



Nemzeti Közsolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Üzemeltető Intézet
Katonai Repülő Tanszék



REPÜLŐGÉPEKEN ALKALMAZOTT ENERGETIKAI RENDSZEREK

A konzulens neve, beosztása:

Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens

Szakfelelős:

Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens

Készítette:

Náczi Róbert honvéd tisztjelölt

Szolnok

2014

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1. Az elektromos rendszerek fejlődése	6
2. Repülőgépek energetikai rendszere	13
2.1 Áramgenerátorok	13
2.1.1 Egyenáramú generátorok	13
2.1.2 Váltakozó áramú generátorok	15
2.1.3 Áramgenerátorok vezérlése	16
2.1.3.1 Egyenáramú rendszerek feszültség szabályozása	17
2.1.3.2 DC rendszerek párhuzamos működése	18
2.1.3.3 DC rendszerek védelmi funkciója	18
2.1.3.4 Váltakozó áramú rendszerek feszültség szabályozása	19
2.1.3.5 AC rendszerek párhuzamos működése	20
2.1.3.6 AC rendszerek ellenőrző és védő funkciói	21
2.1.4 Modern váltakozó áramú generátor típusok	22
2.1.4.1 Állandó frekvenciájú/IDG energiatermelés	23
2.1.4.2 Változó frekvenciájú áramfejlesztés	25
2.1.4.3 Változó sebességű állandó frekvenciájú energia táplálás	26
2.1.4.4 270V-os egyenáramú rendszerek	27
2.1.4.5 Földi táplálás	29
2.2 Vészhelyzeti energia táplálás	29
2.2.1 Torló levegős turbina (RAT)	30
2.2.2 Vészhelyzeti energia konverterek	30
2.2.3 Állandó mágneses generátor (PMG)	31
2.3 Elsődleges energia elosztó rendszerek	32
2.4 Másodlagos energia-elosztó rendszerek	34
2.4.1 Teljesítmény kapcsolás	34
2.4.2 Fogyasztók védelme	35

2.5	Áramátalakító és energia tárolók	38
2.5.1	Inverterek.....	38
2.5.2	Transzformátoros egyenirányító egység (TRU).....	39
2.5.3	Auto-transzformátorok	40
2.5.4	Akkumulátor töltők	40
2.5.5	Akkumulátorok.....	41
2.6	A repülőgépen található elektromos terhelések, fogyasztók.....	42
2.6.1	Motorok és működtetések.....	42
2.6.1.1	Egyenáramú motorok	43
2.6.1.2	Váltakozó áramú motorok.....	43
2.6.2	Világítás.....	44
2.6.3	Fűtés	44
2.6.4	Avionikai rendszerek és az alrendszer vezérlők.....	45
3.	Civil és katonai felhasználású repülőgépek energetikai rendszerei.....	46
3.1	Boeing 767.....	46
3.2	Boeing 747-400.....	48
3.3	Airbus A380.....	49
3.4	Airbus 400M.....	54
3.5	F-16.....	54
4.	Nagyobb elektromos energiaigényű repülőgépek	57
4.1	Hajtómű energiájának kinyerése.....	57
4.2	Boeing 787 energetika rendszere	59
4.3	Nagyobb energiaigényű repülőgépek hidraulika rendszere.....	62
4.4	Nagyobb elektromos energia igényű gépek környezetvezérlő rendszere.....	64
	Összegzés	67
	Felhasznált irodalom	68
	Melléklet.....	69
	Függelékek	72

BEVEZETÉS

Az elektromos energia mára a világ mozgatórugójává vált. Bárhol járunk, utazunk, dolgozunk elkerülhetetlen, hogy ne kerüljünk kapcsolatba villamos energiával működő berendezésekkel. Életünk mostanra szinte elképzelhetetlené vált nélküle. Felfedezése után forradalmasította a mezőgazdaságot, a gyártástechnológiát és majd az összes ipar ágazatot, többek között a jármű, később pedig a repülő ipart. Az elektronika fejlődése azonban itt nem állt meg. A félvezetők megjelenésével egy újabb fellendülés következett be. Az elektromos berendezések, alkatrészek mérete rohamosan csökkent, míg megbízhatóságuk, teljesítményük folyamatosan emelkedett. Végül megjelentek az első számítógépek, melyek gyökeresen megváltoztatták az addig kialakult energia rendszerek felépítését, többek között a légi közlekedésben használt repülőeszközök rendszerét, vezérlését.

Az addigi egy-két generátoros, kisteljesítményű csak a repülési műszerek táplálására szolgáló hálózatot, bonyolult nagyteljesítményű energetikai rendszerek váltották fel, melyeknek feladata a biztonságos repülés biztosítása mellett, már az utazás kényelmének növelése volt. Ennek következményeként nagyobb teljesítmény előállítása vált szükségessé. Kisebb megbízhatóbb elektromosan vezérelt berendezésekkel elkezdték felváltani a nehezebb, rossz hatásfokú hidromechanikus, pneumatikus alkatrészeket, valamint nagyobb teljesítményű, jobb hatásfokú generátorokat kezdtek alkalmazni. A folyamatosan növekvő energiaigény, valamint a technológiák fokozatos fejlődése miatt, az elektromos energia és elektromos eszközök repülőgépeken való lehetséges alkalmazási területeinek kutatásai ma is aktuálisak.

Munkám címe a repülőgépeken alkalmazott energetikai rendszerek, ahol célom a modern, valamint a ma használatos repülőgépek energia rendszerének ismertetése. Tanulmányaim során már több orosz gyártású repülőeszköz elektromos rendszerét vizsgálhattam, tanulhattam, de a nyugati légieszközök energia rendszerének tanulmányozására sajnos még nem volt lehetőségem. Mi több azt tapasztaltam, hogy ezekről a technológiákról jóformán még magyar szakirodalom sem lelhető fel. Ezért döntöttem úgy, hogy dolgozatomban a légijárművek energetikai rendszerét a nyugati technológiákon keresztül mutatom be, ezzel is hozzájárulva egy későbbi, esetleges magyar szakirodalom létrejöttéhez.

Írásművem első fejezetében, a repülőeszközök elektromos rendszerének kialakulásával és rövid fejlődéstörténetével foglalkozom. Mindezt orosz, angol és amerikai források alapján, rámutatva, az egyes technológiák, a keleti és nyugati rendszerek elkülönülésének kezdetére,

végig menve a főbb újítások pontjain, az energetikai rendszerek 100 éves történetének kezdetétől napjainkig.

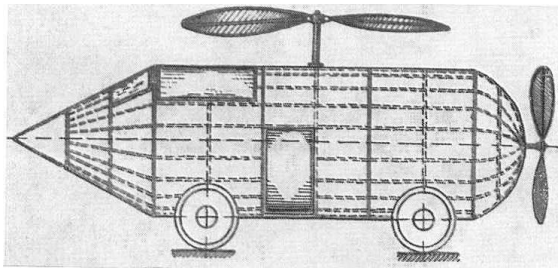
A második fejezetemet a légi járművek energetikai rendszereinek általános ismertetésével, jellemzésével folytatom. Itt a hálózatot elemeire bontva mutatom be. Foglalkozom a nyugati típusokon alkalmazott generátor fajtákkal, energia átalakítókkal és tárolókkal, röviden a repülőgépeken alkalmazott jellegzetes fogyasztókkal. Bemutatom az energia elosztó rendszereket, energiaellátó rendszereket és a vészenergia-ellátó berendezéseket.

Dolgozatom harmadik fejezetében, korábbi fejezetben részletezett rendszereket, energia elosztásokat mutatom be néhány nyugati szállító, illetve egy harci repülőgépen keresztül. Elsősorban azon berendezéseken, elektromos rendszereken keresztül, mely az adott típust a leginkább jellemzi. Többek között foglalkozok civil felhasználású Boeing 767-es, és Airbus A380-as szállítógépekkel, de említést teszek a katonai szállító Airbus 400M-ről és az F-16-os vadászgép energetikai rendszereiről is.

A tanulmány negyedik, egyben utolsó fejezetének központja a modern repülőgépek rendszereinek legújabb fejlesztési irányáról, a nagyobb teljesítményigényű repülőgépekről írok néhány gondolatot. Az új irányt, az ezen fejlesztési elvek alapján legyártott Boeing 787 utasszállító rendszerének felépítésén keresztül mutatom be, összehasonlítva egy hagyományos tervezésű felépítésű géppel, a Boeing 767-sel.

1. AZ ELEKTROMOS RENDSZEREK FEJLŐDÉSE

Az elektromos energia repülőgépeken történő széleskörű alkalmazásának ötlete, a kiemelkedő villamosmérnök és feltaláló Lodigin nevéhez fűződik. 1869-ben A. N. Lodigin egy helikoptertervet nyújtott be (1. ábra) az orosz hadügyminisztériumnak. A szerkezet kormányzására két – egy vízszintes és egy függőleges elrendezésű – elektromotoros meghajtású és állítható tengelyű légszavart szolgált. Az elektromos meghajtás táplálására akkumulátorok beépítését, az éjszakai repülés segítéséhez pedig világítás alkalmazását tervezte [4].



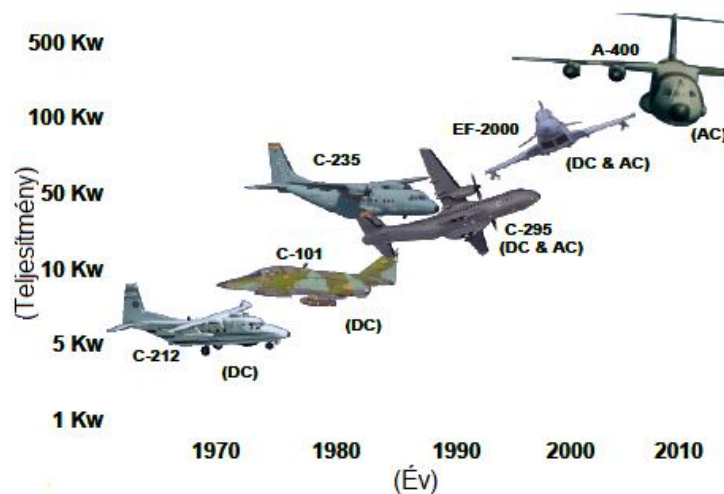
1. ábra Lodigin helikopter terve¹

1897-ben a híres orosz feltaláló és tudós Alekszandr Fjodorovics Mozsajszkij – a világ első repülőgépének megalkotója – javasolta, az elektromos szikra használatát, az általa tervezett repülőgép motor üzemanyagának begyűjtéséhez. A szikra kisüléséhez szükséges nagyfeszültséget, egy akkumulátorral táplált indukciós tekercs segítségével hozta létre. 1913-ban az Ilja Muromec repülőgépen már világító berendezéseket is elhelyeztek, melyek a fülkében található műszerek megvilágítására szolgáltak, emellett pedig a légijármű azonosítására szolgáló jelzőfényeket, elektromos bombaállványt és rádióállomást is beépítettek. Ezután kezdték alkalmazni a légieszközök fényeit a fel- és leszállópálya megvilágítására, a különböző fényforrásokkal felszerelt repülők pedig éjszakai repüléseket is végrehajthattak. Itt villamos energia forrásként maximum 200 VA teljesítményű váltakozó áramú generátort alkalmaztak melyeknek meghajtása vagy a levegőárammal meghajtott szélmotorral vagy a hajtóművek tengelyéről továbbított szíj vagy lánc meghajtással történt.

Az elektronikai berendezések fejlődésének következő fejezete 1920-ban kezdődött, amikor Moszkvában létrehoztak egy kutató-fejlesztő repülőteret, azon belül pedig egy rádió elektromos osztályt, aminek fő feladata az új típusú rádió és elektrotechnikai eszközök fejlesztése és tesztelése volt. Mivel a váltakozó áramú energiaforrásokat nem lehet párhuzamos üzemre kapcsolni, ezért a repülőgépek elektromos ellátásában áttértek az egyenáramú rendszerekre ahol eleinte 8 V-os feszültséget használtak. Ilyen alacsony feszültségnél nagy keresztmetszetű

¹ <http://www.tambovlib.ru/books/image/elektrolet.jpg> (2014.04.24.)

vezetékek alkalmazása szükséges, ezért 1923-24 között a szabvány tápfeszültséget 12 V-ra, 1930-ban 24 V-ra, majd 1934-ben 27 V-ra növelték. A váltás a nyugati technikában ugyanúgy megtörtént, csak ott 24 V-os tápfeszültség helyett 28-at alkalmaztak. Ekkora feszültség szint is bőven elegendő volt, hiszen a második világháború előtt használt – mint ahogy fentebb is olvashattuk - döntően világító berendezések és rádiókommunikációs fogyasztók összesített teljesítmény követelménye, akkoriban csak 500 és 1500 W volt. Nagy fordulópontot a fejlesztések történetében 1934-hozott. Ekkor jelent meg a háromfázisú váltakozó áramot először alkalmazó, Tupoljev által tervezett Makszim Gorkij repülő, illetve a Pe-2 repülőeszköz, melyet Petlyakov készített 1939-ben. A Petlyakov gépen a repülés történetében először – 3 évvel megelőzve a nyugati technológiákat – a futók meghajtásához, a stabilizátorokhoz, a féklapokhoz és a trimmerekhöz elektromechanizmusokat alkalmaztak.

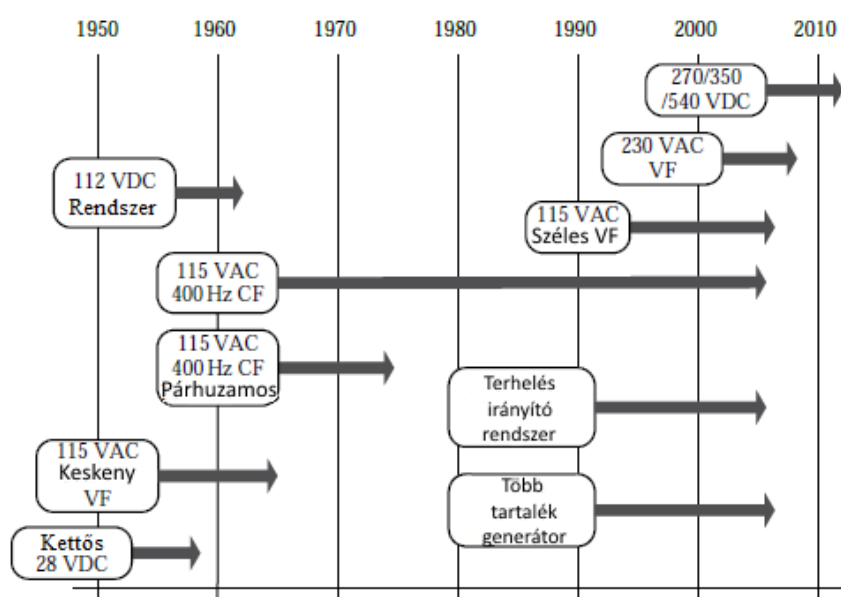


2. ábra Teljesítményigények növekedése²

Az energiafogyasztás további növekedésével – különösen az egyre nagyobb távolságú repülések miatt szükségessé vált hírközlési és navigációs rádióberendezések beépítésével – egyre komplexebb elektromos rendszereket alkalmaztak. A második világháború ideje alatt egyes légi járművek teljesítményigénye a többszörösére nőtt, a háború végére pedig a nagyobb bombázók, valamint a fejlődő nagykereskedelmi szállítógépek energia szükségletének megfelelő biztosítására már négy darab 9 kW-s generátor beépítése vált szükségessé. A teljesítmények növekedése katonai illetve civil gépek vonatkozásában a 2. ábrán látható [3][8][10][12].

² Szerkesztette a szerző (MS Paint) – D. Izquierdo, R. Azcona, F. J López del Cerro, C. Fernández, J. Insenser : Electrical Power Distribution Architecture for All Electric Aircraft, 27th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2010, p. 1-9. Figure 1. url: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/563.PDF (2014.04.24.)

Az 1940-es és 1950-es évekre az amerikai és brit fejlesztők, felismerve a repülőgépek folyamatosan növekvő energiaigényét, elsődleges energetikai rendszerként a 28 V váltakozó áramú hálózatok beépítését szorgalmazták, amit nagy mennyiségű egyenáramú fogyasztók miatt statikus egyenirányítóval szereltek. Egy tipikus megnyilvánulása, a kettős 28 V egyenáramú rendszer volt. Ezt, mint ahogyan neve mutatja, nagy két hajtóműves légi járműveken alkalmazták. Ez két darab a hajtóművek által meghajtott 28 V-os egyenáramú generátorból, egy vagy kettő darab akkumulátorból, illetve egy áramátalakítóból állt, ami 115 V váltóáramot biztosított a fedélzeti műszerek számára. A fent leírt energetikai rendszerek fejlődését a 3. ábra szemlélteti [8][12].



3. ábra Energetikai rendszerek fejlődése³

Később a növekvő hálózati követelmények miatt, – kiemelve például Vickers Valiant-en beépített elektromos működtetésű futóműveket – a V-bombázók⁴ energiaellátó rendszere jelentős változtatáson és fejlesztésen ment keresztül. Ezekbe a gépekbe már négy darab 115 V-os váltakozó áramú generátort építettek be, amelyek meghajtása egy-egy hajtóműről történt. A folyamatos energiaellátás érdekében, generátorokat párhuzamos üzemben működtették, ami növelte az áramkörök védelmét és ellenőrizhetőségét egyaránt. Ilyen rendszerrel V-bombázóknak már elég nagy generátor-teljesítménye volt, a radar és elektronikai-harci zavaró

³ Szerkesztette a szerző (MS Paint) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.2

⁴ V-bombázók – az Egyesült Királyságban, a királyi légierőnél az 1950-es és 60-as években rendszeresített stratégiai nukleáris csapásmérő egységek. Azon bombázók összefoglaló elnevezése, melyek neve „V” betűvel kezdődik: Vickers Valiant, Avro Vulcan és Handley Page Victor [http://en.wikipedia.org/wiki/V_bomber] (2014.03.17.)

berendezések felszereléséhez. További érdekesség, hogy míg a már korábban említett Victor bombázón négy darab 73 kVA névleges teljesítményű generátorokat alkalmaztak, addig a Nimrod tengerészeti járőr repülőgépekbe – melyek felépítésükben a V-bombázókkal nagyon hasonlóak – négy darab 60 kVA teljesítményű generátort építettek be. A szovjet Tu-104 sugárhajtású repülőgépet pedig 208/120 V-os 400Hz-es háromfázisú váltakozó áramú generátorral szerelték fel.

Az Egyesült Királyságban bevezetett új nagyteljesítményű, váltóáramú elektromos rendszerek kövezték ki az utat az elektromos motor hajtású irányítás bevezetéséhez. Négy csatornás váltakozó áramú rendszert használtak az Avro Vulcan B2-n és Handley Page Victor V-bombázókon, a Vickers VC10 teherszállító repülőn pedig egy váltakozó áramú elektromos rendszerrel hajtott repülés irányítási rendszert alkalmaztak, a központosított hidraulika rendszer helyett.

A nagyfeszültségű váltakozó áramú rendszerek vadászgépeken történő alkalmazását a McDonnell Douglas mutatta be elsőként, az F-4 Phantom repülőgépén. Ebbe a repülőbe IDG⁵-t építettek be, amit ma már széleskörűen alkalmaznak több civil felhasználású légi járművön, mint például: B747, B777, A340; de vadászgépek vonatkozásában a Eurofighter Typhoon-on is ilyet használnak. Ezeknek az eszközöknek azonban van egy nyilvánvaló hátránya: azért, hogy állandó frekvenciájú (CF⁶) 115 V-os 400 Hz-es váltakozó áramot generáljanak, állandó sebességű meghajtásra (CSD⁷) volt szükség, hogy 2:1 (teljes sebesség:kis repülési sebesség) sebességtartományon felett megszüntethessék a repülőgép hajtóművének fordulatszám változását. Ezt hidromechanikus eszközök segítségével érték el, amelyek kialakításukból adódóan nagyon bonyolult és nehéz szerkezetek. Ebből kifolyólag az ilyen típusú generátorok működése nem volt megbízható, így nem meglepő, hogy a váltakozó áramú állandó frekvenciájú energiaellátó-rendszerek bemutatkozása során több probléma is felmerült, különösen a vadászipülőgépeknél, ahol a hajtóművek fojtószelepének beállítása gyakran, szinte küldetésenként változott [8][14].

A félvezető technológiában és a vezérlő elektronikában elért fejlesztések lehetővé tették a változtatható sebességű/állandó frekvenciájú (VSCF⁸) rendszer létrehozását szilárdtest relével. Ezzel már sikerült az állandó sebességű meghajtásból származó megbízhatósági problé-

⁵ Integrated Drive Generator (IDG) – Integrált meghajtású generátor, a változó fordulatszám közel állandóra alakítására, az alkatrészek kenése és hűtése miatt, a generátorral egy házba épített állandó sebességű meghajtás

⁶ Constant Frequency (CF) – Állandó frekvenciájú

⁷ Constant Speed Drive (CSD) – Állandó sebességű meghajtás

⁸ Variable Speed/Constant Frequency (VSCF) – Változó sebességű/állandó meghajtású

mák egy részét megoldani, így a váltakozó áramú generátortól érkező változó frekvenciájú áramot, már félvezetős átalakítókkal konvertálták 400 Hz-es állandó frekvenciájú, 115 V-os váltakozó árammá. A VSCF rendszerek egyre gyakoribbá válnak. Két típusát különböztetjük meg, az egyik a VSCF-Cycloconverter⁹, amelyet például az F-18E/F vadászgépeken használnak. A másik típusa DC Link, amit pedig olyan kereskedelmi gépeken alkalmaznak, mint a Boeing 737-500 néhány változata, de például a Boeing 777 utasszállító is ezt használja a vészváltakozó áramú villamos energia rendszerének fő forrásaként.

Amerikai katonai körökben, főleg a haditengerészetnél és a légierőnél a 270 V egyenáramú rendszerek fejlesztésére fektettek nagy hangsúlyt. Ezeknél a rendszereknél a generátorok 270 V egyenáramot hoznak létre, melynek egy részét eztán 115 V-os 400 Hz-es váltakozó árammá vagy pedig az egyes berendezések működtetéséhez szükséges 28 V-os egyenárammá alakítanak. Ezt a fajta megoldást alkalmazták a például a Lockheed Martin F-22 és az F-35 repülőgépeken is, hogy csökkentsék a vezetékek tömegét illetve a vezetési veszteséget. Mindezt, a más hagyományos módszereknél hatékonyabb energiatermelési módszerrel, illetve az átalakítani szükséges energiamennyiségének csökkenéséből fakadó súlycsökkenéssel érték el. Ezek a fejlesztések összefüggésben vannak a MEA (more-electric aircraft) elképzeléssel, melynek célja, hogy több elektromos energiát igénylő rendszer beépítésével a lehető legtöbb vezérlést, tevékenységet elektromos úton oldják meg, a jelenleg használt pneumatikus és hidraulikus rendszerek helyett. Éppen ezért a jövő vadászgépeinek sokkal több villamos energiát kell előállítania. Ezen 270 V egyenáramú rendszerek használatával, a tervezett csatornánkénti teljesítmény 250-300 kW esetleg 500 kW lenne, ami többszöröse a ma tipikusan alkalmazott 50 VA csatornánkénti teljesítménynek[8][14].

Alkotóelemi szinten vizsgálva a különböző fejlesztéseket láthatjuk, hogy a magas teljesítményű kontaktorok és a szilárdtest relék fejlődésével, tovább tudták fejleszteni a repülőgép elsődleges és másodlagos teljesítmény-terheléseinek kapcsolhatóságát és védettségét is. A mindezzel együtt járó mikroelektronikai fejlesztések már lehetővé tették egy új koncepciójú energetikai rendszer elosztásának, védelmének és terhelés kapcsolhatóságának megvalósítását. Az elektromos energia felhasználásának fejlődése vezetett el addig, hogy a légijárművek energiatermelő, elosztó- és védőrendszere ma már egyike a repülőgépeken található legösszetettebb rendszernek.

