

ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM

---

REPÜLOTISZTI INTÉZET

REPÜLÉSTUDOMÁNYI  
KÖZLEMÉNYEK



X. ÉVFOLYAM 25.SZÁM

1998/2.

# **REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK**

**A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem periodikus kiadványa**

**Szerkesztő: Freytag Béla repülő ezredes**

## **Szerkesztő Bizottság**

Dr. Péter Tamás, Dr. Pokorádi László, Varga Béla, Dr. Szántai Tamás  
Bottyán Zsolt, Dr. Pintér István, Dr. Óvári Gyula, Kovács József  
Békési Bertold, Dr. Rohács József, Dr. Németh Miklós, Eszes János  
Dr. Gedeon József, Dr. Szabó László, Dr. Szabolcsi Róbert, Vörös Miklós  
Timár Szilárd.

## **Lektori Bizottság**

Dr. Óvári Gyula, Dr. Pokorádi László, Dr. Horváth János, Dr. Gausz Tamás  
Dr. Sánta Imre, Dr. Pásztor Endre, Dr. Rohács József, Dr. Péter Tamás  
Dr. Szántai Tamás, Dr. Németh Miklós, Dr. Gedeon József, Dr. Kurutz Károly  
Dr. Nagy Tibor, Dr. Szekeres István, Dr. Szabolcsi Róbert, Dr. Jakab László  
Dr. Ludányi Lajos, Dr. Kuba Attila.

Kiadó: ZMNE Egyetemi Tanácsa

Felelős kiadó: Dr. Szabó Miklós rektor

Sokszorosító szerv: ZMNE Repülőtiszti Intézet nyomdája

Sokszorosítás helye: ZMNE Repülőtiszti Intézet  
5008 Szolnok, Kilián út 1.

**HU ISSN 1417-0604**

## TARTALOMJEGYZÉK

Szilvássy László: MIG-29 M	5
Dunay Pál: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése a fizikai felkészítés eszközeivel	17
Eszes János: A revolver-gépágyú története	23
Dr. Szabó László: A virtuális valóság alkalmazási lehetőségei repülő-műszaki és hajózó képzésében	35
Szilvássy László: Repülőgépfedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok	43
Kun Mária: "XX. Hajós György matematika verseny"	52
Békési László: Dinamikus modellek alkalmazási lehetősége a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelése érdekében	61
Dr. Szabolcsi Róbert, Dr. Ludányi Lajos, Tóth Tivadar: Értéktartó szabályozási rendszerek számítógépes tervezése	67
Szegedi Péter: A javított hatásfokú polaritásváltóval megépített analóg MPPT	81
Dr. Szabolcsi Róbert, Dr. Ludányi Lajos, Tóth Tivadar, Kovács József: Értékkövető szabályozási rendszerek számítógépes tervezése	103
Szegedi Péter: Az új, javított hatásfokú polaritásváltóval megépített analóg MPPT áramkör	113

# **MiG-29 M**

Flight International nyomán

**Szilvássy László mérnök százados  
főiskolai tanársegéd  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A szerző célja bemutatni a MiG-29M repülőgépet, mint a MiG-29 továbbfejlesztett változatát, valamint rövid leírást adni annak sajátosságairól és fegyverzetéről.*

## **Bevezetés**

A "Flight International" című folyóiratokat böngészve, az 1992. szeptember 16-22. számban felkeltette a figyelmemet egy a MiG-29M vadászrepülőgéppel foglalkozó cikk. Olvasva a cikket úgy gondoltam megosztom az ott olvasottakat az olvasókkal is, mert a MiG-29 vadászrepülőgép több vonatkozásban is aktualitást nyert az utóbbi időben. Felröppent ugyanis a hír, hogy Oroszország az állami adósága fejében többek között vadászrepülőgépeket ajánlott fel. A másik oka, amiért érdemes írni a MiG-29M vadászrepülőgépről az, hogy tudomásom szerint ez a típus még magyarországi repülőbemutatón nem mutatkozott be a hazai közönség előtt.

Oszág-világ által oly jól ismert MiG-29-es repülőgépek megjelenése óta már nagyon sok módosításon esett át. Ez a módosítás sorozat eljutott egészen odáig, hogy a berlini repülőbemutatón a gyári képviselők a MiG-33 típusjelzést használták. Az állami átvételi repülési próbák befejezésekor és az eredetileg kitűzött harcászati-technikai lehetőségek elérése után kapta a repülőgép a ma már sok felé ismert MiG-29M típusjelzést.

A gyári képviselők bizalommal vannak az új áttervezett repülőgép iránt és szerintük ez a gép alapját képezhetné egy közösen kifejlesztett

EFA repülőgépnék (európai vadászrepülőgépnék). (Körülbelül 10 éve, hogy a szerződés kötés megtörtént az oroszok nélkül.)(A szerző)

Az alapvető általános méretek meghagyása mellett az áttervezett sárkány — amely a Mikojan cégnél 9-15-ös gyártmány néven ismert — néhány vonatkozásban jelentősen eltér a korábbi 9-12-es és 9-13-as sorozatú modellektől.

Mindenekelőtt a MiG-29M tervezői eltávolították a felső zsalukat, melyek fel- és leszálláskor biztosítja a levegőbevezetést a MiG-29 hajtóműveihez a fő levegőbeömlő nyílások zárt helyzeténél. Mivel az orosz légierő nem mondott le a hadműveleti repülőterekről (füves, földes repülőterekről) történő alkalmazással kapcsolatos követelményekről a Mikolján Tervező Iroda megváltoztatta a megoldást és a SzU-27 repülőgépen már bevált behúzható rácsszerkezetet alkalmazta az idegen tárgyak beszívása elleni védelem céljából.

Ez a rácsszerkezet viszont jegesedési problémákat okozott a SzU-27 repülőgépen, melyet a MiG-29M repülőgépnél már kiküszöböltek. A gyári kísérleti repülések során ez a rácsszerkezet egy rendkívüli, nem tervezett próbán is átesett, mégpedig az egyik felszállás során egy vadkacsa került a levegőbeömlő-nyílásba, amitől ez a rácsszerkezet kissé meghajlott, de a hajtómű semmiféle sérülést nem szenvedett.

A leggyakrabban felvetődő kérdés, amelyre éveken keresztül kénytelenek voltak válaszolni a gyár képviselői, hogy miért nincs a MiG-29-es repülőgépen elektromos huzalos kormányvezérlés (fly-by-wire). A MiG-29M repülőgépen már ilyen rendszer van, de a gyári álláspont szerint a tervezők csak teljesen kipróbált és bevált technológiát akartak alkalmazni. A "fly-by-wire" kormányvezérlő rendszer csak a hosszirányú vezérlés vonatkozásában teljes körű quadruplex rendszer, míg a bedöntés és elfordulás vezérlésére triplex rendszer került alkalmazásra. A három vezérlő kör egyike mechanikus kapcsolat formájában van kialakítva a csűrőlapoknak és az oldalkormányoknak a kitérítési tartomány feléig történő kitérítésére.

A legutóbbi SzU-27 repülőgéppel ellentétben a MiG-29M "fly-by-wire" kormányvezérlő rendszere analóg és nem digitális rendszer. Szakértők szerint egy analóg rendszer jobban védve van a elektronmágneses behatások ellen. Az is igaz, hogy tömegét tekintve nehezebb és kifejlesztés is bonyolultabb, de kevésbé valószínű, hogy váratlan meglepetéseket okoz.

Ezzel a megállapítással nehéz vitatkozni, figyelembe véve más repülőgép típusokon — elsősorban a prototípusok repülése során — bekövetkezett repülőeseményeket, melyek a kormányrendszer software hibái okoztak.

A bőlintónyomaték gyors létrehozásának biztosítására a vízszintes vezérsíkok felületét megnövelték és azok belépő éle fogazott az áramlási viszonyok nagy kitérítési szögeknél történő javítására.

A törzs felső felületéről eltűntek a függőleges vezérsíkok belépőél törészeinek nyúlványai. A korábbi MiG-29-es típusoknál ezekben a nyúlványokban helyezkednek el a passzív rádiólokátor zavaró és infracsapda patronokat függőlegesen kilövő berendezések, és ezeknek a nyúlványoknak nincsen aerodinamikai jelentősége.

A törzs felső részén új helyre került a nagyméretű, több mint 1 négyzetméteres törzsféklap, amely alkalmazása során fellépő bőlintónyomatékot automatikusan a "fly-by-wire" repülésvezérlő rendszer kompenzálja a vízszintes vezérsík kitérítésével. A korábbi 1 db 17 négyzetméteres felületű leszálló fékernyő helyett 2 db — egyenként 13 négyzetméter felületű — fékernyő biztosítja a megfelelő lassulást leszálláskor. A repülőgép nagyobb leszálló tömege miatt az orr- és főfutókban nagyobb energiaelnyelést biztosító fékek kerültek beépítésre. A megnövelt fékernyő felület és a fékhatás ellenére a gyári adatokban a MiG-29 és MiG-29M típusokra egyaránt 600-600 métert adnak meg a kifutási hosszának.

## **Az áttervezett, átalakított konstrukció**

A sárkány felépítése is jelentős áttervezésre került. A törzs orr része alumínium-lítium ötvözetből készült hegesztéssel. Az ötvözet nagyobb fajlagos szilárdsága tömegcsökkenést eredményezett. A hegesztett Al-Li szerkezet miatt nincsenek szegecskötések, nincs szükség hermetikus tömítésekre a repülőgép-vezető fülkében és az üzemanyagtartályokban és ezáltal a tartályok belső térfogata jobban kihasználható üzemanyag-tárolásra.

A korábbiakhoz viszonyítva szélesebb körben kerültek alkalmazásra a kompozitanyagok. A törzsféklap, a levegőbeömlő csatornák belső borítása, a hajtóműtér borítólemezek és a függőleges vezérsíkok borítása kompozit anyagból készültek, amely tömegcsökkenést eredményez.

A sárkányszerkezet — az előző típusokhoz képest — újszerű kialakítása és a felső levegőbevezető zsaluk kiküszöbölése 1500 literrel növelte az üzemanyagtartály befogadóképességét. Így utazósebességgel és utazó magasságon repülve a repülőgép repülési távolsága 1500 km-ről 2000 km-re növekedett. Három külső póttartály (1 db 1500 literes törzs alatti és 2 db egyenként 1150 literes szárny alatti) alkalmazásával a MiG-29M átrepülési távolsága 3200 km-re növekedett.

Ez már többé nem az a repülőgép, amely a légifölényt a repülőtér jeladója fölött vívja ki, mint ahogy azt a korábbi típusokat néhány pilóta jellemezte.

A "fly-by-wire" repülésvezérlő rendszer által megengedett hosszirányú instabilitás javítja a repülési távolságadatokat, mivel utazó üzemmódban kisebb a vízszintes vezérsík ellenállása.

Néhány főbb repülési teljesítmény jellemző, mint például: a huzamos idejű maximális túlterhelési tényező, a kezdeti függőleges emelkedési sebesség és a gyorsítási idők megközelítően ugyanazok, mint a MiG-29-nél. Jelentős előrelépés történt a már eddig is a megengedett maximális

állásszög növelésére és így a közel légi harcban a manőverező képesség javítására.

A MiG-29M maximális állásszöge jelenleg 30 fok. A korábbi "fly-by-wire" repülésvezérlő rendszer nélküli MiG-29-es repülőgép 24 fokos értékéhez viszonyítva már ez is jelentős előrelépés, de a tervezők szerint a végső érték jelentősen nagyobb lesz, hozzáátéve azt is, hogy dugóhúzóban való viselkedésben ez a világ legjobb vadászrepülőgépe.

A hajtóművek módosított Klimov RD-33K típusúak, egyenként 86 kN tolóerővel. A "K" jelzés az orosz "korabelnij" (hajófedélzeti) szó kezdőbetűje, mivel a hajtóművet a MiG-29K tengerészeti vadász változat céljára fejlesztették ki.

Az RD-33K hajtómű ventilátorfokozatának levegőfogyasztását 77 kg/sec-ról 82 kg/sec-ra növelték meg.

A hajtómű üzemmód vezérlő rendszer továbbfejlesztésével növelték a hajtómű üzembiztonságát és a levegőbeömlő nyílások szabályozását is ez végzi, melyek keresztmetszetét hozzáigazították az új — megnövelt — levegőfogyasztáshoz.

A hajtómű technikai üzemideje 1400 óra, 700 óránál történő nagyjavítással. Ez az érték még mindig elmarad a NATO és más fejlett országokban rendszeresített hajtóművektől.

Míg a MiG-29 főképpen elfogó vadászrepülőgép, amely a földi célok ellen csak korlátozott támadó lehetőségekkel rendelkezik, addig a MiG-29M-hez kifejlesztettek egy új fegyvervezérlő rendszert, amely a korszerű irányítható "levegő-felszín" fegyverek célbajuttatását is képes biztosítani.

A "ZsUK" elnevezésű többfeladatú, Doppler-impulzus üzemi fedélzeti lokátor nagy, közepes és kis impulzus ismétlődési frekvenciákkal képes üzemelni.

A fedélzeti lokátort réselt síkantennával, programozott jelprocesszorral és jelentősen megnövelt áteresztést biztosító



számítógéppel szerelték fel. A lokátor maximális légcél felderítési távolsága az előző modifikációhoz képest nem változott (100-110 km, vadászrepülőgép méretű cél esetében), de az üzemmódok változatai és a lokátor "intellektusa" — főleg a rádió-elektronikai harcban az ellenrendszabályok tekintetében — jelentős fölényt biztosítanak a korábbi típusokhoz képest.

A lokátor légi harc üzemmódja magában foglalja a függőleges pásztázást (letapogatást) és a közel légi harchoz szükséges feltételek automatikus biztosítását, 10 cél egyidejű támadását. A lokátor földi üzemmódjainak felsorolása még ennél is szélesebb körű lehetőségekre utal. Ilyenek például a radartérképezés valós sugárnyalábbal és szintetizált antennanyílással, rögzített és változó méretű térképkijelzések előállítása, a repülőgép földhöz viszonyított saját, valódi sebességének Doppler-mérése a navigációs rendszerek adatellátásához és a fegyver alkalmazás számításaihoz, valamint a földi célok koordinátáinak mérése és a "levegő-felszín" osztályú rakéta célkoordinátaiba való továbbítása, terepkövetés és akadálykikerülés kismagasságú repülésnél.

A MiG-29M fegyvervezérlő rendszerének egy új opto-elektronikai alrendszere van.

Az optikai lokátor (KOLSZ) hőpelengátorának érzékelője nitrogén hűtést kapott, így annak jelentősen megnövekedett a célfelderítési távolsága.

A lézer távmérő kvantumgenerátorának teljesítményét is megnövelték, ami lehetővé teszi nagyobb távolságban lévő célok pontos helyzetének meghatározását a hőpelengátorral együttműködve. Ez a két berendezés (hőpelengátor és lézertávmérő) ugyanúgy egy egységet képez, mint a korábbi MiG-29 típusoknál és egy áramvonalazó búra alatt helyezkedik el a repülőgépvezető fülke előtt, egy televízió kamerával együtt.

A lézer távmérő a légicélok távolságát méri elsősorban közel légiharc üzemmódban a rakéták indítási feltételeinek kiszámításához, másodsorban pedig a gépágyú tűzvezérléséhez.

A lézer távmérő ezen kívül felderíti azokat a célpontokat, amelyek más forrásoktól (például egy másik repülőgéptől, felderítő helikoptertől, földi tűzvezérlő állomástól) lézer megvilágítást kapnak. Ezen kívül ez a lézer berendezés biztosítja a H-29L és a H-25ML félaktív lézerirányítású rakéták célra történő rávezetését. E rakétákból 4 db függeszthető a belső szárny alatti indító-berendezésekre.

A televíziós csatorna biztosítja a légi célok vizuálisnál jobb azonosítási tartományát a kontraszt-korrelációs célkövetést földi célok esetében és a célok adatainak továbbítását a H-29T rakéta és a KAB-500KR korrekciós bomba televíziós célkoordinátoraiba. Mindezen fegyverek ösztűz indítása is lehetséges.

A repülőgép-vezető sisakjára felszerelt sisakcélzó berendezés is módosításon esett át, elsősorban tömegcsökkentés céljából.

A repülőgép-vezető fülkében két — a műszerfalon elhelyezett Head-down típusú — monokromatikus sokfeladatú kijelző (IPV) és egy új Head-up típusú kijelző (ILSZ-homloküveg indikátor) lett elhelyezve. A MiG-29M repülőgépnél teljes mértékben megvalósul a fegyvervezérlő rendszer felépítésének azon elve (HOTAS), hogy a vezérléskor a repülőgép-vezető kezei a hajtóművezérlő karon és a botkormányon vannak.

A homloküveg indikátor (ILSZ vagy HUD) tekinthető a repülőgép-vezető fő műszerének és a repülőgép-vezető fülkében levő kisebb, körskálájú műszerek csak az elektronikus kijelző rendszer kiegészítésére szolgálnak.

A változások során a katapult ülést kismértékben megemelték, hogy így 1,5 fokkal, 15 fokra megnöveljék az előre és lefelé történő kilátás látószögét.

A GS-301-es gépágyú változatlan maradt, de a lőszerjavadalmazást 100 lőszerre csökkentették. Ezt azzal indokolták, hogy a gépágyú alkalmazása elsősorban légiharcban fontos, ekkor pedig a gépágyú magas fokú célzási pontossága miatt elegendő 5-7 lőszerből álló rövid sorozat.

A szárnyakon kettővel több fegyver függesztési pontot találunk, így azok száma 8 plusz 1 a törzs alatt. Mindez 4,5 t maximális bombaterhelést — 9 db 500 kg-os bomba függesztését — biztosítja.

A MiG-29 repülőgéppel összehasonlítva a módosított változat potenciálisan jobb lehetőségekkel rendelkezik az ellenséges légvédelem elleni harcban. A repülőgép felszerelése közé tartozik egy Gardenia-1-FUE típusú aktív radarzavaró berendezés, egy besugárzás jelző és egy passzív lokátorzavaró és infracsapda piropatronokat a törzsből felfelé kilövő berendezés, melynek 120 db piropatron a javadalmazása. (Ez kétszer több, mint a korábbi típusé.)

A besugárzásjelző rendeltetése közé tartozik a lokátor elleni fedélzeti rakéták indítási sorrendjének vezérlése, melyekből 4 db függeszthető a belső indító-berendezésekre. A 320 kg tömegű H-25MP rakéta hatótávolsága 40 km és a fő rendeltetése a Hawk típusú légvédelmi rakétaállások megsemmisítése.

A "Zvezda" gyártó cég szerint a nagysebességű H-31P rakéta lehetővé teszi az összes létező közép- és nagy hatótávolságú légvédelmi rakétarendszer rávezető lokátorainak megsemmisítését, beleértve az USA Raytheon Patriot rendszerét is, valamint a légvédelmi felderítő lokátorokat is. A rakéta e feladatokat egy szélessávú radarkeresővel oldja meg. A H-31P rakéta indítási tömege 600 kg, ebből a harci rész 90 kg, az indítási távolság pedig eléri a 100 km-t.

A légiharc fegyver magában foglalja a fő orosz újítást, az RVV-AE (R-77) rakétát, amely az AMRAAM rakéta orosz megfelelője. Ebből a rakétából 8 db függeszthető egyszerre a repülőgépre.

A RVV-AE (R-77) rakéta tömege 175 kg, hossza 3,6 m, a rakéta test átmérője pedig 200 mm. A rakéta képes megsemmisíteni 12 g túlterheléssel manőverező célokat is. Nagymagasságú, nagysebességű mellő légtérből történő támadásnál a maximális indítási távolság elérheti a 100 km-t, de egy általánosabb környezetben elfogadható érték a 40-50 km. A rakéta kombinált rávezetéssel rendelkezik a röppálya első szakaszán inerciális, majd a második szakaszon a rakéta áttér aktív radar-rávezetésre. Ez biztosítja a repülőgép-vezető számára a több cél elleni támadás lehetőségét.

A közepes hatótávolságú R-27 rakéták függeszthetőségi lehetőségét megnövelték 4 db-ra, amelyből 2 db R-27R vagy R-27ET lehet. Ugyan az R-27ER rakétán nem lehet a teljes indítási távolságot (170 km) kihasználni, a repülőgép fedélzeti lokátorának korlátozott felderítési lehetősége miatt. Ennek ellenére nagyon jól alkalmazható a rakéta nagyobb átlagsebesség előnye.

### **Üzemeltetési lehetőség**

Napjainkban egy repülőgép megbízhatósága és üzembiztonsága legalább olyan fontos jellemzők, mint a gép teljesítmény adatai vagy a fegyver vezérlő rendszer lehetőségei. A gyári adatok szerint a MiG-29M repülőgép meghibásodások közötti 8 óra közepes idejű megbízhatósággal, 90 %-os harckészséggel rendelkezik és egy repült óra biztosításához 11,5 emberóra műszaki kiszolgálás szükséges.

Minden egyes vadászrepülőgép kiszolgálása egy 7 technikusból és mechanikusból álló személyzetet igényel. A repülés előtti előkészítés 30 percet, az ismételt bevezetésre történő előkészítés pedig 15-25 percet vesz igénybe a fegyver változattól és terheléstől függően.

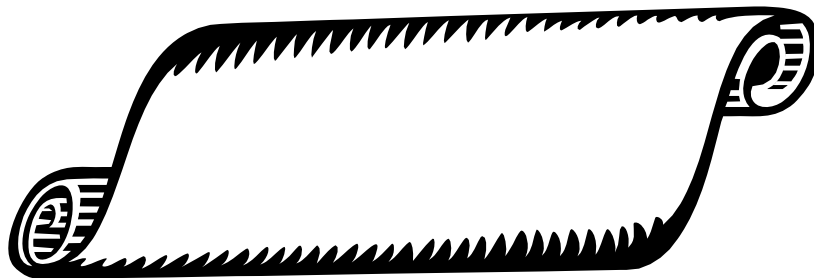
A repülőgép sárkány szerkezetének műszaki üzemideje 2500 óra, ami 4000 óráig növelhető, 1000 óránként végrehajtandó nagyjavításokkal

és 200 óránként végrehajtandó időszakos vizsgákkal. Egy hajtómű cseréje megközelítőleg 11,6 emberórát vesz igénybe és 2,2 munkaóra alatt végrehajtható. Az átlagos hiba-elhárítási idő a tájékoztatás szerint 1,2 óra.

A MiG-29M egy igazi sokfeladatú vadászrepülőgép, amely jó lehetőségekkel rendelkezik úgy a légi harcban, mint a felszín elleni támadások végrehajtásában. Igaz ugyan, hogy a repülőgép radarkeresztszete kisebb a fegyverpiacon található néhány vetélytársénál, de ennek ellenére már megtalálta és a későbbiekben is meg fogja találni a helyét és a vevőit.

A gyártó szerint a MiG-29M erős export lehetőségekkel rendelkezik, mivel ez egy nagyképességű, két hajtóműves repülőgép, de eddig még csak belső piacon tudták értékesíteni. Véleményem szerint a legnagyobb hátránya ennek a repülőgépnek — és általában az orosz gépeknek — a nagyon rövid hajtómű technikai üzemi idő. A fedélzeti fegyvere korszerű és hatékony, viszont a lokátor korlátozott felderítési távolsága nem teszi lehetővé a maximális indítási távolságokról történő rakétalövészetet.

*The purpose of the author is to show the MiG-29M fighter that is a new modification of the MiG-29 fighter. He would like to give a short description of this fighter including its constructional characteristic and weapons system.*



# HADTUDOMÁNYI ROVAT

ROVATVEZETŐ: DR. PINTÉR ISTVÁN

ROVATSZERKESZTŐK: DR. ÓVÁRI GYULA

KOVÁCS JÓZSEF

BÉKÉSI BERTOLD



# TÚLTERHELÉSEKSEL SZEMBENI TŰRŐKÉPESSÉG NÖVELÉSE A FIZIKAI FELKÉSZÍTÉS ESZKÖZEIVEL

**Dunai Pál őrnagy**

főiskolai adjunktus

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

Katonai Testnevelési és Sportintézet

*A Hazánkban újra beindult hajózó képzés véleményem szerint indokoltá és időszerűvé teszi az ilyen jellegű cikkek megszületését, amelyben a repülés-élettan alapfogalmait próbálom népszerű ismeretterjesztő módon közelebb hozni főleg a hajózó hallgatókhoz és a velük foglalkozó oktatókhoz, mivel elsősorban ők azok, akik napmint nap a "saját bőrükön" érzik a repülés élettani hatásait. Céлом az is, hogy evvel egyidőben rávilágítsak a hatékony és célirányos, tudományos alapokon nyugvó fizikai felkészítés jelentőségére, amely segítségével sikeresen felkészíthető a repülő hajózó állomány ezeknek a káros hatásoknak elviselésére és csökkenthető a repülés negatív élettani hatásai. Sajon napi munkám során érzem, hogy ennek a fontos tevékenységnek a hajózók közötti megítélése nem egységes.*

## 1. A TÚLTERHELÉS FOGALMA ÉS FAJTÁI

A repülés közben fellépő túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség fontos helyet foglal el a repülőorvosi és űrorvosi kutatásokban és a repülő hajózó állomány speciális fizikai felkészítésének tudományos alapokon történő meghatározásának egyik aktuális kérdése.[4]

Túlterhelés hatására a szervezetben különféle negatív változások léphetnek fel:

- ★ a mozgáskoordinációban;
- ★ a mozgásreakciókban;
- ★ a szellemi munkavégzőképességben.

Látászavar léphet fel, elnehezülhet a légzés egyes esetekben ájulás is felléphet.

A repülés közben fellépő túlterhelés olyan mutató, amely a pilóták testére ható gyorsulási tehetetlenségi erők és a testsúly közötti viszonyt jellemzi. A túlterhelés nagysága függ a gyorsulástól vagyis az 1 másodperc alatt bekövetkező sebességváltozástól.

A hatás idejétől függően megkülönböztetünk:

- hosszan tartó túlterhelést ( 15 mp hosszabb ideig ható ) ;
- rövid ideig tartó túlterhelést ( 0,5-től 15 mp-ig ható ) ;
- lökés jellegűt.

A hatásidő jelentős mértékben meghatározza az elviselés lehetőségét. Például :ülve a 0,01 mp-ig tartó lökés jellegű túlterhelés elviselésének határa 40 g, amíg a hosszan tartó túlterhelésé 4-6 g.

A túlterhelés jellege hatásának irányával is meghatározható. A repülés során leggyakrabban a "fej-far" irányú túlterhelés fordul elő. Az ilyen túlterhelést pozitív túlterhelésnek nevezi a szakirodalom ( nem tévesztendő össze az acceleratióval). Azonban sok esetben felléphet negatív túlterhelés "far-fej" irányú (nem tévesztendő össze a deceleratióval) mikor a repülőgép rácsapást (zuhanórepülést) kezd. Az ilyen



túlterheléseket jóval nehezebb elviselni, mivel hatására hirtelen agyi vérbőség lép fel. A repülés során felléphet még transzverzális, "mell-hát"(supinációs), "hát-mell"(pronációs) és oldalirányú(laterolaterális) túlterhelés. Nagyon nagy és hosszan tartó transzverzális túlterhelések lépnek fel az űrhajók startjánál és a visszatérés közbeni fékezésnél.

## 2. A HARC KIKÉPZETTSÉG ÉS A TÚLTERHELÉSEKEL SZEMBENI TŰRŐKÉPESSÉG KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK

Az elfogó vadász, vadászbombázó és sportrepülő pilóták számára a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség rendkívül nagy jelentőségű, mivel a korszerű repülőgépek manőverezőképességének leghatékonyabb kihasználása nagymértékben függ e képesség fejlettségi szintjétől. Evvel együtt, ahogy ezt a repülési kísérletek is bizonyították csak a pilóták kis hányada képes kihasználni repülőgépeinek manőverezőképességét többé-kevésbé teljes mértékben. Az egyéni tűrőképesség nagysága jelentős mértékben befolyásolja a különböző harci feladatok végrehajtásának minőségét. Kísérletekkel bizonyították, hogy a légi harc során lezajló tűzharc pontosságát nagyban befolyásolja a pilóta túlterhelésekkel szembeni tűrőképessége (1. tábl.) [4]

Repülőgépvezetés és lövészet közben elkövetett hibák (%)	Jó tűrőképességgel rendelkezők	Elégséges tűrőképességgel rendelkezők
1. 140 kis túlterheléssel járó összetett műrepülő figura közben	27	23,5
2. 140 nagy túlterheléssel járó összetett műrepülő figura közben	18	32,5
3. Elhibázott lövések 600 nem manőverező repülőgép elleni támadásból	29	31
4. Elhibázott lövések 1500 manőverező repülőgép elleni támadásból	9	25

1 számú táblázat

Nyilván a túlterhelés után fellépő negatív hatás az, amely alacsony tűrőképességű pilótáknál a motoros és pszichikai funkciók zavaraiiban nyilvánul meg és gátolja a légi tűzharc és az összetett műrepülő figurák végrehajtásának képességét.

### 3. A túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség és a fizikai felkészültség

A túlterhelés hatására a szervezetben többnyire kedvezőtlen élettani változások lépnek fel a keringési rendszerben, amelyek a vér tehetetlenségi áramlásával magyarázhatóak. Az áramlás iránya a gyorsulás irányával ellentétes. Például a "fej-far" irányú túlterheléskor (kiemelés zuhanórepülésből, hintagyakorlatok) a vér, mint folyadék gyakorlatilag akadálytalanul folyik. A fejtől elfolyik és a test alsó területeiben gyűlik össze. Ez

*TÚLTERHELÉSEKSEL SZEMBENI TŰRŐKÉPESSÉG NÖVELÉSE A FIZIKAI FELKÉSZÍTÉS  
ESZKÖZEIVEL*

az agy részleges anaemiáját (vérszegénységét) okozza, csökkenti a szív és a tüdő vérellátását.[3]

Másodsorban a túlterhelés alatta szervezetre neuro-reflex faktorok is hatnak. A szövetek és a belső szervek deformációja, amely a tehetetlenségi erő hatására megvégbé, szokatlan afferens impulzusokat vált ki, főleg az érrendszer receptoraitól eredőket, melyekben a túlterhelések hatására fellépő deformációk a legjelentősebbek.

Nagyon komoly szövődmények léphetnek fel a szervezetben a szív elmozdulásának eredményeképpen. Így például 5 g túlterhelés hatására fellépő lefelé irányuló 5 cm elmozdulás az agyi erekben a vérnyomás kb. 20 Hgmm-nyi csökkenését eredményezi.

A légzőszervek funkcionálásának a túlterhelés hatására csökkenő feltételei, az in-tenzív izomfeszítés miatt fellépő oxigén szükséglet növekedésével egyidejűleg a növekvő szív működés eredményeképpen a szervezetben hypoxiás változások léphetnek fel. A vér lecsökkent oxigéntelítettsége fokozza a túlterhelésnek a pilóták szervezetére kifejtett káros hatását. Például: ha a belélegzett levegőben az oxigén parciális nyomását a felére csökkentjük (ami 5000 méteres magasságnak felel meg) abban az esetben a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség 1/3-val csökken.

Több kísérlettel bizonyított a fizikai felkészültség különböző összetevőinek és az emberi szervezet munkavégzőképességének jelentősége a túlterhelések elviselésében. Többek között igaztalan bizonyított szignifikáns a kapcsolat a túlterhelések elviselése és a hasprés izomereje között (2 sz. táblázat). Ennek a ténynek a magyarázata az, hogy a jól fejlett izomzattal rendelkező emberek hatékonyabban tudnak ellenállni a belső szervek elmozdulásának a hasprés és a lábizom megfeszítésével.[4]

<i>A hasprés erejének testsúlyhoz viszonyított értékei</i>	<i>A hasprés átlagereje(kp)</i>	<i>Vizsgált pilóták száma</i>	<i>%-os arány az elviselt túlterhelés nagyságától függően</i>		
			<i>7,5-6,6</i>	<i>6,5-5,6</i>	<i>5,5-4,6</i>
> 1,25	110	26	61,5	30,8	7,7
1,00-1,25	83	28	21,4	42,8	35,8
< 1,00	56	21	19,0	57,0	24,0

2 számú táblázat

A túlterhelés elviselése szempontjából nagy jelentőséggel bírnak bizonyos presz-szor-depresszor mechanizmusoknak, amelyek a túlterhelés természetes hatására a repülés és a speciális felkészülés során alakulnak ki. Élettani és pedagógiai kísérletekkel bizonyították, hogy a speciális felkészítés eszközeivel jelentősen növelhető a szervezet kompenzációs képessége a pozitív túlterhelésekkel szemben.

