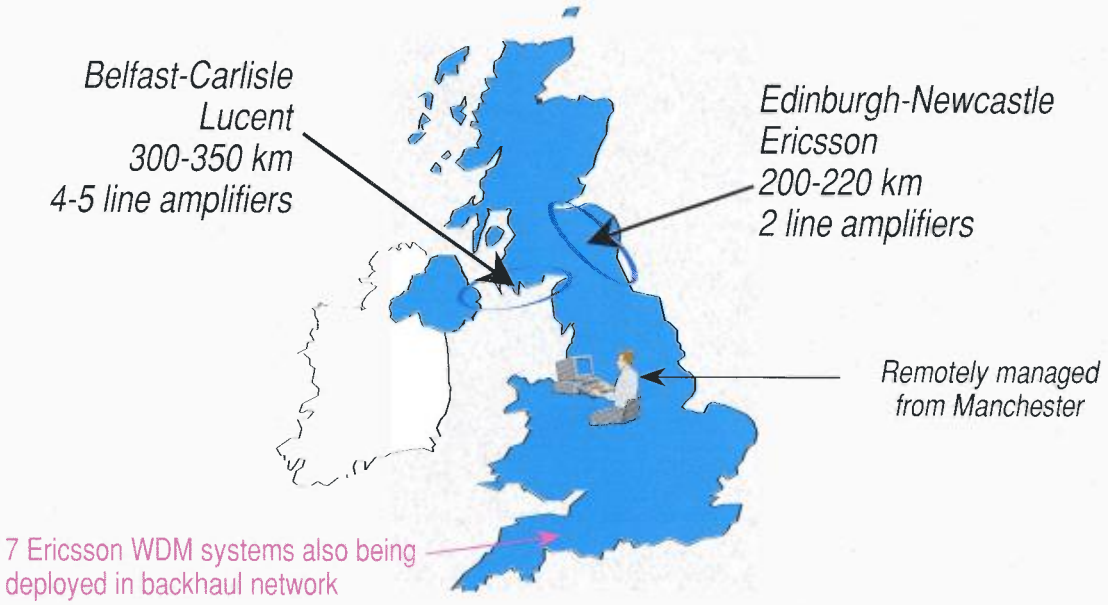
Backhaul Network

*connects to subsea cables
*STM-16 line systems
*16λ point-to-point WDM today

Drivers for WDM

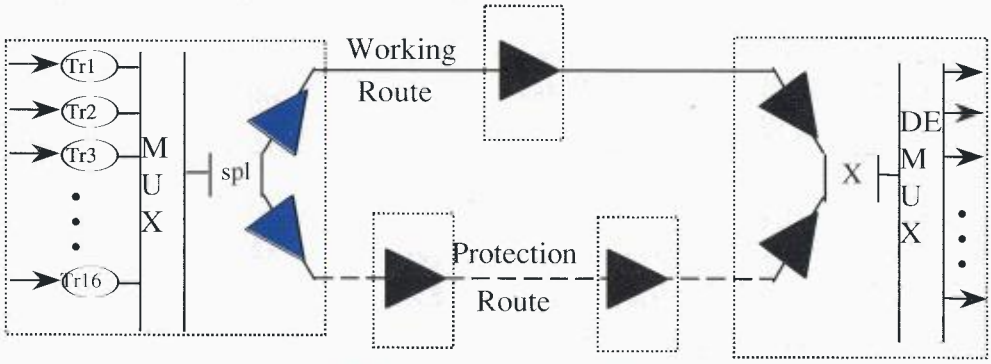
- *To avoid installing new cables in regions of fibre shortage*
- *Savings on repeaters*
- *Improve PDH resilience*

BT WDM Deployments - Jan 1999



BT WDM Key Hardware Features

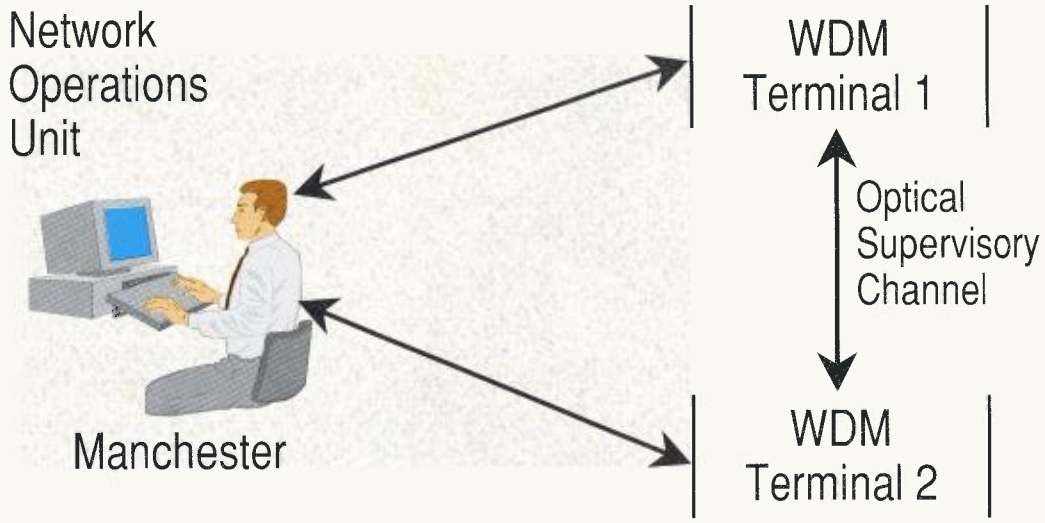
- *16 wavelengths*
- *transponders (to carry PDH 565 and SDH)*
- *optical multiplex section protection*



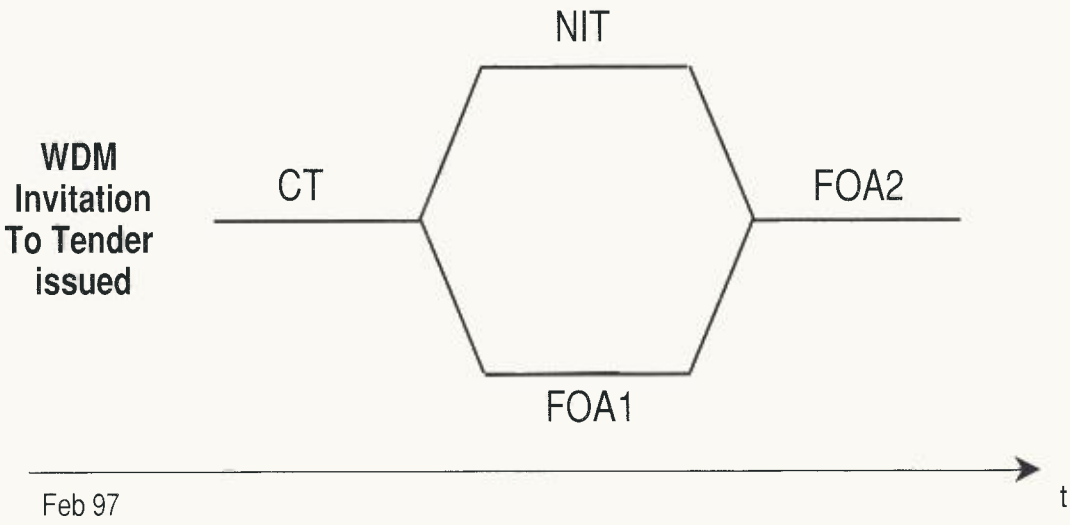
World's first optical layer?

7 Backhaul WDM systems do NOT provide optical protection

Remote Network Management



BT Technology Introduction Process

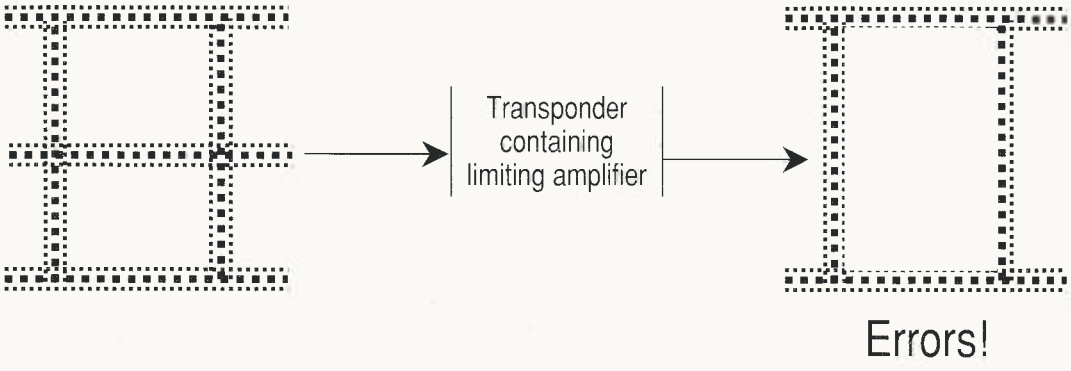


So what have we learned?.....

D69

Lack of WDM & 565 standards makes life interesting!

20% of BT 565s have a ternary line code

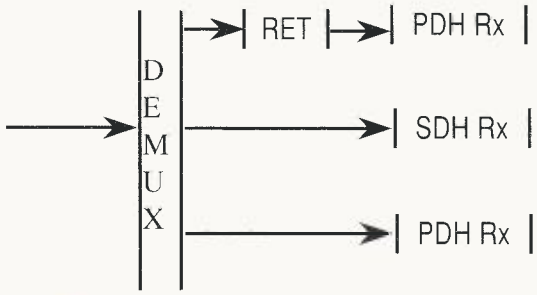


Lesson:
If you want carry PDH over an "optical layer" EITHER you must design "analogue" transponders OR accept you cannot carry all 565s

7. Lack of WDM565 standards (ternary line code) D69

Lack of WDM & 565 standards makes life interesting!

-30% of BT 565s have Ge APD receivers
-(and so do lots of 1300nm SDH systems!)
-Ge APDs do NOT work reliably at 1550nm
-so you need a receive end transponder (RET) option



RETs result in:-
-more cost
-worse reliability
-more rack space

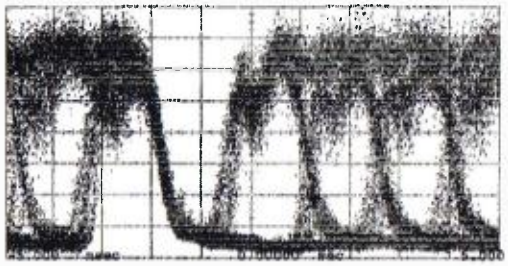
Lesson:
If you want to carry IP/ATM/Gigabit ethernet directly over an "optical layer" then avoid Ge APD receivers

10. Lack of WDM565 standards (Ge APD receivers) D69

Lack of WDM & 565 standards makes life interesting!

D70

The eye from some 565s contains high frequency "noise"



This works fine if your receiver contains appropriate filters BUT a broadband 2.5 Gbit/s transponder may struggle

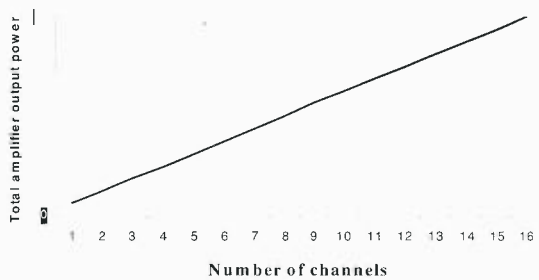
Lesson:
If you wish your "optical layer" to be "transparent" to bit-rate then you need to be careful when designing the electronics in your transponders.

Question:
What is the quality of the eye from an ATM switch or IP router?

9. Lack of WDM565 standards (HF noise) D70

Constant power per channel -1

-The WDM may carry from 1 to 16 clients
-Amplifiers should give up to +16.5dBm total output power
-Transmission distances may be as long as 600km
-We do not want any non-linear effects

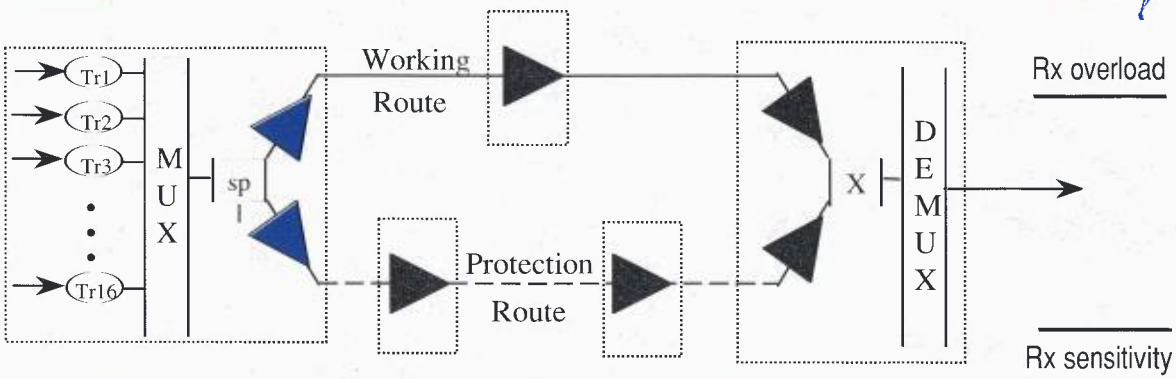


Lesson:
The optical amplifiers should automatically adjust their power as client loading varies.

10. Constant power per channel-1 (client loading) D70

D71

Constant power per channel -2



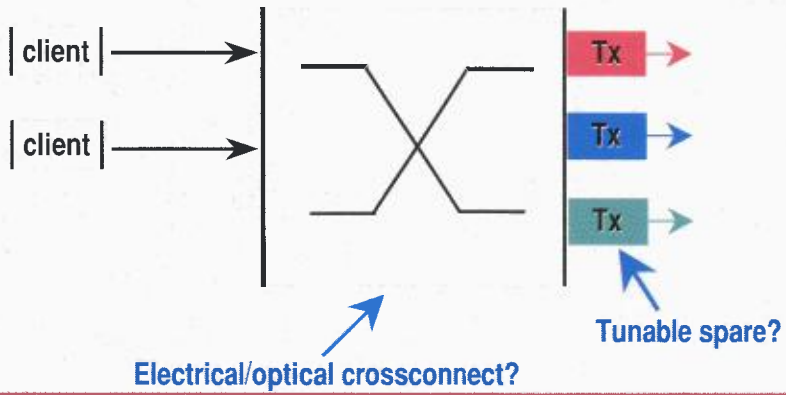
Power out of demux may potentially vary with
- -channel loading
- -wavelength
- -whether working or protection route is active

Lesson:
Power out of the demux needs to always remain between client Rx overload and client Rx sensitivity. Note with an "optical layer" approach, the client Rx may be 3rd party.

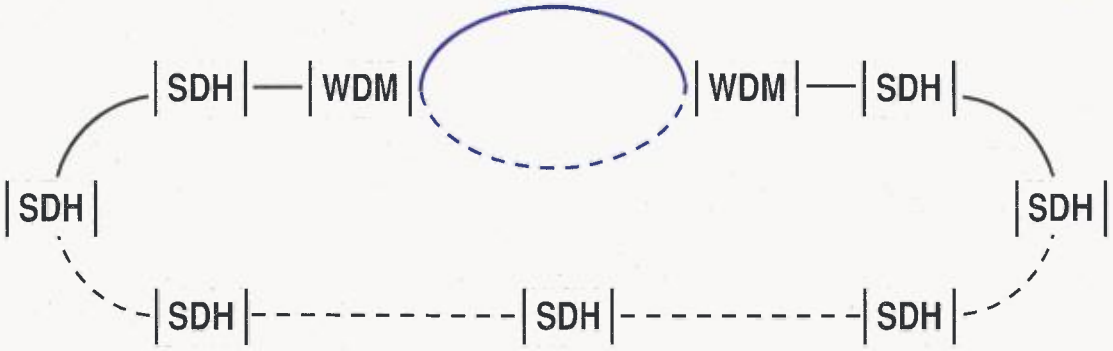
WDM sparing

Each WDM transmitter is unique
=> local 1:1 spare WDM transponders required
=> if a transponder fails then it is manually replaced
=> if client does not have its own protection then traffic hit

Lesson:
Next generation WDM architectures should provide automatic 1:N channel protection.



SDH/optical protection interactions



SDH SNCP protection decides to switch in about 6ms

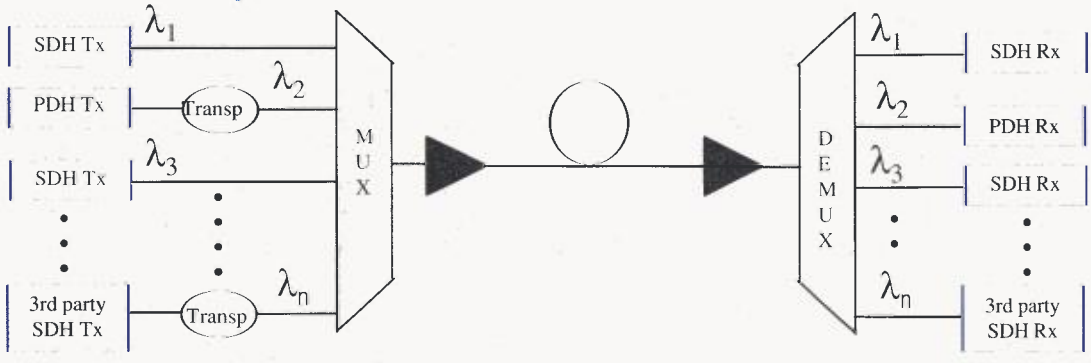
Lesson:
If you want the optical protection to beat the SDH protection then the optical switching time needs to be <1ms.

13. SDH/optical protection interactions D72

Lesson:
The transponders have to go!

Transponders:-
- increase cost
- decrease reliability
- take extra space

But can you have an optical layer without them?
Possible compromise.....



14. Lesson: Transponders have to go! (optical layer without them?) D72

D73

The Future -too many boxes and interfaces!

OR

?

Lesson:
BT needs integrated solutions with standard interfaces

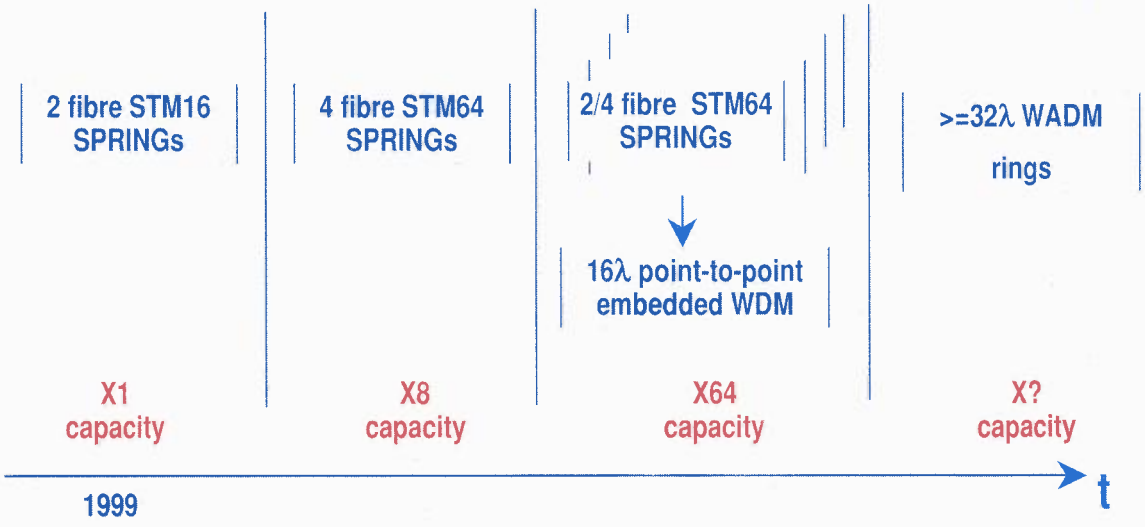
16. The Future - too many boxes and interfaces! (needs standards D73

The future - cost-effective, short haul WDM

- *Current WDM tends to be cost-effective for routes >200km*
- *Average distance in BT core network = 100 km with many routes even shorter*
- *It would be useful to have WDM that was cost-effective for distances in range 20-100 km*
  - *totally passive?*
  - *No transponders*
  - *If transponders cannot be avoided then they must be very cheap (direct modulation?)*
  - *must still be capable of carrying 565, STM4, STM-16 (and STM-64?)*
  - *no amplifiers (or low number of lower power amplifiers)*
- *Simple point-to-point*
- *portable options for restoration?*
- *Metro WADM rings???*

17. The Future - cost-effective, short haul WDM (Metro WADM rings?) D73

The Future - Bulk Transport Rings



*STM64 SPRINGs + 16λ point-to-point embedded WDM together should keep us going for a while!

*WADMs rings are very immature especially network management & OSS

*BT would like to informally evaluate early WADMs to understand them

18. The Future - Bulk Transport Rings (WADMs rings) D74

Practical Experiences of Launching WDM into the BT Network

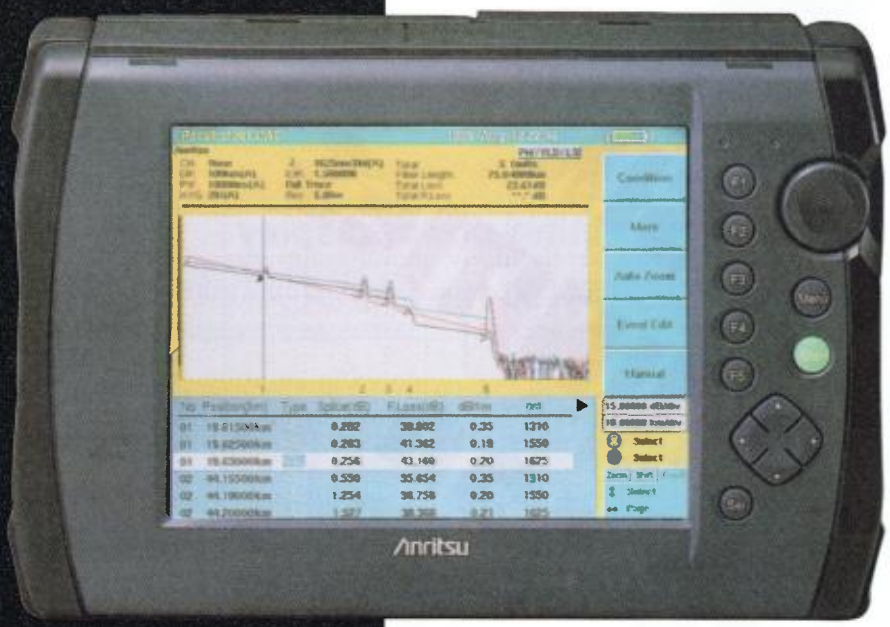
Russell Davey
Advanced Communications Engineering
BT Laboratories
U.K.

russell.davey@bt.com
Tel. +44 1473 644759

19. Header, BT Laboratories, U.K. D74

ELSINCO®
Electronic Measurement Technology

Anritsu



„Könnyen kezelhető mini OTDR"

Anritsu MW9076 mini OTDR

Univerzális

Az ANRITSU MW9076 mini OTDR-e ideálisan alkalmazható fényvezető kábelek telepítésekor, illetve fenntartásakor is.

Kimagasló jellemzők

A mini jelző ezúttal csak a méretre vonatkozik. műszakilag mindent tud, amit a nagyok: 45 dB dinamika, 1.6/8 méter holtzóna, floppymeghajtó.

Gyors mérések

A műszer egyszerűsített kezeléssel, automatizált programozható mérőciklussal rendelkezik, így használatához nem kell pilótavizsga és a mérések gyorsan elvégezhetők.

Hordozhatóság

Kis súlya (3,5 kg), kis mérete és akár 6 órás akkumulátoros működése biztosítja a kényelmes terepi használatot.

WDM-alkalmazások

Speciális opciói között megtalálható a WDM-átviteli utak minősítésére alkalmas kromatikus diszperziómérés, illetve a beépített teljesítménymérő (akár +23 dBm-ig).

Ha gerincirányú, helyi előfizetői vagy akár kábeltévés fényvezető szálak méréséhez OTDR-re van szüksége, nálunk megtalálja a megoldást. Hívjon még ma, és kérjen bemutatót!

ELSINCO Budapest Kft., 1136 Budapest, Pannónia u. 8. IV/1.
Telefon: (36-1) 339-0000 Fax: 339-4444
E-mail: elsinco@matavnet.hu Internet: http://www.elsinco.com

ADVERTISING OPPORTUNITIES

You can book

for a single issue
for half year
or for one year
color pages

on

systems & solutions
software & hardware
components & companies
conference & events
products & activities
services & devices
markets competition

híradástechnika

D76

May, 2000/5

1946-2000

VOLUME LV.

PROCEEDINGS of the

1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

Budapest, 23 March, 1999

PART E

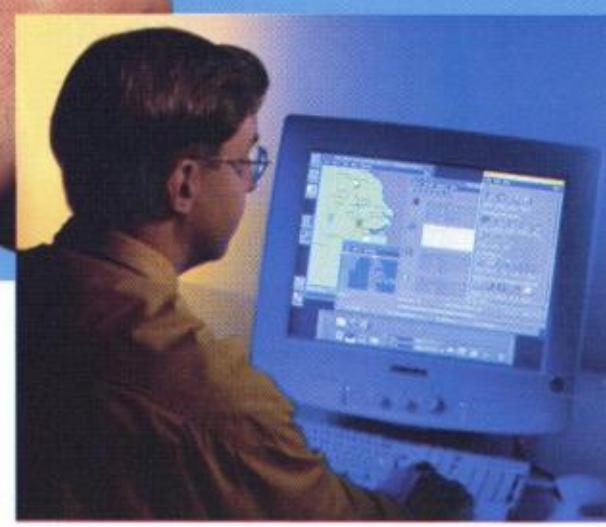
Lecture # L16-P20

L16.	Hamel, Ronarc'h: WDM in Trunks & Rings*	E1
P17.	B. Clesca: Alcatel WDM Products**	E15
P18.	A. Kapovits: IP over WDM* +	E30
P19.	WDM-PLX40: Marconi Smartphotonix DWDM*	E49
P20.	Cobnet: Corporate Optical Backbones**	E57

\+ EITO' 99: Telecommunications, DWDM State-of-the-Arts, pp. 104-111.

*Slides numbered L-Lecture, P-Poster **Slides w/o numbering

Connecting@Speed, a Nokia széles sávú megoldása.



A felhasználók célja az, hogy az összes elérhető gyors szolgáltatáshoz hozzáférjenek. Nem számít, hogy ki a szolgáltató. A Nokia széles sávú IP-hozzáférési megoldása a felhasználóknak a végberendezések, a DSL-technológia és a szolgáltatások széles választékát kínálja. A Nokia megoldása egyszerre több internet-szolgáltatóval is képes kapcsolatot teremteni, így lehetővé teszi a különböző szolgáltatók, szolgáltatások és vállalati intranetek elérését is.

Ön pedig a legmodernebb DSL-technológiákat támogató végberendezések óriási választékát kínálhatja felhasználóinak. A Nokia megoldását úgy alakították ki, hogy frissítéssel a DSL-technológia jövőbeni változataira is alkalmazható legyen.

Csak néhány ok, amiért elmondhatjuk, hogy a Connecting@Speed a Nokia széles sávú megoldásával nagyobb választékot kínál, így több lehetőséget nyújt Önnek és ügyfeleinek.

Connecting@Speed, a Nokia széles sávú megoldása.

A választék Önnek lehetőség!

NOKIA
CONNECTING PEOPLE
www.nokia.hu

LECTURE#L16.: **A. HAMEL, D. RONARC'H:**
WDM EXPERIMENT IN TRUNK NETWORK AND RING ARCHITECTURES*

0	Contents	E1
1	Header, France Telecom (FT), Cnet	E2
2	Summary	E2
3	Technical options	E3
4	The long distance network	E3
5	Schematic of the Paris – Rouen link	E4
6	Power levels in nominal conditions	E4
7	BER curves at Paris with 8 wavelengths	E5
8	Optical spectra at the input and output of the preamplifier in Paris	E5
9	BER curves at Paris with various number of wavelengths	E6
10	Preamplifier monitor output at Rouen	E6
11	WDM link robustness	E7
12	Double degradation in Paris – Rouen link	E7
13	WDM system operations and management	E8
14	Restoration policy in the FT meshed network	E8
15	WDM in Trunk Network: Conclusions	E9
16	Coloured Section Ring architecture: Principle of operation	E9
17	Principle of a CS Ring	E10
18	Hubbed Traffic	E10
19	Nearest Neighbour Demand	E11
20	Comparison of SDH architectures, P413 (Eurescom Project)	E11
21	Field Trial Experiment	E12
22	Detailed Node Configuration	E12
23	Ring Full length according to field trial implementation	E13
24	Measurement Configuration	E13
25	Add extra Node in a CS Ring	E14
26	CS Ring Experiment: Conclusions	E14

WDM experiment in Trunk network and Ring Architecture

André HAMEL , Daniel RONARC'H
France Télécom, Lannion

1. Header, France Telecom (FT), Cnet E2

Summary

- *WDM in FT's SDH trunk network : Main drivers*
  - The possible technical options today
  - Performance of the installed WDM links
  - Management of the installed WDM links
  - Robustness of the installed WDM links
  - Present policy for network restoration
- *principle of Coloured Section Ring (Experimental Level)*
  - benefits of node ordering
  - comparison with standard SDH rings
  - field trial implementation
  - size of a C S Ring
  - measurement results
  - architecture upgrade

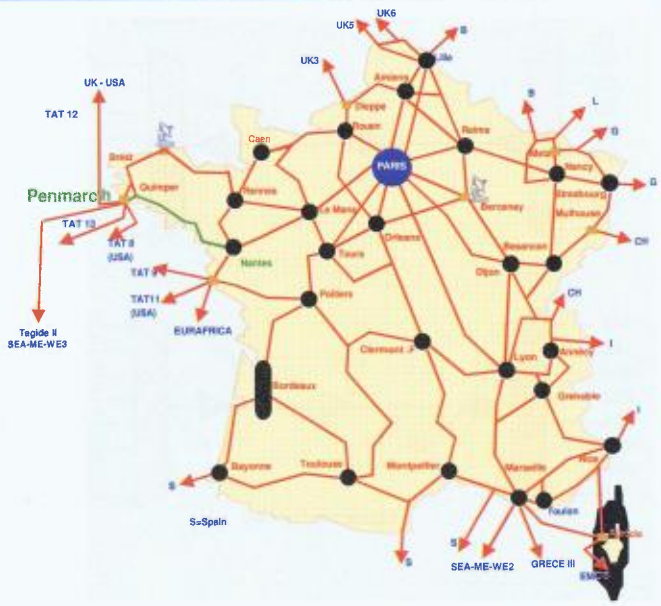
2. Summary E2

E03

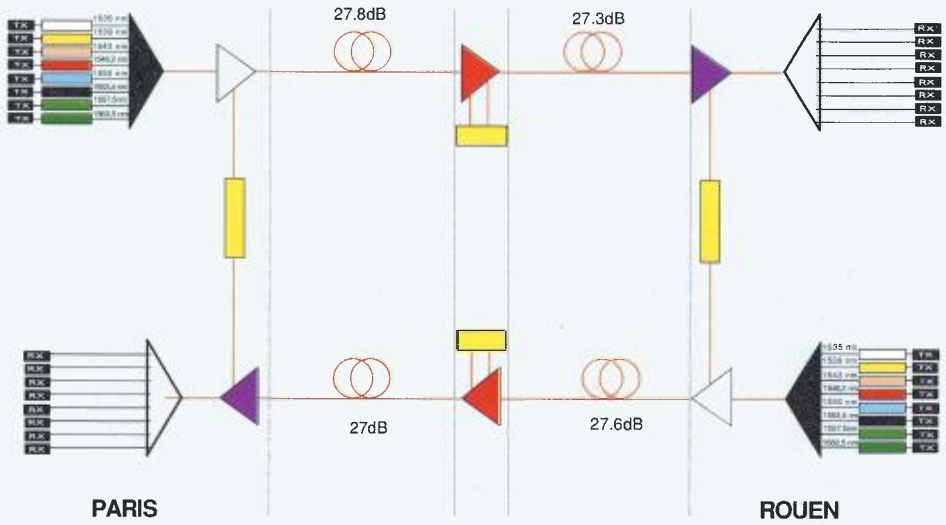
Technical options

- STM 64 :
  ADM's availability ; Cost of new technology
  - » Fibre limitation (Chromatic Dispersion, PMD)
- WDM :
  - » Up to 16X STM-16 Channels commercially available
  - » MUX and de-MUX passive elements
  - » Use of transponders
  - » Flexibility of increasing the number of channels in operation in the installed wavelength multiplex
  - » Gain flatness of optical amplifiers to be considered for long links
- The FT choice today is WDM :
  - » Maturity of the technology compared to STM-64 new generation equipment

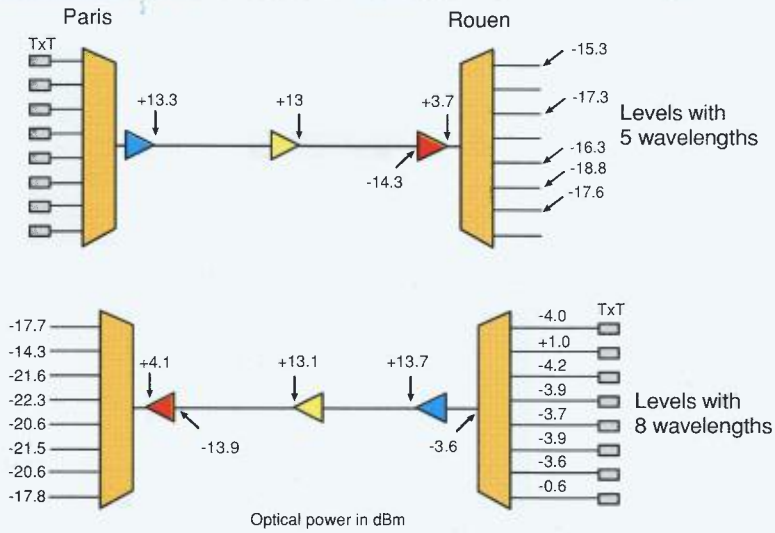
The long distance network



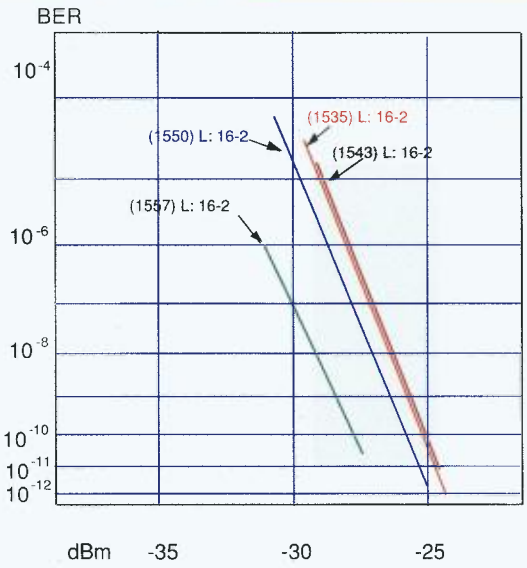
Schematic of the Paris - Rouen link



Power levels in nominal conditions



BER curves at Paris with 8 wavelengths

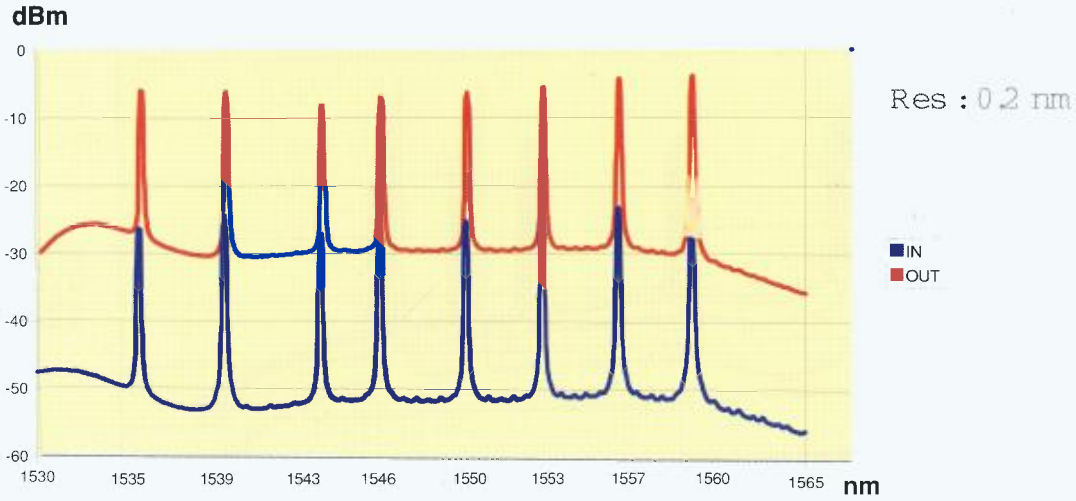


Sensitivity at the preamplifier input for BER 10^{-10}

1535 nm ⇨ -25.2 dBm
1543 nm ⇨ -25.1 dBm
1550 nm ⇨ -25.8 dBm
1557 nm ⇨ -27.7 dBm

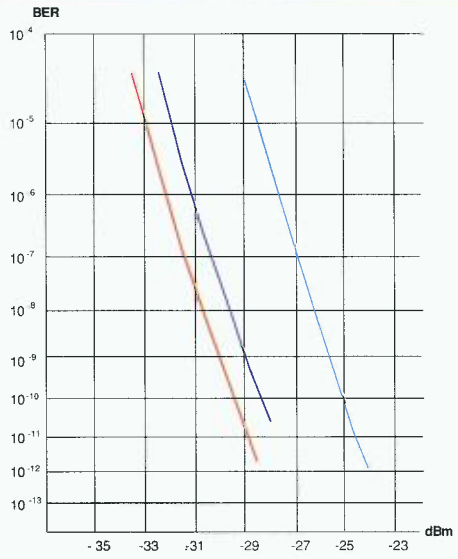
7. BER curves at Paris with 8 wavelengths E5

Optical spectra at the input and output of the preamplifier in Paris (nominal conditions)



8. Optical spectra at the input and output of the preamplifier in Paris E5

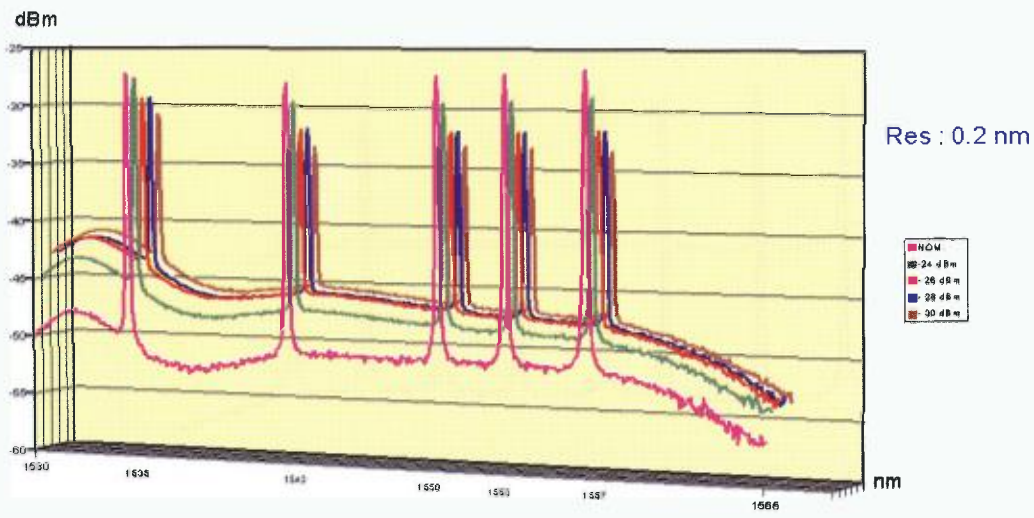
BER curves at Paris with various number of wavelengths



Wavelength : 1543 nm

4 wavelengths
5 wavelengths
8 wavelengths

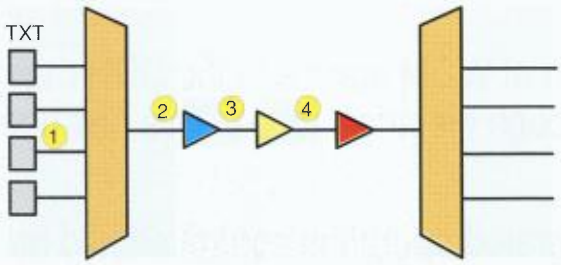
Preamplifier monitor output at Rouen



Res : 0.2 nm

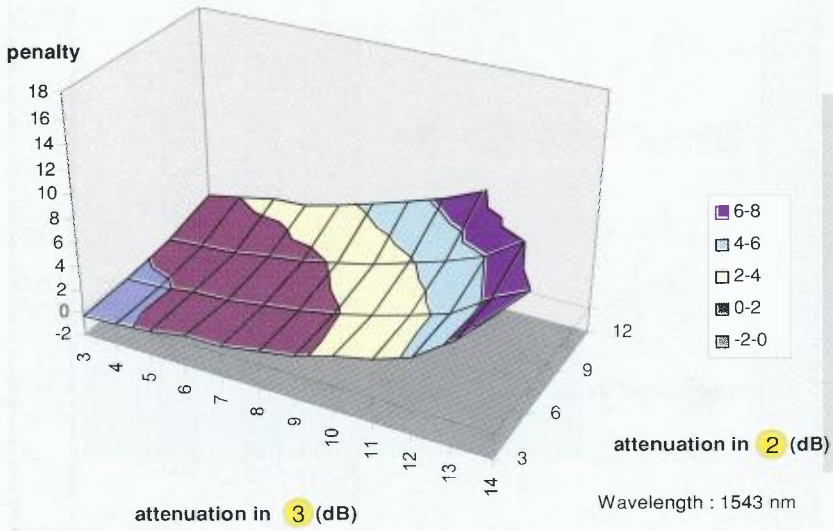
WDM link robustness

- Degradation of the optical levels in the link



- Definition of the penalty
  - » Penalty = Shift in dB of the BER curves with degraded conditions compared to the BER curves in nominal conditions

Double degradation in Paris - Rouen link

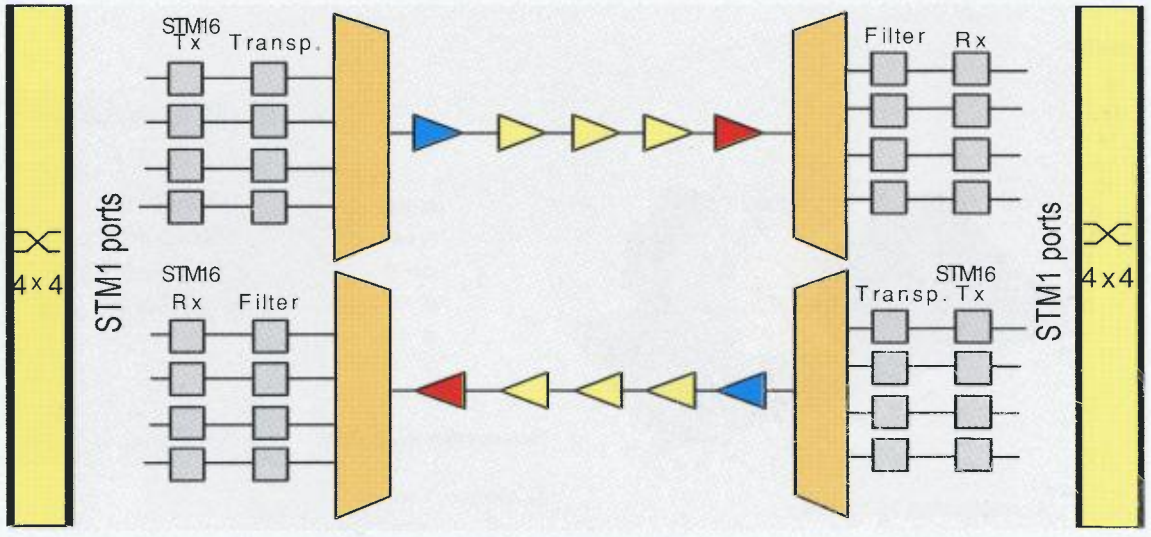


At 9 dB attenuation in 2 and 10 dB in 3 preamplifier , input power is 0.3 dB lower than nominal condition ones

WDM system operation and management

- WDM system operation and management
- A connection of WDM alarms to the SDH management is possible through electrical loops. This has been tested in the lab
- A more integrated operation control should be implemented in the future links

Restoration policy in the FT meshed network



WDM in Trunk Network : Conclusions

- FT is operating 2 WDM links with live traffic in the synchronous trunk network.
- One of them has been working for two years
- The policy of optimizing the use of the fibre infrastructure will be continued
- The robustness of the installed links is satisfactory with regard to additional attenuation or amplifier degradation performance
- The availability of a meshed network in case of amplifier breakdown is an issue