A létrehozott nagyfeszültségű váltakozó áramok teljesítményének nagysága függ, az elektromos csatornákon szállítható teljesítmények nagyságától. A korlátot a 28 V-os egyenáramú

⁹ Cycloconverter – Közvetlen frekvencia átalakító = Ciklokonverter

rendszereknél 400 A körül állapították meg, a fiderek korlátozott mérete és a védő kontaktorok miatt. Így a maximum szállítható teljesítmény ezen a csatornán 12 kW körül van, jóval a legtöbb mai repülőgép által elvárt alatt. Ez a teljesítmény bőven elegendő a polgári repülőeszközök és más kisebb sugárhajtású, üzleti repülőgépek számára. Ugyanakkor a nagyobb sugárhajtású üzleti légi járművek, a regionális, illetve a nagyobb szállító repülőgépek már 20-90 kVA-t közötti vagy annál magasabb teljesítményigénnyel rendelkeznek. Az ennél magasabb teljesítmény értékek pedig már a katonai szabványoknak felelnek meg.

A mai legmodernebb gépeken már változó frekvenciájú generátorokat alkalmaznak, meghajtásuk közvetlenül a hajtóműről történik, nélkülözve bármilyen bonyolult mechanikai átalakító berendezés segítségét. Ezek általában 380 Hz és 760 Hz között váltakozó frekvencián működnek. A technológia nagy előnyei: a költséghatékonyság, súlycsökkenés és a megbízhatóság nagyfokú javulása. Ugyanakkor hátrányai is nyilvánvalóak: a változó frekvencia okozta frekvencia eltérések hatásai miatt sok váltakozó áramú hálózati berendezés nem működik folyamatosan, üzemszerűen ezért, ennek mérséklése miatt további átalakítók, szabályzók beépítésére van szükség. Termelési szempontból jelenleg ezek a generátorok a legmegbízhatóbbak, felhasználásukkal pedig a repülőgépeken felhasználható teljesítmény folyamatosan emelkedett. A már ilyen generátorokkal működtetett Airbus A380 csatornánkénti teljesítménye 150 kVA, a Boeing 787 pedig még nagyobb, aminek fő energia forrása négy darab 250 kVA váltakozó frekvenciájú generátor. Az 1. táblázatban a korábban említett generátor típusok néhány civil illetve katonai felhasználását láthatjuk.

Egy repülőgép energetikai rendszerében a különböző fogyasztók, terhelések különböző táplálást igényelnek. Vegyük például a Boeing 787-t. A gép elsődleges tápforrása hajtóművektől érkező váltakozó frekvenciájú 230 V, melyet a különböző terheléseknek megfelelően 115 V váltóárammá, 28 V illetve 240/250 V egyenárammá alakítanak. A mai modern, valamint a jövő légi járműveinek energetikai rendszerében, az egyen és váltakozó áramú rendszereket több, különböző feszültség szinten alkalmazzák, következésképpen a hálózatba több átalakító beépítése szükséges. Ilyenek AC-DC egyenirányítók, DC-DC konverterek és a DC-AC inverterek,¹⁰ melyek nem csak az egyik típusú áramot alakítják át a másikba, hanem az alacsonyabb vagy magasabb feszültségű áramot még át is transzformálják a meghatározott feszültség szintre.

¹⁰ Inverter – feszültség átalakító

A VSCF-nél beépített félvezetős kétirányú átalakítókat a váltakozó frekvenciájú áram állandó frekvenciájú konstans feszültségű árammá alakítására használják. Érdekesség még, hogy ezeket a kétirányú átalakítókat használják az akkumulátorok töltésének és kisütésének a folyamatában is.

Generátor típusa	Civil felhasználás		Katonai felhasználás	
IDG/CF [115 V AC ¹¹ /400 Hz]	B777	2×120 kVA	Eurofighter Typhoon	
	A340	4×90 kVA		
	B737NG	2×90 kVA		
	MD-12	4×120 kVA		
	B747	4×120 kVA		
	B717	2×40 kVA		
	B767-400	2×120 kVA		
	Do728	2×40 kVA		
VSCF (Ciklokonverter) [115 V AC/400 Hz]			F18C/D	2×40/45 kVA
			F-18E/F	2×60/65 kVA
VSCF (DC Link) [115 V AC/400 Hz]	B777 (vész)	2×20 kVA		
	MD-90	2×75 kVA		
VF [115 V AC/380-760 Hz Typical]	Global Ex	4×50 kVA	Boeing JSF [X-32A/B/C]	2×50 kVA
	Horizon	2×20/25 kVA		
	A380	4×150 kVA		
VF [230 V AC]	B787	4×250 kVA		
VF [270 V DC] ¹²			F-22 Raptor	2×70 kW
			JSF [X-35A/B/C]	2×50 kW

1. táblázat Civil illetve katonai felhasználású repülőgépeken alkalmazott generátor típusok teljesítményigényei¹³

Ebből is látszik, hogy a jövő energetikai rendszereinek ilyenfajta dinamikus kölcsönhatása elkerülhetetlen a különféle alkotórészek és eszközök széleskörű összekapcsolódása miatt. Egy ilyen energia-elosztó rendszer megvalósítása természetesen a MEA több konvertert alkalmazó energetikai rendszer elképzeléseivel van összefüggésben [14].

¹¹ Alternating Current (AC) – Váltakozó áram

¹² Direct Current (DC) – Egyenáram

¹³ Szerkesztette a szerző (MS Office 2013) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Table 5.1; Reyad Abdel-Fadil, Ahmad Eid, Mazen Abdel-Salam, Electrical distribution power systems of modern civil aircrafts, 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies 18–21 Feb. 2013, Cairo, Egypt 2013. p. 201-210 Table 1. url: <http://www.afaqscientific.com/icest2013/22-Eid76.pdf> (2014.03.17.)

2. REPÜLŐGÉPEK ENERGETIKAI RENDSZERE

Jelen fejezetben egy átlagos repülőgép elektromos rendszerének felosztását fogom röviden bemutatni, hogy a későbbiekben tárgyalt légieszközök működését, energetikai rendszerét mélyebben is megismerhessük.

Az energetikai rendszerek feladata villamos energia létrehozása, szétosztása és táplálása a repülőeszközök számára. A villamos energiát létrehozó rendszerekhez az áramforrások, azaz a generátorok tartoznak. Egy repülőgép energiaforrása általában kettő vagy több, a hajtómű által meghajtott generátort, valamint a veszélyhelyzetekre alkalmazott különféle energia termelési eszközök kellenek. Ezek látják el a repülőgép fogyasztóit a szükséges mennyiségű váltakozó árammal. A váltakozó áramú rendszerek mellett azonban, minden repülőn szükség van egyenáramú hálózatra is, melynek váltakozó áramból történő előállításához egyenirányítók, transzformátorok kellenek.

Az elektromos rendszert tovább bontva beszélhetünk elsődleges és másodlagos energia elosztó és védő hálózatról. Ide tartoznak a vezetékek, sínrendszerek, a különböző hálózatvédő automaták, egyszóval azon berendezések, eszközök, melyekkel biztosítják a rendszerek védelmét, illetve generátorok által termelt villamos energia szállítását, szétosztását. Az elsődleges rendszerbe tartoznak azok az eszközök, amelyeknek áramforrása olyan generátor, ami közvetlen a hajtóműtől kap meghajtást. Másodlagos rendszerbe azok a berendezések tartoznak, melyeknek táplálását különböző átalakítók szolgáltatják, de azok az elsődleges rendszerből kapnak energiát.

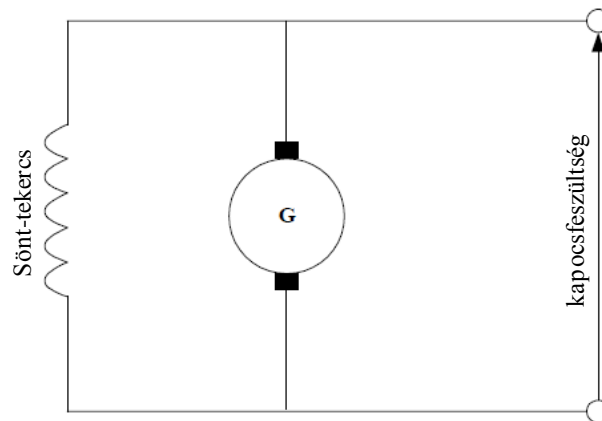
Külön csoportba sorolhatjuk még és külön alfejezetben fogom részletezni az előállított energia tárolása és vész-áramellátásra használt akkumulátorokat, illetve a különböző áramátalakítókat, frekvencia- és feszültség szabályzókat, melyek az előállított áramot, a terheléseknek megfelelő típusúvá, frekvenciájúvá és feszültségűvé alakítják.

A fejezetem utolsó két pontjában pedig egy átlagos légieszközön található néhány jellegzetes fogyasztóról foglalkozok össze pár gondolatot.

2.1 Áramgenerátorok

2.1.1 Egyenáramú generátorok

A generátor egy olyan gép, ami a mechanikai energiát elektromágneses indukció révén, elektromos energiává alakítja. Mind az egyenáramú, mind a váltakozó áramú generátor által indukált áram váltakozik. A fő különbség közöttük a módszerben van, mellyel az indukált energiát összegyűjtik és alkalmazzák a generátorokhoz csatlakoztatott külső áramkörökben.



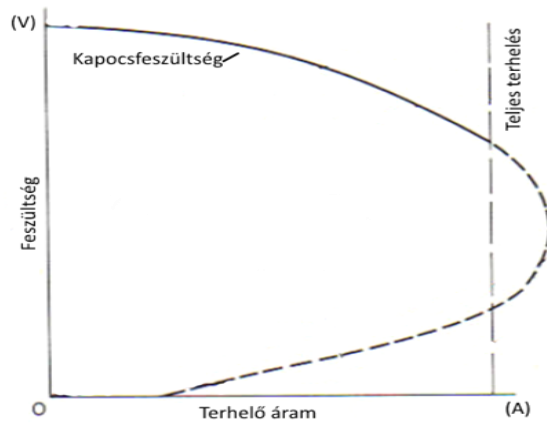
4. ábra Sönt-generátor¹⁴

Például egy 28 V egyenáramú rendszer által használt generátor feladata, hogy a repülőgép fogyasztóit, bármilyen feszültségváltozás, ingadozás nélkül lássa el a szükséges energiával. A DC generátorok öngerjesztett generátorok, mivel forgó elektromágneseket tartalmaznak, melyek a gép által termelt árammal vannak gerjesztve. Az előállított váltakozó áram konvertálását egyenárammá, úgynevezett kommutátorok segítségével érik el. Ezzel gyakorlatilag az előállított kimeneti feszültség szinuszos hullámait fél hullámmá alakítják, amit tovább finomítva és simítva egy folyamatos egyenáramú feszültséggé képeznek. A repülők energiatermelő rendszereiben öngerjesztésű sönt generátorokat alkalmaznak, ahol az armatúrával¹⁵ párhuzamosan egy nagy ellenállású tekercset kapcsolnak. Ilyenkor armatúra áram két ágra oszlik, a sönt tekercsre és a külső áramkörre. Mivel a sönt tekercsnek nagy ellenállása van, így a maximális áram a külső áramkörön folyik keresztül, ezzel megakadályozva azt, hogy a generátoron túláram folyjon keresztül.

A sönt-generátor (4. ábra) üzemszerű terheléses karakterisztikáján (5. ábra) azt láthatjuk, hogy a terhelő áram növekedésével generátor feszültsége csökken, míg jelen esetben a kimeneti feszültségnek állandó 28 V-nak kellene maradnia. Azért, hogy az állandó kapocsfeszültséget biztosítsák, feszültség szabályzókat alkalmaznak, melyek ezt még a hajtómű fordulatszámának változásával és a generátor terhelésének változásával is lehetővé teszik [5][6][8].

¹⁴ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.4

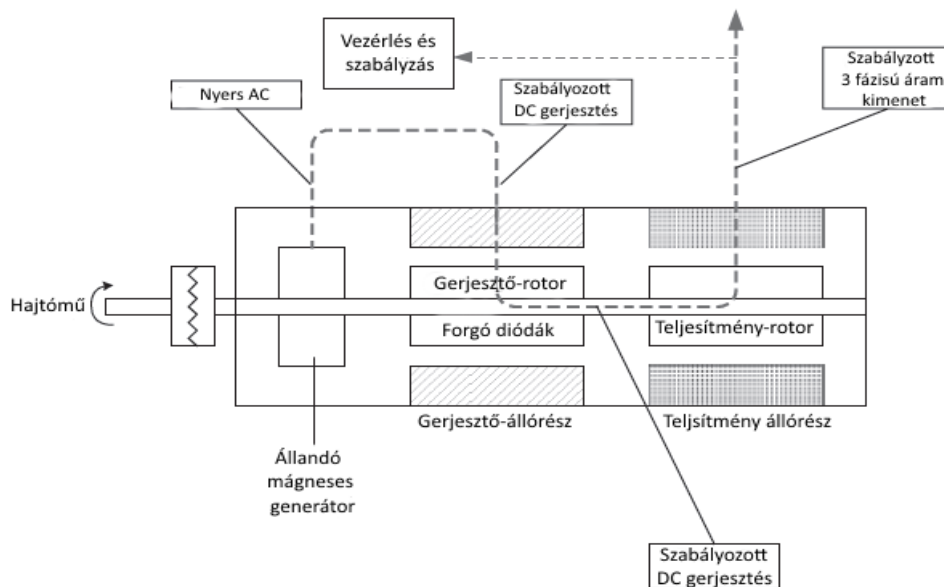
¹⁵ Elektromágneses berendezés forgó mágneses vagy tekercse



5. ábra Sönt-generátor karakterisztikája¹⁶

2.1.2 Váltakozó áramú generátorok

Váltakozó áramú hálózatok áramának létrehozásához, váltakozó áramú generátorokat használnak, amelyek általában egy állandó frekvencián, egy adott feszültség szinten szinuszosan váltakozó áramot generál. Szerkezeti kialakításukban ezek a generátorok egyszerűbbek, hiszen a DC generátorokkal ellentétben itt nincs szükség kommutátorok alkalmazására. A modern AC generátorok elvi működése a 6. ábrán látható.



6. ábra Váltakozó áramú generátor¹⁷

¹⁶ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – E.H.J. Palett: Aircraft Electrical Systems. Introduction to Aeronautical Engineering Series, Pitman Publishing, 1976. 159 p.(ISBN 0 273 36159 7) Figure 1.6 url: <https://archive.org/details/AircraftElectricalSystems> (2014.03.11.)

¹⁷ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.6

Ha ezt az elvi ábrát figyeljük, elmondhatjuk, hogy egy váltakozó áramú generátor egy közös tengelyen lévő gépek összessége, ami az állandó mágneses generátorból; a gerjesztett állórész körül forgó, forgó diódákat tartalmazó gerjesztő rotorból; a teljesítmény állórész által körülvett teljesítmény forgórészből áll.

A képen a szaggatott vonal jelzi, hogy hogyan folyik keresztül az előállított energia a gépezeten. A forgó állandó mágnesek változó frekvenciájú és változó feszültségű áramot állítanak elő amit, a generátor vezérlő egység részét képező, vezérlő és szabályzó rész érzékel. Ez a rész vezérli az állórész gerjesztő tekercsbe áramló egyenáramot, ezáltal szabályozza a gerjesztett forgórész által előállított feszültséget. A gerjesztő rotor forgása a gerjesztő állórész által keltett térben, a tekercselésben feszültséget indukál, melyet a forgórészben lévő diódák egyenirányítanak és ez szolgáltat szabályozott DC feszültséget, amely a teljesítmény rotor tekercselését indukálja. A teljesítmény rotor által keltett forgó mező váltakozó feszültséget indukál a teljesítmény-állórészben, mellyel aztán táplálhatják a repülőgépek rendszereit.

A legtöbb repülőgépen használt AC rendszer háromfázisú, amit a generátor három szinuszos hullámként állít elő, melyek egymáshoz képest 120 fokban vannak eltolva. A fázisok gyakran csillag konfigurációban kapcsolódnak egymáshoz. Ekkor az egyes fázisok egyik vége egy közös semleges pontba futnak össze. Ilyen elrendezésben, egy szabványos gépen, 400 Hz-es frekvencián, a fázis feszültség 115 V, míg a két fázis között váltakozó áramú vonali feszültség 200 V.

Sok éven keresztül ezt a két fő módszert használták energia előállításra a repülőgépek fedélzetén. A 115 V váltakozó áramú rendszerek legfőbb előnye a 28 V egyenáramú hálózattal szemben az volt, hogy magasabb feszültségen működött. Mivel a magasabb feszültség jobb szigetelést igényel, ezért ami valójában számottevő az az, hogy magasabb feszültségen a teljesítmény átvitel sokkal előnyösebb. Mivel nagyobb áram szállításához vastagabb vezetékre van szükség, így belátható hogy kisebb áramerősség alkalmazásakor jelentős súlycsökkenés érhető el, ami a légijárműveknél egy jelentős szempont [5][6][8].

2.1.3 Áramgenerátorok vezérlése

Az egyen és váltakozó áramú hálózatokban, hogy a generátorok folyamatosan biztosítani tudják a szükséges feszültséget valamint a gépek párhuzamos működésének biztosításra, az áramellátó rendszerbe különféle vezérlő elemeket építenek be, melyek funkciói a következők:

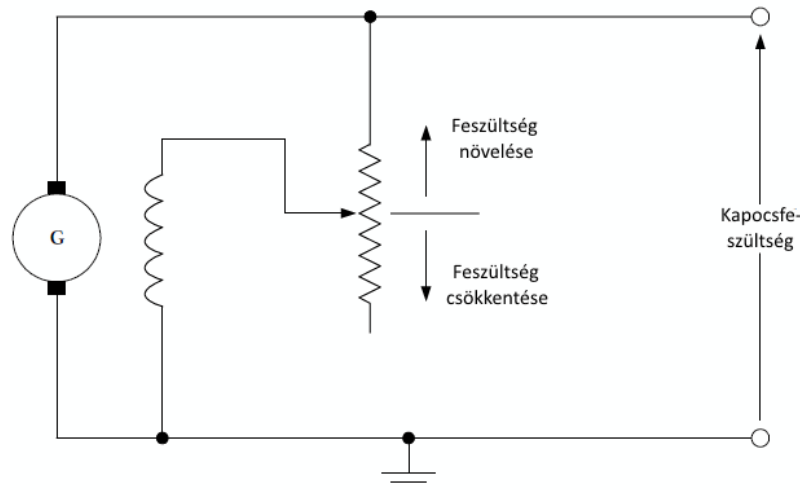
- Egyenáramú hálózat esetén:
 - Feszültség szabályozás;
 - Párhuzamos működtetés;

- Védelmi funkciók.
- Váltakozó áramú hálózat esetén:
 - Feszültség szabályozás;
 - Párhuzamos működtetés;
 - Ellenőrző funkció.

2.1.3.1 Egyenáramú rendszerek feszültség szabályozása

A repülőeszközök egyenáramú elektromos berendezéseinek hatékony működéséhez alapvető követelmény, hogy a generátor feszültségét bármilyen terhelésnél, változó sebességnél a megfelelő tartományon belül tartsák. Tehát szükség van egy eszközre, amely az előbb leírtakat szabályozza.

A 7. ábrán egy feszültség szabályozott generátor elvi vázlatát láthatjuk:



7. ábra Feszültség szabályozott generátor¹⁸

Itt azt láthatjuk, hogy a tekercssel sorosan egy változtatható értékű ellenállás van kapcsolva. Az ellenállás értékének megváltoztatásával a tekercs ellenállása is változik, vagyis a gerjesztő áram és kimeneti feszültség is változni fog. Ez a szabályzás valójában teljesen automatikus, ami figyelembe veszi a terhelés és a hajtómű fordulatszámának változását.

A feszültség szabályzásnak meg kell felelnie a MIL-STD-704D szabványnak, mely meghatározza a feszültséget a szabályozásnál, illetve a légijármű energia elosztó, hálózatvédő rendszerén valamint a vezeték hálózaton elfogadható feszültség mértékét. A DC hálózat 400 A-re vagy csatornánkénti 12 kW-ra van korlátozva. Ez azért van, mert a kapcsolók és vezetékek

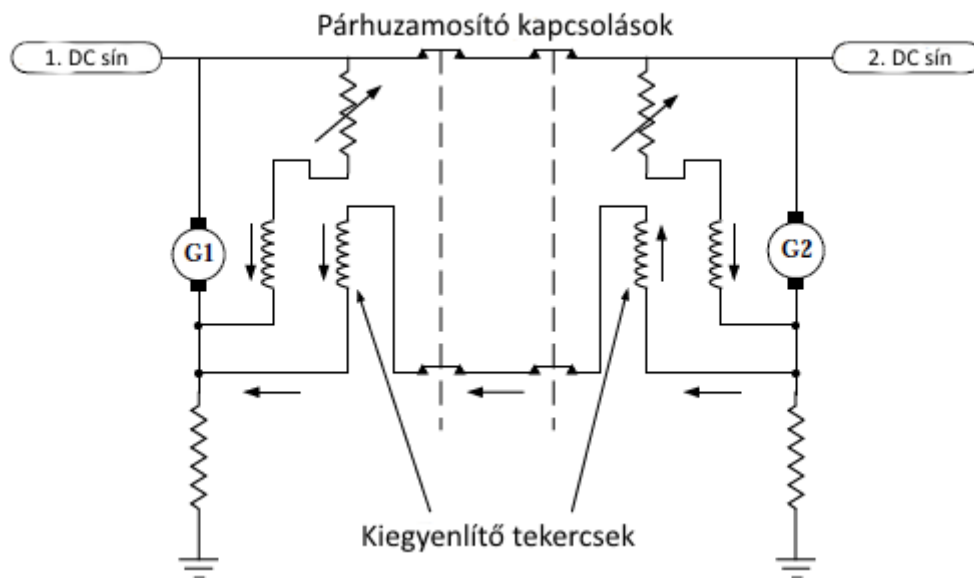
¹⁸ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.5

mérete korlátozott, a vezető keresztmetszetén szállítható korlátozott árammennyiség miatt. Egy másik ok pedig a megengedett szint túllépése esetén megnövekvő generátor karbantartási költségek [5][6][8].

2.1.3.2 DC rendszerek párhuzamos működése

A több hajtóműves repülőgépeknél minden hajtómű egy-egy generátort hajt, ezáltal a légi jármű számára még akkor is megszakítás nélküli energiaellátás biztosított, ha valamelyik hajtómű vagy generátor meghibásodna. Ez azért is fontos, mert egy légi járművön számos érzékeny műszer és navigációs berendezés található, amiknek ha táplálását megzavarják, akkor az eszköz újraindítása, esetleg újra kalibrálása szükséges. Azért, hogy ezt elkerüljék, a generátorokat párhuzamosan működtetik, melyek energiáját a terhelések között egyenlő részben osztják szét. Ilyenkor az adott generátorok feszültség szabályozóját összekapcsolják és így a generátorok egyenlőtlen terhelését – a gerjesztési áram megfelelő változtatásával – ki tudják egyenlíteni [5][6][8].

A 8. ábra a DC generátorok párhuzamos leegyszerűsített kapcsolását szemlélteti.



8. ábra Párhuzamosított DC generátor¹⁹

2.1.3.3 DC rendszerek védelmi funkciója

Az egyenáramú hálózatok fogyasztóinak, illetve energia termelő eszközeinek védelménél a következő jelenségek elkerülésére törekednek:

¹⁹ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.8

- Visszáram;
- Túlfeszültség;
- Feszültségcsökkenés.