A tűrőképesség növelésében fontos szerepe van a cardiovascularis (szív-ér) és respiratoricus (légző) rendszer magas szintű általános működőképességének, a vér oxigén felvevő képességének a magasabb szintű oxigén felhasználó képességnek, mivel ezek a tényezők kompenzálják a túlterhelés hatására fellépő keringési zavarokat. Az elvégzett kísérletek adatai szerint a 200 m-es síkfutás eredménye és a maximális légzésvisszatartási képesség nagy mértékben jellemzik a túlterhelésekkel szembeni tűrőképességet. (3-4 sz. táblázat)

200 m síkfutás (sec)	Vizsgált pilóták száma	A túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség nagysága (%)		
		7,5-6,6 g	6,5-5,6 g	5,5-4,6 g
29,0-31,0	260	50,0	37,5	12,5
33,0-35,0	260	25,0	25,0	50,0

3 számú táblázat

Maximális levegő benttartási képesség (sec)	Vizsgált pilóták száma	A túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség nagysága (%)		
		7,5-6,6 g	6,5-5,6 g	5,5-4,6 g
> 50	200	66,6	27,9	5,5
< 40	200	31,5	52,5	16

4 számú táblázat

#### 4. FIZIKAI FELKÉSZÍTÉS HATÁSA A TÚLTERHELÉSEKKEL SZEMBENI TŰRŐKÉPESSÉGRE

Az eddig ismertett tudományos adatokból következik, hogy a tűrőképesség mértéke egyenes arányban áll a fizikai felkészültség összetevőivel. Ezért megfelelő irányú fizikai felkészítéssel jelentősen fejleszthető e képesség.

Mivel a korszerű harci gépeken történő repülés alatt a túlterhelések hatása jelentős mértékben megnőtt, ezért fokozott figyelmet kell szentelni olyan gyakorlatok rendszeres végrehajtására, melyek a has-, törzs-, és lábizomzatot erősítik és növelik ezeknek az izomcsoportoknak a statikus terhelhetőségét.[3]

A tűrőképesség mértéke a maximális és szubmaximális erőteljességi övezetek munkavégző képesség nagyságával egyenesen arányos elengedhetetlen a pilóták és a hallgatók speciális felkészítése során rövid- és hosszútáv futások alkalmazása. A futóedzések a gyorsasági állóképesség növekedéséhez vezetnek, amelynek fejlettségi szintje a lehető legteljesebben jellemzi a cardiovascularis rendszer működését.[1]

Fontos kiemelt figyelmet szentelni a terhelésre adott védelmi reakciók és kompenzáló mechanizmusok fejlesztésére. Ez speciális eszközökön végzett edzésekkel és olyan gyakorlatok végrehajtásával érhető el, melyek a test háromdimenzióban történő mozgásával járnak (akrobatikus gyakorlatok). Pozitív hatás érhető el a mellkasi légzés képességének kialakításával és, ha ezt összekapcsoljuk a láb és hasizmok statikus terhelésével.

Végül, de nem utolsó sorban fontos a pilóták pszichikai felkészítése a jelentős túlterhelések elviselésére. Ez a fizikai kiképzés során határozottságra neveléssel az önbizalom növelésével és a túlterhelések hatásaival szembeni pszichikai adaptáció kialakításával érhető el.

A fizikai kiképzés eszközeinek gyakorlati hatékonyságát sok tudományos kísérlet bizonyította. A speciális felkészítés eredményességét vadászpilótákon végzett repülési kísérletekkel vizsgálták, amelyek során a gépekbe automatikus túlterhelés re-gisztráló, valamint a cardiorespiratoricus és cardiovascularis rendszerek működését regisztráló műszereket építettek be. A kísérletekkel kapott adatokat elemezve lehetőség nyílt a speciális felkészítés eszközeinek hatás elemzésére, melyet a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelésében fejtettek ki (5 sz. táblázat).

TÚLTERHELÉSEKEL SZEMBENI TŰRŐKÉPESSÉG NÖVELESE A FIZIKAI FELKÉSZÍTÉS ESZKÖZEIVEL

Az edzés hatás összetevői		EDZÉSESZKÖZÖK										
		Centrifuga	Tornakerek	Ugróasztal	Szökdelések páros lábon	Görgő gyakorlatok	Szertorna (különböző szereken)	Hasizom erősítő gyakorlatok	200 m síkfutás	50 m úszás	25 m búvárúszás	Műugrás
<b>A terhelés nagysága</b>	ismétlés szám v. a gyakorlatok végrehajtási ideje foglalkozásonként	4-6 gyak.hely (30 sec)	30 fordulat	30-50 elem	75-100	30-40	10-15 gyakorlat	15-30	2-4	4-6	3-5	10-15
<b>A gyakorlatok edzés hatásainak jellemzői</b>	a túlterhelés nagysága és összehatási ideje	5-6 g 3-4 sec	4-5 g 10 sec	1,5-3 g 5-8 sec	3-4 g 7-10 sec	± 1 g 1-2 min	± 1 g 0,5-1 min	-	2-3 g 20-40 sec	-	-	2-4 g 3 sec
	cardiovasculáris terhelés a pulzusszám alapján	140-200	120-170	130-180	140-190	100-130	90-120	90-120	160-220	150-200	120-170	100-120
	a terhelés hatása a láb és hasizmokra	++*	+	++	++	+	+	++	++	++	++	-
	a terhelés hatása a légzőrendszerre	++	+	+	+	+	+	+	++	++	++	-
	mellkasi légzés szükségessége	++	-	-	-	-	+	++	-	++	++	-
<b>Edzés hatékonyság</b>	a túlterheléssel szembeni tűrőképesség növekedése	6-7 g-ig**	6-7 g-ig	+	+	+	+	++	++	+	+	+
	gyorsasági állóképesség fejlődése	++	-	+	++	-	-	-	++	++	+	-
	a hasprés izomerejének növekedése	+	+	+	++	-	+	++	++	+	+	-
	akarati tulajdonságok fejlesztésének lehetősége	++	++	++	-	-	+	-	+	+	++	++

5 számú táblázat

\* - a hatékonysági fok : ++ : nagy; + : kicsi; - : jelentéktelen. \*\* - a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség jelentős növekedése olyan kísérleti alanyoknál volt regisztrálható, akiknek nem volt repült órájuk nagy túlterheléssel.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] - Dr.Frenkl Róbert SPORTÉLETTAN 2. átdolgozott, bővített kiadás. SPORT Budapest, 1983.
- [2] - REPÜLŐORVOSTAN. 1956. ZRÍNYI;
- [3] - SZPORTYIVNAJA MEDICINA. 1987. FIZKULTURA I SZPORT Moszkva;
- [4] - VOPROSI NAUCSNAVA OBOSZNOVANYIJA FIZICESZKOJ PODGOTOVKI V VORUZSONNIH SZILAH SZSZSZR. 1964. VDKZIFK.

*In my opinion, the newly started flying personnel 's teaching and training in our country make publishing such type of articles justified and current ones, in which I am about to bring closer fundamental ideas of flying physiology, in a popular educational way, mainly to cadets and their instructors as they are the ones above all that can experience the effect of physiology day by day. At the same time my aim is also to throw light upon the importance of physical preparation based on efficient, appropriate and scientific ground since with the help of it flying personnel cansuccessfully be prepared and taught to endure these harmful effectsand the negative physiological influence of flying can be reduced as well.*

*During my daily work as I have found forming an opinion of these important activity is not consistent among flying personnel.*

# A REVOLVER-GÉPÁGYÚ TÖRTÉNETE

**Eszes János mérnök őrnagy,  
egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A repülőgép katonai alkalmazása a század elején kezdődött, amikor kézfegyverekkel látták el a személyzetet. A fedélzeti lőfegyverek azóta sokat korszerűsödtek. Napjainkban a harci repülőgépek és helikopterek fegyverzetében a legkülönbözőbb típusú, űrméretű, szerkezetű és működési elvű géppuskák, gépágyúk és gránátvetők találhatók. A szerző célja a revolver rendszerű gépágyú kialakulásának és fejlődése főbb állomásainak bemutatása.*

## 1. BEVEZETÉS

A modern harci repülőgépek és helikopterek fegyverzetének fontos részét képezik a fedélzeti lőfegyverek. Habár az irányítható rakéták egy időre háttérbe szorították a géppuskát és a gépágyút, ma senki nem vitatja jogos helyüket a fedélzeten.

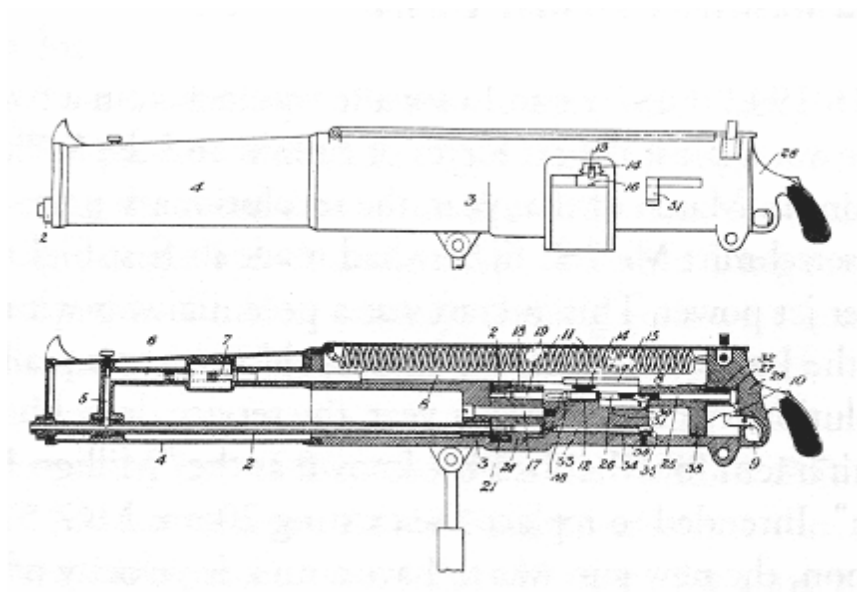
Ezek a fegyverek sokféle fejlesztési irányzatot képviselnek. Van köztük egycsőű - egy töltényűrű ágyú (ilyen például az ex-szovjet Szu-17/22 gépek NR-30 vagy a MiG-29 és Szu-27 GS-301 gépágyúja), többszűű - több töltényűrű (az amerikai harci gépek M61A1 Vulcan ágyúja), és jónéhány típuson az ún. Colt-rendszerű vagy revolver elven működő gépágyút találunk. Érdemes visszatekinteni a kezdetekre, ennek az ágyútípusnak a fejlődésére, hiszen az évek során sok érdekes, technikatörténeti szempontból is figyelemreméltó megoldás látott napvilágot.

## 2. AZ ISMERETLEN FELTALÁLÓ

1905-ben a philadelphiai Charles M. Clarke bejegyeztetett egy szabadalmat, amelyet ő "gyorstüzelő lőfegyver"-nek nevezett (1. ábra).

A fegyver alkatrészeit mások szerkesztették meg, de az ő érdeme, hogy az egyes szerkezetek teljesen újszerű módon történő összeillesztése nagy tűzgyorsaságot eredményezett.

Clarke később eltűnt a lőfegyverek történelemlapjairól. A fegyvert sohasem építették meg, és a legtöbb, a lőfegyverek fejlődésével foglalkozó irodalom meg sem említi. Feltalálója nem sejtette, hogy a fegyver, amelyet szabadalmaztatott, megtestesítette a több töltényűrű (revolver) gépágyú fő működési elveit; és hogy a revolver gépágyú, amely több mint 50 évig nem került megvalósításra, a szabadalmaztatás után 90 évvel még mindig korszerű tervezési megoldást fog képviselni.



1. ábra.  
Clarke „gyorstüzelő gégyere”, 1905

### 3. A „HATNULLÁS” GÉPÁGYÚ

1942-ben a német Luftwaffe két fronton vívott légi háborút a brit és a szovjet légierővel. Márciusban a forradalmian új konstrukciójú, sugárhajtású Me-262 végrehajtotta első felszállását. A gép nagy harcértékű eszköznek bizonyult, de a Luftwaffe felismerte, hogy a géphez új szerkezetű lőfegyver is kell.

1942 végén a harci tapasztalatok összegzéseként megszületett az igény egy gépágyúra, amely a „hatnullás” néven vált ismertté. Az eredetileg beépített 20 mm-es MG151/20 típusú gépágyú leváltására hivatott új fegyvernek 1000 lövés/perc tűzgyorsasággal kellett volna rendelkeznie, 1000 m/s-es lövedék-kezdősebesség mellett. A gyártást megkönnyítendő, lehetőség szerint, lemezből és kovácsolt alkatrészekből kellett állnia és mellőzni kellett az ötvözött acélokat.

A suhli Heinrich Krieoff Waffenfabrik elkészített egy 20 mm-es ágyút, melynek típusjele MG301 volt. A légierő azonban úgy ítélte meg, hogy a vállalat, melynek profilja a sportfegyverek gyártása volt, nem rendelkezik kellő tapasztalattal és gyártási kapacitással a projekt befejezéséhez. A terv átkerült a Mauser céghez, ahol átnevezték MG213A-ra.

A további vizsgálatok azt mutatták, hogy az MG213A nem képes az 1000 lövés/perc tűzgyorsaság teljesítésére. Friedrich Linder vezető mérnök egy továbbfejlesztett változatot javasolt. Az MG213B szintén hagyományos felépítésű, egycsővű gépágyú volt, előre-hátra mozgó zárszerkezettel. A mérések szerint azonban ez sem teljesítette az elvárásokat.

#### 4. A SEBESSÉG NYOMÁBAN

Az alapvető problémát az jelentette, hogy a tűzgyorsaság növelése a mozgó alkatrészek sebességének rendkívüli növekedéséhez vezet. A zárszerkezetnél ez a gond úgy jelentkezett, hogy nem lehetett olyan anyagot előállítani, amely elviselte volna a keletkező igénybevételt.

Az egyetlen létező, kellően nagy tűzgyorsaságú fegyver a forgó csőblokkal rendelkező Gatling-rendszerű lőfegyver volt. Amíg egy cső tüzel, a többinél a töltés ill. ürítés folyamata zajlik a csőblokk egy teljes körülfordulása alatt. A lőszer betöltése, elsütése, a hüvely eltávolítása során a zár alkatrészeinek sebessége, így az igénybevételek is jóval kisebbek, mint az azonos tűzgyorsaságú egycsővű géppágyúban. A XIX.sz-ban kifejlesztett Gatling ágyúk nehezek és ormótlanak voltak, és a csőblokkot külső energiával kellett forgatni.

A "hatnullás" ágyú tűzgyorsaságát elérendő, a Mauser tervezőmérnöke, Anton Politzer a revolver-elvhez fordult. A gyorstüzelő automata revolver-fegyver terve több mint 35 éve porosodott az Egyesült Államok Szabadalmi Hivatalának archívumában, Clarke géppágyúja azonban ismeretlen volt a Mauser mérnökeinek. A tervező team egyik veteránja úgy tudja, hogy Politzer a revolver-ágyú elvét egy XIX.sz-i Mauser-fegyvertől, az ún. "Cikk-Cakk" karabélytól kölcsönözte (2. ábra). Ez egy 9 mm-es válltámaszos gyalogsági fegyver volt, melynek dob alakú tölténytárát egy újszerű, a dob falába mart zegzugos hornyon alapuló mechanizmus forgatta.



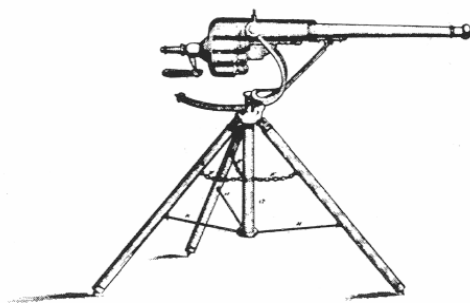
2. ábra.  
A „Cikk-Cakk”-karabély

A revolver-ágyú ötlete nem volt új, de az előző konstrukciók működtetése manuálisan történt, és nem nyertek széleskörű alkalmazást mint katonai lőfegyverek. 1718-ban egy bizonyos James Puckle szabadalmaztatott egy Defence (Védelem) nevű lőfegyvert, amely egy háromlábú állványra szerelt revolver-elvű kovás puska volt (3. ábra); arra tervezték, hogy gömb alakú ill. kocka alakú (!) lövedékeket lőjön ki. (A kockalövedékeknek a cső belsejére gyakorolt hatását el lehet képzelni...)

Néhány Puckle-fegyver készült Angliában, és néhány, hasonló elven működő, Oroszországban készült példányról tudunk.

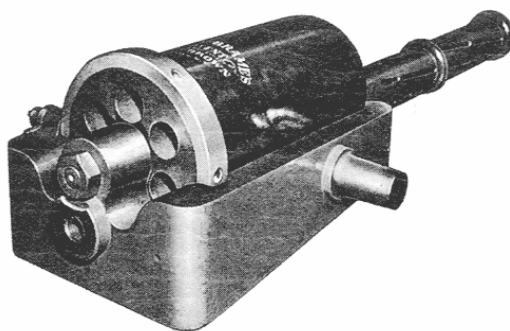
Az amerikai polgárháború idején egy bizonyos de Brame megkonstruált és bejegyeztetett egy mechanikusan tölthető, kézzel működtetett revolver-ágyút (4. ábra), és a déli csapatok is használtak tüzérségi kaliberű revolver-ágyút.





3. ábra.  
James Puckle „Defence” puskája, 1718

Éppúgy, ahogy Charles M. Clarke összerakta a létező szerkezeteket egy teljesen új koncepció szerint, és ezzel megalkotta az 1905 tip. gyorstüzelő fegyvert, Anton Politzer és csapata fogta a forgódobot, a zezug mechanizmust, a lőporgáz-meghajtású automatikát, és összekombinálta az első automata revolver-ágyút, amely nagy tűzgyorsasággal bírt. Politzer felismerte, hogy a "hatnullás" követelmény teljesítéséhez nem szükséges a Gatling csőblokkja. Elegendő egy cső és az azt kiszolgáló forgó töltényűr - az elv, amelyet 37 évvel azelőtt Clarke bejegyeztetett.



4. ábra  
De Brame ágyúja, 1861

## 5. FEGYVERKOVÁCSOLÁS

Az MG213C néven ismert 20 mm-es fegyver első prototípusa 1943-ban készült el. Az új ágyú egy öt töltényűrt tartalmazó dobon alapult, amely az óramutató járásával ellentétesen forgott. A lőszer elsütése elektromos úton történt.

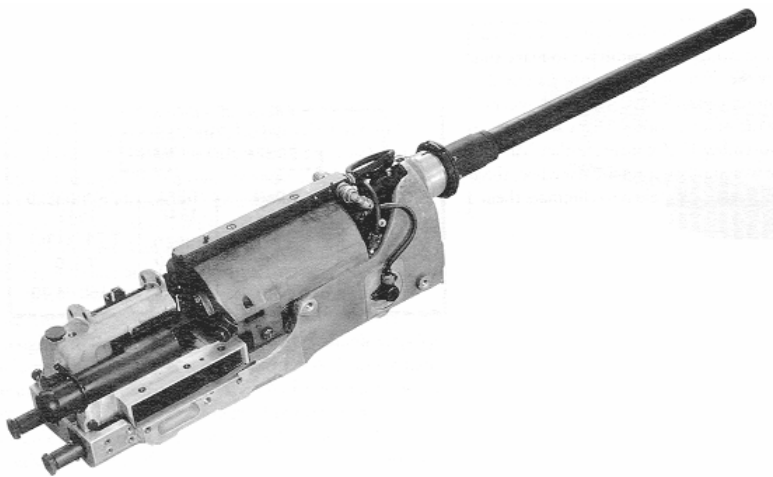
Az MG213C program elején a Luftwaffe elrendelte, hogy az űrméretet növeljék meg 30 mm-re. A fegyvert áttervezték, így képes volt a nagyobb tömegű lőszerrel kilőni, de csak 550 m/s-os kezdősebességgel.

A 30 mm-es lőszer hossza ugyanakkora volt, mint a 20 mm-esé, így az ágyút a cső, a forgódob és néhány más akatrész cseréjével viszonylag egyszerűen és gyorsan át lehetett alakítani 30 mm-es űrméretűvé. Az adogatási irány szintén változtatható volt, néhány alkatrész megfordításával. A nagyobb űrméretű ágyú az MK213C típusjelzést kapta.

A háború végéig öt prototípus készült ezekből a fegyverekből. Mint sok más német tervezőcsoport, Politzer és mérnökei is a nyugati hadifogságot választották a szovjet helyett. A szövetségesek hamar felismerték, hogy a német fegyver igen figyelemreméltó műszaki alkotás. Egy 1945 novemberében keltezett brit hírszerzési jelentés szerint „bár még sok probléma vár kiküszöbölésre a fegyver terveiben, a hibák okai ismertek és a megoldásra tett lépések sikerrel kecsegtetnek”.

## 6. A REVOLVER ÚJJÁSZÜLETÉSE

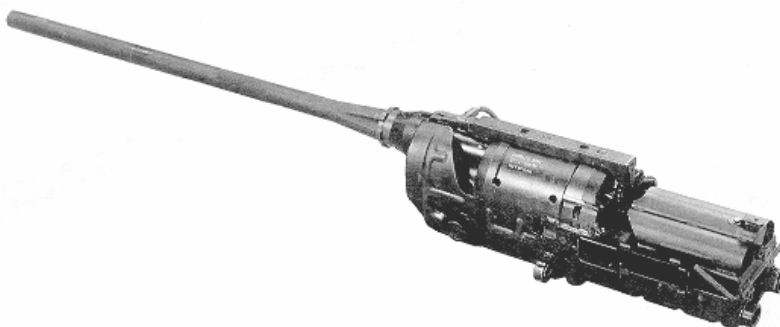
A negyvenes évek végén a Mauser tervezőiroda volt mérnökei több nyugati fegyvertervezési programban vettek részt mint szakértők. Friedrich Linder és Werner Jungemann mérnökök 1946-ban az Egyesült Királyságba utaztak, ahol a britek építette MK 213C ágyú kísérleti próbáin vettek részt. Ez a fegyver képezte az alapját a 30 mm-es ADEN gépgyűnek (5. ábra), amelyet a Királyi Fegyverkutató és Fejlesztő Üzem és a Királyi Kézifegyvergyár együttesen tervezett. Gyártása 1949-ben kezdődött és olyan repülőgépekbe építették be, mint a Hawker Hunter és a SEPECAT Jaguar. Az ADEN lőszer szintén a német 30 mm-es lőszer alapján készült, de a lövedék tömegét 330 g-ról kb. 240 g-ra csökkentették, így a kezdősebesség 550 m/s-ról 815 m/s-ra nőtt.



5. ábra.  
A brit ADEN 30 mm-es gépgyű, 1949

Anton Politzer Franciaországban folytatta munkáját. Az általa vezetett tervezőcsoport fejlesztette ki a 30 mm-es DEFA 541 gépgyűt. Ahogy a későbbi DEFA 551 és 552 modellek (6. ábra), ez is szinte szakasztott mása volt az ADEN gépgyűnek, sőt ugyanazt a lőszer használta. 1971-ig több mint 10000 DEFA ágyú készült. Ezeket a

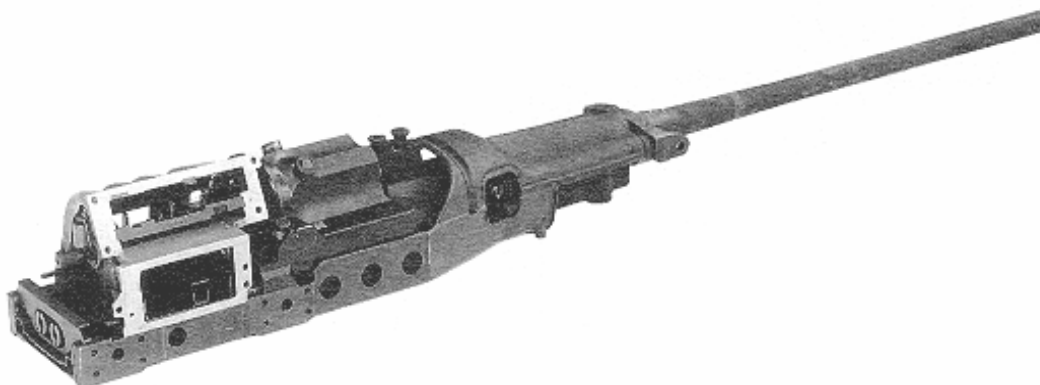
fegyvereket többek között a Dassault Mirage III, Mirage 5, Etendard IV, Super Etendard, a FIAT-Aeritalia G91 és az izraeli Kfir repülőgépekben alkalmazták.



6. ábra.  
A francia DEFA 552 30 mm-es géppágyú

Otto von Lossnitzer és Dr. K. Maier az USA-ban telepedtek le, ahol ezt követően szintén gyártani kezdték az MG213C alaptípus modernizált változatait. A Ford Motor Co. Által gyártott 20 mm-es T160 és a 30 mm-es T121 típus nagy darabszámban készült. Ez utóbbi az ADEN/DEFA lőszeret használta.

1952-ben a General Motors megrendelést kapott 30000 darab T160-as ágyú gyártására. Az egy évvel később M39 típusjelzést kapott fegyvert (7. ábra) többek között a North American F-100 Super Sabre, a McDonnell F-101 Voodoo és a Northrop F-5 típusú repülőgépekbe építették.



7. ábra.  
Az M39 20 mm-es géppágyú, 1953

Werner Jungemann Angliában maradt, ahol folytatta az ADEN ágyú fejlesztését. Friedrich Linder 1949-en Svájcba költözött és az Oerlikon céghez került.

Az Oerlikon első háború utáni terméke a 20 mm-es 204 GK volt, amely a mai napig szolgálatban áll Oerlikon KAA néven. Ez hagyományos egycsővű - egy töltényűrű ágyú, viszont tűzgyorsasága eléri az 1000 lövést percenként, amelyet a Mauser korábbi MG213A és 213B típusai nem tudtak teljesíteni. A következő fegyver a 20 mm-es 206 RK volt, az Oerlikon első revolver-ágyúja. 1700-1800 lövést volt képes leadni

percenként, és ez volt az első azon fegyverek hosszú sorában, amelyek megalapozták az Oerlikon cég hírnevét, mint világélsőt a revolver-ágyú gyártói közt.

Más fegyvertervező csoportok is kísérleteztek a revolver-rendszerrel, de ezek a tervek kimerültek néhány prototípus legyártásában. Ilyen volt például a francia Hispano 603 és egy svéd modell. A franciák maradtak a DEFA ágyúnál, míg a svédek az ADEN mellett döntöttek.

## **7. A LŐSZERBETÁPLÁLÁS FEJLESZTÉSE**

Az Egyesült Államokban egy évvel a T160(M39) gyártásának megkezdése előtt négy különböző típusú revolver-ágyú kifejlesztése kezdődött szinte egyidőben.

A 15 mm-es T157 légvédelmi ágyú fejlesztése abbamaradt, mivel ezt az űrméretet nem találták elég hatékonynak.

Az USAF bombázóiba szánt 30 mm-es T168 eljutott a „meleg” tesztekig, de a programot 1957-ben törölték.

A 37 mm-es T172 légvédelmi gépgyűt párban építették be egy mozgatható lőtoronyba. Három különböző modell készült el, amelyek tűzgyorsasága 700 és 1200 lövés/perc között volt, de a fejlesztés 1956-ban abbamaradt.

Legtovább a 30 mm-es T182 jutott, percenként 1500 lövést volt képes leadni, de ez a típus sem kapta meg a gyártási engedélyt. A programot 1957-ben lefűjták.

Ezek a fegyverek mind működőképes modellek voltak, de „rossz időben” születtek. Akkortájt a fedélzeti lőfegyvert elavultnak tartották, az irányítható rakéták „a jövő fegyvereit” képviselték. Az USAF nagy számban használta a North American F-86D és a Convair F-102 gépeket, amelyekbe nem építettek lőfegyvert. Ez a tendencia nemcsak az amerikai légi doktrínában volt megfigyelhető. Az angol BAC Lightning Mk3, a szovjet MiG-19PM és Su-9 szintén csak rakétafegyverzettel rendelkezett.

Az ötvenes évek elején - párhuzamosan a 206 RK típussal - az Oerlikon kifejlesztette a 302 RK ágyút, amely 30 mm-es 300 g-os lövedékeket volt képes 1100 m/s-os sebességgel kilőni. Az USAF 28 db-ot vett át kipróbálásra. A Northrop F-89 Scorpion típusú repülőgéppel éleslövészettel egybekötött próbákat végeztek, több mint 40000 löszert használtak el, de végül is nem rendszeresítették az ágyút. Az ok igen prózai volt: a repülőgép törzsében nem találtak elegendő helyet a fegyver számára.

A 302 RK továbbfejlesztésre került, és több évi munka eredményeként megszületett a 304 RK típusjelzésű ágyú. Elődeinél kompaktabb felépítése és 30 %-kal kisebb tömege feleslegessé tette a beépítésnél addig használt fegyverbölcsőt. Helyette rugós amortizátorokkal támasztották meg a fegyvert, amely lehetővé tette a hátrasiklást. A 304 RK dobja csak négy töltényt fogadott be, eltérően a DEFA/ADEN és a korábbi Oerlikon típusok öt töltényű dobjától. Újdonság volt még a piropatronos felhúzó és akadályelhárító rendszer alkalmazása.

Az USA-ban 1953-ban kezdték el a 30 mm-es T 221 fejlesztését. Ez egy kétcsövű ágyú volt, kilenc löszert befogadó dobbal és egy mozgó zárszerkezettel. A dob jóval könnyebb volt más kortárs revolverdoboknál. A fegyver tömege kedvezőbb volt, mint a 20 mm-es M39 gépgyűé. A programot 1956-ban leállították, mielőtt a javított prototípus elkészült volna.

A Mauser fejlesztőiroda kulcsemberei közül egy sem került szovjet hadifogságba a háború végén. Vannak olyan források, amelyek szerint a szovjetek is terveztek és teszteltek revolverágyúkat a 40-es évek végén, de tény, hogy egy ilyen modell sem került gyártásra. A háború utáni szovjet vadászgépekben a Nudelman-Richter NR-23 és NR-30, valamint a Nudelman N-37 típusú egycsővű csőhátrasiklásos ágyúkat alkalmazták.

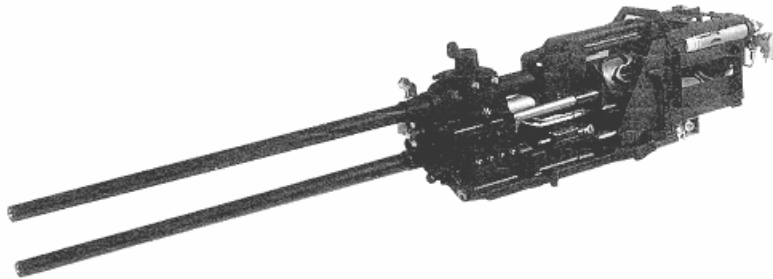
Az első szovjet fejlesztésű revolver-ágyú egy 30 mm-es kétcsövű fegyver volt, amelyet az AK-230 távvezérlésű hajófedélzeti lőtornyba építettek be. Tűzgyorsasága 1050 lövés/cső volt percenként. 1959-től kezdve széleskörűen alkalmazták kisebb naszádok, űrhajók fedélzetén.

Ezeket a fegyvereket általában légvédelmi célokra alkalmazzák, ahol többnyire rövid sorozatokat lőnek, így effektív tűzgyorsaságuk 200-240 lövés/cső/perc.

Románia ennek az ágyúnak kerekeken vontatott változatát alkalmazza A436 típusjellel. Kína szintén átvette az AK-230-at és Norinco Type 69 típusjellel ma is gyártja mint ezidáig egyetlen kínai revolver-ágyút.

Az ötvenes évek elejének eredeti fegyvere volt az Oerlikon 421 RK, egy kétcsövű 42 mm-es légvédelmi ágyú, amely brit megrendelésre készült. A kerek állványra szerelt fegyver hét löszert befogadó dobbal rendelkezett, amely mindkét csövet kiszolgálta. A löszert betáplálása egy 75 db-ot befogadó forgótárból történt.

Noha 450 lövés/perc tűzgyorsasággal rendelkezett és az 1090 grammos (!) lövedéket 1070 m/s-os sebességre gyorsította fel, mégsem került rendszeresítésre. Az alkalmazott elv azonban - két cső kiszolgálása egy forgódobbal - jónak bizonyult, és a Hughes Mk11 Mod 5 típusú kétcsövű 20 mm-es gépágyút (8. ábra) végül is rendszerbe állították a 60-as évek elején az USA-ban.



8. ábra.

A Hughes Mk11 Mod 5 20 mm-es gépágyú

## **8. ÚJ VADÁSZGÉPEK - ÚJ GÉPÁGYÚK**

A vietnami háború légi harcainak az USAF gépei és a MiG-ek között kimutatták a gépágyúval nem rendelkező vadászgépek harcászati hiányosságait. A McDonnell Douglas F-4 Phantom szintén nem volt felszerelve beépített gépágyúval. A korszerűsített F-4E megjelenéséig ezt a hátrányt gépágyú-konténerek függesztésével igyekeztek csökkenteni.