Colored Section Ring architecture : *Principle of operation*

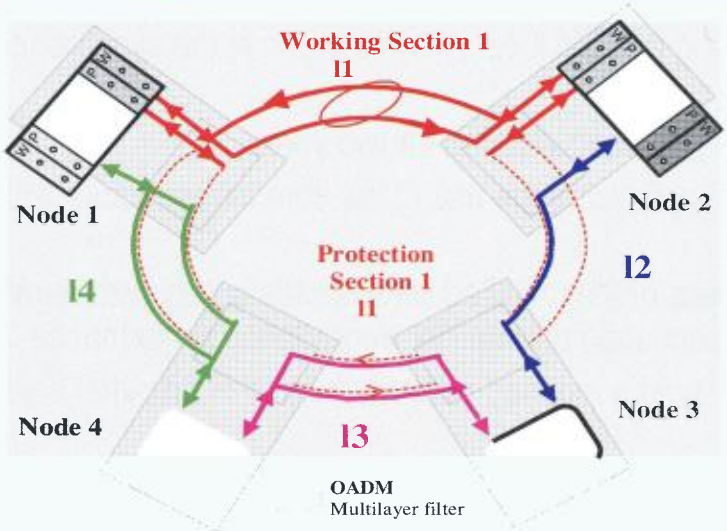
- WDM in 2 Fibre bidirectional Ring + Linear MSP (1+1)

  Increase of the Transmission capacity

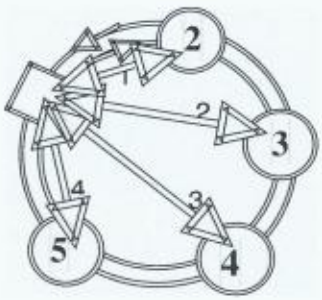
- Wavelength routing : level of freedom for Node ordering

  Logical Order of λ # Physical one

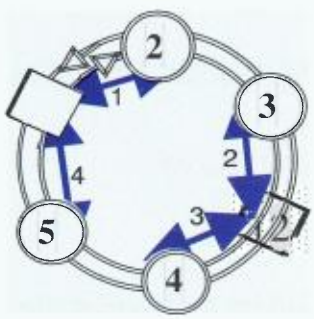
Principle of a C S Ring



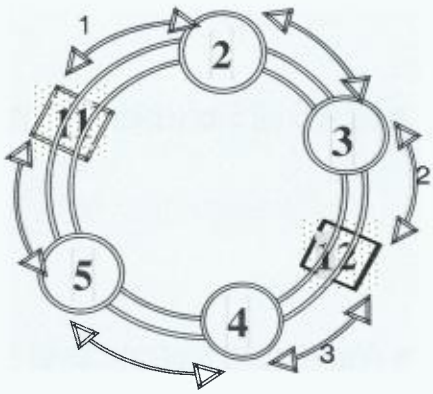
Hubbed Traffic



Physical Implantation



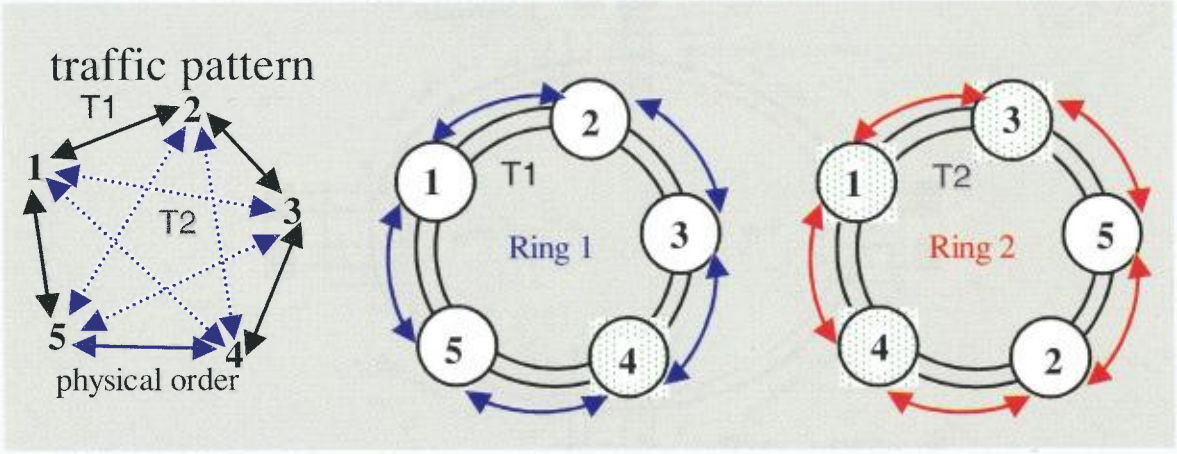
Node Logical Ordre allocation



No transfert Traffic 100% Protection

E11

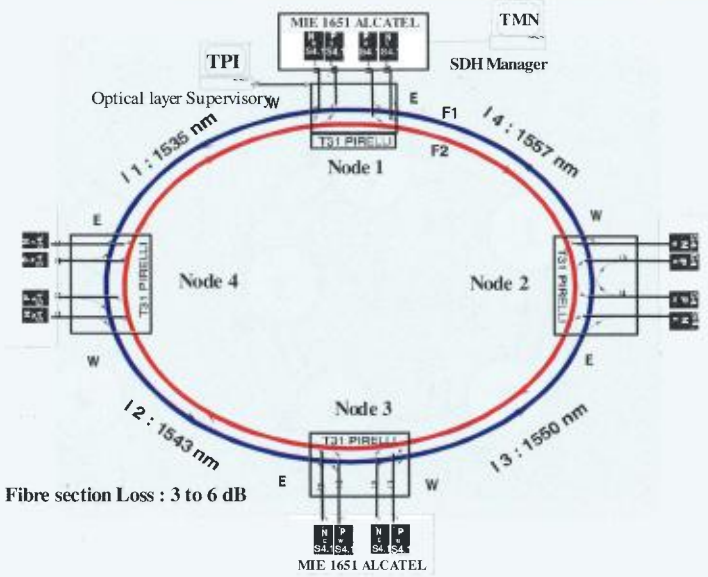
Nearest Neighbour demand
Node Ordering : No transit Traffic



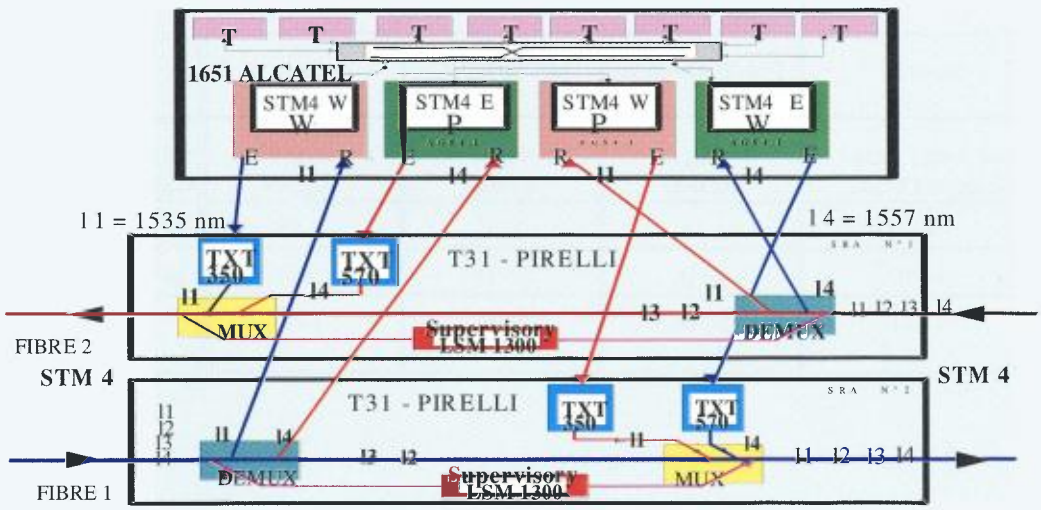
Comparison of different SDH architectures
P413 (Eurescom Project)

Cluster	Path Protection	MS SPRING	CSR	Equipment Benefits	
# of nodes / total demand (VC4)	# ring / # ADMs	# rings / # ADMs	# rings / # ADMs	CSR/PP	CSR/MS-SP
1 4 / 35	3 / 8	2 / 6	1 / 5	**37.5%**	**17%**
2 6 / 70	5 / 16	4 / 15	2 / 11	**31%**	**27%**
3 8 / 31	3 / 16	2 / 12	1 / 8	**50%**	**33%**

Field Trial Experiment



Detailed Node Configuration

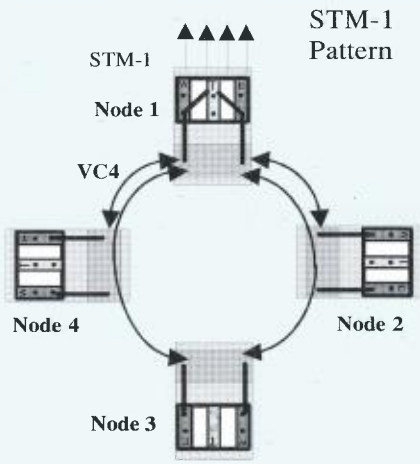


Ring Full length according field trial implementation

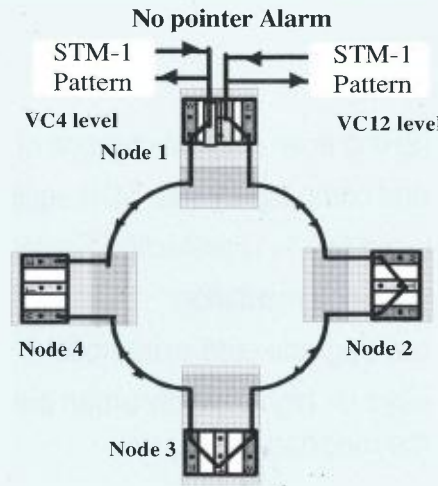
Number of Nodes	4	5	6	7	8
full length without OA	65 / 85 km	40 / 60 km	25 /50 km	30 km	
full length with OA	400 km	460 km	530 km	560 km	600 km

Cascaded O.A. Limitations !

Measurement Configuration

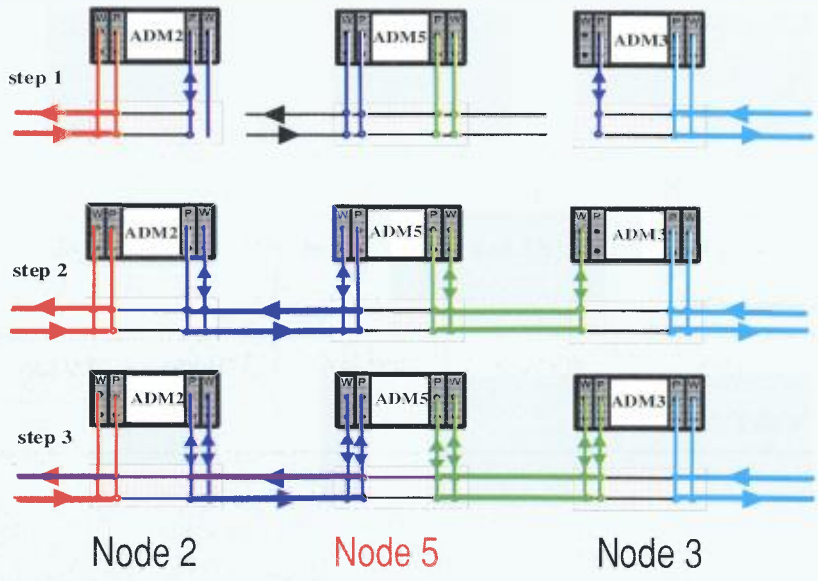


Field Trial



Test Configuration : Working state

Add extra Node in a CSRing



CSRing Experiment : Conclusions

- CSRing is an efficient upgrade of standard SDH rings
- good compatibility with SDH equipment
- Suited for (1+1) protection Equipement
- easy implementation
- easy upgrade (add extra node)
- suited for high capacity urban areas or metropolitan areas

Adatátvitel az Ön hullámhosszán

Az Antenna Hungária Rt. üzleti kommunikációs adatátviteli és professzionális Internet szolgáltatása segítségével nyugodtan belevetheti magát az adattengerbe. A mikrohullámon történő kapcsolattartás végleg megoldhatja eddigi, „hagyományos" rendszerekből adódó kommunikációs nehézségeit, és végtelen lehetőségeket nyújt Ön és üzleti partnerei számára...

Végtelenül egyszerű,

hiszen az **adatátvitel** országos lefedettségű, digitális mikrohullámú hálózaton keresztül történik.

Végtelenül rugalmas,

hiszen az Ön által meghatározott végpontok között gyorsan teremt állandó összeköttetést. Sőt szolgáltatásunkat és annak díjazását személyre szabottan alakítjuk ki.

Végtelenül megbízható,

hiszen folyamatos, 24 órás központi felügyelettel, menedzseléssel és országos szervizhálózattal állunk ügyfeleink rendelkezésére.

Végtelenül széles körű,

hiszen igény szerint **professzionális Internet**- kapcsolatot is biztosítunk.

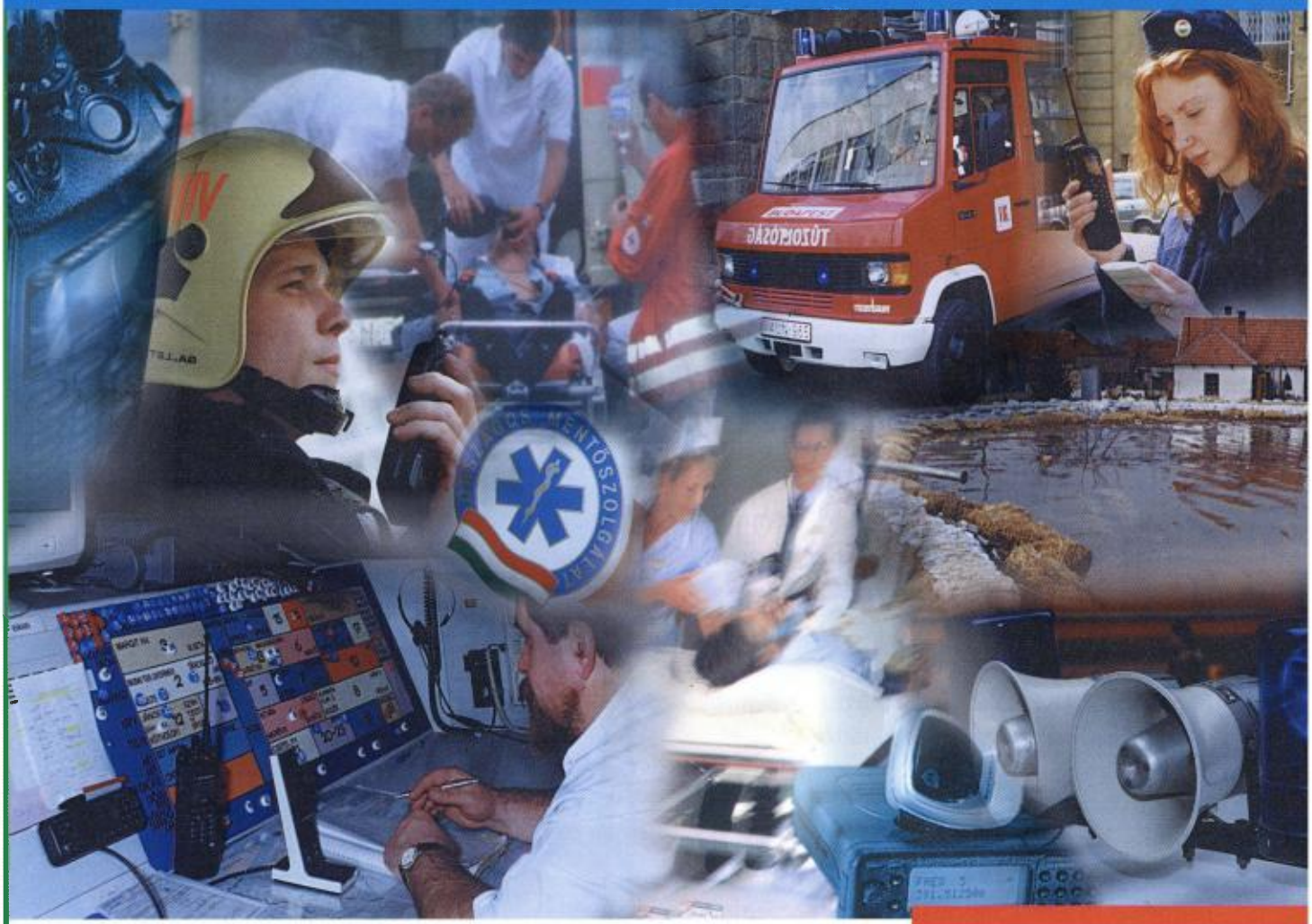
Végtelenül sokoldalú,

hiszen kommunikációs adatátviteli szolgáltatásunk a pénzintézetektől az állami szektoron és kereskedelmi egységeken keresztül a kábeltelevíziós társaságokig mindenki előtt végtelen távlatokat nyit.

További információkért hívja a 464-2583-as számot, kattintson a www.ahrt.hu honlapra.

antenna hungária

antenna hungária



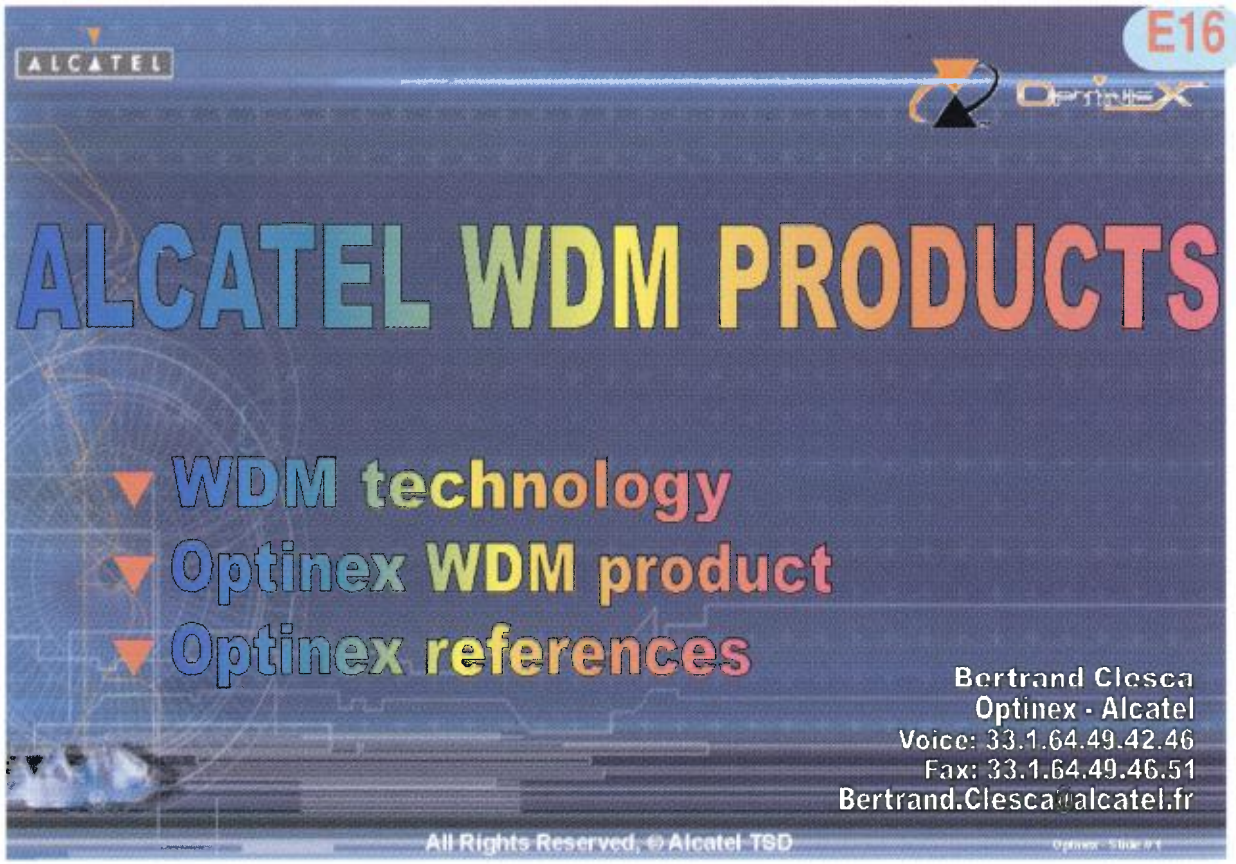
TETRA

TETRA – professzionális mobil távközlő rendszer

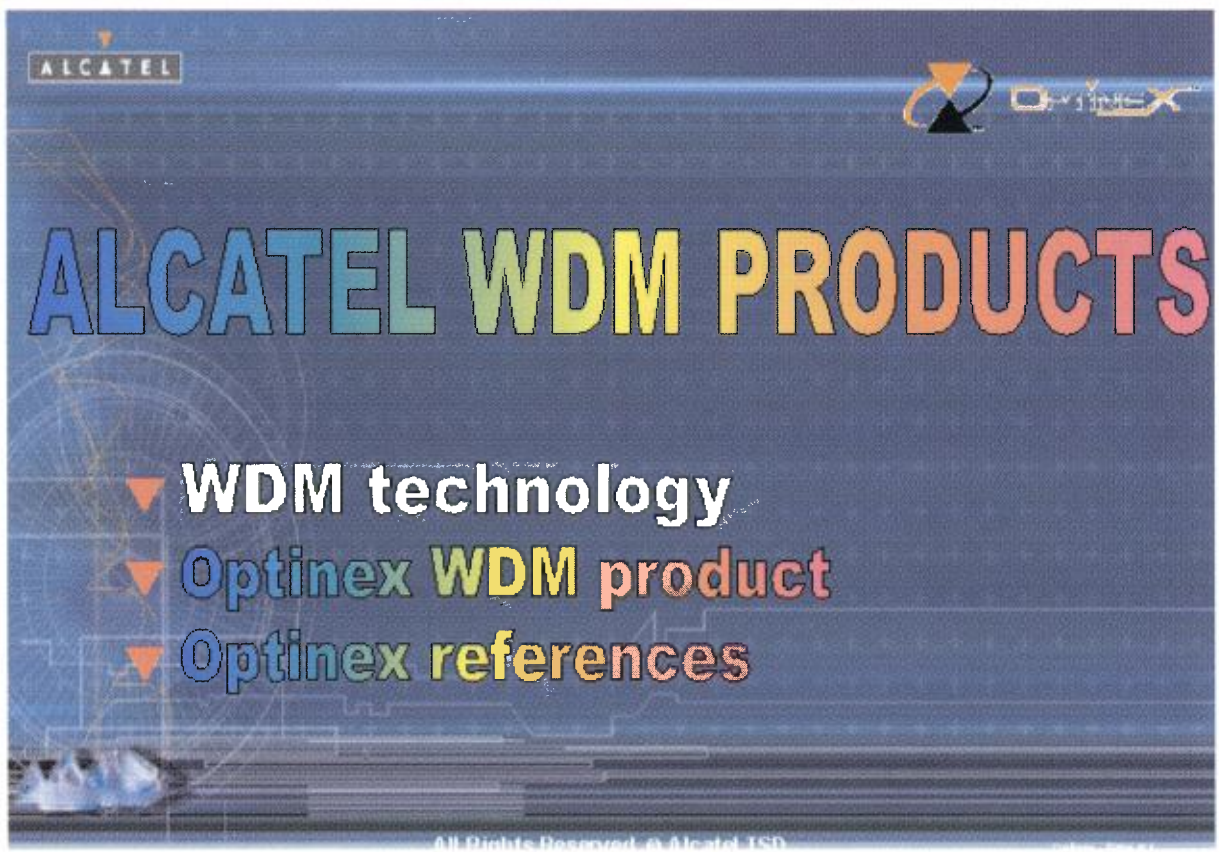
A TETRA (TErrestrial Trunked RAdio), mely a GSM és DECT rendszerekhez hasonlóan szintén a második generációs európai mobilszabványcsalád része, olyan cellás elven működő földfelszíni nyalábolt rádió rendszer, mely egyaránt képes kiszolgálni a készenléti szervezetek (rendőrség, mentők, tűzoltóság, határőrség stb.) speciális kommunikációs igényeit, valamint a civil felhasználói körbe tartozó diszpécserszerű kapcsolattartási igénnyel rendelkező ügyfelek körét.

LECTURE#P17.: B. Clesca: ALCATEL WDM PRODUCTS

0. Contents E15
1. Alcatel-Optinex Introduction E16
2. WDM technology E16
3. Principle of TDM E17
4. Evolution of Fiber Optics E17
5. Transmission Limits E18
6. Polarisation Mode Dispersion E18
7. Principle of WDM E19
8. Wavelength Division Multiplex E19
9. WDM System Synoptic E20
10. Optical Amplifiers E20
11. Key Technical Enablers E21
12. Upgrade Strategies E21
13. Optinex WDM Products E22
14. Alcatel Optinex E22
15. WDM Products Highlights E23
16. Alcatel Optinex E23
17. Example of 16 Channels Plan E24
18. Forward Error Correction (FEC) E24
19. WDM Performance Monitoring E25
20. Figures f OPTINEX Market Share E25
21. Optical Amplifiers E26
22. Clear Channels E26
23. Implementing WDM in SDH E27
24. Optical Supervising Channel E27
25. Alcatel Optinex E28
26. Optinex References E28
27. WDM Market Shares E29
28. Optinex Alcatel Summary E29

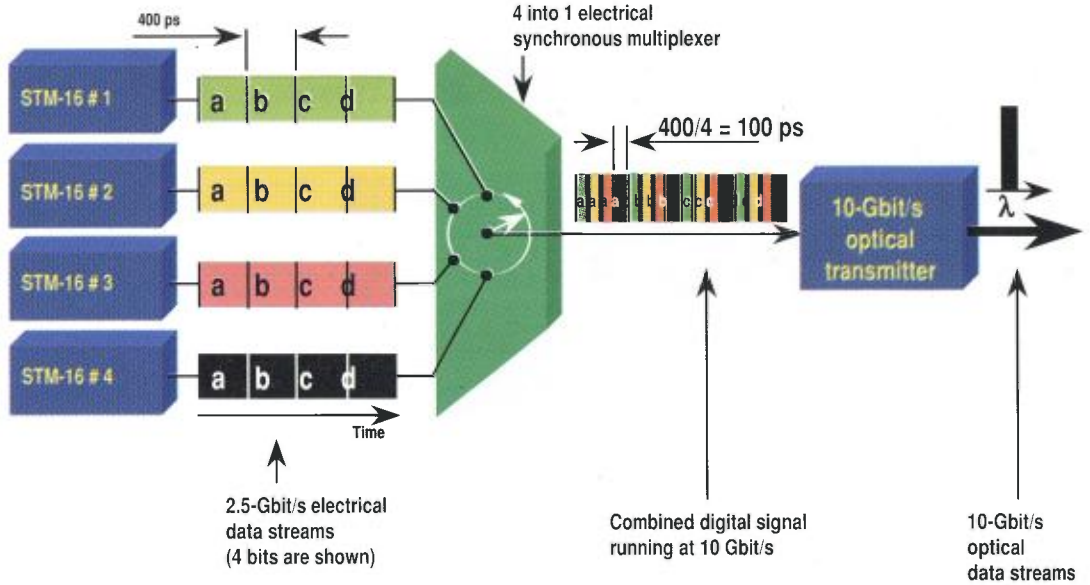


1. Alcatel-Optinex Introduction E16



2. WDM technology E16

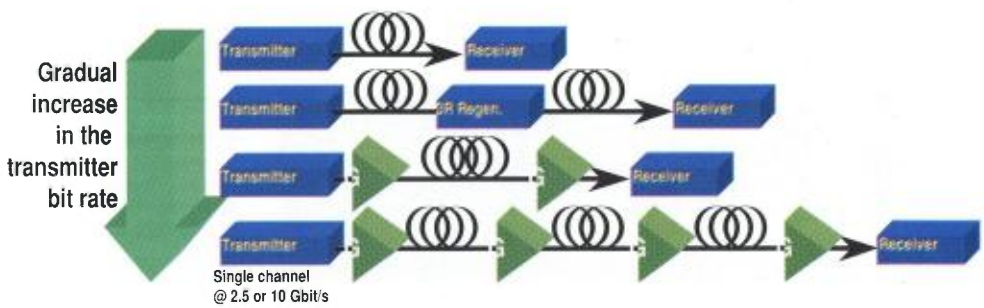
Reminder: Principle of TDM (Time Division Multiplexing)



All Rights Reserved, © Alcatel TSD

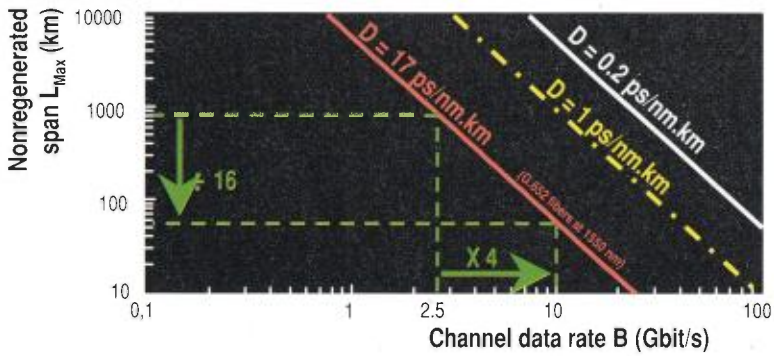
Evolution of Fiber Optic Transmission TDM Systems

- Rate of capacity increase: **doubles every 2.5 years**
- Wish for increasing the capacity-distance product



- Issues for increasing the single-channel bit rate beyond 10 Gbit/s:
  - availability of the relevant opto-electronic technologies
  - physical limitations of the fiber:
    - 85% of the already-deployed fiber plant is made of standard G.652 fiber

Transmission Limits Caused by Chromatic Dispersion



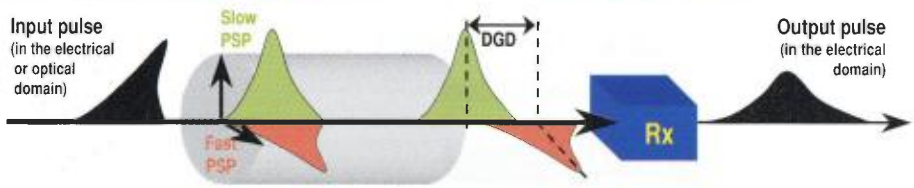
Assumptions:

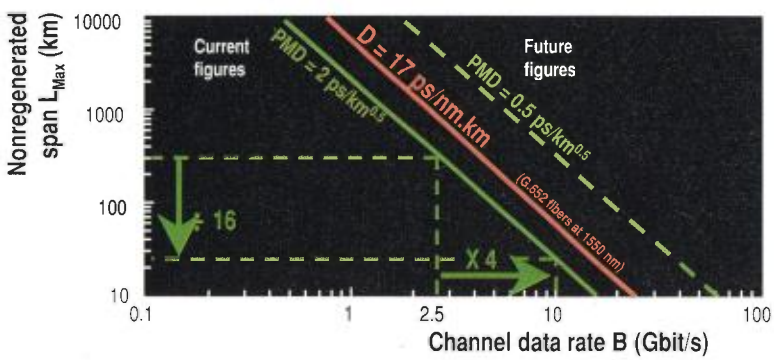
- single-channel transmission
- linear propagation
- chirp-free NRZ intensity modulation

4-fold increase in bit rate ☞ **16-fold** decrease in nonregenerated fiber span

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Transmission Limits Caused by Polarization Mode Dispersion





Assumptions:

- single-channel transmission
- tolerable Polarization Mode Dispersion (PMD) equal to 10% of the bit time

PMD issue: for fibers older than 4 years, the PMD figure can be very large and could preclude 10-Gbit/s transmission

4-fold increase in bit rate ☞ **16-fold** decrease in nonregenerated fiber span

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

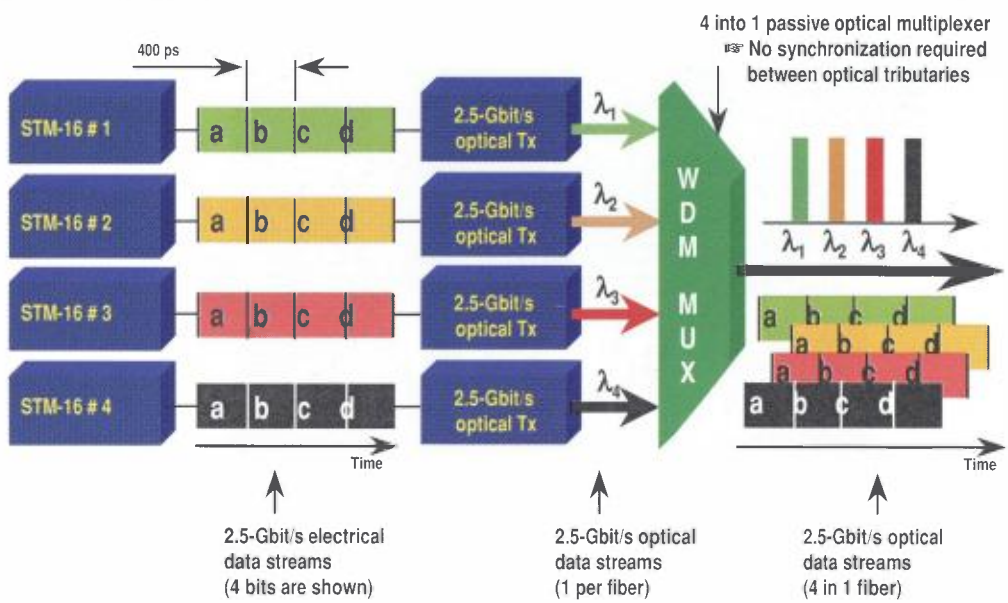
Principle of WDM (Wavelength Division Multiplexing)

BASIC OF WDM

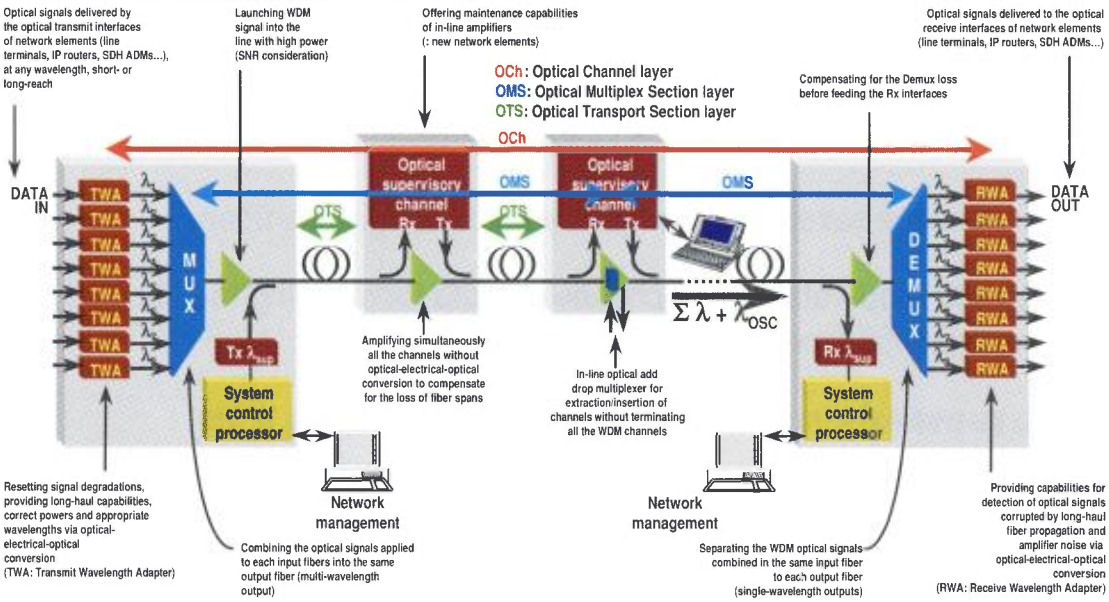
- To combine several wavelengths within a single line fiber
- To keep moderate the per channel bit rate for avoiding the fiber impairments dependent on the bit rate
- To re-use existing TDM technologies for developing WDM transmitters

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Principle of WDM (Wavelength Division Multiplexing)

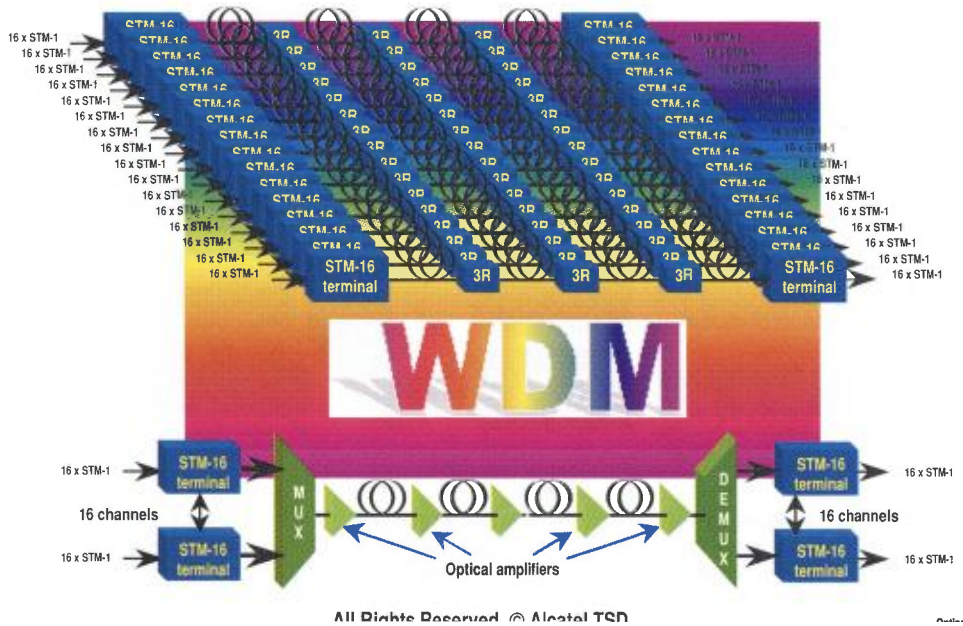


WDM SystemSynoptic



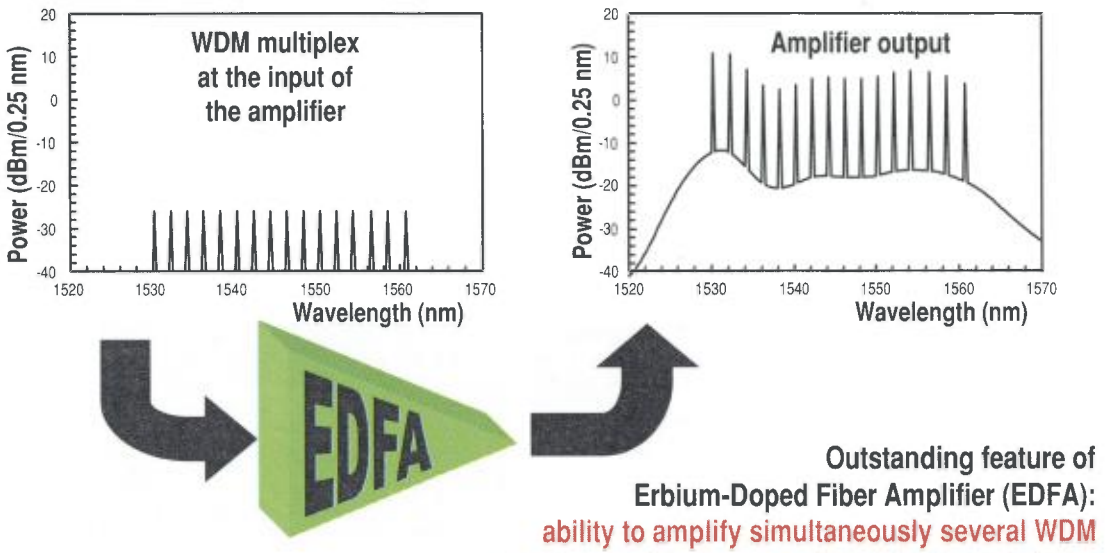
All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Optical Amplifiers: Key Technical Enablers of WDM Systems



All Rights Reserved, © Alcatel TSD

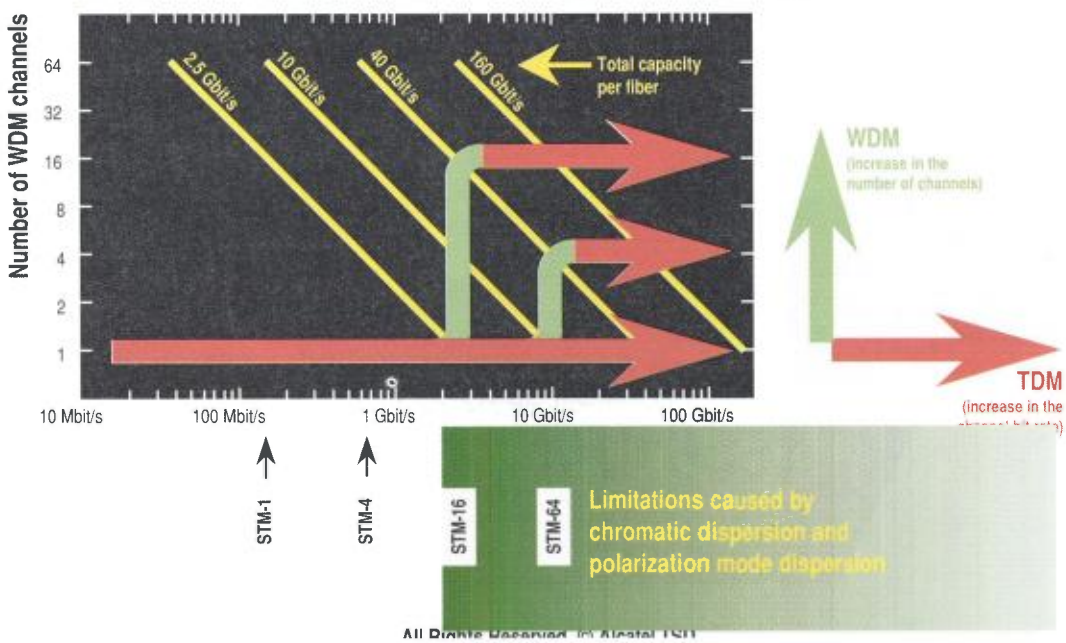
Optical Amplifiers: Key Technical Enablers of WDM Systems

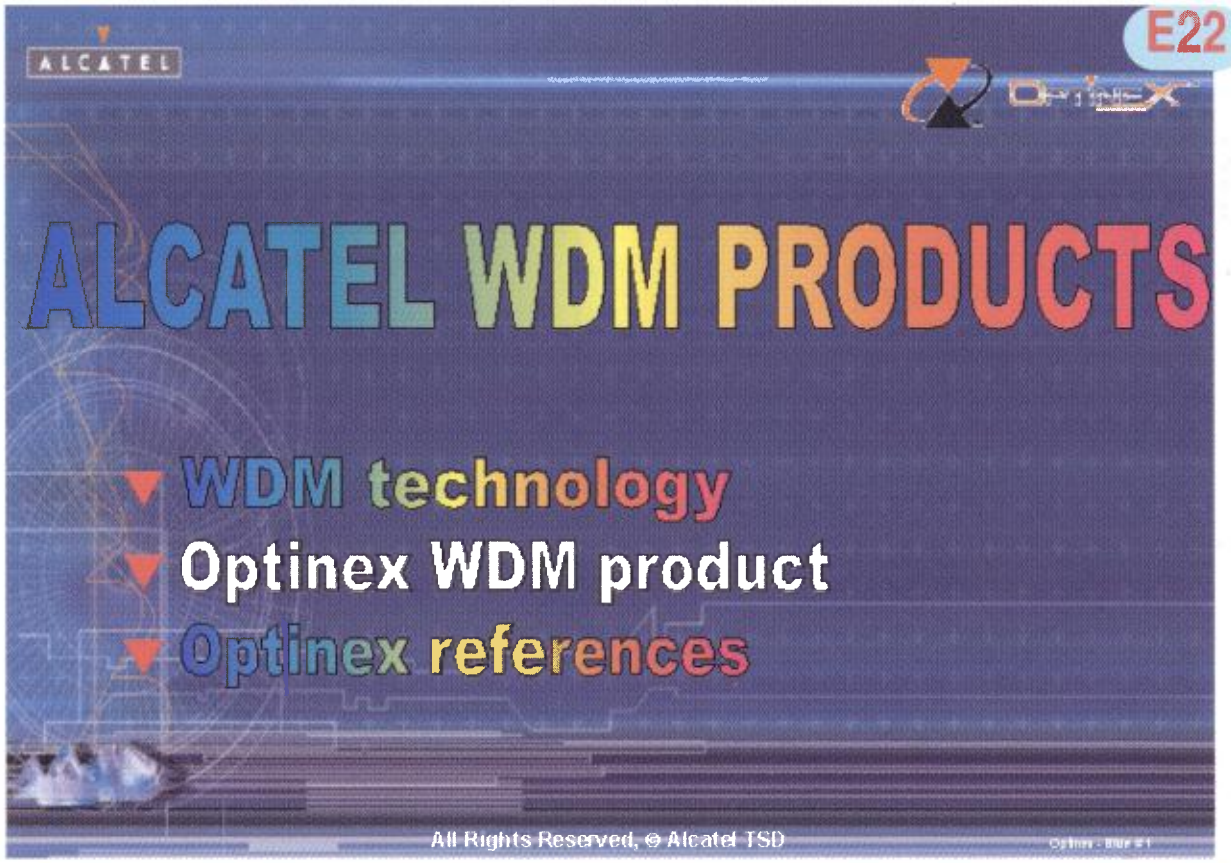


Outstanding feature of Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA):
ability to amplify simultaneously several WDM high-capacity channels without inter-modulation