Visszáram: alap esetben az áram a generátoroktól a busz és az elosztó rendszerek felé folyik. A hiba esetleges előfordulásánál, az áramfolyás iránya megváltozhat, ezáltal károsítva az elsődleges rendszerek egyes elemeit. A hibák megakadályozása érdekében olyan megszakítókat vagy reléket építenek be, amelyek érzékelik a visszáramot. Észlelésnél ezek az eszközök lekapcsolják a generátort a hálózatról, ezzel megelőzve a generátor és az ahhoz kapcsolódó rendszerek meghibásodását.

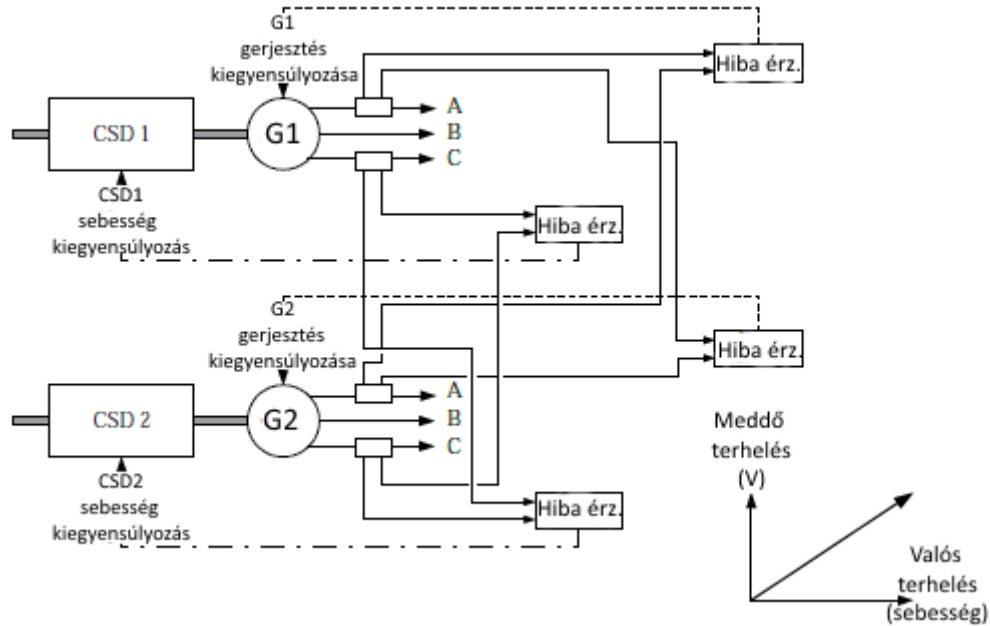
Túlfeszültség: a gerjesztő áramkörben keletkező zavarok esetén a generátor túlgerjedhet, ami hálózati feszültséget abnormális szintre való emelkedését eredményezheti. Ez hosszú távon az elektromos berendezések maradandó károsodását okozhatja. Az erre kialakított védelem érzékeli a hiba keletkezéséhez szükséges feltételek kialakulását, így mielőtt a túlfeszültség kárt okozhatna, nyitja a generátor a hálózatra kötő kontaktor kapcsait, ezzel lekapcsolva azt a rendszerről.

Feszültség csökkenés: egy-generátoros rendszereknél a feszültségcsökkenés a visszáramnál leírtakhoz hasonló hibajelenségeket okozhat. A több-generátoros hálózatoknál viszont, a párhuzamos üzemben használt kiegyenlítő áramkörök miatt, már kicsit más a helyzet. Itt feszültségcsökkenés elleni védőképesség kiépítése elengedhetetlen, hiszen az egyik generátor üzemképtelenné válása esetén, a másik generátor próbálja leadni az összes szükséges teljesítményt. Ilyenkor ezen generátorok árama hirtelen megnövekszik, ezáltal csökkentve a kapocsfeszültséget. Ekkor rendszerhez kapcsolódó automata feszültségszabályzó és egy feszültségcsökkenés ellen védő relé próbálja visszaállítani a megfelelő feszültséget [5][6][8].

2.1.3.4 Váltakozó áramú rendszerek feszültség szabályzása

A váltakozó áramú generátorok az egyenáramú gépektől abban különböznek, hogy az AC rendszerek számára a tekercsek gerjesztéséhez egyenáram szükséges. A váltakozó áramú áramfejlesztők gerjesztése igen komplex feladat, mert ezek műszaki megvalósításai változhatnak az alapján, hogy állandó vagy váltakozó frekvenciájú generátorokról beszélünk, de dolgozatomban erre külön nem térek ki. Néhány ezek közül kifinomult vezérlő hurkokat tartalmaz hibaérzékelőkkel, elő és teljesítmény erősítővel [5][6][8].

2.1.3.5 AC rendszerek párhuzamos működése



9. ábra Párhuzamosított AC rendszerek²⁰

A szünet nélküli tápáram biztosítására, az egyenáramú generátorokhoz hasonlóan, a váltakozó áramú generátorokat is párhuzamos üzemben működtetik. Itt fontos megjegyezni, hogy ez a fajta kapcsolási mód csak az állandó frekvenciájú AC generátoroknál működik, mivel a párhuzamos stabilizálatlan vagy váltakozó frekvenciájú eszközök esetén ez lehetetlen. Valójában a repülőgépek számos fogyasztója közül, amit VF váltakozó áramú generátor táplál – ilyenek például jégtelenítő rendszerek és a fűtő elemek – igen sok frekvencia érzéketlen. Ebből kifolyólag a szünetmentes áramellátás lehetősége már közel sem olyan fontos.

A párhuzamosan kapcsolt AC gépek (9. ábra) vezérlési feladatai sokkal összetettebbek, mint a DC gépek esetén, mivel a hatékony terhelés elosztás érdekében, mert szükséges a valós és meddő terhelési vektorok szinkronizálása. Párhuzamos működtetésű AC generátoroknak az indítás vagy leállítás alatt van jelentősége, a földi táplálásról és/vagy az APU²¹ táplálásáról, a repülőgép fő generátora termelt energiára való átállásánál. Itt azért alkalmazzák ezt a kapcsolási módot, hogy elkerüljék az esetleges üzemzavarokat vagy az elektromos meghajtású berendezések újraindulását.

²⁰ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.9

²¹ Auxiliary Power Unit (APU) – Magyar szakterminológiában segédhajtómű. Neve megtévesztő lehet, mert ha a repülőgép összes hajtóműve meghibásodik, ez nem alkalmas a meghibásodott hajtóművek helyettesítésére. Ez egy gázturbinás segédenergiaforrás, melynek feladata a repülőgép állóhelyén történő áramellátása, valamint a levegő keringetése a sugárhajtóművek beindításához.

A valós terheléelosztás függ a generátor relatív forgási sebességétől és ezáltal a generátor relatív fázisfeszültségétől. Az állandó sebességű vagy állandó frekvenciájú egyenáram termelés függ az áramfejlesztő állandó sebességű meghajtásának követési pontosságától, amit gyakorlatban vezérlő algoritmusok alkalmazásával érnek el. Ezek a terhelések kiegyensúlyozatlansági fokát mérik az áramátalakító és a hiba detektáló áramkörök alapján beállítva az állandó sebességű meghajtásokat úgy, hogy a generátorok által felhasznált nyomatékok egyenlők legyenek.

Generátorok közötti meddő terhelés megosztása az egyes generátorok által előállított feszültségektől függ. Az áramfejlesztők kimeneti feszültsége, a feszültségszabályzók és a gerjesztő áramkörök teljesítményétől függ. A meddő terhelés megosztásához egy speciális transzformátor, hiba érzékelő áramkörök, előerősítők/teljesítmény erősítők használata szükséges, melyek beállítják a gerjesztő áram nagyságát. Ezáltal az állandó sebességű meghajtás sebességének beállításával, valamint a generátorokhoz jutó mezőgerjesztés kiegyensúlyozásával, a valós és a meddő terhelések egyenlően szétoszthatók a generátorok között. Így a repülőgép AC rendszer energia ellátása még nagy teljesítményigény ideje alatt is stabil marad. A párhuzamos üzemű kiépítés talán legnagyobb előnye, hogy a generátorok fázisai szinkronban vannak, ezért egy esetleges meghibásodásnál nincsenek átkapcsolási átmeneti állapotai [5][6][8].

2.1.3.6 AC rendszerek ellenőrző és védő funkciói

A váltakozó áramú rendszerek vezérlésének ellenőrző és védő funkciója a következőket figyeli:

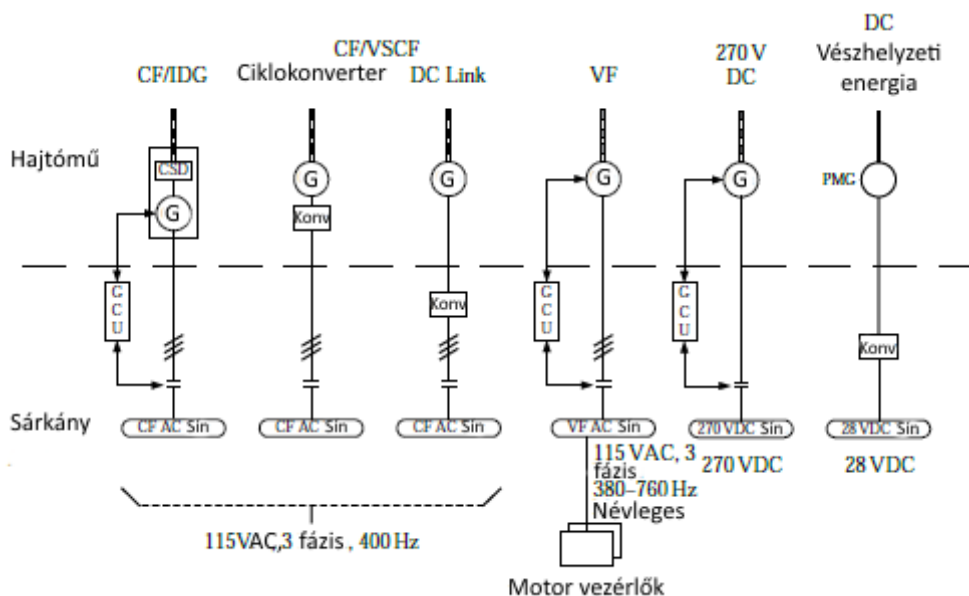
- túlfeszültséget;
- feszültségcsökkenést;
- alul vagy túl gerjesztést;
- kicsi vagy nagy frekvenciát;
- különbozeti védelmet;
- helyes fázissorrendet.

A túlfeszültség, feszültségcsökkenés, alul vagy túl gerjesztés ellen védő funkciók az egyenáram fejlesztő rendszerek vezérlésénél leírtakhoz hasonlóak. A kis illetve a nagy frekvencia elleni védelmet a fentebb leírt AC rendszerek párhuzamos üzeme biztosítja. A különbozeti védelmet pedig úgy tervezték, hogy érzékelje a sínek vagy a fidek rövidzárlatát, ami az igen nagy rövidzársi áram hatása miatt tönkretetheti a generátort. A különbozeti transzformátorok érzékelik a fázisáramokat a hálózat különböző részein. Ezek úgy vannak összekapcsolva,

hogy a generátorvezérlés megszakító (GCB²²) érzékelő áramkörei, a fázis áramok bármekkora eltérésénél, a fázis-kiegyenlítetlenség miatt lekapcsolja a generátort a hálózatról [5][6][8].

2.1.4 Modern váltakozó áramú generátor típusok

Korábban már foglalkoztunk a 400 A-ig korlátozott egyenáramú rendszerekkel, illetve a konstans frekvenciájú, IDG technológiát alkalmazó váltakozó áramú rendszerekkel. Ma valójában már sokkal több típusú generátort alkalmaznak. Számos közelmúltbéli kutatással sikerült beazonosítani a rendszerek hibáit, valamint előre jelezték a polgári felhasználású gépek energia igényének a növekedését. Azonban a fejlesztéseknél, a repülőgép energetikai rendszerének teljesítményszintjének növelésével együtt, az elsődleges energiaellátó rendszer különböző típusainak a száma is emelkedett.



10. ábra Generátor típusok²³

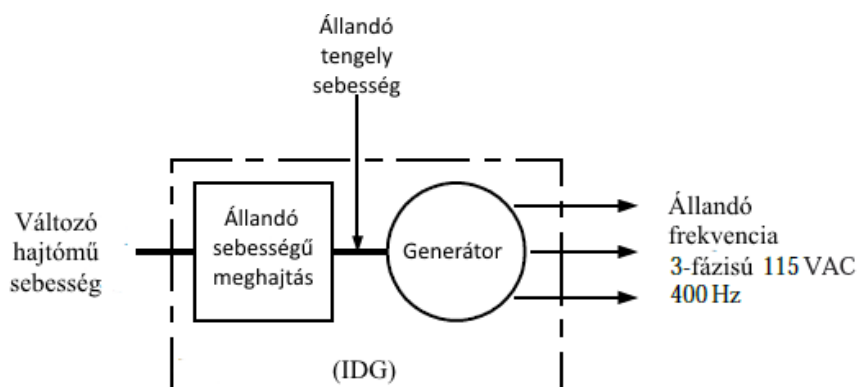
A jelenleg használt különböző energia fejlesztő rendszereket a 10. ábrán láthatjuk. A következőkben részletesebben megvizsgálom az IDG, a VSCF Ciklokonverter és DC Link generátorokat, melyek állandó 400 Hz-es frekvenciájú, 115 V-os háromfázisú váltakozó áramot termelnek. Továbbá foglalkozni fogok a változtatható frekvenciájú 115 V-os háromfázisú energiatermelőkkel, melyek viszonylag olcsó generátorok, de hátrányuk, hogy a motor terhelésétől függően, külön motor vezérlésre van szükség. Végül pedig az amerikai katonai légierőnél alkalmazott 270 V egyenáramú rendszereket, valamint a repülőgépek földi tápellátását fejtem ki röviden [5][6][8].

²² Generator Control Breaker (GCB) – Generátor vezérlés megszakító

²³ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.10

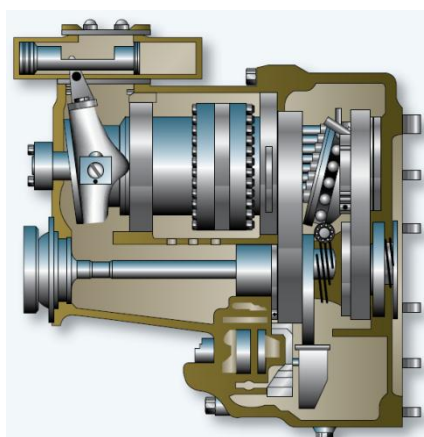
2.1.4.1 Állandó frekvenciájú/IDG energiatermelés

Az állandó frekvenciás 115 V, 400 Hz háromfázisú rendszer (11. ábra), a leggyakrabban alkalmazott energiatermelési módszer a repülőgépeken. Az CF helyett gyakran nevezik integrált meghajtású generátornak is, mivel az állandó frekvencia és feszültség fenntartásához, egy hidromechanikus elven működő állandó sebességű meghajtást alkalmaznak. Ha ezt az eszközt egybe építik a generátorral és annak a hűtő, illetve kenő rendszerével, akkor IDG-ről beszélünk.



11. ábra CF Generátor²⁴

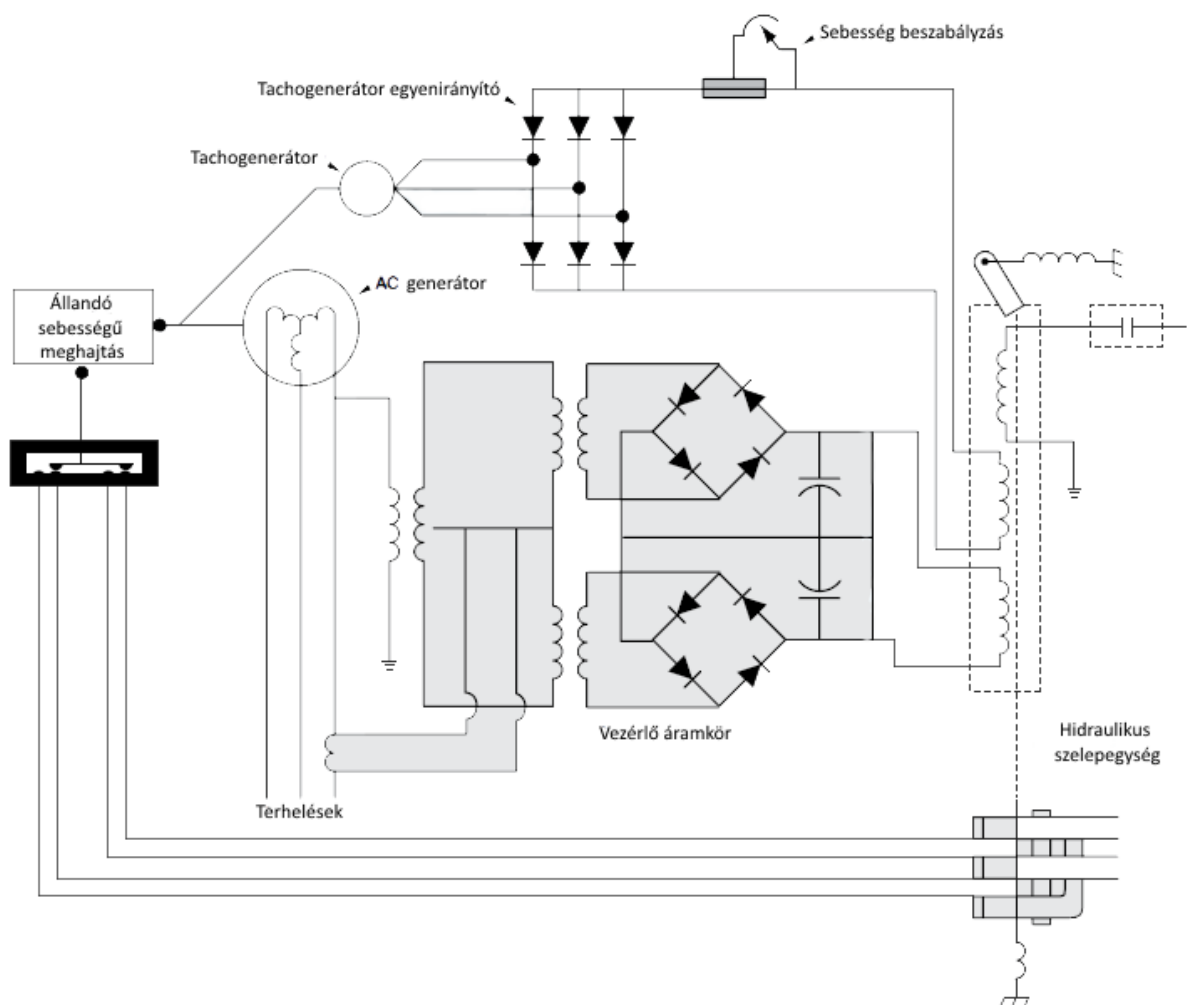
A CSD hidraulikus egység működése a mai modern gépkocsik automata váltójához hasonló. Ha a repülőeszköz hajtóművének sebessége változik a generátor tengelyének fordulatszáma állandó marad, ami állandó frekvenciát eredményez. Az alkatrész hidraulikus működtetését hidraulika-vagy motorolajjal oldották meg, egyes esetekben pedig a szerkezet hűtése is ugyanezzel az olajjal történik. Egy ilyen tipikus hidraulikus meghajtású CSD metszetét a 12. ábrán láthatunk.



12. ábra Hidraulikus CSD²⁵

²⁴ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.11

Ezeket a szerkezeteket mechanikusan és elektronikusán is lehet vezérelni, a modern repülőgépeken persze elektronikus vezérlést alkalmaznak. Ilyen vezérlés kapcsolási rajzát figyelhetjük meg a 13. ábrán. Mint ahogy az az ábrán is látható, a generátor bementi sebességét egy fordulatszám mérő, tachogenerátor²⁶ felügyeli. A tachogenerátor az érkező jeleket tovább küldi a szelepegységnek, amibe a szelepek működtetéséhez három elektromágnest építettek. Az AC generátor kimeneti jele a vezérlő egységen is keresztül megy, ezáltal pedig a hidraulikus szelepegységek is táplálást kapnak. Így három elektromágnes a szelep vezérlésével szabályozza az állandó sebességű meghajtóba jutó olaj áramlását, következésképpen a váltakozó áramú generátor sebességét.



13. ábra Elektromos vezérlésű CSD²⁷

²⁵ FAA-H-8083-31 Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe Volume 1. Federal Aviation administration, 2012. Figure 9-79. url: http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/amt_airframe_vol1.pdf (2014.04.01.)

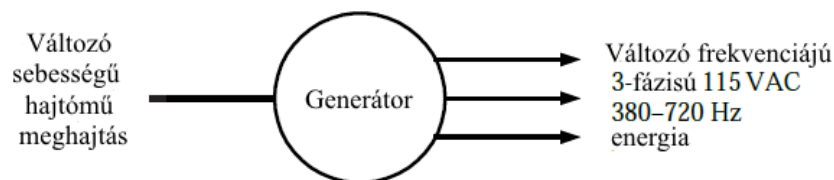
²⁶ Tachogenerátor – Fordulatszám érzékelő, ami a fordulatszámmal arányos feszültséget állít elő

²⁷ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – FAA-H-8083-31 Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe Volume 1. Federal Aviation administration, 2012. Figure 9-80. url: http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/amt_airframe_vol1.pdf (2014.04.01.)

Nagy hátránya, hogy a bonyolult hidromechanikai berendezésnek beépítése és fenntartása igen költséges. A rendszert működőképességét, az olaj feltöltöttségét és tisztaságát minden repülés előtt ellenőrizni kell, valamint működési megbízhatóságának fenntartása érdekében gyakori javításokra is szükség van. Az állandó frekvenciájú váltakozó áramú hálózatokat ma leggyakrabban a turbó légcsaváros repülőgépeken alkalmazzák, de a fentiekben megfogalmazott problémák miatt, az új fejlesztésű repülőknél már más alternatív módszerek után kutatnak [1][2][7][8][12][13].

2.1.4.2 Változó frekvenciájú áramfejlesztés

A változó frekvenciájú energiafejlesztés az egyik legújabb versenyző az áramfejlesztési módszerek között. Ennél a technológiánál a VF generátorok tengelyei közvetlenül kapcsolódnak a hajtómű tengelyére. Ahogyan a 14. ábrán is láthatjuk a VF az elektromos energiatermelés legyegeyszerűbb, legmegbízhatóbb és legolcsóbb formája. Ezek mellett kis súlyával, méretével térfogatával és alacsony üzemeltetési költségével, más energiafejlesztő módszerekkel összehasonlítva, egy nagyon ígéretes táplálási fajtáról beszélünk. Ennél az áramfejlesztési technikánál meg sem próbálták megkísérelni a hajtómű fordulatszámának és az előállított teljesítménynek a 2:1 arányának a megszüntetését annak ellenére, hogy a 115 V váltakozó áram frekvenciája általában 380 és 720 Hz között ingadozik. Pedig az ilyen széles frekvencia tartományban változó teljesítmény már jelentős kockázatot jelenthet a repülőgép frekvencia érzékeny fogyasztóira. Ez igaz például a sok repülőrendszerben használt nagyteljesítményű, váltakozó áramú elektromos motorokra. Az ezekből fakadó problémáknak a repülőgép más rendszereinél látjuk kárát, többek között az üzemanyag, a hidraulika vagy az életkörülményeket biztosító rendszereknél. Sok esetben a motorok vagy szivattyúk teljesítményének változását még lehet igazítani, de rosszabb esetben motor vezérlés beépítése szükséges a hálózati frekvencia változtatásához.