A légi harcok tapasztalatai alapján világossá vált, hogy a harci repülőgépek fegyverzete nem nélkülözheti a lőfegyvereket. Franciaországban a DEFA 553-asnak a

kifejlesztése 1968-ban kezdődött. Több mint 1300 lövés percenként, megnövelt megbízhatóság és egyszerűsített beszerelés a repülőgépbe - ezek a tulajdonságok jellemezték ezt az ágyút, amelyet 1971-ben kezdtek gyártani. Többek között a Dassault-Breguet Mirage F-1 és a francia SEPECAT Jaguar gépeken alkalmazták. A Mirage 2000 számára a GIAT fegyvergyár elkészítette a 30 mm-es DEFA 554-et (9. ábra). Ennek tűzgyorsasága elérte az 1800 lövést, de földi célok ellen csökkentett - 1100 lövés/perces - tempóval is képes volt tüzelni.



9. ábra.  
A francia DEFA 554 30 mm-es géppágyú

Az angolok a 30 mm-es ADEN Mk1-et fejlesztették tovább. A végső változat az Mk4 típusjelet kapta. Elkészült egy további modifikáció is, az Mk5 - STRADEN (Stretched ADEN - nyújtott ADEN) néven is ismert - fegyver. Habár csereszabatos volt a régebbi típusokkal és elérte az 1700 lövés/perc tűzgyorsaságot, a 70-es évek közepén kifejlesztett modellt elvetették, gazdasági megfontolásokból.

A Ford Aerospace 1985-ben kezdett el dolgozni a Tigerclaws (Tigriskarom) ágyún, amely a 20 mm-es M39 korszerűsített, könnyített változata volt. Ez a fegyver az 1959-ben kifejlesztett könnyített M39 szerkezetén alapult, amely azonban nem jutott el a gyártásig. A Tigerclaws ágyúval 1986-88 között tüzelési tesztek végeztek. Az M39-hez képest 28 %-os tömegcsökkenést és 1700-ról 2300 lövés/percre történő tűzgyorsaság-növekedést produkált. Az ágyút eredetileg a Northrop F-20 Tigershark gépbe szánták (ez az F-5-ös egyhajtóműves változata), de a repülőgép nem került sorozatgyártásra. Voltak olyan tervek is, hogy az F-5 géppágyúit cserélik le az új fegyverre, de nem érkeztek megrendelések.

## **9. A KÖVETKEZŐ GENERÁCIÓ**

A 70-es évektől kezdve több szovjet és nyugati repülőgépgyártó úgy döntött, hogy a régi lőfegyverek továbbfejlesztett változatai helyett új konstrukciójú géppágyúkat épít gépeibe.

A MiG-29 és Szu-27 gépek fedélzeti lőfegyvere a Grjazov-Sipunov GS-301 30 mm-es géppágyú. Noha nem revolver-rendszerű, hanem csőhátrasiklásos, igen figyelemreméltó alkotás. Tűzgyorsasága 1500 lövés percenként, a lövedék kezdősebessége 860 m/s, szerkezete és karbantartása egyszerű. Mihail Valdenberg, a MiG tervezőiroda főmérnöke szerint ez a világ legkisebb tömegű 30 mm-es géppágyúja.

Angliában a 25 mm-es ADEN fejlesztésénél az Mk5 STRADEN technológiájának nagy részét felhasználva érték el az 1850 lövés/perc tűzgyorsaságot. Az új ágyút a Harrier GR.5 és GR.7 repülőgépekbe építették be.

A francia GIAT a Dassault-Breguet Rafale számára fejlesztette ki a 30 M 791 30 mm-es gépágyút. A forgódob hét töltényt képes befogadni, eltérően a korábbi DEFA és ADEN ágyúk ötfuratú dobjaitól. Akadályelhárítása automatikusan történik, tűzgyorsasága pedig változtatható: 600, 1500 és 2500 lövés percenként. A lövedék kezdősebessége elérte az 1025 m/s-os értéket.

1970-ben a Mauser elkezdett dolgozni a BK27 tervein (10. ábra), amely az Mk213C óta az első revolver-rendszerű Mauser-fejlesztés volt. A Panavia Tornado számára tervezett ágyú 27 mm-es űrméretű volt, amelyet egyfajta kompromisszumnak gondoltak a 20 és a 30 mm-es kaliber közé. A Bk27 ötfuratos forgódobbal rendelkezik és tömege mindössze 100 kg.



10. ábra.  
A Mauser BK27 27 mm-es gépágyú

A 80-as évek közepén a Mauser és a holland Signaal kooperációja nyomán megszületett a MIDAS, egy négycsövű haditengerészeti légvédelmi rendszer, amely alkalmas a hajóra kilőtt rakéták elleni védekezésre. A 4 tonna össztömegű távvezérelt lőtoronyban 4 db 27 mm-es Mauser-Vierling ágyú és 1440 lőszer kapott helyet. Az összegzett tűzgyorsaság elérte a 7200 lövést percenként. Két prototípus készült ebből a lőtoronyból, de a védelmi kiadások csökkentése miatt a további fejlesztések abbamaradtak.

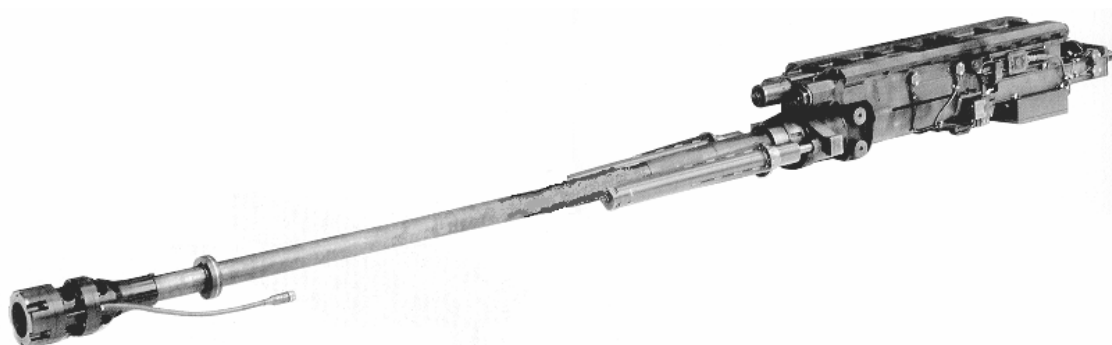
A 70-es évek elejére az Oerlikon többféle revolver-ágyút fejlesztett ki, de egyik típus sem került rendszeresítésre. Végül a svéd légierő mégiscsak a svájci cég 30 mm-es KCA ágyúja mellett döntött, amelyet a Saab-Scania JA37 Viggen gépekbe szereltek. Az 1960-as 304RK modell volt a kiindulópont. Ennek alapján történt az új fegyver kifejlesztése, amelynek lőszere is különleges: a lőszerhüvely acélból készül. A lőportöltet gyújtása elektromos úton történik, a lövedék tömege 360 g, a lőportöltet és a lövedék tömegeinek arányát a szokásos 2 : 3 -ról 1 : 2 -re változtatták. Ez a töltet 1030 m/s-os sebességre gyorsította fel a lövedéket, az ágyú hatásos lőtávolsága a 304RK-hoz képest a duplájára, a lövedék mozgási energiája pedig nyolcszorosára nőtt. Tűzgyorsasága 1350 m/s.

Pneumatikus ismétlő rendszerrel látták el. A svéd légierő által megadott követelményeknek megfelelően az ágyú minimális karbantartási igényel, megbízható, szerkezete egyszerű.

## 10. BEFEJEZÉS

A 90-es évek elejére az Oerlikon-Contraves mérnökei elegendő tapasztalattal rendelkeztek, hogy olyan forgódobos ágyút építsenek, amely az igen bevált KCA tulajdonságain is túlsz. Azidáig a rendszeresített revolver-ágyúk között a legnagyobb űrméret a 30 mm-es volt.

A cég korábban már demonstrálta a 42 mm-es 421 RK légvédelmi ágyúval, hogy nagyobb űrméretű forgódobos ágyú kifejlesztésére is képes. Az új fegyvert, a 35/1000 típusjelű ágyút (11. ábra) a széleskörűen alkalmazott 35 mm-es lőszer űrméretéhez tervezték.



11. ábra.

Az Oerlikon 35/1000 35 mm-es gépgyű, 1994

Az első tesztek 1994 elején végezték a 35/1000 ágyúval. A fegyver négy töltényt befogadó dobbal rendelkezik, tűzgyorsasága 1000 lövés percenként. Heveder nélküli adogatórendszere bármely típusú (űrméret alatti, páncéltörő, repesz-romboló, gyakorló) 35 mm-es lőszer képes befogadni. A fegyvert egyaránt hordozhatja repülőgép, önjáró légvédelmi eszköz, páncélozott harcjármű vagy hajó. Az ágyú alkalmas az új fejlesztésű AHEAD rakétaelhárító lőszer kilövésére is.

A Luftwaffe tervezőinek 1942-ben egy olyan 20 mm-es gépgyűre volt szükségük, amely 1000 m/s-os kezdősebességgel és 1000 lövés/perc tűzgyorsasággal bír. Fél évszázaddal később a technikai fejlődés lehetővé tette ilyen, de jóval nagyobb űrméretű fegyver megalkotását.

Az ötlet, amely a század elején a philadelphiai Charles M. Clarke agyában megfogant, életképesnek bizonyult és valószínűleg sok revolver-ágyú épül még a jövő században is.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Az Oerlikon-Contraves „The History of The Revolver Gun” című kiadványa



[2] Gettleman, Marvin; Franklin, H. Bruce; Franklin, Jane; Young, Marilyn (Eds.). *Vietnam and America: A Documented History*. Grove Press, Inc., New York, New York (1985)

[3] *Jane's Defense Magazine Library on Disk*. Jane's Information Group Ltd. Coulsdon, Surrey, UK (1995,1996)

## **ABSTRACT**

*The use of aircraft for military purposes have started in the beginning of this century, when aircrews were supplied with small arms. On-board guns have been developed a lot since that time. Nowadays fixed-wing military aircraft and gunships have in their weapon system guns, machine guns, grenade throwers of many different calibres, types, constructions and principles of functioning.*

*The aim of the author is to introduce the development and main stages of improvement of revolver guns.*

# A VIRTUÁLIS VALÓSÁG ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI REPÜLŐ- MŰSZAKI ÉS HAJÓZÓ KÉPZÉSÉBEN

**Dr. Szabó László**  
főiskolai docens  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Repülőtiszti Intézet  
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék

*A ZMNE Repülőtiszti Intézet Sárkány-Hajtómű Tanszékén 15 éve kutatjuk a repülő-műszaki témák mellett a személyi számítógép alkalmazási lehetőségét a tanítás-tanulás folyamatában. A repülő-szakalapozó tantárgyak oktatásában végzett induktív úton haladó kontroll csoportos kísérlet statisztikai próbái 95 %-os megbízhatósági szinten igazolták a számítógép hatékony alkalmazását. 1997 -től kutatásunk főiránya a virtuális valóság alkalmazási alapjainak megteremtése a repülő-műszaki és hajózó képzésben. A tanszékünk szoros kapcsolatot épített ki Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Pedagógia Tanszékével, amely e területen nagy tapasztalattal rendelkezik és jelentős sikereket ért el. Közös erőfeszítéseink a helikopter forgószárny vezérlések működésének virtuális bemutatása témára irányul.*

Egy olyan kibontakozó új együttműködés kezdetéről szeretnék beszámolni, ami nagy "jövővel" kecsegtet mind a saját oktatási intézményem, mind a 100 éves fennállását ünneplő Kandó Kálmán Műszaki Főiskola számára. A téma a számítógép adta virtuális valóság alkalmazási lehetőségei a Magyar Honvédség repülőtiszti képzésében.

Röviden az előzményekről; A ZMNE Repülőtiszti Intézetének elődjében a Szolnoki Repülőtiszti Főiskola Sárkány-Hajtómű Tanszékén 15 éve kutatjuk a repülő-műszaki témák mellett a személyi számítógép alkalmazási lehetőségét a tanítás-tanulás folyamatában. Az egyre bővülő új információ az adott szakmai területen és a kötött óraszám egyre nehezebb feladat elé állítja az oktatót, hogy mely anyagrészeket milyen mélységben magyarázzon el, illetve melyeket adjon ki önképzésre. Az ellentét feloldásának egyik lehetőségét mi a számítógép alkalmazásában láttuk. A főiskolánk tudományos tanácsa által elfogadott kutatásként 1983-ban kezdtük kísérleteinket, amiről őszintén be kell vallani, hogy ez akkoriban igen nehéz volt, mert segítséget a téma újszerűsége miatt nagyon nehezen találtunk. Az elért eredmények alapján döntöttünk úgy, hogy az előadás szemléltetésére, konzultációk eredményességének növelésére, valamint a tanítás - tanulás hatékonysága érdekében alkalmazzuk kísérleti jelleggel a

számítógépet a Repülőgépek automatikájának alapjai, Mechanika, Repülőgépek szerkezeti és üzemanyagai, majd később, 1990-től a Repülőgép könnyűszerkezetek szilárdságtana c. tantárgyakban. Ezek a tantárgyak a főiskolai képzésünkben szakalapozó tantárgyak, ezek alapján nem mindegy, hogy milyen módszerrel tanítjuk ezeket a tantárgyakat a később oktatásra kerülő repülő szaktantárgyak szempontjából. A tanár tökéletes szakmai felkészültsége és pedagógiai rutinja mellett feltétlenül szükséges a mai modern módszerek és eszközök alkalmazása.

Az alkalmazott szoftverek saját fejlesztések (oktatói, illetve hallgatói TDK-munka) illetve más felsőoktatási intézménytől (GATE Mechanika Tanszék) megvásárolt. A kontroll csoportos kísérleteinkben - hipotézis - a hagyományos módszerhez képest jelentős hatékonyságot feltételeztünk. A kvantifikálást elvégezve a statisztikai próbák 95 %-os megbízhatósági szinten igazolták, hogy a kontroll- és a kísérleti csoport közötti eltérés nem tekinthető véletlennek. Ezekről a kísérletekről több tudományos tanulmány, cikk és tdk dolgozat készült.

1997-től kutatásunk fő iránya a repülő-szakmai tantárgyak minél nagyobb határfokkal történő elsajátítása felé fordult. Ennek eszköze a számítógép adta lehetőség, a virtuális valóság alkalmazási alapjainak megteremtése -az SHM tanszék kompetenciájába tartozó- repülő-műszaki és hajózó kiképzésben. A tanszékünk szoros kapcsolatot épített ki a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Pedagógiai Tanszékével, amely a virtuális valóság alkalmazása területén igen nagy tapasztalattal rendelkezik és jelentős sikereket ért el. Közös erőfeszítéseink jelenleg 2 fő repülős és 2 fő "kandós" tdk-s hallgató, valamint egy oktató PhD doktori cselekményének konzultálásában jelentkezik. A munkánk egy speciális repülő-szakmai területre, a helikopter forgószárny vezérlések működésének virtuális bemutatására irányul.

Felmerülhet a kérdés, hogy miért választottuk kísérletünk témájaként a virtuális valóságot?

A virtuális valóság, mint módszer és eszköz egy teljesen új fejezetet nyit az ember-gép kapcsolat világában. A magas fokú interaktivitás és valóságidejű működés nagyon sok olyan feladat elvégzését teszi lehetővé, amelyeket eddig nehezen tudtunk megoldani, az egyes repülés mechanikai problémák szemléltetésénél, illetve oktatásánál. A virtuális valóság alkalmazása a Magyar Honvédség repülőtisztai alap- és továbbképzésében a jövő nagy lehetősége lehet. Külföldi repülőtisztai kiképző intézetek már kiterjedten alkalmazzák ezt az eszközcsoportot és kiegészítéseit, mind a célirányos repülő-szakmai oktatásban, mind az általános ismeretszerzésben egyaránt.

A virtuális valóság legismertebb területe a repülőgépvezető (hajózó) kiképzésben a repülési szimulátorok. Véleményem szerint a Magyar Honvédségben egy modern repülő-hajózó kiképzés elengedhetetlen tárgyi feltétele a megfelelő mennyiségi és minőségi összetételű kiképző repülőgépek és repülési szimulátor(-ok) beszerzése ( avagy -simulátorok esetében- saját erőből való elkészítése) illetve üzemeltetése. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy a szimulátorok megvásárlása avagy elkészítése jelentős költségvetési tételként jelentkezik, de szem előtt kell tartanunk azt a tényt, hogy velük jelentős pénzösszeg megtakarítható azáltal, hogy a nálunk jóval magasabb üzemköltséggel bíró repülőeszközök jelentős repülési idejét kiválthatja.

Itt szólni kell egy másik nagyon fontos dologról is. Ez pedig az a tény, hogy a repülőképzés gazdaságosságának adott hazai, legalább minimális elvárásnak megfelelő szint elérésén túl, egy teljesen merőben új aspektus jelenik meg a NATO -hoz történő katonai csatlakozásunk feltételeként. Ez pedig az, hogy a NATO előírásai szerint a csapásmérő alegységhez csak olyan "GREEN CARD"-al rendelkező hajózó osztható be, akinek minimálisan 1200 repült órája van. A NATO országok többségében ezt a normát a fiatal hajózók 4-7 év alatt teljesítik, mivel az évi repülési normájuk 180-250 óra . Ha figyelembe vesszük az előző néhány év magyar lehetőségeit, ami kb. 60-80 óra körül volt ( 1998 -ra tervezve 45-50 repült óra a kiemelt kategóriában /4/), akkor megállapítható, hogy vadászrepülőgép és harci helikopter pilótáink legkorábban 12-15 év múlva, azaz kb. 34-39 éves korukra (vagy később) lesznek a NATO normák szerint hadrafoghatóak. Ezenkívül fontos megemlíteni, hogy hiba volna figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy

a 36-40 éves, főként vadászpilóták bizonyos hányada - egészségügyi okok miatt - (a nagyfokú igénybevétel és stressz) letiltásra kerül, vagy fizikai teljesítőképességük számottevően csökken. Az elmondott nehézségek csökkentésének, avagy megszüntetésének - véleményem szerint - az egyetlen járható megoldása, hogy nem csak a típusátképzés szintjéig, hanem azt követően is alkalmazásra kerüljenek a szimulátorok.

A korszerű szimulátorok hazai alkalmazását a következő szempontok is indokolják:

- A szimulátorok üzemkölsége az adott repülőgép-típus üzemkölségéhez képest mindössze 10 %. Ennek gazdasági hasznáról az USA hadseregeinek gazdasági mutatói tanúskodnak. Pl. 1975-1982-ig terjedő időszakban a szimulátorokkal kiváltott repült óra 100000 órával emelkedett. Az egyes típusok kihasználtságát bizonyítja például a B-52 - es bombázógép 11 db Weapon System Trainer fegyverrendszer gyakorló szimulátora a hét 6 napján 16 órán folyamatos üzemben van egész évben.

- Korlátozás nélkül gyakorolhatók bennük a valós repülés ritkán előforduló különleges esetei, annak megelőzése, illetve elhárítása.

- Nagyságrendekkel nő a kiképzés hatékonysága, mivel légi harc kiképzésben egy repült óra alatt kb. 3-4 támadás hajtható végre, addig ez a szám szimulátorban az előbbi 8-10 szerese is lehet. Fontos megemlíteni, hogy az alapkiképzés során a leszállás gyakorlásakor a levegőben töltött repülési idő 95 %-a az ún. iskolakör és a gurulás végrehajtásával telik el, addig a szimulátorral kb. 15-20 -szor annyi fel- és leszállás hajtható végre /5/.

- A modern szimulátorok rögzítő-visszajátszó berendezései lehetővé teszik a növendék hajózók vagy akár a gyakorló pilóták számára is az egyes repülési helyzetek kielemezését, illetve reprodukálását.

- Szimulátorok segítségével különböző kiképzési elképzelések, programok is összehasonlíthatók, ami más módszerrel egyrészt rendkívül veszélyes, másrészt igen költséges lenne.

- A virtuális valósággal szimulált táj illetve terep olyan kiegészítő információkat is adhat, amelyek a valódi tájban ill. terepen egyáltalán nincsenek meg, de ezek nagymértékben segíthetik a hajózót pl. a távolságérzékelés és a repülési készség fejlesztésében.

- A komplex szimulátorok lehetővé teszik a pilóták több alapvető fontosságú fiziológiai jellemzőinek vizsgálatát (pl. Működik-e a térlátás 30 méteren, Mennyi információt szerez a periférikus látással, ... stb).

- A harci hatékonyság és a repülésbiztonsági szempontból a szimulátorok alkalmazása mellett állják a II. világháborús, koreai, közel-keleti és vietnami tapasztalat, miszerint a légi csaták veszteséglistáján főleg olyan repülőgép-vezetők szerepeltek, akiknek nem haladta meg a bevetési száma az 5-8-at. A statisztika azt mutatta, hogy akik ezt a kritikus bevetési számot túlélték, azok 95 %-os valószínűséggel a további légi harcokból épségben kerültek ki. Ezek a felsorolt tények azt jelentik, hogy minden pilóta számára meg kell, illetve meg kellene adni a minimálisan elégséges 5-8 harci bevetéssel egyenértékű kiképzési szintet, amivel jelentősen csökkenthető lenne a veszteség /5/.

Azt hiszem az elmondottak egyértelműen bizonyították, hogy milyen nagy szükség van a szimulátorra, mint a virtuális valóság egyik alkalmazására a hazai hajózó kiképzésben . Sajnos, a hazai szimulátoraink a fentieknek nem tudnak teljes mértékben eleget tenni, azaz a lehetőségek a fejlesztés területén óriásiak.

Ha szűkebb szakmai területemet vizsgálat tárgyává teszem, megállapítható, hogy jelentős kiaknázási terület kínálkozik a virtuális valóság alkalmazására a repülő-műszaki tisztek és tiszthelyettesek kiképzésében és utóképzésében is. Az egyes repülés-mechanikai jelenségek virtuális bemutatása, speciális és különleges hibajelenségek szimulálása,

valamint az egyes üzemviteli-, üzembiztonsági problémák és esetek elemzése mind-mind hozzájárulna a hatékonyabb kiképzéshez, amely nagymértékben növelné a repülés biztonságát, valamint a repülési célfeladatok hatékony végrehajtását, és ezzel léghajóink védelmének fokozását.

Meggyőződésem, hogy nem szükséges mindenáron és minden területen a repülőtishti képzésben a külföldi szakemberekre és cégekre, valamint az általuk kifejlesztett eszközökre hagyatkozni, mivel Magyarország is rendelkezik olyan szakember gárdával, amely a repülőtishti képzés hardver-, illetve szoftverigényét sok esetben olcsóbban és minőségben hasonló vagy jobb szinten megoldani képes. Ebben a reményben kezdtük el közös tevékenységünket a Kandó Kálmán Műszaki Főiskolával, bízva abban, hogy ez a közös munka mindkét intézmény szakmai fejlődését elősegíti.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1./ F. Hamit: "Virtual Reality and the Exploration of Cyberspace",  
SAMS Publishing, Indiana, 1993.
- 2./ Haber, Ralph Norman: "Flight Simulation"  
Scientific American, July 1986.
- 3./ King, Douglas: "The Future of VR"  
Funworld, July 1991.
- 4./ Kositzky A. TOP GUN IX. évf., 1998/2 3.old.
- 5./ Óvári Gy.: Nyugati és szovjet gyártmányú légi járművek együttes üzemeltetésének, valamint repülő mérnök-műszaki biztosításának lehetősége az MN repülő alakulatainál.  
ZMKA, E. dokt . ért., Budapest, 1994.
- 6./ Szabó L.: Személyi számítógép alkalmazásának tapasztalatai a szakalapozó tantárgyak tanításában  
BME, E. dokt . ért., Budapest, 1991.

*In the Jet Engine and Airframe Department of the Aviation Officer' Institute of the Miklós Zrinyi National Defence University we have been searching the possibilities of application of personal computers in the teaching-studying process for fifteen years among other technical topics. A statistical testing of a collective attempt at an inductive control, which was done during the teaching of the basic flight subjects, proved the effective use of computers on the authenticity level of 95 % . From 1997 the main direction of our research is to create a base for application of the virtual reality in the flying and mechanical engineering training. Our department has formed a strong connection with the Pedagogical Department of Kálmán Kandó College of Engineer, which has great experience in this area and has achieved significant results. Our collective effort is directed toward demonstrating operation of the helicopter rotary wing control.*





# Repülőgépfedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok

**Szilvássy László mérnök százados  
főiskolai tanársegéd  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A szerző célja bemutatni a repülőgép- fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagokat, azok összetételét és a különböző hajtóanyag formákat.*

## Bevezetés

A napjainkban alkalmazott modern vadászrepülőgépek leggyakoribb fegyvere a fedélzeti rakéta, melyeket különböző speciális hajtóművek juttatnak célba, legyen a cél akár a levegőben, akár a felszínen.

Ezeken a rakétákon alkalmazott hajtóművek — kevés kivételtől eltekintve szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek (SzHRH), melyekben valamilyen robbanóanyagot — nagyon gyakran lőport — alkalmaznak hajtóanyagként.

Ezek a hajtóanyagok többfajta molekulából állnak, melyek között mindig találunk egy vagy több alapelemet (C, H, O, N), amelyekhez más elemek is csatlakozhatnak (Cl, K, Na, Al, Mg, stb.). A molekulák lehetnek oxidáló-redukálóak, ami azt jelenti, hogy ugyanabban a molekulában egyesítették kémiaiilag a tüzelőanyagot és az oxidálószeret. Ezek lesznek a homogén vagy kolloid hajtóanyagok. Ezzel szemben a kompozit vagy más néven heterogén hajtóanyagokban a tüzelőanyag és az oxidálószer molekulái kémiaiilag különbözőek, csak fizikailag alkotnak keveréket.

A mai követelményeknek megfelelően a hajtóanyag kémiai összetételét úgy választják meg, hogy égése során 5000 kJ/kg nagyságrendű fajlagos hőmennyiséget szabadítson fel, 2000 és 4000 K közötti hőmérsékleten, amelyet a ma rendelkezésre álló hőszigetelő anyagok még kibírnak.

A hajtóanyagoknak több más fontos kritériumot is ki kell elégíteniük. Ezek a következők:

- a hajtóanyag sűrűsége, fajlagos energiája lehetőleg nagy legyen, mert ezáltal az égőtér kisebb lehet, a tömegviszony pedig nagyobb;
- az égési folyamatnak még a lehető legkisebb nyomásnál sem szabad megszakadnia;
- mechanikai szilárdsága nagy legyen, vagy az anyag legyen rugalmas. (Ez azért fontos követelmény, mert a töltet nagy nyomás alatt áll, azonkívül a gyorsító erők hatására tekintélyes igénybevételek is fellépnek. Az égési folyamat alatt a törésvonalak mentén az égőfelület megnövekedik, ami a nyomás növekedéséhez, ezáltal robbanáshoz és a rakéta megsemmisüléséhez vezetne.);
- a hajtóanyagban hosszú tárolás után sem szabad vegyi változásnak fellépnie;
- ne legyen nedvszívó és égése ne függjön jelentősen a külső környezeti hőmérséklettől, előállítása legyen olcsó és veszélytelen.

## **1. Homogén hajtóanyagok**

Tüzelőanyag és oxidálószer egy molekulát alkotó kémiai vegyülete. Egyik alapvető típusa az úgynevezett füstnélküli lőpor, amelyet tüzérségi lövedékekben is felhasználnak.

A kolloid hajtóanyagok fő összetevője a nitrocellulóz (cellulóz-nitrát) vagy más néven a lögyapot, melyet alkohollal, acetonnal, vagy leggyakrabban nitroglicerinnel mint oldószerrel keverve alkalmaznak. Általában a különböző homogén hajtóanyagoknak a nitrocellulóz tartalma 40-60 % között változik. Ezenkívül a hajtóanyagok különböző adalékokat is tartalmaznak, melyekkel a hajtóanyag fizikai-kémiai tulajdonságait lehet befolyásolni. Ilyenek lehetnek:

- katalizátorok (égésgyorsítók), esetleg flegmatizátorok (égésslassítók), melyek az égési sebességet szabályozzák oly módon, hogy az gyakorlatilag független legyen a nyomástól;
- stabilizátorok, melyek a hajtóanyag tárolása során biztosítják annak kémiai állandóságát;
- plasztifikálók, amelyek az előállítás folyamán elősegítik a zselatinná válást és javítják a hajtóanyag mechanikai sajátosságait. Százalékarányuk a 10 %-ot is elérheti.

Az oldószer nélküli hajtóanyagokat keverés és hengerlés után a felhasználáshoz szükséges kaliberen préselik át - extrudálják. Az így előállított hajtóanyag átmérője technológiai okok miatt 500 mm-re korlátozott. Repülőgép-fedélzeti rakétákban gyakran alkalmazzák.

## **2. Kompozit hajtóanyagok**

Ezt a típusú hajtóanyagot oxidáló és redukáló molekulák keveréke alkotja. Tulajdonképpen ebbe a csoportba sorolhatjuk a fekete lőport is, amely salétrom (oxidálószer), kén és szén (redukálószer, tüzelőanyag) keveréke. Nyilvánvaló azonban, hogy a fekete lőpor nem elégíti ki a megfelelő szilárdsági követelményeket, ezért hajtóanyagként nem alkalmazható.

Az első modern kompozit hajtóanyagot 1942-ben valósították meg, Pasadena-ban (USA), a Jet Propulsion Laboratory-ban. Ebben a hajtóanyagban, amely a Kalcit 53 nevet kapta, a redukálószer molekuláit egy plasztik kötőanyagban helyezték el, amely tüzelőanyagként szolgált.

A keverék hajtóanyagok tüzelőanyagaként rendszerint kaucsuk- és gyantaszerű anyagok (természetes és mesterséges kaucsuk, karbamid és fenolgyanták, szurok, polimer-butadének, poliuretánok, stb.) szolgálnak. A robbanóanyag tömegének 10-15 %-át teszik ki.

Oxidátorként felhasználhatók, nagy oxigén tartalmú szervesetlen vegyületek (ammónia-, nátrium-, kálium-, lítiumperklorátok és nitrátok). A tömeg 65-70 %-át teszik ki.

A különböző komponenseket összekötő (ragasztó) elem maga a hajtóanyag, vagy speciális adalék lehet.

A hajtóanyag energetikai jellemzői fémporok (alumínium, magnézium, stb.) bevitelével javíthatók! A tömeg 15-20 %-a lehet.

Az első táblázat a kompozit hajtóanyagokban alkalmazott oldószereket mutatja be, míg a másodikból néhány kompozit hajtóanyag összetételét ismerhetjük meg.