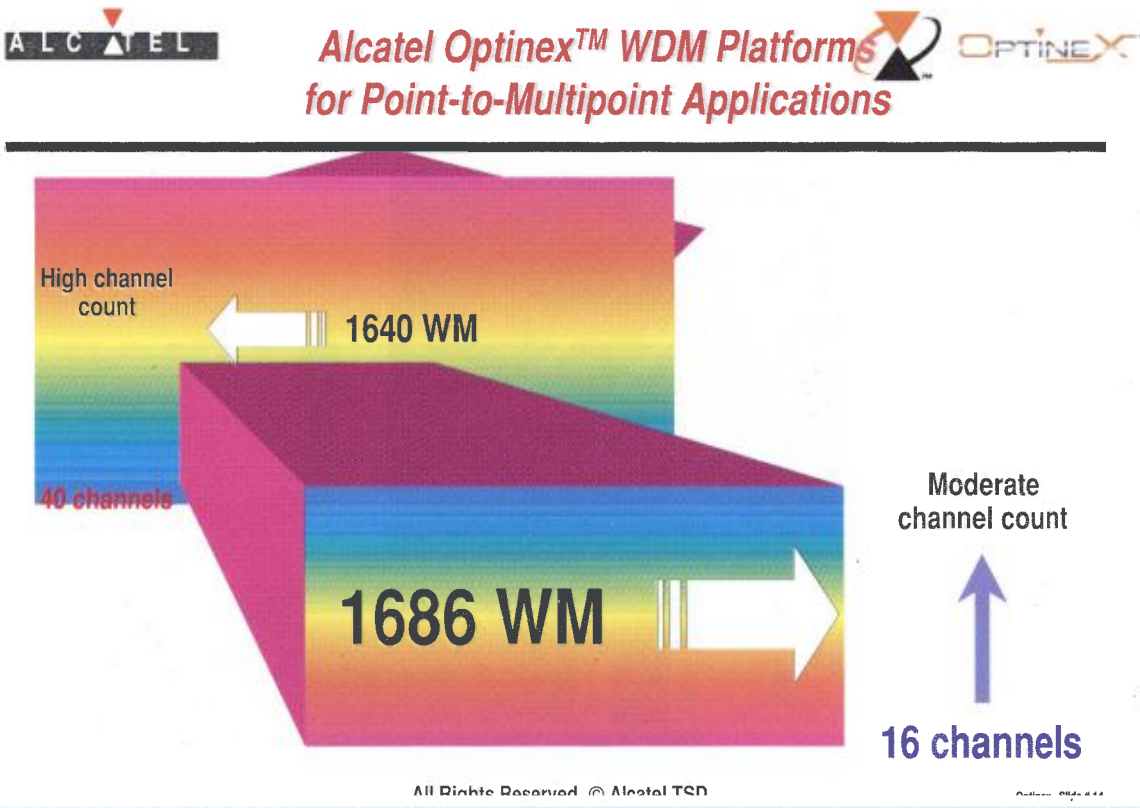
All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Upgrade Strategies of the Capacity per Fiber





13. Optinex WDM Products E22



14. Alcatel Optinex E22

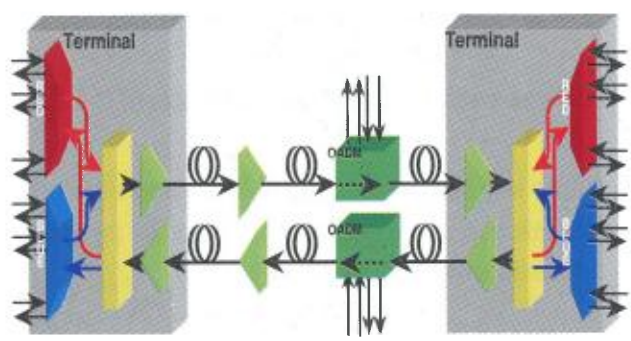
Alcatel Optinex™ WDM Products Highlights

- WDM products fully compliant with ITU-T Recommendation G.692
- Optical amplification process is controlled with:
  - flat-gain optical amplifiers
  - extra available optical power to take care of the evolution of the number of channels (additional saturation wavelength)
    - ☞ the increase in channel count is easy, fast, automatic, and secure
- High capacity links:
  - from 16 to more than 80 channels at 2.5 Gbit/s or 10 Gbit/s
- Very long reach without electronical regeneration:
  - more than 800 km with Forward Error Correction (FEC) at 32 x 2.5 Gbit/s
- Optimized metropolitan version for short distances

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

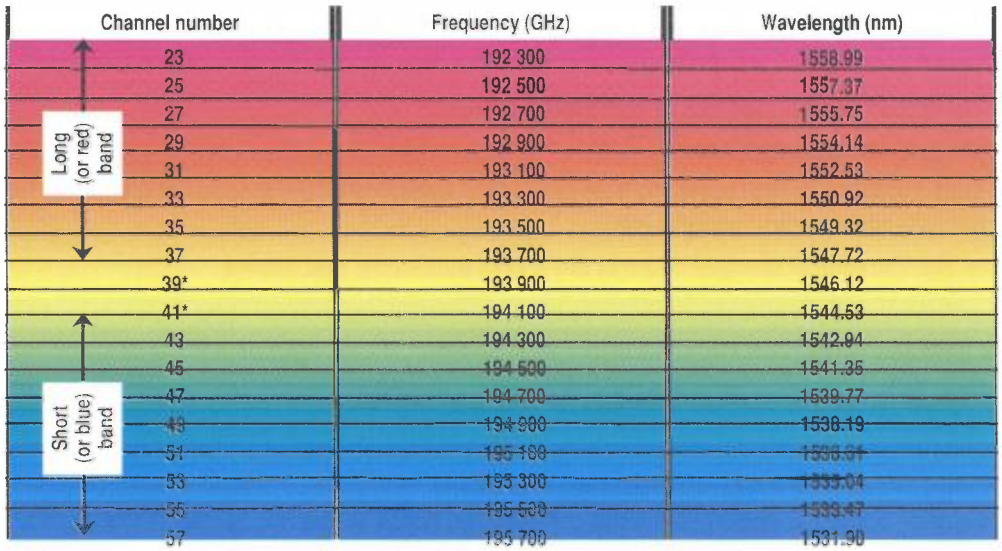
Alcatel Optinex™ WDM Products Highlights

- ITU-T G.681 compliant optical safety
- Compliant with any type of fiber:
  - G. 652, G.653, G.654 and G.655
- Same network manager as for Alcatel SDH products:
  - 1353 SH (Element manager)
  - 1354 RM (Network manager)
- Optical add-drop multiplexer for linear and ring applications:



All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Example of 16-Channel Plan Compliant With ITU-T G.692



* Note: channels # 39 and 41 are reserved as guard band between the short and long bands

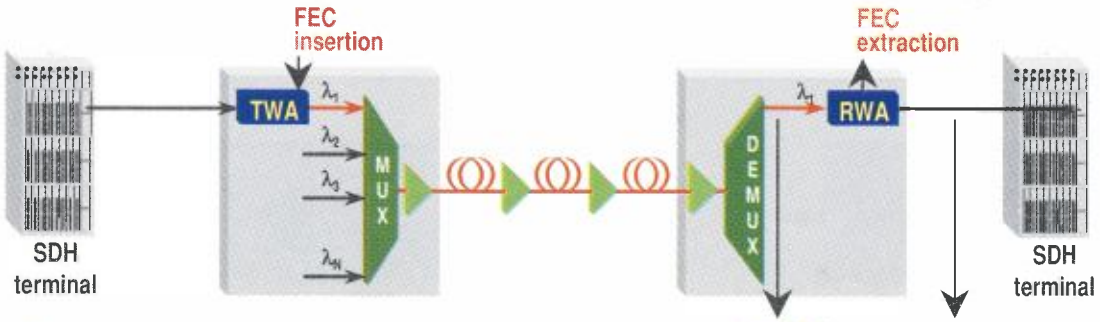
All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Alcatel Optinex™ Forward Error Correction

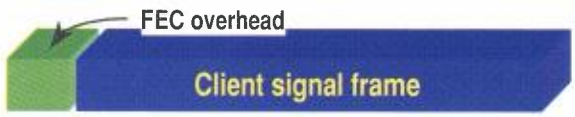
- FEC (Forward Error Correction) is a feature provided by 2.5-Gbit/s and 10-Gbit/s transponders:
  - FEC is a performance booster
  - FEC enables 'per-channel digital monitoring' of DWDM performance
- FEC uses advanced digital signal processing technology initially introduced for submarine applications by Alcatel
- FEC has been standardized by Alcatel (ITU-T Recommendation G.975)
- Future key feature for Optical Transport Network:
  - optical channel overhead conveyed by the FEC frame
  - ☞ management of the OCh layer

E25

Alcatel Optinex™ Forward Error Correction for WDM Performance Monitoring



- FEC coding/decoding carried out by transponders
- No modification of installed equipment
- No alteration of the SDH/client signal frame



All Rights Reserved, © Alcatel TSD

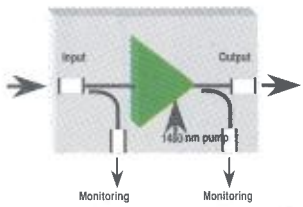
Alcatel Optinex™ WDM Market Shares

- Alcatel Optinex™ present in 4 continents
- Optinex™ products deployed over G.652, G.653, G.655 fibers
  - demonstration of 16-channel capacity over G.653 DSF fiber thanks to the 200-GHz frequency grid
- Synergy with the Alcatel submarine systems:
  - offer of submarine/terrestrial networks with end-to-end centralized management
  - sharing of technologies (for instance Forward Error Correction)
  - for memory: Alcatel submarine market share (45%)

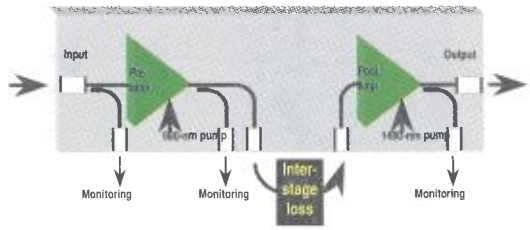
All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Alcatel Optinex™ Optical Amplifiers

- Two optical amplifiers are available depending on performance wanted:



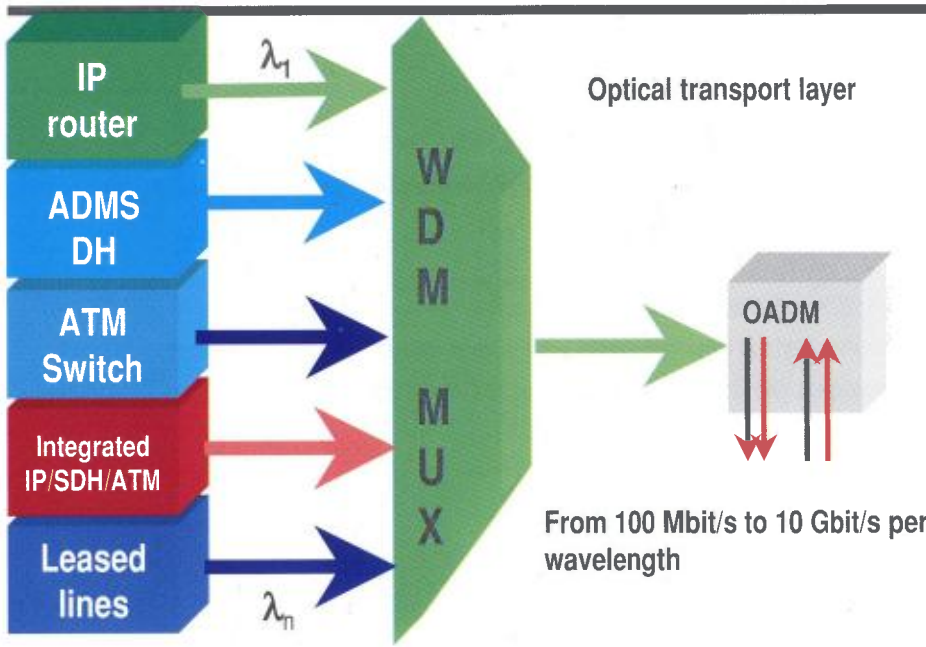
- Single-stage amplifier:
  - low cost
  - fair performance



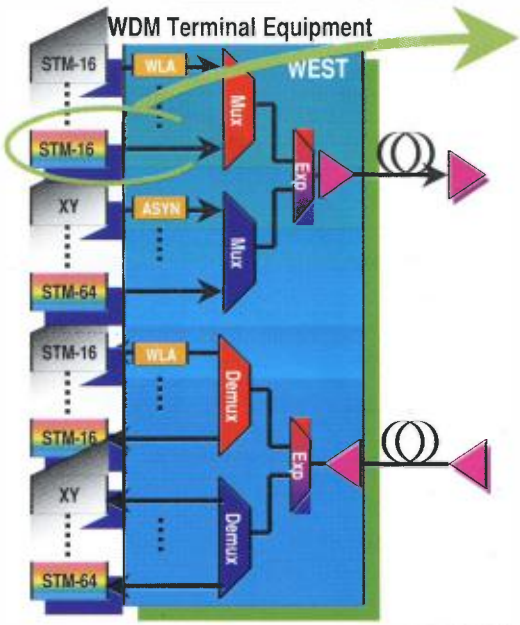
- Double-stage amplifier:
  - higher performance
  - allows insertion of optical devices with no impact on the power budget

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Alcatel Optinex™ Clear Channels



Implementing WDM in Alcatel SDH Environment



- Save up on transponders by direct use of colored interfaces from Alcatel SDH ADMs:
  - STM-16 colored interfaces embedded in STM-16 ADM: two types depending on chromatic dispersion tolerance:
    - 6 400 ps/nm (320 km of standard fiber)
    - 12800 ps/nm (640 km of standard fiber)
  - STM-64 colored interfaces embedded in STM-64 ADM

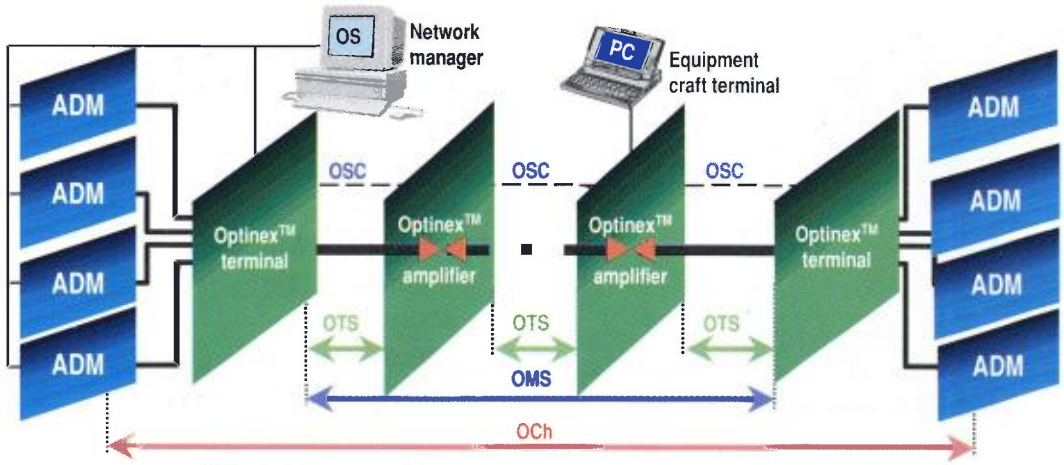
All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Alcatel Optinex™ Optical Supervisory Channel

- Optical Supervisory Channel (OSC) at 1510 nm provides:
  - management of the distant terminal
  - management of the in-line amplifiers
  - user's dedicated voice & data communication channels
- Supports OTS (Optical Transport Section) and OMS (Optical Multiplex Section) overheads
- Fully survivable with respect to EDFA failures
- Same Alcatel network manager for both SDH and WDM products
  - ☞ two offers:
    - stand-alone WDM network manager
    - centralized WDM/SDH network manager

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Alcatel Optinex™
Optical Supervisory Channel

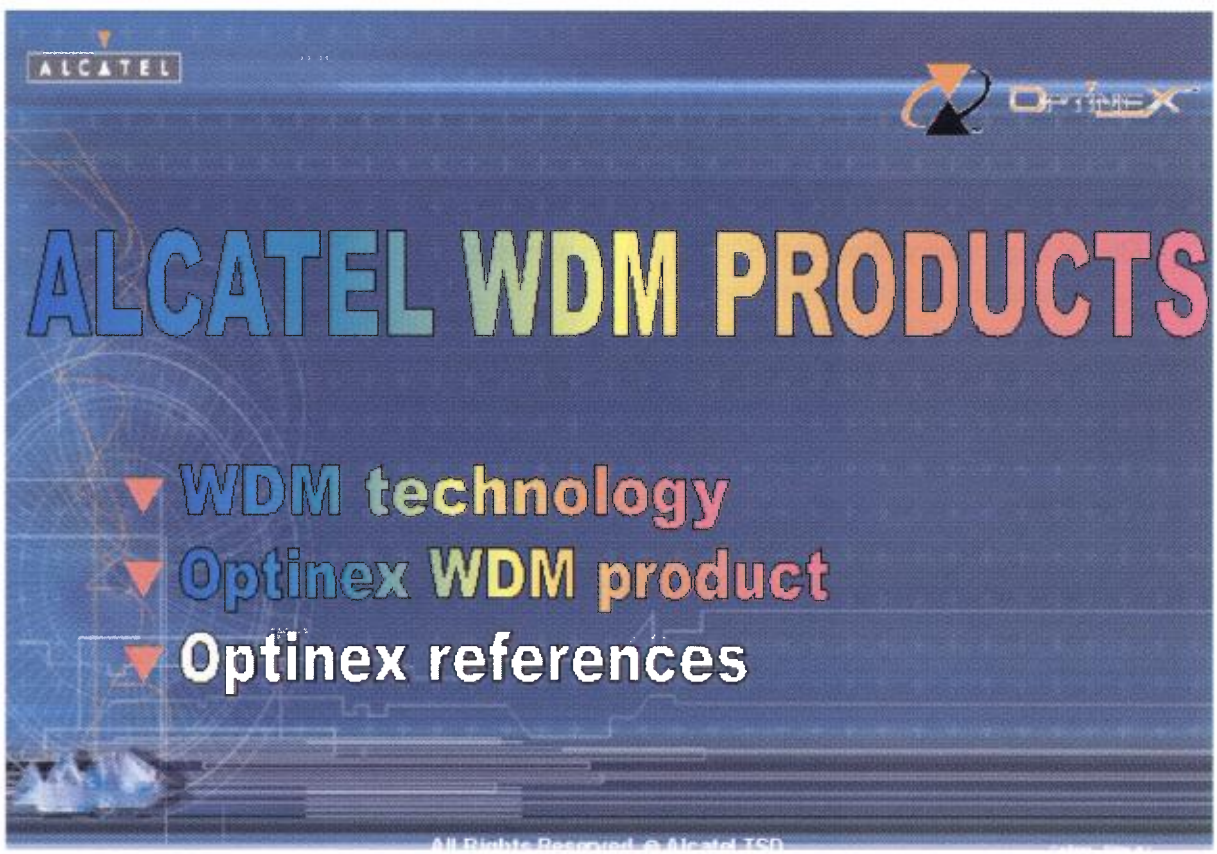


OTS = Optical Transport Section
OMS = Optical Multiplex Section
OCh = Optical Channel layer (or SDH Multiplex Section in this case)
— — : Data Communication Channel (DCC) on optical dedicated wavelength (Optical Supervisory Channel, OSC)

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

Optinex - Slide # 24

25. Alcatel Optinex E28



26. Optinex References E28

Alcatel Optinex™ WDM Market Shares

- Significant increase in the ETSI WDM market shares in 1999
- Among most recent wins (publicly known):
  - KPN/Qwest
  - Worldcom
  - Teleglobe
  - Interoute
  - Level3
  - Telmex
  - MCI-Worldcom Embratel, Pegasus + 2 other Brazilian operators
  - BTTel
  - ...
- More than five Pan-European networks awarded to Alcatel Optinex™

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

27. WDM Market Shares E29

Summary

- WDM is the key technology for transmission networks:
  - first deployments in backbone networks for efficiency
  - further deployments in metro networks for service flexibility/transparency
- Alcatel Optinex™ is a major WDM player:
  - field proven products with a constantly-growing customer base
  - backed with strong SDH and network management experience
  - integrated SDH/WDM network managers for centralized network operation
- Alcatel Optinex™ is the only supplier able to offer global submarine terrestrial networks with centralized management from end to

All Rights Reserved, © Alcatel TSD

28. Optinex Alcatel Summary E29

LECTURE#P18.: A. Kapovits: IP OVER WDM

0	Contents	E30
1	Transport and Routing, EURESCOM P918	E31
2	Outline	E31
3	EURESCOM objectives	E32
4	About Eurescom	E32
5	Eurescom Work Program 1999	E33
6	Motivation	E33
7	P918 Objectives	E34
8	P918 Project Outline	E34
9	P918 Participants	E35
10	Intermediate Results: Deliverable	E35
11	IP Protocol Issues: Version 4&6	E36
12	Support for QoS in IP	E36
13	High Capacity IP Routers	E37
14	IP routers: hardware solutions	E37
15	IP routers: software	E38
16	Multi protocol Label Switching: MPLS	E38
17	MPLS	E39
18	Pros/cons to IP network providers	E39
19	Integration of IP over WDM	E40
20	IP/WDM networking alternatives	E40
21	Framing vs. Overhead	E41
22	WDM signal transport issues	E41
23	Desirable features for encapsulation	E42
24	New protocols	E42
25	Functionality provided by WDM layer	E43
26	Protection/restoration in the IP domain	E43
27	Options for protection in IP/WDM	E44
28	Wavelengths for QoS in IP networks	E44
29	QoS 1: Link capacity upgrading	E45
30	QoS 2: Wavelength routing	E45
31	QoS 3: Label Switching	E46
32	Development trends	E46
33	Development trends (2)	E47
34	Development trends (3)	E47
35	Conclusions	E48
36	Future work of P918	E48

IP over WDM, Transport and Routing

Eurescom P918

Adam Kapovits
EURESCOM
kapovits@eurescom.de

Outline

- Introduction to EURESCOM
- Project outline
  - P918: Integration of IP over optical networks
  - Motivation
  - Participants
- Intermediate results
  - Deliverable 1, October 1999: IP over WDM, Transport and Routing
- Conclusions

EURESCOM Objectives

- to stimulate and co-ordinate the common participation of its Shareholders in collaborative R&D projects including field trials and pilot projects
- to enable the development of harmonised strategies
- to contribute to Europe-wide service deployment and service usage
- to contribute to European and world-wide standardisation
- to contribute to the work of international bodies and relevant European R&D programmes

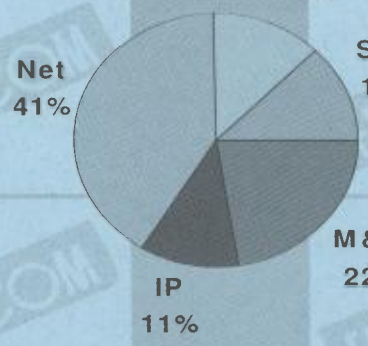
Some Information about EURESCOM

EURESCOM is currently performing about 40 Projects covering:

~3000 Man Months Per Year

For more Information:
http://www.eurescom.de

EURESCOM Work Programme 1999



SS	Strategic Studies
S&A	Services and Applications
M&M	Middleware, Service and Network Management
IP	Internet and IP Technology
Net	Networking

Motivation

- The exponential increase of IP traffic
- The emergence of Giga/Tera-bit routers with STM16/ STM64 interfaces
- The emergence of high bit rate Optical Networks using OADM/OXC Network Elements
- The need of a simplified network scenario for IP over WDM

P918: Integration of IP over optical networks

P918 Objectives

- To provide an overview of state of the art
  - IP protocols and high-capacity routers
  - functionality provided by the WDM layer
- To investigate different techniques to carry IP over WDM (new interfaces & protocols)
- To identify different IP transport network scenarios assessing IP, ATM, SDH and WDM Inter-networking
- To contribute to standardization bodies ITU-T, ETSI, IETF and the Optical Internetworking Forum OIF

P918 Project outline

- D1 IP over WDM, transport and routing
- D2 Network scenarios for IP over optical networks
- D3 Optical Transport Network Management
- D4 Proposal for test-beds and experimental assessment

P918 participants

• France Telecom	France
• Deutsche Telekom AG	Germany
• CSELT	Italy
• Telenor AS	Norway
• KPN Research	the Netherlands
• OTE S.A.	Greece
• BT	England
• Swisscom AG	Switzerland
• Tele Danmark A/S	Denmark
• Telia Research AB	Sweden
• Telefonica I+D	Spain

Intermediate results: Deliverable 1

- IP over WDM, Transport and Routing
  - high-speed routing of IP-packets
    - overview of available hardware and software
  - how may WDM enhance or add functionality to the IP layer

IP protocol issues: version 4 & 6

- IPv4 has serious restrictions
  - Exhaustion of address space (32-bit)
  - Inefficient routing
  - Lack of inherent support for streaming multimedia

IPv6 is the most sensible version to use as a basis for an IP over WDM backbone

- IPv6 main features
  - Radically new address structure
    - 3 kinds of unicast addresses
    - multicast address structure
    - anycast address
      - routed to the nearest interface having this address
  - 128 bits address space
  - Improved routing:
    - fixed header format allows for hardware processing
  - Error-checking presumed in data-link and transport layers
  - But not directly compatible with IPv4 (!)

Support for QoS in IP

- Traditional Internet only supported best effort service
- Promising models for enabling QoS:

IntServ
+
RSVP

High capacity IP Routers

- Conventional routers are not capable of serving the Internet traffic demand
- Two approaches to improve routers:
  - Overcome existing bottlenecks
    - Enhance conventional routing techniques
    - Enhance router engine architectures
  - Mix layer 3 routing with layer 2 switching

IP routers: hardware solutions

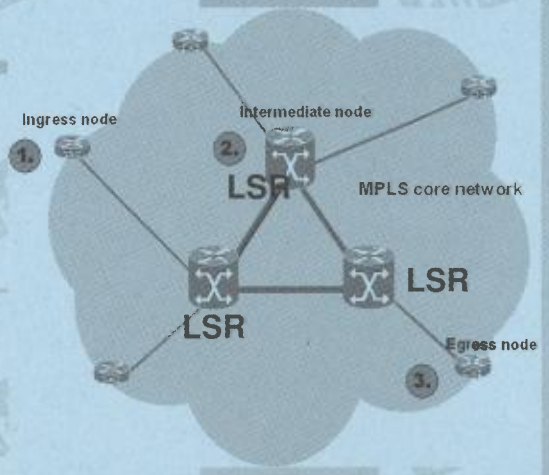
- Switch fabric instead of shared bus
- IP-aware line cards
  - Hardware processing of IP forwarding, buffering, scheduling
- Concatenated SONET/SDH framing
  - Various interface types: POS, ATM, Ethernet, ...
  - Line card rate up to 2.5 Gb/s using OC-48c/STM-16c
- WDM adaptation
  - Line cards optics may be DWDM-compliant or standard SDH
  - No industry standard yet
  - Time scale involved for interoperability is unclear
  - Current solution: use transponder unit

IP routers: software

- **Challenge for Gigabit core routers: optimisation of address table lookup procedure**
  - **assume average IP packet is 2000 bits**
  - **router must forward 500 kp/s for each 1 Gb/s total throughput**

    ⇒ *in a 10-Gigabit router, the forwarding process for each packet should take max. 200 ns*
- **Optimisation of address lookup:**
  - **use appropriate data structures and algorithms**
  - **classify incoming IP traffic into packet flows, e.g. MPLS**

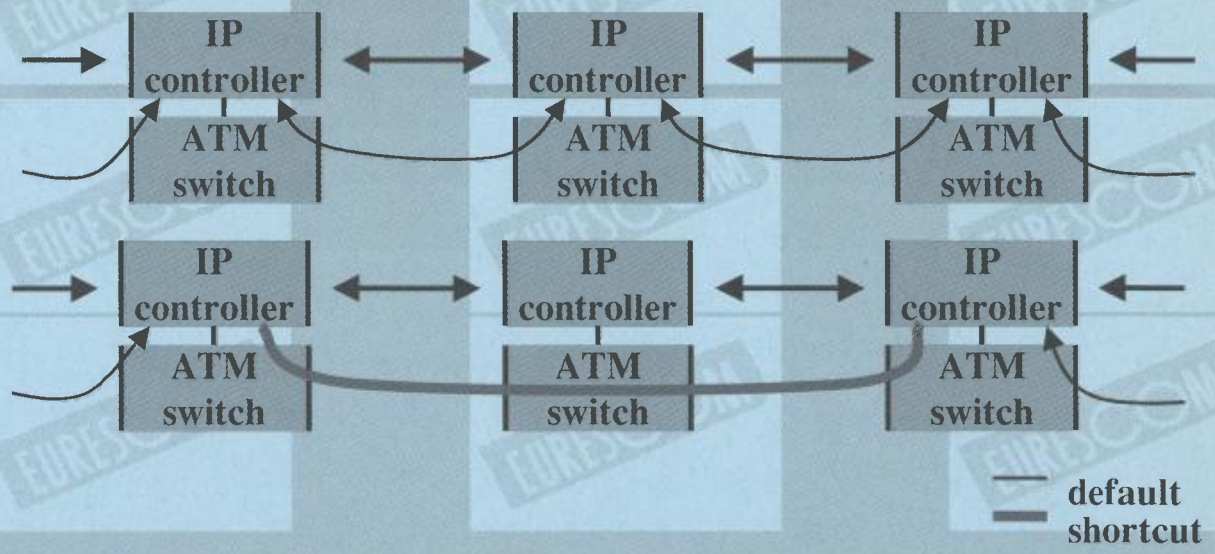
Multi protocol label switching: MPLS



- **Three types of nodes in an MPLS core network**
  1) Ingress node with label assignment
  2) Intermediate nodes with label look-up, label swapping and forwarding

     LSR = label switching router
  3) Egress node with label removal

Multi-Protocol Label Switching



Pros/cons to IP network providers

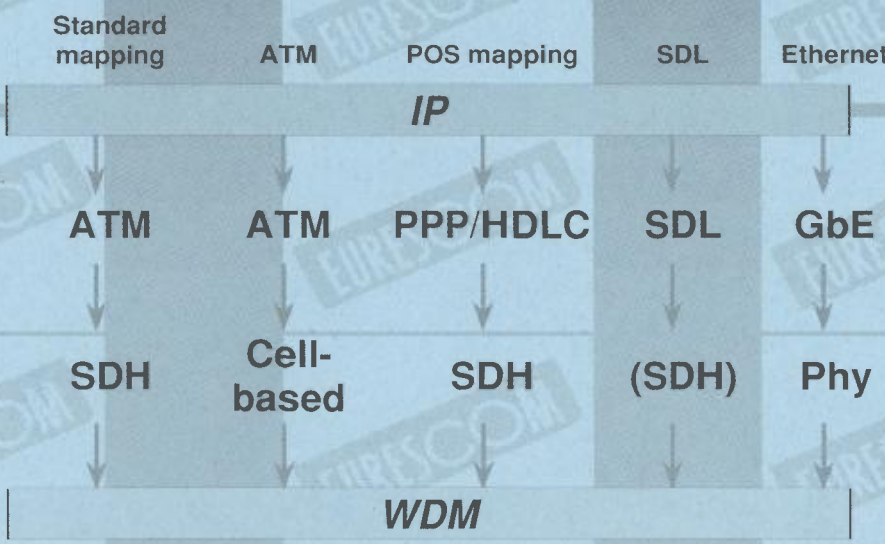
- **MPLS benefits**
  - Enable the potential use of traffic classes with different QoS.
  - Substantially accelerate the table lookup process
  - Traffic engineering
  - May be implemented on devices based on ATM switches, thus achieving wire-speed packet forwarding
- **MPLS disadvantages**
  - Granularity
  - Topology oriented
  - Proprietary implementations

Integration of IP over WDM

- **Methods to transport IP-packets on a WDM network**
  - **Encapsulation of IP over WDM**
    - **existing layer stacks**
      - IP over ATM over SDH over WDM
      - IP over ATM over WDM
      - IP over SDH, Packet over Sonet (POS) over WDM
    - **emerging technologies**
      - IP over SDL over WDM
      - IP over Gigabit Ethernet over WDM

19. Integration of IP over WDM E40

IP/WDM networking alternatives



20. IP/WDM networking alternatives E40

Framing vs. Overhead

encapsulation/ framing	overhead	link capacity Mb/s
IP/ATM/SDH	22%	1 944
IP/ATM/Cellbased	19%	2 011
IP/PPP/SDH	6%	2 338
IP/SDL	3%	2 411
IP/GbE	28%	902

Assumed IP- packet size: 350 Bytes
Capacity in general is STM-16, but GbE is 1250 Mbit/s

21. Framing vs. Overhead E41

WDM signal transport issues

- **Optical signals in WDM networks are susceptible to a number of impairments, e.g:**
  - **Noise addition**
  - **Dispersion**
  - **Fibre-nonlinearities**
  - **Jitter accumulation (e.g. in transponders) and wander**
  - **Mis-connections**
  - **optical power transients and variations**
  - **fibre cuts and equipment failures**

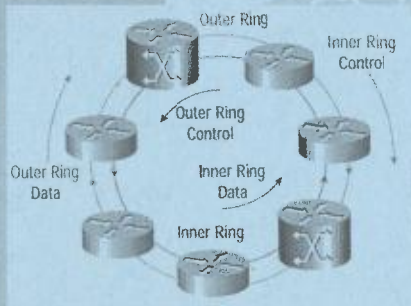
22. WDM signal transport issues E41

Desirable features for encapsulation

- Path trace, to check that the correct "wavelength" is received
- Optional error correction, e.g. Forward Error Correction (FEC)
- Sufficient timing information to allow for robust synchronisation
- Allowance for protection switching protocols
- Error monitoring capabilities
- Allowance for management information transfer (DCC)
- Not too much overhead
- SDH frame provides many of these features
  - whether ATM or PPP mapping is used
- SDL or GbE framing is more basic
  - may limit use to smaller scale optical networks

New protocols

- **MAPOS**
  - Multiple Access Protocol Over SONET/SDH
    - also called Packet over Lightwave (POL)
    - connection-less packet switching protocol
      - simple extension of POS
- **DPT**
  - Dynamic Packet Transport
    - proprietary CISCO technique
    - optimised use of bandwidth
    - SRP: Spatial Reuse Protocol in dual fiber rings

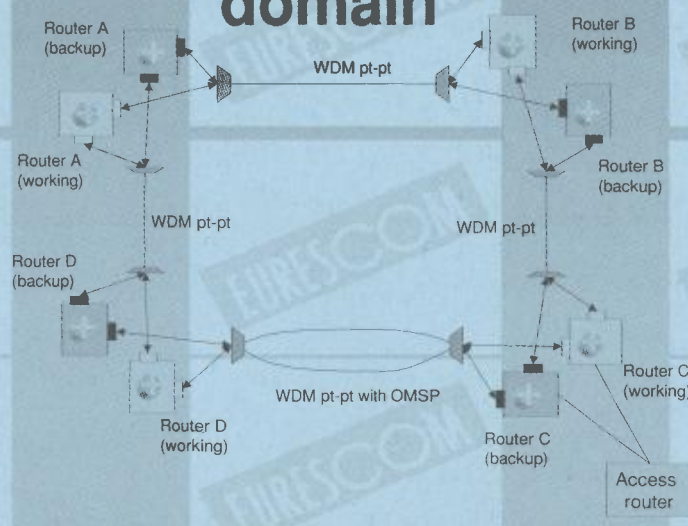


Functionality provided by WDM layer

- **WDM may give additional or improved functionality to the IP layer:**
  - **Cross connecting**
  - **Wavelength routing**
    - **static, e.g. Colored Section Ring**
    - **dynamic**
      - using optical switches or tunable lasers
  - **Protection and restoration**
    - **cable breaks: OMSP**
    - **WDM equipment failures: OChP**

25. Functionality provided by WDM layer E43

Protection/restoration in the IP domain



- **Protection against router failures is by duplication**

26. Protection/restoration in the IP domain E43

Options for protection in IP/WDM

Protection architecture	Degree of protection	Speed of protection	Cost	Remarks
WDM OMSP only	fibre and optical amplifiers only	fast, 50ms	lowest of all for high traffic	Need to include operations and sparing costs to make a valid comparison with other options.
WDM OCHP only	fibre, all WDM equipment	fast, 50ms	a little higher than OMSP	More flexible protection scheme than OMSP
SDH only	only fibre, all SDH and WDM equipment	fast, 50ms	depends on traffic volume, high for large traffic	Mature technology.
IP restoration only	potentially all failures	a few seconds to hours	needs larger routers – trade-off between router capacity and transmission bandwidth. If full resilience is required, routers may have to be duplicated at nodes	careful IP dimen sioning to e nsure spare capacity is available, may result in low QoS due to slow restoration Synchronisation of routing tables needen when using working and backup routers.
Combination	potentially all failures	fast, 50ms for transport layer failures	Potentially highest	may be required for high QoS

27. Options for protection in IP/WDM E44

Wavelengths for QoS in IP networks

- **Can WDM provide cost-effective solutions for introducing QoS to IP networks?**
  - **IP layer is assumed to support some QoS, e.g. IntServ or DiffServ**
  - **3 methods are identified:**
    - **1:Link capacity upgrading**
    - **2:QoS by wavelength routing**
    - **3:QoS by using label switching**

28. Wavelengths for QoS in IP networks E44

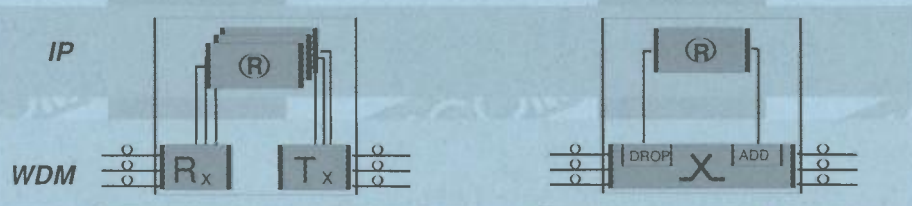
QoS 1: Link capacity upgrading

- IP routers directly control link bandwidth
  - High capacity routers handle transit network traffic
  - WDM point-to-point links are shared resource
  - Statistical multiplexing of IP-packets
    - higher utilisation of available capacity
  - Increased QoS by over-provisioning

29. QoS 1: Link capacity upgrading E45

QoS 2: Wavelength routing

- IP routers may be bypassed in optical domain using wavelength cross-connects (WXC)
  - Benefit at IP level
    - Less frequent IP address lookup
      - less delay
      - one-hop packet transfer
  - Drawbacks
    - IP routing protocols assume numerous neighbours
    - WDM level issue: availability of dynamic WXC



IP Routers process all traffic

Router bypassed in WDM layer

30. QoS 2: Wavelength routing E45

QoS 3: Label switching

- WDM may support MPLS real circuits
  - MPLS label points to wavelength channel
  - WDM dynamic WXC under control of IP layer:
    - setting an MPLS circuit = WXC reconfiguration
- Optical label switching
- Possible solution: wavelength = MPLS label
  - Issue: how many wavelengths are needed?
    - Wavelength reuse needed in network nodes
    - 40 wavelengths per fibre probably adequate
- Use labels for service level differentiation
  - different routes with different QoS
  - implementation of VPN

31. QoS 3: Label Switching E46

Development trends

- Faster router interfaces
  - 2.5Gb/s today, 10Gb/s in near future
- Increasing number of wavelengths
  - From 8 to 40 in a few years, >100 announced
    - Increased capacity per fiber
    - Advanced functions at wavelength level, e.g. label switching

32. Development trends E46

Development trends (2)

- Moving routing to lower layers
  - Forwarding mechanism in link layer when possible
  - Route in physical layer (e.g. wavelength) will minimize processing delay
- Less protocol conversion between network partitions
  - Potential savings in network costs
  - Increased network simplicity
    - E.g. extension of Gigabit Ethernet from LAN to MAN (and WAN?)
    - same protocol end-to-end possible

33. Development trends (2) E47

Development trends (3)

- New protocols adapted to IP over WDM
  - Few protocols specifically aimed at encapsulation & transport of IP packets on a WDM backbone
  - Proposed solutions:
    - proprietary (Cisco: DPT, Lucent: SDL)
    - open (MAPOS, LAPS)
  - More dedicated protocols are expected in near future
- Optical Label / Packet Switching
  - continuing research efforts worldwide

34. Development trends (3) E47

Conclusions

- Eurescom P918 project Deliverable 1,October 1999
  - IP over WDM, transport and routing
- Overview of different protocols and hardware solutions for transporting IP-packets over a WDM network
- Adaptation to WDM
  - evaluation of amount of overhead
- Possible functionality of WDM layer
  - CoS support
  - cross-connecting and IP-flow routing
  - wavelength protection switching

Future work of P918

- Next project phases will evaluate network scenarios
- Deliverable 2 – Network scenarios for IP over optical networks (March 2000)
- Deliverable 3 – Optical Transport Network Management (March 2000)
- Deliverable 4 – Proposal for test-beds and experimental assessment (March 2000)

LECTURE#P19.: Marconi Communications, PLX40-Smart-Photonix, DWDM Line Systems

0.	Contents	E49
1.	Point-to-Point link	E50
2.	Chain	E50
3.	Interconnecting High Capacity Networks	E51
4.	Solving Bottlenecks	E51
5.	Stacking Multiple Rings	E52
6.	Realizing High Capacity Meshes	E52
7.	PLT40 architecture	E53
8.	Asymmetric PLT40 Equipment architecture	E53
9.	Extension of Sub-rack topology	E54
10.	Integration with SDH/Sonet product family	E54
11.	PLT40 Mechanical Structure	E55
12.	Multiplexing/Demultiplexing Stages	E55
13.	Transponder Sub-rack	E56
14.	PLA40 Mechanical Structure	E56

Marconi

Represented by
SAGEM

MARCONI COMMUNICATIONS*

SmartPhotoniX

DWDM Line Systems

PLT 40 / PLA 40 / PLD 40

Product Description

Table of Contents

1. INTRODUCTION 49b
1.1. Overview 49b
1.2. Main Features 49b
2. APPLICATIONS 49c
2.1. Configurations 49c
2.2. Network Topologies 49c
2.3. Network Applications 49c
3. PRODUCT OVERVIEW 49c
3.1. PLT 40 Equipment Architecture 49c
3.2. PLA 40 Equipment Architecture 49d
3.3. PLD 40 Equipment Architecture 49d
3.4. Transponder Units 49d
3.5. Management Architecture 49d
3.6. Auxiliary Functions 49d
4. TECHNICAL SUMMARY 49d
4.1. PLT 40 Mechanical Structure 49d
4.2. PLA 40 Mechanical Structure 49e
4.3. Safety 49e
4.4. Electrical Environment 49e
4.5. Climatic and Mechanical Environment 49e
4.6. Laser Products 49e
4.7. General Requirements 49e
4.8. System General Characteristics 49e
4.9. Control Interfaces 49e
5. COLOURED FIGURES E50

This is a work the Copyright in which vests in Marconi Communications. All rights reserved. The information contained herein is the property of Marconi Communications and is supplied without liability for errors or omissions. No part may be reproduced, disclosed or used except as authorised by contract or other written permission. The copyright and foregoing restriction on use extend to all media in which the information may be embodied.

*** Marconi Communications is represented by SAGEM Kft.**

SMART-PHOTONIX DWDM LINE SYSTEMS*
PLT 40 / PLA 40 / PLD 40
Product Description

MARCONI COMMUNICATIONS

This is a work the Copyright in which vests in Marconi Communications. The information contained herein is the property of Marconi Communications and is supplied without liability for errors or omissions. No part may be reproduced, disclosed or used except as authorised by contract or other written permission. The copyright and foregoing restriction on use extend to all media in which the information may be embodied.

1. INTRODUCTION

1.1. Overview

The PLT 40, PLA 40 and PLD 40 DWDM line systems (also called, altogether PLx 40) are part of a new DWDM product family, being developed by Marconi Communications, called SmartPhotoniX. This family includes line systems, optical add-drop and cross-connect systems.

PLx 40 DWDM systems are a straightforward solution for operators to save fibre and regenerating equipment and constitutes a common transport platform for different technologies both in Metropolitan and in National Backbone.

The PLT 40 is configurable as an Optical Terminal Multiplexer (OTM) for linear applications. It can offer a transport capacity of up to 40 channels and, with the help of PLA 40 Optical Line Amplifier (OLA), can cover distances of over 600 km without the need of electrical regeneration. The possibility to add-drop optical channels is offered by the PLD 40 Fixed Optical Add-Drop Multiplexer (F-OADM).