14. ábra VF Generátor vázlata²⁸

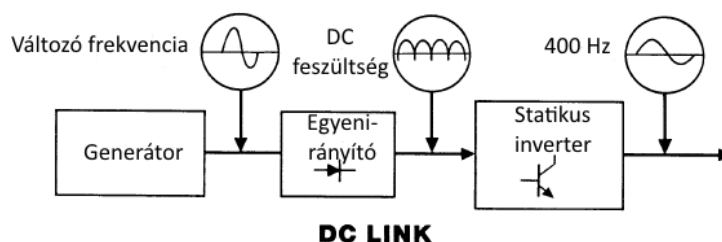
²⁸ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.12

A változó frekvenciájú hálózatokat már széleskörben használják az üzleti sugárhajtású repülőgépeknél, ami nem meglepő figyelembe véve, hogy ezen rendszerek maximális teljesítménye a két hajtóműves 28 V egyenáramú rendszerek 12 kW határa felett van. A Global Express energiaellátását például már a kezdetektől fogva ilyen váltakozó frekvenciájú rendszerre tervezték, a mai gépeknél pedig már az Airbus A380 és a Boeing 787 is ilyen VF áramfejlesztő rendszert használ [1][2][8][13].

2.1.4.3 Változó sebességű állandó frekvenciájú energia táplálás

Energia termelő rendszerek, ahol a változó sebességű és változó frekvenciájú, közvetlen meghajtású generátor által előállított áramot, szilárdtest relék felhasználásával konstans 400 Hz frekvenciájú, 115 V-os váltakozó árammá alakítják. Ennek az átalakításnak két változata van:

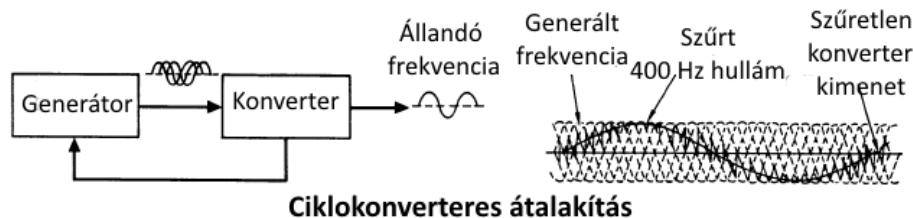
- DC link: ezt a típust az egyenáramok váltakozó árammá való alakításánál használják. A legtöbb újfejlesztésű katonai-, valamint néhány kereskedelmi repülőgépnél a VSCF rendszernek ezt a változatát preferálják. Ebben az esetben a generátor közvetlenül a hajtóműre van csatlakoztatva, ezért a kimeneti frekvencia a fordulatszám változásának megfelelően alakul. A hajtómű fordulatszáma viszont egy normál repülési út alatt is széles tartományon mozog, ezáltal pedig a frekvencia is. Ezért a generátor kimeneti teljesítményét a kapcsolódó áramköröknek felhasználható formába kell hoznia. A generátortól érkező váltakozó frekvenciájú váltakozó áramot egyenirányító diódákkal egyenárammá alakítják. Ezután háromfázisú inverterek felhasználásával az egyenáramot háromfázisú 115 V-os 400 Hz-es váltakozó árammá konvertálják. Ez egy tipikus VSCF DC-link rendszer működése, melyet a sematikus 15. ábrán tekinthetünk meg. Az elmúlt évek során viszont ezen áramfejlesztők struktúrájában is számos fejlesztés történt. Amivel javítani tudták a rendszer stabilitását és képesek voltak csökkenteni a meddő teljesítményét. A nagyteljesítményű elektromos kapcsolók fejlesztésével a rendszer felhasználhatósági tartományát is kiszélesítették. A DC-link típust alapvetően az egyszerűség és olyan megbízhatóság jellemzi, amivel csak a CF vagy VF típusú energifejlesztők tudnak versenyezni.



15. ábra VF DC-link generátor²⁹

- Ciklokonverter: A VSCF ezen változata egy másik elvet használ frekvencia stabilizálására. Itt hat fázist generálnak mely meghaladja a 3000 Hz-es frekvenciát. A hat fázis között előre meghatározott és gondosan ellenőrzött módon félvezető eszközöket kapcsolnak, így a bemenetet egyenirányítják. Ezáltal a változó frekvenciájú, váltakozó áramból, fix frekvenciájú és amplitudójú háromfázisú 115 V/400 Hz váltakozó áram lesz.

A ciklokonverteres alkalmazás hatékonyabb mint az állandó frekvenciás vagy a DC-link-es megvalósítás, de használatához bonyolult szabályzás szükséges. Ennek ellenére a katonai repülőgépeknél – mint a U-2 és F-117 – már sikerrel alkalmazták, viszont ezen módszer civil repülőgépeken való felhasználása még várat magára. A 16. ábrán a ciklokonverteres áramfejlesztés működését láthatjuk vázlatosan [2][8][12].



16. ábra Ciklokonverteres VF generátor³⁰

2.1.4.4 270 V-os egyenáramú rendszerek

Normál esetben a 270 V egyenáramú ellátás nem tekinthető VSCF rendszernek. Ebbe a kategóriába azóta sorolható, hogy olyan változó frekvenciájú energiát használ, amit a közvetlen meghajtású generátor tekercselt forgórésze termel. A 270 V-os egyenáramú rendszer alap feltétele hogy, ezt az energiát egyszerűen, bármilyen komplex elektromos átalakítók használata nélkül, – ellentétben a ciklokonverteres VSCF hálózatokkal –

²⁹ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – M.J, Cronin, A. P. Hays, F. B. Green, N. A. Radovich, C. W. Helsley, and W. L. Rutchik: Integrated Digital/Electric Aircraft Concepts Study. Nasa Contractor Report 3841, 1985. 452 p. Figure 23. url: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19850008552.pdf> (2014.03.15.)

³⁰ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – M.J, Cronin, A. P. Hays, F. B. Green, N. A. Radovich, C. W. Helsley, and W. L. Rutchik Nasa Contractor Report 3841 Integrated Digital/Electric Aircraft Concepts Study url: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19850008552.pdf> (2014.03.15.)

háromfázisú 200/115 V 400 Hz-es váltakozó áram egyenirányításával hozzák létre. Az átalakítást egy kétütemű egyenirányító hidas kapcsolással érik el. Az egyenáramú kimeneti feszültség és a váltakozó áramú bemeneti feszültség közt fennálló összefüggést ír le [12]:

$$E_{DC} = \sqrt{2} E_L \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}$$

ahol:

E_{DC} – egyenáramú kimeneti feszültség;

E_L –váltakozó áramú fázisfeszültség;

m – a fázisok száma (radiánban)

így:

$$E_{DC} = \sqrt{2} 200 \frac{6}{\pi} \sin \frac{\pi}{6} = 270,095 \text{ V}$$

Ezek alapján az egyenáramú 270 V létrehozása könnyen megvalósítható, a háromfázisú 200 V-os állandó feszültségű tápforrással. Az egész rendszer alapvető egyszerűsége mégis abban rejlik, hogy ehhez a viszonylag nagy értékű 200/115 V-os feszültség létrehozásához csak kifinomult inverterek alkalmazása szükséges.

A generátor 2:1 fordulatszám aránya miatt, a generátor feszültsége nem állandó. Azért, hogy a váltakozó áramú generátor által előállított energiát, ingadozó hajtómű fordulatszámánál is felhasználhassák, a fázisszög szabályzásához teljes hullámú négyrétegű kapcsoló diódák híd beépítése szükséges. Így a generátor jellegéből adódóan képes arra, hogy a szabályzó esetleges meghibásodásánál vagy a generátor kimenetén keletkező rövidzár esetén a 270 V egyenfeszültségből, normál hajtómű fordulatszámon akár 540 V-os egyenfeszültség keletkezzen. Ekkor az SCR³¹ fázisszöge késni fog, hogy korlátozza a generátor feszültségét 270 V-ra. Földön – 50%-s hajtómű fordulatszámánál – a generátor teljesítményét és az SCR fázisszögét addig a pontig emelik, amíg a generált szinuszos hullám teljes területének mindkét félciklusában nem hasznosul.

Teljesítmény szempontjából a 270 V-os villamosenergia rendszer alapvetően egy egyszerű és megbízható generátor koncepció. Az energia minősége jó és a hullámosságát is viszonylag könnyen lehet szabályozni, szűrni, ezáltal egy állandó kimeneti feszültség szintet beállítani. Fő hiányossága, hogy nem sok olyan katonai vagy kereskedelmi célú repülőgép típus van,

³¹ Silicon Controlled Rectifier (SCR) – Szilícium egyenirányító, négyrétegű kapcsolódióda

aminek egyenáramú vagy váltakozó áramú motorjaihoz az előállított egyenáramú energiát közvetlenül felhasználhajtuk. Emellett pedig, mint minden állandó teljesítményű VSCF rendszernél, a közvetlenül hajtott generátorok súlya a bennük lévő elektromágnesek miatt, jelentősen nagyobb, mint a CSD-n keresztül meghajtott generátoroké [12].

2.1.4.5 Földi táplálás

A légi jármű üzemeltetése során, gyakran a földön is áramellátásra van szükség. Földi táplálást egy motor-generátor együttesel lehet létrehozni, ahol az elsődleges motor egy generátort hajt, ami táplálást biztosít a repülőeszköznek, a jármű elektromos aljzatán keresztül.

A szabványos földi táplálás 115 V, háromfázisú 400 Hz-s váltakozó áramot biztosít, ami megegyezik a repülőgép AC generátora által biztosított energiával. A nagyobb repterek esetében a háromfázisú 115 V-os földi táplálást gyakran, az elektromos hálózatból, áramátalakítók alkalmazásával biztosítják a repülőgépek számára. A légi jármű rendszert, a földi táplálás folyamatos ellenőrzésével védik, a kifogásolható földi hálózati táplálás ingadozásaitól. Ez az ellenőrzés biztosítja, hogy a lényeges paraméterek teljesüljenek, mielőtt alkalmaznák a külső áram vezérlést (EPC³²). Így a földi táplálás ellenőrzés hasonló funkciót tölt be, mint a GCU³³. Az így tipikusan ellenőrzött paraméterek a feszültség csökkenés, a túlfeszültség, a frekvencia, valamint a fázissorrend helyesség [8].

2.2 Vészhelyzeti energia táplálás

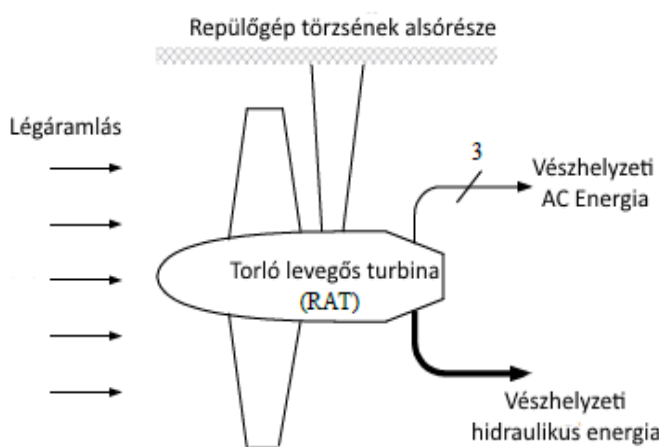
Bizonyos vészhelyzeti körülmények között, a repülőgépek számára további energia termelő eszközök szükségesek, hogy a fontos repülőgép rendszereket működtetni tudják. A jelenleg használt repülőgép akkumulátorok rövidtávú energia tároló kapacitása legfeljebb 30 perc. A hosszan tartó működtetésnél azonban az akkumulátor kapacitása nem megfelelő. A két hajtóműves rendszereknél azonban előírás, hogy a légi járműveknek vészhelyzet esetén akár 180 percet is képesek legyenek repülni, egy alternatív repülőtérré való leszálláshoz. Azért, hogy ezt az időkorlátot biztonsági ráhagyással tartani tudják, az elektronikai rendszer módosítása vált szükségessé. A következőkben három hagyományos módszert fogok részletezni, mely a civil repülőeszközökön a biztonsági energia ellátásért felelős.

³² External Power Control (EPC) – Külső áram vezérlés

³³ Generator Control Unit (GCU) – Generátorvezérlő egység

2.2.1 Torló levegős turbina (RAT³⁴)

A torló levegős turbinát (17. és 18. ábra) akkor alkalmazzák, mikor a légieszközökön a legtöbb hagyományos energia termelő rendszer valamiért nem működik. A RAT egy levegővel hajtott turbina, melyet a repülőgépek hasi vagy orr részén helyeznek el. Kiengedése automatikusan vagy manuálisan történik, a veszélyhelyzet kezdetekor. A turbinán áthaladó levegő egy kis korlátozott kapacitású vészhelyzeti generátort hajt meg, ami elegendő energiát biztosít az alapvető repülési műszerekhez és egyéb kritikus fogyasztókhoz. A RAT generátorok teljesítménye géptípusoktól függően 5 és 15 kVA között változik. A turbina egyúttal egy kis hidraulika generátort is ellát energiával, mely a vészhidraulika rendszert táplálja. Ha a turbinát működésbe hozzák, akkor az a repülés ideje alatt végig kinn marad és csak a földi karbantartásnál lehet visszazárni. A torló levegős turbina alapvető célja az, hogy elegendő energiát szolgáltatson a repülőgép számára, míg az elsődleges generátort megpróbálják helyre állítani, vagy amíg a repülővel el nem érik a legközelebbi repteret. Nem feladata tehát, hogy a repülőeszköz rendszereit tartósan nagy mennyiségű energiával lássa el. Komoly hátrányuk, hogy beszerelésük és karbantartásuk drága, de a légitársaságoknál is népszerűtlen [5][8].



17. ábra RAT vázlat³⁵



18. ábra RAT beépítve³⁶

2.2.2 Vészhelyzeti energia konverterek

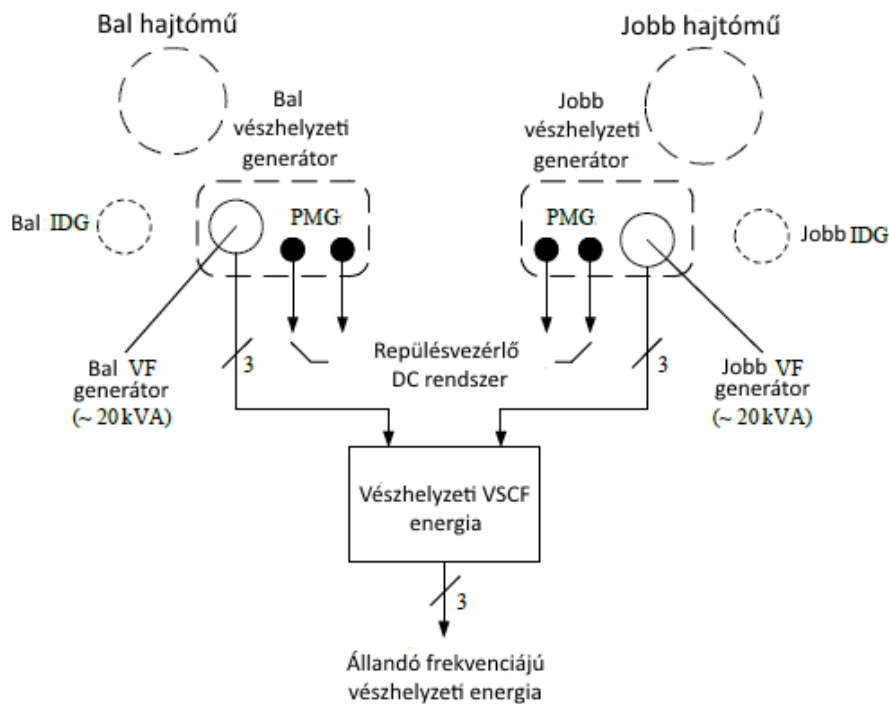
A RAT bekapcsolása, csak a legvégső esetben történik meg, ezért helyette gyakran más módszereket használnak a vészhelyzeti áramellátásra. Ilyenek például a vészhelyzeti áram konverterek, melyeket a Boeing 777-ben is alkalmaznak. A vészhelyzeti generátor hajtása ugyanarról

³⁴ Ram Air Turbine (RAT) – Torló levegős turbina egy kis teljesítményű generátor a vészhelyzeti energia ellátására

³⁵ Szerkesztette a szerző (Pain.Net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.22

³⁶ <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/photos/9/3/7/0191739.jpg> (2014.04.23)

a hajtóműről történik, de a fő integrált meghajtású generátortól már teljesen független. Ezek a generátorok változó frekvenciájúak, mivel frekvenciájuk a hajtómű sebességével folyamatosan változik. Ezt a váltakozó frekvenciát betáplálják a DC-link technológiát alkalmazó vészhelyzeti átalakítóba, ami először a váltakozó áramot egyenirányítással egyenárammá alakítja. A konverter ezután három fázisú 400 Hz-s, 115 V-os váltakozó áramot állít elő, kifinomult szilárd test kapcsoló technikával. Az eredmény a repülőgépek számára egy alternatív módszer, a váltakozó áramú energiatermeléshez, ami például a B777 esetén a 115 V-os váltakozó áramú síneket táplálja. Ily módon a repülőgép energetikai rendszerének egy jelentős része táplálás alatt marad, bár néhány nagyobb terhelés, mint például a konyha és más nem alapvető fontosságú fogyasztók ellátását az elektromos terhelés vezérlő rendszer (ELMS³⁷) lekapcsolja. Működését a 19. ábra mutatja [2][8].



19. ábra Vészenergia konverter³⁸

2.2.3 Állandó mágneses generátor (PMG³⁹)

Az utóbbi évtizedekben a vészhelyzeti energia ellátására egyre inkább állandó mágneses generátorokat használtak, melyek egy vagy több fázisúak lehetnek. Minél több fázist alkalma-

³⁷ Electronical Load Management System (ELMS) – elektromos terhelés vezérlő rendszer

³⁸ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.23

³⁹ Permanent Magnet Generator (PMG) – Állandó mágneses generátor

zunk a konverternek annál könnyebb lesz előállítani a szabályozott 28 V egyenáramot. A vészhelyzeti konverterekkel ellátott PMG, több száz watt, független előállított energiát termel a repülést vezérlő 28 V-os egyenáramú rendszerek számára. A váltakozó áramú generátorok jellemzésénél már említettem, hogy a gerjesztő rendszer elindításához is állandó mágneses generátorokat alkalmaznak. A teljes hatáskörű szabályzó rendszerek minden sávjának kettős független ellátására, szintén PMG-t használnak. Kedvező tulajdonságaik, hogy hűtése egyszerű, a generátor elméleti forgási vesztesége pedig csaknem nulla; a többi generátor típushoz képest hatékonyabb; magas pólus száma miatt az állórész tekercsek hossza kisebb; minden alkalommal öngerjesztők [2][8].

2.3 Elsődleges energia elosztó rendszerek

Az elsődleges energia elosztó rendszer egyesíti a repülőeszközökön található összes elektromos energia bemenetet. Egy hétköznapi civil felhasználású repülőgép a következő energia forrásokból kaphat táplálást:

- A generátor vezérlés megszakító útján a repülőgép fő generátorától, melyet a GCU a generátorvezérlő egység tart irányítás alatt.
- Pótgenerátortól, ami a generátor meghibásodása esetén, a busz energiaellátást ellenőrző egység (BPCU⁴⁰) által szabályzott sínáthidaló⁴¹ vezérel.
- APU generátortól, a BPCU által szabályzott APU generátort vezérlés megszakítója révén.
- Földi táplálásból, amit egy külső energia kontaktor vezérel (EPC⁴²) és a BPCU tarja ellenőrzés alatt.
- VSCF átalakítóval vezérelt átalakító vezérlés megszakító útján a vész átalakítótól, de csak a Boeing 777 esetében.
- RAT-tól a vészhelyzeti energetikai rendszer alkalmazása esetén.

Az áramforrásoknál gyűjtősíneket, a fogyasztói oldalon táplálási síneket alakítanak ki, rendszerint több szinten és energia fajtánként külön-külön. Nem jellemző azonban földi távvezeték-rendszereknél megszokott sok feszültség szint. A sín inkább logikai elnevezés, gyakran megfelelő keresztmetszetű vezetékeket találunk és nem valódi rézrúd vezetők.

⁴⁰ Bus Power Control Unit (BPCU) – Sín energiaellátást ellenőrző egység

⁴¹ Sínáthidaló – Terhelés alatt lévő gyűjtősín össze illetve szétkapcsolására, valamint zárlat alatti szétválasztásra alkalmas megszakító

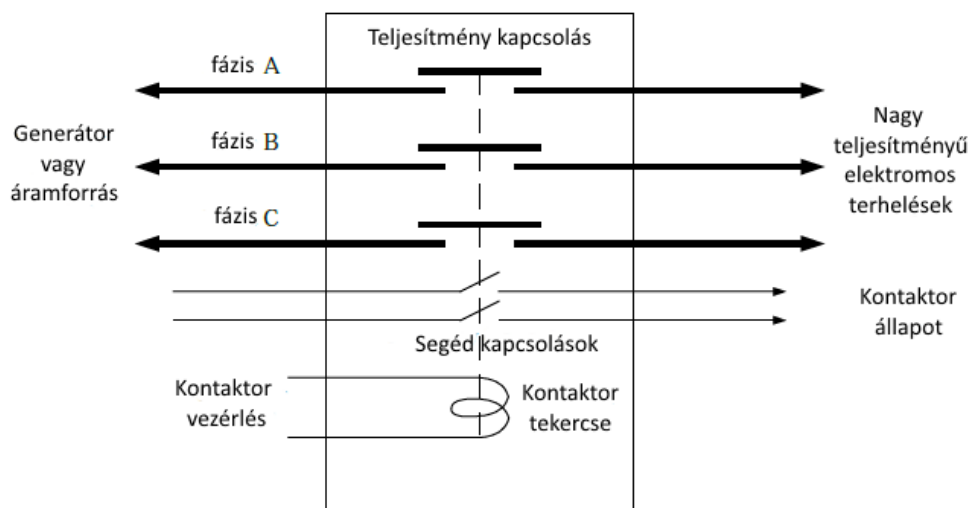
⁴² External Power Contactor (EPC) – Külső energia kontaktor

A fogyasztók egy részét az általános rendeltetésű síncsoport látja el energiával, míg a fontosakat egy másik, amely automatikus vagy kézi átkapcsolás révén két, esetleg több helyről is kaphat táplálást. A gép tervezésétől függően egy harmadik, esetleg további, egyre szűkebb fogyasztói csoportok ellátását további sínek kialakításával szolgálják. A sort általában vész-helyzeti sín állandó akkumulátoros sín zárja.

Az elosztási rendszerek topográfiája erősen függhet a légi járművek jellegétől, típusától, néha még az egyedtől is. Bizonyos szempontok alapján azonban jól vizsgálhatók.

A kezdetben kétvezetékes hálózatokat használtak. Az ilyen repülőgépeken az egyik vezeték, a fémépítésű járművek esetében maga fémtest adta. Az így kialakult egyvezetékes rendszer sokkal olcsóbb, de nagy hátránya egyenáram használatánál, hogy a fém alkatrészek érintkezésénél, testelő átkötéseinél az elektrokémiai korróziót tökéletesen soha nem lehet megelőzni. Háromfázisú rendszereknél elkerülhetetlen a háromvezetékes hálózat. A nulla vezető, ha a géptest összefüggőfém alkatrészekből áll, akkor továbbra is a sárkányszerkezet.

A rendszerek közötti energia átkapcsoláshoz kontaktorokat és áram megszakítókat alkalmaznak. Ezek nagy teljesítményű kapcsolók, melyek kapcsolási árama több mint 20 A fázisonként. Az áramkapcsolók magukba foglalnak segédkapcsolókat, melyek a kontaktort nyitott vagy zárt helyzetét biztosítják, a légieszköz többi rendszere számára. Ilyet láthatunk a 20. ábrán.