Oxidálószer	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Szabad oxigén tömeg %	Bomlási hőfok K	Megjegyzés
Ammónium perklorát NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	1,95	34,0	> 540	Különböző szemcse- nagyságban fordul elő, olcsó
Káliumperklorát KClO <sub>4</sub>	2,53	46,2	> 770	Az égéstermékek KCl-t tartalmaznak
Ammóniumnitrát NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,72	20,0	igen stabil	Közepes teljesítményű, füstmentes
Káliumnitrát KNO <sub>3</sub>	2,11	40,0	-	Gyenge teljesítményű, olcsó

1. számú táblázat A kompozit hajtóanyagokban alkalmazott oxidálószer

Összetétel	Hajtóanyag verzió			
	1	2	3	4
KClO <sub>4</sub>	76 %			
NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>		80 %		68 %
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>			80%	
Aszfalt	17 %			
Kőolaj	7 %			
Szerves kötőanyag		20 %	18 %	14 %
Fémpor tüzelőanyag				16 %
Egyéb			2 %	2 %

2. számú táblázat Néhány hajtóanyag összetétele

### 3. Hajtóanyag formák

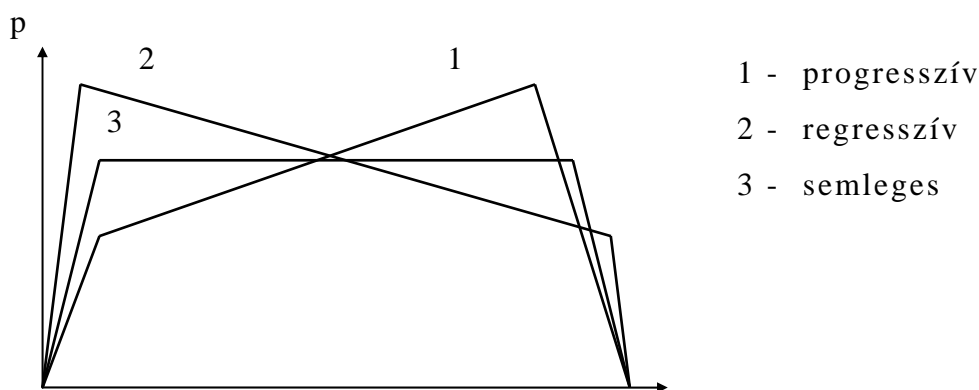
Az egységnyi idő alatt keletkezett gázok mennyisége (mg) arányos a töltet égési felületével (S):

$$mg = S\rho u \quad (3.1)[1]$$

ahol  $\rho$  - a töltet sűrűsége  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

u - az égés sebessége  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

Ha az égés folyamán az S felület növekszik progresszív, ha csökken degresszív, ha pedig változatlan semleges égésről beszélünk (lásd 1. számú ábra)



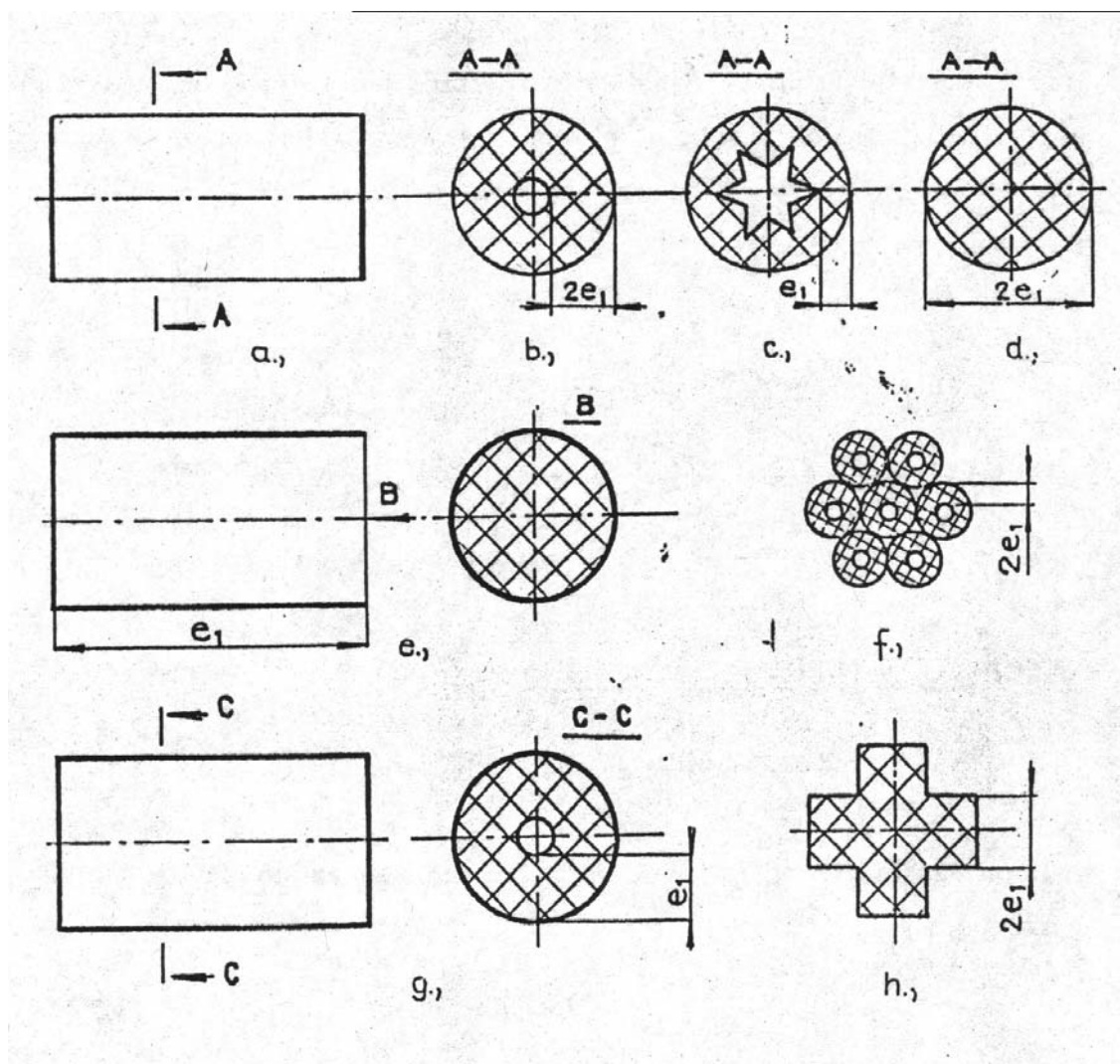
1. ábra  
Különböző égési módozatok

A töltet égési ideje mindhárom esetben  $t_a$  és ez alatt az idő alatt a hajtómű összimpulzusa

$$I = \Sigma I = \int_0^{t_a} p(t) dt \quad (3.2)[1]$$

ahol a  $p(t)$  az égőtérben uralkodó nyomás.

Az ábrából jól látható, hogy a gázok maximális nyomása semleges égés esetén a legkisebb, ami lehetővé teszi az égőtér falvastagságának csökkentését. Az égés jellege a töltet formájával, keresztmetszetével befolyásolható. Lényeges paraméter még az égő réteg vastagsága is, amely gyakorlatilag egyenlő a töltet legvékonyabb falvastagságával, vagy annak felével (lásd 2. ábra) és a hajtómű működési idejének meghatározásához kiinduló adatként szolgál.



2. ábra  
Hajtóanyag formák

A hajtómű töltet formáján kívül az égés jellege befolyásolható még az egyes felületek hőszigetelő réteggel történő bevonásával is.

A 2. ábrán látható hajtóanyag formák közül a  $d$  és a  $h$  degresszív, az  $a$  és a  $g$  progresszív, a többi pedig semleges égést biztosít.

A formák közül a legelterjedtebb a csöves töltet (2. ábra  $a$ ,  $b$ ), amely kör keresztmetszetű csatornával ellátott hengeres test. A töltet homlokfelületeit hőálló réteg borítja.

Az égés sebessége a belső és külső homlokfelületeken megegyezik, az azonos mértékben növekvő és csökkenő felületek összege nem változik.

Ez igaz a 2/f ábrán látható csöves kötegelt töltetre is. Ezt a formát gyakran alkalmazzák nem irányítható rakétákban, ahol rövid idő alatt nagy tolóerőt lehet kifejteni, ami a találati valószínűséget javítja (rövidebb a rakéta repülési ideje).

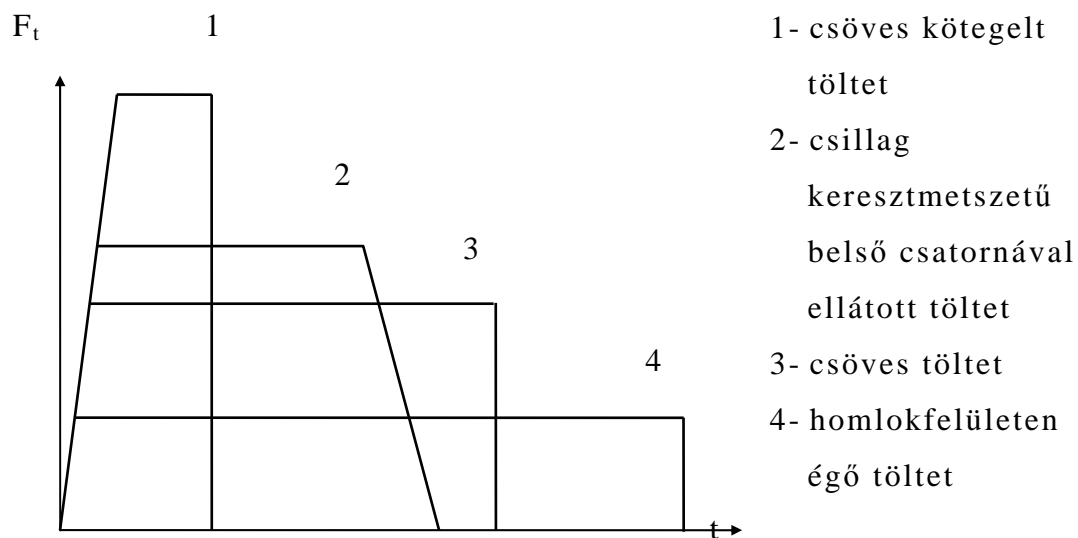
A csillag (2/c) ábra) keresztmetszetű belső csatornával ellátott töltet csak a belső felületen ég (a két homlokfelület hőálló réteg védi, a külső palástfelület az öntési eljárás következtében rés nélkül érintkezik az égőtér falával). A belső csatorna csillag formájával biztosítható az égési felület állandósága az  $e_1$  réteg elégésének idejéig.

A  $b$  és a  $d$  formájú hajtóanyag töltetek esetében rést kell biztosítani az égőtér belső felülete és a hajtóanyag között, hogy a külső felület égésekor keletkező gázok a fúvócsőbe juthassanak. Természetesen az égőteret ebben az esetben hőálló bevonattal kell ellátni.

A homlok felületén égő töltet (2/e ábra) viszonylag kis égési felülettel és nagy vastagsággal rendelkezik. Utazó vagy menet hajtóművekben alkalmazzák, mivel viszonylag kis tolóerőt hosszú időn keresztül képes biztosítani.

A 3. ábrán a hajtómű tipikus tolóerő diagramjai láthatók azonos összimpulzussal rendelkező hajtóanyag töltetek esetén, különböző keresztmetszetek alkalmazásával.





3.ábra  
Tolóerő diagramok

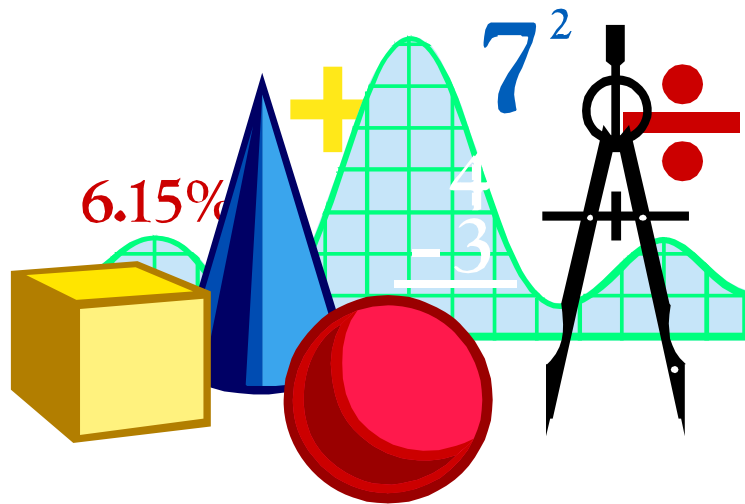
Felhasznált irodalom:

[1] Kakula János mk.őrnagy: Rakéták szerkezetana, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1989

[2] Kakula János mk. őrnagy: Robbanóanyagok és a robbanás hatásai, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, , Szolnok 1990

[3] A. N. Dorofjev, A. P. Morozov: Aviacionije bojepripaszi, Vojennaja Vozdusnaja Inzsenyernaja Akagyémija imenyi prof. N E. Zsukovszkova, Moszkva 1978

*The purpose of the author is to review engine propellants of on-board missiles and their composition, and also different propellant forms.*



# MATEMATIKA-TUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Szántai Tamás

Rovatszerkesztők: Bottyán Zsolt

## “XX. HAJÓS GYÖRGY MATEMATIKA VERSENY”

(1998. április 15-17.)

**Kun Mária egyetemi tanársegéd  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Vezetés- és Szervezéstudományi  
Kar Természettudományi tanszék**

A műszaki főiskolák Hajós György Matematika Versenyét huszadik alkalommal rendezték meg Győrött, a Széchenyi István Főiskolán. Idézzük fel a versenyszabályzat néhány fontos részletét:

### **1. Általános felhívás:**

1.1. Az Ybl Miklós Építőipari Műszaki Főiskola az iparoktatás 100 éves évfordulója alkalmából a műszaki főiskolák hallgatói számára

*matematika tanulmányi versenyt*

hirdet meg és

### **HAJÓS GYÖRGY VÁNDORSERLEGET**

alapít.

A verseny elődjének tekinti a Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola által meghirdetett Neumann János matematika tanulmányi versenyt, amely az 1977/78-as tanévben, a versenykihívásnak megfelelően véget ért.

1.2. **A verseny célja:** a műszaki főiskolák hallgatói körében a matematika iránti nagyobb érdeklődés felkeltése, a matematika népszerűsítése, a versenyre hívott főiskolák hallgatói, illetőleg matematikát tanító oktatói közötti kapcsolat és együttműködés elősegítése.

## **2. A verseny résztvevői:**

2.1. A versenyen a versenyre meghívott műszaki főiskolák nappali tagozatos hallgatói előzetes nevezés alapján vehetnek részt.

Egy főiskola legfeljebb négy hallgatót nevezhet. Minden versenyző résztvevője az egyéni versenynek. Az egyéni versenyzők sorrendjének megállapítása a versenyen szerzett pontok alapján történik. Az elért pontszámok ismeretében minden nevező főiskola kijelöli versenyzői közül az iskoláját képviselő legfeljebb háromtagú csapatot. A csapatok csapatversenyben vesznek részt.

2.2. Azok a főiskolák, amelyek két városban is folytatnak nappali tagozatos üzemmérnök-képzést, a két székhelynek megfelelően 4-4 hallgatót nevezhetnek, és külön csapatokat indíthatnak. Két csapat indítása esetén a csapatok neve mellett a székhely megnevezése is szerepel.

## **3. A verseny rendezése:**

3.1. A versenyt első alkalommal a YMÉMF rendezi meg az 1978/79-es tanévben Budapesten.

3.2. A további években a verseny rendezőjének kijelölése az arra vállalkozó főiskolák közös megegyezése alapján történik, az ezzel kapcsolatos egyeztetési feladatokat a versenyt abban az évben rendező főiskola látja el.

A Neumann János Matematika Versenyt összesen négy tanévben rendezték meg. A négy alkalomból három esetben a GAMF szerezte meg az első helyet és a vándorserleget, így az alapító okiratnak megfelelően a verseny befejeződött. A fentiekből kitűnik, hogy az országos megmérettetésre eddig 24-szer került sor. Érthető, hogy a tavalyi sikeres szereplésünk után (egyéni III. helyezett Veres Zoltán; csapat V. hely) nagy izgalommal készültünk az idei versenyre. A szakkör levelező formában működött. Versenyzőink minden héten kaptak egy feladatsort, melynek megoldásait

megbeszéltük. Sajnos, ez a módszer nem volt mindig sikeres, hiszen hallgatóink elfoglaltsága elég szerteágazó. Rendeztünk egy házi versenyt is, valamint az utolsó héten intenzív felkészítést tartottunk.

A Matematika Tanszék szolnoki szakcsoportjának minden tagja figyelemmel kísérte a versenyzőket és együtt szurkoltunk a hallgatóknak, majd örültünk a sikereiknek.

### **A verseny eredménye:**

*Egyéni:*

1. Hadászi Zoltán                      Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Budapest
2. Sári Péter                              Ybl Miklós Műszaki Főiskola
3. Békési Zoltán                        Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Budapest
4. Nagy István                            KLTE Műszaki Főiskolai Kar
- 5. Szabó Veronika                      ZMNE Szolnoki Repülőtishti Intézet**
6. Rajczi Gábor                          JPTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar
7. Kálmán Edit                          JPTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar
- 8. Bana Zsolt                            ZMNE Szolnoki Repülőtishti Intézet**
- 9. Veres Zoltán                        ZMNE Szolnoki Repülőtishti Intézet**
10. Bartók Flórián                      Gépipari- és Automatizálási Műszaki Főiskola
11. Mihácsi Melinda                    Könnyűipari Műszaki Főiskola
12. Kápolnás Gergely                  Ybl Miklós Műszaki Főiskola
- 13. Ivánka László                      ZMNE Szolnoki Repülőtishti Intézet**

*Csapat:*

1. Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Budapest
- 2. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem vegyes csapata  
(Repülőtishti Intézet)**
3. JPTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar
4. Ybl Miklós Műszaki Főiskola

5. Gépipari- és Automatizálási Műszaki Főiskola
6. Bolyai János Katonai Műszaki Főiskola
7. Bánki Donát Műszaki Főiskola
8. KLTE Műszaki Főiskolai Kar
9. SZIF
10. Könnyűipari Műszaki Főiskola
11. Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Kar
12. Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Székesfehérvár
13. KÉE Élelmiszeripari Főiskolai Kar

**Visszatekintő:**

Hallgatóink az 1977/78-as tanévtől kezdődően 21 alkalommal vettek részt a műszaki főiskolák országos versenyein. A résztvevő főiskolák létszáma 17 és 13 között változott.

<u>Helyezéseink:</u>	egyéni (1-10.)	csapat (1-3.)
1978.	2. Molnár János 4. Pokorádi László 5. Újlaki György	2.
1979.	4. Pix Gábor 10. Molnár János	3.
1980.	2. Pix Gábor 3. Hanácsék László	2.
1981.	1. Pix Gábor	-
1982.	-	-
1983.	3. Kókai János 9. Than Son	3.
1984.	4. Phan Thank Nguyen	-

1985.	10. Le Van Hien	-
1986.	1. Le Van Hien 5. Filkó Attila	2.
1987.	1. Tran Thu Trnag 5. Le Van Hien	2.
1988.	5. Tran Thu Trang	-
1989.	6. Sári József	-
-	-	-
•		
1997.	3. Veres Zoltán	-
1998.	5. Szabó Veronika 8. Bana Zsolt 9. Veres Zoltán	2.

A verseny rendezői voltunk 1980-ban és 1989-ben.

A szakkört szeretnénk folytatni és készülünk a következő évi versenyre, hiszen a Hajós György Matematika Verseny népszerűsége töretlen. Ezek a versenyalkalmak nagyon fontosak és hasznosak mind a főiskolai hallgatók, mind a matematikát oktatók számára.

### **Emlékeztető:**

**Hajós György** (1912-1972.) magyar Kossuth-díjas matematikus, akadémikus, egyetemi tanár volt. Jelentős eredményei a geometria és a csoportelmélet körébe tartoznak, de munkássága kiterjedt a determinánselmélet, a gráfelmélet és a lineáris egyenlőtlenségek témakörére is. Legnevezetesebb eredménye a geometriai számelmélet területén az ún. Minkowski sejtés bizonyítása volt.

**Neumann János** (1903-1957.) a XX. század egyik legnagyobb matematikusa. Tudományos munkássága sokrétű: matematikai logika, halmazelmélet, játékelmélet, operációkutatás, elektronikus számológépek, kvantumelmélet.

*Oklevél*

Szabó Veronika

részére

a műszaki főiskolák országos

Hajós György

Matematika Versenyen

elért

5. helyezését

Győr, 1998. április 17.

*Andrási*  
a Versenybizottság elnöke

*K. F. R.*  
Főigazgató





*Oklevél*  
A

ZMNE Repülőtishti  
Főiskolai Kar

csapata részére

a műszaki főiskolák országos

Hajós György

Matematika Versenyen

elért

2. helyezését

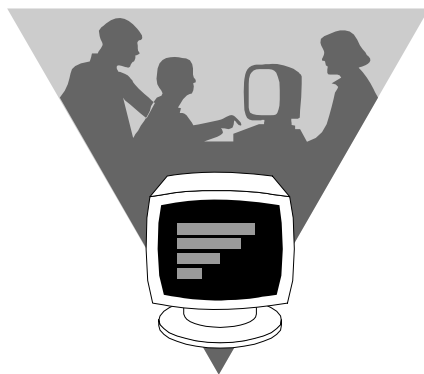
Győr, 1998. április 17.

*Molnár*  
a Versenybizottság elnöke



*[Signature]*  
Főigazgató





## **MŰSZAKI TUDOMÁNYI ROVAT**

Rovatvezető: Dr. Gedeon József

Rovatszerkesztők: Dr. Szabó László

Dr. Szabolcsi Róbert

Vörös Miklós

Timár Szilárd



# **DINAMIKUS MODELLEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE A HELIKOPTER AERODINAMIKA TANTÁRGY ELSAJÁTÍTÁSI HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE ÉRDEKÉBEN**

**Békési László mérnök ezredes**  
egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Repülő Sárkányhajtómű Tanszék

*A helikopter aerodinamika tantárgy oktatása során számos esetben problémaként jelentkezik a helikopter forgószárny működésének és vezérlésének magyarázatakor a statikus táblai rajz alapján való megértés. Ennek a problémának a megoldását a sárkány-hajtómű tanszéken a dinamikus modellek használatával sikerült megoldani. A cikk egy példán keresztül mutatja be egy modell használatával a tananyag elsajátítási hatékonyságának növelését.*

## **BEVEZETÉS**

Az oktatás mint bonyolult tevékenység igen sok változót tartalmaz. Adott esetben e folyamat korszerűsítése csaknem minden lényeges kérdést érintő, elméletileg jól megalapozott koncepcióval lehetséges. Folyamatosan keresni kell azokat a technológiákat, amelyekkel hatékonyabban oldható meg az adott tananyag, vagy tananyagrészt magyarázata, a hallgatók részéről annak elsajátítása, bevésése.

## **1. DINAMIKUS MODELLEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE**

A helikopter aerodinamika tantárgyban az oktatástechnikai eszközök alkalmazásakor az, hogy egy tanítási órán vagy foglalkozáson milyen segédeszközt alkalmaz a tanár, egyáltalán nem lehet a véletlen műve. Az eszközök megválasztása nem alapulhat csak a tapasztalaton, amelyet esetleg az ösztönösség vagy jó pedagógiai érzék vezérel, hiszen a spontaneitás a pedagógus munkájában látszateredményhez vezethet csak.

A tanárnak tudatosan ki kell használni az összes lehetőséget annak érdekében, hogy a meglévő oktatástechnikai eszközöket a didaktikai feladatnak legmegfelelőbben alkalmazza. Nyitottnak kell lennie olyan tevékenységre is, hogy folyamatosan újítsa

szemléltető eszköztárát, esetleg önmaga tervezett és kivitelezett eszközöket is alkalmazzon az adott tananyag egyszerűbb, jobb és könnyebb megértése érdekében.

Nyilvánvaló, hogy ilyen eszköz megtervezését a tananyag elemzése előzi meg. Az eszköz tervezésének alapvető szempontja, hogy több tartalmilag hasonló téma szemléltetésére is alkalmas legyen.[5]

Metodikai szempontból fontos, hogy olyan eszközt - lehetőleg a legegyszerűbbet - kell választani, amely elősegíti a tananyag könnyebb és gyorsabb megértését, adott esetben figyelembe véve a biztonságot és a gazdaságosságot is.

Nézzünk meg egy működő modellt, amely a "Helikopter aerodinamika" és a "Helikopter szerkezetan" tantárgyakban jó eredményességgel alkalmazható.

A helikopterek kormányzását - mint ismeretes - a forgószárny vezérlésével lehet megvalósítani [3]. Kövessük végig a "segédlapátos" helikopter forgószárny-vezérlés működő modelljének mint oktatási eszköz kiválasztásának szempontjait, majd alkalmazását az oktatásban.

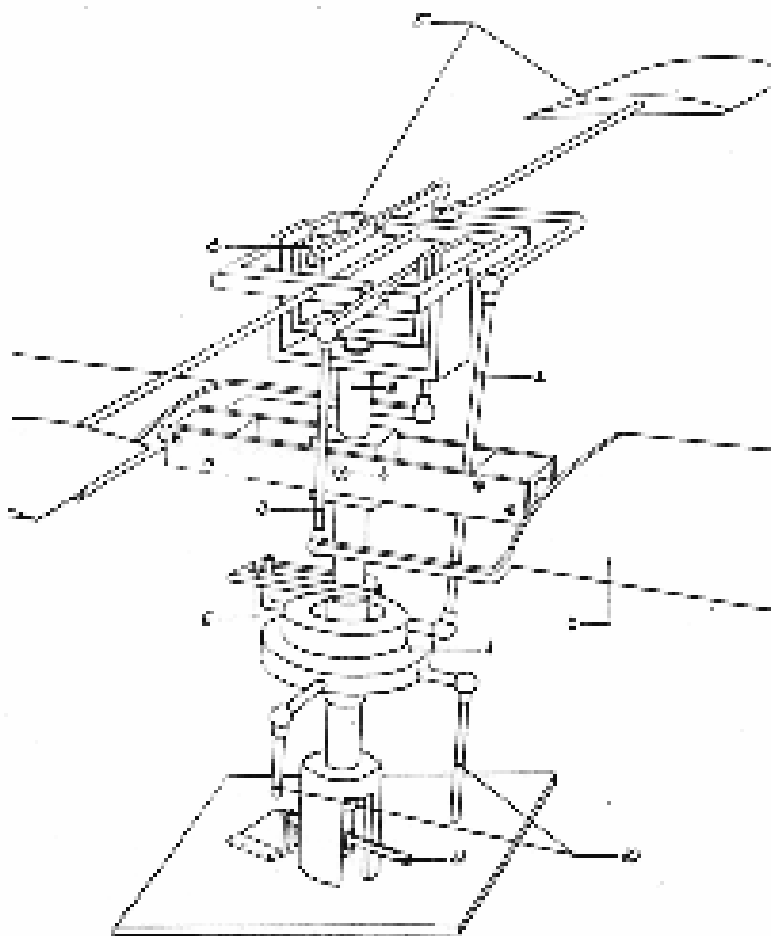
Az ilyen, úgynevezett komplex oktatástechnikai eszköz kiválasztásának menete a következő lépések szerint történt:

- 1./ Mérlegelni kellett, hogy a tananyag-tartalom, jelen esetben a forgószárny-vezérlés megköveteli-e egy valóságos helikopter forgószárny vezérlésének megfigyelését.
- 2./ Igényel-e a tananyag-tartalom gondolati vagy manipulációs tevékenységet?
- 3./ Figyelembe kellett venni, hogy ilyen forgószárny-vezérlésű valóságos helikopter nem áll rendelkezésre.
- 4./ A valóságos helikopter észlelése, közvetlen megfigyelése nem lehetséges azért sem, mert a működő valóságos helikopter megfigyelése balesetveszélyes, ugyanakkor gazdaságtalan is.

A fent említett szempontok miatt tehát célszerű a valóság egy olyan egyszerűsített változatát alkalmazni, amelyen felismerhetők a valóságos helikopter-forgószárny vezérlésének lényeges jegyei, elemei, jellemzői. A geometriai és fizikai hasonlóság miatt ezek a jellemzők felismerhetők és bemutatathatók.[2]

Figyelembe lett véve, hogy a valóságos helikopter leegyszerűsített jegyeit magán viselő modell a tanteremben elhelyezhető legyen, és hogy a működtethető modell mozgásában, pillanatnyi állapotában és esetleg mindkét állapotban célszerűen alkalmazható legyen.[4]

A "segédlapátos" helikopter-forgószárny vezérlés modelljének tervezett egyszerűsített vázlatát láthatjuk az 1.sz. ábrán.



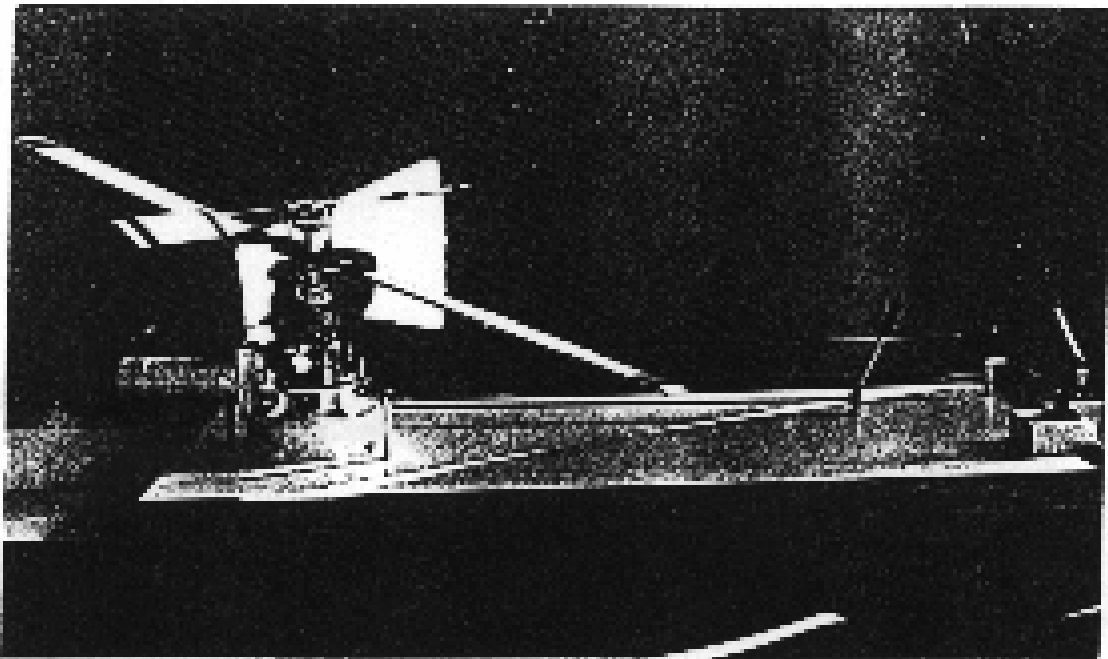
1. ábra

A "segédlapátos" helikopter-forgószárny vezérlés modelljének tervezett egyszerűsített vázlata

1. vezérlő automata, 2-3. tolórudak, 4. központi vízszintes csukló,
5. segédlapát a vezérlő kerettel, 6. vezérlő automata meghajtása,
7. forgószárny-lapát, 8. villa, 9. forgószárny-tengely, 10. a ciklikus vezérlés rudazatai, 11. közös lapátbeállítási szög vezérlés

Az volt a cél, hogy bemutatható legyen statikusan az egyes alkatrészek szerelési sorrendje, egymáshoz való kapcsolódásuk, dinamikusan pedig (forgás közben!) a lejátszódó folyamatok szakaszos, ismétlődő, lassított vagy gyorsított változatai, valamint a működés közben nem látható alkatrészek funkciója.

Az elkészült működő modell több selejtes alkatrész célszerű felhasználásával lett megépítve és a 2.sz. ábrán látható.



2. ábra  
Működő modell

## 2. A MODELL HASZNÁLATÁNAK HATÉKONYSÁGA

Az oktatás során tehát egy célszerűen kiválasztott eszközt használhat a tanár, amellyel szemléletesen bemutathatja az ilyen típusú forgószárny-vezérlés szerkezetét. Az alkatrészek elnevezését beilleszti az eddig már megtanult fogalmak rendszerébe. Bemutatja, hogyan hatnak a légerők a lapátokra. Külön mutatható be a közös lapátbeállítási szög vezérlés és a ciklikus lapátbeállítási szög vezérlés hatása a forgószárnyra.[1]

Fontos, hogy azt látja a hallgató, hogy a botkormány irányába dől meg a forgószárny forgáskúpja, mintegy bizonyítva, hogy ilyenkor a forgószárnyon keletkező légerő is ugyanolyan irányba dől meg, vagyis ennek a haladás irányába eső komponense fogja a helikoptert haladó mozgásra kényszeríteni.

A hallgatók maguk is használhatják a modellt, így újra észlelhetik a dinamikus mozgás törvényszerűségeit, újból és újból megfigyelhetik az alkatrészek mozgásviszonyait. Így a közvetlen érzékelés, a teljes folyamat észlelése nem csak erős élményhez és emlékképhez kötődik, hanem a már ismert általános törvényszerűségek rendszerébe logikusan illeszkedve jelentősen megerősíti és ugyanakkor tartóssá teszi a megértést.

Természetesen más tananyagrészhöz is szerkeszthető, építhető hasonló didaktikai elvek alapján működő modell.

A további fejlődés lényeges elemének tartom, hogy a működő modellek alkalmazását a tanóra hagyományos elemein kívül - ahol erre lehetőség van - kapcsoljuk össze a korszerű eszközök és információhordozók alkalmazásával, mint például a videofelvétel és számítógép. Ezen túlmenően véleményem szerint a jövő a multimédiás eszközök és módszerek alkalmazása úgy az oktatásban, mint a tudományos munkában.

## **ÖSSZEFOGLALÁS**

A cikk bemutatta, hogy az aerodinamika tantárgyban a működő modell mint oktatástechnikai eszköz kiválasztásakor, milyen szempontok kerültek előtérbe az oktatás során a működés megértése hatékonyságának növelése érdekében. Hogyan és mit láthat, érzékelhet a hallgató a modell alkalmazásakor. A feldolgozott téma egy részterületét érinti csupán a repülő sárkány-hajtómű tanszéken alkalmazott hasonló didaktikai elvek alapján megtervezett és megvalósított, modelleken keresztül bemutatható forgószárnyvezérlési megoldásoknak.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Békési László A működő modellek szerepe a repülőgép- és helikopter sárkányhajtómű szakon tanuló hallgatók képzésében, Katonai főiskolai közlemények, 1986/X/1.
- [2] Bazov D.I. Helikopter aerodinamika, Transzport, Moszkva, 1969.
- [3] Dmitriev I.Sz. - Eszaulov Sz.Ju. Egyforgószárnyas helikopterek vezérlő rendszerei, Masinosztroenyie, Moszkva, 1969.
- [4] Martinova A.K. Helikopter aerodinamikai kísérleti vizsgálatok, Masinosztroenyie, Moszkva, 1972
- [5] Szakoktatási Pedagógiai Intézet Útmutató egyes szemléltető eszközök és szakanyagaik elkészítéséhez, Budapest, 1974.