In particular, the Optical Line Amplifier is configurable as a single-stage Optical Line Amplifier (1S-OLA) or double-stage Optical Line Amplifier (2S-OLA), or even mixed Single/Double-stage Optical Line Amplifier (1S/2S-OLA). With this flexibility customers are able to scale the performance of intermediate amplification sites according to the network configuration and realise additional cost savings.

DWDM multiplexing requires improved spectral characteristic for the signal to be transmitted. This implies the use of either specific optical interfaces on the client equipment or transponder units on the DWDM system. In particular, the adoption of transponder functionality also allows PLT 40 and PLD 40 to be connected to, potentially, any constant bit-rate optical source from any manufacturer's equipment.

PLx 40 and their optical parameters are compatible with the relevant requirements of ITU-T Recommendation G.692.

A possible approach for traffic protection in this kind of system is to combine DWDM with existing SDH equipment and use the protection functionality of the SDH/SONET layer (MSP, SNCP/UPSR, MS-SPRing/BLSR). This provides an immediate and reliable solution for network protection in WDM networks. The objective of this approach is to provide a full coverage against any failure, considering both cable and DWDM/SDH/SONET transmission equipment. Moreover PLx 40 system architecture is open to support 1+1 OMSP (Optical Multiplex Section Protection) and OSNCP schemes.

Network management control is provided by 'Q/Qecc' interfacing to the MV36/MV38 Element and Network Managers. Management via TL1 interface over TCP/IP is available as an option. In-field control is provided by an 'F' interface to a PC based Local Craft Terminal. The multiplexer management system provides a comprehensive range of fault, status and performance monitoring functions with configurable parameters. Interactive operator control is provided for subrack commissioning, traffic connection management, maintenance and diagnostics.

1.2. Main Features

- Up to 40-channel optical multiplexer with up to 10 Gbit/s capacity per channel
- Linear configuration with configurable add/drop along the line
- Up to 8 Add-Drop wavelengths in a line amplification station
- Modular upgrade
- Pre-equalisation capability for higher link performances using settable optical output power on transponders or coloured optical interfaces
- Optimised transponder solutions are available with the possibility to have different transponder on a per channel basis
- Optical interface units include Automatic Safety Shutdown/re-start schemes according to ITU-T Draft Recommendation G.664
- Optical Supervisory Channel (OSC) for remote management of sites connected along the route, and EOW/User Channels facilities

- Extensive management facilities are provided with access via Marconi Communications MV36/MV38 or Local Craft Terminal. Logins are supervised by access control and password security. LCT access supports both local and remote NE logins. TL1 management from existing NMS is available
- Software management includes non-volatile storage of applications software and configuration database
- Optical budget:
  - up to 8x21 dB (bit-rate of 2.5 Gbit/s)
  - max path chromatic dispersion: 12800 ps/nm at 2.5 Gbit/s
  - max path chromatic dispersion: 800 ps/nm at 10 Gbit/s

2. APPLICATIONS

2.1. Configurations

The flexibility of the PLT 40 enables it to be configured as:

- *Optical Terminal Multiplexer (OTM)* in single span (without OLAs) point-to-point networks
- *Optical Terminal Multiplexer (OTM)* in Long-Haul networks with OLAs

The flexibility of the PLA 40 enables it to be configured as:

- *Double Stage Optical Line Amplifier (2S-OLA)*: with this configuration PLA 40 is capable to provide high gains together with low Noise Figure. It also enables the insertion of additional optical functions on the line (e.g. chromatic dispersion compensation) without affecting the inter-amplifier span budget
- *Single Stage Optical Line Amplifier (1S-OLA)*: in this configuration PLA 40 is capable to support higher count of optical spans with lower attenuation
- mixed configurations are also possible: *Single Stage* in one direction of transmission and *Double Stage* in the other one

The flexibility of the PLD 40 enables it to be configured as:

- *Fixed Optical Add-Drop Multiplexer (F-OADM)* to give connectivity along the DWDM line without the need of complete demultiplexing/multiplexing of all optical channels
- *Optical Line Amplifier*, as for the PLA 40

2.2. Network Topologies

Basically the two following linear topologies can be realised with the PLx 40:

- *Point-to-Point link* (see *Fig. 1* in colours*)
- *Chain* (see *Fig. 2* in colours*)

2.3. Network Applications

To illustrate the flexibility of the PLx 40, some examples of possible network applications are shown in colours* (*Figs. 3–6*). This is not an exhaustive list and other applications are possible.

- *Interconnecting High Capacity Networks* (see *Fig. 3* in colours*)
- *Solving Bottlenecks* (see *Fig. 4* in colours*)
- *Stacking Multiple Rings* (see *Fig. 5* in colours*)
- *Realising High Capacity Meshes* (see *Fig. 6* in colours*)

3. PRODUCT OVERVIEW

3.1. PLT 40 Equipment Architecture

PLT 40 is able to multiplex up to 40 different wavelengths, which can be produced either by selected line units (coloured optical interface) of the tributary systems, or by additional transponder units.

The optical frequency selection is according to ITU-T Draft G.692 Rec. specifications (ITU-T 100 GHz wavelength grid).

Optical multiplexing and demultiplexing is multistage and totally passive.

Non linear phenomena due to the high launched power, affecting the propagation along the fiber have been taken into account in equipment design. Chromatic dispersion can be compensated with the use of dedicated Dispersion Compensation Fiber Units.

PLT 40 has been designed following a modular approach. Two basic types of subracks can be combined to provide the required functionalities: the Core Subrack, housing the optical amplification required for the DWDM signal, and the Extension Subrack, housing the necessary multiplexing stages and the transponders.

According to the configuration required, different equipment architecture can be realised. In case of 40 channels at 2.5 Gb/s, the following picture shows a possible corresponding architecture (for simplicity only one direction is shown in *Fig. 7* (in colours*).

In case of 40 channels at 2.5 Gb/s it is also possible to adopt the following asymmetrical architecture (for simplicity only one direction is shown in *Fig. 8* (in colours*).

The Table 1 shows the number of extension subracks and multiplexing/demultiplexing units required in the asymmetrical architecture, with an increasing number of 2.5 Gb/s channels.

Table 1.

Number of Channels (2.5 Gb/s – Asymm. Arch.)	Extens. Subracks	MX/DX Units
1...8	1	1/1
9...16	1	2/2
17...24	2	3/3
25...32	2	4/4
33...40	3	5/5

In case of 40 channels at 10 Gb/s, the following picture shows the corresponding architecture (for simplicity only one direction is shown in *Fig. 9* (in colours*).

The Table 2 shows the required number of transponder subracks and multiplexing/demultiplexing units, with an increasing number of 10 Gb/s channels.

Table 2.

Number of Channels (10 Gb/s)	Extens. Subracks	MX/DX Units
1...8	1	1/1
9...16	1	2/2
17...24	2	3/3
25...32	2	4/4
33...40	3	5/5

A substantial reduction in costs can be achieved by utilising coloured optics on the systems generating the channels to be multiplexed. In this case, it is possible to take fully advantage of the close integration existing with Marconi Communications SDH/SONET product family. Special units have been designed on Marconi Communications systems to interconnect the SDH/SONET and DWDM systems. The following picture shows a possible implementation scheme (for simplicity only one direction is shown in *Fig. 10* (in colours*).

In this case, STM-N/OC-M coloured signals are generated by Marconi Communication SDH/SONET equipment, and multiplexed in Extension Subracks. The Core Subrack of the PLT then optically amplifies the DWDM signal.

3.2. PLA 40 Equipment Architecture

PLA 40 can be configured as a single-stage optical line amplifier (1S-OLA) or, when enhanced performances are required, as a double-stage optical line amplifier (2S-OLA). Also a mixed single/double-stage (1S/2S-OLA) configuration is possible.

The amplification units of the Optical Line Amplifier are the same building blocks used at the terminal site (pre-amplifier and booster amplifier).

The Pre-Amplifier (PA) is a very low noise Optical Fibre Amplifier (OFA) device, while the Booster Amplifier (BA) is a high saturation power OFA device.

Mid stage access of the double-stage OLA allows insertion of lossy optical components such as dispersion compensating fiber, without affecting overall performance.

An important feature of the PA and BA is the capability to fine tune the output power in order to compensate for variation of the channels number and fibre non-linearities, therefore ensuring higher performances along the link.

3.3. PLD 40 Equipment Architecture

PLD 40 has the ability to add-drop optical channels from the DWDM line without the need of complete demultiplexing/multiplexing of the DWDM signal. The Add-Drop modules are inserted between two stages of optical amplification, to allow for compensation of optical losses.

PLD 40 can also be sub-equipped providing the same OLA configurations of PLA 40: 1S-OLA, 2S-OLA and mixed 1S/2S-OLA.

3.4. Transponder Units

Transponder units are available for PLT 40 equipment to accommodate virtually any kind of traffic. Thanks to this solution, it is possible to transport not only SDH/SONET signals from STM-64/OC-192 to STM-1/OC-3, featuring typical SDH/SONET functionalities such as B1/J0 monitoring, but also potentially any constant bit-rate optical signal, including for example Gigabit Ethernet.

Transponders are bi-directional to reduce costs and space occupation. Protection is also available at transponder level.

Another important feature of the transponders is the capability to control the output power of the transmitter in order to perform Pre-Emphasis. Pre-emphasis is the fine tuning of optical power at WDM mux input in order to compensate for line amplifier gain variation and gain tilt, therefore ensuring higher performances of the whole system.

3.5. Management Architecture

The Communication and Controller Unit provides the complete microprocessor-based management system for both PLT 40 and PLA 40 equipment, supporting both Equipment Management Functions (EMF) and Management Communications Functions (MCF). The Communication and Controller Unit supports the 'F' interface for Local Terminal access and the 'Q' Ethernet interface for NMS access in both 'gateway' NE applications and 'Qecc non-gateway' interface. Management via TL1 interface is available as an option. TCP/IP to OSI mediation can be provided.

An End Of Shelf Unit provides visual alarm indications at equipment level and the back-up storage of equipment configuration data.

The management of the remote OTM, OLAs and Add-Drop systems is made possible by the use of an Optical Supervisory Channel (OSC).

Marconi Communications Element and Network Manager System (MV36/38) manages PLT/PLA 40 in a fully integrated way together with all Marconi Communications transport systems.

3.6. Auxiliary Functions

The installation of an Auxiliary Unit provides operator configurable access to selected OH bytes of the terminated OSC signal. Installation of the appropriate physical interface unit accommodates engineer order wire facilities (EOW) or digital port interfaces for customised auxiliary data channel transport.

4. TECHNICAL SUMMARY

4.1. PLT 40 Mechanical Structure

As already mentioned, the PLT 40 is constituted by two basic types of subracks: the Core Subrack and the Extension Subrack.

Subracks dimensions are approx. 910x450x280 mm (height x width x depth). They are housed in ETSI standard rack – ETS 300 119-3 (2200x600x300 mm racks). 19" and American racking options are available.

Core subrack (a layour example is shown in *Fig. 11* (in colours*) is a two rows structure, housing (depending on the required configuration):

- Optical Amplification (OA) and Variable Attenuator (VAR ATT) units
- the Auxiliary (AUX) Unit
- the End Of Shelf (EOS) Unit
- the Communication and Controller (C/C) Unit
- the Optical Supervisory Channel (OSC) Unit

- the Dispersion Compensation (DCF) Unit
- the Signal Quality Monitoring (SQM) Unit (for the monitoring of channel's OSNR)
- units dedicated to OMSP (PROT unit)
- Electrical Connections (EC)
- optical cable management spacing

Extension subrack is a two rows structure, housing (depending on the required configuration):

- multiplexing (MX) and demultiplexing (DX) units
- the End Of Shelf (EOS) Unit
- the Communication and Controller (C/C) Unit
- Transponder (TP) Units
- optical (OC) and electrical (EC) connections
- optical cable management spacing

Two layout examples are shown in *Fig. 12* (in colours*). The picture below represents a transponder subrack equipped with transponder units for 2.5 Gb/s signals and two multiplexing/demultiplexing stages.

Fig. 13 (in colours*) represents a transponder subrack equipped with transponder units for 10 Gb/s signals.

4.2. PLA 40 Mechanical Structure

The PLA 40 subrack dimensions are approx. 910x450x280 mm (height x width x depth). It can be housed in ETSI standard rack – ETS 300 119-3 (2200x600x300 mm racks). 19" and American racking options are available.

A layour example is shown in *Fig. 14* (in colours*). It is a two rows structure, housing (depending on the required configuration):

- Optical Amplification (OA) Units
- the Auxiliary (AUX) Unit
- the End Of Shelf (EOS) Unit
- the Communication and Controller (C/C) Unit
- the Dispersion Compensation (DCF) Units
- the Signal Quality Monitoring (SQM) Unit
- Electrical Connections (EC)
- optical cable management spacing

4.3. Safety

The equipment are designed to meet European and American safety standards:

- EN 60950
- EN 41003
- UL 1950

4.4. Electrical Environment

The PLx 40 conform to European and American directives on Electromagnetic Compatibility (EMC):

- EMC Directive 89/336/EEC
- EN 300 386-2
- FCC part 15b, 68

They also conform to:

- EN 300 132-1, 132-2
- EN 300 253

4.5. Climatic and Mechanical Environment

The climatic environmental criteria for the product design are based on ETS 300 019 standards, within the following classifications:

Storage classes 1.1
Transport classes 2.1-2.2
Operation class 3.1e

4.6. Laser Products

The PLx 40 conform to the following directives for laser product:

Laser product EN 60825-1
Telecommunication Product EN 60825-2
ower Shut-Down Procedures ITU-T Draft Rec. G.664

4.7. General Requirements

The PLx 40 also conform to the following:

- GR-63-CORE (NEBS Level 3)
- GR-1089-CORE (NEBS Level 3)
- GR-1312-CORE 7.18, 7.19

4.8. System General Characteristics

Characteristic	Value	Comment
max span loss (8 spans)	21 dB	40 channels (@ 2.5 Gbit/s)
max span loss (single-span)	36 dB	40 channels (@ 2.5 Gbit/s)
fiber type	G.652, G.653, G.655	
max link dispersion	12800 ps/nm	@ 2.5 Gbit/s
	800 ps/nm	@ 10 Gbit/s
max n. of OLAs	7	40 channels
channel spacing	100 GHz	From ITU-T Draft G.692 grid

4.9. Control Interfaces

Interface Name	Comment
Q/TL1	10 Mbit/s Ethernet AUI
	10Base2, Thin Ethernet, BNC
	10BaseT, UTP Ethernet
LCT-F	19.2 kbit/s RS232

5. GLOSSARY OF ABBREVIATIONS

BLSR	Bidirectional Line-Switched Ring
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
OA	Optical Amplifier
OC-M	Optical Carrier – M
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer
MS-SPRing	Multiplex Section Shared Protection Ring
PLx 40	PLT 40, PLA 40 and PLD 40
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SNCP	Sub-Network Connection Protection
SONET	Synchronous Optical NETwork
STM-N	Synchronous Transport Module-N
UPSR	Unidirectional Path-Switched Ring
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing

*** Coloured pictures cited are shown separately in the colour pages (E49-E56) of this issue.**

All rights reserved to Marconi Communications or Marconi Communications' s Licensor. Disclosure, reproduction or whatsoever use of this document and of any data herein contained without the prior written authorization of Marconi Communications is forbidden. Violations shall be prosecuted.
Copyrights of this presentation were arranged by written permission.

3.5. Smart cards

Smart cards refer to a wide range of technologies, all of which are based on ICs in order to provide persistent and portable information storage. The most recent microprocessor cards are "smarter" than the older simple memory and 8-bit cards because they incorporate a 32-bit RISC processor running at 25-30 MHz, and have multi-application operating systems.

In addition to the ISO 7816 standard for polyvinylchloride (PVC) contact cards, which specifies their physical dimension with a thickness of 0.76 mm, the different solutions on the market are mainly proprietary, and there is a major lack of a standard for interoperability. The Global Chipcard Alliance [http://www.chipcard.org], together with other industry standard groups and fora, are trying to establish common standards, the most significant proposals for which include EMV, C-SET and JavaCard.

The Europay-MasterCard-Visa (EMV) proposal defines the "Integrated Circuit card specifications for payments systems", now at version 3.1.1 [http://www.visa.com/cgi-bin/vee/nt/chip/download.html].

The Card-Secure Electronic Transaction (C-SET) proposal combines SET [www.mastercard.com/set/] architecture and protocols with the use of a chip card for user validation. Currently still in the prototype phase, C-SET may play a significant role in Internet E-commerce.

JavaCard is a Java language version for smart card operating systems. Now at version 2.0, this specification allows the inclusion of a Java Virtual Machine (JVM) in the card operating system, and therefore provides a common interface for any downloaded Java applet. A JavaCard Forum [http://www.javacardforum.org] has been formed by Visa, and MasterCard has promoted another consortium [http://www.multos.com], with the aim of developing a non-proprietary open platform called MultOS. Microsoft has announced its own smart card programming standard: the Smart Card Software Development Kit (SCSDK).

4. Telecommunications

Telecommunications technologies and nets represent one of the basic infrastructures for ICT and the Information Society, and R&D efforts are mainly focused on increasing the bandwidth (i.e. the amount of information in a time unit) required by growing multimedia needs, and on ensuring ubiquitous distribution and access.

All of the key innovative TLC technological trends described in previous EITO reports have now come about, leading to a gradual deployment and diffusion that may differ from country to country particularly in terms of public networks. The main factors driving the increasingly greater integration of voice, data and video (also within the Internet world) are still:

- the growing speed and capacity of Wide Area Networks (WANs), Local Area Networks (LANs) and local accesses (last mile);
- the extended use of mobile systems, and their growing integration with fixed systems;
- the dominance and spread of Internet protocol stacks and the World Wide Web (WWW), as Internet/IP logic and addressing schemes are unifying and standardising TLC architectures and services for both public and private networks.

New services and new user behaviours are completely changing TLC traffic patterns: e.g. Internet connections last several times longer than average telephone calls; E-commerce and credit card transactions require very short connections (an average of one second); the growing number of mobile connections (particularly for cellular telephony) have significantly increased traffic in access areas. Telephone

traffic is becoming more similar to that of computer networks, which means that telephone network structures have to become substantially different. The basic reference model is that of the Internet, in which connections and interactions with information providers are established directly from home terminals using the network as a transparent, reliable broadband and low-cost transport medium. The Internet model is simple because each new service is independent of the existing range, can be provisioned from any network access point and accessed by anyone. But the IP network cannot simultaneously carry voice and data, and still guarantee quality service in terms of availability and response times. Differentiated services enable routers to set prioritisation fields in IP packets, and Multi-Protocol Label Switching (MPLS, see 4.2.1.) will provide "fast tracks" for IP packets across the backbone. However, these two specs still needed to be formally standardised, whereas ATM can already provide QoS via the Resource reSerVation Protocol (RSVP) and Class of Service (COS).

Some TLC manufacturers have developed proprietary technologies that allow different priority IP traffic (including voice traffic) to be carried over the corresponding ATM service class.

The public and private networks already in operation (which continue to carry traffic and in which a lot of money has been invested) should not so much be considered a constraint, but rather as representing an operational infrastructure that will evolve as a result of their integration with new technologies or the creation of additional parallel (overlaid) infrastructures. The logical consequence is a common tendency to "mix" new and old technologies. Coexistence is just as much a watchword as multimedia/digital convergence, and will have an impact on all of the new network architectures. Another key word, in addition to *convergence* and *coexistence,* is the *flexibility* that will allow the infrastructure to be used in a variety of ways by means of the dynamic creation of a number of virtual networks, and make it possible to add new services easily in order to respond as rapidly as possible to changing needs. As also discussed in the EITO 98 report, the new TLC services, systems and products are and will continue to be "hybrids" of different technologies and techniques.

4.1. The evolution of fibre optics and transmission techniques

Some of the key factors driving the migration to optical fibres in both public and private networks are:

Fibre capacity: New techniques such as Wavelength Division Multiplexing (WDM) and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM: see. 4.1.1.) turn a single physical fibre into many "virtual" fibres by allowing network providers to transmit signals simultaneously at a different frequency as if each were travelling on its own fibre. The performance of WDM is now 40 Gbit/s per fibre-pair, and DWDM will boost bandwidth to 800 Gbit/s by the year 2000.

Restoration capability: By implementing optical networks, providers can add restoration capabilities to embedded asynchronous systems without first upgrading to an electrical protection scheme; optical networks can provide protection switching more rapidly and more economically.

Reduced costs: Only the wavelengths that add or drop traffic at a site need to have corresponding electrical nodes; other channels can simply pass through optically. This not only leads to enormous cost savings in equipment and network management, but the space and wavelength routing of traffic avoids the high cost of electronic cross-connections and also simplifies network management.

Wavelength services: Optical networks can resell bandwidth rather than fibre. By maximising the available fibre capacity, service providers can improve their revenues by selling wavelengths regardless of the data rate required, and customers receive the same bandwidth as with a dedicated fibre.

The main innovations relating to optical fibres concern better use of the available capacity: increasing it where possible and/or sharing it among several users on the basis of the assumption that not everyone needs all of the resources at the same time. Multi-wavelength optical multiplexing and high-speed optical time domain multiplexing (OTDM) are increasing the already huge capacity of the fibres themselves.

These innovations provide cost-effective and practical network units, including tunable filters, space switches, amplifiers, de-/multiplexers, and wavelength converters and selectors.

In addition to DWDM, the most advanced technologies currently used in fibre nets are:

Optical amplifiers, which have significantly less noise and a flatter gain; total power has also increased and outputs are now approaching +20-dBm, many orders of magnitude more powerful than those of the first amplifiers.

Narrowband lasers: Optical components require a narrow, stable and coherent light source that is provided by means of advanced lasers, which emit a highly coherent signal that has an extremely narrow bandwidth.

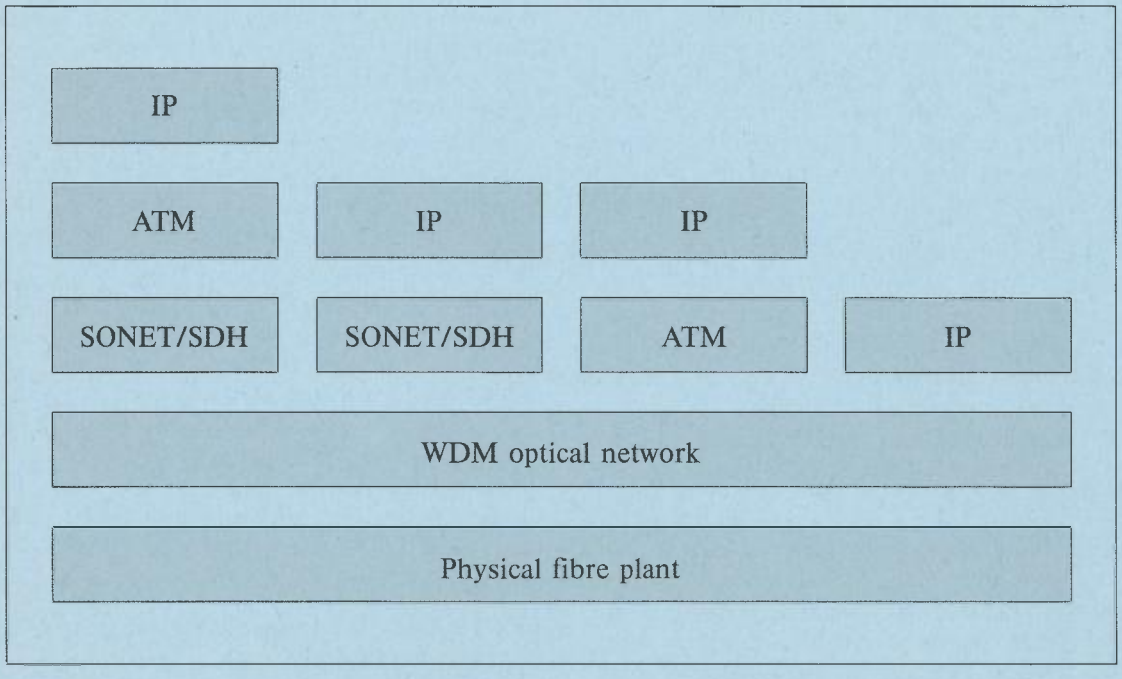
Fibre Bragg gratings: These consist of a small section of fibre that has been permanently modified to create periodic changes in the index of refraction, generally by exposure to an ultraviolet interference pattern. Depending on the space between the changes, a certain frequency of light – the Bragg resonance wavelength – is reflected backwards while all of the other wavelengths pass through. The result is a component that acts as a wavelength-dependent reflector and is useful for precise wavelength separation. The fibre grating creates a highly selective, narrow bandwidth filter that functions somewhat like a mirror and provides significantly greater wavelength selectivity than any other optical technology. The filter wavelength can be controlled during manufacture by means of simple geometric considerations that enable reproducible accuracy. Because this is a passive device built into the glass fibre, it is robust and durable. The wavelength-specific properties of the grating make fibre Bragg gratings useful in implementing optical add/drop multiplexers. Bragg gratings are also being developed to aid dispersion compensation and signal filtering.

Thin film substrate: This substrate can be made to allow the passage of only one specific wavelength and reflect all of the others by coating a fine glass or polymer substrate with a thin interference film of dielectric material. By integrating several of these components, many optical network devices can be created including multiplexers, demultiplexers and add-drop devices.

Semiconductor optical amplifiers (SOA): These integrate amplifier functionality into the semiconductor material, and allow the same basic component to perform many different applications. They can reduce costs and improve performance by integrating internal switching and routing functions; they can also be used for space switches, wavelength converters and wavelength selectors, all of which will lead to large-scale optical network equipment in the future.

The effort to accelerate the implementation of these next-generation optical networks is supported by the Optical Internetworking Forum (OIF) [http://www.oiforum.com], which mainly concentrates on optical internetworking

Figure 5



Source: OIF

issues by addressing the interoperability between data and optical networks (see *Figure 5*). As D/WDM optical nets use physical and data nets use logical paths, it is necessary to create associations between them in order to enable their management and adaptation, interlayer independence, interface transparency, layer flexibility (IP or ATM over Sonet/SDH; IP or ATM over WDM/DWDM), interlayer coordination and dynamic bandwidth provisioning.

4.1.1. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

The growing demand for bandwidth is being met by the parallel and integrated use of Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), Erbium-Doped Fibre Amplifiers (EDFA), precise demultiplexers and Optical Add/Drop Multiplexers (OADM).

The majority of the currently used fibre optic cables operates in time division multiplexing (TDM) at 2.4 Gbps on a single fibre, with some deploying equipment that quadruples the rate to 10 Gbps: carriers in the USA and Europe operate according to Sonet and Synchronous Digital Hierarchy (SDH) standards, which are functionally equivalent. Synchronous Transfer Mode (STM) describes the SDH rates, in particular STM-16/OC-48 for 2.4 and 8 Gbps and STM-64/OC-192 for almost 10 Gbps.

As also pointed out in EITO 1998, DWDM multiplies the simple 2.4 Gbps system by up to 16 times, thus providing an immense and immediate increase in capacity - using embedded fibre! A 16-channel system (already available) supports 40 Gbps in each direction over a fibre pair, whereas a 40-channel system currently under development will support 100 Gbps, the equivalent of ten STM-64/OC-192 transmitters!

DWDM technology uses a composite optical signal carrying multiple information streams, each transmitted on a distinct optical wavelength. Although wavelength division multiplexing is a technology that has been known for a number of years, its early application was restricted to providing two widely separated "wideband" wavelengths, or manufacturing components that separated up to four channels. It is only recently that the technology has evolved to the point at which parallel wavelengths can be densely packed and integrated into a transmission system by using multiple, simultaneous, extremely high frequency signals in the 192 to 200 terahertz (THz) range. In conformity with the ITU channel plan, this system ensures interoperability with other equipment and allows service providers to deploy optical solutions throughout their networks. In essence, the 16-channel system provides a virtual 16-fibre cable, with each frequency channel serving as a unique STM-16/OC-48 carrier.

The most common form of DWDM uses a fibre pair (one for transmission and one for reception): for example, to transmit 40 Gbps over 600 kms using a traditional system would require 16 separate fibre pairs with regenerators placed every 35 kms for a total of 272 regenerators, whereas a 16-channel DWDM system uses a single fibre pair and four amplifiers positioned every 120 kms.

The commercial deployment and use of the DWDM technique is also made possible thanks to the availability of suitable demultiplexers, Optical Add/Drop Multiplexers and Erbium-Doped Fibre Amplifiers.

The precise and dense signals used in DWDM require accurate signal separation (or filtration) on the optical receiver in order to avoid or limit the problems of traditional filters, which are expensive, imprecise, sensitive to variations in temperature and polarisation, and vulnerable to crosstalk.

High performance and high quality filtering is now provided by a technology named "in-fibre Bragg grating".

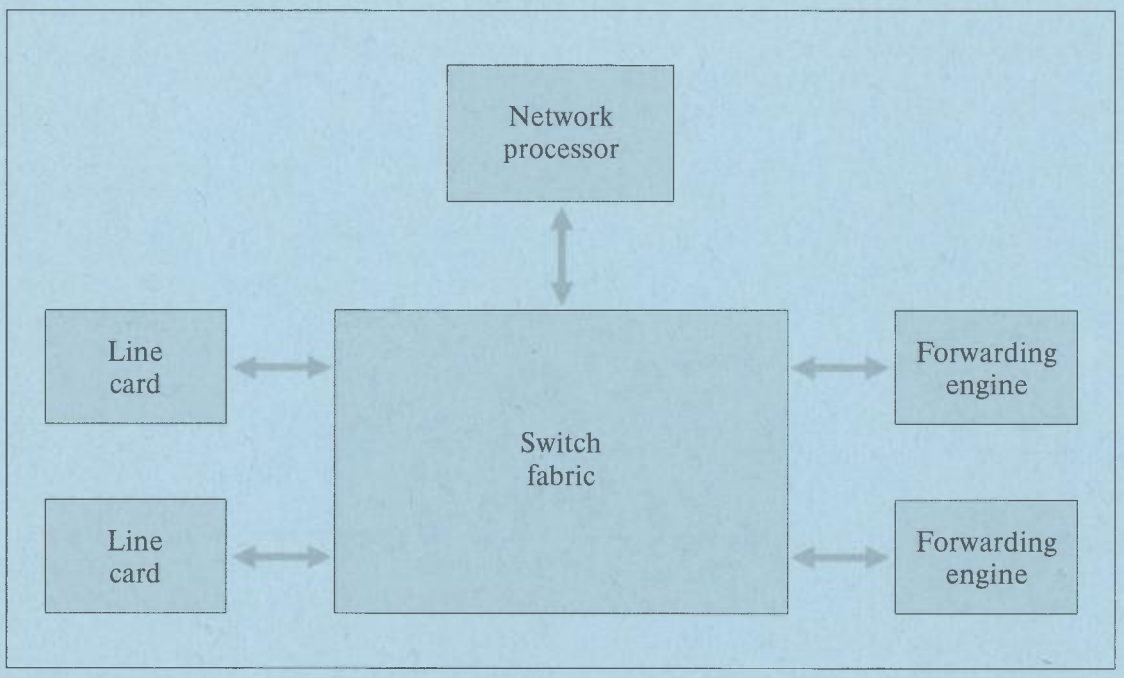
EDFAs optically amplify all of the wavelengths at the same time because they incorporate erbium ions into the core of a special fibre optical pump. Lasers are used to transfer high levels of energy to the special fibre and thus energise the erbium ions, which then boost the optical signals that are passing through. Significantly, the atomic structure of erbium provides amplification to the broad spectral range required for densely packed wavelengths operating in the 1,550 nm region by optically boosting the DWDM signals. Unlike the multiple electronic regenerators that required the conversion of optical to electrical signals and then their reconversion back to optical signals, EDFAs amplify the optical signals directly, which is why the composite optical signals can travel further without regeneration.

Fibre Bragg grating, EDFA and DWDM techniques are integrated through the use of Optical Add/Drop Multiplexers (OADMs) and net management tools capable of operating in conjunction with other Operation Support Systems (OSS) complying with the ITU's Telecommunications Management Network (TMN) standard.

The commercially available OADMs allow carriers to drop and/or add up to four STM-16/OC-48 channels between DWDM terminals. Certain wavelengths can be passed through the node uninterrupted (express channels) or broadcast on up to four channels to be dropped and simultaneously continue as "express channels".

DWDM is considered a significant step toward the establishment of photonic networks in the access, interoffice and interchange segments of today's telecommunications infrastructure.

Figure 6



Source: Ipsilon

4.2. Routers and switches: new network units

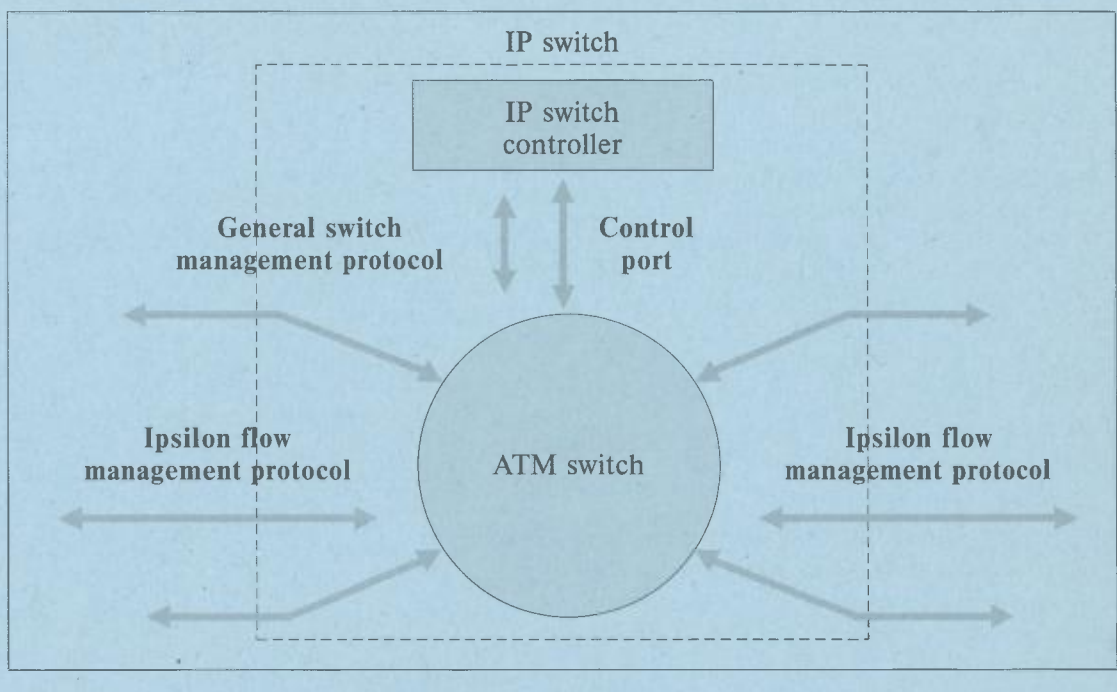
A new generation of "high-speed" network units for both private and public networks is providing multi gigabit and terabit routers and ATM switches with a growing level of flexibility, configurability and scalability by means of a mix of old and new protocol stacks and routing logics. Since the new and old public nets will coexist, the Signalling System 7 (SS7) standard set of protocols has been developed not only in public net nodes, in order to enable value-added voice services and applications over both circuit- and packet-based nets.

These units are based on ASIC components and the mainly object-oriented software plays a key role in their operation and management. Segmented, shared and switching hubs, as well as port, layer 3 and multilayer switches, are the evolving products for both public and private nets, LANs and WANs. The main innovatory efforts concern high-speed routers (now at the tera and giga bps level), layer 3 high-performance switching (which also handles routing functions in hardware) and peer-to-peer multilayer switches that map Layer 3 (IP) addresses to Layer 2 destination addresses.

Figure 6 shows the general structure of a high-speed router. The line cards interface the external lines, the forwarding engines manage the packet headers according to the route decisions for sending the packets to the suitable line, the network processor supports the routing and tables, the switch fabric internally connects all of the components. For the fabric switch, the top level routers deploy cross bar or ATM switches capable of managing several Gbps.

Over the last few years, semantic differences in the use of the term IP traffic "switching" (and therefore also the term "router") have generated

Figure 7



Source: Ipsilon

some confusion. Switching is generally used to describe the transfer of information from an input to an output port of a machine, with the selection of the output port being based on a Layer 2 address scheme. The problem is how to handle IP traffic over public and private networks with a given quality of service using the new high-performance routing protocols. The IP hop-by-hop packet forwarding paradigm will be insufficient to support high-speed needs, and traditional routers may become a bottleneck.

Switches are like high-capacity bridges for broadband nets, with the switching functions being performed in hardware via ad hoc ASIC and using MAC-Layer 2 addresses.

Layer 3 switching adds router capacity to switches, thus combining high performances, lower costs (in comparison with high-speed routers) and the deliverability of packets to destination addresses.

Some of the key innovations are based on the evolution of IP switching logic and provided in different ways by the major manufacturers. A number of protocols have been proposed, but none of them has yet been formally standardised.

The reference technologies are (see also [http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/ip_switching/] and linked references):

IP switching was developed by Ipsilon [http://www.ipsilon.com], and is also used in the products of other manufacturers. The Ipsilon IP switch uses ATM switching hardware for directing IP datagram traffic, and for controlling and managing the path and the switches via the proprietary Ipsilon Flow Management Protocol (IFMP) and the General Switch Management Protocol *(Figure 7)*. It uses low-level flow switching that is equivalent to cached routing decisions. All of the flows are classified, and this

dynamically selects the flows to be forwarded in the switch fabric while leaving the remaining flows to be forwarded hop-by-hop. In addition to the problem of congruency with the present ATM Forum standards, other critical questions relate to the quantity of traffic and flows to be analysed. A similar approach has been considered in the case of Toshiba's Cell Switched Router (CSR) [http://www.toshiba.com], which merges the IP over ATM cell switching mechanisms and the new additional functions for IP provided by protocols such as RSVP. CSRs extend the capacity of current routers to handle resource reservation and IP flows using ATM cell switching capabilities.

Flow switching is provided by Cisco Tag Switching [http://www.cisco.com], with similar but different schemes also being offered by IBM's Aggregate Route-based IP Switching (ARIS) [http://www.ibm.com] and 3Com's Fast IP [http://www.3com.com].

Tag switching: A layer 3 router called a Tag Edge Router decides the best route for a flow, establishes the virtual connection and appends a "tag" (a small string of bits with routing information) to the IP packets entering the backbone network; the Tag Switches within the virtual connections follow the tag information and do not make any routing decisions. Each Tag Edge Router and Tag Switch uses a Tag Distribution Protocol to create and manage a Tag Information Database. Tag Switching logic is the core of the IETF's effort to standardise Multi-Protocol Label Switching (MPLS: see 4.2.1.).

Fast IP: This approach is based on the identification of the different IP flows, which are made to by-pass the routers by means of the Next Hop Resolution Protocol (NHRP). This proprietary protocol, which is currently being evaluated by the IETF, is intended to locate an exit point in the ATM cloud closest to the destination and obtain its ATM address; an NHRP server then provides the next hop towards the destination. The NHRP servers interact with each other in order to discover the exit point closest to the destination.

ARIS establishes a set of switched paths in the ATM network and uses the binding of labels to the switched paths for switching packets.

4.2.1. Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

The IETF MPLS Group is standardising an interoperable standard called MPLS for the integration of layer 2 switching (based on label swapping) to layer 3 routing in order to improve the price/performance of network layer routing, the scalability of the network layer and the flexibility of new routing services.

Although MPLS focuses on IP, it can be extended to other network layer protocols. No assumption is made about layer 2 protocols except for the fact that they are capable of forwarding network layer packets.

Label switching technology development is driven not only by the need for speed, but also by the need to manage different classes of traffic with specific service characteristics that must be guaranteed across multi-customer, carrier-class IP infrastructures.

MPLS defines labels as relatively short, fixed-length unstructured identifiers that can be used to assist in the forwarding process. They are normally local to a single data link and, unlike an address, have no global significance; they are analogous to the DLCIs used in a Frame Relay network or the VPI/VCIs used in an ATM environment. Since ATM is a technology that already uses short fixed-length fields to make switching decisions, label switching is believed to be an effective way of deploying IP over ATM.

A Label Switching Router (LSR) is any device that supports both the standard IP control component (i.e., routing protocols, RSVP, etc.) and a label swapping forwarding component.

A Nokia nagy kapacitású GSM rendszere

A GSM mobiltelefonok területén robbanásszerű fejlődés ment végbe. Mára több, mint 100 millió ember használ GSM készüléket, 2005-re pedig számuk meghaladja az 1 milliárdot.

GSM – a legelterjedtebb telefon

A szolgáltatók bevételüket nem pusztán előfizetőik számának növelésével, hanem a telefonok használatának fejlesztésével tudják növelni. A mobil készülék nélkülözhetetlen elemévé válik életünknek és az emberek egyre többet telefonálnak - utazás közben, otthon, az irodában - tehát állandóan.

Emellett megjelennek a színen az olyan vezetéknélküli adatátviteli szolgáltatások is, mint az elektronikus posta (E-mail) és a GSM-távirat (SMS). Az adatátviteli kínálatot olyan szolgáltatások bővítik, mint a HSCSD és a WAP. A GPRS technológia bevezetésével pedig egy teljességgel új korszak kezdődik a vezetéknélküli adatátviteli felhasználói szokások területén.

A szolgáltatók üzleti tevékenysége bővülni fog - feltéve, hogy szolgáltatásaikat megfizethető áron tudják kínálni és rendelkeznek az igények kielégítéséhez szükséges hálózati kapacitással. A Nokia nagy kapacitású GSM rendszer bevezetése azt jelenti, hogy a GSM kapacitása új szintre emelkedhet, miközben a szolgáltatók csökkenthetik a hálózataik üzemeltetése során felmerülő költségeket.

Tízszeres kapacitás féláron

Az új Nokia MetroSite használatával a szolgáltatók tízszeres kapacitást építhetnek ki, összehasonlítva a hagyományos makrocellás hálózatokkal. Ráadásul, mindez fele annyiba kerül, mint a versenytársat jelentő mikrocellás rendszer.

A Nokia MetroSite megoldás csökkenti a bázisállomás telepítési költségeit és időtartamát is. A megoldás részeként kínált innovatív, az 58 GHz-es frekvenciasávon működő hozzáférési átviteltechnikai rendszer teljességgel új telephely-kiépítési gyakorlatot tesz lehetővé. Az összeköttetés azonnal megteremthető, közvetlenül a berendezések telepítése után.

Kétszeres kapcsoló központi teljesítmény

A Nokia DX 200-as mobil központ termékcsalád legújabb tagja, a DX 200i-sorozat feldolgozási teljesítménye több, mint kétszerese a korábbi termékeknek, miközben mérete csökkent. Az MCSi akár 400 ezer előfizetőt is képes kezelni, még azt feltételezve is, hogy minden, a hálózatban létrejövő hívás intelligens hálózati szolgáltatást is igényel. A hálózati elemek számának minimálisra csökkentése révén a DX 200i sorozat jelentős megtakarításokat eredményezhet a szolgáltatóknak.

A Nokia DX 200i sorozat teljeskörűen kompatibilis a korábbi DX 200-as mobil központokkal - ezért zökkenőmentesen beilleszthetők a már meglévő hálózatokba. A szolgáltatók azonos szolgáltatásokat nyújthatnak hálózatukon belül mindenhol és maximalizálhatják a befektetéseik hasznos élettartamát.

Bizonyos hálózatok egyszerűen jobban működnek

A Nokia új, költséghatékony berendezéseinek köszönhetően a szolgáltatók tovább csökkenthetik üzemeltetési költségeiket. A hálózat gyors kiépítése és üzembe helyezése céljából a Nokia hatékonyabb telepítési és üzemeltetési folyamatokat dolgozott ki.

A tervezési szolgáltatások a legjobb mikrocellás, kapcsolóközponti és átviteltechnikai megoldásokon alapulnak. A Nokia ügyfelei rendelkezésére áll a meglévő hálózatok átalakítása és optimalizálása során is.

A Nokia által kínált integrált hálózattervezési, adattárolási, valamint távvezérelt letöltést lehetővé tevő eszközök segítik a szolgáltatókat a gyorsan fejlődő hálózat irányításában, miközben még a legösszetettebb, legnagyobb kapacitású GSM hálózatban is magasabb hatékonyságot érhetnek el.

A Nokia új, nagy kapacitású rendszere természetesen minden GSM sávban, vagyis 900 és 1800 MHz frekvencián is a szolgáltatók rendelkezésére áll.

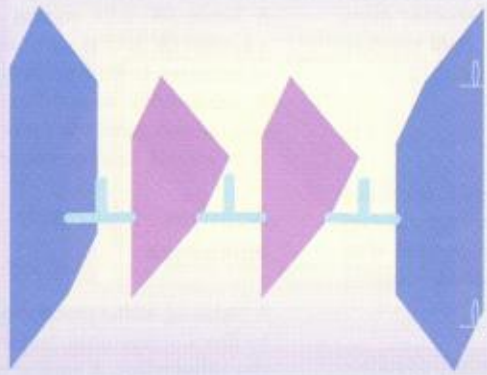
Hozzon ki többet GSM hálózatából!