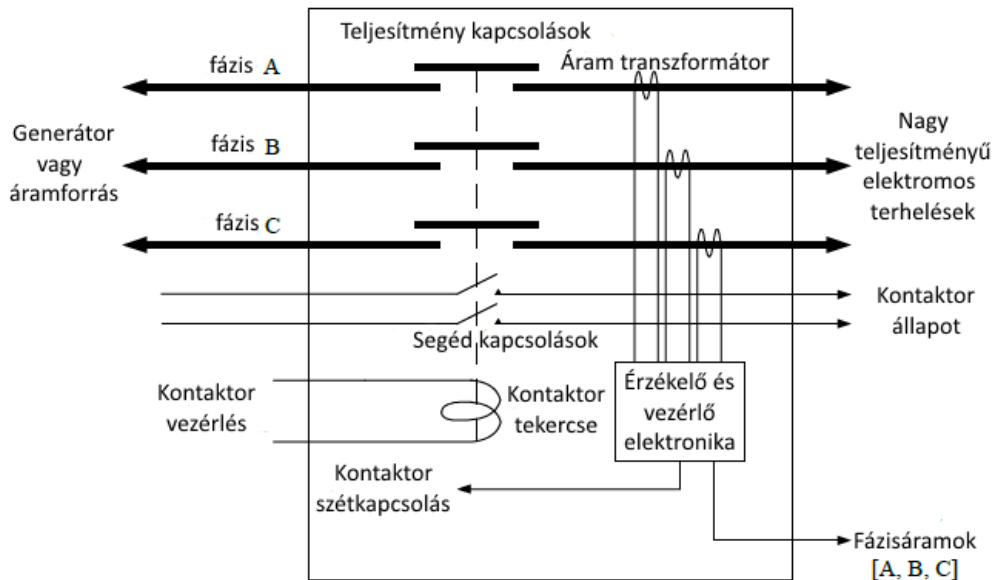


20. ábra Kontaktor⁴³

A repülőgép nagy teljesítményű fogyasztói, az elektromos terhelések vezérlőegységén (ELCU⁴⁴) vagy más néven „okos kontaktorokon” keresztül az elsődleges sínekre vannak

⁴³ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.16a

kapcsolva, ezzel is védve ezen fogyasztókat. A kontaktorokhoz hasonlóan ezeket a kapcsolókat is a névlegesen 20 A-nál azaz 7 kVA nagyobb teljesítményű áramok kapcsolására használják. Egy ilyen kontaktor működését a 21. ábrán láthatjuk [5][8].



21. ábra „Okos kontaktor”⁴⁵

2.4 Másodlagos energia-elosztó rendszerek

2.4.1 *Teljesítmény kapcsolás*

Azért, hogy az elektromos rendszerek állapotát változtathassák és újraprogramozhatók, a rendszeren belüli teljesítmény különböző szintekre való kapcsolása szükséges. Nagy energiaszinteknél, ezt nagyteljesítményű elektromágneses kontaktorok alkalmazásával érik el. Ezek az eszközök több száz amper képesek átkapcsolni, így ezek végzik a generátorok egyen illetve váltakozó áramú rendszerek gyűjtősíneire történő kapcsolást. Ezek az eszközöket úgy rendezik, hogy azok mágnesesen zárnak így a megfelelő állapotban, helyzetben maradnak egészen addig, míg egy elektromos jellel meg nem változtatják az állapotát. Egy másik szituációban az elektromos jel folyamatosan zárva tartja a kontaktor érintkezőit, a jel megszűnésének hatására pedig nyitja azokat. Ilyen kapcsolók az előző fejezetben már leírt elsődleges rendszerben használt kontaktorok valamint az okos kontaktorok.

20 A alatti áramok kapcsolására általában reléket alkalmaznak. Ezek működése nagyon hasonló a kontaktorokhoz, de azoknál könnyebbek, egyszerűbbek és olcsóbbak. Bizonyos he-

⁴⁴ Electronic Loads Control Unit (ELCU) – Elektromos terhelések vezérlőegysége

⁴⁵ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.16b

lyeken a fő energia rendszerben is használnak reléket, de alkalmazásuk inkább a repülőgépek közepes és nagy teljesítményű másodlagos terheléseinél jellemző.

Kisebb áramoknál, ahol egy adott készülék állapotának visszajelzésére szükséges egyszerű kapcsolókat is alkalmaznak. Ezeket a gép személyzete manuálisan működteti vagy a légi jármű üzemelése során más fizikai módon lép működésbe. Ilyenek például a végállás kapcsolók, a nyomáskapcsolók vagy a hőkapcsolók.

2.4.2 Fogyasztók védelme

Megszakítók

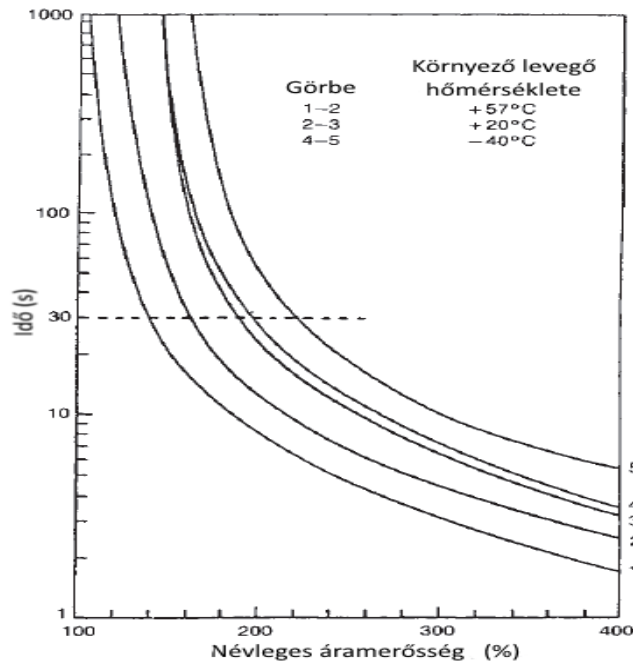
A megszakítók (22. ábra) feladata az áramkörben kialakuló elektromos túlterhelés elleni védelem. Ugyanazt a célt szolgálják, mint az áramkorlátozók vagy a biztosítékok.



22. ábra Megszakító⁴⁶

Egy megszakító normál működésnél zárt alaphelyzetű érintkezőkből áll. A szerkezet egy mechanikus kikapcsoló, mely bimetál elemek útján lép működésbe. Amikor túl áram a bimetál lemezeket keresztül folyik, a kétféle anyagból készült lemez a keletkező hő hatására különböző mértékben kitágul, majd elhajlik. Ezzel működésbe hozza a kikapcsoló szerkezetet, ami nyitja a megszakító alaphelyzetben zárt érintkezőit, lekapcsolva az energiát a hálózatról. A berendezés elején található kapcsolók, nyomógombok helyzete ennek hatására megváltozik, jelezve a megszakító lekapcsolt állapotát. Ilyenkor a kapcsoló alaphelyzetbe állításával a megszakítás megszűnik, ha a hiba azonban továbbra is fenn áll, akkor a megszakító újra működésbe lép. Az áramkört a kapcsoló manuális lekapcsolásával is meg lehet szakítani a berendezések elszigetelése vagy a repülőgép karbantartása végett. A különböző áramerősségeknek megfelelően a különféle áramkörökben, különböző árammegszakítókat használnak, így ezek kapcsolási karakterisztikájának minden típus esetében azonosnak kell lennie, ezt mutatja a 23. ábra. Egy tipikus légi jármű elosztó rendszerében több száz árammegszakítót használnak.

⁴⁶ Megszakító url: http://www.e-t-a.co.uk/fileadmin/user_upload/Ordnerstruktur/Images/Product_Images/Elektromechanik/4_Leistungsschutzschalter/4120.png (2014.04.20)



23. ábra Megszakítók karakterisztikája⁴⁷

Félvezető áramvezérlők

A nagy teljesítményű szilárdtest kapcsolók felhasználhatósága, évek óta mind a választék és mind a teljesítmény tekintetében folyamatosan emelkedik. A legújabb fejlesztések során egyre több félvezető teljesítmény kapcsoló eszközt használnak, mivel ezek kitűnő kapcsolási teljesítményük mellett remek védelmi tulajdonságokkal is rendelkeznek. A félvezető áramvezérlők hatékonyan kombinálják a relék, kapcsolók és árammegszakítók tulajdonságait. Hátrányuk jelenleg az, hogy bár a 22,5 A névleges áramerősségű egyenáramú fogyasztók védelmének jól alkalmazhatók, addig a váltakozó áramú terheléseknél ez az érték kisebb és az energia elfogadhatatlan mértékben disszipálódik. Egy másik problémája, hogy a relék és megszakítók kombinációjával összehasonlítva, ezen eszközök alkalmazása jóval drágább. A hagyományos berendezésekkel szemben a félvezető áramvezérlők sokkal alkalmasabbak a kis és közepes elektromos terhelések kapcsolására, védelmére így gyakrabban használják a jelenleg fejlesztés alatt álló repülőgépeknél. Magas működési ciklusban is sokkal előnyösebb az áramvezérlők használata, mivel ilyen üzemeltetésnél a relék már könnyen elhasználódnak. A jelenlegi vezérlők 5; 7,5; 12,5 és 22,5 A-en működnek és 27 illetve 270 V-os egyenáram kapcsolására is alkalmasak. Általánosan elfogadott, hogy a félvezető áramvezérlők egy óriási előrelépést jelentenek a hagyományos megszakítók, illetve a megszakítók és a relék kombinációjával

⁴⁷ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.18

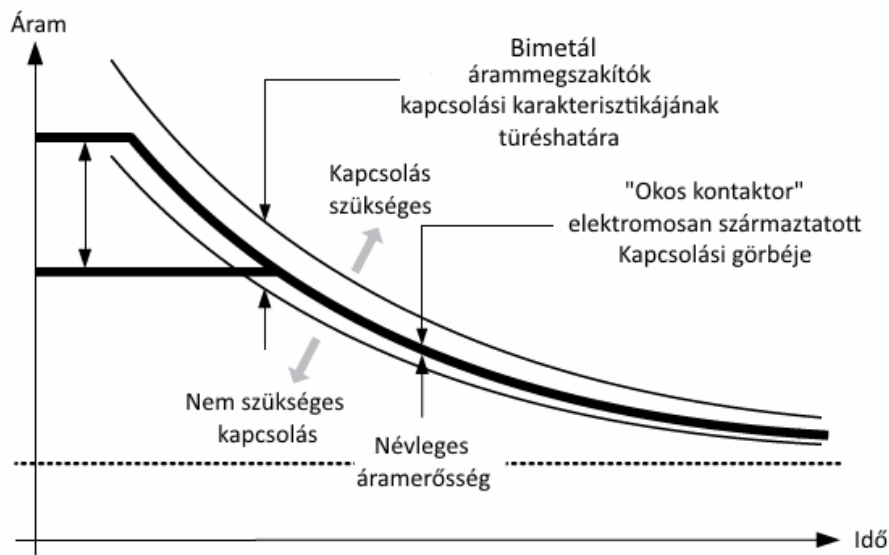
szemben. A költségektől eltekintve tény, hogy az áramvezérlők sokkal jobb kapcsolási pontosságot kínálnak.

A megszakítók katonai specifikációja

Maga a megszakító, ahogy már korábban is leírtam egy egyszerű bimetál szalagokkal működő eszköz, ebből kifolyólag a szerkezet viszonylag olcsó. Ennek a technológiának a hátránya, hogy a gyártási toleranciák elkerülhetetlenül a készülék kioldási pontjának, a pont körüli szóráshoz vezet. Ez bizonyos esetekben a tervezőt nehéz kompromisszumok elé állítja, különösen egy komplexebb rendszer esetében, ahol több különböző védelmi eszköz közötti kapcsolási koordinációt is figyelembe kell venni.

Ezzel szemben a félvezető áramvezérlők kapcsolási görbáját elektronikusan határozzák meg, ezért a megszakítókhoz képest jóval pontosabb. Így a kapcsolási tolerancia szorosabb korlátok közé szorul. További előnye ennek a vezérlésnek, hogy különböző kapcsolási stratégiákat lehet a segítségével alkalmazni. Így például, ha egy terhelés indásánál bekapcsolási túláram van, lehetséges rövid időre a kapcsolási áram küszöbértékét megnövelni.

A fentebb részletezett megszakítók és félvezető áramvezérlők kapcsolási görbéjének az összehasonlítása a 24. ábrán látható [8].



24. ábra Megszakítók karakterisztikájának összehasonlítása⁴⁸

⁴⁸ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.19

2.5 Áramátalakító és energia tárolók

Eddigiekben már foglalkoztam az elsődleges villamosenergia-ellátó rendszerekkel, az elsődleges és másodlagos energiaelosztó-rendszerekkel valamint a hálózatot védő rendszerekkel. Azonban sokszor szükséges az energetikai rendszerekben belül, a villamos energia átalakítása. A villamosenergia-ellátó rendszer egy vagy többfajta átalakító révén hozza létre a terhelések számára az igényelt energia fajtát. Számos áramátalakító létezik, a repülésben a legelterjedtebbeket a 2. táblázatban olvashatjuk.

Hogyan?	Mivel?	Miről?	Mire?
Egyenáramról váltakozó áramra való átalakítás	Inverter útján	28 V egyenáramról	1 vagy 3 fázisú 115 V váltakozó áramra
Váltakozó áramról egyenáramra való átalakítás	Transzformátoros egyenirányító egység révén (TRU ⁴⁹)	115 V váltakozó áramról	28 V egyenáramra
Egyik váltakozó áramú feszültség szintről egy másik azonos frekvenciájú váltakozó áramú feszültségre	Transzformátorral	115 V váltakozó áramról	26 V váltakozó áramra

2. táblázat A repülésben használt áramátalakítók

A táblázatban megjelenítettekén kívül tipikus áram átalakításhoz sorolhatjuk még a repülőgép akkumulátorának töltéséhez szükséges átalakítást, ahol 115 V AC konvertálnak a töltésére alkalmas 28 V egyenárammá. Továbbá itt említhetjük meg az F-22 és F-35 katonai platformokon használt 270 V egyenáram konvertálását 115 V-os háromfázisú 400 Hz váltakozó áramra, valamint 28 V-os egyenáramú feszültségre [5][8].

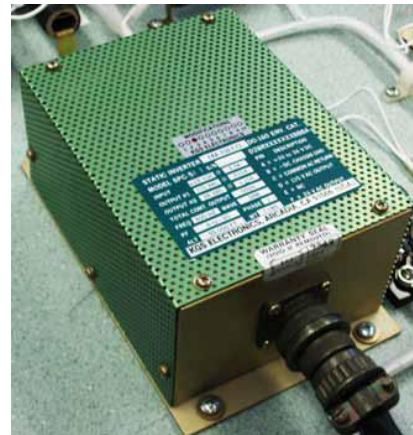
2.5.1 Inverterek

Az invertereket a repülőeszközökön alkalmazott váltakozó áramú rendszerek állításához használják, egyszerűen fogalmazva a DC-t AC-ra konvertálja. A repülőkön két féle típusát alkalmazzák, a motor-generátoros és a sztatikus invertert. Ezeket láthatjuk a 25. és 26. ábrán. Motor-generátoros invertereket gyenge megbízhatóságuk, nagy súlyuk és kis hatékonyságuk miatt már csak régebbi repülő típusokon használnak. Ezen berendezések egyenáramú motorral vannak egybeépítve és egy váltakozó áramú generátort forgatnak. A berendezés, egy egységként működik és az inverteren, generátoron, motoron kívül még egy feszültség szabályzó áramkört is tartalmaz a feszültség szabályozására. A sztatikus inverter, mint ahogy azt a neve is mutatja, nem tartalmaz forgó alkatrészt.

⁴⁹ TRU – (Transformer Rectifier Units) – Transzformátoros egyenirányító egység



25. ábra Motor generátoros inverter⁵⁰



26. ábra Sztatikus inverter⁵¹

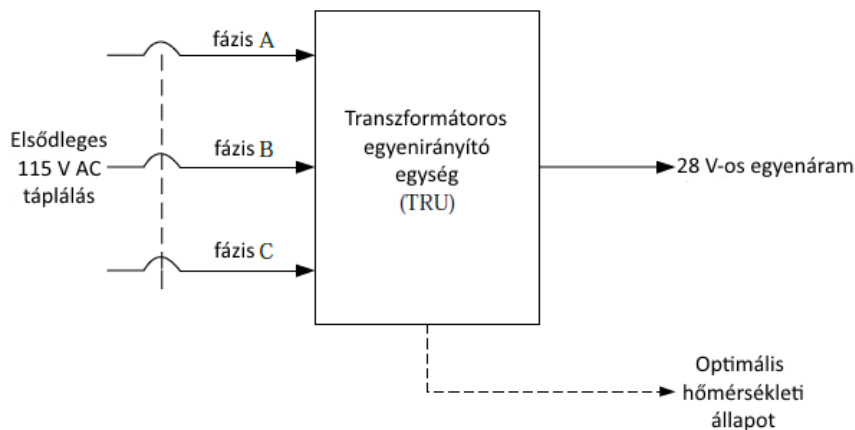
Az egyenáram váltakozó áramra alakításához nagyteljesítményű, gyors kapcsolású szilíciumos egyenirányítókat alkalmaznak, melyek váltakozó áramú hullámformákat állítanak elő az egyenáramú bemenetből. A mai inverterek már egyszerre több feszültség szint előállításra is képesek, de a komplex energetikai rendszerek több berendezést is használnak. Így oldják meg többek között a tartalék váltakozó áramú ellátás biztosítását. Általában 28 V egyenáramot alakítanak egyfázisú 115 V-os váltakozó áramra, ami speciális repülési körülmények között a tápellátás bármilyen hibája esetén, a repülési műszerek alternatív energia forrásaként használható fel [7][8].

2.5.2 Transzformátoros egyenirányító egység (TRU)

A TRU talán a leggyakrabban alkalmazott áramátalakító, melyet a modern repülőgépek elektromos rendszerében találhatunk. A legtöbb gépen jellemzően 115 V-os háromfázisú váltakozó áramot fejlesztenek, aminek egy jelentős részét transzformátoros egyenirányító egységeken keresztül 28 V-os egyenárammá alakítanak. A TRU egy csillag kapcsolású primer és egy kettős csillag/delta kapcsolású szekunder transzformáló tekercsből áll, ami háromfázisú, teljes hullámú egyenirányítással és simítással a 115 V AC-t a kívánt 28 V DC-re konvertálja. Egy nagy normál TRU viszonylag nagy mennyiségű energiát alakít át. A Boeing 767-be például két transzformátoros egyenirányító egység is be van építve, melyek egyenként folyamatosan 120 A névleges erősségű áramot képesek átalakítani.

⁵⁰ <http://thumbs4.ebaystatic.com/d/1225/m/mcHVoi0XoP3WX3Ah8YYK4Bg.jpg> (2014.04.12)

⁵¹ <https://www.dallasavionics.com/kgs/spc30.jpg> (2014.04.12)



27. ábra TRU működési vázlat⁵²



28. ábra TRU berendezés⁵³

A TRU rengeteg hőt disszipál el, ezért az eszköz folyamatos léghűtése szükséges. Maga a berendezés általában igen egyszerű, szabályozatlan, tehát a 28 V egyenfeszültség fenntartása nincs vezérelve a terhelés növekedés vagy esése alapján. Más katonai felhasználásban ez viszont nem megengedhető, így ott szabályozott TRU-kat alkalmaznak. Az egyenirányító egységet sokszor elszigetelten üzemeltetik kivéve, ha szabályozzák őket, mert ilyen esetekben a DC generátorokhoz hasonló módszerrel párhuzamos üzemben működtetik. Az a 27. és 28. ábrán egy TRU egységet és annak vázlatát láthatjuk [8].

2.5.3 Auto-transzformátorok

Bizonyos esetekben, az energetikai rendszerekben a feszültségek egyszerű fel és le transzformálása szükséges, ezek elvégzéséhez auto-transzformátorokat használnak. Erre kitűnő példa a 115 V AC áram átalakítása 26 V-ra, ahol a repülőgép világításához szükséges 26 V váltakozó áramot a lehető legegyszerűbb módon, közvetlenül a fő 115 V-os váltakozó áramú sínekről veszik le és alakítják át [8].

2.5.4 Akkumulátor töltők

Az akkumulátor töltők a TRU-kal sok tulajdonságon osztoznak és valóban olyan egységek, melyeknek feladata kizárólag a légi járművek akkumulátorának a töltése. Néhány rendszerben a töltők, tartalék TRU-ként is működhetnek, ezzel egy megnövelt forrást nyújtva az akkumulátorok számára, azok különböző működési üzemmódjaiban. Az akkumulátor töltők feladata a

⁵² Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.17

⁵³ <http://www.championaerospace.com/assets/ConverterSmall2-300x265.jpg> (2014.04.15)

töltés vezérlése az akkumulátor túlmelegedésének elkerülésével, hogy emiatt azok hőmérsékletét ne kelljen rendszeresen ellenőrizni [8].

2.5.5 Akkumulátorok

Dolgozatom korábbi fejezeteiben már foglalkoztam mind az egyen és mind a váltakozó áramú energia rendszerekkel, jelen alfejezetben pedig az ezek által előállított energia tárolására szolgáló akkumulátorokról írok néhány szót. Az akkumulátorok fő feladata, hogy segítse az egyen áramú rendszer átmenti terheléseinek a csillapítását; elegendő energiát nyújtson a rendszer indításához, ha nincs más elérhető energiaforrás; vészhelyzetekben rövid, de nagy mennyiségű energia biztosítása addig, amíg az alternatív vagy vészenergia források rá nem kapcsolódnak a hálózatra.

A légitűrművek akkumulátora – és minden más akkumulátor – kapacitása korlátozott. Ezt „amper-óra”-ban mérik, mely paraméter hatékonyan írja le áram, idő arányában az energiatárolók kapacitását. Ez annyit jelent, hogy ha egy 40 amper órás akkumulátor teljesen fel van töltve, akkor névlegesen 1 amper terhelést 40 órán keresztül, vagy 40 amper 1 órán keresztül képes leadni. Valójában egy akkumulátor kapacitása kisütés kezdetekor fennálló töltöttségtől függ, de ezt a paramétert közismerten nehéz számszerűsíteni. A legtöbb modern légitűrmű rendszer – mint ahogy a korábbiakban is olvashattuk – akkumulátor töltőket használ azok töltöttségének közepesen magas szintjén tartására a rendszer normál működtetése közben, ezáltal biztosítva a szükséges töltöttségi állapotot, ami az akkumulátor önálló működéséhez szükséges.

Korábban a repülésben savas akkumulátorokat használtak. A feltöltött savas ólomakkumulátor pozitív elektródája ólom-oxid, negatív elektródája ólom, elektrolitja pedig desztillált vízzel hígított kénsav. Kisütéskor mindkét elektróda ólomszulfáttá alakul, az elektrolit pedig egyre inkább vízzé, az így felszabaduló, áramló töltések szolgáltatják a villamos energiát. Töltéskor a töltőáram hatására ellentétes kémiai folyamat játszódik le. A töltés mellett jelentős hő- és durranógáz-képződés is történik, ezért az akkumulátortelepeket szellőztetni kell, töltésüket is szellőztethető helyiségben kell végrehajtani és meg kell akadályozni a tűz esetleges kialakulását.