*In process of teaching subject of aerodynamics of helicopter understanding the explanation of working and operating of rotating wing by drawing them on chalkboard often occurs as a problem. At the Airframe and Engine Department they succeeded in solution to these problems by demonstrating dynamics models. This article, through an example by using a model, shows the increasing effectivity of learning the subject.*

# ÉRTÉKTARTÓ SZABÁLYOZÁSI RENDSZEREK SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉSE

**Dr. Szabolcsi Róbert<sup>\*</sup>, Dr. Ludányi Lajos<sup>\*\*</sup>, Eszes János<sup>\*\*</sup>**

**Tóth Tivadar<sup>\*\*</sup>, Kovács József<sup>\*\*</sup>**

**<sup>\*</sup> egyetemi docens, <sup>\*\*</sup> egyetemi adjunktus**

**ZMNE Vezetés- és Szervezéstudományi Kar, Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

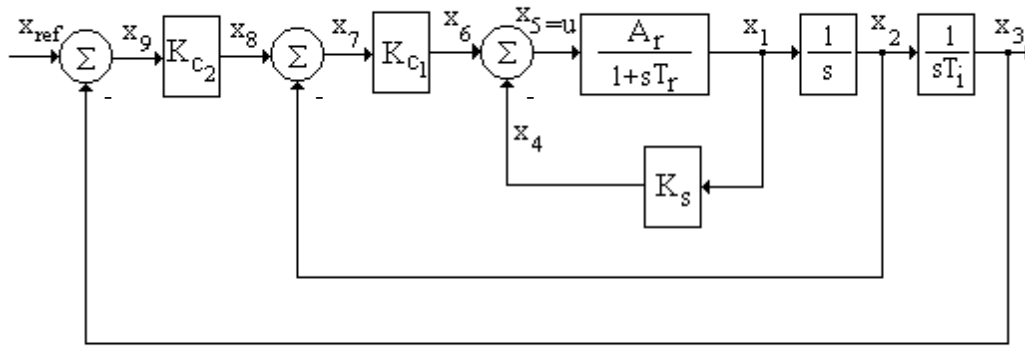
*A szerzők célja bemutatni a négyzetes integrálkritériumon alapuló optimális szabályozó tervezési eljárás gyakorlati alkalmazását. A tervezés során az irányszög automatikus stabilizálását biztosító rendszert vesznek alapul. Végrehajtják az áttérést az állapot térre, majd a teljes állapotvisszacsatolású rendszer számára szabályozót terveznek az LQR (Linear Quadratic Regulator) módszer felhasználásával. Bemutadják az optimális szabályozóval rendelkező rendszer viselkedését időtartományban. A tervezést és az analízist a MATLAB<sup>®</sup> programcsomag, valamint a Control System Toolbox segítségével hajtják végre.*

## 1. BEVEZETÉS

Az első repülésszabályozó rendszerek alapvető feladata az egyes repülési jellemzők (pl. repülési irányszög, bedöntési szög, repülési magasság stb.) stabilizálása volt. A rendszer bekapcsolásakor elkezdődött annak a térbeli pozíciónak a tartása, amelyet a repülőgép a bekapcsolás pillanatában foglalt el. Az első robotpilóták mindössze egy-két repülési jellemzőt voltak képesek stabilizálni. A mai modern repülőgépek esetében ez a szám jóval nagyobb és géptípusonként változik. A robotpilótával felszerelt repülőgépek közül szinte mindegyik képes az Euler szögeket (irányszög, bedöntési szög, irányszög) stabilizálni. Ezeket a funkciókat sokszor kiegészíti a repülési magasság-, repülési sebesség-, oldalkoordináta stabilizáló, valamint leszálláskor irány- és sikló pályán tartó funkció is.

## 2. TELJES ÁLLAPOT-VISSZACSATOLÁSÚ ÉRTÉKTARTÓ SZABÁLYOZÁSI RENDSZEREK SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉSE

Tervezzünk szabályozót az irányszög stabilizáló rendszer számára, melynek hatásvázlata az 1. ábrán látható [1,2,7].



1. ábra Az irányszög stabilizáló rendszer hatásvázlata

A szabályozási rendszer rendezői legyenek a következők:

$$x_1 = \omega_x ; x_2 = \gamma ; x_3 = \psi, \quad (2.1)$$

ahol  $\omega_x$  orsózó szögsebesség,  $\gamma$  bedőlési szög,  $\psi$  irányszög.

A tervezést a négyzetes integráلكritérium minimálásával hajtjuk végre. A optimális szabályozó tervezéshez az alábbi integrál funkcionált  $J$  minimáljuk [2,5,6]:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \rightarrow \text{Min} \quad (2.2)$$

A tervezéshez térjünk át az állapottérre. Az 1. ábra alapján igazak az alábbi egyenletek :

$$x_1 = u \frac{A_r}{1+sT_r} \rightarrow u = x_1 \frac{1+sT_r}{A_r} = \frac{x_1}{A_r} + s x_1 \frac{T_r}{A_r} \quad (2.3)$$

$$\text{vagy } \dot{x}_1 = -\frac{x_1}{T_r} + u \frac{A_r}{T_r} \quad \text{és} \quad x_4 = K_S x_1 ; \quad u = x_6 - x_4 = x_6 - K_S x_1$$

Másrészt

$$\begin{aligned}
 x_2 = \frac{x_1}{s} &\rightarrow \dot{x}_2 = x_1 ; \quad x_6 = \mathbf{K}_{C_1} x_7 ; \quad x_7 = x_8 - x_2 ; \quad x_8 = \mathbf{K}_{C_2} x_9 \\
 \mathbf{u} = -\mathbf{K}_S x_1 + \mathbf{K}_{C_1} x_7 &= -\mathbf{K}_S x_1 + \mathbf{K}_{C_1} (x_8 - x_2) = -\mathbf{K}_S x_1 - \mathbf{K}_{C_1} x_2 + \mathbf{K}_{C_1} x_8 = \\
 &= -\mathbf{K}_S x_1 - \mathbf{K}_{C_1} x_2 + \mathbf{K}_{C_1} \mathbf{K}_{C_2} x_9 ,
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

valamint

$$x_3 = \frac{x_2}{sT_i} \rightarrow \dot{x}_3 = \frac{x_2}{T_i} ; \quad x_9 = x_{\text{ref}} - x_3 \tag{2.5}$$

Legyen a referencia jel zérus  $x_{\text{ref}} = 0$ , ezért  $x_9 = -x_3$ . A bemeneti vektor az alábbi módon határozható meg :

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K}_S x_1 - \mathbf{K}_{C_1} x_2 - \mathbf{K}_{C_1} \mathbf{K}_{C_2} x_3 = - \begin{bmatrix} \mathbf{K}_S & \mathbf{K}_{C_1} & \mathbf{K}_{C_1} \mathbf{K}_{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = - \mathbf{K} \mathbf{x} \tag{2.6}$$

ahol:  $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_S & \mathbf{K}_{C_1} & \mathbf{K}_{C_1} \mathbf{K}_{C_2} \end{bmatrix}$  - állapot-visszacatolási mátrix;

$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{bmatrix}^T$  - állapotvektor.

Az irányszög szabályozó rendszer állapotegyenletei tehát a következők :

$$\dot{x}_1 = - \frac{x_1}{T_r} + \mathbf{u} \frac{\mathbf{A}_r}{T_r} ; \quad \dot{x}_2 = x_1 ; \quad \dot{x}_3 = \frac{x_2}{T_i}, \tag{2.7}$$

vagy a szokásos mátrixszos jelölést alkalmazva :

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C} \mathbf{x}\end{aligned}\tag{2.8}$$

Az állapot- és a segédegyenlet vektorai és mátrixai az alábbiak lesznek :

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3]^T ; \mathbf{u} = u ; \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{A_r}{T_r} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T ; \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_i} & 0 \end{bmatrix} ; \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\tag{2.9}$$

A repülőgép dinamikája és kinematikája legyen a következő [7]:

$$A_r = 2,86 \text{ s}^{-1} ; T_r = 0,568 \text{ s} ; T_i = 17 \text{ s}\tag{2.10}$$

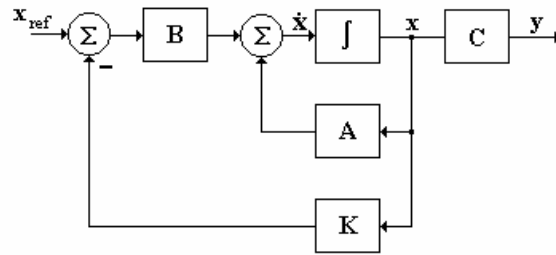
A (2.9) egyenlet mátrixai a következő módon írhatók fel [7]:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1,7605 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0588 & 0 \end{bmatrix} ; \mathbf{B} = [5,0352 \quad 0 \quad 0]^T\tag{2.11}$$

A teljes állapot-visszacsatolású rendszer bemeneti vektorát az alábbi módon határozhatjuk meg :

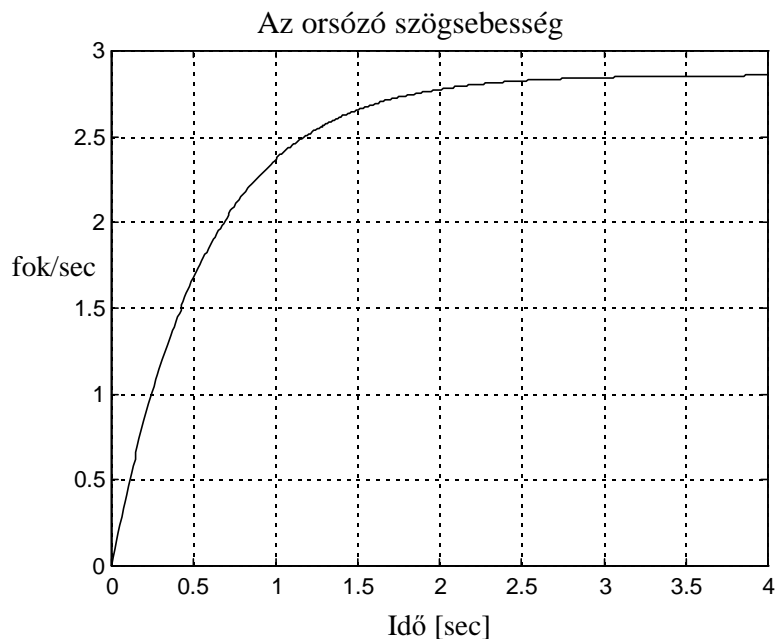
$$\mathbf{u} = -\mathbf{K} \mathbf{x}\tag{2.12}$$

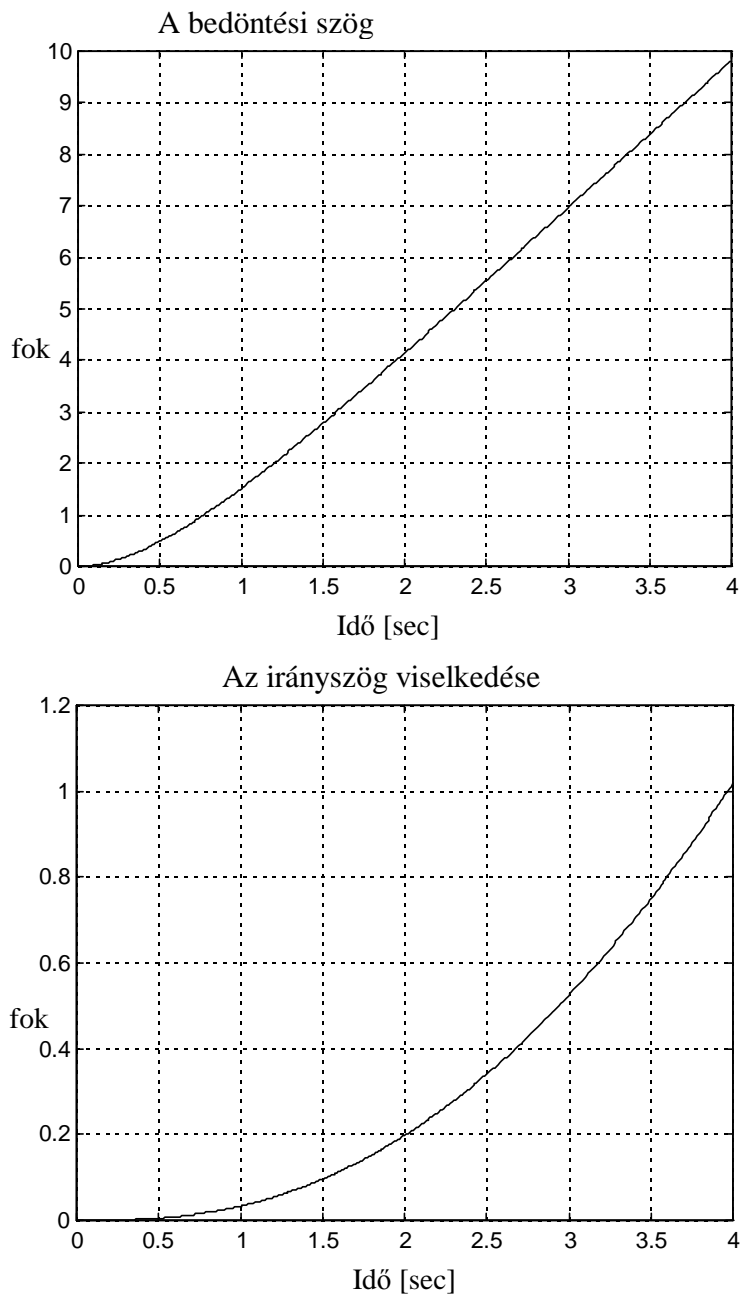
A szabályozási rendszer hatásvázlata a (2.8) és (2.12) egyenletek alapján a következő lesz :



2. ábra Az irányszög stabilizáló rendszer hatásvázlata

Vizsgáljuk meg a nemirányított repülőgép viselkedését az időtartományban. Legyen a nemirányított repülőgép bemeneti jele a csűrőlapok egységnyi, ugrásfüggvény jellegű kitérése. A repülőgép átmeneti függvénye a 3. ábrán látható. Figyeljük itt meg, hogy a bedöntési szögsebesség egytárolós jelleggel áll be az új értékére és a repülőgép ezzel a szögsebességgel orsózni kezd. Látható, hogy a bedőlési szög és az orsózó szögsebesség, valamint az irányszög és a bedőlési szög között is integráló kapcsolat határozható meg, amint azt az 1. ábrán feltételeztük.





3. ábra A nemirányított repülőgép analízise időtartományban

Tervezzünk a repülőgép számára olyan szabályozót, amely biztosítja, hogy az irányított repülőgép sajátértékei a [2] számú irodalom alapján az alábbiak legyenek:

$$\lambda_{1,2} = -0,7 \pm 0,8i ; \lambda_3 = -2,8 \quad (2.13)$$

A (2.2) integrál kritérium súlyozó mátrixainak elemeit az un. reciprok négyzetes szabály (inverse square rule) segítségével határozzuk meg. Mivel a repülésszabályozó rendszerek alapvető sajátossága az, hogy repülésbiztonsági, kényelmi, vagy egyéb szempontok miatt korlátozásokat alkalmaznak, ezért kiindulási alapnak tekintjük ezeket a paramétereket. A módszer alkalmazása során alaphelyzetben az egyes állapotváltozókat azonos súlyozással vesszük figyelembe. Az általunk vizsgált rendszerben a korlátozások legyenek a 75A repülőgép műszaki leírása alapján a következők:

$$|\omega_{x \max}| = 18^0 / \text{sec}, |\gamma_{\max}| = 90^0, |\psi_{\max}| = 20^0, |\delta_{cs \max}| = 3^0 \quad (2.14)$$

A tervezés során első közelítésben azonos súlyozással vegyük figyelembe az egyes állapotváltozókat. Alkalmazzuk a reciprok négyzetes szabályt, így az alábbi súlyozó mátrixokat kapjuk :

$$\mathbf{Q}_1 = \begin{bmatrix} 3,0864e-3 & 0 & 0 \\ 0 & 1,2345e-4 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0025 \end{bmatrix}; \mathbf{R}_1 = [0,1111] \quad (2.15)$$

Az LQR feladat megoldásához a Control System Toolbox lqr2.m programját alkalmazzuk [3,4]. Az optimális állapot-visszacsatolási mátrix, amely esetén a (2.2) integrál funkcionál minimális értéket vesz fel, a következő lesz :

$$\mathbf{K}_1 = [0,0808 \quad 0,0887 \quad 0,15], \quad (2.16)$$

vagy másképpen

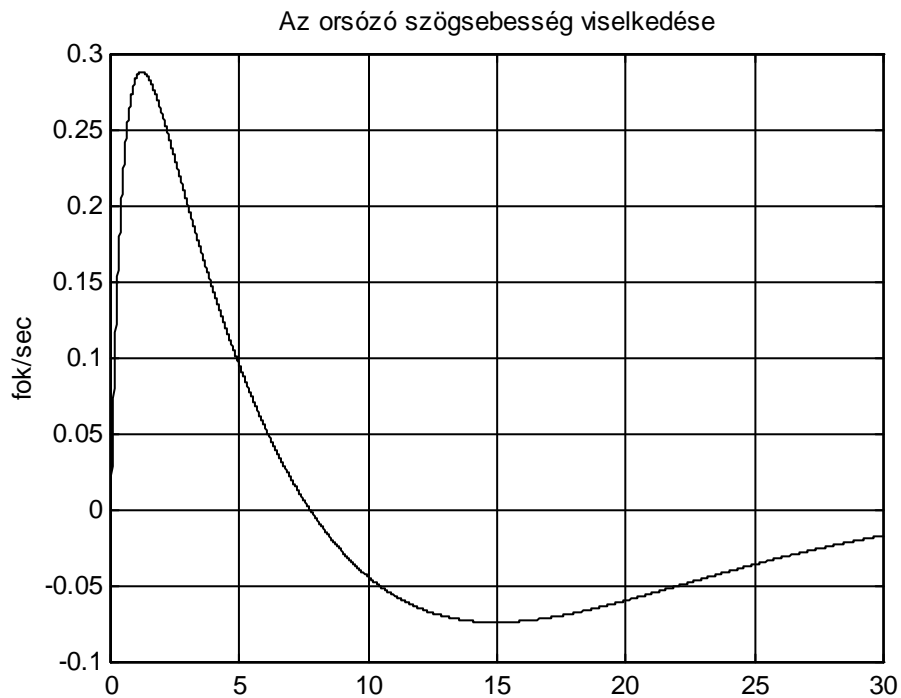
$$K_s = 0,0808, K_{c_1} = 0,0887, K_{c_2} = 1,6910 \quad (2.17)$$

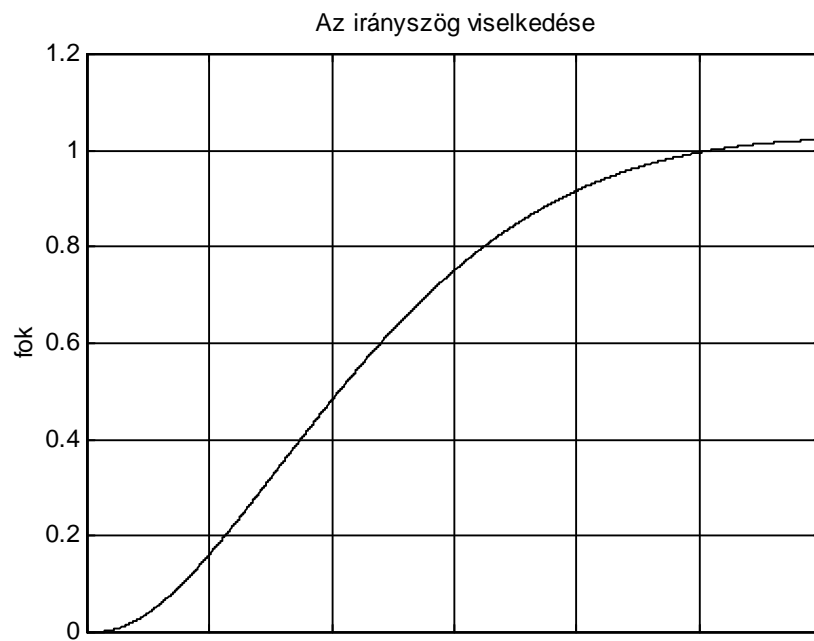
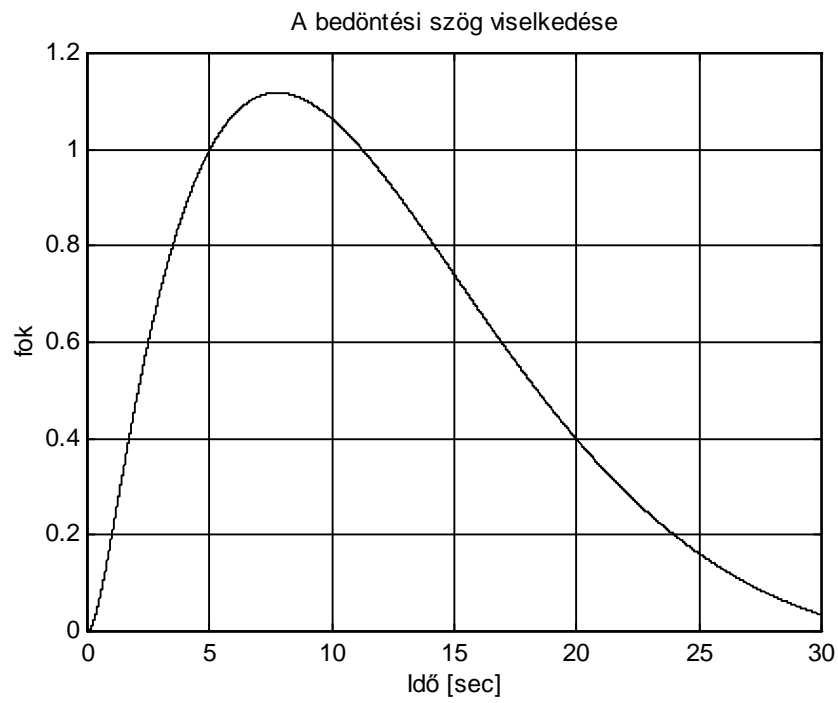


Határozzuk meg a zárt szabályozási rendszer sajátértékeit. A pólusok az alábbiak lesznek :

$$\lambda_{1,2} = -0,1087 \pm 0,1047i, \lambda_3 = -1,9499 \quad (2.18)$$

Összehasonlítva a (2.13) és a (2.18) egyenleteket azt mondhatjuk, hogy a reciprok négyzetes szabály közvetlen alkalmazása nem vezetett eredményre, az eltérés ugyanis lényeges a tervezési kritérium és a valós zárt szabályozási rendszer között. Vizsgáljuk meg most a rendszer viselkedését az irányszög ugrásszerű, egységnyi változására. A zárt rendszer átmeneti függvénye a 4. ábrán látható.





4. ábra A zárt rendszer viselkedése

Mint az a 4. ábrán jól látható, az irányszög új értékének beállításához mintegy 22 másodperc szükséges, ami főleg nagy manőverező képességű repülőgépek esetében megengedhetetlen. Ezért módosítsuk az integrál funkcionál (költség függvény) súlyozó mátrixait az alábbiak szerint:

$$\mathbf{Q}_2 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3,0864e-2 & 0 \\ 0 & 0 & 2000 \end{bmatrix}; \mathbf{R}_2 = [20] \quad (2.19)$$

Ebben az esetben az optimális állapot-visszacatolási mátrix a következő lesz :

$$\mathbf{K}_2 = [0,4633 \quad 0,9786 \quad 10,00], \quad (2.20)$$

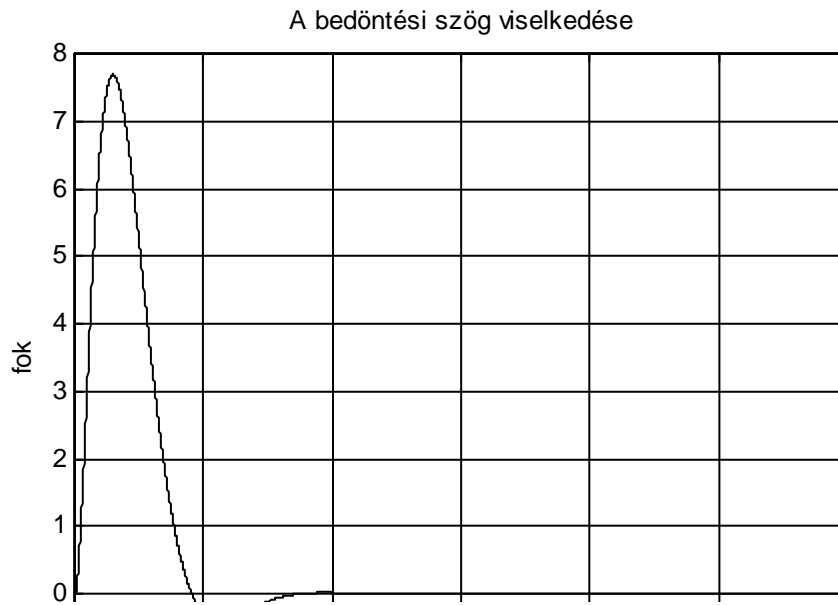
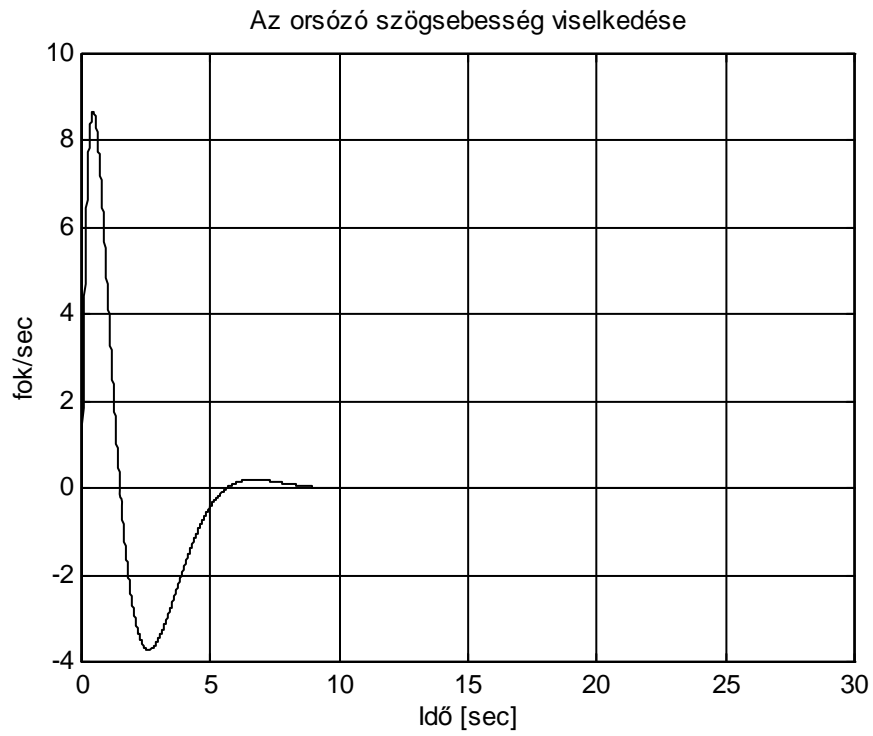
vagy másképpen

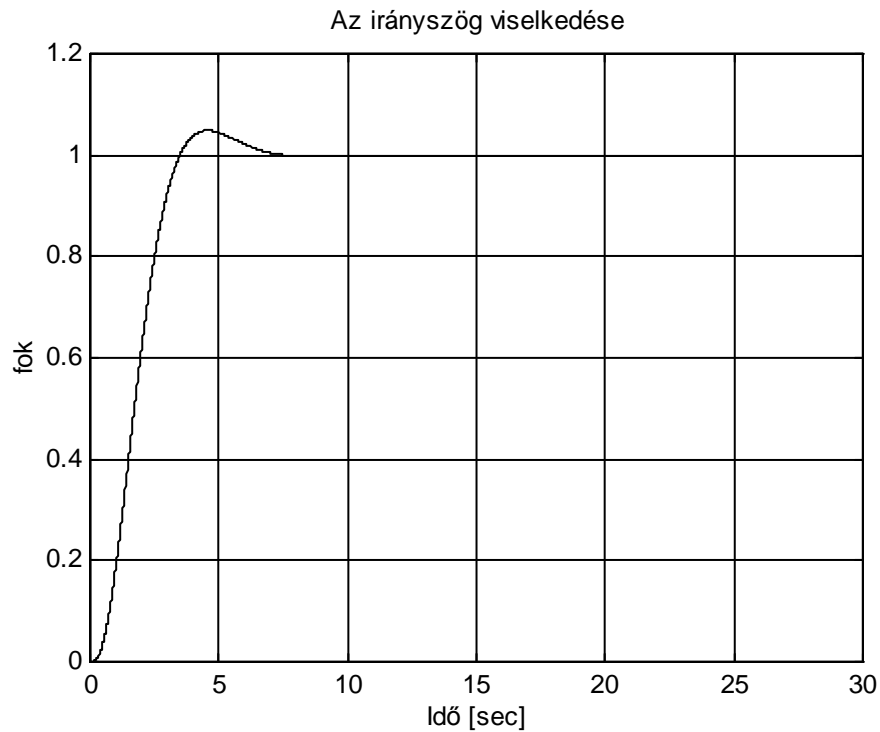
$$K_s = 0,4633, K_{c_1} = 0,9786, K_{c_2} = 10,2186 \quad (2.21)$$

Határozzuk meg most is a zárt szabályozási rendszer sajátértékeit. A pólusok az alábbiak lesznek :

$$\lambda_{1,2} = -0,7171 \pm 0,7740i, \lambda_3 = -2,6593 \quad (2.22)$$

Összehasonlítva a (2.13) és a (2.22) egyenleteket azt mondhatjuk, hogy a zárt rendszer pólusai jó közelítéssel megegyeznek azok kívánt értékeivel. Vizsgáljuk meg ezután a rendszer viselkedését az irányszög ugrásszerű, egységnyi változása esetén. A zárt rendszer átmeneti függvénye a 5. ábrán látható.





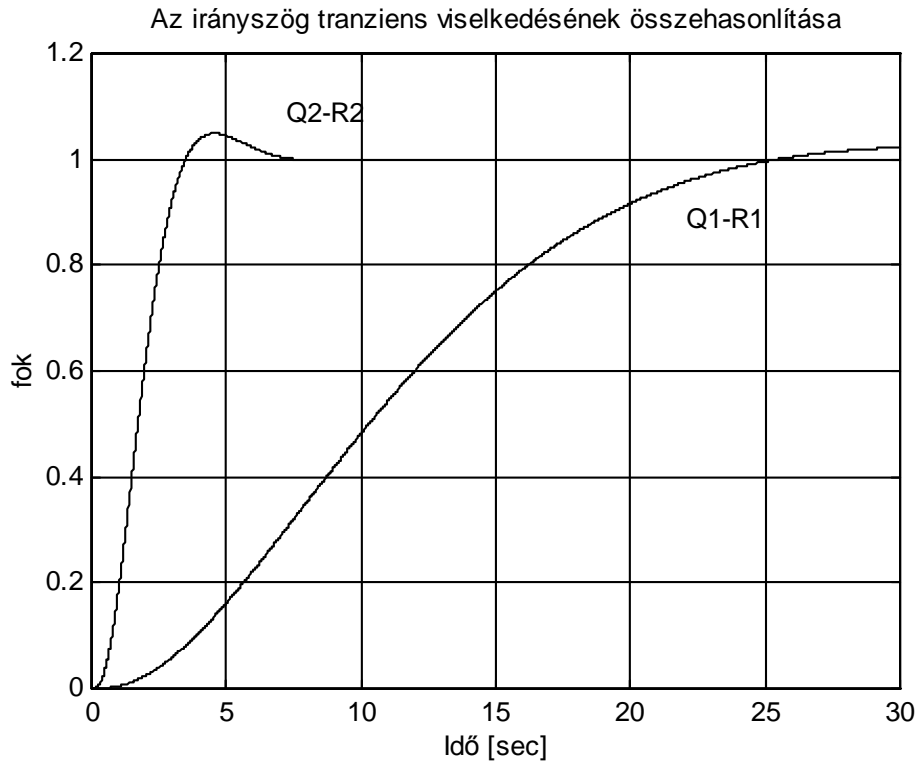
5. ábra A zárt rendszer átmeneti függvényei

Az 5. ábra alapján azt mondhatjuk, hogy a (2.19) súlyozó mátrixok biztosítják a zárt rendszer megfelelő minőségi jellemzőit. A (2.22) pólusokhoz tartozó csillapítási tényezők az alábbiak lesznek :

$$\xi_1 = 0,6796, \xi_2 = 0,6796, \xi_3 = 1 \quad (2.23)$$

A tranziens idő mintegy 7 másodperc, ami megfelel az irányszög stabilizáló rendszerrel szemben támasztott követelményeknek [2].

Vizsgáljuk meg az optimális szabályozókkal rendelkező irányszög stabilizáló rendszer viselkedését az időtartományban. A (2.16) és a (2.20) állapot-visszacsatolási mátrixokkal rendelkező szabályozási rendszerek összehasonlítását a 6. ábrán végezhetjük el.