NOKIA
CONNECTING PEOPLE

1.1 Network Topologies

E50

▪Point-to-Point link



Marconi

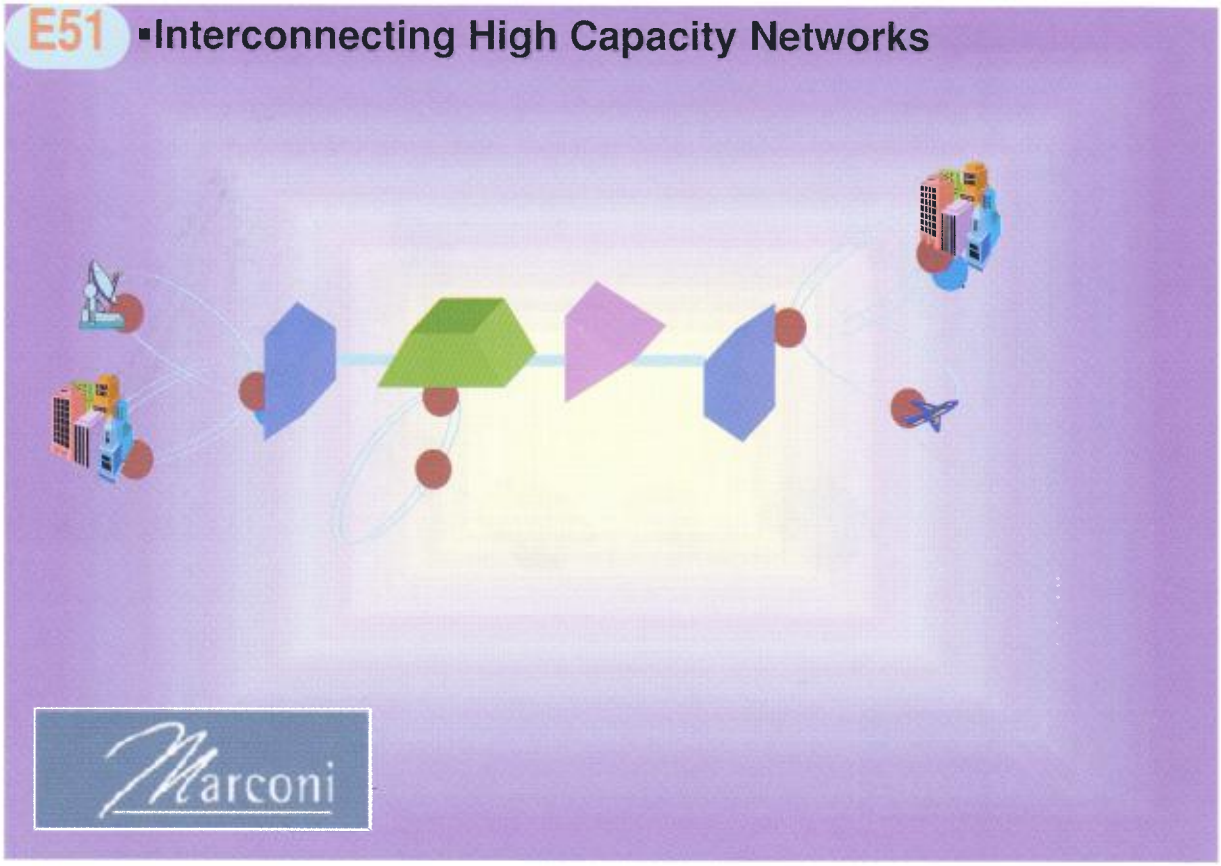
1. Point-to-Point link E50

1.1 Network Topologies

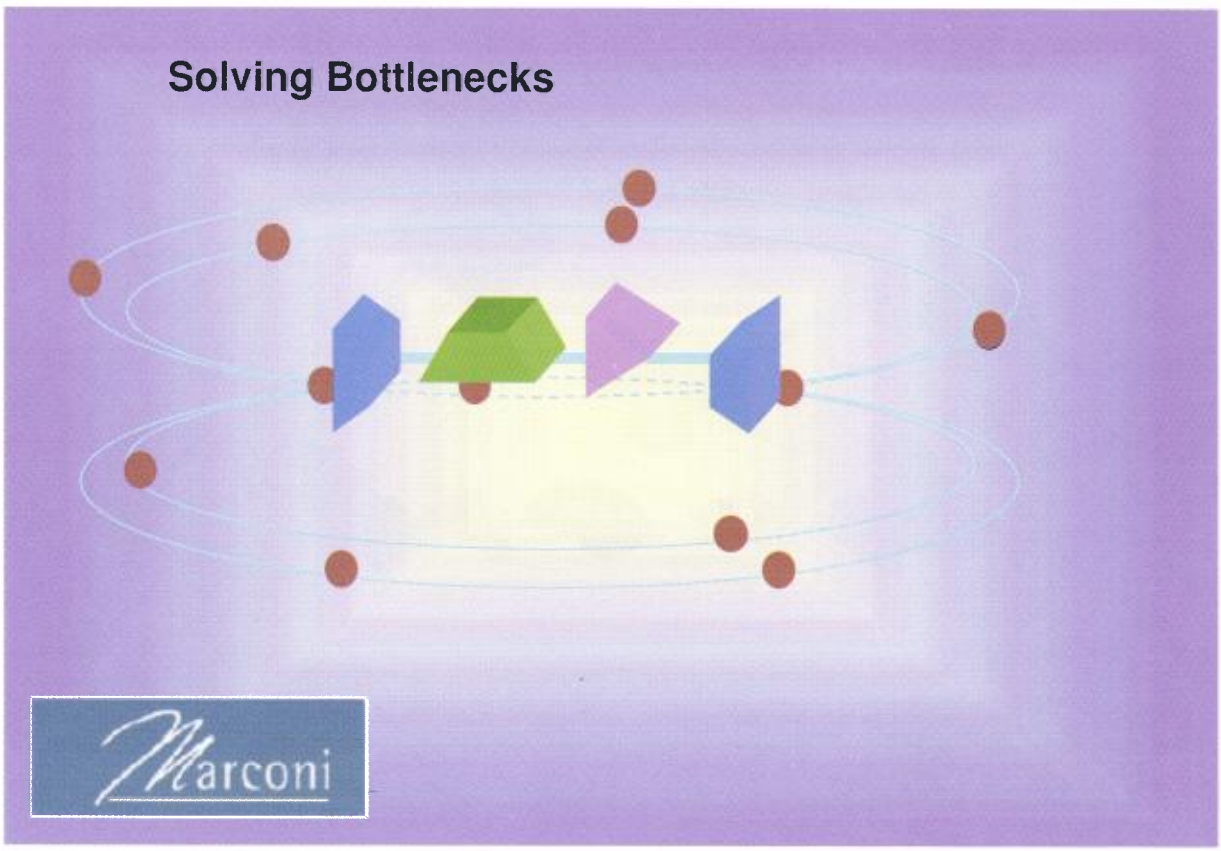
▪Chain

Marconi

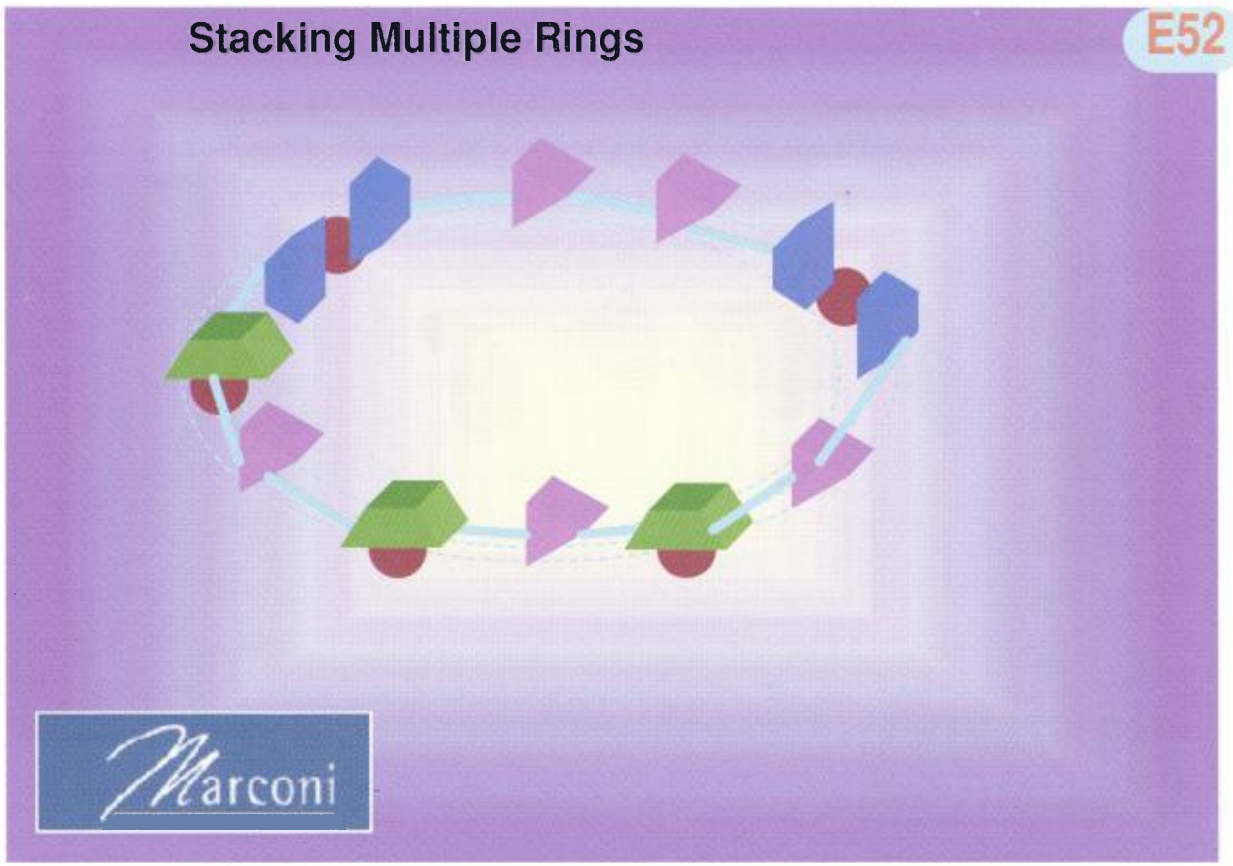
2. Chain E50



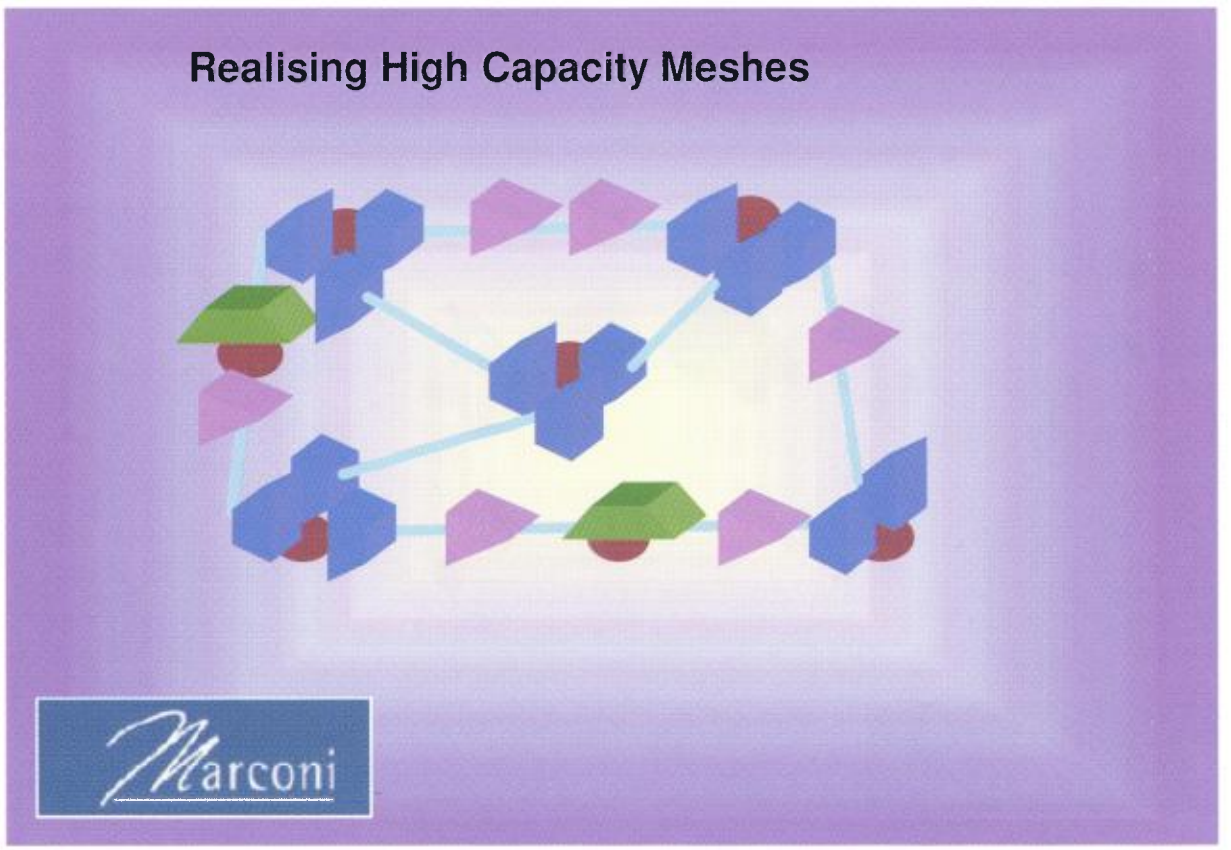
3. Interconnecting High Capacity Networks E51



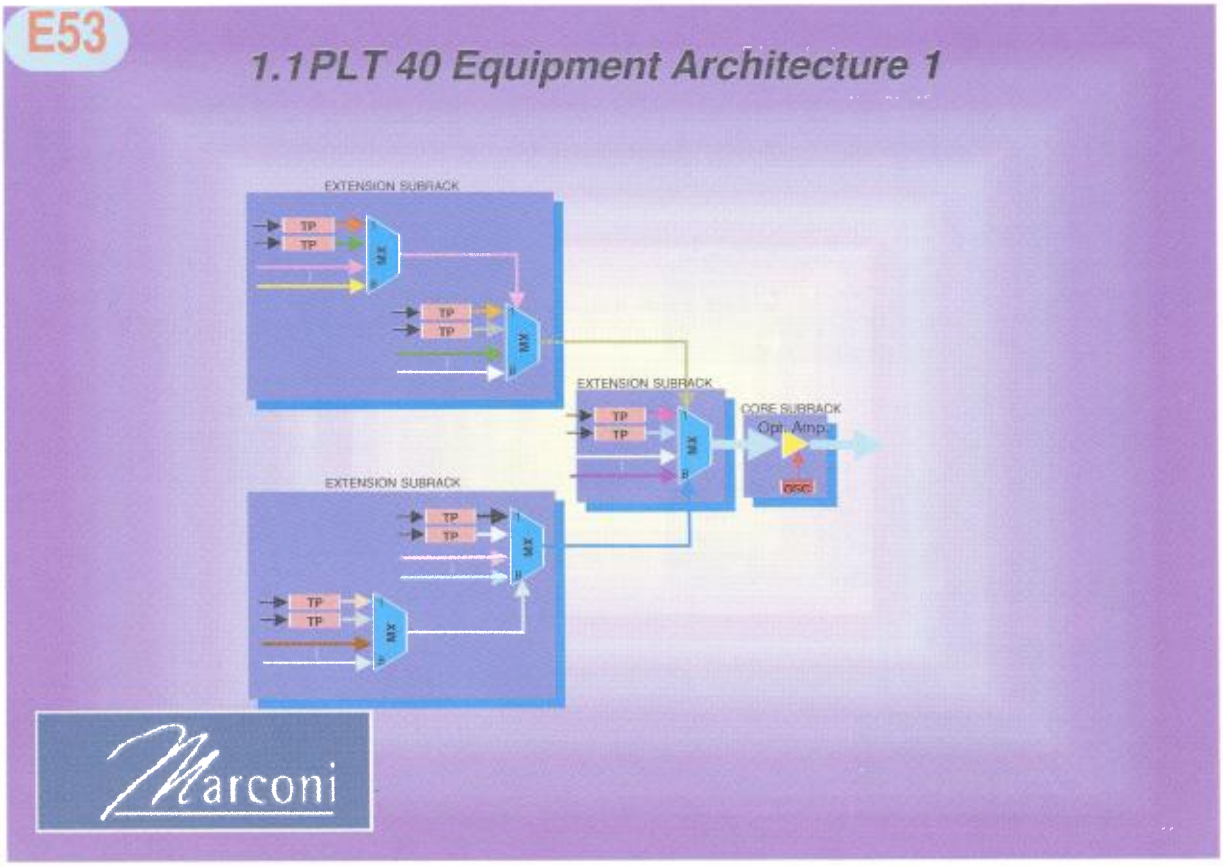
4. Solving Bottlenecks E51



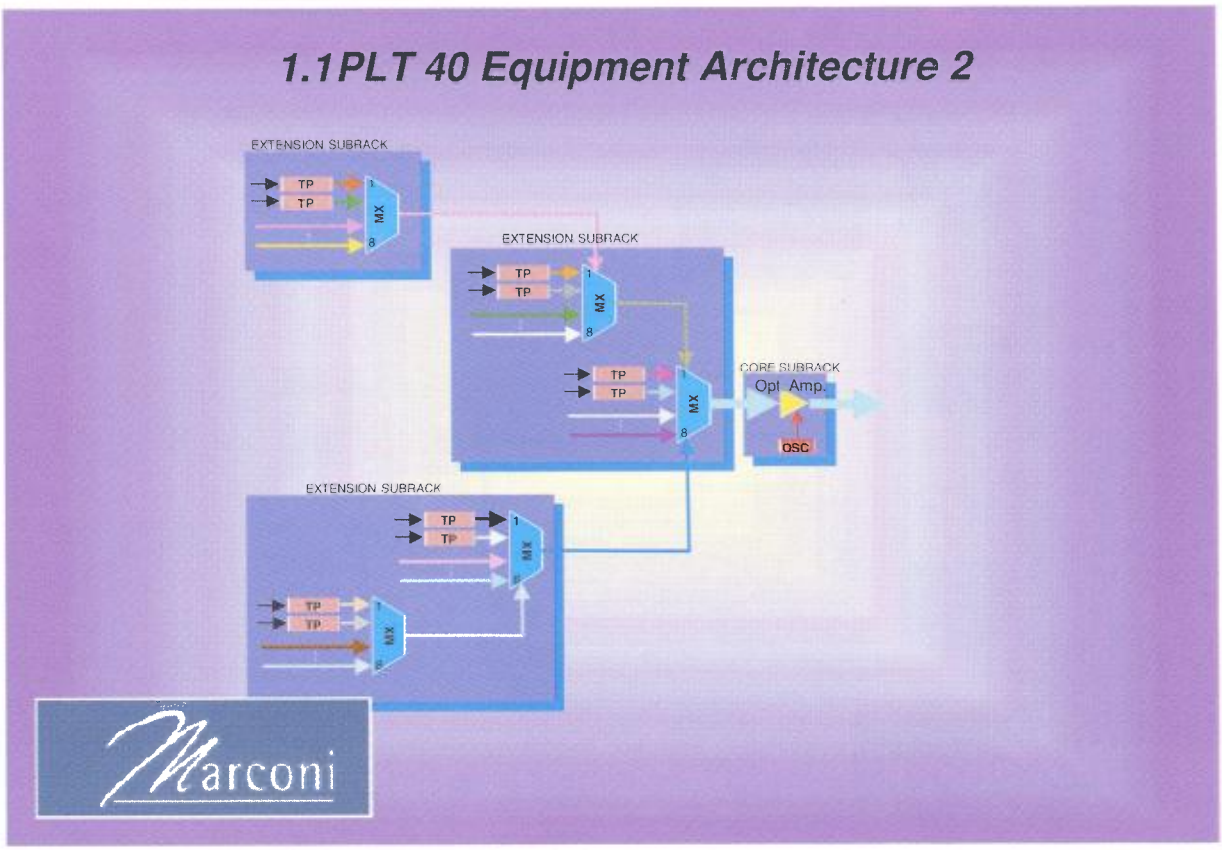
5. Stacking Multiple Rings E52



6. Realizing High Capacity Meshes E52

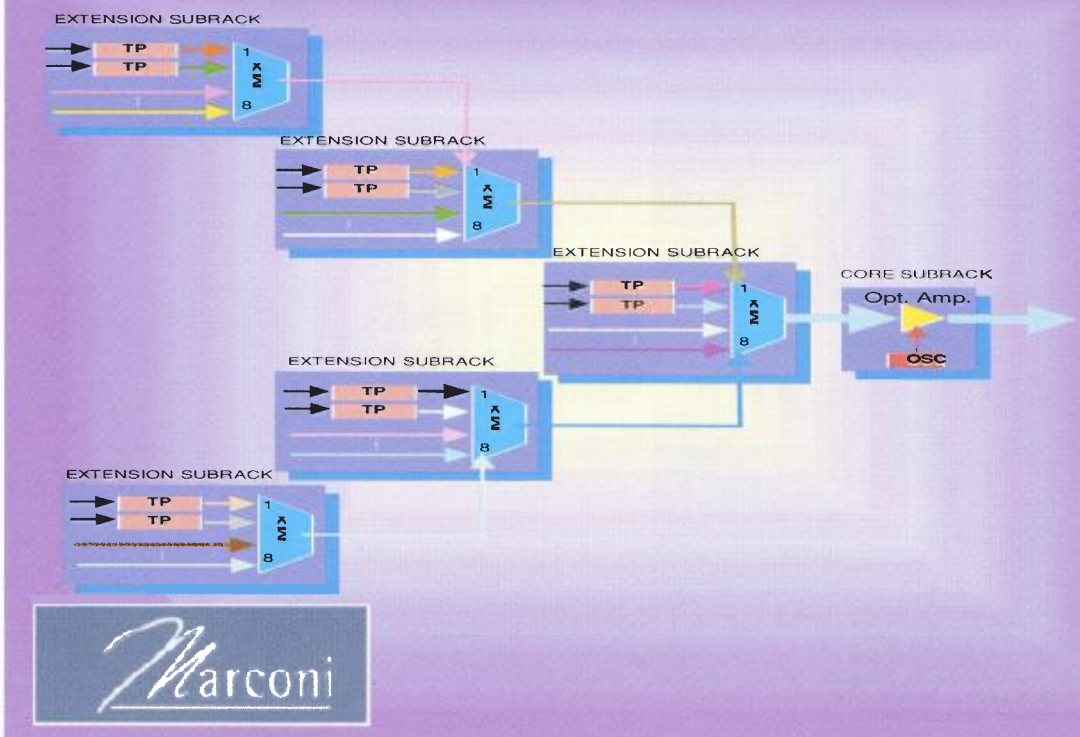


7. PLT40 architecture E53



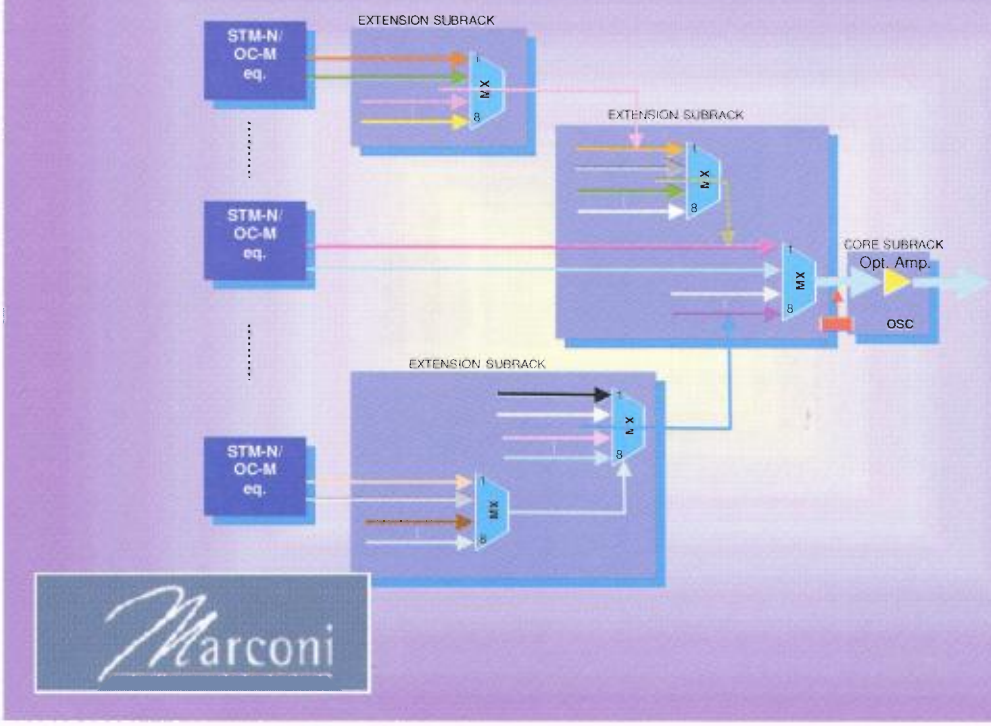
8. Asymmetric PLT40 Equipment architecture E53

1.1PLT 40 Equipment Architecture 3



9. Extension of Sub-rack topology E54

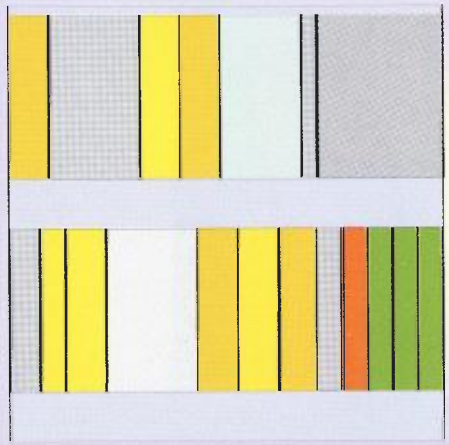
1.1PLT 40 Equipment Architecture 4



10. Integration with SDH/Sonet product family E54

E55

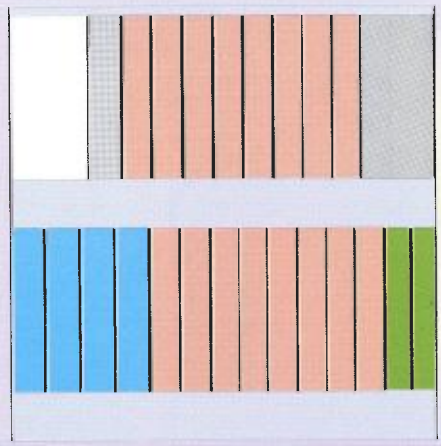
1.1 PLT 40 Mechanical Structure 1



Marconi

11. PLT40 Mechanical Structure E55

1.1 PLT 40 Mechanical Structure 2

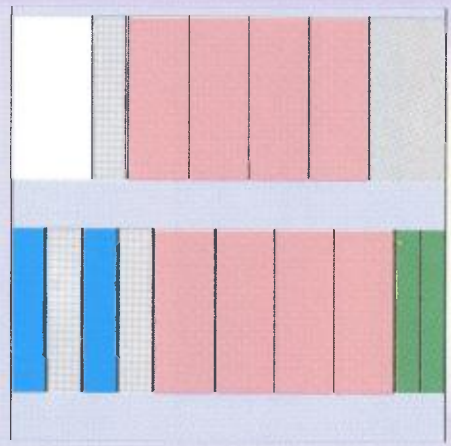


Marconi

12. Multiplexing/Demultiplexing Stages E55

E56

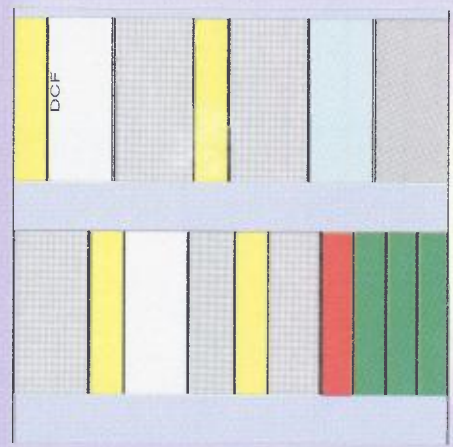
1.1 PLT 40 Mechanical Structure 3



Marconi

13. Transponder Sub-rack E56

1.1 PLA 40 Mechanical Structure 4



Marconi

14. PLA40 Mechanical Structure E56

LECTURE#P20.: COBNET Project

0. Contents	E57
1. Objectives and Concepts	E58
2. Customer Premises Network Backbone	E58
3. SDM Ring	E59
4. WDM Ring	E59
5. Field Network in East England	E60
6. WAN CPN LEANet	E60
7. Clear Channel WDM Connectivity	E61
8. Closer Look at the nodes	E61
9. Optical Add/Drop Nodes	E62
10. WDM/SDM Cross-Connect Node	E62
11. PNI Unit	E63
12. WDM Lasers Component	E63
13. WDM Laser Realization	E64
14. SDM Laser Array	E64
15. Single-Channel Receivers	E65
16. RX Realization	E65
17. Receiver Arrays	E66
18. Receiver Array Realization	E66
19. Clear-Channel Retiming Chips	E67
20. Planar WDM (De) Multiplexers	E67
21. Demultiplexer Realization	E68
22. Planar WDM Add/Drop Muxes	E68
23. WDM Add/Drop Mux Realization	E69
24. Optical Switches for SDM protection	E69
25. Optical Switching Realizations	E70
26. SNMP Agent and CPN Manager	E70
27. COBNET Network Manager	E71
28. CPN's management information Exchange	E71
29. Application Trial Infrastructure	E72
30. VOD, Video Conferencing and PBX applications	E72
31. Business and HQ Video transmission solutions	E73
32. Consortium	E73

IMPORTANT ! Internet download
Contact : J.Saint – Blancat (jsb@fr.ibm.com)

COBNET

Corporate Optical Backbone Networks
Objectives and Concepts

- COBNET's goal is to establish concepts and technologies for the next generation of Corporate Backbone Networks

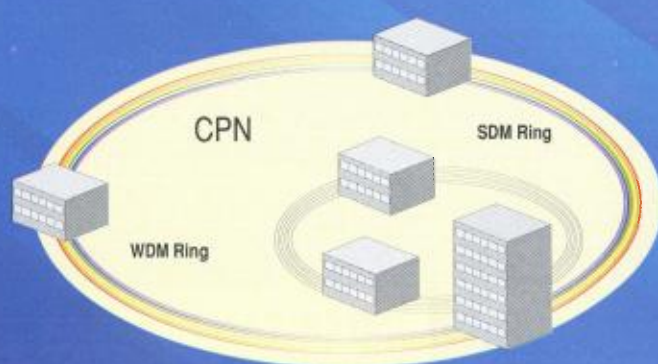
- COBNET is applying evolving optical multichannel technologies
  - wavelength division multiplexing (WDM)
  - optical space division multiplexing (SDM)
- COBNET is pursueing the concept of Add/Drop Rings

COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

COBNET

The Customer Premises Network Backbone

- **builds on Optical SDM Add/Drop Rings for short CPN distances or inside buildings**
- **and on WDM Add/Drop Rings for larger CPN distances or for private MANs**



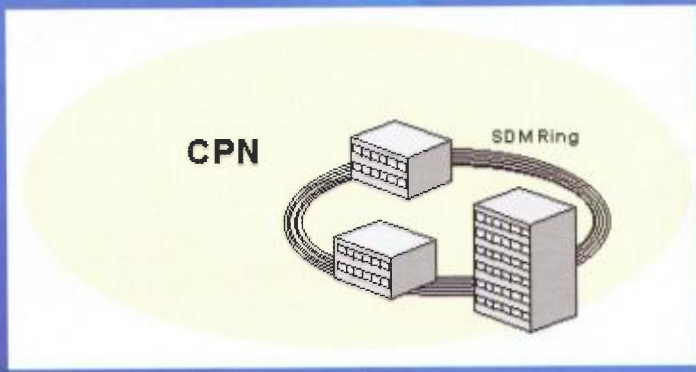
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

E59

COBNET

The SDM Ring

- combines 12 space channels on a SM fibre ribbon
- operates at 1300 nm



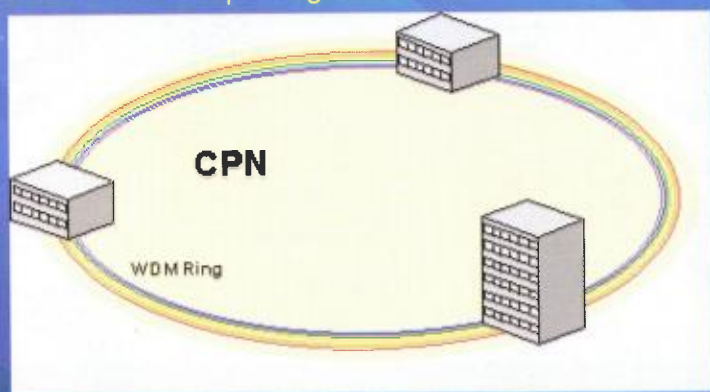
Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

3. SDM Ring

COBNET

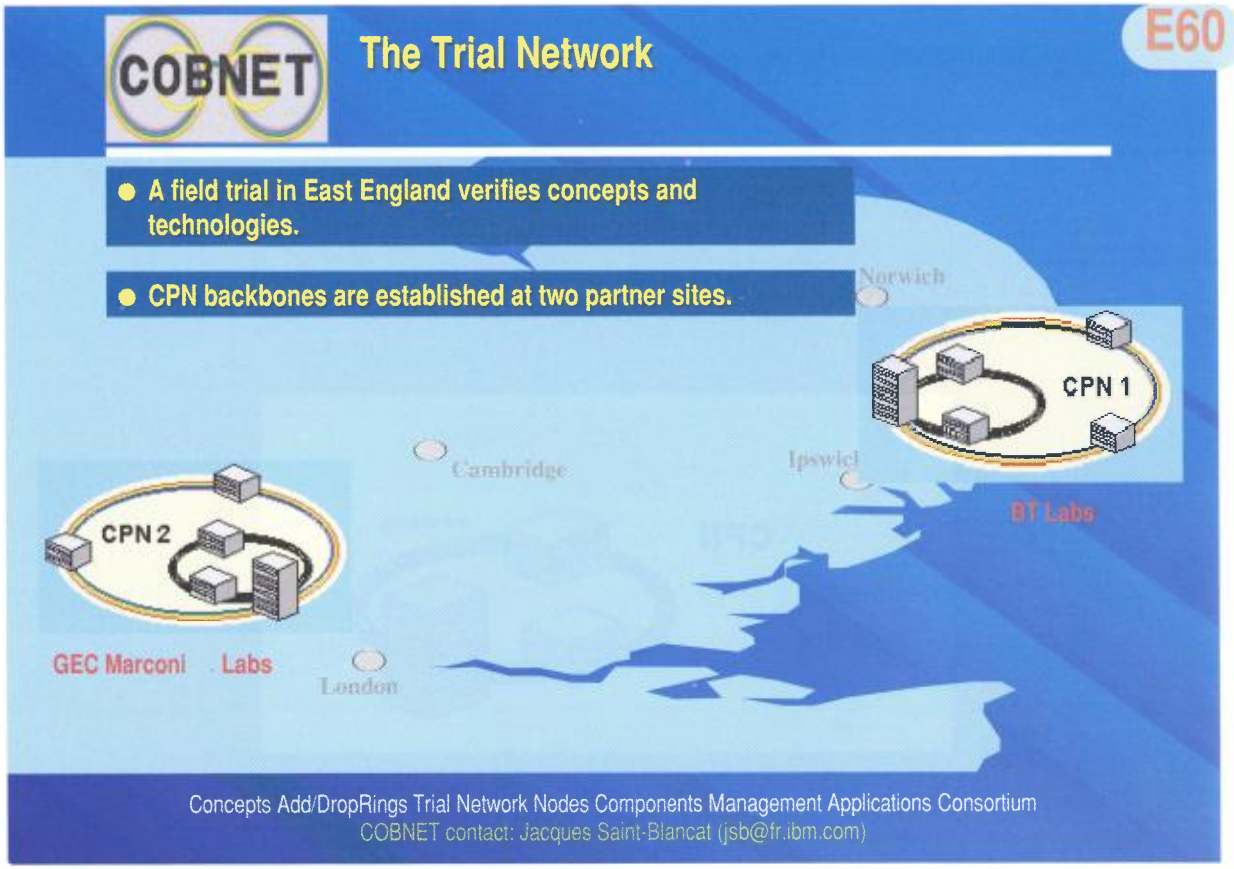
The WDM Ring

- combines 12 wavelengths on one SM fibre
- operates around 1550 nm
- with 1.6 nm channel spacing

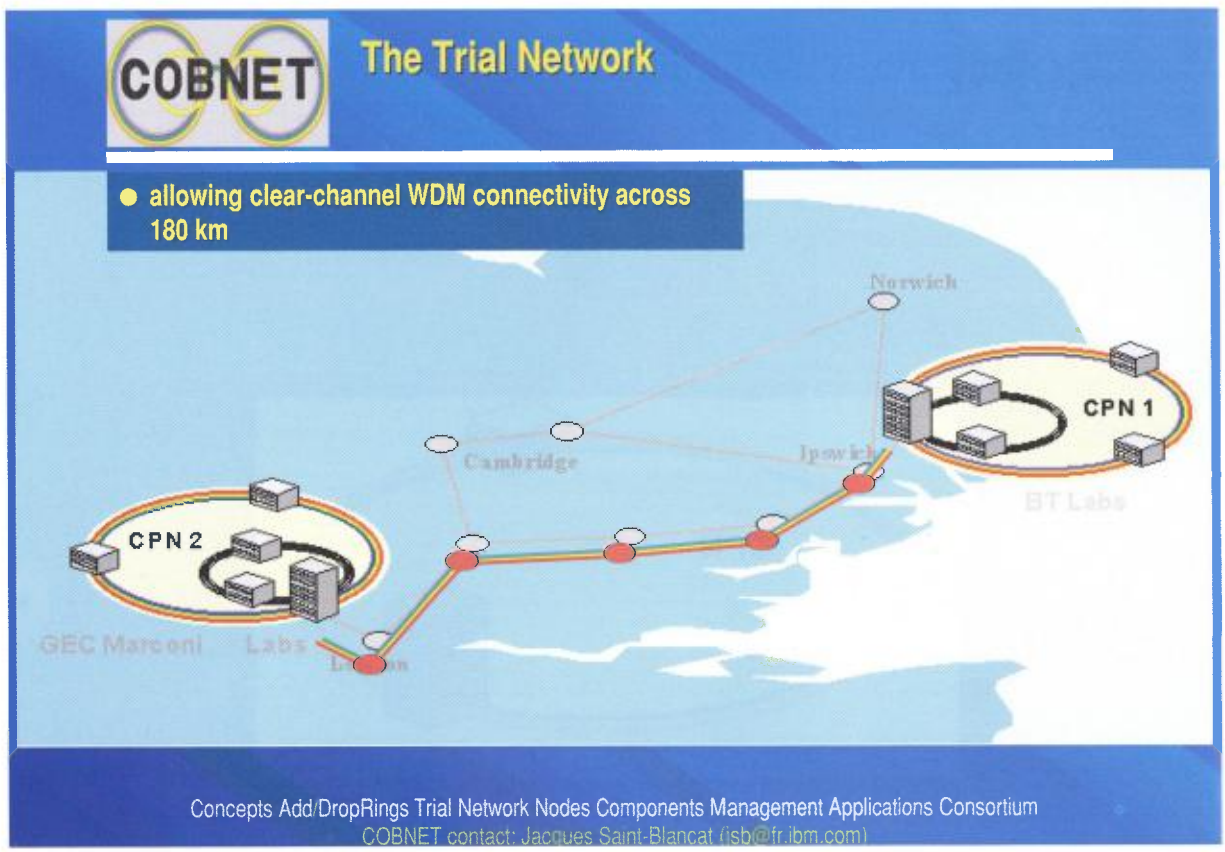


Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

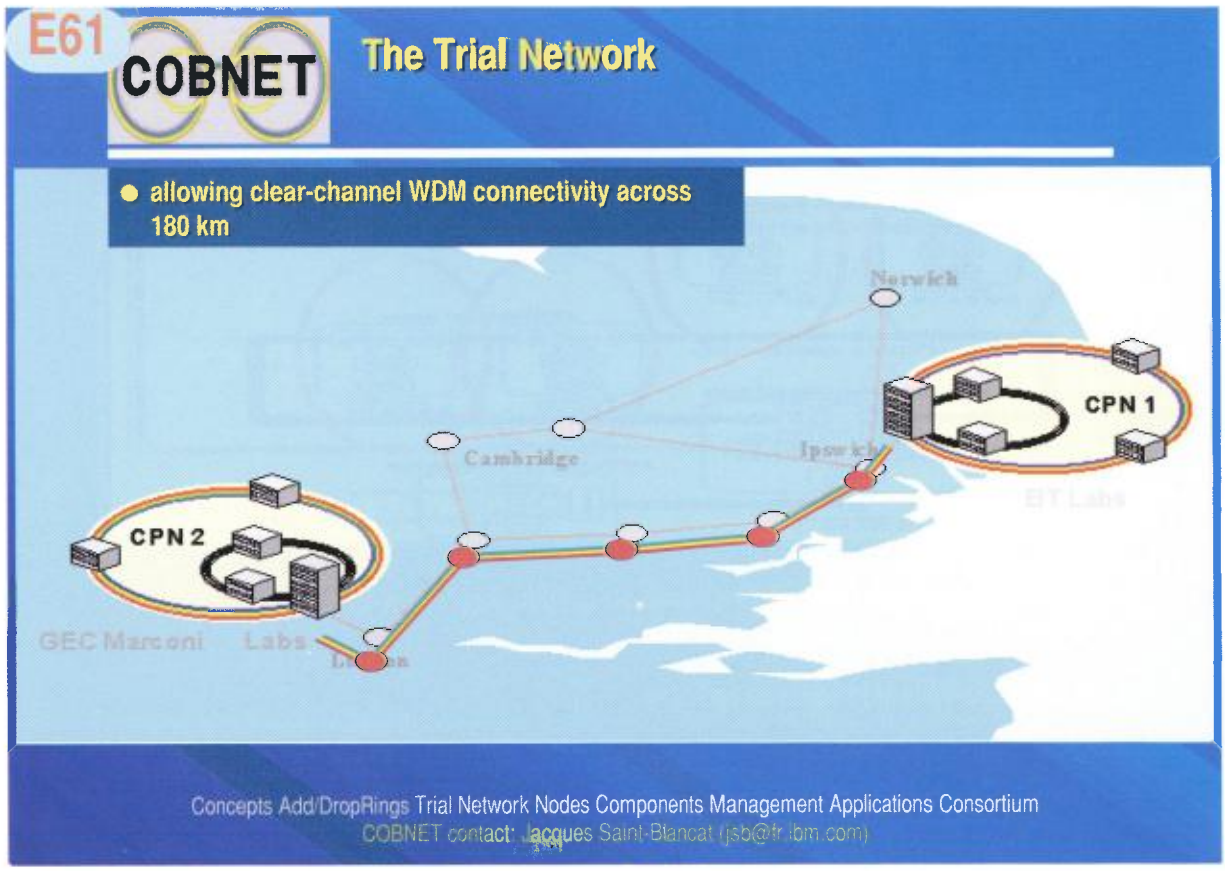
4. WDM Ring



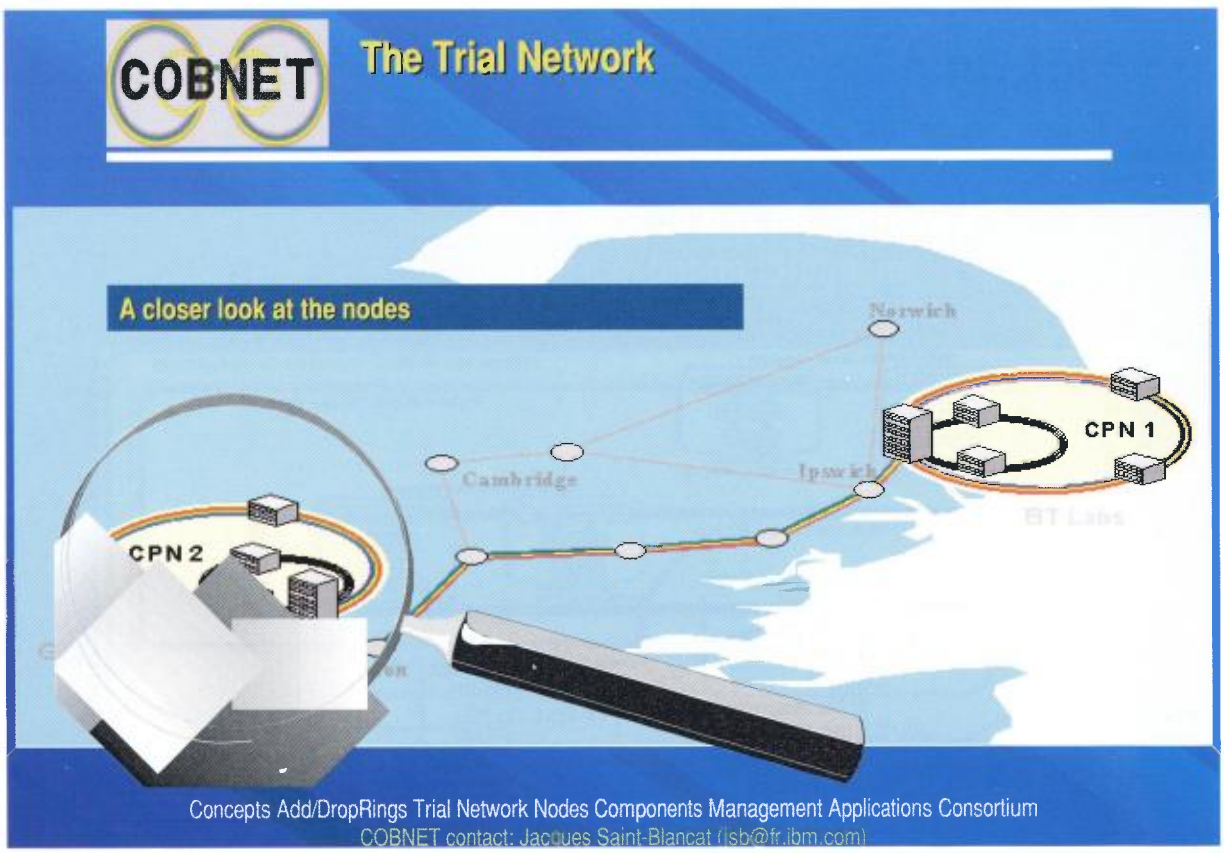
5. Field Network in East England E60



6. WAN CPN LEANet E60



7. Clear Channel WDM Connectivity E61

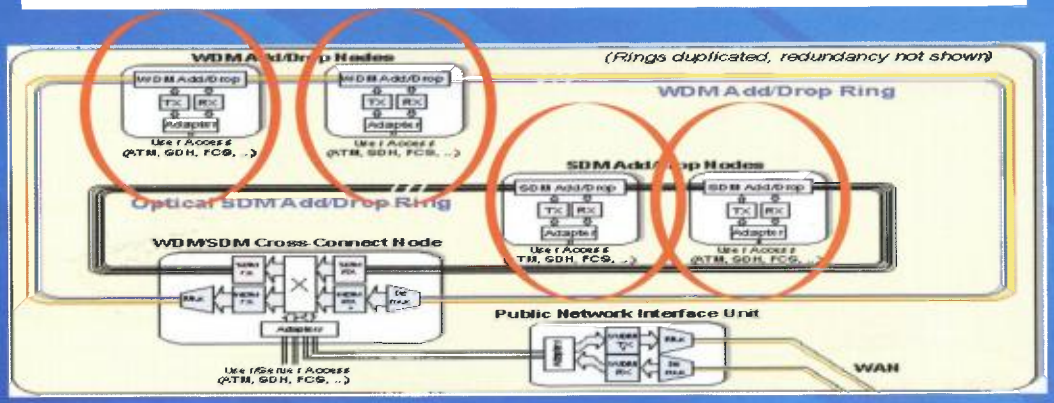


8. Closer Look at the nodes E61

COBNET

The Trial Nodes

E62



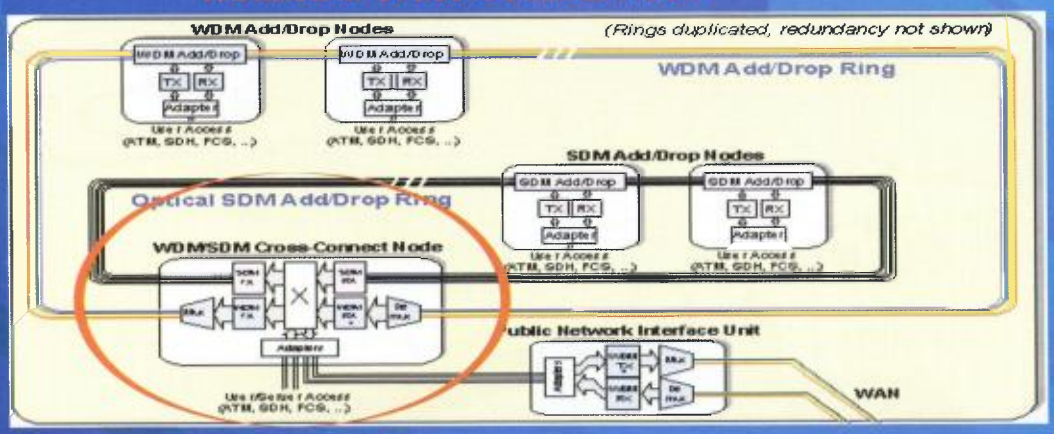
- Wavelength or space channels are added/dropped in simple, low-cost Optical Add/Drop Nodes
- all other channels are bypassed optically