A legtöbb repülőgépen a savas energiatárolók helyett, – modern repülőgépekre gyakorolt máro hatásuk miatt –ma már lúgos akkumulátorokat használnak. A feltöltött lúgos nikkeldkadmium akkumulátor pozitív elektródája nikkeldoxid-hidroxid, negatív elektródája kadmium, elektrolitja pedig kálium-hidroxid vagy marókáli vizes oldata. Kisütéskor a pozitív elektróda

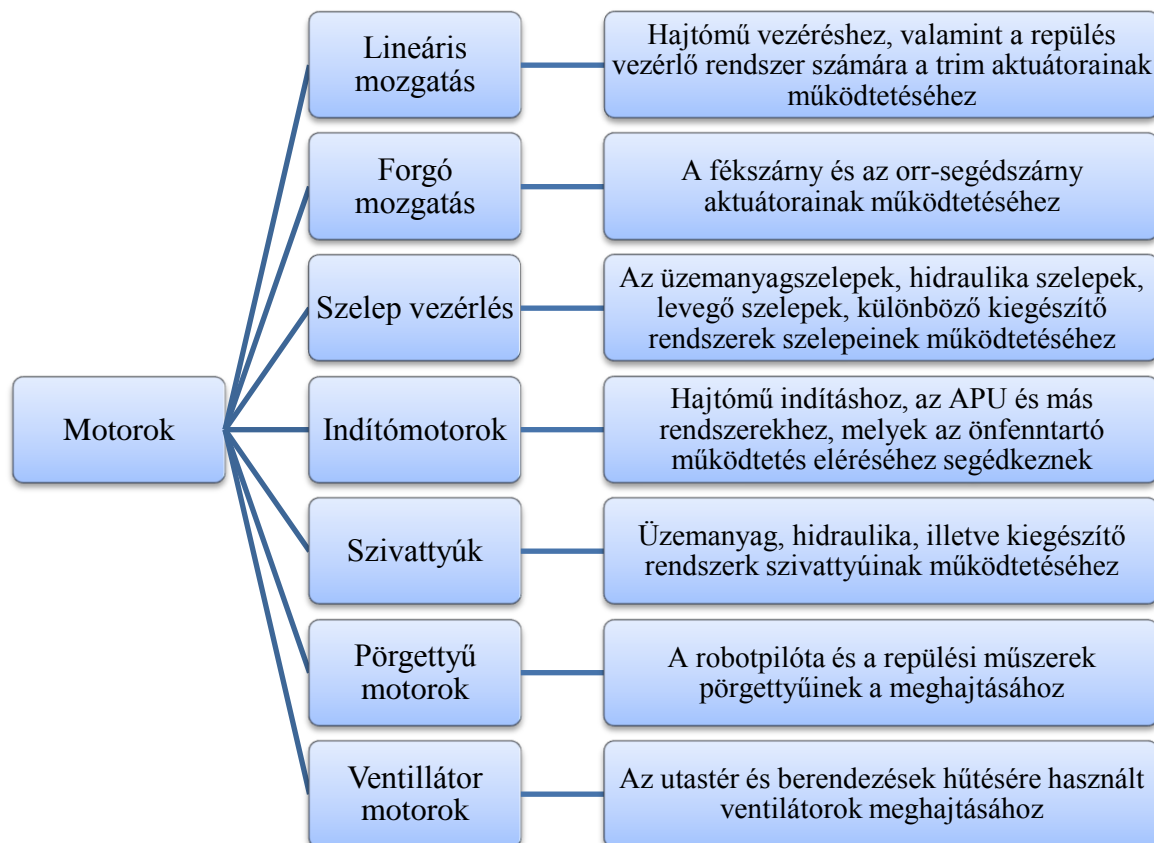
részben nikkell-hidroxiddá alakul, a negatív pedig kadmium-hidroxiddá. A folyamat során elektrolit kémiai összetétele nem változik, csupán a lúgsűrűsége [5][8].

2.6 A repülőgépen található elektromos terhelések, fogyasztók

Az elektromos energia előállítását és szétosztását követően, az energia elérhetővé válik a repülőgépen található terhelések és fogyasztók számára. Habár a fedélzeten található elektromos fogyasztók száma óriási, de valamennyi közülük az alábbi kategóriák valamelyikébe sorolhatók: motorok és meghajtások; világító rendszerek; fűtő eszközök; alrendszer vezérlők és avionikai rendszerek.

2.6.1 Motorok és működtetések

Motorokat a különböző szelepek szabályozásához vagy az aktuátorok⁵⁴ egyik helyzetéből a másikba vezérléséhez alkalmaznak, az adott repülő rendszereknek megfelelően. Egy repülőgépen a motorok tipikus felhasználási területeit a következő 29. ábra szemlélteti [13]:



29. ábra Motorok felhasználási területei⁵⁵

⁵⁴ Aktuátor – Szervomotoros működtető szerv, mely elektromos jel hatására előre meghatározott lineáris, forgó vagy oszcilláló mozgást végez.

⁵⁵ Szerkesztette a szerző (MS Office) – Reyad Abdel-Fadil, Ahmad Eid, Mazen Abdel-Salam, Electrical distribution power systems of modern civil aircrafts, 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies 18–21 Feb. 2013, Cairo, Egypt 2013. p. 201-210 url: <http://www.afaqscientific.com/icest2013/22-Eid76.pdf> (2014.03.17.) Figure 6.

Az üzemeltetés során a legtöbb motort nem használják folyamatosan, azaz csak rövid ideig hajtják meg, amíg a várt hatást el nem érik. Más motorok azonban, mint a giroszkópok vagy a hűtőventillátorok folyamatosan, a légi jármű egész üzemelése során működik. Ezért a meghajtás ideje szerint kell kiválasztani a szükséges motor méretét, minőségét, fajtáját. Így a következőkben ezek alapján kategorizáljuk a légi járműveken alkalmazott egyen és váltakozó áramú motorokat.

2.6.1.1 Egyenáramú motorok

A DC motorok a már korábbi fejezetekben leírt DC generátorok inverze, így ezek szerkezetére most nem térek ki. Ezen motorok legfontosabb jellemzői, hogy a terhelés függvényében hogyan változik azok sebessége és nyomatéka. A motorokat – mint a generátorokat – tekercselésének kialakítása alapján tudjuk kategorizálni. Így beszélhetünk főáramkörű, mellékáramú és kompaund⁵⁶ motorokról. Mindegyik típus eltérő karakterisztikával rendelkezik, ezáltal könnyen ki lehet választani a különböző célú felhasználásokra a megfelelő berendezést.

A főáramkörű motorok egy speciális fajtája a osztott gerjesztésű motor, ahol két főáramkörű tekercselés egymással ellentétes polaritással van feltekercselve és az armatúrával sorba, egymással viszont párhuzamosan vannak kapcsolva. Egy időben csak egy tekercs kaphat áramot, így a motor attól függően hogy melyik tekercs kap energiát, két irányba is foroghat. Ha megfelelő kapcsolókkal vagy reléekkel együtt működtetik ezeket a típusú gépeket, akkor kifejezetten alkalmas az üzemanyag szelepek vezérlésére, mivel ott a repülés során a szelepek helyzetét számos alkalommal változtatni kell. Véghelyzet kapcsolókkal pedig a motor/aktuátor túlfűtését tudják megelőzni, ha a kívánt pozíciót már elérték. Az egyenáramú motorokat leginkább lineáris és forgó meghajtásnál, szelep vezérlésnél és indító motoroknál alkalmazzák.

2.6.1.2 Váltakozó áramú motorok

A repülőeszközökön többnyire úgy nevezett indukciós típusú váltakozó áramú motorokat alkalmaznak. Működése egy forgó mágneses mezőn alapul, melyet általában 3 fázisú, váltakozó árammal gerjesztett kettő vagy több állórész (sztátor) tekercselés hoz létre. Így az egyszerű kalitkás forgórész, a forgó mágneses mező hatására bármilyen csúszógyűrű vagy szénkefe használata nélkül forgásba kezd. A motor tehát szerkezetileg nagyon egyszerű és ebből kifolyólag nagyon megbízható. A forgatás sebessége az alkalmazott feszültség frekvenciájától és a póluspárok számától függ. Indukciós motorok felhasználásának előnye, hogy repülés köz-

⁵⁶ Kompaund motor – a főáramkörű és mellékáramkörű motorok kombinációja

ben az állandó frekvenciájú AC hálózat mindig rendelkezésre áll, valamint állandó használat-hoz egy költséghatékony megoldás.

A váltakozó áramú motorokat leginkább a repülés ideje alatt folyamatos működést igénylő rendszereknél alkalmazzák. Ilyenek az üzemanyag nyomás szivattyúk, a műszerek giroszkóp-jai és a légkondicionáló hűtő ventilátorai [8][9][13].

2.6.2 Világítás

A világítástechnikai rendszerek a repülőgép energetikai rendszerének egyik legfontosabb eleme. A legtöbb légi jármű repülési idejének nagy részét, éjszaka vagy korlátozott látási vi-szonyok között tölti, ezért a repülőeszközök biztonságos üzemeltetéséhez elengedhetetlen különböző világító rendszerek használata. Felhasználási területük alapján beszélhetünk külső és belső világítási rendszerekről, melyek további alkategóriáit a 3. táblázatban olvashatjuk:

<i>Külső világítási rendszerek</i>	<i>Belső világítási rendszerek</i>
<ul style="list-style-type: none"> • navigációs fények • stroboszkópikus fények • fel és leszálló, valamint guruló fények • kötelék fények • ellenőrző fények (például szárnymegvilági-tó fényszórók) • vészhelyzeti világítás • Logo megvilágítás • kereső fényszórók 	<ul style="list-style-type: none"> • pilótafülke/műszerfal-megvilágítás • utas tájékoztató lámpák • utastér megvilágítás, utasok egyéni vi-lágítása • vészhelyzeti/evakuációs jelzések • tehertér és rekeszvilágítás

3. táblázat külső és belső világítási rendszerek alkategóriái

A világítási rendszereket a fő AC sínekről levett, az auto-transzformátorokkal előállított 28 V egyenárammal vagy 26 V váltakozó árammal üzemeltetik. Többnyire hagyományos izzólám-pákat alkalmaznak, melyek teljesítménye változó. Tartományuk a fel és leszálló fényszórók-nál használt 600 W-tól, a kisebb belső megvilágításra alkalmazott lámpák néhány wattjáig terjed. Egyes repülőgépek műszerfalainak megvilágítására elektrolumineszcens világítást használnak. Ezeknél két elektróda közé foszfor réteget illesztenek, ami ha váltakozó áramú táplálást kap, világítani kezd [5][8].

2.6.3 Fűtés

Az elektromos energia felhasználása a repülőgépek fűtésére is kiterjed. A legnagyobb energia-fogyasztók, az elektromos működtetésű jegesedés megelőző és jégtelenítő rendszerek, melyek

több tíz kVA áramot fogyasztanak. Ezek táplálásához nem szükséges stabil frekvenciájú áram, ezért az ehhez szükséges energia előállítása sokkal egyszerűbb és olcsóbb. A jegesedés megelőző és jégtelenítő rendszerek elemei, a vízszintes és függőleges vezérsík belépő élein, a légbemlő nyílásokon valamint a légcsavarokon, légcsavarkúpokon találhatóak. A rendszerek nagy fogyasztásuk, optimális működtetésük és a túlmelegedésük elkerülése végett, a fűtő elemek közötti fűtőáramok folyamatos kapcsolása, valamint a fűtés ciklikus működtetése szükséges.

Másik fontos elektromos fűtési szolgáltatás a szélvédő fűtés. Itt a fűtőelem és az azt vezérlő termosztát magába az ablakba van beágyazva. Egy másik vezérlő pedig, a fűtőelem hőmérsékletét folyamatosan egy előre meghatározott értéken tartja, ezzel biztosítva a szélvédő folyamatos páramentesítését [8].

2.6.4 Avionikai rendszerek és az alrendszer vezérlők

Ahogy a repülőgépek egyre összetettebbé váltak, úgy az alrendszereik kifinomultsága is egyre nőtt. Ezek közül sok a speciális vezérlő funkciót ellátó szabályzó. Korábban éveken át, a repülőeszközök avionikai rendszerének kijelzőit, kommunikációs és navigációs funkcióit, egy úgynevezett összhangban cserélhető egységbe csoportosították LRU⁵⁷, melyek így a rendszer bármilyen hibájakor, bármikor egyszerre gyorsan eltávolíthatók. Ma sok alrendszer vezérlőt a megnövekedett komplexitás és funkcionalitás miatt, hasonló LRU blokkba építenek, melyek így – hasonlóan a korábbiakhoz – bármilyen hiba kialakulásakor gyorsan cserélhetők. Az LRU-k táplálásához, funkciójuktól és működési üzemmódjuktól függően DC vagy AC energia szükséges. Sok közülük belső tápegységet használ, hogy a repülőeszköz teljesítmény szintjét az elektronikája számára alkalmasabb feszültségszintre alakítsa. Ezek megtáplálásához plusz/mínusz 15 V, valamint plusz 5 V feszültségű egyenáram szükséges. Az LRU-k meglehetősen egyszerű és a legtöbb esetben kis teljesítményű terhelések, azonban számos részük kritikus jelentőségűek a repülőgép biztonságos üzemelése szempontjából. Ezért felmerül két fontos dolog: az első, hogy a kritikus LRU-k működése miatt, azok DC és AC tápellátását függetlenné kell tenni a repülőgép többi sínrendszerétől, a második pedig, hogy még rendkívüli vészhelyzet esetén is megfelelő mennyiségű energia legyen biztosítva a kritikus szolgáltatások számára, a repülőgép biztonságos visszatéréséhez, landolásához [8].

⁵⁷ Line Replaceable Unit (LRU) – cserélhető egység

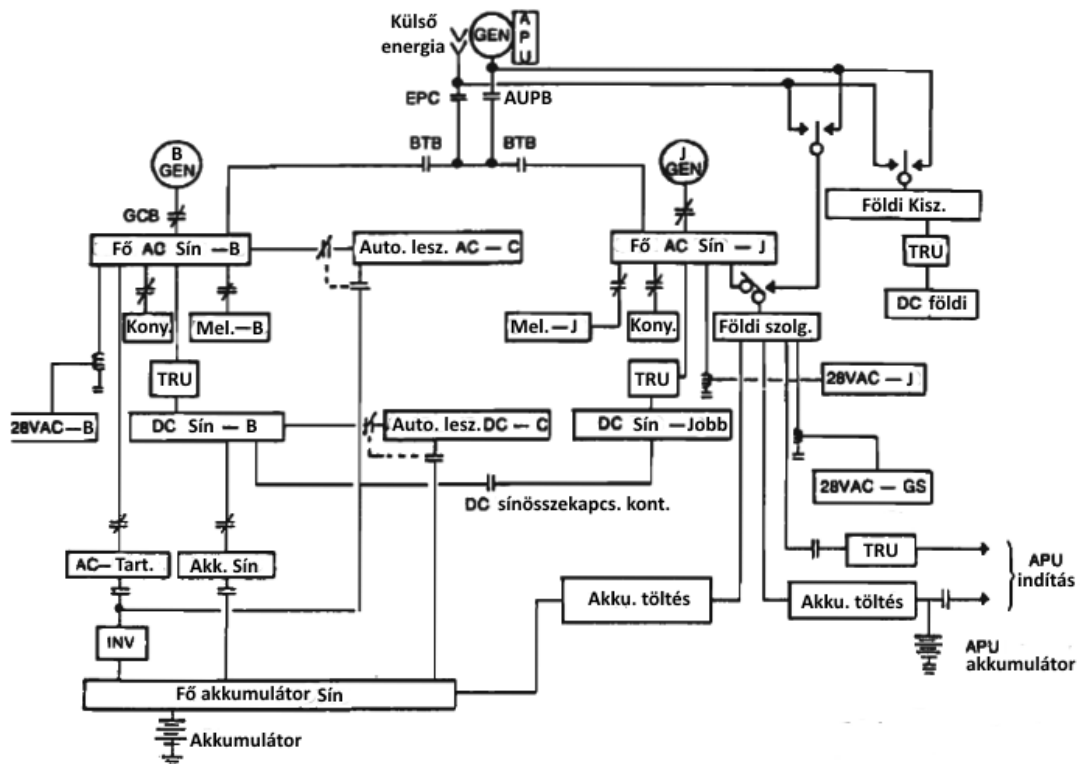
3. CIVIL ÉS KATONAI FELHASZNÁLÁSÚ REPÜLŐGÉPEK ENERGETIKAI RENDSZEREI

Jelen fejezetben, a korábbiakban jellemzett és részletezett energetikai rendszereket fogom bemutatni, különböző típusú, civil felhasználású, szállító repülőeszközökön, illetve egy-egy katonai felhasználású szállító- és vadászrepülőn keresztül. Munkámban a következő típusokat fogom vizsgálni:

- Boeing 767
- Boeing 747-400
- Airbus A380
- Airbus 400M
- F-16

3.1 Boeing 767

A Boeing 767 típusú légi jármű energetikai rendszerének leegyszerűsített ábráját a 30. képen láthatjuk. Az elsődleges váltakozó áramú rendszer, egy azonos felépítésű jobb és baloldali csatornából áll.



30. ábra Boeing 767 energetikai rendszere⁵⁸

⁵⁸ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Civil Avionics Systems. AIAA Education Series, 2003. 396 p. (ISBN 1-56347-589-8) Figure 4.19

Mindkét csatorna rendelkezik egy IDG-vel, melyek a meghajtásukat, a megfelelő hajtómű sebességváltó áttételházától kapják. Mind a kettő generátor 3 fázisú 400 Hz-s, 115 V-os váltakozó áramot biztosít és összesen 90 kVA teljesítményű energiát termel. Az IDG-k működését pedig egy-egy generátorvezérlő egység szabályozza. A GCU-k vezérlik a generátor vezérlés megszakítók működését. A GCB-k zárják az áramkört, amennyiben minden paraméter megfelelő, de bármilyen hiba érzékelésekor megszakítja azt. Kettőt darab sínáthidaló (BTB⁵⁹) összekapcsolja a síneket akkor, ha azok tápellátása elveszik. A BTB-kel közösen működhetnek a külső áram kontaktorok vagy a kiegészítő árammegszakítók (AUPB⁶⁰) azért, hogy mindkét fő AC sínt meg tudják táplálni energiával. Másik lehetőségként pedig, a 90 kVA-s APU generátor táplálhatja meg a földi kiszolgáló síneket, az átváltó kontaktorokon keresztül. A BTB és a földi kiszolgáló, valamint földi szolgáltató kontaktorok vezérlését a BPCU végzi.

A váltakozó áramú fősínek számos alsíneket vagy energia átalakító berendezéseket táplálnak meg. A TRU alakítja a 115 V váltakozó áramot 28 V egyenárammá, a jobb és baloldali egyenáramú buszrendszer táplálásához. Ha fő váltakozó áramú sínek vagy a TRU meghibásodás lép fel, akkor a DC sínösszekapcsoló kontaktorok (BTC⁶¹) a jobb és baloldali DC síneket egybekapcsolják. A fő AC sínek a repülő legnagyobb fogyasztóját, a konyhát és az egyéb melléksíneket, okos kontaktorokon keresztül táplálják, de ezeket egy nagyobb, az elektromos rendszerben bekövetkezett hiba esetén a BPCU lekapcsolja. Mindkét fő AC sín 26 V váltakozó áramot tud szolgáltatni az auto-transzformátorokon és 28 V egyenáramot a TRU-kon keresztül. Az automata leszállító rendszer AC sínek és a váltakozó áramú tartalék sínek kapcsolt táplálását a baloldali fő AC sínek biztosítják. A jobb oldali fő AC sínek a föld/levegő átkapcsoló kontaktoron keresztül pedig megtáplálják a földi kiszolgáló síneket, ezáltal az APU TRU-t és az akkumulátor töltőt. A fő akkumulátor töltőn keresztül meg az akkumulátor síneit táplálják, ami így a tartalék inverteren keresztül, az automata leszállító rendszer AC síneire ad áramot. A baloldali DC sín az automata leszállító rendszer egyenáramú sínei számára szolgáltat energiát.

A fentieket elolvasva a rendszer meglehetősen komplexnek tűnik, de ez az elrendezés, tervezés kifejezetten csak arra szolgál, hogy az automata leszállító rendszer, a használat közben három független sávról is kapjon egyenáramú és váltakozó áramú táplálást [9].

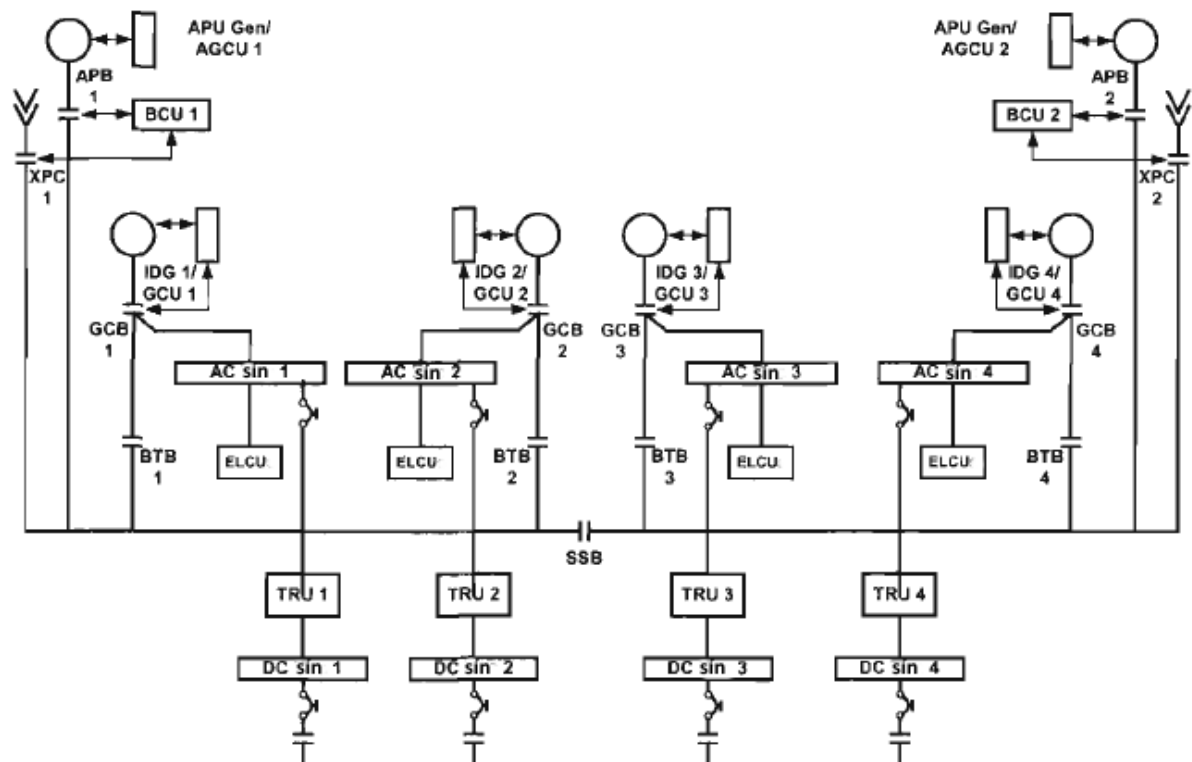
⁵⁹ Bus Tie Breaker (BTB) – Sínáthidaló

⁶⁰ Auxiliary Power Breaker (AUPB) – Kiegészítő árammegszakító

⁶¹ Bus Tie Contactor (BTC) – Sínösszekapcsoló kontaktorok

3.2 Boeing 747-400

Ennek a repülőgép típusnak a rendszere négy darab IDG-t és két APU generátort tartalmaz. Emellett meg van a képessége, hogy két külső energiaforrást is rácsatlakoztathassanak. A rendszer felépítést a 31. ábra mutatja. Mind a négy 115 V-os váltakozó áramú sínrendszert, sínáthidalókon és osztott rendszer megszakítókön keresztül (SSB⁶²) egybe lehet kapcsolni, ezáltal a négy 90 kVA-s generátort párhuzamosan működtetni. A két APU generátort és a földi tápforrásokat, illetve azok váltakozó áramú síneit, a sín vezérlő egységek (BCU⁶³) 1 és 2 szabályzásával, az APU árammegszakítók (APB⁶⁴ és APB2), valamint a külső áram kontaktorokon (XPC1⁶⁵ és XPC2) keresztül lehet összekapcsolni. Ennél a rendszernél minden 115 V AC sín egy 28 V DC sínt is ellát energiával, mivel azok egy TRU-n keresztül vannak vezetve.