6. ábra Az irányszög stabilizáló rendszer tranziens analízise - az irányszög viselkedése

Mint az a 6. ábrán jól látható, a (2.19) súlyozó mátrixok együttesen biztosítják a kívánt minőségi jellemzőket. Egyrészt számottevően csökken a tranziens ideje és a zárt rendszer túlszabályozása, csillapítási tényezője is megfelel az előírt minőségi követelményeknek.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők egy példán keresztül bemutatták az LQ alapú tervezés gyakorlati alkalmazását. A szabályozó tervezése során először végrehajtották az áttérést az állapotterre. Az áttérés után a reciprok négyzetes szabály segítségével megállapították a négyzetes integrálkritérium súlyozó mátrixait. A kapott súlyozással megvizsgálták a zárt rendszer viselkedését, majd a tervezési kritériumnak megfelelően hangolták a súlyozó mátrixokat. A hangolás után ismét

megvizsgálták a zárt rendszer viselkedését. Megállapították, hogy a hangolás után a zárt rendszer dinamikai jellemzői jó közelítéssel megegyeznek a tervezési kritériummal.

## **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Blakelock, J.H. *Automatic Control of Aircraft and Missiles*, John Wiley and Sons, 1965.
- [2] McLean, D. *Automatic Flight Control Systems*, Prentice-Hall. Inc., 1990.
- [3] MATLAB<sup>®</sup> *The Language of Technical Computing*, The MathWorks Inc., 1997.
- [4] MATLAB<sup>®</sup> *Control System Toolbox*, User's Guide, The MathWorks Inc., 1997.
- [5] Shahian, B.-Hassul, M. *Control System Design Using MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, 1993.
- [6] Ogata, K. *Designing Linear Control Systems with MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, 1994.
- [7] Szabolcsi, R. *Repülőgép oldalstabilitásának vizsgálata analóg és digitális számítógépen*, Egyetemi doktori értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, 1994.

## **ABSTRACT**

*The goal of the authors is to show an LQ based new design example. During controller synthesis the directional control system has been considered. After transferring the block diagram into the state space model the LQR design method will be applied for the design of the compensator. The time domain behaviour of the closed loop system will be analyzed. The MATLAB<sup>®</sup> 5.2 computer package supplemented with Control System Toolbox has been used for solving of the controller synthesis problem and the designed system analysis.*

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A cikk megjelenését a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriuma támogatta, melyet a szerzők ezúton köszönnek meg.

# A JAVÍTOTT HATÁSFOKÚ POLARITÁSVÁLTÓVAL MEGÉPÍTETT ANALÓG MPPT

**Szegedi Péter mérnök százados**

egyetemi tanársegéd

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

Vezetés- és Szervezéstudományi Kar

Fedélzeti Rendszerek Tanszék

*A Repüléstudományi Közlemények IX. évfolyam 23. számában megjelent A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei napelemes rendszerekben 2. cikkemben közölt analóg MPPT méretezését mutatom be.*

## 4. A JAVÍTOTT HATÁSFOKÚ POLARITÁSVÁLTÓVAL MEGÉPÍTETT ANALÓG MPPT MÉRETEZÉSE

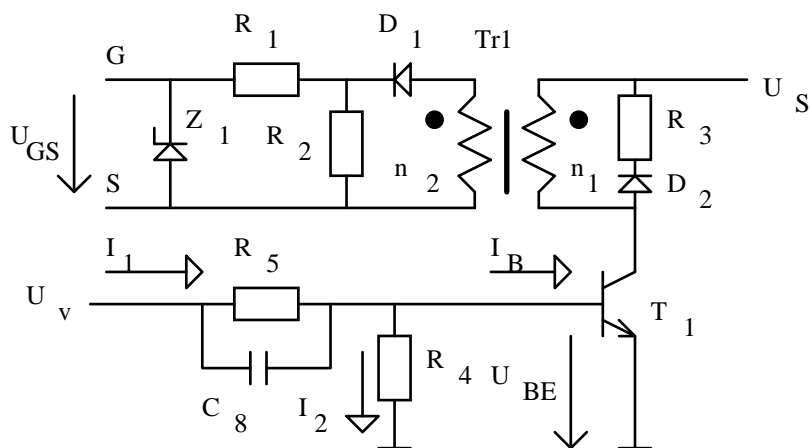
### 4.1 A "galvanikus leválasztású meghajtófokozat 1." méretezése

A napelem leválasztó- (FET1) és a konverterkapcsoló (FET2) egy-egy N csatornás IRF540 típusú FET. A FET egy vezérelt kapcsoló, vezérlése a Gate kivezetésén keresztül  $U_{GS}$  feszültség változtatásával történik. A vezérlést galvanikus leválasztáson keresztül valósítottuk meg, amit a "galvanikus leválasztású meghajtófokozat 1., 2." végzik. A "galvanikus leválasztófokozat 1." áramköri megvalósítása a 1. ábrán látható.

A Gate szigetelő rétege  $\pm 20V$ -nál átüt és tönkremegy a kapcsolóeszköz. A  $Z_1$  ZPD 11 típusú zener dióda  $+11V$ -nál lekorlátozza az  $U_{GS}$  feszültséget, így védi a FET1-et az esetleges túlfeszültségtől. Az  $R_1=10\Omega$ -os ellenállás egy áram korlátozó elem, a Gate védelmében. Az  $R_2$  nagy értékű  $1M\Omega$ -os ellenállás a kikapcsolás gyorsítása és a  $C_{GS}$  kapacitás töltésének "kisütése" a feladata. A FET1  $C_{GS}$  kapacitásával egy párhuzamos RC tagot képez, aminek az időállandója  $\tau=1M\Omega \cdot 1nF=1\mu sec$ . Figyelembe véve, hogy a kapcsolási frekvencia  $f=50kHz$  így biztosítva van a  $C_{GS}$  kapacitás teljes "kisülése". A  $D_1$



1N4148 típusú dióda a kikapcsolási időre leválasztja a Gate-t a Tr<sub>1</sub> tranzszformátorról. A Tr<sub>1</sub> tranzszformátor galvanikusan elválasztja a FET1-et a meghajtásától.



1. ábra "Galvanikus leválasztású meghajtófokozat 1."  
áramköri rajza

Méretezéséhez a következő kiindulási adatokra van szükség:

- az induktivitás maximális mágnesezési áram változása  $\Delta I=10\text{mA}$ ,
- a segéd feszültség  $U_S=8,5\text{V}$ ,
- a periódusidő  $T=20\mu\text{sec}$  ( $T_{be}=10\mu\text{sec}$ ,  $T_{ki}=10\mu\text{sec}$ ),  $f=50\text{kHz}$ ,
- a ferritmag megengedett maximális indukciója  $B_{\max}=0,1\text{T}$ .

A Tr<sub>1</sub> tranzszformátor n<sub>1</sub> tekercsének az induktivitását a következő összefüggés segítségével határoztuk meg:

$$L = \frac{U_S}{\Delta I} T_{be} \quad (4.1)$$

Az adatok behelyettesítése után  $L=8,5\text{mH}$  lett az n<sub>1</sub> tekercs induktivitása. A megépítés egyszerűsítése miatt Tr<sub>1</sub>-t, Tr<sub>2</sub>-t, Tr<sub>3</sub>-t egyformára készítettük,  $L=14,3\text{mH}$ -re. Az

induktivitáshoz a vasmag választásának szempontja egy magállandó, az úgynevezett effektív mágneses térfogat. A tekercset egy 25x15x10-es N30-as ferritgyűrűre tekercseltük  $n_1=57$  menetet,  $n_2=63$  menetet a következő számítások alapján:

$$\frac{V_m}{\mu} = \frac{I^2 L}{B_{\max}^2} = 80 \left[ \mu \frac{\text{m}^4}{\text{H}} \right] \quad (4.2)$$

$V_m$ : effektív mágneses térfogat

$\mu$ : a mágneses anyag permeabilitása

$I$ : a tekercs maximális árama

A kiválasztott ferritmag tulajdonságai:

$A_L=4400\text{nH}$  (egy menet induktivitása),

$l_E=63\text{m}$  (effektív mágneses hossz),

$A_E=51\text{mm}^3$  (effektív mágneses keresztmetszet)

$V_m=3210\text{mm}^3$

$\sum \frac{l_E}{A_E} = 1235,29$  (a ferritmag forma faktora)

$$\mu = A_L \sum \frac{l_E}{A_E} = 0,005435 \quad (4.3)$$

$$\frac{V_m}{\mu} = 590,62 \mu \frac{\text{m}^4}{\text{H}} > 80 \mu \frac{\text{m}^4}{\text{H}} \quad (4.4)$$

Tehát a választott ferritmag a követelményeknek megfelel. A tekercs induktivitásának értékéből és a ferritmag  $A_L$  értékéből számítható a tekercs menetszáma a következők szerint:

$$n = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = 57,0087 \quad (4.5)$$

Tehát a  $Tr_1$  transzformátor  $n_1$ -es tekercse 57 menetből áll. Mivel a transzformátor áttételét 1:1,1-re választottuk, így  $n_2=63$  menet lett. A transzformátor megtekercselése után az induktivitások értékei a következők lettek:

$$L_{1\text{mért}} = 12,56\text{mH} \text{ és } L_{2\text{mért}} = 15,84\text{mH} \quad (4.6)$$

Az  $R_3$ -as ellenállás méretezésére az induktívitás lemágnesező árama miatt volt szükség. A  $T_1$  tranzisztor kollektor feszültségének maximális megengedett értéke 40V. Az  $R_3$ -as ellenállás értékével lehet szabályozni, hogy a feszültség ne legyen magasabb.  $U=33\text{V}$ -ban maximáltuk a feszültséget, az áram az előzőekben megválasztott 10mA, így  $R_3=3300\Omega$ .

Az  $R_3$  ellenállással sorba kapcsolt  $D_2$  dióda feladata, hogy a ellenállás csak a lemágnesező áram útjába legyen és ne terhelje feleslegesen az  $U_S$  segéd feszültség-generátort. A  $D_2$  dióda 1N4148 típusú.

A visszaellenőrzés, hogy a választott induktívitás teljesíti-e a kiindulási feltételeket:

$$\Delta I = \frac{U_S \cdot T_{be}}{L} = 6,767\text{mA} \quad (4.7)$$

$$I_V = \frac{U_S}{R_3} = 2,575\text{mA} \quad (4.8)$$

$I_V$  az az érték, ami felé az induktívitás  $\tau$  időállandóval tart, de a kikapcsolási idő végén még nem éri el. A kikapcsolási idő végén az áram értéke :  $I_{v\check{g}}$ .

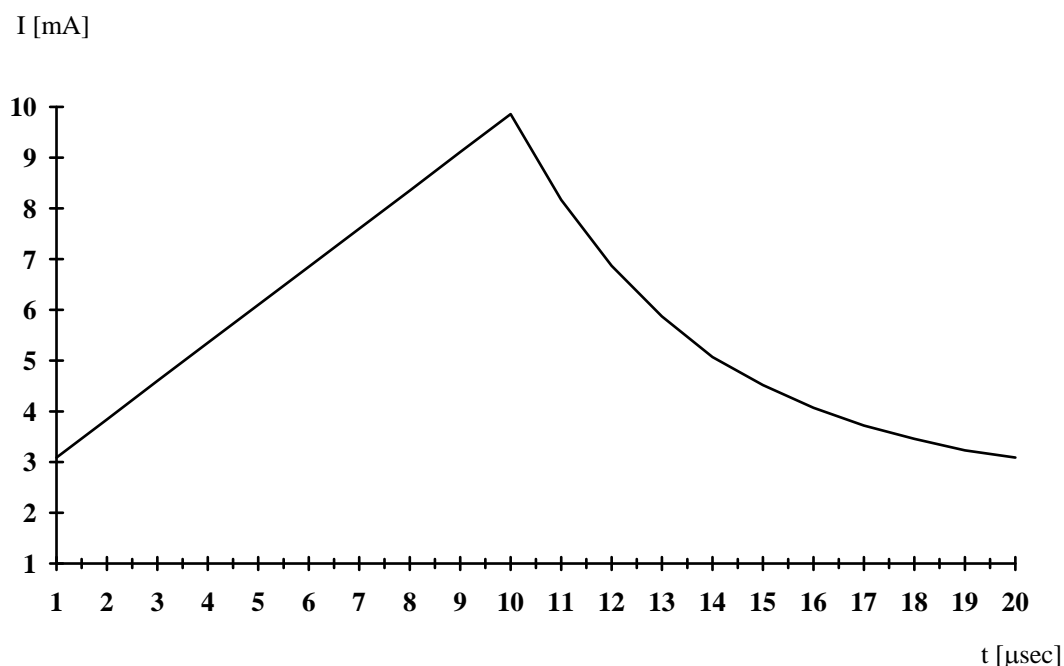
$$I_{v\check{g}} = (I_{\max} - I_V) \cdot e^{-\frac{T_{ki}}{\tau}} + I_V = 3,099\text{mA} \quad (4.9)$$

$$\tau = \frac{L_1}{R_3} = 3,8\mu\text{sec} \quad (4.10)$$

$$(I_{MAX} - I_V) \cdot e^{-\frac{T_{ki}}{\tau}} + I_V + \Delta I = I_{MAX} \quad (4.11)$$

$$I_{MAX} = \frac{\Delta I + I_V - I_V \cdot e^{-\frac{T_{ki}}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T_{ki}}{\tau}}} = 9,86 \text{mA} \quad (4.12)$$

A megvalósított transzformátor teljes mértékben megfelel az előzetes feltételeknek. Az induktivitás áramának egy periódusa a 2. ábrán látható.



2. ábra  $L_1$  induktivitás áramának időfüggvénye

A karakterisztikából leolvasható, hogy a periódusidő végén nem nulla az induktivitás árama. A maradék áram az előzőekben kiszámolt  $I_{Vég}$ . Ez az áram a ferritmag veszteségein disszipálódik el.

A  $T_1$  tranzisztor feladata, hogy a transzformátor áramát impulzus árammá alakítsa. A tranzisztornak bekapcsoláskor fellépő nagy áramot - kb. 1A - károsodás nélkül kell elviselnie, ezért esett a választás a 2N2222A típusú npn tranzisztorra. A

tranzisztor  $I_B$  bázisáramát  $R_4$  és  $R_5$  bázisosztó ellenállások állítják be. Az  $U_S$  feszültségből  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  ellenállásosztóval leosztott feszültség  $U_V=4,25V$ , és  $I_1=190\mu A$ ,  $U_{BE}=0,6V$  alapján

$$R_5 = \frac{U_V - U_{BE}}{I_1} = 19210,5\Omega \quad (4.13)$$

Az eredményül kapott ellenállás nem szabványértékű, így az  $R_5$  ellenállás kerekített értéke  $20k\Omega$ . A bázisosztó másik felét az  $R_4$ -es ellenállást is  $20k\Omega$ -ra választva az  $I_2=30\mu A$ , mivel az  $I_1=I_2+I_B$ , ebből következően  $I_B=160\mu A$ .

A  $C_8$  kondenzátor feladata, hogy minden bekapcsolási idő elején gyorsítsa a  $T_1$  tranzisztor bekapcsolását. Az  $R_5$  ellenállást rövidre zárja minden bekapcsolási idő elején. Méretezéséhez az időállandót meg kell határozni.  $\tau=3\mu\text{sec}$ -ot választottuk, mivel a  $20\mu\text{sec}$ -os kapcsolási időnél lényegesen kisebb, így a kondenzátor a felhalmozott töltést le tudja adni az  $R_5$  ellenálláson keresztül. A  $\tau=RC$  képletből következik, hogy

$$C_7 = \frac{\tau}{R_5} = 150\text{pF} \quad (4.14)$$

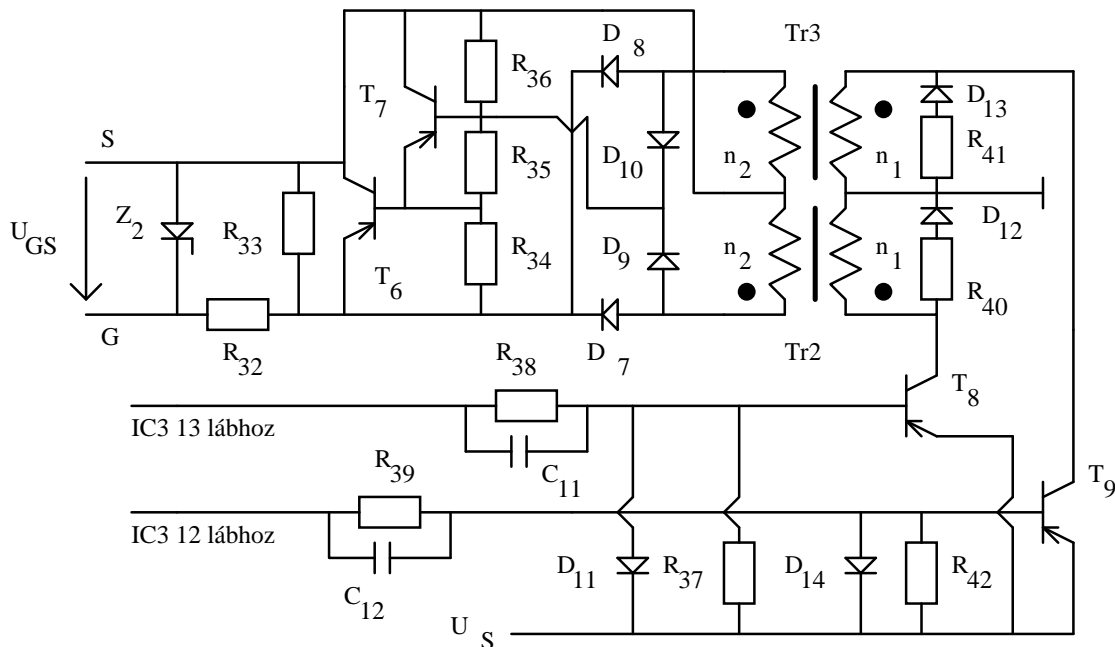
értékű lett. [1], [2], [3]

#### 4.2. A "galvanikus leválasztású meghajtófokozat 2." méretezése

A konverter kapcsoló vezérlését is galvanikus leválasztáson keresztül valósítottuk meg. A PWM-ről érkező jeleknek megfelelően működteti a konverter kapcsolót, illetve galvanikus elválasztást biztosít a Gate részére, hogy a vezérlés egyáltalán megvalósulhasson. Az áramkör felépítése a 3. ábrán látható.

A  $Z_2$  ZPD 11-es típusú zener dióda itt is a Gate védelmét szolgálja, mint a "galvanikus leválasztású meghajtófokozat 1."-nél. Az  $R_{32} = 10\Omega$ -os ellenállás egy áramkorlátozó ellenállás. Az  $R_{33}=100\Omega$ -os ellenálláson a Gate kapacitása kezd kiszülni

amikor a Gate vezérlése megszűnik. A kikapcsolás gyorsítása érdekében egy kikapcsolást gyorsító  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $R_{34}$ ,  $R_{35}$ ,  $R_{36}$  elemekből felépülő áramkört alkalmaztunk.



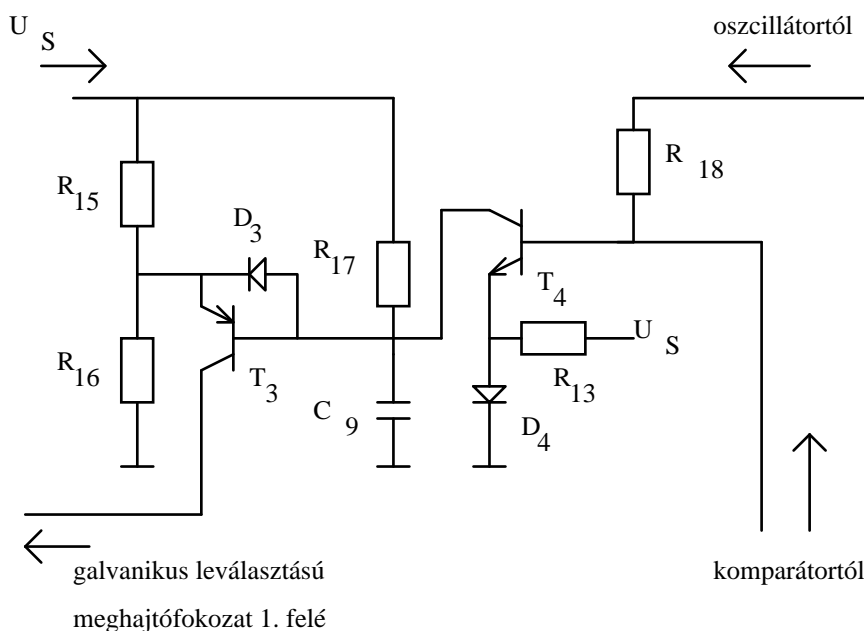
3. ábra Galvanikus leválasztású meghajtófokozat 2.  
áramköri felépítése

A  $T_6$  tranzisztort 2N2905A típusúra választottuk, mert 0,8-1A-es kollektor áramot is el kell viselnie károsodás nélkül. A  $T_7$ -es tranzisztor BC 212 típusú, bázis áramát  $715\mu\text{A}$ -re állítottuk az  $R_{36}=10\text{k}\Omega$ -os ellenállással. A bázisosztó többi elemét  $R_{34}$  ellenállást  $1\text{k}\Omega$ -ra,  $R_{35}$  ellenállást  $100\Omega$ -ra méreteztük. Akkor, ha a Gate vezérlőjelet kap a tranzisztorok nem vezetnek, de az  $R_{34}$ ,  $R_{35}$ ,  $R_{36}$  ellenállásokból felépülő osztólánc egy folyamatos terhelést (veszteséget) jelent. Ha van vezérlése a Gate-nak, akkor a  $D_7$ ,  $D_8$ ,  $D_9$ ,  $D_{10}$  1N4148 típusú diódák vezetnek, egyébként a transzformátorokat leválasztják a Gate-ról. A  $Tr_2$  és  $Tr_3$  transzformátorok, és az  $R_{40}=3,3\text{k}\Omega$ , illetve  $R_{41}=3,3\text{k}\Omega$  lemágnesező ellenállások méretezése a 4.1. bekezdésben leírtak szerint történt. A  $D_{12}$ ,  $D_{13}$  diódákat, amelyek a felesleges terhelés miatt a lemágnesező ellenállásokat választják le a segéd feszültségről, 1N4148 típusúra választottuk. A  $T_8$ ,  $T_9$  2N2905A típusú tranzisztorok a PWM-ről érkező impulzussorozatnak megfelelően a

transzformátorokra kapcsolják az  $U_S$  feszültséget. A  $D_{11}$ ,  $D_{14}$  1N4148 típusú diódák, a  $T_8$ ,  $T_9$  tranzisztorok bázis-emitter átmenetét védik a tranzisztorok kikapcsolt állapotában fellépő túlfeszültségtől. A  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  kondenzátorok a tranzisztorok bekapcsolását gyorsítják, értékük 150pF. Méretezésükhöz időállandót határoztunk meg,  $\tau=450\text{nsec}$ -ot. Az  $R_{37}$ ,  $R_{38}$ ,  $R_{39}$ ,  $R_{42}$  ellenállások értékét  $3\text{k}\Omega$ -ra választottuk, a tranzisztorok bázisáramának biztosítására. [1], [3]

### 4.3. A monostabil multivibrátor méretezése

A monostabil multivibrátor a "galvanikus leválasztófokozat 1." vezérléséhez megfelelő kitöltési tényezőjű impulzussorozatot állít elő, a kapcsolási rajza a 4. ábrán látható.



4. ábra Monostabil multivibrátor áramköri felépítése

A  $T_4$  BC 182 típusú tranzisztor bázisát az oszcillátorról érkező tüimpulzussorozat vezérli. A bázis egy  $R_{18}=10\text{k}\Omega$ -os ellenálláson keresztül kapcsolódik az oszcillátor kimenetére. Az értékét az oszcillátor kimeneti feszültsége:  $U_{\text{oszciki}}=3,5\text{V}$ , a tranzisztor bázisának árama:  $I_B=250\mu\text{A}$ , a  $D_4$  dióda feszültsége:  $U_{D4}=0,4\text{V}$  ismeretében

számoltuk ki. Az impulzus ideje alatt  $T_4$  vezet, ekkor  $C_9$  kondenzátor töltése  $D_4$  diódán keresztül "kisül". A  $D_4$  dióda 1N4148 típusú és feladata, hogy a  $T_4$  emitter potenciálját "megemelje". A dióda feszültségét az  $R_{13}$  előfeszítő ellenállással 0,4V-ra állítottuk. Az  $R_{13}$  ellenállás értékét  $U_S=8,5V$ , illetve  $I_{D4}=7,9\mu A$  alapján  $100k\Omega$ -ra választottuk. Az emitter potenciál növelésének a következménye, hogy a komparátor nagyobb biztonsággal tudja letiltani a  $T_4$  működését. Amikor  $T_4$  lezár akkor  $C_9$  kondenzátor  $U_S$  feszültségről  $R_{17}$  ellenálláson, illetve  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  feszültségosztóval leosztott 4,5V-ról  $T_3$  BC 212 típusú tranzisztoron keresztül töltődik, mindaddig, amíg  $C_9$  potenciálja annyira megemelkedik, hogy  $T_3$ -at lezárja. Ezután már csak  $R_{17}$  ellenálláson keresztül töltődik.

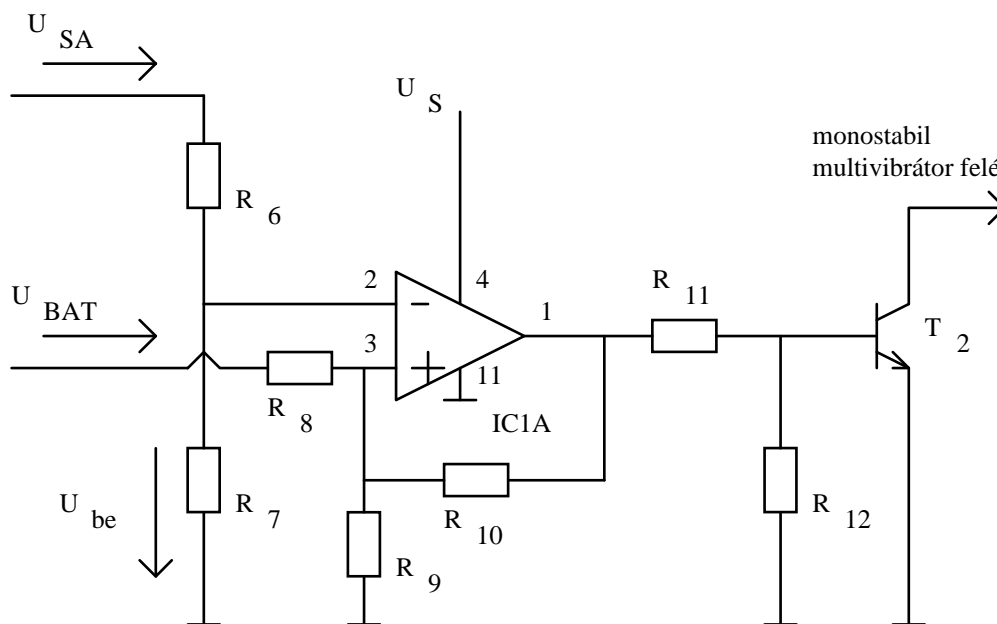
A feszültségosztót  $R_{15}=R_{16}=10k\Omega$ -ra választottuk, hogy a  $T_1$  tranzisztor bekapcsolásához elég áramot biztosítsunk. Az  $R_{17}$  értékének kijelölésekor azt vettük figyelembe, hogy a  $C_9$  kondenzátor töltőárama  $150-200\mu A$  legyen, így  $R_{17}$  értékét  $51k\Omega$ -ban határoztuk meg. A  $C_9$  méretezéséhez  $\tau=9\mu sec$ -ot vettünk figyelembe (az oszcillátor periódusideje  $T_{oszc}=15\mu sec$ ) és  $C_9$  értékét  $470pF$ -ra választottuk. A  $D_3$  dióda 1N4148 típusú és a  $T_3$  tranzisztor bázis-emitter átmenetét védi. [1]

#### **4.4. A komparátor méretezése**

A komparátor a napelem leválasztókapcsoló (FET1) működését tiltja le, ha az akkumulátor feszültsége megegyezik a napelem feszültségével. Addig nem engedélyezi a FET1 működését, amíg az akkumulátor feszültsége 2V-tal nagyobb nem lesz a napelem feszültségénél. A komparátor áramköri rajza az 5. ábrán látható.

A komparálást egy LM324-es IC tokba épített műveleti erősítő végzi (IC1A). Negált bemenetére a napelem leosztott feszültségét, a ponált bemenetére a telepfeszültség leosztott értékét kapcsoltuk. Az  $R_8$  és  $R_9$  ellenállásokból felépített feszültségosztó osztja le az akkumulátor feszültségét, az  $R_6$  és  $R_7$  elemekből felépülő pedig a napelem feszültségét.





5. ábra A komparátor áramköri rajza

A leosztásokra azért volt szükség, hogy a műveleti erősítő bemeneti feszültségei kisebbek legyenek a tápfeszültségnél  $U_S=8,5V$ -nál. Az ellenállások méretezésekor figyelembe kellett venni, hogy a zavarérzékenységük megfelelő legyen, illetve minél kisebb veszteséget okozzanak. Az  $R_6$  és  $R_7$  ellenállások méretezése: Az előzőleg leírtak alapján  $U_{SAmax} = 24V$  esetén  $U_{be}$  kisebb kell legyen  $8,5V$ . A feltételeknek az  $R_6=30k\Omega$ -os és  $R_7=8,2k\Omega$ -os ellenállások megfelelnek. A napelem feszültségének leosztása miatt a hiszterézis feszültség  $\Delta U=2V$ -ról,  $\Delta U=K \cdot 2V$ -ra változik ( $K = \frac{R_7}{R_7 + R_6} = 0,21$ ),

ez a visszacsatoló ellenállás értékét befolyásolja.

A visszacsatoló ellenállás értékének meghatározásához az

$$U_H = U_{BAT} \cdot \frac{R_9 \times R_{10}}{R_9 \times R_{10} + R_8} + U_S \cdot \frac{R_8 \times R_9}{R_8 \times R_9 + R_{10}} \quad (4.15)$$

$$U_L = U_{BAT} \cdot \frac{R_9 \times R_{10}}{R_9 \times R_{10} + R_8} \quad (4.16)$$

$$K \cdot \Delta U = U_H - U_L \quad (4.17)$$

egyenletrendszereket  $R_{10}$ -re kell megoldani. A megoldás után  $R_{10}=147,6k\Omega$ -ot kaptunk. A visszacsatoló ellenállás  $R_{10}$  gyakorlati értékét  $160k\Omega$ -ra választottuk, mert a kapott érték nem szabványos ellenállás érték.

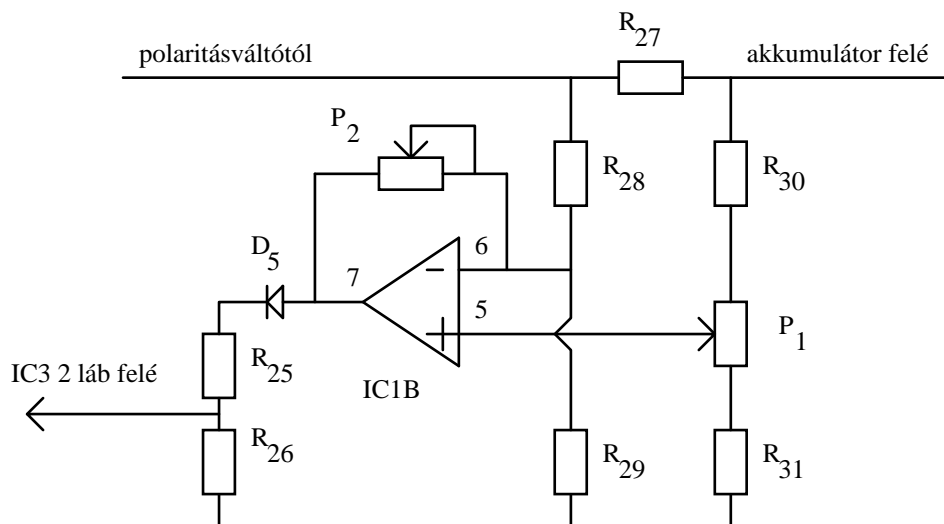
Az  $R_8$  és  $R_9$  ellenállások a műveleti erősítő ponált bemenetének a bemeneti feszültségét csökkentik az  $U_S = 8,5V$ -os érték alá, értékük:  $R_8=33k\Omega$ ,  $R_9=10k\Omega$ .

A  $T_2$  tranzisztor egy BC 182-es típusú tranzisztor, ami a  $T_4$  tranzisztor bázisára földet kapcsol, ha a komparátor letiltó (azaz leválasztó) jelet ad napelem-kapcsolónak (ez  $U_{BAT} \geq U_{SA}$  esetén van). A bázisosztó ellenállások értékét a komparátor kimeneti feszültsége ( $U_S=8,5V$ ), illetve a szükséges bázisáram, a minél kisebb fogyasztás és a zavarérzékenység figyelembe vételével  $R_{11}=47k\Omega$ -ba és  $R_{12}=47k\Omega$ -ba határoztuk meg, ezen ellenállások következtében  $I_B$  számolt értéke  $77,65\mu A$  lett. [1], [5]

#### 4.5. Az áramerősítő méretezése

Az áramerősítő az áramérzékelő ellenállásról érkező jelek erősítését végzi. A kimenő jele a PWM-et vezérli. A vezérlő jelek csak akkor jutnak érvényre, ha a túlfeszültség-védőáramkör nem kapcsolja föld potenciálra az  $IC_3$  hibajel erősítőjét. Az áramerősítő kapcsolási rajza a 6. ábrán látható.