9. Optical Add/Drop Nodes E62

COBNET

The Trial Nodes

- Wavelength and/or space channels are interchanged in a hybrid WDM/SDM Cross-Connect Node



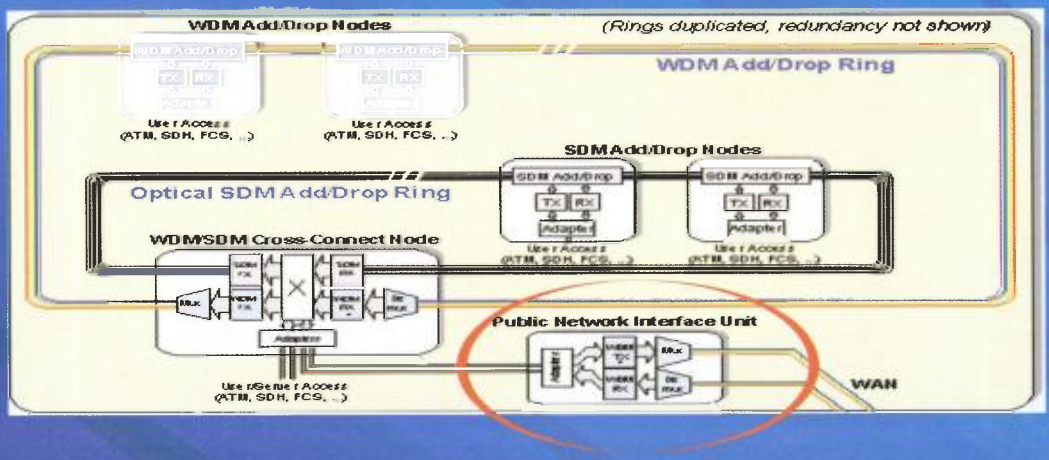
10. WDM/SDM Cross-Connect Node E62

E63

COBNET

The Trial Nodes

- Alternatively, channels may be switched to the WDM WAN via a Public Network Interface Unit

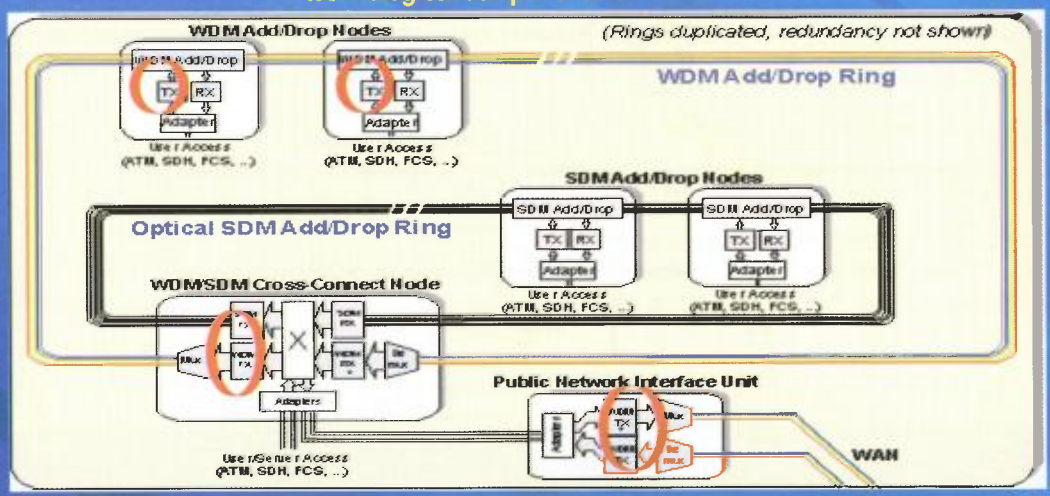


COBNET

The Components

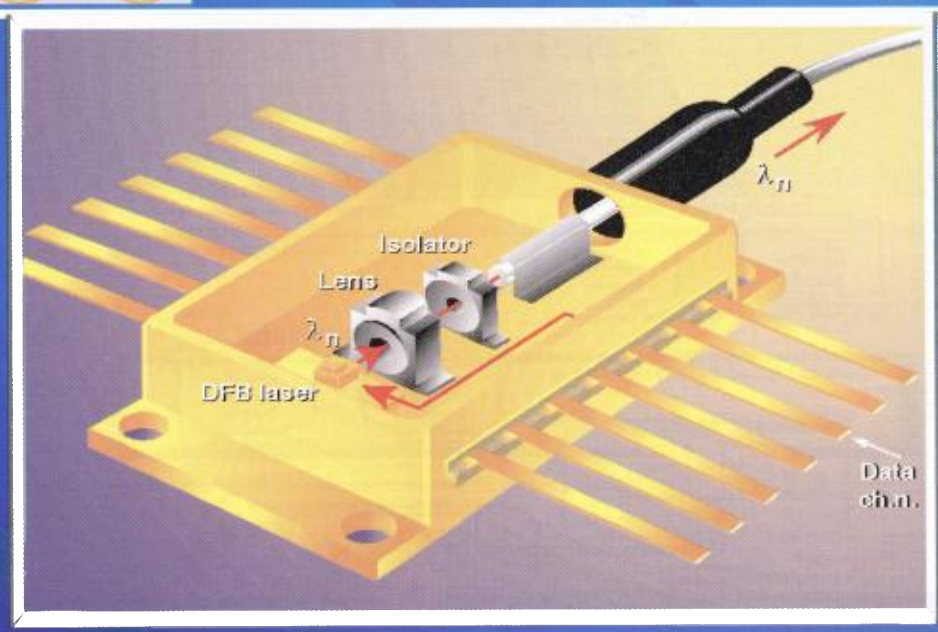
- WDM Lasers

Economy is supported by the development of specific technological components ...



E64

COBNET



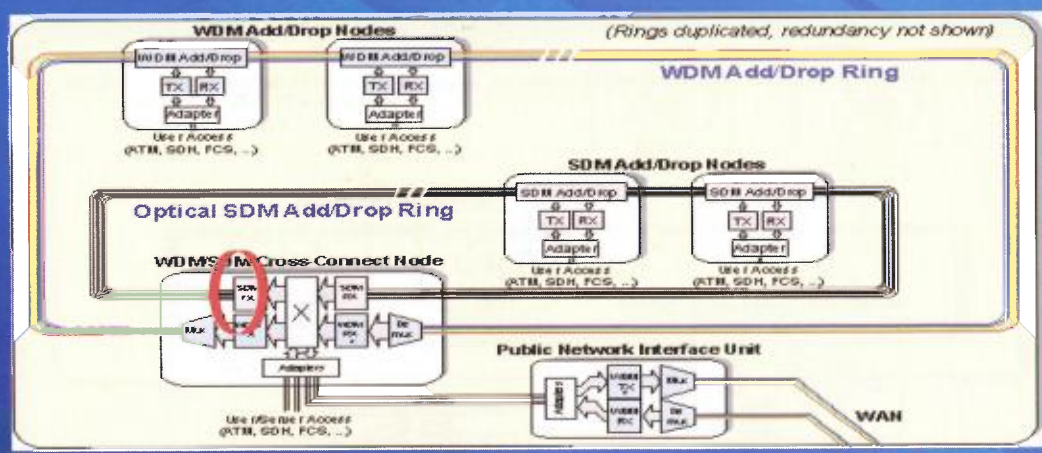
Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

13. WDM Laser Realization E64

COBNET

The Components

- SDM Laser Arrays



Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

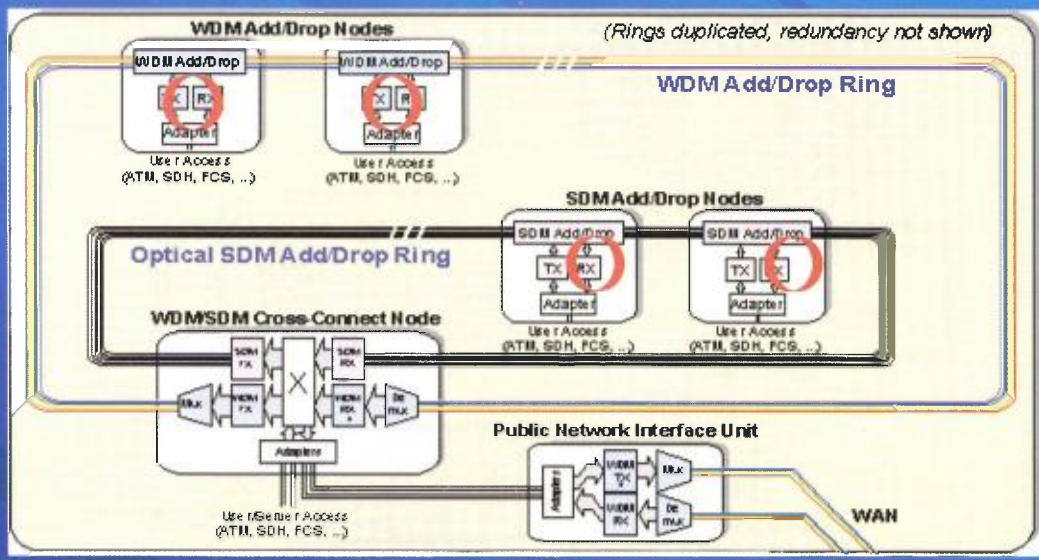
14. SDM Laser Array E64

E65

COBNET

The Components

- Single-channel Receivers

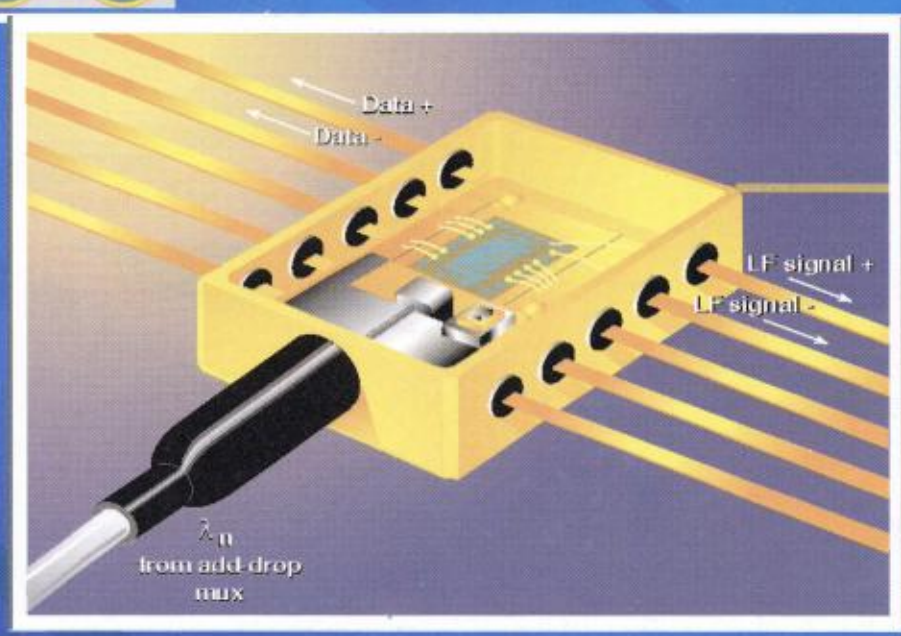


Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium

COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

15. Single-Channel Receivers E65

COBNET



Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium

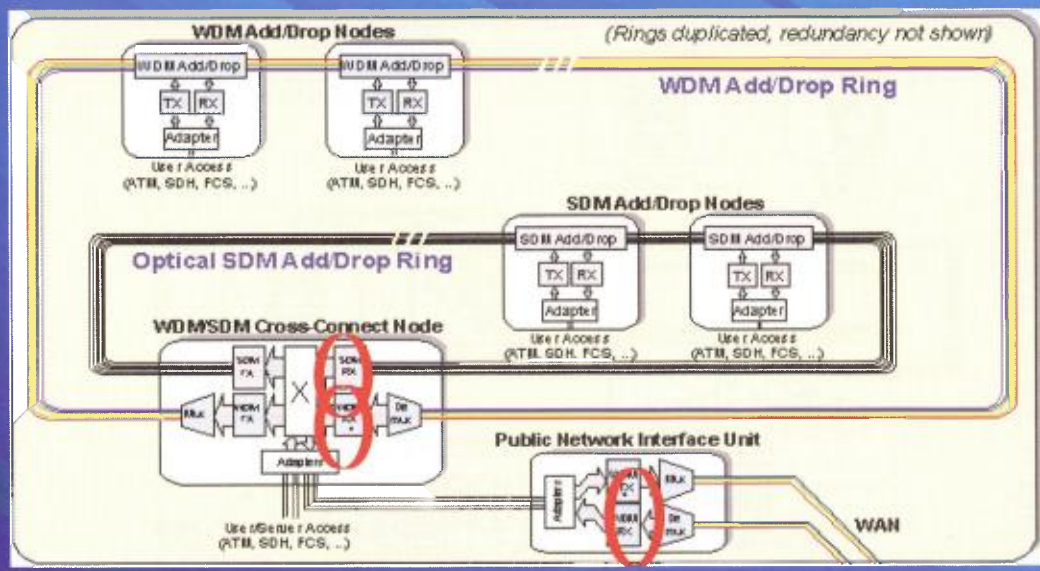
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

16. RX Realization E65

COBNET

The Components

- Receiver Arrays

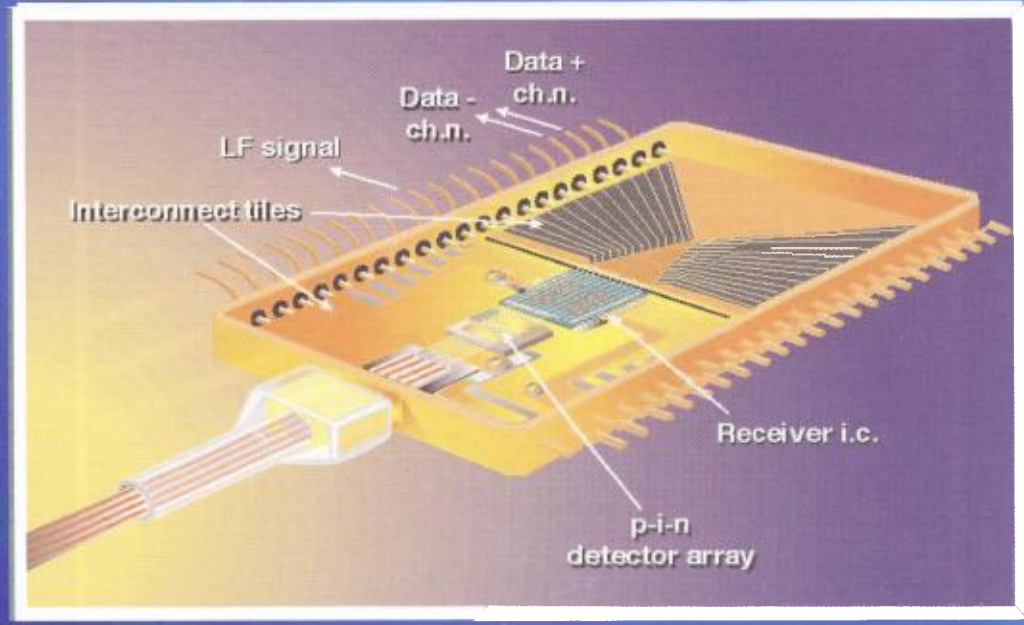


Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium

COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

17. Receiver Arrays E66

COBNET



Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium

COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

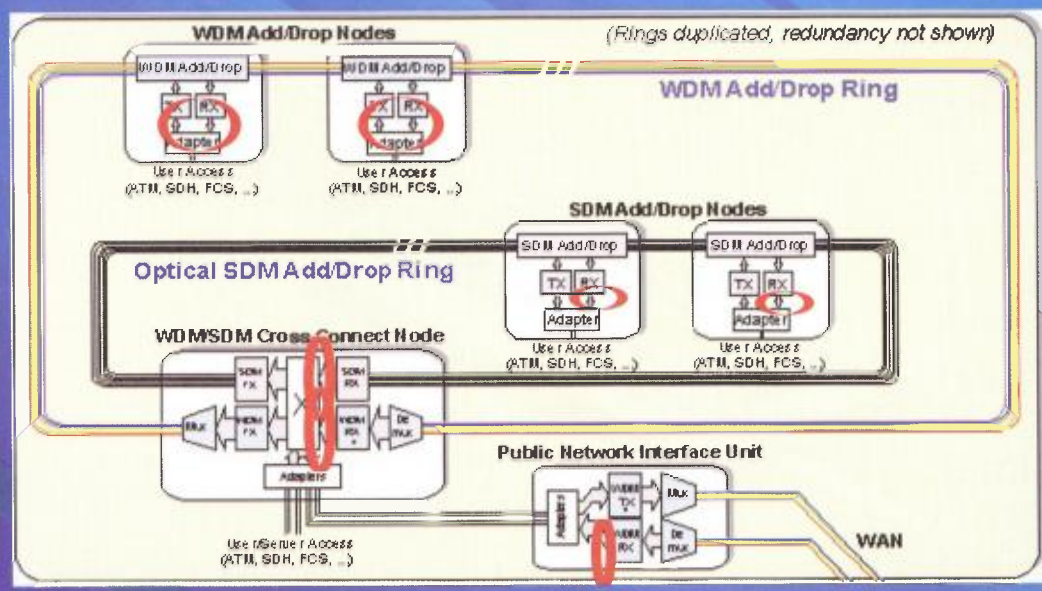
18. Receiver Array Realization E66

E67

COBNET

The Components

- Clear-channel Retiming Chips



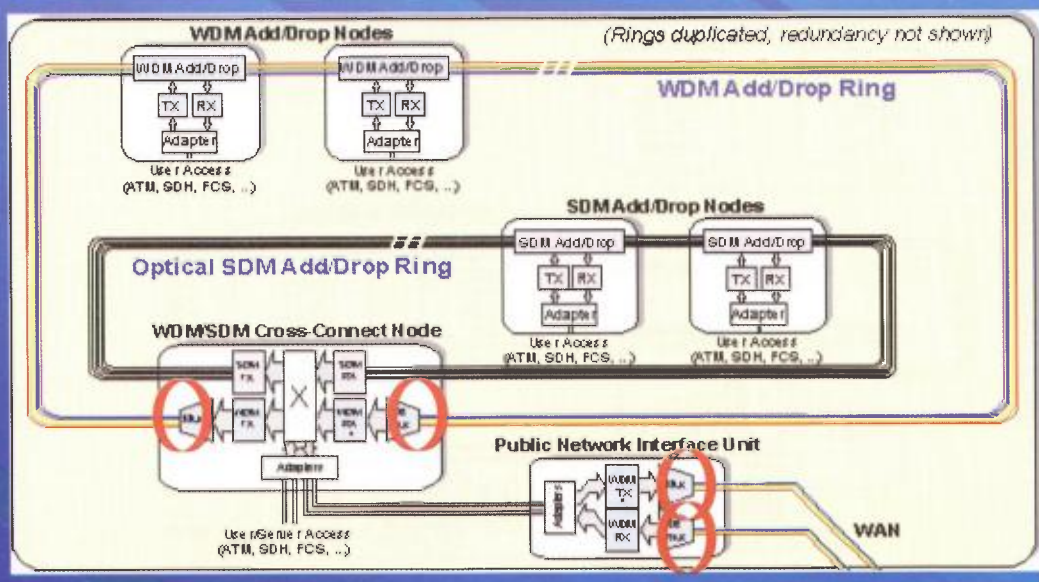
Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

19. Clear-Channel Retiming Chips E67

COBNET

The Components

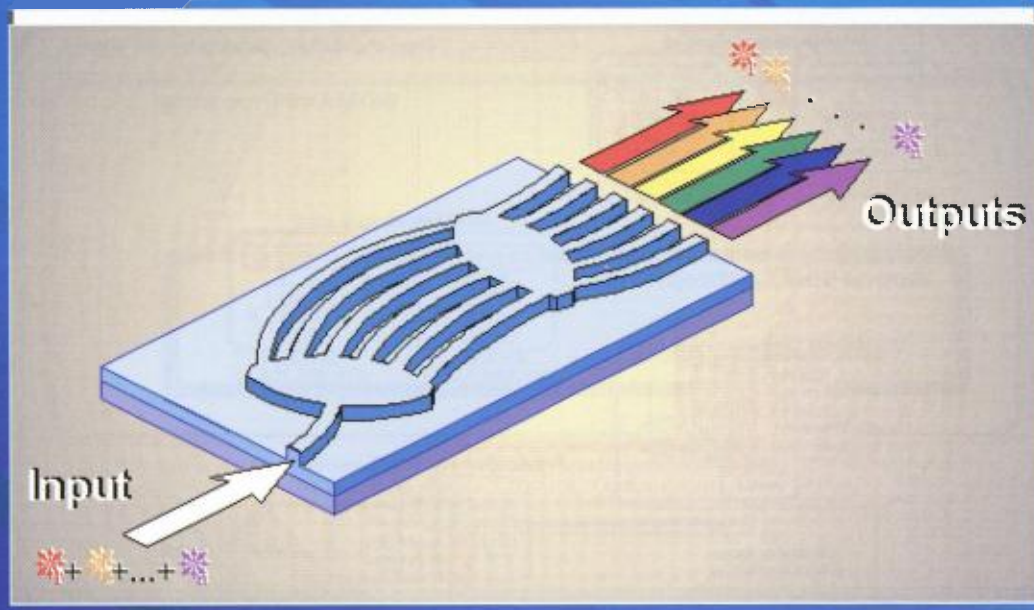
- Planar WDM (De)Multiplexers



Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

20. Planar WDM (De) Multiplexers E67

COBNET



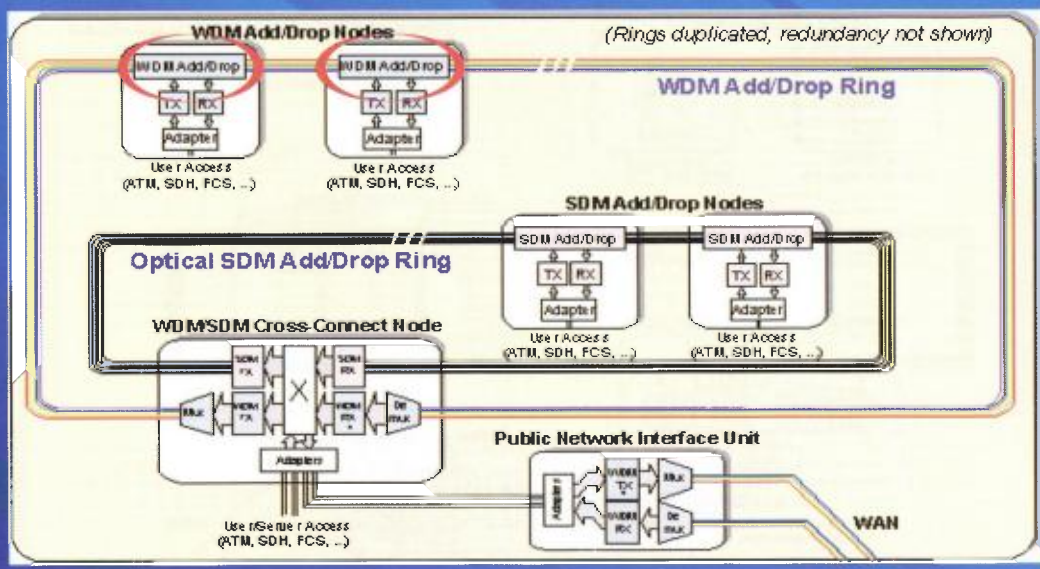
Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

21. Demultiplexer Realization E68

COBNET

The Components

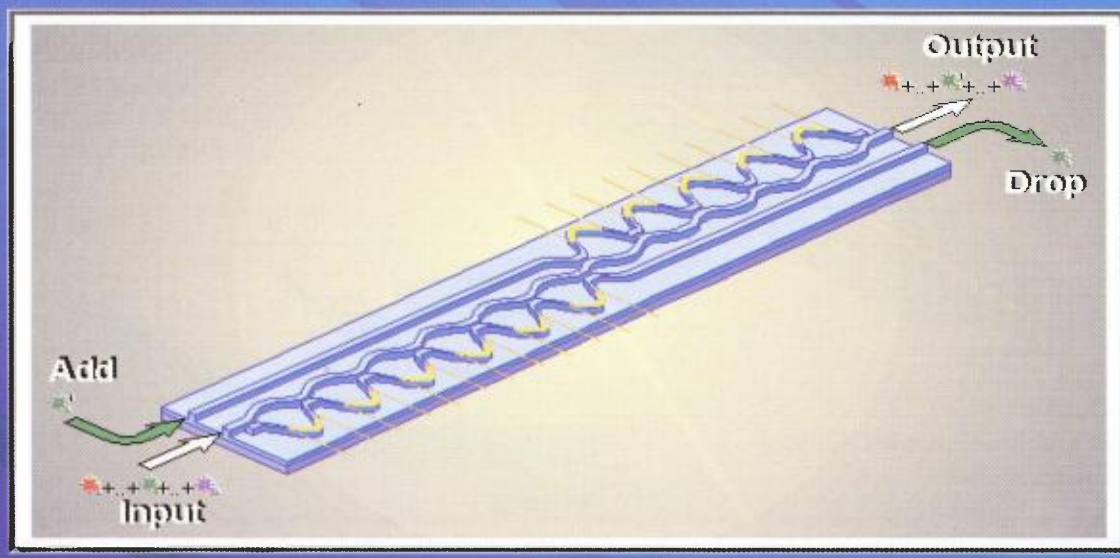
- Tunable, planar WDM Add/Drop Muxes



Concepts Add/DropRings Trial Network Nodes Components Management Applications Consortium
COBNET contact: Jacques Saint-Blancat (jsb@fr.ibm.com)