31. ábra Boeing 747-400 energetikai rendszere⁶⁶

Minden generátor vezérlő egységnek a következő vezérlő feladatai vannak:

- a generátorvezérlő relék (GCR⁶⁷) szabályzása és jelzése;

⁶² Split System Breaker (SSB) – Osztott rendszer megszakító

⁶³ Bus Control Unit (BCU) – Sín vezérlő egység

⁶⁴ APU Power Breaker (APB) – APU árammegszakító

⁶⁵ External Power Contactors (XPC) – Külső áram kontaktorok

⁶⁶ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Civil Avionics Systems. AIAA Education Series, 2003. 396 p. (ISBN 1-56347-589-8) Figure 4.20

- a generátorvezérlő megszakítók (GCB) szabályzása;
- a BTB vezérlése és jelzése;
- automata párhuzamos sínek vezérlése;
- automata sín leválasztás vezérlése;
- DC leválasztó relék vezérlése;
- hűtőszelepek vezérlése; segéd terhelés vezérlése;
- sín meghibásodás jelzése a hajtómű jelző és személyzet figyelmeztető rendszer (EICAS⁶⁸) számára;
- a rendszer szünetmentes áramellátása.

Minden BCU-nak pedig képesnek kell lennie a következők végrehajtására:

- az APU gerjesztésének vezérlésére és jelzésére;
- az ABP vezérlésére, üzemállapotának jelzésére;
- az XPC üzemállapotának vezérlésére és jelzésére;
- a földi kiszolgáló sínek vezérlésére;
- segéd és konyha terhelések kezelésének vezérlésére;
- az egyenáramú terhelések kezelésére; automata sínleválasztás vezérlésére;
- SSB vezérlésére;
- az APU és az AGCU generátorvezérlő egység adapterének szabályzására;
- párhuzamos működtetésre;
- frekvencia alapjel szabályzására;
- egyenáramú és tartalék rendszerek vezérlésére.

Az energia átvitel – az APU-tól APU-nak és a földi táplálás kivételével – szünetmentes. A generátorok fázisai pedig szinkronban vannak, hogy a párhuzamos működtetést megvalósítható legyen. A négy GCU és két BCU az ARNIC 429 nevű adatbuszon keresztül össze vannak kapcsolva úgy, hogy a rendszer vezérlése vagy hibája esetén azok könnyen cserélhetők legyenek, és hogy az elektromos rendszer által gyűjtött adatok megjelenjenek a repülő EICAS kijelzőin [9].

3.3 Airbus A380

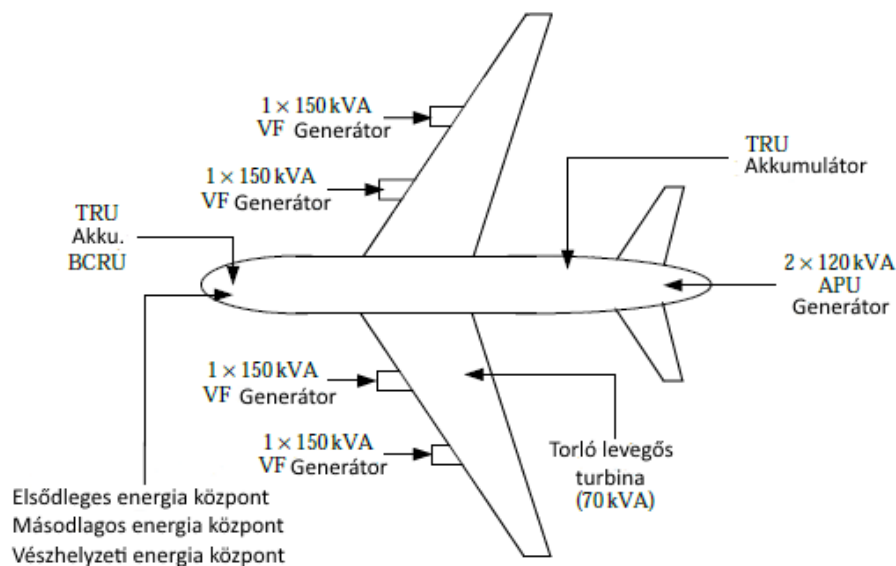
Az Airbus A380 az egyik első nagy szállító repülőgép típus, mely sok év elteltével úja változó frekvenciájú elektromos energiát használt. A VF áram, mint ahogyan azt a korábbi feje-

⁶⁷ Generator Control Relay (GCR) – Generátorvezérlő relé

⁶⁸ Engine Indication and Crew Alerting System (EICAS) – Hajtómű jelző és személyzet figyelmeztető rendszer

zetekben is leírtam, egy olcsó megoldás nagy mennyiségű elektromosság előállításához, természete miatt számos problémát okozhat a repülő terheléseinek működésében. A gép repülés vezérlő rendszere újszerű kombinációja volt, a hagyományos hidraulikus-, hidrosztatikus- és a vészhelyzeti hidraulikus aktuátoroknak. A következőkben ezen gép váltakozó áramú rendszerét fogom bemutatni.

A légi járművön négy darab, 370 és 770 Hz közötti frekvencia tartományon működő, hajtóművenként 150 kVA-s generátorokat alkalmaznak, bár fontos megjegyezni, hogy ezek az áramfejlesztők szünetmentes áramellátásra nem alkalmasak. Rendelkezik továbbá 2 darab, 400 Hz-s frekvencián működő 120 kVA CF APU generátorral, négy darab 400 Hz-s külső csatlakozóaljzattal (EXT⁶⁹) a repülőgép földi táplálásához, valamint vészhelyzet esetére egy darab 70 kVA torló levegős turbinával. Ezek elhelyezkedését a 32. ábrán láthatjuk [8].



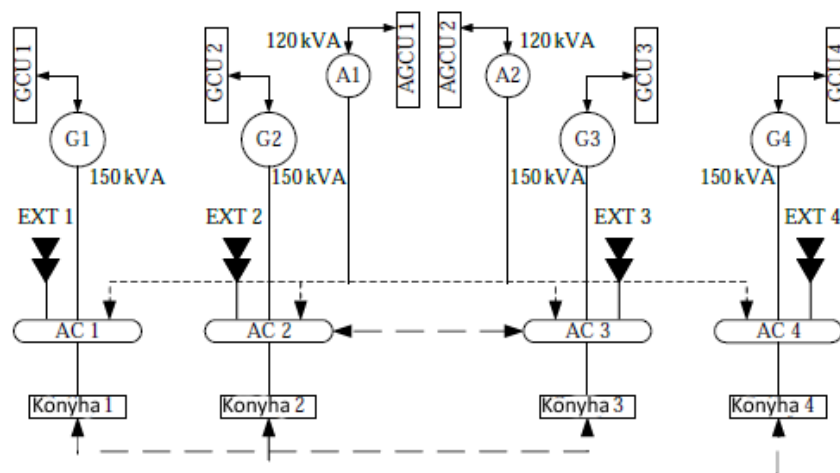
32. ábra A380 energetikai berendezéseinek elhelyezkedése⁷⁰

A 150 kVA-s csatornánkénti teljesítmény is mutatja a polgári felhasználású repülőgépek teljesítményigényének növekedését. Ezen típus előtt a legnagyobb teljesítményű légieszköz a Boeing 777-es volt, ami 120 kVA-s CF generátorával és 20 kVA-s VSCF vészhelyzeti generátorával összesen 140 kVA-s csatornánkénti teljesítményre volt képes.

Váltakozó áramú rendszerének felépítését a 33. ábra mutatja. A két APU generátor meghajtását a megfelelő segédhajtómű biztosítja, és minden fő áramfejlesztő táplálja a megfelelő váltakozó áramú síneket, mindezt természetesen a GCU vezérlésével [8].

⁶⁹ External Power Connection (EXT) – Külső csatlakozóaljzat

⁷⁰ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.37



33. ábra A380 AC rendszere⁷¹

A földi kiszolgáló és támogató tevékenységek ellátásához minden fő AC sín képes bemeneti áram kezelésre. Mint ahogy már említettem a gép váltakozó frekvenciájú generátort használ, aminek frekvenciája az adott hajtómű sebességétől függ, így az elsődleges AC síneket nem lehet párhuzamosan működtetni. A 33. ábrán láthatjuk, hogy a repülőgép legnagyobb terhelése a konyha, így az a négy AC sín mindegyikére rá van kapcsolva.

Az A380 egyenáramú rendszerét a 34. ábrán tekinthetjük meg. Ennek legfontosabb elemei az energiatároló és energia átalakító rendszerek. A repülőeszközön három 300 A-s akkumulátor töltés szabályzó egység található (BCRU⁷²), melyek a TRU-kat szabályozzák. Itt helyezkedik el egy darab 300 A-s TRU, 3 db 50 Ah-s akkumulátor és egy sztatikus inverter [8].

Az egyenáramú rendszer biztosítja a repülőgép számára a szünetmentes áramellátást. A legtöbb vezérlő számítógép vagy IMA⁷³ szekrény egyenáramú tápellátást igényel, de a DC ellátás párhuzamosításával, ezen fontos vezérlő elemek szünetmentes tápellátása leegyszerűsödik. Az ábrán láthatjuk, hogy az 1-4 AC sínek táplálják az egyenáramú rendszer fő áramátalakító egységét. A torló levegős turbina táplálja AC alapvető síneit, valamint a fő váltakozó áramú AC1 és AC4 síneit. A vészhelyzeti váltakozó áram síneire, az AC fő sínről, valamint a sztatikus inverteren keresztül a DC fő sínről is kap táplálást. A DC fő, DC1 és DC2 sínek a váltakozó áramú AC1/AC4, AC2 és AC3 sínek segítségével jutnak energiához. Az egyenáramú

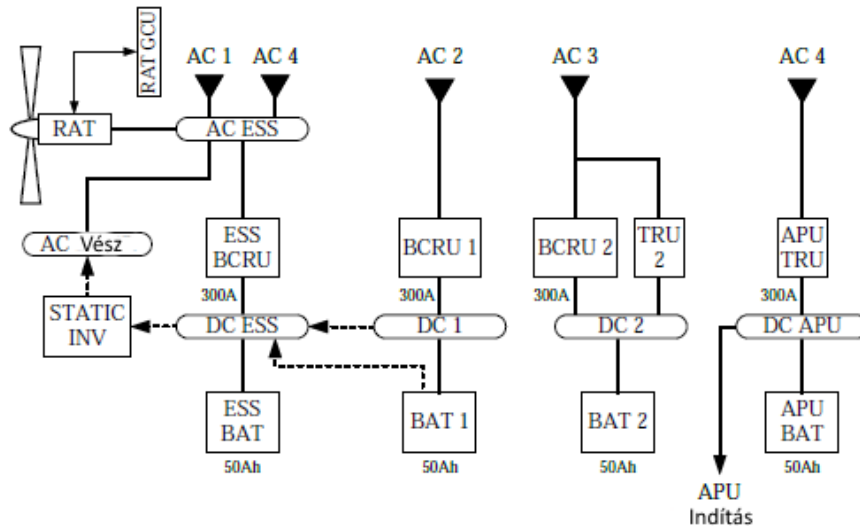
⁷¹ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.38

⁷² Battery Charge Regulator Unit (BCRU) – Akkumulátor töltés szabályzó egység

⁷³ Integrated Modular Avionics (IMA) – Integrált moduláris avionikai rendszer egy valós idejű számítógépes, hálózati fedélzeti rendszer.

síneket a BCRU-n keresztül szabályozzák 28 V-ra, valamint minden egyes DC sínhez tartozik egy 50 Ah akkumulátor, mely töltésének vezérlését a BCRU végzi [8].

Az APU indításához pedig, ahogy a 34. ábrán is láthatjuk egy 300 A-s APU TRU és egy 50 Ah TRU-val ellátott akkumulátor segít.



34. ábra A380 DC rendszere⁷⁴

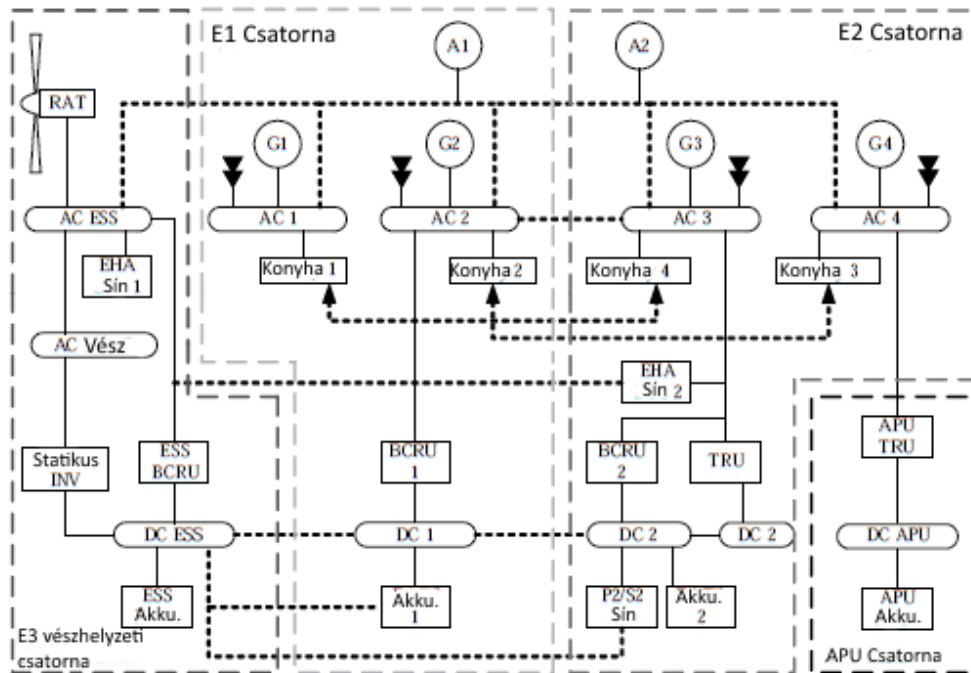
Energetikai rendszer vezérlése

A rendszer vezérlését a négy főgenerátor vezérlőegységeivel, a kettő APU generátorvezérlő egységeivel, valamint a torló levegős turbina generátorának generátorvezérlő egységével oldották meg. Kombinálva bizonyos vezérlő IMA-kal, melyek az elektromos terhelések szabályozásával, a terheléscsökkentés vezérlést és a másodlagos terhelések ellenőrzésével pedig a másodlagos energia elosztó eszközök állapotának ellenőrzését végezték.

A rendszer szétválasztása

A repülőeszköz egész energetikai rendszere a 35. ábrán látható módon négy részre, csatornára van szétválasztva. Az első csatorna az E1, ami ellátását az egyes illetve kettős váltakozó áramú generátortól kapja, a második csatorna az E2, amelynek táplálásáról a hármás illetve a négyes generátor gondoskodik. A harmadik fő csatorna az E3, a RAT és a statikus inverteren keresztül kap energiát. A negyedik csatorna pedig az APU és a hozzá kapcsolódó APU indítási blokk. Az E1,E2,E3 csatornák mindegyikéhez kapcsolódik egy főgenerátor, egy BCRU valamint egy 50 Ah-s akkumulátor, létrehozva ezzel három független táplálású csatornát.

⁷⁴ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.39



35. ábra A380 rendszereinek szétválasztása⁷⁵

Energia elosztó rendszere

A repülőgép energia elosztórendszerét az áramkapcsoló- és védő eszközök alkotják, ezeket pedig a következőkben leírt vezérlő panelek irányítják.

A forrásoktól az energia szétosztását a fő rendszerek felé, az elsődleges energia elosztó központ végzi és ebből a repülőgépen 1 darab van. Továbbá 2 db másodlagos energia elosztó központ található, aminek feladata az energia elosztása a repülőgép kisebb terhelései felé. Fogyasztása fázisonként 15 A-nél kisebb vagy teljesítményük kevesebb mint 5 kVA. További elosztó berendezés a másodlagos energiaelosztó dobozok. A légitársaságon ezekből 6 darab van a gép fedélzetén elszórva és az olyan terhelések felé oszt le energiát, melyek a kabin és az utastér kényelmét hivatottak javítani. Ezekon kívül alkalmaznak még a rendszerben félvezető áramvezérlőket is, a másodlagos rendszerek termikus megszakítói kiváltására. A megfelelő IMA modulokba bizonyos energiaelosztó funkciók is be vannak építve. Ilyen a terhelés szabályozási funkció, aminek a feladata az optimális terhelés elosztása a rendelkezésre álló források alapján. Az IMA másik funkciója pedig a használatban lévő árammegszakítók ellenőrzése [8].

⁷⁵ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.40

3.4 Airbus 400M

Az A400M kifejlesztése egy közös európai projekt alapján készült, melynek célja egy olyan katonai szállító repülőgép kifejlesztése volt, ami a jelenleg használt szállítógép típusokat felválthatná. Elektronikai rendszerét tekintve a repülőgép sok mindent átvett az A380-tól, többek között az IMA architektúráját.

A leglényegesebb pontjai az AC rendszernek, a 4 db 75 kVA-es VF generátor, amik 390 és 620 Hz között frekvencia tartományon működnek. Ezenkívül tartalmaz még egy 90 kVA-es, névleges 400 Hz frekvencián működő APU generátort, egy 43 kVA-es RAT és egy 90 kVA-es földi csatlakozó aljzatot.

A repülőeszköz egyenáramú rendszere szinte teljesen megegyezik az A380-val. A hálózat három 400 A-es akkumulátor töltő, egyenirányító egységből áll, ami jóval nagyobb, az A380-as típusnál. Mindez csupán a gép katonai jellegéből adódik, mivel a repülőgépen nagyobb értékű terhelésekkel találkozunk. Emellett a rendszerben alkalmaztak 3 db 40 Ah-s nikkel-kadmium akkumulátort, valamint egy az APU indítását segítő 300 A-es TRU-t. A légieszközön az egyenáramú rendszerek párhuzamosítva vannak, ezáltal a szünetmentes, egyenáramú állítás a terhelések számára biztosítva van [8].

3.5 F-16

Az F-16-os fő, tartalék és vészhelyzeti energiaellátó rendszere 115/200 V-os, 400 Hz-es váltakozó áramot állít elő. A 28 V-os egyenáramot igénylő berendezések megfelelő táplálását két konverterrel, az energia tárolását pedig egy akkumulátorral biztosítják.

AC rendszere

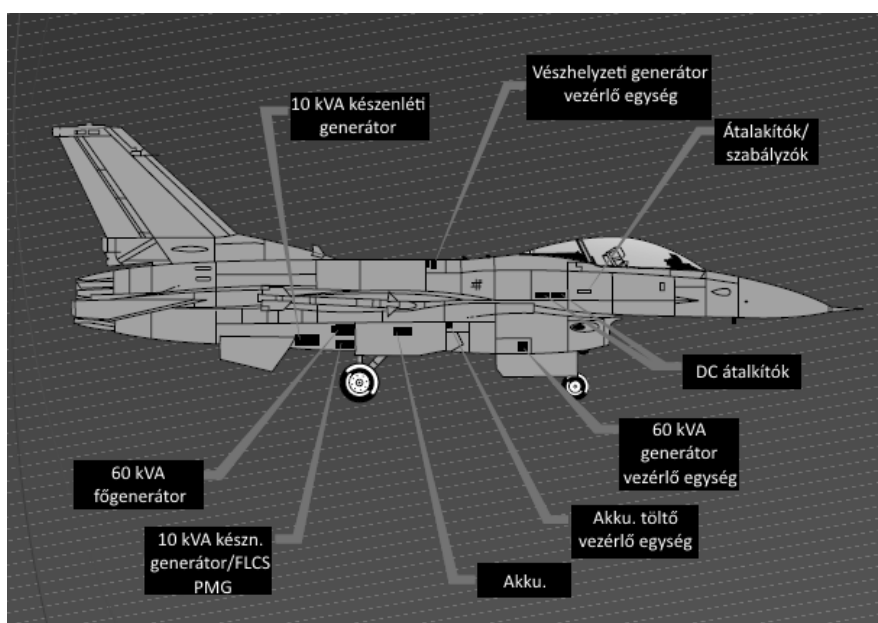
Az elsődleges váltakozó áramú rendszer ellátása egy 60 kVA-es integrált meghajtású, olajhűtéses generátorral és az azt szabályzó generátor vezérlő egységgel történik. A gépen található még egy 10 kVA-es, léghűtéses tartalék energiaellátó rendszer, ami egy alternatív energiaforrás az olyan terhelések számára, melyek a fő áramellátó rendszer bármilyen meghibásodása esetén, a repülőgép biztonságos landolásához elengedhetetlenek. A tartalék rendszer alapesetben csak akkor termel energiát, ha a hajtómű alapjárat fordulatszámán vagy a felett működik, de a terhelések táplálása akkor is csak az elsődleges rendszer meghibásodása esetén valósul meg. A vészhelyzeti energiaellátó rendszer 7 kVA energiát állít elő egy léghűtéses vészhelyzeti energiaellátó

tó egység segítségével (EPU⁷⁶), ami a hidraulika rendszer vagy a fő és tartalék energiaellátó rendszer meghibásodásánál automatikusan kapcsolódik be a tápellátásba.

DC rendszere

A fő, tartalék illetve a vészhelyzeti rendszerek által termelt 115 V váltakozó áramot, 28 V-os egyenárammá 2 db, egyenként 100 A-es DC konverterrel alakítják át. Földi működtetésnél, hajtómű indításkor és vészhelyzetben a terhelések áramellátását az akkumulátor is biztosítja. Ez a rendszer egy 17 Ah-ás, 25 V-os nikkel-kadmium akkumulátorból és az azt töltő akkumulátor töltésvezérlő egységből (BCCU⁷⁷) épül fel.

A repülésvezérlő rendszer 4 csomópontját, két duplacsatornás átalakítón és áramszabályzón keresztül szabályozzuk, energiaellátását a négy állandó mágneses generátor, a vészhelyzeti állandó mágneses generátor, az egyenáramú sínek és az akkumulátor rendszer biztosítja. A fentebb leírt rendszerek, berendezések elhelyezkedését a 36. ábrán láthatjuk.



36. ábra F-16 energetikai berendezései⁷⁸

Energia elosztó hálózata

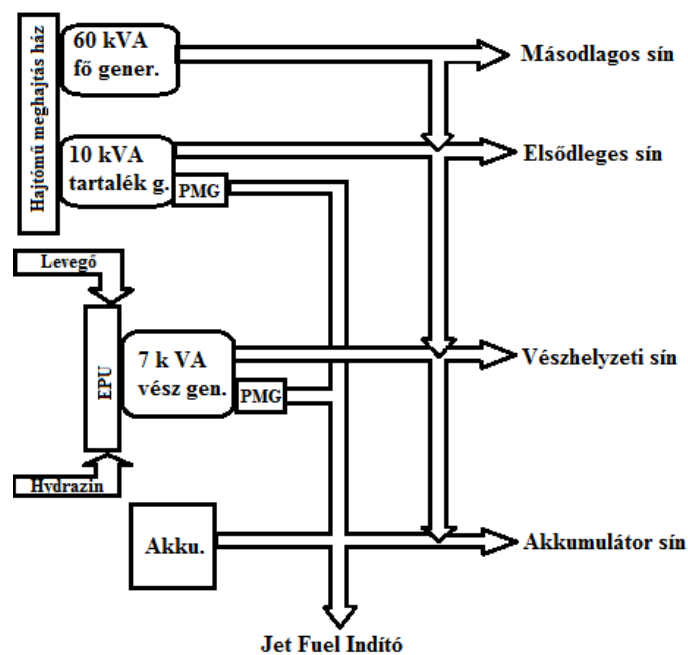
Az energia szétosztása a rendszerek prioritásán alapszik. Váltakozó áramú energia, a vészhelyzeti, az elsődleges és a másodlagos sínekről, míg egyenáramú táplálása a vészhelyzeti, elsődleges, másodlagos és akkumulátor sínekről érkezik. A másodlagos sínek azon rendszereket látják el energiával, melyek nem szükségesek sem a repülés, sem a küldetés sikeres végre-

⁷⁶ Emergency Power Unit (EPU) – Vészhelyzeti áramellátó egység

⁷⁷ Battery Charger Control Unit (BCCU) – Akkumulátor töltésvezérlő egység

⁷⁸ Szerkesztette a szerző (Paint.Net) – Lockheed Martin, F-16 International Multirole Fighter System Description 1999. 30. oldal

hajtásához. Az elsődleges sínek ezzel szemben olyan berendezések, rendszerek számára juttatnak energiát, amelyek a küldetés végrehajtásához feltétlenül szükségesek, ebbe beleértve a multi funkciós kijelzőket és korlátozottan a levegő-föld fegyver rendszereket. A vészhelyzeti tápellátást szolgáltató sínek, a biztonságos repüléshez szükséges rendszerek számára biztosítanak energiát. Ebbe beletartozik az inerciális navigációs rendszer, a HUD kijelző, valamint a fedélzeti számítógép. Az akkumulátortól származó elektromos energiát pedig a hajtómű indításhoz, illetve a repülés vezérlő rendszerek ellátására használják. Az elosztó rendszer felépítését az 37. ábrán láthatjuk.