Az áramérzékelő ellenállást  $R_{27}=10m\Omega$ -ra terveztük, hogy minél kisebb legyen a fogyasztása (a teljes napelem-áram átfolyik rajta), de még a zajtól megkülönböztethető nagyságú feszültség legyen a kapcsain. Az érzékelt jelet az  $IC_{1B}$  LM324 típusú IC tokba épített műveleti erősítő erősíti. A negált bemenetére  $R_{28}=10k\Omega$ -os és  $R_{29}=10k\Omega$ -os ellenállásokkal leosztott feszültség jut. A ponált bemenetére  $R_{30}=10k\Omega$ -os és  $R_{31}=10k\Omega$ -os ellenállásokkal leosztott és a  $P_1=1k\Omega$ -os trimmerpotencióméterrel szabályzott feszültség jut. A leosztásokra azért volt szükség, hogy a mért feszültségek értékei a műveleti erősítő tápfeszültségénél kisebb értékűek legyenek. A  $P_2=470k\Omega$ -os és a  $P_1$  trimmerpotencióméterekkel az erősítő erősítése állítható.



6. ábra Áramerősítő áramköri rajza

A ponált bemenetére  $R_{30}=10\text{k}\Omega$ -os és  $R_{31}=10\text{k}\Omega$ -os ellenállásokkal leosztott és a  $P_1=1\text{k}\Omega$ -os trimmerpotencióméterrel szabályzott feszültség jut. A leosztásokra azért volt szükség, hogy a mért feszültségek értékei a műveleti erősítő tápfeszültségénél kisebb értékűek legyenek. A  $P_2=470\text{k}\Omega$ -os és a  $P_1$  trimmerpotencióméterekkel az erősítő erősítése állítható.

A  $D_5$  1N4148 típusú dióda az erősítő kimenetének leválasztását biztosítja azokra az időszakokra, amikor a túlfeszültség-védőáramkör letiltja a PWM működését.

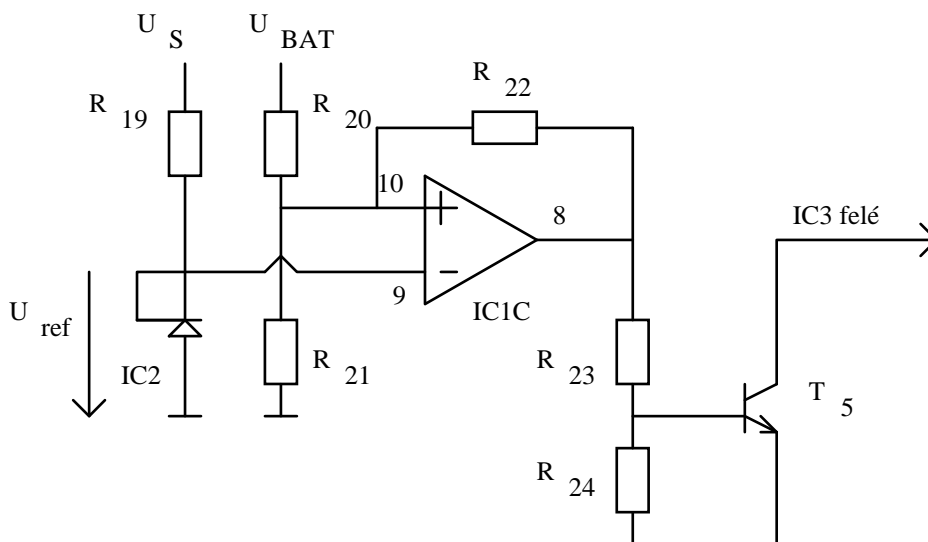
Az  $R_{25}=20\text{k}\Omega$  és az  $R_{26}=20\text{k}\Omega$  ellenállásokra azért volt szükség, mert a PWM hibajel erősítőjének 5V-os a tápfeszültsége.

Az itt felhasznált ellenállások méretezésénél a kis fogyasztás és a zavarérzékenység közötti optimum keresése volt a meghatározó. [1], [5]

#### 4.6. A túlfeszültség-védőáramkör méretezése

A túlfeszültség-védőáramkör feladata, hogy az akkumulátor túltöltését megakadályozza. Az  $IC_3$  hibajel erősítőjének ponált bemenetét földpotenciálra

kapcsolja, így a PWM vezérlő jelét megszünteti és a konverterkapcsoló vezérlése letiltódik, ennek a következtében az akkumulátor töltése megszűnik. A letiltás  $U_{BAT}=13,5V$ -nál következik be, és mindaddig érvényben van, míg  $U_{BAT}$  lecsökken  $11V$ -ra. A túlfeszültség-védőáramkör kapcsolási rajza a 7. ábrán látható.



7. ábra Túlfeszültség-védőáramkör áramköri rajza

A 7. ábrán látható, hogy a telep feszültségének az összehasonlítását egy stabil referenciafeszültséggel az LM 324-es IC tokba épített műveleti erősítő végzi. A referenciajelnek legalább egy nagyságrenddel stabilabbnak kell lenni a szükséges kimeneti feszültség stabilitásánál. A referenciafeszültség-forrással szembeni követelmény, hogy zajmentes és stabil kapocsfeszültségű eszköz legyen. Ezért a referenciafeszültség előállítására (IC<sub>2</sub>) egy TL 430 típusú feszültségstabilizáló referenciaelemet alkalmaztunk, ez egy kis energiaigényű integrált áramkör, aminek az áramát R<sub>19</sub> ellenállással állítottuk be. Ahhoz, hogy az IC<sub>2</sub>-n eső feszültség stabil 2,5V legyen, ahhoz a bemenő áramát I<sub>ref</sub> = 0,7-120mA közé kell választani.. Mi  $U_S=8,5V$  és  $R_{19}=10k\Omega$ -al

$$I_{ref} = \frac{U_S - U_{ref}}{R_{20}} \quad (4.18)$$

összefüggés alapján  $I=60\text{mA}$ -re állítottuk.

$R_{20}$  és  $R_{21}$  osztókra a telepfeszültség leosztása miatt volt szükség. Az osztási arányt a telepfeszültség még megengedett maximális értéke és a referenciafeszültség határozta meg. Az osztó értékének nagyságrend választásában a zavar érzékenységet és a minél kisebb fogyasztást tartottuk fontosnak. Így értékük  $R_{20}=39\text{k}\Omega$  és  $R_{21}=10\text{k}\Omega$  lett.

Az oszcilláció elkerülése érdekében a letiltás és az engedélyezés között feszültségkülönbséget, úgynevezett hiszterézis feszültséget állítottunk be, az  $R_{22}=120\text{k}\Omega$  ellenállással.

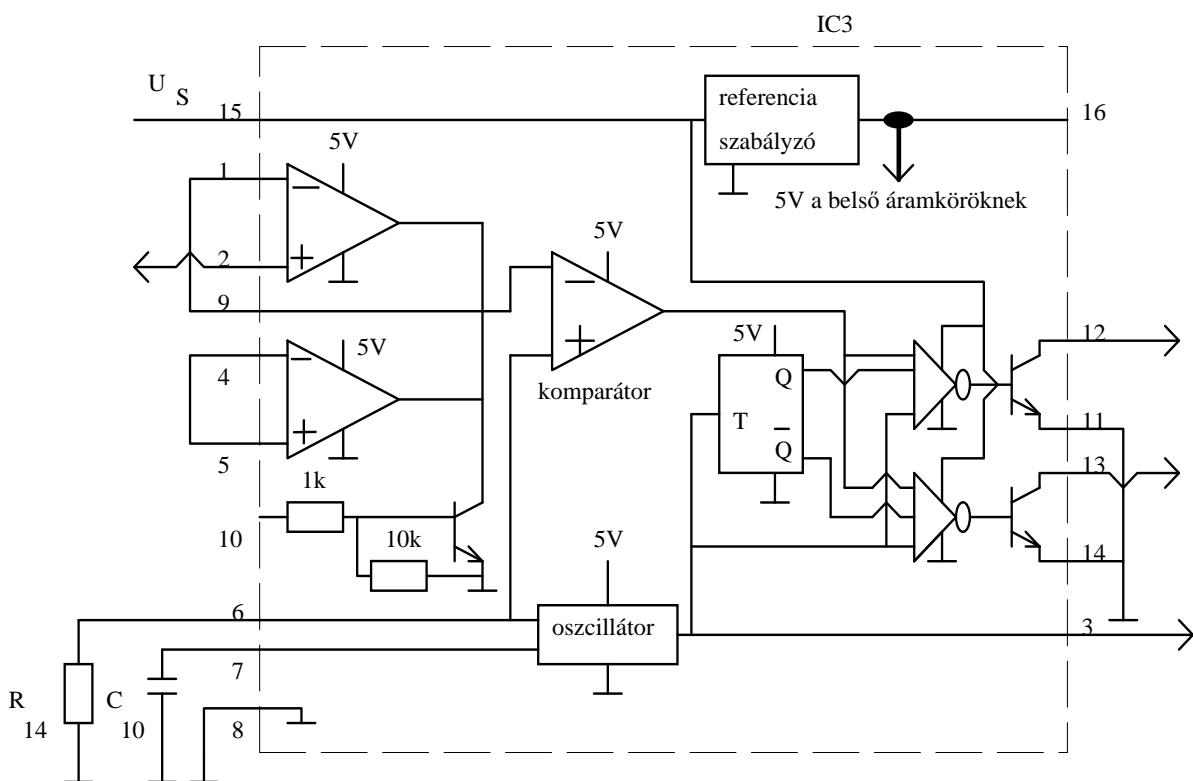
A műveleti erősítő kimenete egy  $R_{23}=100\text{k}\Omega$  és  $R_{24}=10\text{k}\Omega$ -s ellenállással van lezárva. A kimeneti feszültségosztóval állítottuk be a  $T_5$  -ös BC 182-es típusú tranzisztor bázisáramát. A bázisosztó méretezésénél a műveleti erősítő kimeneti feszültségét (a tápfeszültségét), a  $T_5$  tranzisztor bekapcsolásához szükséges bázisáramot ( $I_B=60\mu\text{A}$ -re állítottuk), a minél kisebb fogyasztást, és a még megfelelő zavarérzékenységet vettük figyelembe.

A  $T_5$  tranzisztor alkalmazásának egyik oka, hogy a műveleti erősítő kimeneti feszültsége  $U_5=8,5\text{V}$ -al egyezik meg, akkor amikor tiltania kell, így egy invertálásra van szükség, illetve a másik oka, hogy a műveleti erősítő kimenőfeszültsége sem engedélyezéskor, sem tiltáskor nem nulla.

[1], [5], [6]

#### 4.7 A PWM méretezése

A konverterkapcsoló vezérlését, és a napelem leválasztókapcsoló vezérlését a legegyszerűbb egy direkt ilyen célokra gyártott LM 3524-es ( $IC_3$ ) integrált áramkörre bízni. A vezérlő felépítése a 8. ábrán látható.



8. ábra PWM áramköri rajza

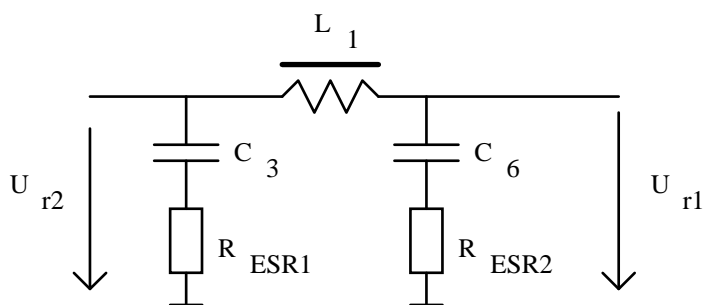
A specifikációban meghatározott  $f=50\text{kHz}$ -es működési frekvenciát az  $IC_3$  6-os lábára csatlakozó  $R_{14}$  ellenállással és a 7-es lábára csatlakozó  $C_{10}$  kondenzátorral lehet

beállítani. Az  $R_{14}$  ellenállás értékét  $15k\Omega$ -ra és  $C_{10}$  kondenzátor értékét  $1nF$ -ra választottuk az [5] irodalomban található méretezési diagramok alapján. [5]

#### 4.8. A szűrő méretezése

Minden olyan teljesítményszabályzó, ahol kapcsolóüzemű technikát alkalmaznak, egy zavarforrásnak tekinthető. Ezek a zavarforrások széles spektrumú zavarjeleket generálnak, amelyek az áramimpulzusokból keletkeznek. A rendszerbe jutott zavarjelek amplitúdójának csökkentésére szűrőket kell beépíteni az áramkörbe.

A szűrő méretezéséhez adott az áramkör működési frekvenciája ( $f=50kHz$ ), valamint követelményként meghatároztuk, hogy a konverter  $U_{r1}=100mV$ -os ripple feszültségét a szűrő szűrje meg úgy, hogy a szűrő másik oldalán  $U_{r2}=10mV$ -os ripple feszültség legyen. A szűrő felépítése látható a 9. ábrán.



9. ábra Szűrő áramköri rajza

A  $C_6$  kondenzátor egyben a polaritásváltó konverter bemenő kapacitása, aminek kapacitásértéke  $C_6=220\mu F$ , és az ekvivalens soros ellenállása  $R_{ESR2}=87m\Omega$

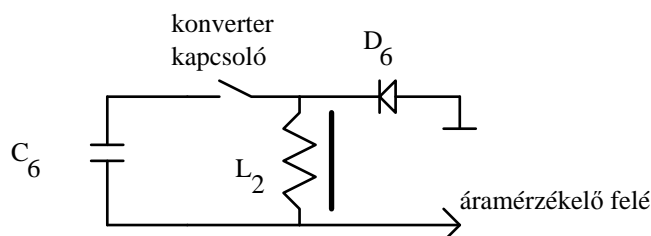
A  $C_3$  kondenzátort  $C_3=220\mu F$ ,  $R_{ESR1}=87m\Omega$  értékre választottuk. A működési frekvencián  $Z_{C3}$  és  $Z_{C6}$  értékeit  $R_{ESR1}$  és  $R_{ESR2}$  mellett elhanyagoltuk, így

$$U_{r1} \cong U_{r2} \cdot \frac{R_{ESR1}}{R_{ESR1} + \omega L_1} \quad (4.19)$$

képlet alapján  $\omega L_1=783\text{m}\Omega$  , amiből  $L_1=2,5\mu\text{H}$  induktivitás értéket kaptuk a kiindulási adatok behelyettesítése után. Ahhoz, hogy a kiindulási feltételt teljesítsük  $L_1 \geq 2,5\mu\text{H}$  induktivitást kell a szűrőbe építeni. Mi az induktivitás szórt kapacitása miatt nagyobb  $L$  érték mellett döntöttünk. A megtekercselt induktivitás  $L_1=30\mu\text{H}$ . Ehhez 11x7-es,  $A_L=100\text{nH-s}$   $B_{\text{max}}=0,1\text{T-s}$  ferritmagnet választottunk, és a csévetestre  $n=18$  menetet tekercseltünk (a 4.1. bekezdésben alkalmazott induktivitás méretezési képletek alapján). [4]

#### 4.9. A polaritásváltó konverter méretezése

A polaritásváltó konverter a napelem teljesítményének egy részét kezeli. Kimenetéről töltődik az akkumulátor, és a kimeneti áramának megfelelően vezéreljük a konverter kapcsolót, hogy a szükséges ideig MPP-be szabályozza a rendszert. Az áramköri részlete a 10. ábrán látható



10. ábra Polaritásváltó konverter kapcsolási rajza

A konverter induktivitásának méretezésekor  $L_{\text{min}}$  értéket méreteztünk, hogy a tekercs soha ne legyen energiamentes. Ehhez kiindulási adatnak kell az induktivitás maximális mágnesezési áramváltozása  $\Delta I_{\text{max}}=400\text{mA}$ , a működési frekvencia  $f=50\text{kHz}$ , ( $T=20\mu\text{sec}$ ), a napelem feszültsége  $U_{\text{SA}}=24\text{V}$  , ebből a konverter bemenőfeszültsége  $U_{\text{konvbe}}=12\text{V}$  , a konverter kimenőfeszültsége  $U_{\text{konvki}}=12\text{V}$ . A konverter kitöltési tényezője:



$$\gamma = \frac{U_{ki}/U_{be}}{1 + U_{ki}/U_{be}} = 0,33 \quad (4.20)$$

A minimális induktivitás érték meghatározása az:

$$L_{\min} = \frac{U_{ki}(1-\gamma) \cdot T}{\Delta I_{\max}} \quad (4.21)$$

összefüggés alapján történt,  $L_{\min}=300\mu\text{H}$  lett. Azaz, ha  $U_{SA}=24\text{V}$ , akkor  $L=300\mu\text{H}$  kell legyen a tekercs induktitásának értéke ahhoz, hogy az soha ne legyen energiamentes. Tehát  $L_2 \geq 300\mu\text{H}$ , így az  $L_2$  induktitás értékét  $360\mu\text{H}$ -re választottuk.

Az induktiváshoz vasmagot jelöltünk ki egy magállandó, az úgynevezett effektív mágneses térfogat, a konverter csúcsárama  $I=908\text{mA}$  és a ferritmag megengedett maximális indukciója  $B_{\max}=0,1\text{T}$  alapján.

$$\frac{V_m}{\mu} = 7,42\text{m} \frac{\text{m}^4}{\text{H}} \quad (4.22)$$

lett, így  $26 \times 16$ -os  $A_L=250\text{nH}$  ferritmagot választottuk, és a csévetestre

$$n = \sqrt{\frac{L_2}{A_L}} = 38 \quad (4.23)$$

menetet tekercseltünk.

A bementi kapacitás méretezéséhez a ripple feszültséget  $\Delta U=100\text{mV}$ -ra választottuk, ezt a kondenzátor elméleti helyettesítő képe alapján két részfeszültségre osztottuk: az elméleti kapacitáson eső feszültségre  $\Delta U_C=50\text{mV}$  és a soros ekvivalens ellenálláson eső feszültségre  $\Delta U_{\text{Resr}}=50\text{mV}$ , és  $U_{SA}=24\text{V}$ ,  $P_{SA}=8,5\text{W}$ . Ezekből következik, hogy  $I_{SA}=354\text{mA}$ , illetve a kondenzátor bekapcsolási idő alatti átlagárama

$I_{C_{bekátl}}=177\text{mA}$ , a kondenzátor maximális áramváltozása  $\Delta I_C=642,11\text{mA}$ . Az elméleti kapacitás értéke a

$$C = \frac{I_{bekátl} \cdot t_{be}}{\Delta U_C} \quad (4.24)$$

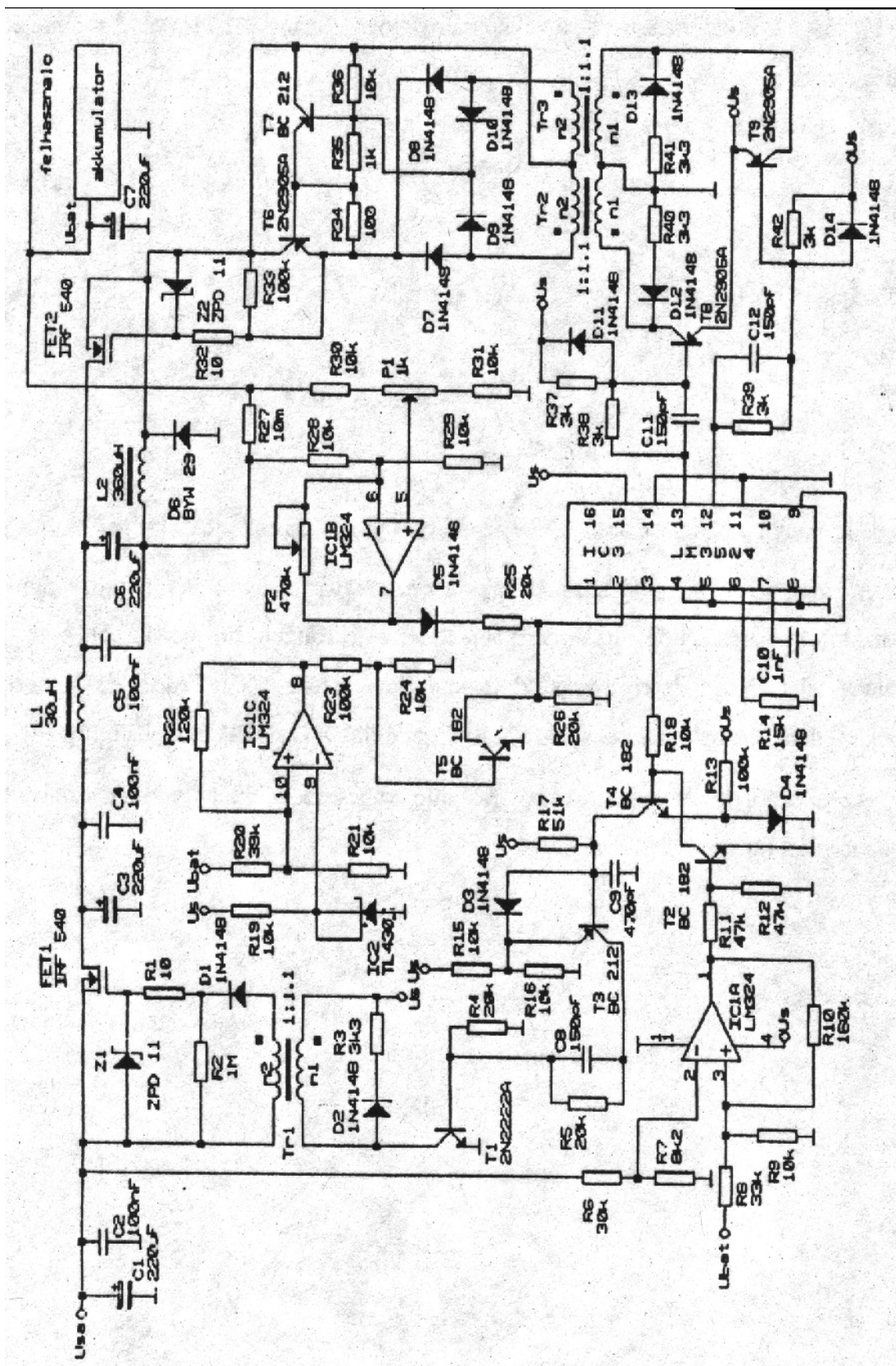
képlet alapján  $C=24\mu\text{F}$  és a soros ekvivalens ellenállás

$$R_{esr} \leq \frac{\Delta U_{Resr}}{\Delta I_C} = 64,39\text{m}\Omega \quad (4.25)$$

kell legyen, hogy a kondenzátor teljesítse az előírt 100mV-os ripple feszültséget.

A gyakorlati megvalósításnál az azonos gyártmányú és azonos típusú kondenzátoroknál igaz, hogy nagyobb kapacitásértékű kondenzátornak kisebb a soros ekvivalens ellenállása. Ezért a választott kapacitás értéke  $C_6=220\mu\text{F}$  és a soros ekvivalens ellenállásának az értéke 87m $\Omega$ . A kimenő dióda  $D_6$  BYW29 típusú. [2], [4]

Az ezekből a részáramkörökből felépülő kapcsolóüzemű teljesítmény-átalakító teljes kapcsolási rajza a 11. ábrán látható.



11. ábra Az új, jsvított hatásfokú MPPT kapcsolási rajza

## **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1]       **Diodes Rectifiers Thyristors Transistors**  
Tungsrám Semiconductor Devices 80/81
- [2]       **Power MOSFET HEXFET Databook**  
IRF HDB3 1985
- [3]       **Ferrite und Zubehör**  
Datenbuch 1990/91 Siemens
- [4]       **Lágymágneses Ferritek**  
Elektromodul 1989
- [5]       **Operational Amplifiers Databook**  
National Semiconductor 1992
- [6]       **Linear Circuits Data Book 1992**  
**Volume 3**  
Texas Instruments 1992

*In current article is detailed the proportion of analogue MPPT, earlier introduced in the article named "Opportunities of Maximal Power Point Tracking in Solar array Systems, Part Two", published in "Repüléstudományi Közlemények", volume IX, number 23.*



# ÉRTÉKKÖVETŐ SZABÁLYOZÁSI RENDSZEREK SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉSE\*

**Dr. Szabolcsi Róbert<sup>\*</sup>, Dr. Ludányi Lajos<sup>\*\*</sup>**

**Tóth Tivadar<sup>\*\*</sup>, Kovács József<sup>\*\*</sup>**

**\* egyetemi docens, \*\* egyetemi adjunktus**

**ZMNE Vezetés- és Szervezéstudományi Kar, Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A modern repülésszabályozó rendszerekben egyre inkább elterjed az értékkövető szabályozási rendszerek gyakorlati alkalmazása. A szerzők célja az értékkövető- és az optimális értékkövető rendszerek számítógépes tervezésének bemutatása. A cikkben példákat mutatnak be a tervezésre, valamint összefoglalják a problémamegoldáshoz szükséges elméleti ismereteket. A szerzők a tervezés során a MATLAB<sup>®</sup> programcsomagot használják..*

## 1. BEVEZETÉS

A modern repülőgépek a repülés egyre több fázisában alkalmazzák az értékkövetés elvét. Ilyen funkciónak tekinthető a polgári repülésben alkalmazott *flare* rendszerek, amelyek feladata a leszállás utolsó fázisában a repülési magasság előre megadott, exponenciális törvényszerűség szerinti változtatása. Ilyen esetekben az időben változó alapjelet számítógép hozza létre. Hasonló képpen a katonai repülőgépek, harci helikopterek harci alkalmazása során a földi és a légi célok manőverezése miatt a rávezetés során a rávezetési hiba állandó jelleggel változik, így a repülésszabályozó rendszer alapjele az idő függvénye és annak értéke nem ismert előre.

## 2. ÉRTÉKKÖVETŐ RENDSZEREK TERVEZÉSE

Legyenek adottak a zárt szabályozási rendszer sajátértékei, melyet a repülés minőségi követelményei definiálnak. Tervezzünk szabályozót, amely biztosítja a zárt rendszer esetében a megadott minőségi jellemzőket. A minőségi jellemzőket a kívánt rendszerre ún. modell - mátrixszal szokás definiálni [1]:

$$\dot{\mathbf{y}}_m = \mathbf{M} \mathbf{y}_m, \quad (2.1)$$

ahol az  $\mathbf{M}$  mátrix a modell sajátértékeit határozza meg.

Legyen adott a lineáris, autonóm rendszer állapot- és segédegyenlete :

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C} \mathbf{x} \end{aligned} \quad (2.2)$$

A szabályozó tervezése során keressük azt a lineáris vezérlési törvényt, amely a rendszert egyik állapotából a másikba viszi át. A keresett vezérlési törvény [1]:

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K} \mathbf{x} \quad (2.3)$$

Végezzük el a segédegyenlet differenciálását és helyettesítsük az állapotegyenletet a kapott egyenletbe :

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{C} \mathbf{B} \mathbf{u} \quad (2.4)$$

Amennyiben megvalósul a modell tökéletes követése, akkor igaz az alábbi összefüggés :

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_m \quad (2.5)$$

Ebben az esetben igaz az alábbi egyenlet :

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{M} \mathbf{y}_m = \mathbf{M} \mathbf{C} \mathbf{x} = \mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{C} \mathbf{B} \mathbf{u}, \quad (2.6)$$

vagy

$$\mathbf{CBu} = (\mathbf{MC} - \mathbf{CA})\mathbf{x} \quad (2.7)$$

A (2.3) és a (2.7) egyenletek alapján a vezérlési törvény az alábbi módon írható fel :

$$\mathbf{u} = [\mathbf{CB}]^{-1}[\mathbf{MC} - \mathbf{CA}] \mathbf{x} = -\mathbf{K} \mathbf{x} \quad (2.8)$$

A (2.8) egyenlet alapján az állapot-visszacsatolási mátrix tehát a következő lesz

$$\mathbf{K} = [\mathbf{CB}]^{-1}[\mathbf{MC} - \mathbf{CA}] \quad (2.9)$$

Amennyiben megvalósul a modell tökéletes követése, igaz az alábbi egyenlet [1] :

$$[(\mathbf{CB})(\mathbf{CB})^{-1} - \mathbf{I}] (\mathbf{MC} - \mathbf{CA}) \mathbf{x} = 0 \quad (2.10)$$

## 2.1 Szabályozó tervezés instabil repülőgép számára

Tekintsük adottnak egy négyhajtóműves, utasszállító repülőgép hosszirányú mozgásának matematikai modelljét [1] :

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{\omega}_z \\ \dot{\vartheta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0002 & 0,039 & 0 & -9,81 \\ -0,07 & -0,32 & 250 & 0 \\ 0,00006 & 0 & -0,34 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \\ \vartheta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,44 \\ -5,46 \\ -1,16 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_e \quad (2.11)$$

A repülőgép vizsgált kimeneti állapotváltozója legyen a bólintási szögsebesség. Így a segédegyenlet az alábbi alakban írható fel:



$$\dot{y} = \omega_z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} = \mathbf{C} \mathbf{x} \quad (2.12)$$

A nemirányított repülőgép sajátértékei (2.11) egyenlet alapján a következők :

$$\lambda_{1,2} = 0,0018 \pm 0,0412 i ; \lambda_{3,4} = -0,3308 \pm 0,0387 i \quad (2.13)$$

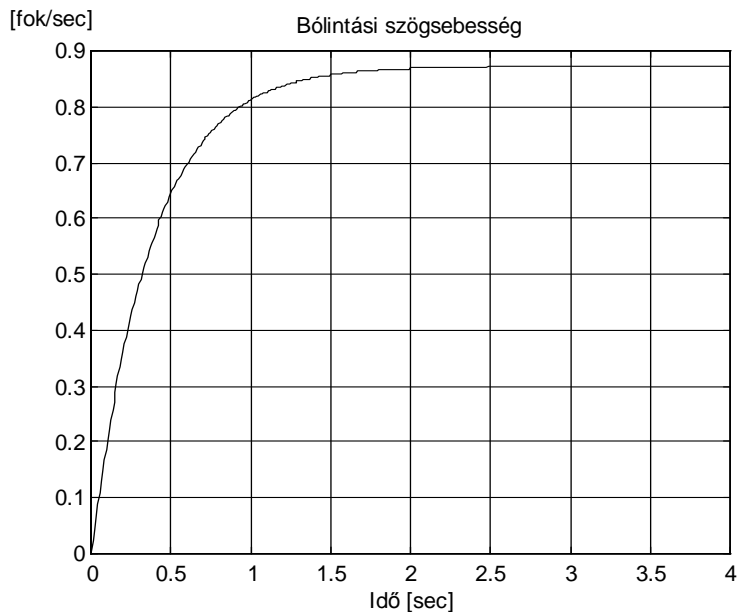
Tervezzünk olyan szabályozót, amely egyrészt dinamikus stabilitást biztosít a repülőgép számára, valamint biztosítja az

$$\dot{\mathbf{y}}_m + 2 \mathbf{y}_m = 0 \quad (2.14)$$

egyenletű modell követését. Az állapot-visszacsatolási mátrix a (2.9) egyenlet alapján a következő lesz [2,3,4,5]:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0,0007 & 0 & -2,7144 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Vizsgáljuk meg a zárt rendszer tranziens viselkedését. Legyen a repülőgép bemeneti jele a bólintási szögsebesség, amely egységugrás jelleggel változik. A zárt rendszer analízisének eredménye a 1. ábrán látható.



1. ábra A zárt rendszer tranziens viselkedése

Mint az a 1. ábrán jól látható, a megtervezett szabályozó nem biztosítja az alapjel elérését. A bólintási szögsebesség közel  $0,87^{\circ}/\text{sec}$  értékre áll be az  $1^{\circ}/\text{sec}$  helyett.

## 2.2 Szabályozó tervezés helikopter számára

Tekintsük adottnak a helikopter oldalirányú mozgásegyenleteit függés repülési helyzetben [1]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1 & 0 & 0 & 30 \\ -0.05 & -3 & 1 & 0 \\ 0.04 & 0.2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 30 & 20 \\ 30 & 10 \\ 0 & -15 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_\gamma \\ \delta_f \end{bmatrix}, \quad (2.16)$$

ahol  $\omega_x$  orsózó szögsebesség,  $\omega_y$  legyező szögsebesség,  $\beta$  csúszásszög,  $\gamma$  bedőlési szög,  $\delta_\gamma$  a forgószárnyak bedöntési ciklikus beállítási szög változása,  $\delta_f$  a faroklégcsavar kollektív beállítási szög változása.