22. Planar WDM Add/Drop Muxes E68

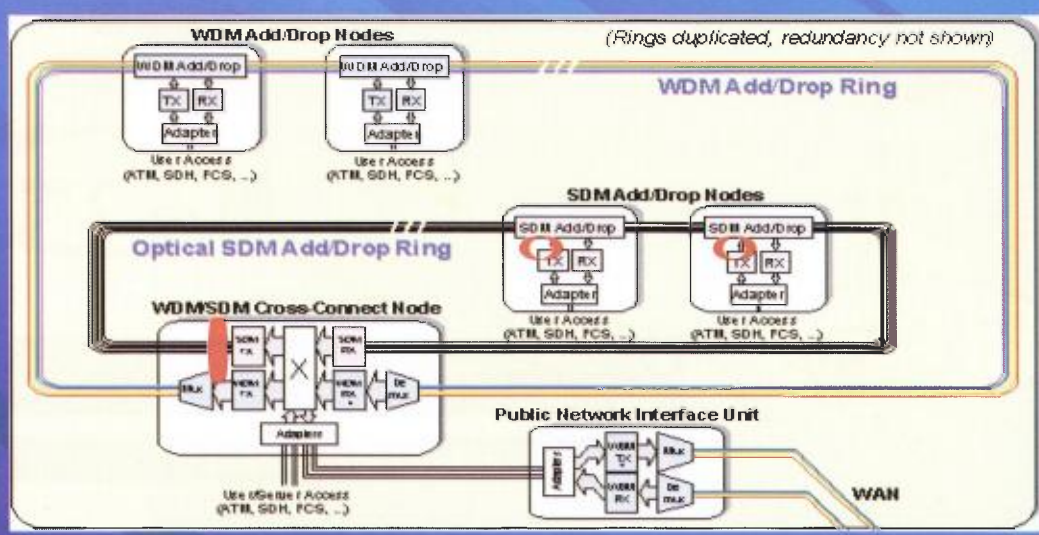
COBNET



23. WDM Add/Drop Mux Realization E69

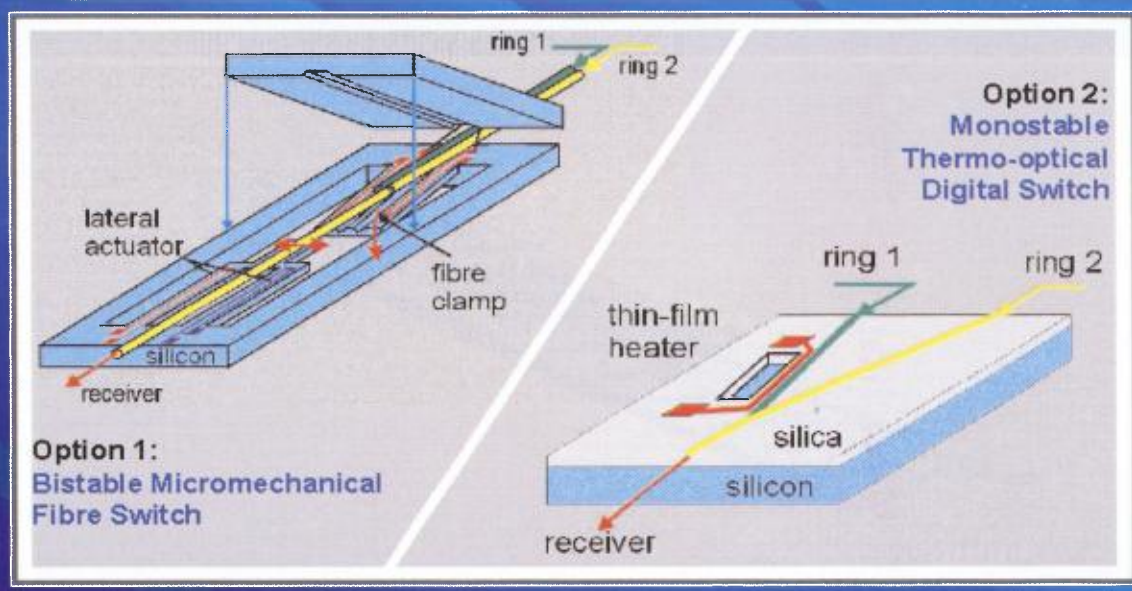
The Components

- Optical Switches and Switch Arrays for SDM protection switching



24. Optical Switches for SDM protection E69

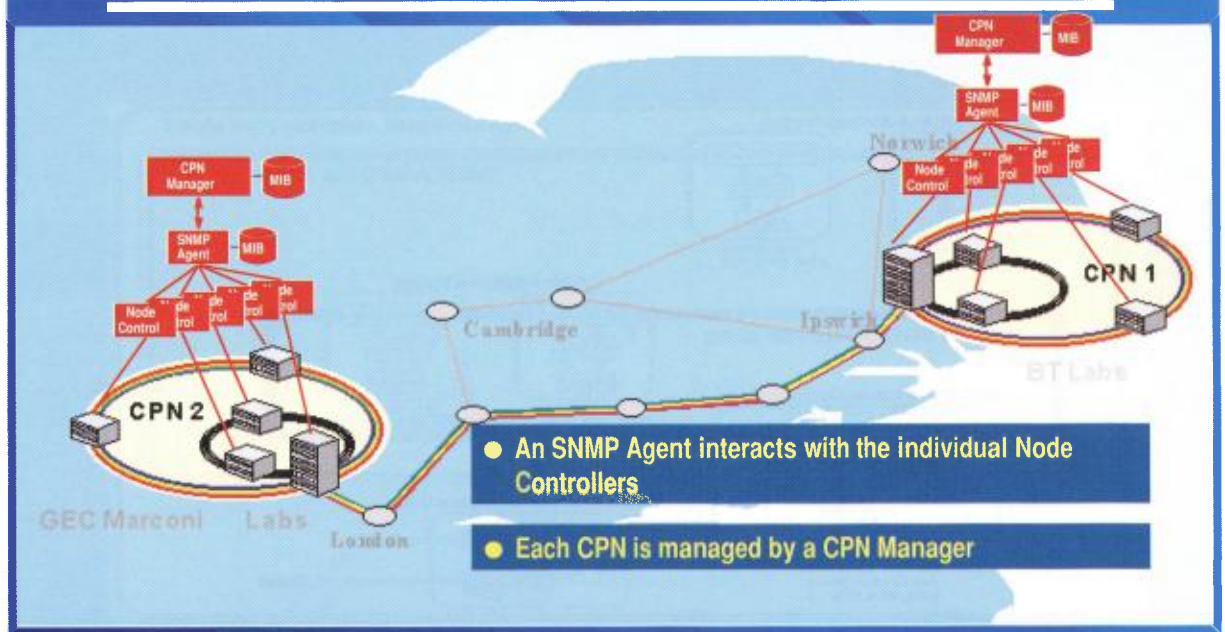
COBNET



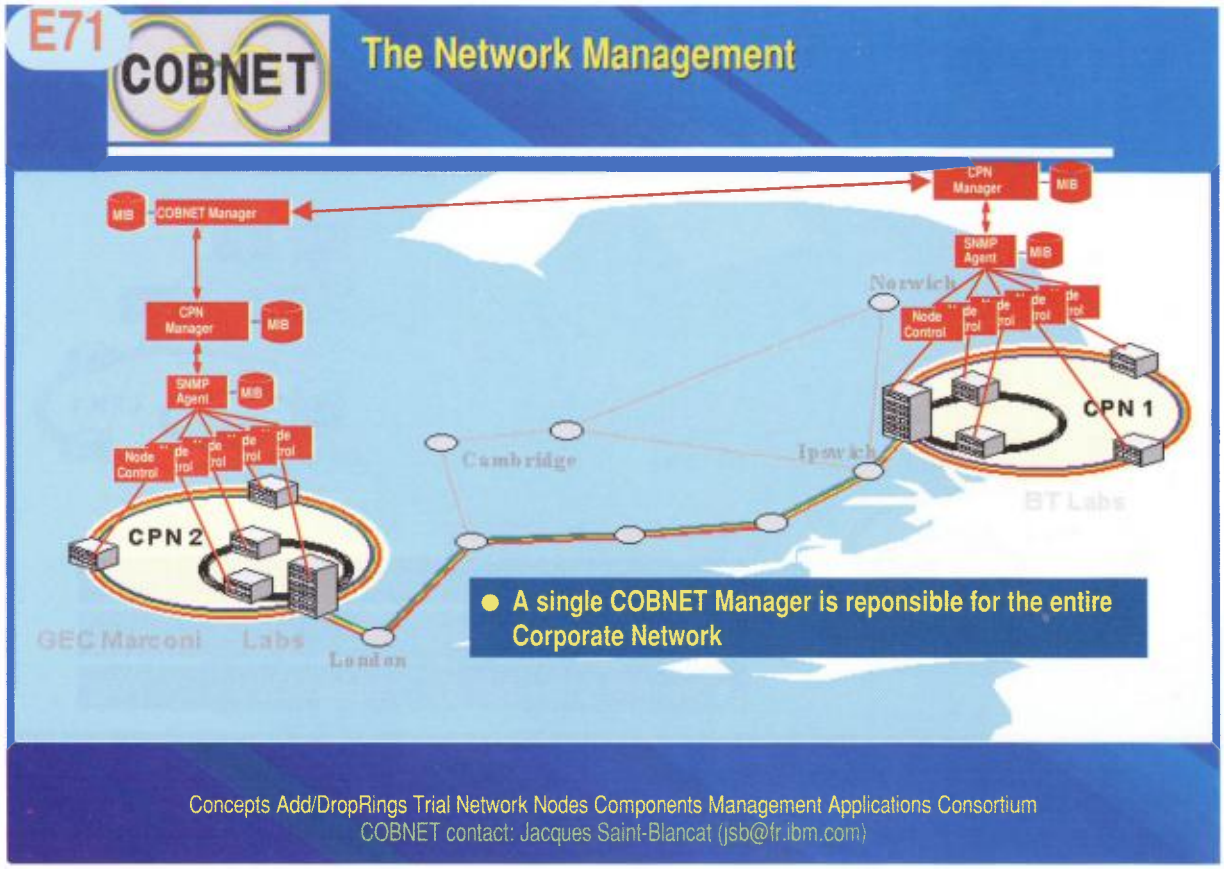
25. Optical Switching Realizations E70

COBNET

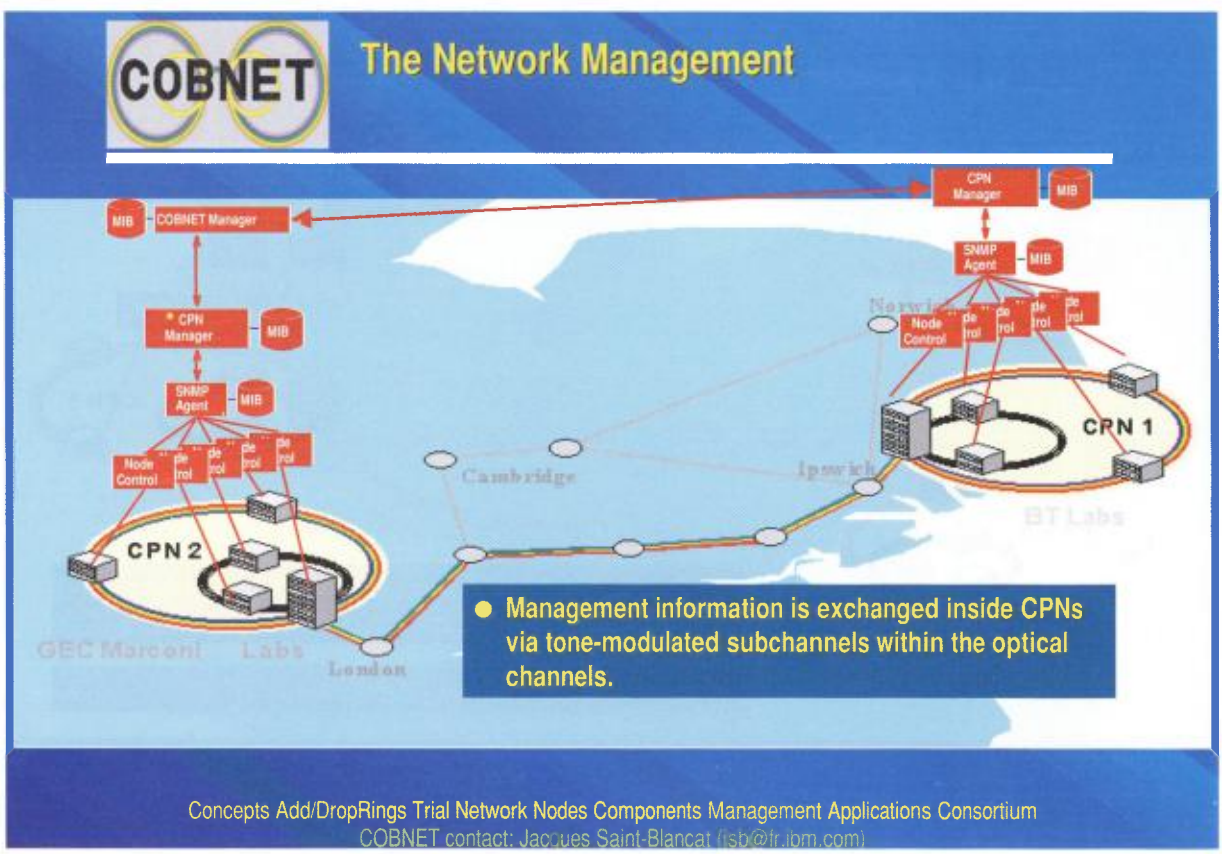
The Network Management



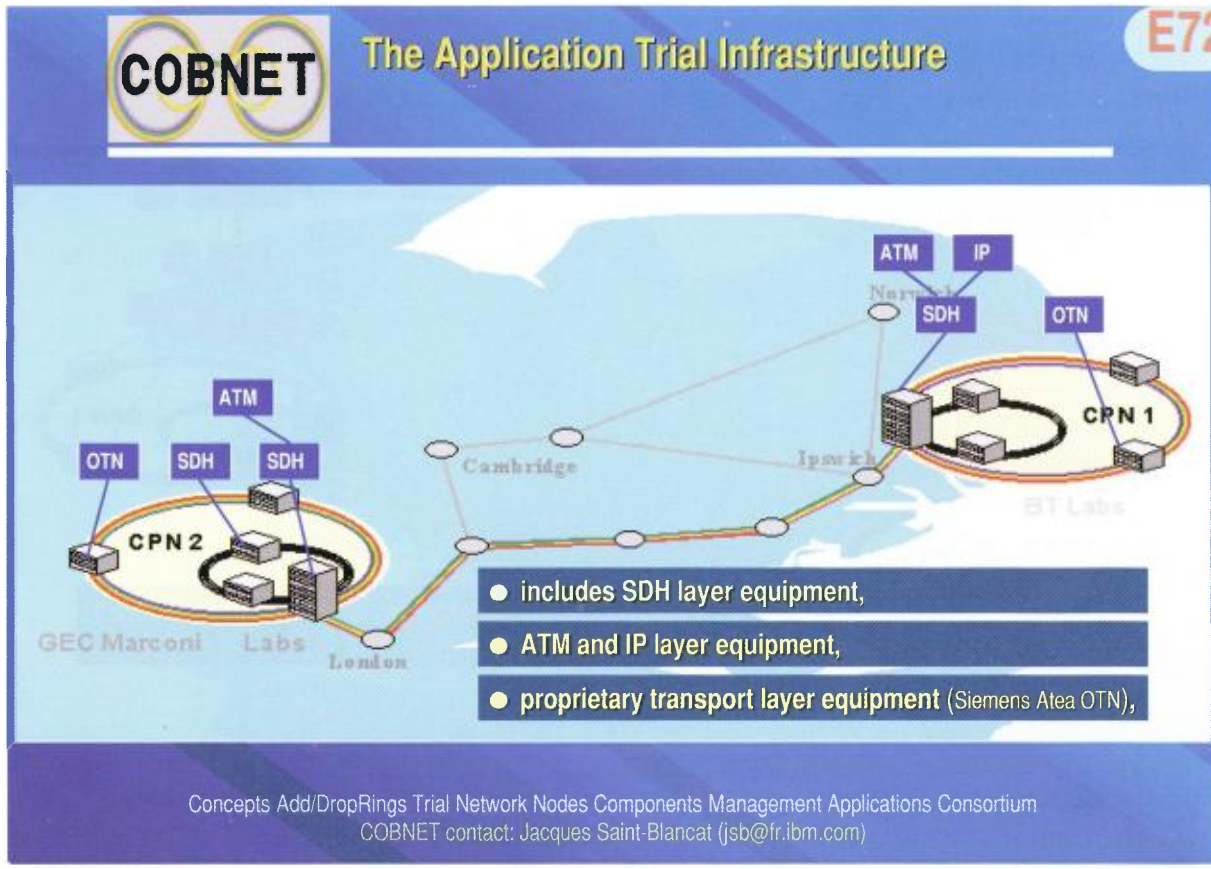
26. SNMP Agent and CPN Manager E70



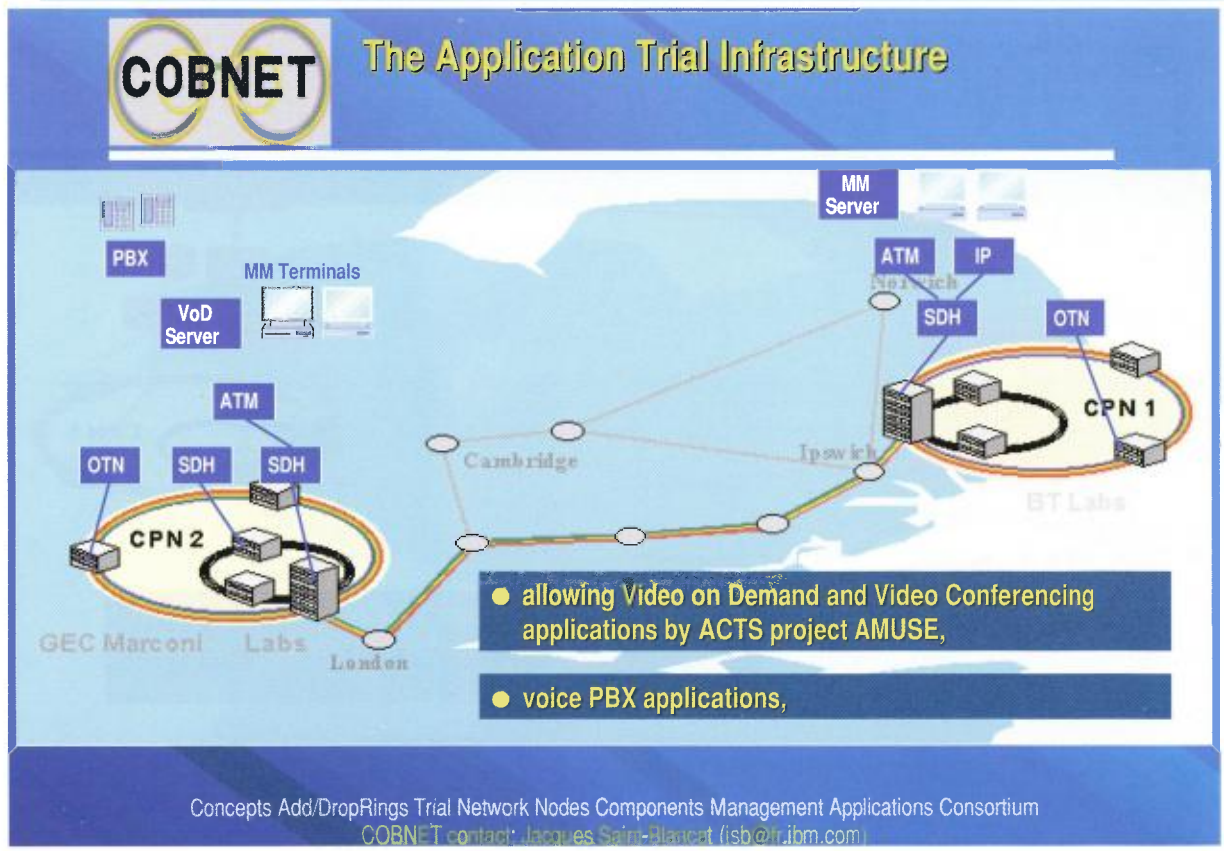
27. COBNET Network Manager E71



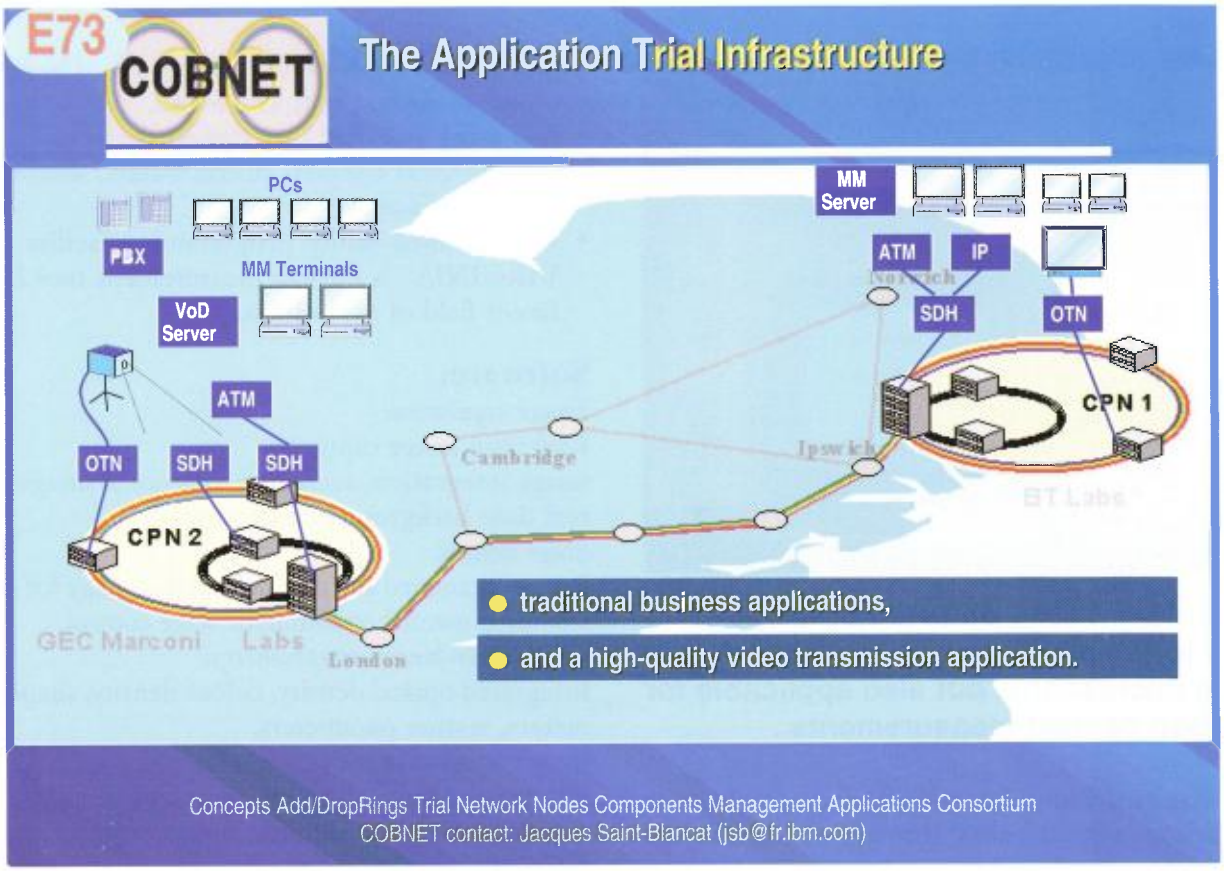
28. CPN's management information Exchange E71



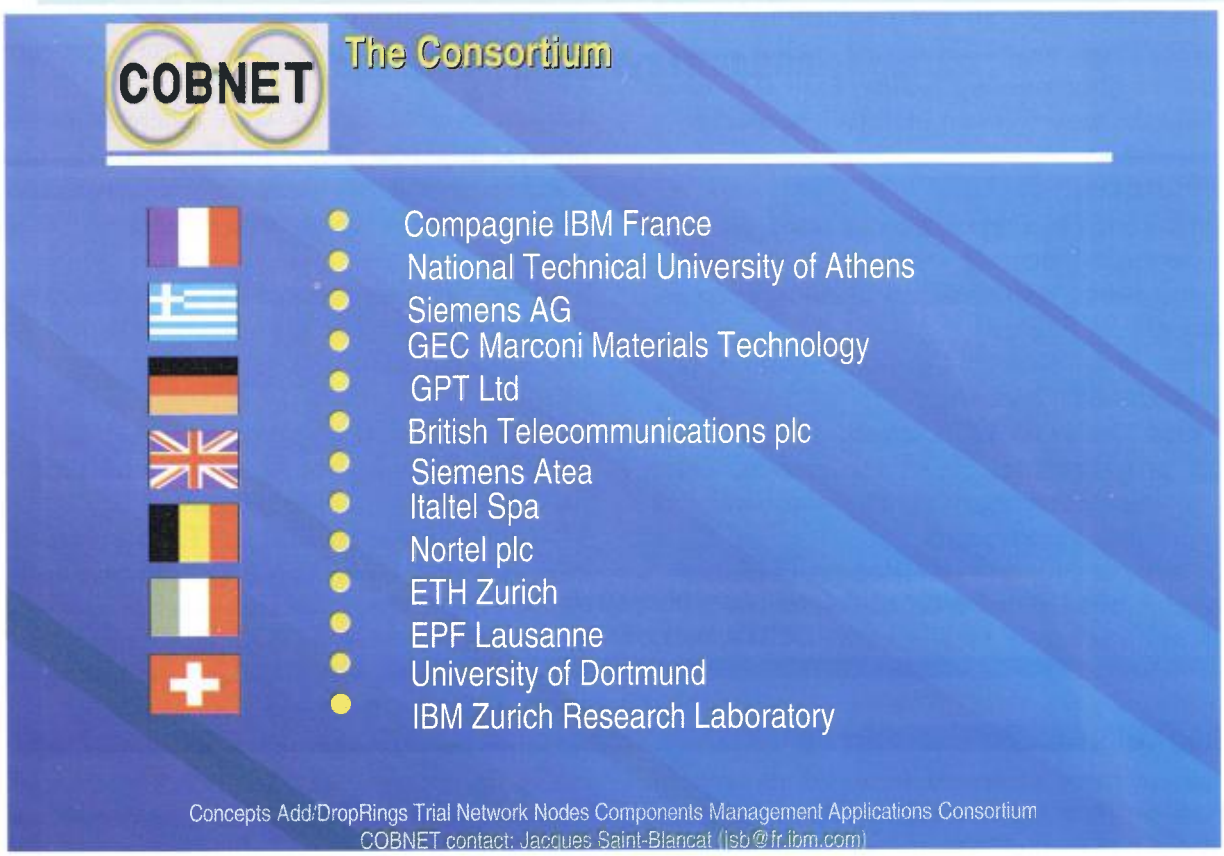
29. Application Trial Infrastructure E72



30. VOD, Video Conferencing and PBX applications E72

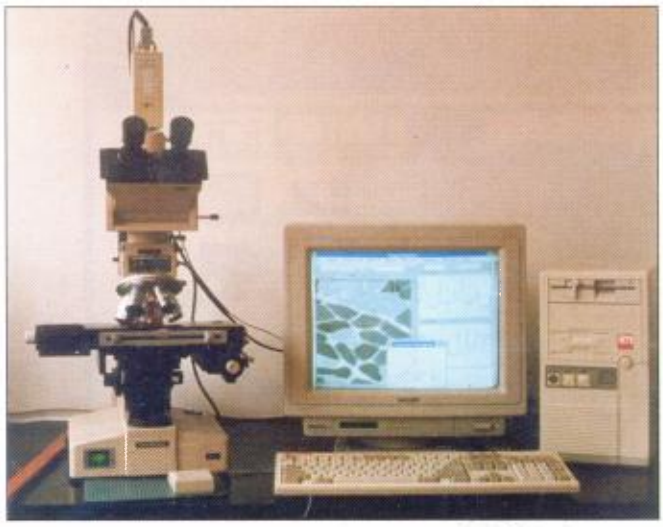


31. Business and HQ Video transmission solutions E73



32. Consortium E73

VIRGINIA Automatic Image Analysing System



The system, based on IBM PC, is optimised for measurement in the field of optical microscopy, but also applicable for other non contact measurements .

The standard input imaging device is colour or monochrome video camera, through standard image file format archived images may be processed, too. The software is interactive, no need for special programming knowledge, all the instructions may be executed through icons. Dedicated menu arrangement, macro programming facility, tools for image series help the measurement of diffe-rent specimens.

Main features:

- Automatic step and repeat surface scan, automatic or controlled focusing,
- data acquisition, statistical calculations, graphical display of resulting data,
- real time image store and grey convolution, pixel neighbourhood processing,
- live video overlay on VGA screen,
- macro programming, object recognition, object grey -colour-binary morphometry, statistical evaluation of object parameters,
- supervised, non supervised clustering of objects,
- knowledge based global specimen clustering,
- standard input output format, such as /BMP, PCX-Excel/

Application areas:

- Measurement of surface defects, inhomogeneity, coarseness, grain size and their morphometric and topologic parameters.
- Statistical, morphometric evaluation of biomedical object as tissues, cells, cell nuclei.
- Analysing polished or optical surfaces such as metallurgical samples, silicon wafers, sputtered or coated surfaces.
- User defined utility programming facility makes VIRGINIA a flexible measurement tool for different field of application.

Software:

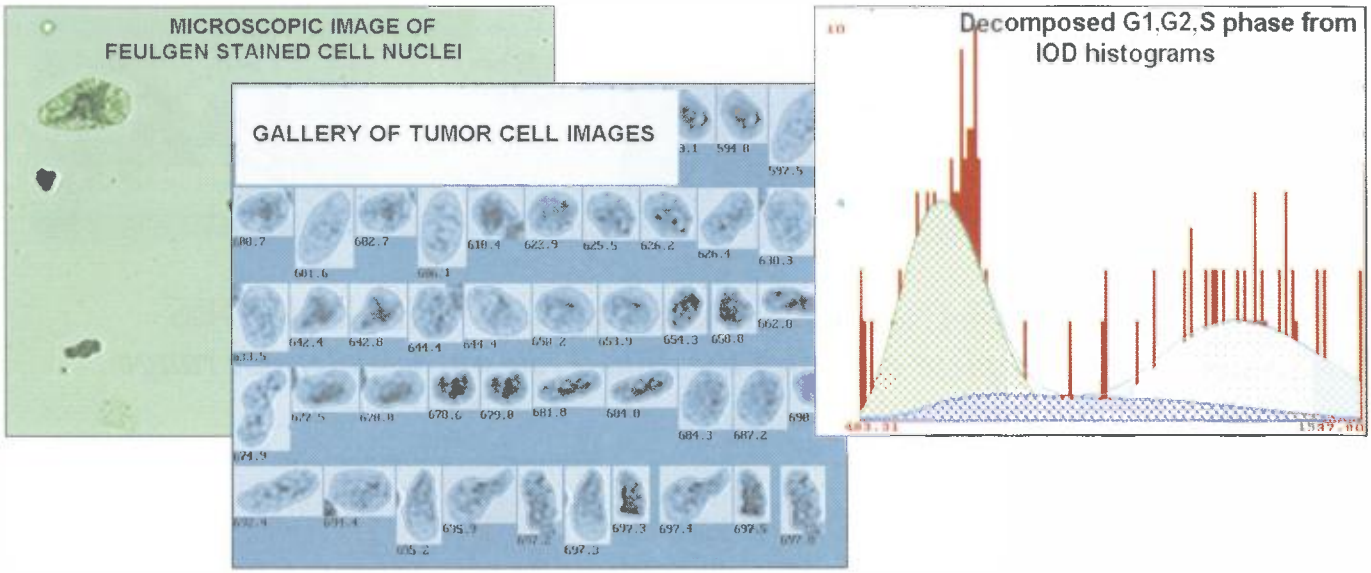
Image acquisition:
Real time image capture,
image integration, averaging, capture of image series, real time background compensation.
Stage control:
Pre-programmed and user definable strategy for surface scanning, manual or automatic stage control.
Grey-colour-binary morphometry:
Integrated optical density, colour density, shape parameters, texture parameters.
Image enhancement and transformation:
Filtering, edge enhancements, convolutions, pixel statistical filtering, top hat filtering, multiresolution filtering.
Segmentation:
Automatic and manual grey and color segmenting, local and global statistical properties, texture segmenting.
Clustering:
Classification of objects with different methods as, Nearest neighbour, Bayes and Box method, knowledge based recognition of objects, trainable classification sets, editor for feature vector scatter diagram.
Statistics:
Statistics of object parameters, global image parameter statistics, feature histograms, integrated global specimen statistics.

Hardware:

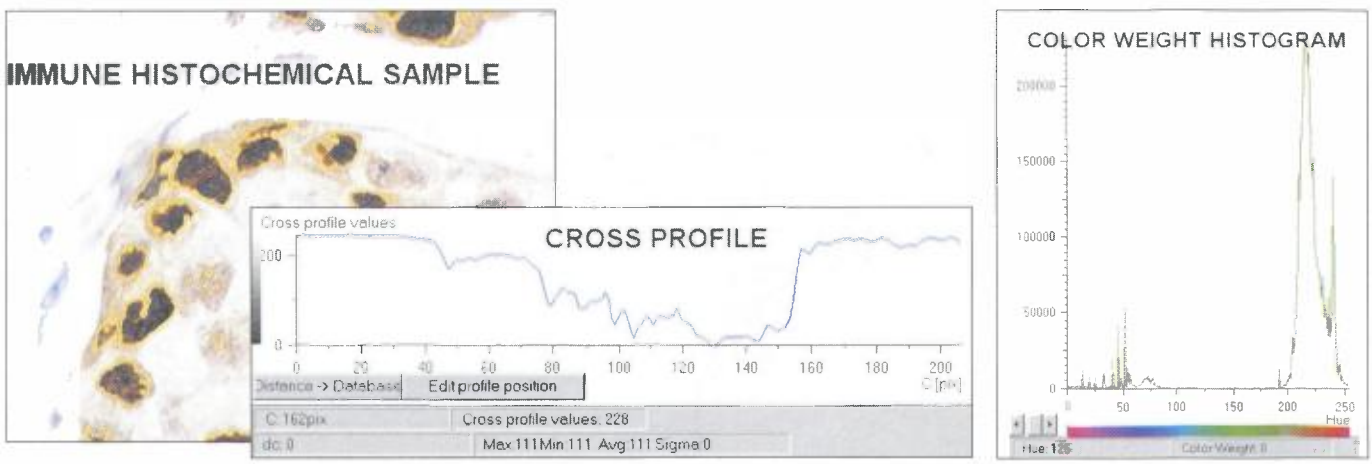
IBM PC 586 or higher, 32 Mbyte RAM, 850 Mbyte hard disc, SVGA colour monitor,
FRG 2MC frame grabber, STEP 51 three channel stepper motor controller: full , half and micro step mode, high speed image pixel neighbourhood processor, X-Y motorised stage, motorised fine focusing unit, joystick, HP laser or desk jet printer, monochrome or RGB color video camera.
Adapters for different microscopes.
Image resolution: 768x 576 pixel, 8 bit grey,
3x 8 bit colour resolution, real time image capture,
PAL, Y/C, RGB standard video input.

MFA Research Institute for Technical Physics and Materials Science
Budapest XII Konkoly Th. 29. Hungary.
Phone: 00 36 1 392 2225 Fax: 00 36 1 392 2226
Email:eordogh@mfa.kfki.hu info@mfa.kfki.hu

Biomedical applications:

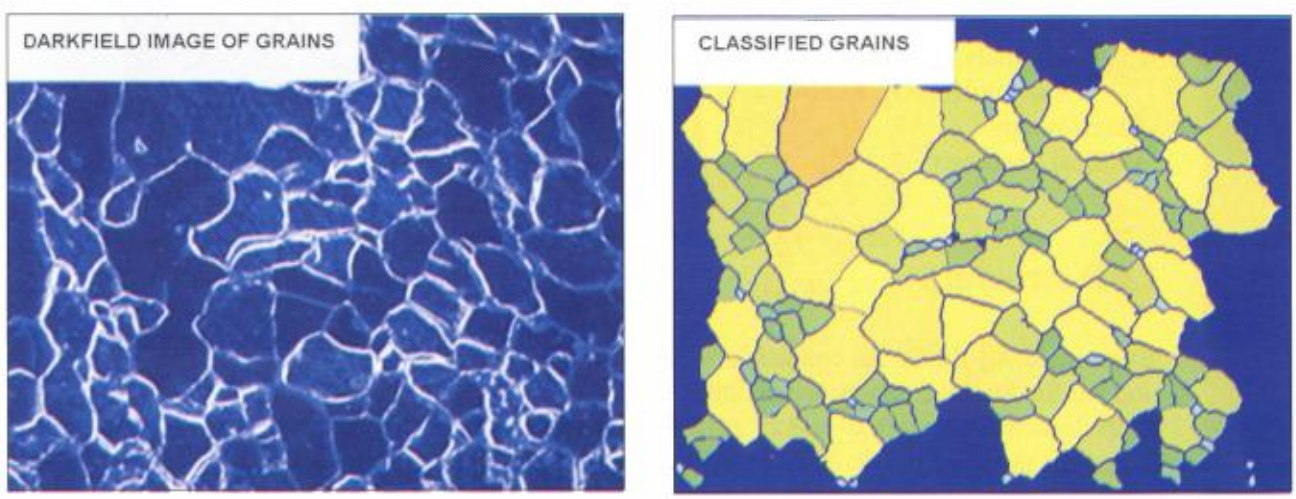


Statistical, morphometric evaluation of biomedical objects such as tissues, cells, cell nuclei.
Cell DNA content measurement and ploidity decomposition, prognostic, treatment, diagnostic moduls based on DNA histogram parameters. Cell DNA comet analysis.



Cell nuclei structure measurement, quantification of cromatin structure of cell nuclei, drug allergy measurement. Fluorescence image acquisition module. Immune histochemical analysis of tissues and cells, automatic scanning and clustering of samples.Tissue, cell image and mesurement data library and data base handling modules.

Industrial applications:



Measurement of surface defects, inhomogeneity, coarseness, grain size and their morphometric and topologic parameters, quality control of industrial samples. ASTM 112 grain size analysis on polished and broken 3D surface.

MFA Research Institute for Technical Physics and Materials Science
Address: Budapest XII, Konkoly-Thege út 29-33 H-1121 Hungary
Mail to: Budapest, POB 49 H-1525
Phone : +36-1-392 2224 Fax : +36-1-392 2235
EMail: info@mfa.kfki.hu Web: www.mfa.kfki.hu

NEAR-INFRARED LIGTH EMITTING DIODES

for complete covering the 1100-1700 nm wavelength range

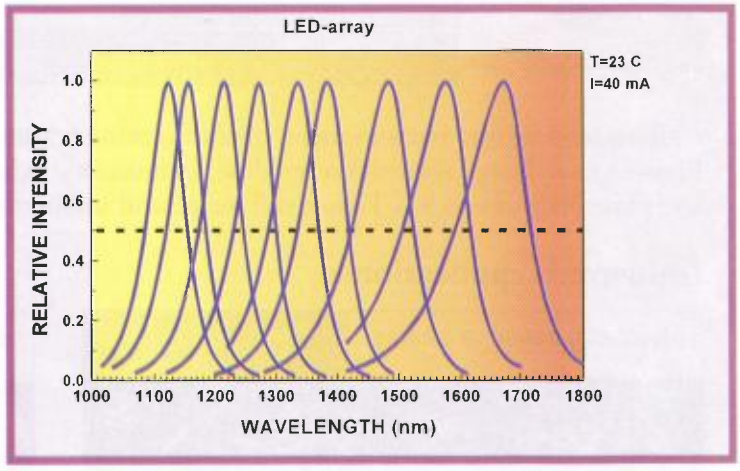
General

Infrared LEDs have been rapidly achieving new applications in near infrared spectroscopy. MFA has developed a variety of near-infrared custom wavelength radiation sources for different application. The latest development is a series of InGaAsP/InP LED chips.

InGaAsP/InP infrared emitting diodes are designed to emit radiation at the wavelength in the *near-infrared* range. The spacing of peak wavelengths are planned according to the spectral bandwidth of the devices. The 1100-1700 nm spectral range can be effectively covered by *nine* different wavelength diodes. They are fabricated from heterostructures (HS) grown by liquid phase epitaxy (LPE). Small area planar structure LED chips are developed for diode array application. Devices mounted on TO-18 package and equipped with window cap are also avaliable.

Features

-Room temperature operation
-High CW and pulsed power
-Atmospheric transmission range

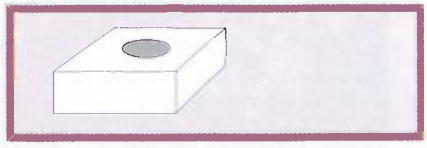


Applications

-Chemical analysis
(moisture, CO_2, food)
-Spectroscopy
-Medical diagnosis

LED structure

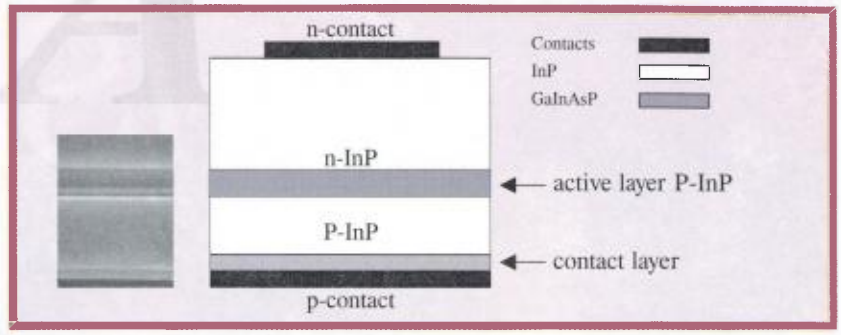
Evaporated Au-Zn/Cr/Au contacts are on p-side of the wafers, and Au-Sn/Au dot contacts are on the substrate side.
Chip dimensions are: 0.29 x 0.29 x 0.12 ± 0.02 mm
Chips are mounted p-side down by conductive epoxy resin.



The InP/InGaAs(P) LED structures are grown on 100 n- InP substrate, with the following layers:

- n-InP buffer layer
- undoped GaInAsP active layer
- p-InP confining layer
- p+ InGaAsP cap layer.

The long wavelength LEDs (1275-1675 nm) have an additional InGaAsP layer on the top of the active layer in order to prevent the meltback of the active layer in the subsequent melts during the LPE growth.



Characteristics of the mounted LED chips

Parameters @ 295 K		Units	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.
Peak Wavelength		nm	1125	1160	1215	1275	1340	1385	1485	1575	1675
Optical Power (I_f = 100 mA)		mW	2.9	2.0	1.9	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4
Pulsed Power (3A, 200 nsec, 5 kHz)		mW	60	50	45	43	36	31	22	21	21
Spectral Bandwidth (I_f = 40 mA)		nm	70	66	72	71	84	82	102	110	128
Switching Time		nsec	<60	<60	<60	<60	<50	<80	<60	<75	<70
External Quantum Yield (I_f = 100 mA)		%	1.9	2.0	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.6	1.7
Temp. Dependence of Quantum Yield		%/K	0.36	0.42	0.48	0.71	0.7	0.7	0.46	0.34	0.75
Temp. Dependence of Central Wavelength		nm/K	0.32	0.34	0.33	0.35	0.35	0.41	0.40	0.47	0.52
Operating Temperature		K	273-320	273-320	273-320	273-320	273-320	273-320	273-320	273-320	273-320
Maximum Forward Current, I_f	CW	mA	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Pulsed	A	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Optical powers and quantum efficiencies

The CW power and quantum efficiency of the chips at 100 mA are high and nearly independent on the wavelength. The pulse power at 3 A has a relatively strong dependence on the emission wavelength; diodes with shorter wavelength have higher pulse power.

Spectral characteristics

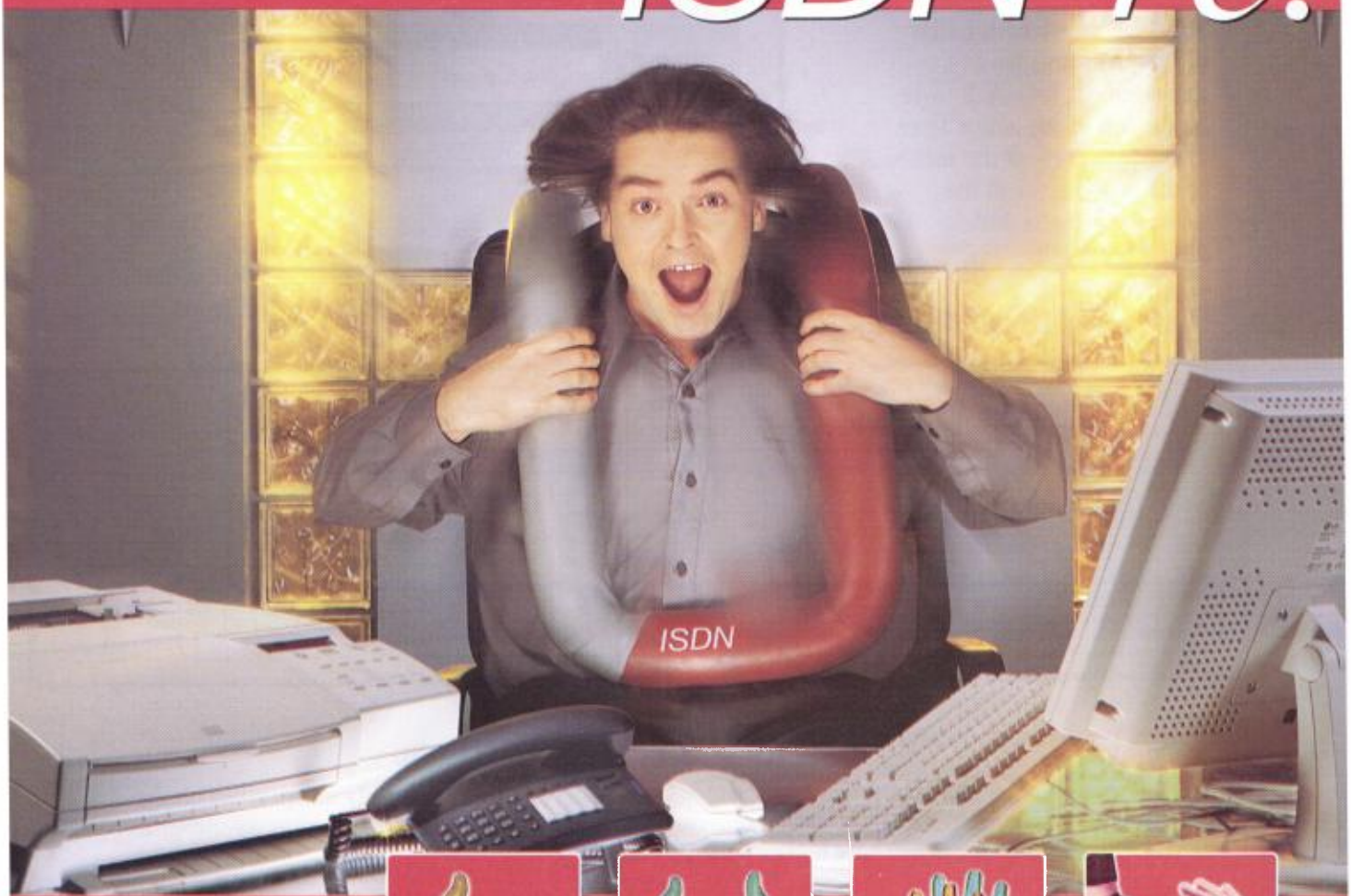
The collected spectra of 9 different wavelength LEDs show that the 1100-1700 nm wavelength range is effectively covered. The measured λ_p fits the planned maximum wavelengths within 1 %. The spectral bandwidths (expressed in nm) are generally increasing as a function of wavelength. Calculations showed that the bandwidths in meV are not a strong function of the emission wavelength but as a tendency the function of the growth temperature.

Temperature sensitivity of the parameters

LED sources have smaller temperature sensitivity than lasers. The temperature sensitivities of the external quantum efficiency of different type LEDs are in the range of 0.36-0.75 %/K. LEDs with anti-meltback layer show higher temperature sensitivities. The shifts of peak and central wavelengths are in the 0.27-0.52 nm/K range. The shift of central wavelength is increasing by the wavelengths of the samples, from 0.32 nm/K to 0.52 nm/K from 1125 nm to 1675 nm respectively. The spectral bandwidths widened more than two times for longest wavelength samples, than for the shortest ones (0.15 nm and 0.36 nm respectively).

Contact: rakovics@mfa.kfki.hu
info@mfa.kfki.hu

Szálljon át ISDN-re!



ISDN
a digitális **JÖVŐ**

1 előfizetés

2 vonal

akár 10 hívószám

rengeteg előny

Kapaszkodjon meg, mert itt a MATÁV digitális ISDN-vonala! Ha beszáll, rengeteg szórakoztató és lenyűgöző szolgáltatásban lesz része. Ezen a vonalon például fantasztikus sebességgel ***roboghat a világhálón****, továbbíthat adatokat, és faxolhat. És ami igazán hajmeresztő, hogy ha ISDN-vonala van, akár* ***két dolgot*** *is csinálhat* ***egy időben****: telefonálás közben faxolhat, vagy száguldozhat az interneten. Egyet fizet, sokat kap. Két vonalat, akár* ***10 saját telefonszámot****, amelyekhez külön csörgéseket állíthat be, és rengeteg további, a telefonálással kapcsolatos kényelmi szolgáltatást. Haladjon a korral, szálljon át az új vonalra, és feleljen a jövő hívó szavára:* ***ISDN!***

MATÁV Pont

1212

www.matav.hu
További információk és megrendelés a díjmentesen hívható ***1212****-es telefonszámon és a MATÁV Pont boltokban.*

Egymás közt

MATÁV

Amint kiértél a partra,

telefonálj be, hogy beteg vagy,

aztán nézd meg a hálón,

milyen idő várható,

és azt is tudni fogod,

még hány napig leszel beteg.

A stresszes, hajszás üzleti világban mindent ki kell használni, amit csak lehet. A Motorola Timeport P7389 éppen ebben segít. Hangodra ugrik, ha a kezed foglalt, micro web keresőjével minden szükséges WWW MMM MOBILE MEDIA MODE információt megtalálhatsz az interneten. Háromsávos, ezért egyaránt működik Európában, Ázsiában és Amerikában*. (Az csupán ráadás, hogy elég kicsike a kicsike, hogy a strandtáskába is behuppanjon.) Nos, a legközelebbi hullámlovaglást tekintsd úgy, mint egy kihelyezett igazgatósági ülést. A Motorola Timeport P7389. Ha nem volna, ki kellene találni.

MOTOROLA

TIMEPORT™

GSM 900/1800/1900 MHz + WAP

* Ahol mobilszolgáltatójának barangolási megállapodása van érvényben.

EUROPRIX 2000
MultiMediaArt

The Europe-wide Contest in Best Practice Products and Applications

High quality multimedia contents which add value for users a e the key to the Information Society - for p oducers as well as consumers.
Following the overwhelming success of the Eu oPrix 98 and 99, this year's contest, the Eu oPrix 2000, has been expanded and offers an even wider range of benefits for participants!
Get ready to participate in this competition and check out the Eu oPrix categories, the special students' competition, and further details at **www.europrix.org**
The EuroPrix MultiMediaArt invites entries f om the EU Member States, the countries of the Eu opean Economic A ea, the Applicant States of Central and Easte n Eu ope, as well as f om Cyprus, Malta and Turkey.
The deadline for submissions is **June 30, 2000**.

Info: EuroPrix Secretariat c/o Techno-Z F&E
Jakob-Haringer-Str.5/III, A-5020 Salzburg

T +43.662.2288-500
F +43.662.2288-505
<secretariat@europrix.org>

INDEX of slide lists of WDM workshop	Lecture/Dia	Page♣
(D)WDM berendezések	L3/6	B33
1+1 Line Protection Using SDH Mechanism	L11/12	D7
10 Gbit/s Transmission Experiment	L14/14	D61
10 Gbit/s Transmission Experiment	L14/15	D62
3 Ways of Cost Reductions Using WDM	L13/4	D41
40 Gb/s WDM Systems, 1.2 Tb/s (30 Channels)	L12/38	D32
750 km WDM Test Link, Physical Parameters	L14/4	D56
A		
A Rational Investment Model Evolves	L12/14	D20
A sokfrekvenciás lézer (MFL) felépítése	L2/33	B22
A szálak csillapítás spektruma és jellemzői	L5/7	B72
A szálak szerkezete	L5/6	B71
A. Fiber Release & Equipment Reduction	L13/5	D42
About Eurescom	P18/4	E32
Access Network in EURESCOM	L7/3	C17
ACTS OTN Projects – Siemens & Italtel	L11/17	D10
ACTS PANEL Project Main Achievements,	L8/1	C26
Add Extra Node in a CS Ring	L16/25	E14
Adó-vevő modulok	L5/9	B73
Ajánlott csatorna kiosztás G.652 szálnál	L3/9	B35
Alcatel Optinex	P17/14	E22
Alcatel Optinex	P17/16	E23
Alcatel Optinex	P17/25	E28
Alcatel Optinex Introduction	P17/1	E16
All Optical példa	L5/4	B70
Answers?	L1/8	B4
Application Trial Infrastructure	P20/29	E72
Asymmetric PLT40 Equipment Architecture	P19/8	E53
Az elemzett hálózati architektúrák	L4/9	B48
Az SDH átviteli hálózatok korlátjai	L4/3	B45
B		
B. Bypassing: SDH Equipment	L13/6	D42
B. Bypassing: Upgrading the ATM Switch	L13/7	D43
Bandwidth Economics: Impact of Prices	L12/10	D18
Benefit of the Optical Layer – Commercial	L10/14	C68
Benefit of the Optical Layer – Technical	L10/13	C68

♣ Letters are referring to the Parts of the Proceedings

BER Curves at Paris	L16/9	E6
BER Curves at Paris with 8 wavelengths	L16/7	E5
BER Measurement Berlin-Darmstadt	L14/10	D59
BER Measurement with Loop back	L14/13	D61
Beruházási költségek CS gyűrű esetén	L4/27	B57
Beruházási költségek MWTN szövevénynél	L4/26	B56
Beruházási költségek OMSSP gyűrű esetén	L4/25	B56
Beruházások MWTN és SDH esetén	L4/29	B58
BT Technology Introduction Process	L15/6	D68
BT WDM Deployments – Jan 1999	L15/3	D67
BT WDM Key Hardware Features	L15/4	D67
Business and HQ Video Transmission Solutions	P20/31	E73
BW Economics: Impact of Prices (DRAM)	L12/9	D18
BW Economics: Impact of Prices (Elasticity)	L12/7	D17
BW Economics: Impact of Prices (Electricity)	L12/8	D17
BWM, Global Crossing Network Modelling	L12/43	D35
BWM, Global Crossing Pan European Network 2	L12/41	D34
BWM, Global Crossing Pan European Network 3	L12/42	D34
BWM, Global Crossing Pan European Network	L12/40	D33

C

C. WDM Protection	L13/8	D43
Capacity into the Next Millennium	L12/2	D14
Célkitűzés	L4/2	B44
Chain	P19/2	E50
Challenges Facing Operators	L13/3	D41
Characterisation of Architectures	L6/6	C4
Címoldal, Budapesti Műszaki Egyetem	L4/1	B44
Címoldal, Budapesti Műszaki Egyetem	L5/1	B69
Címoldal, WDM elemek, MATÁV PKI-FI	L2/1	B6
Címoldal, WDM, MATÁV-PKI-FI	L3/1	B31
Classification of Optical Networks	L9/2	C50
Clear Channel WDM Connectivity	P20/7	E61
Clear Channels	P17/22	E26
Clear-Channel Retiming Chips	P20/19	E67
Closer Look at the Nodes	P20/8	E61
COBNET Network Manager	P20/27	E71
Coloured Section Ring Architecture	L16/16	E9
Coloured Section Ring	L6/10	C6
Commercialisation Strategies	L12/13	D20
Common Pool Approach Results	L8/34	C42
Common Pool Approach Results	L8/35	C43
Common Pool Approach	L8/32	C41

Common Pool Approach	L8/33	C42
Comparison of Single-Two Stages Build up	L6/18	C10
Compensation of Chromatic Dispersion	L14/6	D57
Conclusions (1)	L7/17	C24
Conclusions (2)	L7/18	C24
Conclusions: WDM Cost Reductions	L13/9	D44
Conclusions	L14/19	D64
Conclusions	P18/35	E48
Conclusions	L6/26	C14
Conclusions	L9/22	C60
Conclusions: WDM Cost Reductions	L13/10	D44
Considered Failures	L8/14	C32
Consortium	P20/32	E73
Constant Power per Channel-1	L15/10	D70
Constant Power per Channel-2	L15/11	D71
Contents (G. Frischmann)	L1/2	B1
Contents (M. Schiess)	L6/0	C1
Contents (D. Lecrosnier)	L7/0	C15
Contents (M. Ravera)	L8/0	C25
Contents (T. Cinkler)	L9/0	C49
Contents (J. Gardner et al.)	L10/0	C61
Contents (J. Kovács)	L11/0	D1
Contents (D. Plekenpol)	L12/0	D13
Contents (E. Sjögeras)	L13/0	D39
Contents (A. Ehrhardt)	L14/0	D54
Contents (R. Davey)	L15/0	D65
Contents (A. Hamel, R. Ronarc'h)	L16/0	E1
Contents (B. Clesca)	P17/0	E15
Contents (Á. Kapovits)	P18/0	E30
Contents (Marconi Communications)	P19/0	E49
Contents (Cobnet Project)	P20/0	E57
Cost evaluation: Lowest vs. Highest	L8/40	C45
CPN's Management Information Exchange	P20/28	E71
CS gyűrű csomóponti képe	L4/11	B49
CS gyűrű rendelkezésre állása	L4/31	B59
CS gyűrű útképzés	L4/12	B49
CS gyűrű védelem	L4/13	B50
CS Ring Experiment: Conclusions	L16/26	E14
Customer Premises Network Backbone	P20/2	E58

D

Demultiplexer Realization	P20/21	E68
Desirable features for encapsulation	P18/23	E42

Detailed Node Configuration	L16/22	E12
Deutsche Telekom AG (DT)	L14/1	D55
Development Trends (2)	P18/33	E47
Development Trends (3)	P18/34	E47
Development Trends	P18/32	E46
Dinamikusan konfigurálható OADM	L3/12	B36
Dispersion map Berlin-Darmstadt	L14/8	D58
Dispersion map Berlin-Darmstadt	L14/9	D59
Disruptive Technologies: Adapt or be swallowed	L12/15	D21
Diszperzió kompenzálásának elmélete	L2/27	B19
Diszperzió kompenzálási technikák	L2/26	B18
Diszperziós torzulás kompenzálása	L2/25	B18
Double Degradation in Paris – Rouen Link	L16/12	E7
Drivers for WDM	L15/2	D66
DWDM-Technology Catalyst, Cost & Flexibility	L12/11	D19

E

EDFA erősítők alkalmazása	L2/9	B10
EDFA erősítők belső felépítése	L2/8	B9
EDFA erősítők fejlesztési irányai	L2/23	B17
EDFA erősítők fontosabb paraméterei	L2/10	B10
EDFA erősítők fontosabb paraméterei	L2/11	B11
EDFA erősítők működésének fizikája	L2/7	B9
EDFA erősítők	L2/6	B8
Elemzési szempontok	L4/22	B54
Embedded DWDM System	L13/17	D48
ERION – a World Success	L13/28	D53
ERION 1+1 Optical MSP	L13/22	D50
ERION Networker Conclusions	L13/27	D53
ERION Networker is our newest Product	L13/11	D45
ERION Roll Out Plan'99	L13/24	D51
ERION Management	L13/13	D46
EURESCOM Objectives	P18/3	E32
EURESCOM P614, France Telecom (FT)	L7/1	C16
Eurescom Work Program 1999	P18/5	E33
European Internet Backbone/Transit Traffic/1997	L12/3	D15
European Internet Backbone/Transit Traffic/2002	L12/4	D15
European Internet Backbone/Transit Traffic/2005	L12/5	D16
European PTTs-Seizing Wholesale Market	L12/27	D27
Evaluation, Comparison of Architectures (1)	L6/14	C8
Evaluation, Comparison of Architectures (2)	L6/15	C9
Evaluation, Comparison of Architectures (3)	L6/16	C9
Evolution of Fiber Optics	P17/4	E17

Example of 16 Channels Plan	P17/17	E24
Example: Wavelength Allocation	L6/21	C12
Experimental results	L14/16	D62
Extension of Sub-Rack Topology	P19/9	E54
Extra védelmek CS gyűrűn	L4/15	B51

F

Failures and impact	L8/6	C28
Features of ERION TM Self-Healing Ring	L13/23	D51
FEC for WDM Performance Monitoring	P17/20	E25
Fibre in Access Network: FTTx Architectures	L7/6	C18
Field Network in East England	P20/5	E60
Field Trial Experiment	L16/21	E12
Fix konfigurációjú OADM	L3/11	B36
Forward Error Correction (FEC)	P17/18	E24
Frame work Element Management System	L10/19	C71
Framework for Multiple-Layer Survivability	L8/46	C48
Framing vs. Overhead	P18/21	E41
Free Space Optics: Rapid Metro Entry	L12/46	D36
From Optical Transport to Optical Networking	L12/29	D28
From Today's Networks to Optical Networks	L6/2	C2
FSAN Cost Target for PON Converter	L7/16	C23
Functionality provided by WDM Layer	P18/25	E43
Future work of P918	P18/36	E48

G

G692	L3/21	B41
G872	L3/19	B40
Gazdasági-műszaki elemzés, módszer	L4/7	B47
Gazdasági-műszaki elemzés, motiváció	L4/6	B46
General Heuristics for Global Optimisation	L9/10	C54
General Statements	L8/39	C45
Gigabit-Ethernet Transmission over 1570 km	L11/19	D11
Global Footprint-Optical Networking Customers	L12/48	D37
Guidelines for Optical Networking Functions	L6/17	C10

H

Hálózati funkciók	L3/3	B32
Hálózati rétegek együttműködése	L3/20	B40
Header, BT Laboratories, U.K.	L15/18	B74
Header, Ericsson Transmission Solutions	L13/1	D40

Header, France Telecom (FT), CNET	L16/1	E2
Header, HSN Lab, TUB	L9/1	C50
Header, Lucent Technologies, Optical Networking	L12/1	D14
Header, MATÁV Rt.	L1/1	B1
Header, Pirelli Cables and Systems	L10/1	C62
Header, Siemens	L11/1	D2
Helyreállítási idő SDH és MWTN-n	L4/37	B62
High Capacity IP Routers	P18/13	E37
High Capacity Research Projects	L11/10	D6
How to implement WDM? (1)	L7/8	C19
How to implement WDM? (2)	L7/9	C20
How to implement WDM? (3)	L7/10	C20
How to implement WDM? (4)	L7/11	C21
Hubbed Traffic	L16/18	E10
Hullámhossz konverzió	L2/46	B28

I

Illustration of the Problem	L9/5	C52
Implementing WDM in SDH	P17/23	E27
In/Out Spectra of the Amplifier in Paris	L16/8	E5
Instead of Definition	L1/3	B2
Integration of IP over WDM	P18/19	E40
Integration with SDH/Sonet Product Family	P19/10	E54
Interconnecting High Capacity Networks	P19/3	E51
Interferometrikus hullámhossz konverzió	L2/47	B29
Intermediate Results: Deliverable	P18/10	E35
Introduction, Why?	L14/3	D56
IP Protocol Issues: Version 4&6	P18/11	E36
IP routers: Hardware Solutions	P18/14	E37
IP routers: Software	P18/15	E38
IP/WDM Networking Alternatives	P18/20	E40
IP-WDM együttműködés	L3/23	B42
Is WDM Technology Ready for Access?	L7/15	C23
ITU-T ajánlások	L3/18	B39

J

Joint RWA	L9/11	C55

K

Keep Pace with the Technology Cost Curve or Die	L12/16	D21
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 1	L10/4	C63

Key Stages in Photonics Road Map: Stage 2	L10/5	C64
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 3	L10/6	C64
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4	L10/7	C65
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 4	L10/8	C65
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 5	L10/9	C66
Key Stages in Photonics Road Map: Stage 6	L10/10	C66
Key Technical Enablers	P1711	E21
Known Methods	L9/7	C53
Költség: beruházási költség	L4/30	B58
Kompakt diszperzió kompenzáló eszköz	L2/28	B19

L

Lack of WDM565 Standards (Ge APD Receivers)	L15/8	D69
Lack of WDM565 Standards (HF Noise)	L15/9	D70
Lack of WDM565 Standards (Ternary Line Code	L15/7	D69
Leadership in Span Performance	L11/5	D4
LECTURE#L1.: G. FRISCHMANN: WDM, A LIVING HISTORY OF...*		**B1**
LECTURE#L2.: Á. KAPOVITS: WDM ELEMENTS & TECHNOLOGIES*		**B5**
LECTURE#L3.: G. PAKSY: WDM EQUIPMENT, STRUCTURES*		**B30**
LECTURE#L4.: T. JAKAB: OPTICAL NETWORK SOLUTIONS*		**B43**
LECTURE#L5.: I. FRIGYES, I. HABERMAJER: POLYMER FIBRES**		**B68**
LECTURE#L6.: M. SCHIESS: WDM NETWORK ARCHITECTURES*		**C1**
LECTURE#L7.: D. LECROSNIER: WDM IN ACCESS NETWORK*		**C15**
LECTURE#L8.: M. RAVERA: PROTECTION OF NETWORK LAYERS*		**C25**
LECTURE#L9.: T. CINKLER: WAVELENGTH-ROUTING WDM**		**C49**
LECTURE#L10.: J. GARDNER, J. TÖRÖK: TODAY'S WDM TO...**		**C61**
LECTURE#L11.: J. KOVÁTS: SIEMENS WDM PRODUCTS*		**D1**
LECTURE#L12.: D. PLEKENPOL: OPTICS IN NEXT MILLENNIUM**		**D13**
LECTURE#L13.: E. SJÖGERAS: DOORWAY TO TERABIT SOCIETY**		**D39**
LECTURE#L14.: A. EHRHARDT: WDM RESEARCH OF DT**		**D54**
LECTURE#L15.: R. DAVEY: WDM IN THE BT NETWORK*		**D65**
LECTURE#L16.: A. HAMEL et al: WDM IN TRUNK NETWORK...*		**E1**
LECTURE#P17.: B. CLESCA: ALCATEL WDM PRODUCTS		**E15**
LECTURE#P18.: Á. KAPOVITS: IP OVER WDM		**E30**
LECTURE#P19.: MARCONI COM., PLX40., DWDM LINE SYSTEMS		**E49**
LECTURE#P20.: COBNET PROJECT		**E57**
Lesson: Transponders Have to Go!	L15/14	D72
Levels of Cross-Connecting Functions	L9/16	C57

*** Slides with numbering** **** Slides without numbering**

M

Mach-Zehnder interferométer	L2/40	B25
Main WDM Applications	L11/2	D2
Margin Advantage	L12/28	D27
Measurement Configuration	L16/24	E13
Megoldandó feladatok, alapvető funkciók	L2/3	B7
Megtakarítások SDHM MSSP gyűrűvel	L4/28	B57
Méret, méretezés	L4/24	B55
Meshed Network According to MWTN	L6/13	C8
Methods for Solving the Problem (1/4)	L9/18	C58
Methods for Solving the Problem (2/4)	L9/19	C59
Methods for Solving the Problem (3/4)	L9/20	C59
Methods for Solving the Problem (4/4)	L9/21	C60
Methods for Solving the Problem	L9/17	C58
Mirror Solution for WDM/PON	L7/12	C21
Motiváció – Miért WDM?	L2/2	B6
Motivation	P18/6	E33
MPLS	P18/17	E39
Műanyag optikai szálak	L5/5	B71
Multi Protocol Label Switching: MPLS	P18/16	E38
Multiple-Layer Optimisation	L9/6	C52
Multiple-Layer Resilience	L8/7	C29
Multiplexing/Demultiplexing Stages	P19/12	E55
MWTN csomópont	L4/21	B54
MWTN szövevény	L4/20	B53

N

Nagy teljesítményű optikai erősítő	L2/13	B12
Nearest Neighbour Demand	L16/19	E11
Négyhullámú keverés (FWM)	L2/19	B15
Nem konfigurálható hullámhossz router	L2/41	B26
Network Failures	L8/5	C28
Network Layers – Vision	L12/32	D29
Network Restoration Methods	L13/20	D49
Networking Layers – Today	L12/31	D29
Networks of Interest: WDM vs. SDM	L9/3	C51
New protocols	P18/24	E42
Next Generation Optical Transport Network	L11/20	D11

O

Objectives and Concepts	P20/1	E58
OMSSP csomópont	L4/17	B52
OMSSP gyűrű rendelkezésre állása	L4/32a	B59
OMSSP gyűrű rendelkezésre állása	L4/32b	B60
OMSSP gyűrű	L4/16	B51

OMSSP gyűrű	L4/19	B53
OMSSP útképzés és védelem	L4/18	B52
Operator Benefits	L11/21	D12
Optical 1+1 Line Protection Switching	L11/13	D8
Optical Add/Drop Nodes	P20/9	E62
Optical Amplifiers	P17/10	E20
Optical Amplifiers	P17/21	E26
Optical Channel – Dedicated Protection Ring	L6/11	C7
Optical Interworking Forum (OIF)	L3/22	B41
Optical Layer Today: Cebit'99 Demonstration	L10/22	C72
Optical Multiplex Section, Protection Ring	L6/12	C7
Optical Network Evolution (1)	L6/19	C11
Optical Networking in EURESCOM	L6/4	C3
Optical Networking Portfolio	L12/33	D30
Optical Supervising Channel	P17/24	E27
Optical Switches for SDM Protection	P20/24	E69
Optical Switching Realizations	P20/25	E70
Optikai csatornák szétválasztása	L2/35	B23
Optikai csatornák szétválasztása	L2/36	B23
Optikai erősítés	L2/5	B8
Optikai erősítés címoldal	L2/4	B7
Optikai erősítők alkalmazási tényezői	L2/14	B12
Optikai erősítők alkalmazási tényezői	L2/15	B13
Optikai hálózat definíció	L3/2	B31
Optikai hálózati architektúrák	L3/16	B38
Optikai hálózati réteg	L4/4	B4
Optikai hálózatok kialakítása	L4/8	B47
Optikai hálózatok tervezési kérdései	L4/45	B66
Optikai kapcsolás	L2/43	B27
Optikai kapcsolás, hullámhossz konverzió	L2/42	B26
Optikai kapcsolási idők MSSP-nél	L4/36	B62
Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 1.	L2/44	B27
Optikai kapcsolók fizikai megvalósítása 2.	L2/45	B28
Optikai konverziós lehetőségek	L5/10	B73
Optikai leágazó multiplexer (OADM)	L3/10	B35
Optikai megtakarítás SDH MSSP gyűrűvel	L4/23	B55
Optikai multiplex eljárások	L3/4	B32
Optikai regenerálás	L3/5	B33
Optikai rendező (OXC)	L3/14	B37
Optikai térhódítás előnyei	L4/47	B67
Optikai végződő multiplexer (OTM)	L3/7	B34
Optikai vezérelt rendező (OXC)	L3/13	B37
Optinex References	P17/26	E28
Optinex WDM Market Shares	P17/28	E29

Optinex WDM Products	P17/13	E22
Options for Protection in IP/WDM	P18/27	E44
Osztott optikai szakaszok gyűrűje	L4/40	B64
Osztott optikai szakaszok gyűrűje	L4/43	B65
Outline	L6/3	C3
Outline (FT), Cnet	L7/2	C16
Outline	L8/10	C30
Outline Lowest Layer	L8/11	C31
Outline Lowest Layer	L8/17	C34
Outline Lowest Layer	L8/31	C41
Outline	L8/36	C43
Outline	L8/38	C44
Outline	L10/2	C62
Outline	L13/2	D40
Outline	P18/2	E31
Overview	L14/2	D55
OXC hullámhossz konverzióval	L3/15	B38

Ö

Önfázisú (SPM) és fázis moduláció (XPM) .	L2/20	B15
Összefoglalás	L2/48	B29
Összefoglalás	L3/24	B42
Összefoglalás, végkövetkeztetések	L4/46	B67

P

P413 (Eurescom Project)	L16/20	E11
P614 Task 4: FTTx Enabling Technologies	L7/4	C17
P615 "Evolution of Optical Network Layer"	L6/5	C4
P918 Objectives	P18/7	E34
P918 Participants	P18/9	E35
P918 Project Outline	P18/8	E34
Panel Statistics 2	L8/4	C27
Panel Statistics	L8/3	C27
Parameters of OCH, OMS, OTS Layers	L6/22	C12
PHOTON and MOON Field Trials	L11/18	D10
PLA40 Mechanical Structure	P19/14	E56
Planar WDM (De) Multiplexers	P20/20	E67
Planar WDM Add/Drop Muxes	P20/22	E68
PLT40 Architecture	P19/7	E53
PLT40 Mechanical Structure	P19/11	E55
PNI Unit	P20/11	E63
Point-to-Point Link	P19/1	E50

Polarisation Mode Dispersion	P17/6	E18
Power Levels in Nominal Conditions	L16/6	E4
Preamplifier Monitor Output at Rouen	L16/10	E6
Principle of a CS Ring	L16/17	E10
Principle of TDM	P17/3	E17
Principle of WDM	P17/7	E19
Problem Formulation	L9/4	C51
Problems (1)	L8/8	C29
Problems (2)	L8/9	C30
Project Information, CSELT, Turin, Italy	L8/2	C26
Project Oxygen	L12/23	D25
Project P709 "Planning of Full Optical Net"	L6/20	C11
Project P918 "IP over Optical Networks"	L6/23	C13
Pros/Cons to IP Network Providers	P18/18	E39
Protection/Restoration in the IP Domain	P18/26	E43

Q

QoS 1: Link Capacity Upgrading	P18/29	E45
QoS 2: Wavelength Routing	P18/30	E45
QoS 3: Label Switching	P18/31	E46
Questions! (1)	L1/5	B3
Questions! (2)	L1/6	B3
Questions! (3)	L1/7	B4

R

Realising the Terabit Office	L12/44	D35
Realizing High Capacity Meshes	P19/6	E52
Receiver Array Realization	P20/18	E66
Receiver Arrays	P20/17	E66
Recovery at Highest Layer More Expensive	L8/41	C46
Recovery at Highest Layer	L8/37	C44
Recovery at Lowest Layer	L8/15	C33
Recovery at Lowest Layer	L8/16	C33
Reference Case 1: No Survivability	L8/18	C34
Reference Case 2: SDH Survivability	L8/19	C35
Reference Case 2: SDH Survivability	L8/20	C35
Reference Network Concepts	L8/12	Ç31
Reference Network Results	L8/13	C32
Reference Results	L8/21	C36
Remote Network Management	L15/5	D68
Rendelkezésre állás	L4/35	B61
Restoration Policy in the FT Network	L16/14	E8

Results from EURESCOM Projects, Swisscom	L6/1	C2
Ring Full Length in Field Trials	L16/23	E13
Road Map-Y2000	L13/25	D52
RX Realization	P20/16	E65

S

Schematic of the Paris—Rouen Link	L16/5	E4
SDH over WDM: Results	L8/44	C47
SDH Protected over WDM Protected	L8/45	C48
SDH Protection Selectivity Approach	L8/26	C38
SDH Protection Selectivity Approach	L8/27	C39
SDH Protection Selectivity Approach	L8/28	C39
SDH Protection Selectivity Results	L8/30	C40
SDH Protection Selectivity Results	L8/29	C40
SDH Ring Network (Reference)	L6/8	C5
SDH Ring over WDM: Coloured Section Ring	L6/9	C6
SDH/Optical Protection Interactions	L15/13	D72
SDH/WDM Scenario	L8/43	C47
SDM Laser Array	P20/14	E64
SDM Ring	P20/3	E59
Sebességek és lehetőségek	L5/3	B70
Service Separation (1)	L7/13	C22
Service Separation (2)	L7/14	C22
Setup of Loop back Experiment I.	L14/11	D60
Setup of Loop back Experiment II.	L14/12	D60
Setup of the WDM Test Link	L14/7	D58
Siemens Product Strategy	L11/11	D7
Siemens Product Strategy	L11/16	D9
Siemens Product Strategy	L11/3	D3
Siemens Product Strategy	L11/7	D5
Siemens TransXpress WDM Portfolio	L11/4	D3
Siemens TransXpress WDM Products	L11/6	D4
Single-Channel Receivers	P20/15	E65
SNMP Agent and CPN Manager	P20/26	E70
Solving Bottlenecks	P19/4	E51
SPM és XPM 2.	L2/21	B16
Spontán emisszió erősítése (ASE)	L2/12	B11
Stacking Multiple Rings	P19/5	E52
Stimulált Brillouin szórás (SBS) 1.	L2/16	B13
Stimulált Brillouin szórás (SBS) 2.	L2/17	B14
Stimulált Brillouin szórás (SBS) 3.	L2/18	B14
Stimulált Raman szórás (SRS)	L2/22	B16
STM-1 MWTN és SDH szövevényen	L4/34	B61

STM-1 rendelkezésre állása	L4/33	B60
Stockholm Gigabit Network	L13/26	D52
Studied Architectures	L6/7	C5
Studied Issues	L8/42	C46
Summary	L10/23	C73
Summary	L16/2	E2
Summary, Overview	L14/20	D64
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/25	D26
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/26	D26
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/18	D22
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/19	D23
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/20	D23
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/21	D24
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/22	D24
Supply-Side Capacity comes to Europe	L12/24	D25
Support for QoS in IP	P18/12	E36
System Applications, Chain with Fixed OADM	L11/8	D5
System Applications, Transponders	L11/9	D6

SZ

Szabványosítás, ajánlások	L3/17	B39
Szálba írt Bragg rács szűrők	L2/39	B25
Szélessávú szétosztó hálózatok	L5/2	B69
Színezett szakaszokból álló gyűrű	L4/10	B48
Színezett szakaszokból álló gyűrű	L4/14	B50
Színezett szakaszokból álló gyűrű	L4/39	B63
Színezett szakaszokból álló gyűrű	L4/42	B65
Szűrők	L2/37	B24
Szűrőtípusok	L2/38	B24

T

Tartalom	L2/0	B5
Tartalom	L3/0	B30
Tartalom	L4/0	B43
Tartalom	L5/0	B68
Technical options	L16/3	E3
Technology comparison	L10/3	C63
The BT UK Network	L15/1	D66
The ERION Networker	L13/12	D45
The Future – Bulk Transport WADMs Rings	L15/17	D74
The Future – Cost-Effective, Metro WADM Rings	L15/16	D73
The Future – too many Boxes and Interfaces!	L15/15	D73

The Long Distance Network	L16/4	E3
The Lucent Engineered TeraNet	L12/47	D37
The Model of Nodes – EXC	L9/13	C56
The Model of Nodes – OADM	L9/12	C55
The Model of Nodes – OXC	L9/14	C56
The Model of Nodes – OXC	L9/15	C57
The Packet Star IP Switch	L12/45	D36
The Problems with Rear View Mirrors, up to 2010	L12/6	D16
The Supply Side Market is Populated	L12/17	D22
The Type about DWDM-Sheer Capacity Gain	L12/12	D19
The Unifying Optical Layer	L12/30	D28
Többhullámhosszú szövevény	L4/41	B64
Többhullámhosszú szövevény	L4/44	B66
Traditional Approach	L8/22	C36
Traditional Approach	L8/23	C37
Traditional Approach	L8/24	C37
Traditional Support Results	L8/25	C38
Traffic Layering Today	L6/24	C13
Traffic Layering Tomorrow	L6/25	C14
Transmission Limits	P17/5	E18
Transmission of 4x2.5 Gbit/s over 135 km	L14/5	D57
Transponder DWDM System	L13/16	D47
Transponder Sub-Rack	P19/13	E56
Transport and Routing, EURESCOM P918	P18/1	E31
Transport Network Layers	L13/19	D49
TransXpress WaveLine – High Modularity	L11/15	D9
TransXpress WaveLine – Optical Functionality	L11/14	D8

U, Ú

Upgrade Strategies	P17/12	E21
Upgrading beyond 32 lambda	L13/15	D47
Úgynevezett „kétablakos” erősítő	L2/24	B17
Új műanyag szálak	L5/8	B72

Ü

Üzemeltetés: reagálási idők	L4/38	B63

V

Várható előnyök	L4/5	B46
VOD, Video Conferencing and PBX Applications	P20/30	E72

W

WAN CPN LEANet	P20/6	E60
Wave Mux-Platform for the Optical Layer	L10/15	C69
Wave Mux-Platform for the Optical Layer	L10/16	C69
Wave Mux-Scalability	L10/17	C70
Wave Mux-Scalability	L10/18	C70
Wavelength Assignment only	L9/8	C53
Wavelength Assignment	L9/9	C54
Wavelength Division Multiplex	P17/8	E19
Wavelengths for QoS in IP Networks	P18/28	E44
WaveMux – 'Pay as You Grow'	L10/21	C72
WaveMux-Band Separation Principle	L10/20	C71
WaveStar Platform	L12/50	D38
WaveStar TM 10G	L12/37	D32
WaveStar TM Bandwidth Manager (BWM): The Concept	L12/39	D33
WaveStar TM OLS 400G – "STM-64 Ready?"	L12/36	D31
WaveStar TM OLS 80G	L12/35	D31
WaveStar TM OLS Family	L12/34	D30
WDM Add/Drop Mux Realization	P20/23	E69
WDM alkalmazott jelforrásai	L2/31	B21
WDM Improves System Efficiency	L10/11	C67
WDM in Access Network: Introduction	L7/5	C18
WDM in Access: what are the Drivers?	L7/7	C19
WDM in Trunk Network: Conclusions	L16/15	E9
WDM is more than just Channels	L13/14	D46
WDM jelforrások követelményei	L2/30	B20
WDM Laser Realization	P20/13	E64
WDM Lasers Component	P20/12	E63
WDM Layer for System Efficiency	L10/24	C73
WDM Link Munich – Erlangen – Berlin	L14/18	D63
WDM Link Robustness	L16/11	E7
WDM Market Shares	P17/27	E29
WDM Performance Monitoring	P17/19	E25
WDM pont – pontrendszer	L3/8	B34
WDM Products Highlights	P17/15	E23
WDM rendszerek detektorai és vevői	L2/34	B22
WDM rendszerek jelforrásai és detektorai	L2/29	B20
WDM rendszerek jelforrásai, adóelemei	L2/32	B21
WDM Ring	P20/4	E59
WDM Saves Cost of Fibre	L10/12	C67
WDM Signal Transport Issues	P18/22	E41
WDM Sparing	L15/12	D71

WDM System Operations, Management	L16/13	E8
WDM System Synoptic	P17/9	E20
WDM Technology	P17/2	E16
WDM Test Network Munich – Passau – Vienna	L14/17	D63
WDM Transmission – Optical Routing	L11/22	D12
WDM/SDM Cross-Connect Node	P20/10	E62
What is happening	L1/4	B2
Welcome to Photon Valley	L12/49	D38
When do I choose Optical Protection?	L13/21	D50
Why is Transponder System Superior	L13/18	D48

LIST OF ABBREVIATIONS

3R	Reshaping-Retiming-Regeneration
ADM	Add-Drop Multiplexer
AON	All Optical Network
AOTF	Acousto-optic Tuneable Filter
APON, ATM-PON	ATM Passive Optical Network
ASE	Amplified Spontaneous Emission
AWG	Arrayed Wave Guide Grating
BER	Bite Error Rate
CS-Ring	Coloured Section Ring
DBR	Distributed Bragg Reflector (Laser)
DCF	Dispersion Compensating Fibre
DFB	Distributed FeedBack (Laser)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
DXC	Digital Cross-Connect
EDF	Erbium Doped Fibre
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier
EXC	Electronic Cross-Connect (DXC)
FP	Fabry – Perot (laser)
FSAN	Full Service Access Network
FTTx	Fibre to the ... Curb, Building, Home stb.
FWM	Four-Wave Mixing
Ge-APD	Germanium Avalanche Photo Diode
GI	Graded Index (fibre)
HFC	Hybrid Fibre Coax
ILP	Integer Linear Programming
IP	Internet Protocol
LEX	Local EXchange
LP	Linear Programming
MI	Modulation Instability
MSP	Multiplex Section Protection
MS-SPRing	Multiplex Section-Shared Protection Ring
MWTN	Multi Wavelength Transport Network

NZDSF	Non-Zero Dispersion Shifted Fibre
OA	Operation and Maintenance
OCDM	Optical Code Division Multiplexing
OCH	Optical Channel Section
OCWDM	Optical Code and Wave Division Multiplexing
OFA	Optical Fibre Amplifier
OFDM	Optical Frequency Division Multiplexing
OIF	Optical Interworking Forum
OLT	Optical Line Terminal
OMS	Optical Multiplex Section
OMSP	Optical Multiplex Section Protection
OMSSP	Optical Multiplex Section Shared Protection
OTDM	Optical Time Division Multiplexing
OTM	Optical Terminal Multiplexer
OTS	Optical Transmission Section layer
OXC	Optical Cross-Connect
PHY	PHYsical (layer)
PMD	Polarisation-Mode Dispersion
PNO	Public Network Operator
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
RWA	Routing and Wavelength Assignment
RZ	Return to Zero
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
SCM	Sub-Carrier Multiplexing
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SI	Step Index (fibre)
SLAR	Semiconductor Laser AmplifieR
SMF	Single Mode Fibre
SNCP	Sub-Network Connection Protection
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
SPM	Self-Phase Modulation
SRS	Stimulated Raman Scattering
THz	Tera-Hertz (1012 Hz)
TM	Terminal Multiplexer
TMN	Telecommunications Management Network
VC	Virtual Circuit (ATM)
VC-4	Virtual Container-4 (SDH)
VP	Virtual Path (ATM)
VP-APS	Virtual Path Automatic Protection Switching
VWP	Virtual Wavelength Path
WA	Wavelength Assignment
WL	WaveLength
WP	Wavelength Path
WR	Wavelength Routing
xDSL	x-Digital Subscriber Loop (H: High-speed, A: Asymmetrical, V: Very high-speed)
XPM	Cross-Phase Modulation

INDEX OF TUTORIAL PART A

1995, Fiber Networks	A6/Photonics
1996, Photonics Business World	A6/Photonics
1997, Photonics Global Markets	A6/Photonics
1998, Photonics Technology World	A8/Photonics
1999, Photonics Business World	A9/Photonics
1999, Photonics Circle of Excellence	A9/Photonics
2000, Photonics: Technology World	A9/Photonics
A	
Acknowledgement	A46/Berceli
Applications of PLTA40	E49/Marconi
B	
Bevezetés	A16/Andor
Bevezetés	A2/Paksy
Bevezetés	A20/Serényi
Bevezetés	A33/Hámori
Bevezetés	A48/Kapovits
C	
Conclusions	A46/Berceli
Csatoló-rács kialakítása	A36/Hámori
E	
Első Magyar WDM workshop	A4/Paksy
Emisszió hullámhossz változtatás	A27/Serényi
Espicom Query	A53/Espicom
EUROPE-GTS/HER Introduce first IP-over-DWDM	A55/Espicom
Experimental Results	A44/Berceli
F	
Fényvezető szálak	A16/Andor
Fiber Optic Industry is at a Crossroad	A7/Photonics
H	
Hazai lehetőségek	A3/Paksy
Hullámvezető kialakítása	A38/Hámori
I	
Integrált optikai elemek	A34/Hámori
Integrated Optical Element Research	A41/Hámori
Introduction	A11/PMA8
Introduction	A42/Berceli
Introduction	E49/Marconi
IP és WDM integrációja	A48/Kapovits
IP és WDM integrációja	A50/Kapovits
IPv4 kontra IPv6	A48/Kapovits
K	
Kapcsolódó mérési és minősítési módszerek	A36/Hámori
Kísérleti és vizsgálati módszerek	A20/Serényi
Koherens impulzusok előállítása	A29/Serényi
Konklúziók	A52/Espicom

L

Lézerdióda külső rezonátorban A24/Serényi
Lézerdiódák alkalmazása A23/Serényi
Lucent makes Gains in Network Technologies A8/Photonics

M

Merre haladsz WDM? A10/Photonics

O

One Chirping Laser Sings 1022 Frequencies A9/Photonics
Optical Transmission for Millimeter Wave A42/Berceli
Optical Waveguides Research A19/Andor
Optikai átvitel milliméter hullámra A47/Berceli
Optikai hullámvezetők kutatása A16/Andor
Optikai sík hullámvezetők A18/Andor
Összefoglalás A29/Serényi

P

Photonics Spectra Overview: Quo Vadis WDM? A6/Photonics
PMA Applications A14/PMA8
PMA Deployment A15/PMA8
Product Overview E49/Marconi

R

Rács-csatolt elemek alkalmazhatósága A38/Hámori
Rács-csatolt hullámvezető A33/Hámori
Rács-csatolt hullámvezető spektruma A39/Hámori
Routerek A49/Kapovits
Rövid impulzusok előállítása A20/Serényi

S

Search Results: DWDM A53/Espicom
Short Pulse Generation A32/Serényi
Síkbeli vékonyréteg hullámvezető A33/Hámori
SLIDE List A56/Contents
Smart Photonix DWDM E49/Marconi
System Concept A42/Berceli
System Demonstrator A43/Berceli
Száloptikai WDM elemek A38/Hámori
Szenzorelem előállítási gyártástechnológia A35/Hámori
Szubsztrát struktúrálása A37/Hámori

T

Technical Summary E49/Marconi

U

Using Special Fibers A6/Photonics

W

WDM alkalmazási lehetőségek A3/Paksy
WDM Applications A12/PMA8
WDM Equipment, Basic Structures A5/Paksy
WDM fénytávközlés A2/Paksy
WDM jelentősége A2/Paksy
WDM PMA-8, Application Note A11/PMA8
WDM Products A12/PMA8
WDM Spurs Demand for the Next-Generation A9/Photonics

MATÁV – BME – HTE
FIRST HUNGARIAN WDM WORKSHOP

CONTENTS

INDEX BY COMPANIES

		L/P	Page
ALCATEL	B. CLESCA: ALCATEL WDM PRODUCTS**	P17	E15
BME	I. FRIGYES, et al.: POLYMER FIBRES**	L5	B68
BME	T. JAKAB: OPTICAL NETWORK SOLUTIONS*	L4	B43
BME, DMC	OPTICAL TRANSMISSION FOR MOBILE SYSTEMS*		A42
BME, HSN	T. CINKLER: WAVELENGTH-ROUTING WDM **	L9	C49
BT	R. DAVEY: WDM IN BT NETWORKS*	L15	D65
COBNET	J. BLANCAT: COBNET PROJECT from INTERNET**	P20	E57
CSELT	M. RAVERA: PROTECTION ACROSS NETWORKS*	L8	C25
DT	A. EHRHARDT: WDM RESEARCH OF DT**	L14	D54
ERICSSON	E. SJÖGERAS: DOORWAY TO TERABIT SOCIETY**	L13	D39
ESPICOM	DWDM ACTIVITY SNAPSHOT '99*		A53
EURESCOM	Á. KAPOVITS: IP OVER WDM**	P18	E30
FT, CNET	A. HAMEL, et al.: WDM TRUNK NETWORKS, RINGS*	L16	D75
FT, CNET	D. LECROSNIER: WDM TECHNOLOGIES*	L7	E1
LUCENT	D. PLEKENPOL: CAPACITY INTO NEXT MILLENNIUM**	L12	D13
MARCONI	WDM PMA-8 TUTORIAL*	A69	A11
MARCONI	WDM-PLX40: SMART-PHOTONIX DWDM SYSTEMS**	P19	E31
MATÁV	G. FRISCHMANN: WDM TECHNOLOGY*	L1	B1
MATÁV	Á. KAPOVITS: WDM ELEMENTS, TECHNOLOGIES*	L2	B5
MATÁV	G. PAKSY: WDM EQUIPMENT, STRUCTURES*	L3	B30
MTA MFA	A. HÁMORI: INTEGRATED OPTICAL ELEMENT RESEARCH*		A33
MTA MFA	OPTICAL WAVEGUIDES RESEARCH*		A16
MTA MFA	M. SERÉNYI: SHORT PULSE GENERATION BY LASER*		A20
PIRELLI	J. GARDNER. et al: TOMORROW'S OPTICAL LAYERS**	L10	C61
SIEMENS	J. KOVÁTS: SIEMENS WDM PRODUCTS*	L11	D1
SWISSCOM	M. SCHIESS: WDM OPTICAL ARCHITECTURES*	L6	C1

*** Slides with numbering L – Lecture P – Poster ** Slides without numbering**

EUROPRIX

SELECTING AND PROMOTING EUROPE S BEST IN MULTIMEDIA

In 1998, the European Commission and the Austrian Ministry for Economic Affairs initiated the first unique European contest to identify the best in European multimedia production. Since then the EuroPrix MultiMediaArt has become the leading award in the area of new media contents and applications. The contest is open to all those who produce marketable multimedia products in meanwhile 33 countries. The EuroPrix MultiMediaArt invites innovation in content creation and evaluates the value added through multimedia for users. The five best products in each category are selected as nominees. They are promoted and showcased Europe-wide in multiple ways, using a full media mix of print, broadcast, and electronic media. The winners are announced and celebrated at the EuroPrix 2000 Gala in France.

AN INVITATION PROJECT: IMPACT THROUGH BROAD NETWORKING

The EuroPrix MultiMediaArt is a EU Member States initiative by Austria and supported by the DG Information Society of the European Commission and the French Presidency in the EU in the second half of 2000. Business partners, multimedia training institutions and associations are actively promoting the contest and showcasing the nominees Europe-wide. Member State governments from Finland, UK, Germany, Portugal and other countries support specific aspects of the initiative. The jury is made up of 44 independent international multimedia experts from 29 countries. Special activities are arranged by the EuroPrix Network and in Central and Eastern European countries by the economic, cultural, and diplomatic representations of Austria. The French Ministries of Trade and Industry, of Education, and of Communication and Culture are supporting the EuroPrix events in France as part of its EU presidency which will culminate in hosting the EuroPrix Gala Event in November 2000.

ENGLISH

A RECOGNITION FOR BEST PRACTICE IN MULTIMEDIA CONTENT

The EuroPrix MultiMediaArt contest focuses on:

- European producers of multimedia products and applications (offline and online, all platforms)
- high quality content demonstrating a clear added value for users, outstanding interface, exemplary concept realisation, overall aesthetic value, and clarity of target groups
- products released and/or published in Europe in 1999 and 2000

ALL OF EUROPE: OUTREACH IN 33 COUNTRIES

In its first year, the EuroPrix contest was already the largest competition in the area of new media in terms of participation. 557 products were submitted from 26 countries. In the second year, 442 European producers took the challenge to present their best products to a European jury of experts.

MULTIMEDIA FOR A PURPOSE: SEVEN CATEGORIES AND A SPECIAL COMPETITION

The EuroPrix 2000 is open to producers with citizenship from or company headquarters in any of the 15 EU Member States, the 4 European Economic Area countries, the 10 Applicant States from Central and Eastern Europe as well as Cyprus, Malta, Turkey, and Israel.

Entries have to be received before June 30, 2000 and have to be submitted to the EuroPrix Secretariat in Salzburg, Austria. The contest rules and the application form are available at www.europrix.org

The EuroPrix MultiMediaArt focuses on multimedia products which make sense for consumers. The evaluation is made on the basis of the value added through the use of multimedia for specific user interests and communities. Europe's Best in multimedia are chosen by an independent jury of international experts from all over Europe. A special competition invites students to participate and submit their best products.

ENGLISH

EUROPRIX

1. KNOWLEDGE AND DISCOVERY
Addressing the interests and needs of people willing to learn in all fields of exploration and learning including science.

2. BRINGING EUROPEAN CULTURE TO THE DIGITAL WORLD
Looking for products dealing with all facets of European everyday life, the traditions of people and our heritage.

3. SUPPORTING SMES IN E-BUSINESS AND THE MARKETPLACE
Making multimedia work for those 99% of all European companies which give work to 500 Europeans or less.

4. EMPOWERING CITIZENS AND IMPROVING DEMOCRACY WITH MULTIMEDIA
Using new media for the interests of citizens in all relations with government and public administrations.

5. SERVING MULTILINGUAL AND MULTICULTURAL EUROPE
Helping to overcome and cross the boundaries of language and culture in an integrating, yet linguistically diversified Europe.

6. FIRST STEPS AND BRIDGING SOCIETY WITH MULTIMEDIA
Opening new media to new user groups and serving social cohesion and community building.

7. MULTIMEDIA FOR PEOPLE IN MOBILITY
Providing new contents for people on the move with mobile multimedia appliances and applications.

SPECIAL COMPETITION: STUDENTS' AWARD
Inviting students from every European institution of multimedia training and learning to enter their best product.

THE EUROPRIX CATEGORIES ARE TIED TO EXCELLENCE AND ADDED VALUE FOR USERS IN:

All entries will also be assessed regarding their usability aspects ("Europe´s Best in Multimedia Product Usability") in co-operation with EMMUS (European MultiMedia Usability Services) and the Austrian Center for Usability Research & Engineering (CURE).

ENGLISH

The five best products in each category are selected as nominees and announced at a special presentation at the Frankfurt Book Fair in October 2000. A series of further promotion events are organised by the EuroPrix Network partners in October and November. The winners are announced at the final EuroPrix Gala in France at the end of November 2000.

HIGH IMPACT PROMOTION OF BEST PRACTICE

The nominated products are published in the EuroPrix Print Catalogue, the EuroPrix Web site, and the EuroPrix CD-ROM. All entries in the contest are presented in the Licence Rights Catalogue published for the Frankfurt Book Fair. Nominees and winners are presented in a TV show broadcasted all over Europe. The EuroPrix 99 broadcast reached over 17 million Europeans.

EUROPRIX 2000 RELATED ACTIVITIES

The EuroPrix 2000 contest is complemented by a number of related activities which examine and disseminate the know-how in best practice content innovation.

The EuroPrix Summer Academy
will offer workshops with the winners of EuroPrix 99 in Milano, Salzburg, and Paris in July 2000.

The EuroPrix Students Festival
will showcase the Top 15 entries in the students competition in Vienna in September/October 2000.

EuroPrix Licence Rights Trading at Frankfurt Book Fair
will offer a platform for licensing and distribution in October 2000.

The EuroPrix Scholars Network
issues a call for analyses of the European content markets and invites to a symposium in November 2000.

ENGLISH

EUROPRIX

EUROPRIX 2000
MultiMediaArt

Il concorso europeo per i migliori prodotti ed applicazioni

I contenuti multimedia di alta qualità che aggiungono un valore supplementario per gli utilizzatori sono la chiave per la società d informazione – per i produttori e per i consumenti.
Seguendo il successo straordinario di EuroPrix 98 e 99, il concorso di quest anno è stato esteso e offre ancora più vantaggi ai partecipanti!
Per partecipare, informateVi sul concorso e le sue categorie, il premio speciale per studenti e su altri dettagli presso

www.europrix.org

L **EuroPrix MultiMediaArt** invita partecipanti dei paesi dell Unione Europea, dell Associazione Europea di Libero Scambio, dei paesi applicanti dell Europa centrale e dell Est e anche di Cipro, Malta e della Turchia.
Termine ultimo di submissioni è il **30 giugno 2000**.

Info: EuroPrix Secretariat c/o Techno-Z F&E
Jakob-Haringer-Str.5/III, A-5020 Salzburg

T +43.662.2288-500
F +43.662.2288-505
<secretariat@europrix.org>

EUROPRIX 2000
MultiMediaArt

Le concours européen des meilleurs produits et applications multimédia.

Un contenu multimédia haut de gamme à forte valeur ajoutée pour les utilisateurs est le facteur clé pour la société de l information – pour les producteurs et pour les consommateurs.
Suite à l extraordinaire succès des éditions de l EuroPrix 98 et 99, le concours de cette année a été étendu et offre encore plus d avantages aux participants!
Pour participer, informez-vous sur le concours et ses catégories, sur le prix special pour les étudiants, etc... Tous les détails sont à l adresse suivante:
www.europrix.org
L EuroPrix MultiMediaArt invite des participants des Etats-membres de l UE, de l Espace Economique européen, des Etats candidats de l Europe centrale et de l est ainsi que de la Turquie, de Chypre et de Malte.
Délai de dépôt: Juin 30, 2000.

Info: EuroPrix Secretariat c/o Techno-Z F&E
Jakob-Haringer-Str.5/III, A-5020 Salzburg

T +43.662.2288-500
F +43.662.2288-505
<secretariat@europrix.org>

Das Wirtschaftsministerium BMwA

ASTRA-NET

Der europaweite Wettbewerb für hervorragende Multimedia-Produkte und Anwendungen

Hochqualitative Multimedia-Inhalte mit spezieller Wertschöpfung für Produzenten und Nutzer sind der Schlüssel zur Informationsgesellschaft.
Nach den überwältigenden Erfolgen der vergangenen EuroPrix-Wettbewerbe wird der EuroPrix 2000 erweitert und bietet den Teilnehmern noch mehr Vorteile.
Nehmen Sie teil und informieren Sie sich über die EuroPrix Kategorien, den speziellen Studentenwettbewerb und andere Details auf **www.europrix.org**
Der EuroPrix MultiMediaArt lädt Produzenten aus den EU Mitgliedsstaaten, den EFTA-Staaten und aus den Beitrittskandidaten in Ost- und Mitteleuropa, sowie aus Zypern, Malta und der Türkei ein, ihre Produkte einzureichen.
Einsendeschluss ist der **30. Juni 2000**.

Info: EuroPrix Secretariat c/o Techno-Z F&E
Jakob-Haringer-Str.5/III, A-5020 Salzburg

T +43.662.2288-500
F +43.662.2288-505
<secretariat@europrix.org>

EUROPRIX 2000

MultiMediaArt

El concurso europeo para los mejores productos y aplicaciones

Contenidos de Multimedia de alta calidad con una plusvalía para los usuarios son la llave para entrar en la Sociedad de la Información – tanto para los productores como para consumidores.
A continuación del éxito de EuroPrix 98 y 99, el concurso de este año, el EuroPrix 2000 ha sido ampliado ofreciendo aún más ventajas a los participantes.
Para participar infórmese sobre las categorías del EuroPrix, el premio especial para los estudiantes etc. Más detalles en la página web del EuroPrix **<www.europrix.org>**
El EuroPrix invita a los miembros de la Comunidad Europea, a los países de la zona Económica Europea, a los Estados aspirantes de Europea Central y del Este, así como Chipre, Malta y Turquía.
La fecha tope para las presentaciones será el **30 de junio de 2.000**.

Info: EuroPrix Secretariat c/o Techno-Z F&E
Jakob-Haringer-Str.5/III, A-5020 Salzburg

T +43.662.2288-500
F +43.662.2288-505
<secretariat@europrix.org>

Das Wirtschaftsministerium

ASTRANET

híradástechnika
VOLUME LV.
2000/1-5

PROCEEDINGS of the 1st HUNGARIAN WDM WORKSHOP

BUDAPEST, 23 March, 1999

One Chirping Laser Sings 1022 Frequencies on a Fiber

HOLMDEL, N.J. - In standard communications math, 40 lasers + 40 modulators and + one fiber = 40 channels of dense wavelength division multiplexing. In Lucent Technologies' new math, one laser + one modulator + one fiber = **1022 channels of ultradense** wavelength division multiplexing.

Scientists at Lucent Technologies' Bell Labs announced the record wavelength density in November'99 to highlight the enormous potential of **femtosecond** (fs) laser technology in communications. The demonstration extends a 1997 experiment that transmitted 206 wavelengths on one fiber, Wayne Knox, head of Bell Labs' need Photonics Research Department, said the technology could stretch to produce **16,000 wavelengths** from one laser on one fiber...

Source: S. A. Weiss, PHOTONICS SPECTRA, January 2000, p. 20.

....
S hogy össze nem találunk már soha
A jégen, éjen s messziségen át?
Ó, csillag, mit sírsz! Messzebb te se vagy,
Mint egymástól itt a földi szivek!
A Sziriusz van tőlem távolabb
Vagy egy-egy társam, jaj, ki mondja meg?
Ó, jaj, barátság, és jaj, szerelem!
Ó, jaj, az út lélektől lélekig!
Küldözzük a szem csüggedt sugarát,
S köztünk a roppant, jeges űr lakik!

(Tóth Árpád: Lélektől lélekig, 1923)