A továbbiakban feltételezzük, hogy a helikopter összes állapotváltozója mérhető. A helikopter kimeneti jellemzői legyenek az orsózó szögsebesség és a csúszásszög. A nemirányított helikopter pólusai a (2.16) egyenlet alapján a következők lesznek :

$$\lambda_1 = -3,2817 ; \lambda_{2,3} = -0.2871 \pm 0.5403 i ; \lambda_4 = -0.2442 \quad (2.17)$$

Tervezzük meg az állapot-visszacsatolási mátrixot úgy, hogy az irányított helikopter mért kimeneti jellemzőkre vonatkozó pólusai legyenek az alábbiak:

$$\lambda_{m1} = -0,5 ; \lambda_{m2} = -0,1$$

(2.18)

A fent definiált sajátértékekkel a következő mátrix rendelkezik :

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -0,5 & 0 \\ 0 & -0,1 \end{bmatrix}$$

(2.19)

Megoldva a (2.9) egyenletet, az állapot-visszacsatolási mátrix a következő lesz [2,3,4,5]:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0,0167 & 0,1933 & -0,0667 & 1,000 \\ -0,0450 & -0,2900 & 0,1000 & -3,000 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Az irányított helikopter pólusai a következők [3]:

$$\lambda_1 = -0,495 , \lambda_2 = -0,07 , \lambda_3 = -2,5 , \lambda_4 = 0$$

(2.21)

A csúszásszög és az orsózó szögsebességre vonatkozó pólusok tehát jó közelítéssel megegyeznek a tervezés során kritériumként megállapított  $\lambda_{m1} = -0,5$  ,  $\lambda_{m2} = -0,1$  pólusokkal.

### 2.3 Optimális érték követő rendszerek tervezése

Az optimális érték követő rendszerek tervezése során az állapot-visszacsatolási mátrix optimális értékét az alábbi integrál kritérium minimálásával keressük [1,4,5] :

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [(\dot{\mathbf{y}} - \mathbf{M}\mathbf{y})^T \mathbf{Q} (\dot{\mathbf{y}} - \mathbf{M}\mathbf{y}) + \mathbf{u}^T \mathbf{R}\mathbf{u}] dt = \min \quad (2.22)$$

Korábbról ismeretes, hogy

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{C}\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{C}\mathbf{B}\mathbf{u}$$

(2.23)

Az optimális vezérlési törvény ebben az esetben az alábbi módon írható fel [1] :

$$\mathbf{u}^o = \mathbf{K} \mathbf{x} = \frac{\mathbf{K}_1}{\mathbf{K}_2} \mathbf{x} ,$$

(2.24)

$$\text{ahol } \mathbf{K}_1 = -[\mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{B} + \mathbf{R}]^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}, \mathbf{K}_2 = -[\mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{B} + \mathbf{R}]^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} (\mathbf{C} \mathbf{A} - \mathbf{M} \mathbf{A}) \quad (2.25)$$

A  $\mathbf{P}$  költségmátrixot az alábbi ún. elfajult Ricatti mátrixegyenlet megoldásaként keressük [1]:

$$\mathbf{P} \mathbf{A}_m + \mathbf{A}_m^T \mathbf{P} + \mathbf{Q}_m - \mathbf{K} \mathbf{B} \mathbf{R}_m^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{K} = 0 , \quad (2.26)$$

$$\text{ahol } \mathbf{A}_m = \left\{ \mathbf{A} - \mathbf{B} \left[ (\mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{B} + \mathbf{R})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} (\mathbf{C} \mathbf{A} - \mathbf{M} \mathbf{A}) \right] \right\} \quad (2.27)$$

$$\mathbf{R}_m = \mathbf{R} + \mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{B} \quad (2.28)$$

$$\mathbf{Q}_m = (\mathbf{C} \mathbf{A} - \mathbf{M} \mathbf{A})^T \left[ \mathbf{Q} - \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{B} (\mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{B} + \mathbf{R})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \right] (\mathbf{C} \mathbf{A} - \mathbf{M} \mathbf{A}) \quad (2.29)$$

Az optimális állapot-visszacsatolási mátrix  $\mathbf{K}$  számításához először az  $\mathbf{A}_m$ ,  $\mathbf{Q}_m$ ,  $\mathbf{R}_m$  mátrixokat kell számítani, amelyek a  $\mathbf{P}$  költségmátrix meghatározásához szükségesek. Ezután számítható  $\mathbf{K}_1$  és  $\mathbf{K}_2$ , valamint a  $\mathbf{K}$  állapot-visszacsatolási mátrix is.

Legyen adott egy kéthajtóműves vadászrepülőgép hosszirányú mozgásának állapotegyenlete:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\omega}_z \\ \dot{\vartheta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,017 & 0,026 & 0 & -9,81 \\ -0,0143 & -1,02 & 1 & 0 \\ 0 & 2,6 & -1,12 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ \alpha \\ \omega_z \\ \vartheta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -0,064 \\ -11,56 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_e \quad (2.30)$$

A nemirányított repülőgép pólusai a (2.30) egyenlet alapján [3]:

$$\lambda_1 = -2,6987 ; \lambda_2 = 0,7356 ; \lambda_{3,4} = -0,0970 \pm 0,4175 i \quad (2.31)$$

Mint az a (2.31) egyenletből látszik, a nemirányított repülőgép instabil. Tervezzünk olyan szabályozót, amely biztosítja, hogy az irányított repülőgép dinamikusan stabilis legyen, valamint a követendő modellt jellemezze a következő mátrix :

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -0,02 & -0,02 & 0 & -9,81 \\ -0,002 & -1,85 & 1 & 0 \\ 0 & -1,86 & -1,4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(2.32)

A stabilis, modell-repülőgép pólusai a (2.32) egyenlet alapján a következők lesznek [3]:

$$\lambda_{1,2} = -1,6280 \pm 1,3457 i ; \lambda_{3,4} = -0,0070 \pm 0,0902 i \quad (2.32)$$

A (2.24)-(2.31) egyenleteket megoldva az optimális állapot-visszacatolási mátrix a következő lesz [2,3,4,5]:

$$\mathbf{K} = [-0.0002 \quad 0.3242 \quad 0.0344 \quad 0.0297] \quad (2.33)$$

A zárt rendszer sajátértékei a következők [3]:

$$\lambda_{1,2} = -0,036 \pm 0,28i ; \lambda_{3,4} = -1,25 \pm 1,35i , \quad (2.34)$$

amelyek jó közelítéssel megegyeznek a modell repülőgép (2.32) egyenlettel definiált sajátértékeivel.

### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők cikkükben összefoglalták az értékkövető rendszerek tervezésére vonatkozó elméleti ismereteket, valamint gyakorlati példákat mutattak be az értékkövető- és az optimális LQ alapú értékkövető rendszerek tervezésére. A tervezési problémákat MATLAB<sup>®</sup> környezetben oldották meg. Munkájukat a Control System Toolbox segítette.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] McLean, D. *Automatic Flight Control Systems*, Prentice-Hall. Inc., 1990.
- [2] MATLAB<sup>®</sup> *The Language of Technical Computing*, The MathWorks Inc., 1997.
- [3] MATLAB<sup>®</sup> *Control System Toolbox*, User's Guide, The MathWorks Inc., 1997.
- [4] Shahian, B.-Hassul, M. *Control System Design Using MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, 1993.
- [5] Ogata, K. *Designing Linear Control Systems with MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, 1994.

### ABSTRACT

*The modern automatic flight control system widely apply the model following principle. The goal of the authors is to present a computer-aided design of the compensator of the model following and the optimal model following control systems and also to summarize*

*Dr. Szabolcsi Róbert, Dr. Ludányi Lajos, Eszes János, Tóth Tivadar, Kovács József*

*the necessary theoretical backgrounds for the design. During controller synthesis will be used the MATLAB<sup>®</sup> computer package.*

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A cikk megjelenését a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriuma támogatta, melyet a szerzők ezúton köszönnek meg.







# **AZ ÚJ, JAVÍTOTT HATÁSFOKÚ POLARITÁSVÁLTÓVAL MEGÉPÍTETT MPPT ÁRAMKÖR**

**Szegedi Péter mérnök százados**  
egyetemi tanársegéd  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

*Az előzetesen megtervezett kapcsolóüzemű teljesítmény-átalakító építésénél szerzett tapasztalatok és az áramkör mérési eredményei kerülnek ismertetésre.*

## **4. Az új, javított hatásfokú MPPT megépítése, és az áramkör mérésének eredményei**

### **4.1. Az új, javított hatásfokú MPPT építése**

A javított hatásfokú, analóg, a maximális teljesítményű pontot követő áramkör egy 12x24cm-es próbapanelre lett megépítve. A FET kapcsolókat és a  $D_6$  diódát hűteni kellett, ezért hűtőbordára tettük és csillám lemezekkel szigeteltük el a hűtőbordáktól. A hűtőbordák a nyomtatott áramköri lemez szélére lettek felfogatva a könnyű kezelhetőség érdekében.

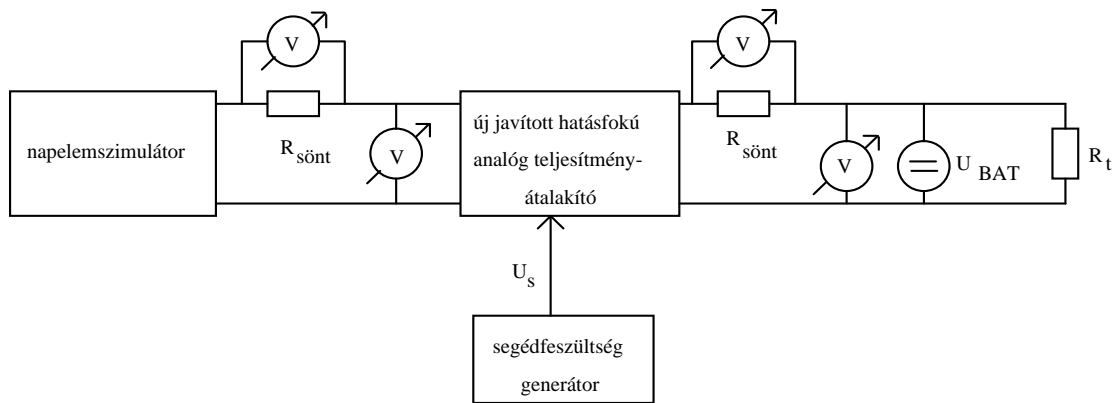
Az áramkör építésekor fontos követelmény volt, hogy a "nagy" teljesítményű kör és a vezérlőkör egymástól helyileg el legyen különítve. A vezérlőkört úgy építettük fel, hogy FET-ek Gate-jeihez minél közelebb végződjenek, hogy rövid "Gate vezetékek" legyenek a minél jobb zavarvédelem miatt. A méréskor észlelt zavarok kiküszöbölése érdekében a segéd feszültség generátort a panelre csatlakozása helyén egy  $1\mu\text{F}$ -os és vele párhuzamosan egy  $100\text{nF}$ -os kondenzátorral szűrtük. A "nagy" teljesítményű körbe épített kapacitásokkal is párhuzamosan kötöttünk egy-egy  $100\text{nF}$ -os kondenzátort, ezáltal a soros ekvivalens ellenállások értéke csökkent, a zavar szűrés javult. A zavar

további csökkentése érdekében a  $T_8$  és a  $T_9$  tranzisztorok emitterét is meghidegítettük egy-egy 100nF-os kondenzátorral. Az áram mérő,  $R_{27}$ -es ellenállást 464m $\Omega$ /m ellenállású mangánin huzalból készítettük, (a szükséges hossz 2,2cm). A csatlakoztatás megkönnyítése érdekében a szükséges hossznál hosszabb ellenálláshuzalt vágunk le, és a felesleges hosszban az ellenállás két végére rövidzárat tekercseltünk. A rövidrezárt szakasznál fogva az ellenállás felforrasztása már nem okozott gondot. Fordított U alakban rögzítettük, és az U alak szárait - amennyire csak lehetett - összenyomtuk a fellépő induktív veszteségek elkerülése érdekében. A tekercselésekhez használt vezetőket a betekercselhető keresztmetszet és az induktivitásokon átfolyó áram értéke határozta meg. A tekercsek kivezetéseit szilikon csővel szigeteltük. A fazékvasmagok szerelésekor a vasmagok alá és felé szilikon gumigyűrűt és bakelit lapot tettünk és bronz csavarokkal húztuk össze, valamint ezekkel a bronz csavarokkal rögzítettük a panelhez is. A szilikon gyűrűre azért volt szükség, hogy a rideg ferrit összehúzáskor ne pattanjon el.

#### **4.2. Az új, javított hatásfokú analóg MPPT mérési eredményei**

Az áramkör bemenő feszültségét egy valóságos napelem helyett az előző cikkben (Repülési Közlemények IX. évfolyam 23. szám, 121old., A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei a napelemes rendszerekben II.) ismertetett napelemszimulátor szolgáltatta. A kapcsolóüzemű teljesítmény-átalakító kimenetére akkumulátor helyett egy feszültség generátort, és terhelésnek  $R_t=9,2\Omega$  ellenállást kapcsolunk. A mérési összeállítás az 1. ábrán látható.

A méréshez MINIMULTI MM2002 típusú kézi mérőműszereket, S-2 típusú söntellenállásokat használtunk. A segédfeszültséget és az  $U_{BAT}$  feszültséget egy DC POWER SUPPLY TYPE: TR-9178 kettős tápegység szolgáltatta. Az 1. ábrán látható mérési elrendezéssel két különböző mérési sorozatot mértünk le. Az egyik a maximális teljesítményű pont követését tesztelte, a másik a megépített áramkör hatásfokának vizsgálatára irányult.



1. ábra Az új, javított hatásfokú analóg teljesítmény-átalakító mérési összeállítás

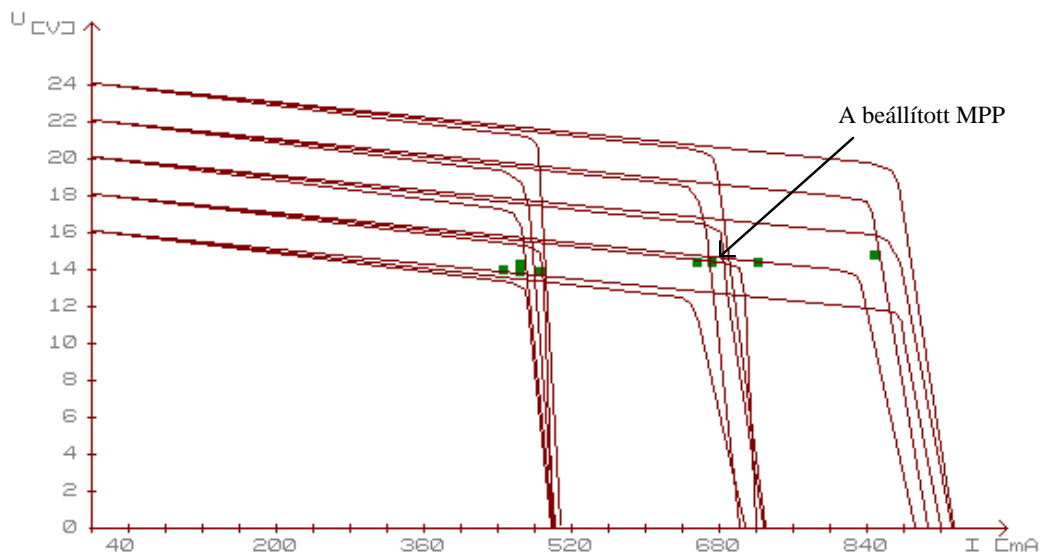
### 4.3. A maximális teljesítményű pont követésének mérési eredményei

1. A napelemszimulátor üresjárási feszültsége  $U_{SA0}=18V$  és a K kapcsoló  $22\Omega$ -os állásához tartozó karakterisztika maximális teljesítményű pontját állítottuk be.

A beállított MPP feszültség, áram értéke:

$U_{SAMPPT}$ [V]	14,3	$I_{SAMPPT}$ [mA]	680
------------------	------	-------------------	-----

A követés eredményei:



2. ábra A követés eredménye 1.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=18V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
16	14	482
25,5	14,3	733

Táblázat a 2. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=20V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
15	14	486
20	14,3	674
25,5	14,5	867

Táblázat a 2. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=22V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
12,2	14,1	454
19,5	14,3	659

Táblázat a 2. ábrához.

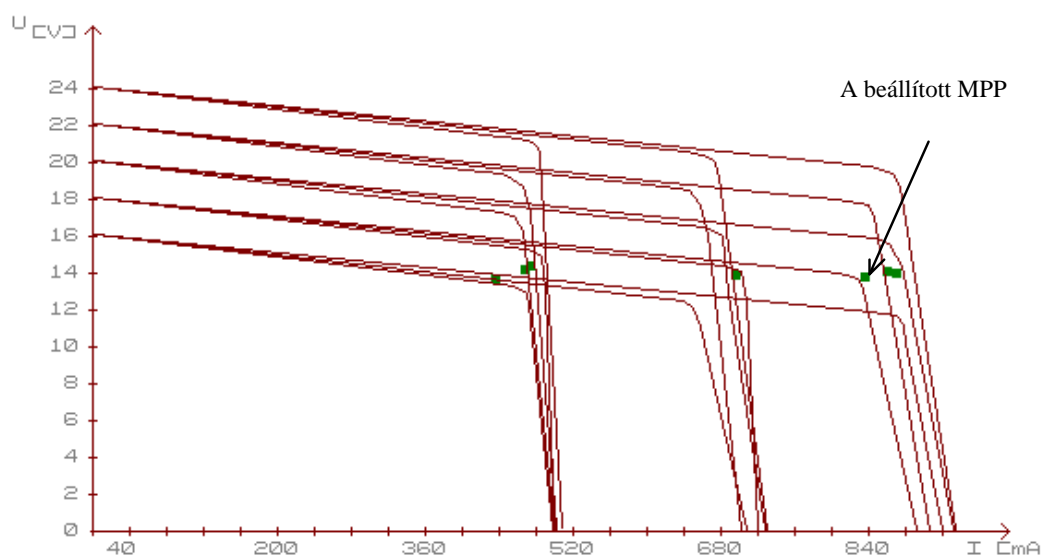
A 2. ábrán látható, hogy az áramkört a beállított maximális teljesítményű pontba kb.: 99%-os pontossággal sikerült bekényszeríteni. A maximális teljesítményű pontokhoz tartozó feszültségeket kb.:74,21-96,4%-os pontossággal, míg az MPP-hez tartozó áramokat kb.:87,8-100%-os pontossággal követte.

2. A napelemszimulátor üresjárási feszültsége  $U_{SA0}=18V$  és a K kapcsoló  $25,5\Omega$ -os állásához tartozó karakterisztika maximális teljesítményű pontját állítottuk be.

A beállított MPP feszültség, áram értéke:

$U_{SAMPPT}$ [V]	13,8	$I_{SAMPPT}$ [mA]	836
------------------	------	-------------------	-----

A követés eredményei:



3. ábra A követés eredménye 2.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=18V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
16	14,3	486
22	13,9	720

Táblázat a 3. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=16V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
16	13,7	432
22	13,7	432
27	13,7	432

Táblázat a 3. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=20V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
15	14	472
20	13,9	686
25,5	14	880

Táblázat a 3. ábrához.

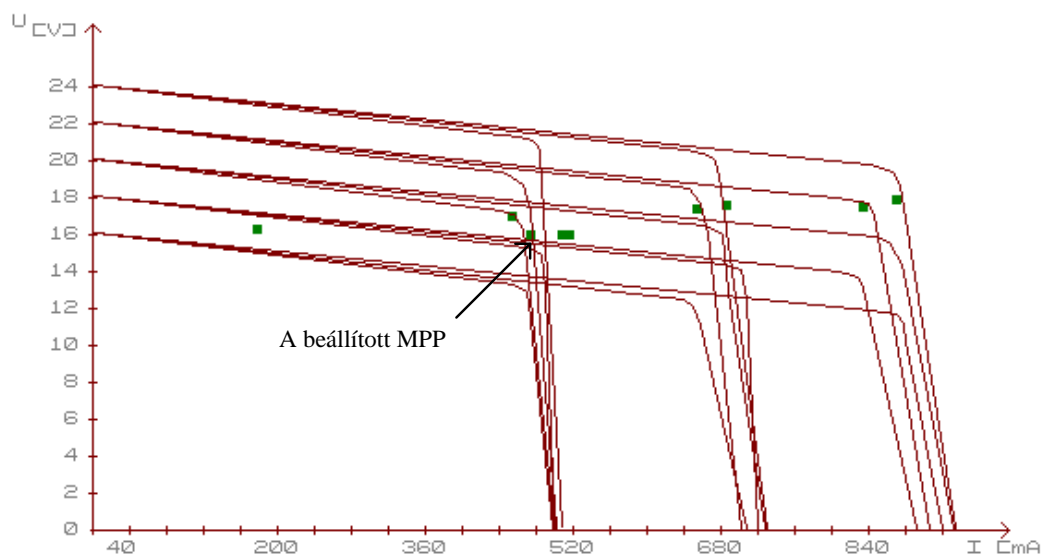
A 3. ábrán látható, hogy az áramkört a beállított maximális teljesítményű pontba kb.: 99,9%-os pontossággal sikerült bekényszeríteni. A maximális teljesítményű pontokhoz tartozó feszültségeket kb.:82,8-97,2%-os pontossággal, míg az MPP-hez tartozó áramokat kb.:95,2-99,17%-os pontossággal követte az áramkör. Az  $U_{SA0} = 16V$  -hoz tartozó maximális teljesítményű pontokat nem követte az áramkör.

3. A napelemszimulátor üresjárési feszültsége  $U_{SA0}=20V$  és a K kapcsolót 15 $\Omega$ -os állásához tartozó karakterisztika maximális teljesítményű pontját állítottuk be.

A beállított MPP feszültség, áram értéke:

$U_{SAMPPT}$ [V]	16,9	$I_{SAMPPT}$ [mA]	491
------------------	------	-------------------	-----

A követés eredményei:



4. ábra A követés eredménye 3

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=20V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
20	17	521
25,5	17	524

Táblázat a 4. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=18V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
16	16,4	179
22	16,4	179
25,5	16,4	179

Táblázat a 4. ábrához.



A napelemszimulátor: $U_{SA0}=22V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
12,2	16,9	462
19,5	17,3	656
24	17,5	840

Táblázat a 4. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=24V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
19,5	17,4	682
24	17,7	868

Táblázat a 4. ábrához.

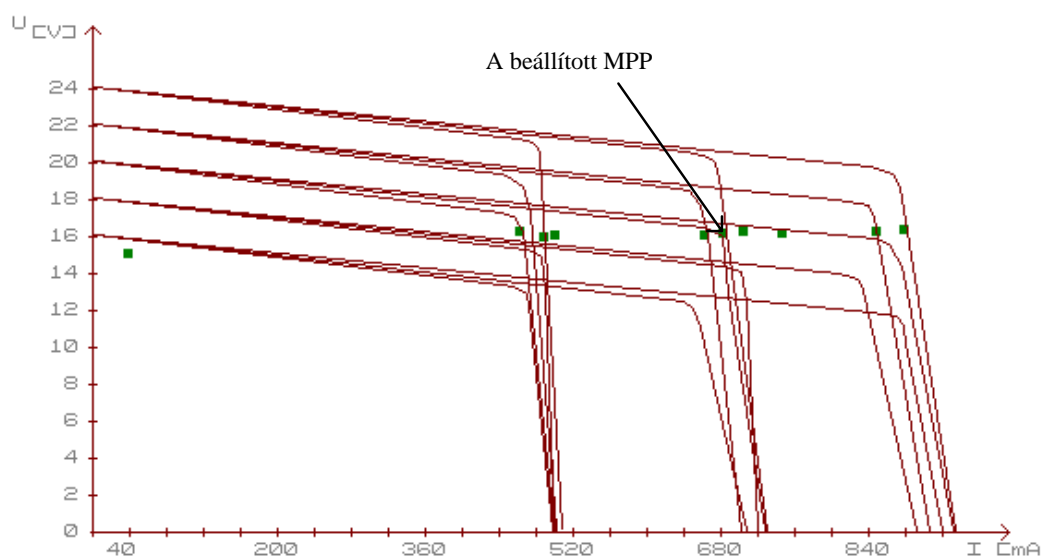
A 4. ábrán látható, hogy az áramkört a beállított maximális teljesítményű pontba kb.: 96,2%-os pontossággal sikerült bekényszeríteni. A maximális teljesítményű pontokhoz tartozó feszültségeket kb.:86,6-98,9%-os pontossággal, míg az MPP-hez tartozó áramokat kb.:62,4-99,9%-os pontossággal követte az áramkör. Az  $U_{SA0}=18V$ -hoz tartozó maximális teljesítményű pontokat nem követte az áramkör.

4. A napelemszimulátor üresjárási feszültsége  $U_{SA0}=20V$  és a K kapcsoló 20 $\Omega$ -os állásához tartozó karakterisztika maximális teljesítményű pontját állítottuk be.

A beállított MPP feszültség, áram értéke:

$U_{SAMPPT}$ [V]	16,2	$I_{SAMPPT}$ [mA]	680
------------------	------	-------------------	-----

A követés eredményei:



5. ábra A követés eredménye 4.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=20V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
15	16	490
25,5	16,2	743

Táblázat az 5. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=16V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
16	15	37
22	15	37
27	15	37

Táblázat az 5. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=22V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
12,2	16,3	470
19,5	16,1	660
24	16,3	845

Táblázat az 5. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=24V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
12,2	16	500
19,5	16,2	700
24	16,3	876

Táblázat az 5. ábrához.

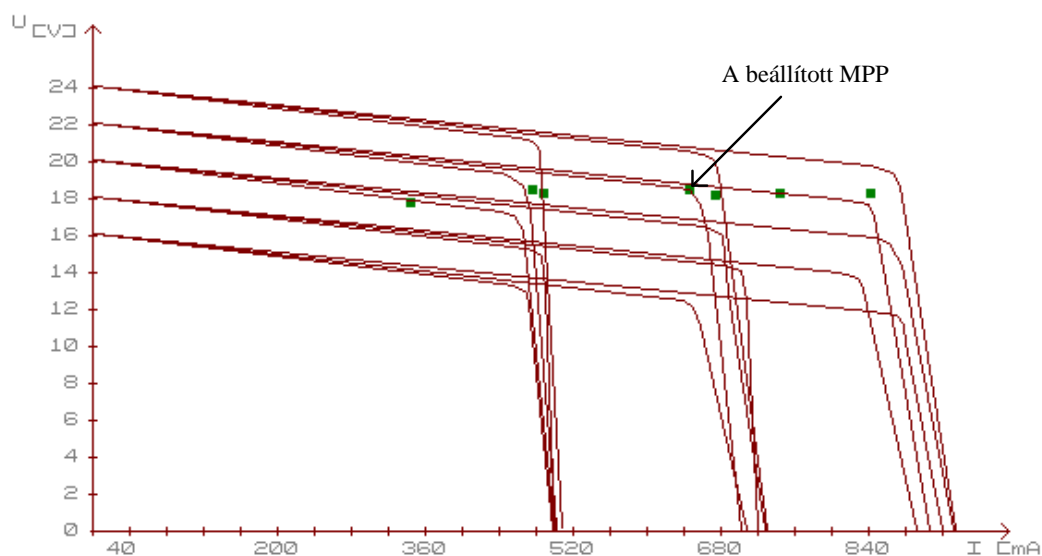
Az 5. ábrán látható, hogy az áramkört a beállított maximális teljesítményű pontba 100%-os pontossággal sikerült bekényszeríteni. A maximális teljesítményű pontokhoz tartozó feszültségeket kb.:75,83-97,47%-os pontossággal, míg az MPP-hez tartozó áramokat kb.:88,45-99,52%-os pontossággal követte az áramkör. Az  $U_{SA0}=16V$ -hoz tartozó maximális teljesítményű pontokat nem követte az áramkör.

5. A napelemszimulátor üresjárési feszültsége  $U_{SA0}=22V$  és a K kapcsoló 19,5 $\Omega$ -os állásához tartozó karakterisztika maximális teljesítményű pontját állítottuk be.

A beállított MPP feszültség, áram értéke:

$U_{SAMPPT}$ [V]	18,5	$I_{SAMPPT}$ [mA]	645
------------------	------	-------------------	-----

A követés eredményei:



6. ábra A követés eredménye 5.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=22V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
12,2	18,5	476
24	18,3	742

Táblázat a 6. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=20V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
15	17,6	340
20	17,6	340
25,5	17,6	340

Táblázat a 6. ábrához.

A napelemszimulátor: $U_{SA0}=24V$		
K kapcsoló állása [ $\Omega$ ]	$U_{követés}$ [V]	$I_{követés}$ [mA]
12,2	18,3	486
19,5	18,2	672
24	18,3	840

Táblázat a 6. ábrához.

A 6. ábrán látható, hogy az áramkört a beállított maximális teljesítményű pontba 100%-os pontossággal sikerült bekényszeríteni. A maximális teljesítményű pontokhoz tartozó feszültségeket kb.:86,73-97,37%-os pontossággal, míg az MPP-hez tartozó áramokat kb.:88,23-99,41%-os pontossággal követte az áramkör. Az  $U_{SA0}=20V$ -hoz tartozó maximális teljesítményű pontokat nem követte az áramkör.

A mérési eredményekből látható, hogy a vizsgált áramkör a maximális teljesítményű pontot csak szűk feszültség intervallumban képes követni.

### 4.3 A határfok vizsgálat eredményei:

$U_{be}$ [V]	$I_{be}$ [mA]	$P_{be}$ [W]	$U_{ki}$ [V]	$I_{ki}$ [mA]	$P_{ki}$ [W]	$\eta$ [%]
15	30	0,45	11,51	36	0,414	92,1
15	30	0,45	11,51	36	0,414	92,1
15	30	0,45	11,51	36	0,414	92,1

$U_{be}$ [V]	$I_{be}$ [mA]	$P_{be}$ [W]	$U_{ki}$ [V]	$I_{ki}$ [mA]	$P_{ki}$ [W]	$\eta$ [%]
15,7	338	5,307	11,51	440	5,064	95,44
15,7	341	5,354	11,51	445	5,122	95,67
15,7	344	5,401	11,51	448	5,156	95,48

$U_{be}$ [V]	$I_{be}$ [mA]	$P_{be}$ [W]	$U_{ki}$ [V]	$I_{ki}$ [mA]	$P_{ki}$ [W]	$\eta$ [%]
16	499	7,984	11,51	657	7,562	94,72
16,2	675	10,935	11,51	889	10,232	93,58
16,2	743	12,104	11,51	977	11,245	93,43

$U_{be}$ [V]	$I_{be}$ [mA]	$P_{be}$ [W]	$U_{ki}$ [V]	$I_{ki}$ [mA]	$P_{ki}$ [W]	$\eta$ [%]
15,9	468	7,441	11,51	612	7,044	94,66
16,1	660	10,626	11,51	864	9,945	93,59
16,2	846	13,705	11,51	1107	12,742	92,97

$U_{be}$ [V]	$I_{be}$ [mA]	$P_{be}$ [W]	$U_{ki}$ [V]	$I_{ki}$ [mA]	$P_{ki}$ [W]	$\eta$ [%]
16	500	8	11,52	658	7,580	94,75
16,2	691	11,194	11,52	908	10,460	93,44
16,2	876	14,191	11,52	1149	13,236	93,27

Az eredmények értékelésénél figyelembe kell venni, hogy a hatásfok értékek egy optimalizálatlan próbaáramkör eredményei, de az elért értékek relatíve jónak mondhatók. Az áramkör optimalizálásával további hatásfok növekedés várható.

## 5. Következtetések

A modellezett kapcsolóüzemű átalakító hatásfoka a mért intervallumban 92,1% és 95,67% között változott. Ez az eredmény egy optimalizálatlan első modelltől jó eredmény. A kapott eredményekből egyértelmű, hogy a modell a napelem maximális teljesítményű pontjának követésére alkalmas. Tehát a polaritásváltó konverterrel felépített modell képes a napelem maximális teljesítményű pontjának követésére.

Az áramkört a napelemszimulátor különböző karakterisztikáihoz tartozó maximális teljesítményű pontjába 96,2-100% -os pontossággal sikerült beállítani. A maximális teljesítményű ponthoz tartozó feszültségek követésére 74,21-98.9% -os pontossággal, míg a maximális teljesítményű ponthoz tartozó áramok követésére 62,4-100% -os pontossággal volt képes az áramkör. A mérés során volt olyan amikor nem követett a modell. Vagyis az eredmények láttán megállapítható, hogy a követés intervalluma kicsi. Szélesebb, a gyakorlati felhasználáshoz megfelelő nagyságú követési intervallum elérése további fejlesztéseket követel. Elsősorban a maximális teljesítményű ponthoz tartozó feszültség követésének intervallumát kell növelni. A továbblépés lehetőségét a modell fejlesztésében egy feszültség előreccsatolásban látjuk, aminek következtében a követés intervalluma kiszélesíthető.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Szegedi Péter

Diplomaterv, 1995 BME

*In current article are introduced the experience acquired in assembling of the previously constructed Switch Mode Power Transformer, and also the results of circuit's testing.*