37. ábra F-16 energia-elosztó rendszere⁷⁹

Normál repülési körülmények között a fő generátor látja el energiával az összes elektromos rendszer síneit. Ha a fő generátoron bármilyen meghibásodás történik, akkor az alapvető fontosságú, az akkumulátor, és a vészhelyzeti sínek táplálását a tartalék generátor veszi át. Ha valamilyen oknál fogva, a fő és a tartalék generátor is meghibásodik, akkor az EPU az energia ellátást a vészhelyzeti generátoroknak adja át, ami a vészhelyzeti és akkumulátor sínek tápellátását fogja biztosítani. Mindhárom energiafejlesztő rendszer elromlásakor, egyedül az akkumulátor biztosít energiát az akkumulátor síneken keresztül, de az is csak a repülésvezérlő rendszerek számára. Ez alapján kimondhatjuk, hogy a gép energia elosztó rendszere, többszörös tápforrásaival, bármilyen helyzetben megbízható energia ellátást nyújt a repülőgép rendszerei számára [11].

⁷⁹ Szerkesztette a szerző (Paint.Net) – Lockheed Martin, F-16 International Multirole Fighter System Description 1999. 32. oldal

4. NAGYOBB ELEKTROMOS ENERGIAIGÉNYŰ REPÜLŐGÉPEK

A hagyományos repülőeszközökön hidraulikus, elektromos, pneumatikus és mechanikai erőátviteli rendszerek kombinációit használják. A növekvő elektromos energiafelhasználás miatt, a fejlett repülőgépek energetikai rendszere, az olyan gyorsan fejlődő elektronikai újításokon alapul, mint a hibatűrő elektromos elosztó rendszerek és az elektromos meghajtású, elsődleges repülésvezérlő aktuátorok rendszere.

A nagyobb teljesítményigényű repülőgépek (MEA) alapkonceptiója az, hogy növeljék azon alrendszerek elektromos meghajtását, melyek működtetéséhez a korábbi repülőeszközökön mechanikus, pneumatikus vagy hidraulikus rendszerek kombinációját alkalmazták. A MEA-k célja tehát hogy teljes mértékben lecserélje a repülőgép nem elektromos erőforrásait, villamos energiára. Ezt az elgondolást először katonai légijárműveken alkalmazták, a gép karbantartási költségének és tömegének a csökkentése, valamint az elektromos berendezések nagyobb teljesítménye és megbízhatósága miatt. Később a polgári légieszközök kapacitásának növekedésével, a civil felhasználású repülőgépek tervezésénél is a nagyobb energiaigényű rendszerek felépítését vették alapul. Így vált a MEA koncepció, a jövő repülőgéprendszerének fejlesztési irányává. A modern energia elosztó rendszereknél ezért elsősorban a több konverteres energia hálózatok alkalmazása megszokott, áramellátás szempontjából pedig vegyes – 405 V AC, 200 V AC, 28 V DC és 270 V DC – feszültségintű és változó frekvenciájú forrásokat alkalmaznak.

Jelen fejezetben egy nagyobb energia igényű repülőgép, a Boeing 787 energetikai rendszerét, és a rajta alkalmazott technológia fejlesztéseket fogom bemutatni, összehasonlítva a hagyományos repülőeszközökön felhasznált rendszerekkel [13].

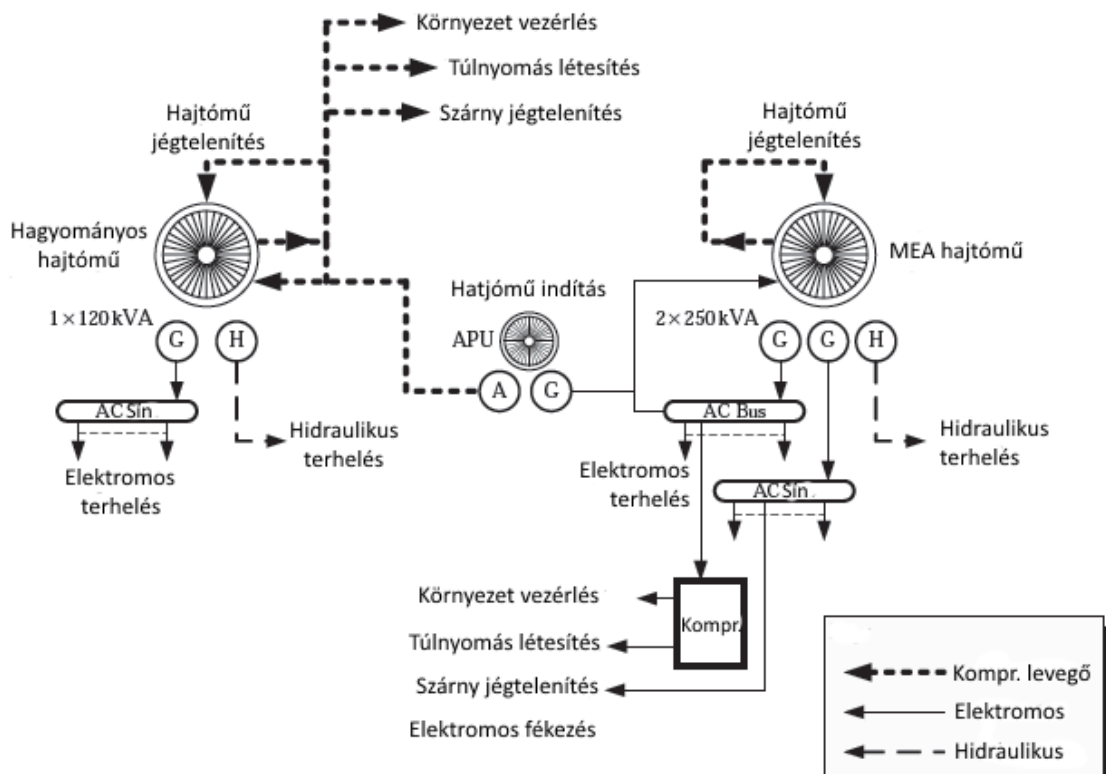
4.1 Hajtómű energiájának kinyerése

Az elmúlt évtizedekben, a módszerek, melyekkel a repülőeszközök hajtóművéből vontak ki energiát, nem sokat változott, annak ellenére, hogy már régóta vannak tanulmányok, amelyek a nagyobb mennyiségben kinyerhető, elektromos energiával foglalkoztak. A három fő kinyerhető energia típus a következő:

- Egy sebességváltó áttétel házon keresztül meghajtott generátor segítségével elektromos energia.
- A hajtóművel, szintén egy sebességváltó áttételen keresztül meghajtott szivattyú segítségével hidraulikus energia képezhető, de a sebességváltó áttétel meghajtása még levegővel vagy villamossággal is megoldható.

- Pneumatikus energia hozható létre a kompresszor köztes vagy nagynyomású levegőjének megcsapolásából, mely többek között a környezet vezérlő, a kabin túlnyomást létrehozó és a szárny jégtelenítő rendszerek számára nyújt táplálást.

A hajtómű tulajdonképpen egy magasan optimalizált gázgenerátor, de a kompresszortól elvezettet nagynyomású levegő hatására, hatásfoka aránytalanul leromlik, ha összehasonlítjuk a levegő elvezetésből nyert teljesítménnyel. Az aránytalanság, a sűrítési arány növekedésével még tovább növekszik. A 787-en használt hajtóművek sűrítési aránya 10:1 körül mozog, de a legmodernebb hajtóművek sűrítés aránya 35:1, azonban e hajtóművek finoman hangolt központi magja már különösen érzékeny a nagynyomású levegő elvezetésére. A végeredmény az, hogy a fejlett hajtóművek teljesítményének és előnyeinek teljes felhasználása érdekében egy új, még hatékonyabb energia kinyerő rendszer használata vált szükségessé. Így a fő szempont, a hajtómű energiájának kinyerésére szolgáló új architektúra és technológia alkalmazásánál, a hajtómű teljesítményének hátrányos befolyásolásának elkerülése volt. A 38. ábrán egy hagyományos és nagyobb energia igényű repülőgép energia kinyerése közötti különbséget figyelhetjük meg egy 767 és egy 787 Boeing-nél.



38. ábra Hagyományos és MEA energia kinyerés⁸⁰

⁸⁰ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 10.5

A főbb különbségek:

- Csökkentett nagynyomású levegő elvezetés
A 787-nél csak a hajtómű burkolat jégtelenítő rendszeréhez alkalmaznak nagynyomású levegőt, de ezt is csak a ventilátor lapátoktól, mely elvezetése kevésbé hátrányosan érinti a teljesítményt, mintha azt a kompresszortól tennénk.
- Nagyobb hatásfokú energiatermelés.
A B787-es energia fejlesztő rendszere csatornánkénti 500 kVA teljesítmény nyújtásra képes szemben a Boeing 767-400 120 kVA teljesítményével. Ez a megnövekedett energia mennyiség már elegendő azon rendszerek ellátására is, melyek többé már nem látnak el a kompresszortól elvezetett nagynyomású levegővel.
- Elektromos hajtómű indítás
A 787-en a nagynyomású levegő táplálás már nem elérhető, ezért elektromos hajtómű indítást használnak [8].

4.2 Boeing 787 energetika rendszere

A Boeing 787-es már sok új, a több villamos energiát igénylő repülőeszközök jellemzőit magán viseli. Ennek a típusnak a megjelenése egy nagy lépés volt a teljesen elektromos repülőgépek felé, melyeknél minden rendszer működtetését elektronikus úton oldják meg. A kompresszor levegőjének megcsapolásával működtetett rendszerek lényegében megszűntek és bár hidraulikus aktuátorokat még mindig használnak, a működtetésükhöz szükséges energia legtöbbször már villamos energiából származik.

Energetikai rendszere

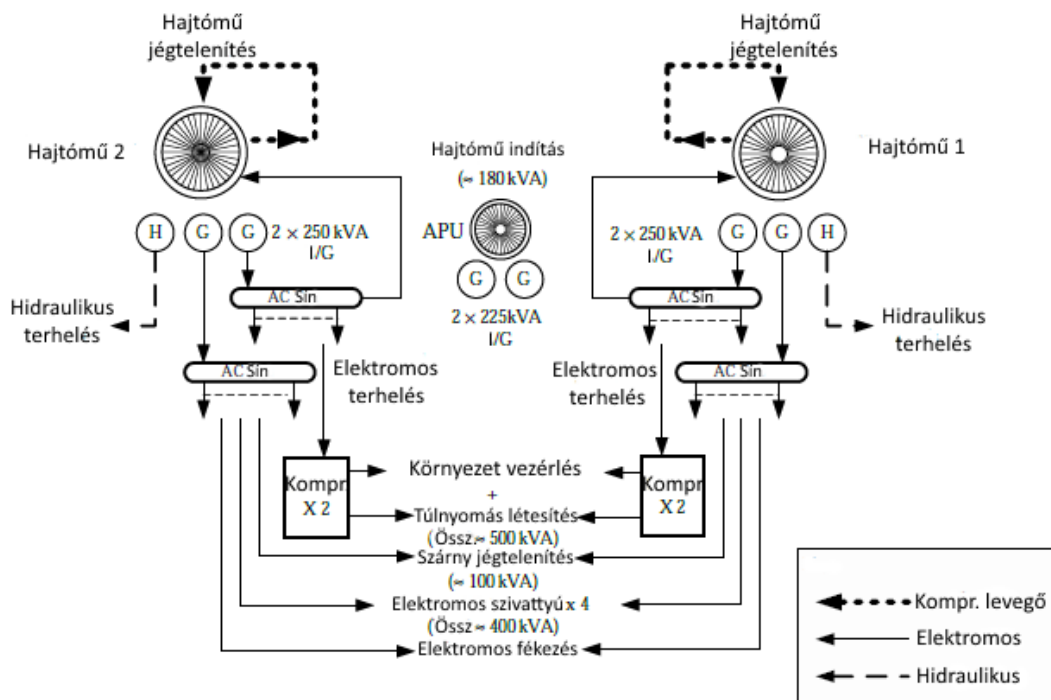
Gép rendszerének legfontosabb jellemzője, hogy a hagyományosan használt 115 V-os háromfázisú váltakozó áram helyett, 230 V háromfázisú váltakozó áramot használ. A feszültség növekedésével a kábelezés is jelentősen csökkenthető. Azonban a magasfeszültségű 230 V váltakozó áramú fázisfeszültség használatánál, a tervezéskor ügyelni kell a részleges kisülés hatásainak elkerülésére.

A 787-es villamos rendszerének legjellemzőbb vonásai a következők.

- Hajtóművenként két darab 250 kVA-es indító/generátorral rendelkezik, ami csatornánkénti 500 kVA-t biztosít. A generátorok váltakozó frekvenciájúak, ami a repülőgép ipar állandó 400 Hz-es frekvenciától való elszakadását tükrözi.

- Rendelkeznek még két darab 225 kVA-es APU indító/generátorral. Az egyes indító/generátorok először az APU-t hajtják meg, utána normál működésnél generátorokként üzemelnek. Minden generátor először a saját 230 V váltakozó áramú fő síneit táplálja, mielőtt az energiaelosztó rendszert látná el energiával. A terhelések táplálásánál a 230 V váltakozó áramot pedig átalakítják 28 V DC-re vagy 115 V AC-re, a régebbi, hagyományos táplálást igénylő alrendszerek számára.

A Boeing elektromos terheléseit és azok kapcsolódását 39. ábrán figyelhetjük meg. Láthatjuk, hogy a kompresszortól származó levegőt sárkányon belül már nem használnak, de a környezet vezérlő rendszerének, az utastér túlnyomását biztosító rendszerének vagy a szárny jégtelenítő rendszerének táplálását sem biztosítják ezzel. Egyedül a hajtómű burkolat jégtelenítéséhez használnak levegőt, amit a kisnyomású kompresszorlapátoktól vezetnek el. A levegőt a sárkányon keresztülvezető 7-8 hüvelykes csövek eltávolításával pedig további előnyökre tett szert az új típus. Mint korábban leírtam, a gép szinte egyáltalán nem használ levegővel hajtott rendszereket, ezért a hajtóművek hagyományos elindítása sem lehetséges, ugyanis korábban ehhez is nagynyomású levegőt használtak. Ezért a hajtóművekben beépített indító/generátorok vannak, melyek indításához 180 kVA-es teljesítmény szükséges.



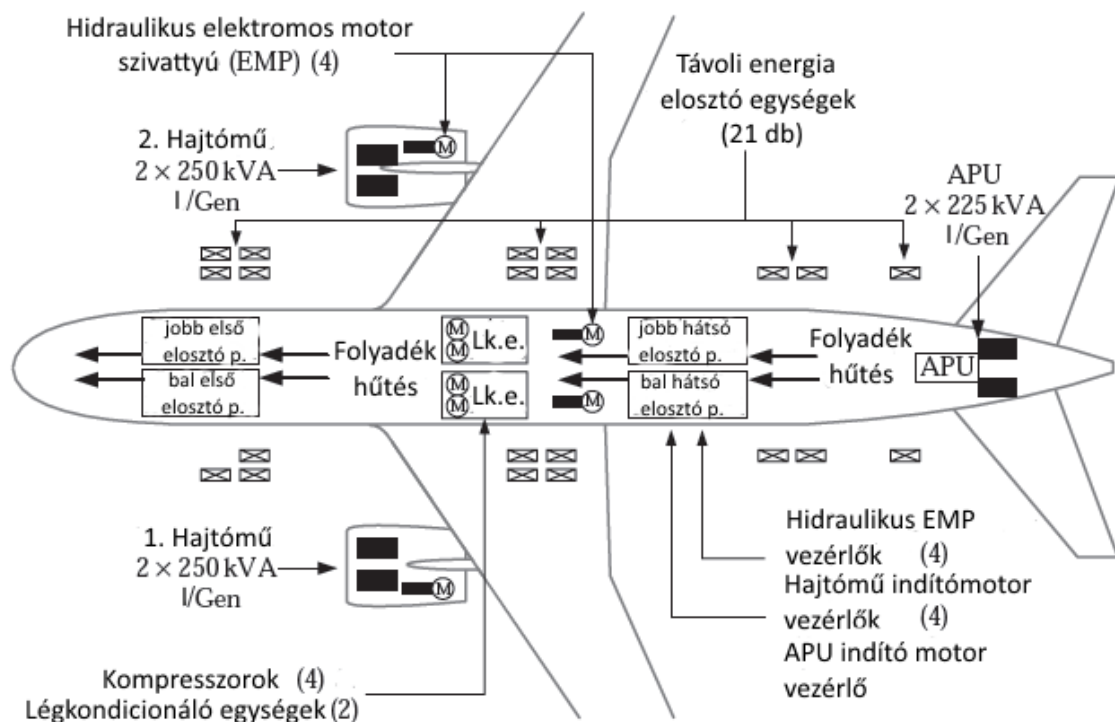
39. ábra Boeing 787 elektromos terhelései⁸¹

⁸¹ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 10.7

A 787-es több energiát igénylő terhelései a korábban említett indító/generátorok mellett a következők:

- A környezetvezérlő és túlnyomást létesítő rendszer (ECS⁸²). A kompresszortól érkező levegő eltávolításának következményeként az ECS és a túlnyomást létesítő rendszerek számára, a levegő nyomását elektromos úton kell létrehozni. Ezt a 787-en négy nagy 500 kVA-es elektromos meghajtású kompresszor segítségével állítják elő.
- A szárny jégtelenítése. Mivel a jégtelenítéshez nem áll rendelkezésre levegő, ezért azt a szárny belépőlébe ágyazott, elektromos fűtő szálakkal oldják meg, melynek működtetéséhez 100 kVA teljesítmény szükséges.
- Elektromos motor szivattyú motorok. Néhány a repülőgépen alkalmazott hidraulikus motor szivattyúkat elektromos meghajtású szivattyúkra cseréltek. A négy elektromos motor szivattyú egyenként 100 kVA-t, összesen tehát 400 kVA teljesítményt igényelnek.

Az előzőekben ismertetett nagyteljesítményű elektromos berendezések jelentős hatással vannak a repülőgép energia elosztó rendszerére (40. ábra).

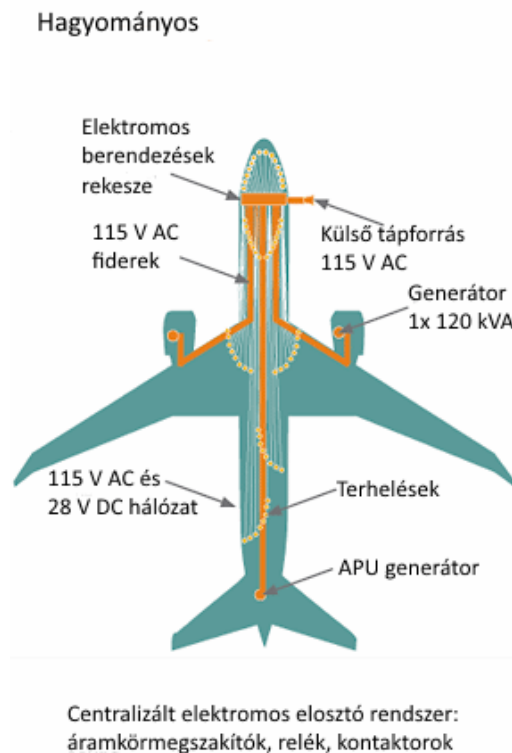


40. ábra B787 energetikai rendszerének elhelyezkedése⁸³

⁸² Environmental Control System (ECS) – Környezetvezérlő rendszer

⁸³ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 5.43

Az elsődleges energia elosztást négy fő panel végzi, kettő az elülső elektromos berendezések rekeszében, kettő másik pedig a hátsó rekeszben. A hátsó elektromos berendezések rekeszében található még a négy elektromos motor szivattyú motor vezérlője. Az ezekhez kapcsolódó szivattyúk közül kettő a hajtómű pilonokban, míg kettő a gép középső részében található. A hátsó elosztó paneleken helyezkedik el négy indító motor vezérlő, és egy APU indító motor vezérlő. A nagy teljesítményű terhelések velejárója, hogy teljesítmény veszteségként rengeteg hőt termelnek, ezért az elsődleges energia elosztó panelek folyadékos hűtése szükséges. Az elektromos légkondicionáló egységek a légijármű középső részén helyezkednek el. A másodlagos energia elosztás távoli teljesítmény elosztó egységeken (RPDU⁸⁴) keresztül történik. Ezek az egységek a repülőgép könnyen hozzáférhető részein vannak, összesen mintegy 21 darab. A 41. ábrával összevetve megfigyelhetjük a MEA és a hagyományos rendszerek felépítése közti különbségeket [8].



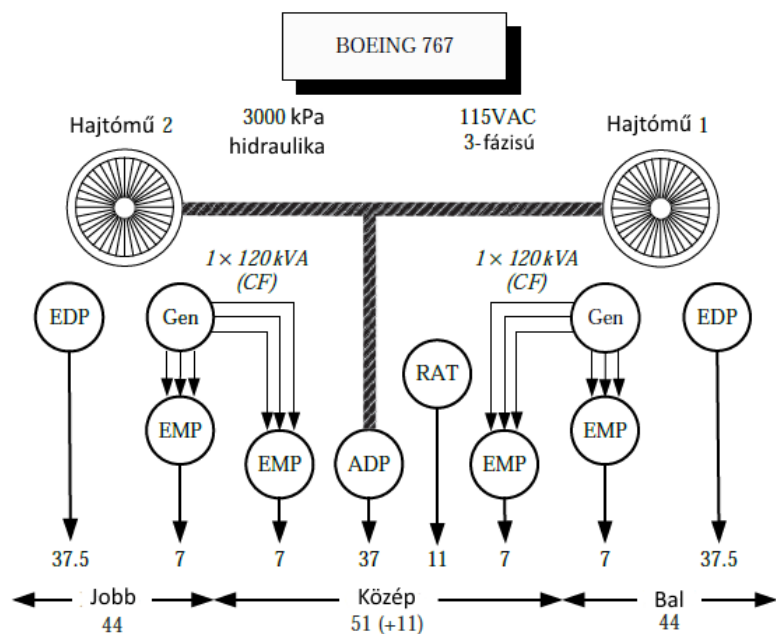
41. ábra Hagományos energetikai rendszer elhelyekedés⁸⁵

4.3 Nagyobb energiaigényű repülőgépek hidraulika rendszere

A nagyobb villamos energiaigényű repülőgépek koncepciójának elfogadásával, a Boeing 767 hidraulika rendszere a 787-el összehasonlítva a 42. ábrán látható módon változott.

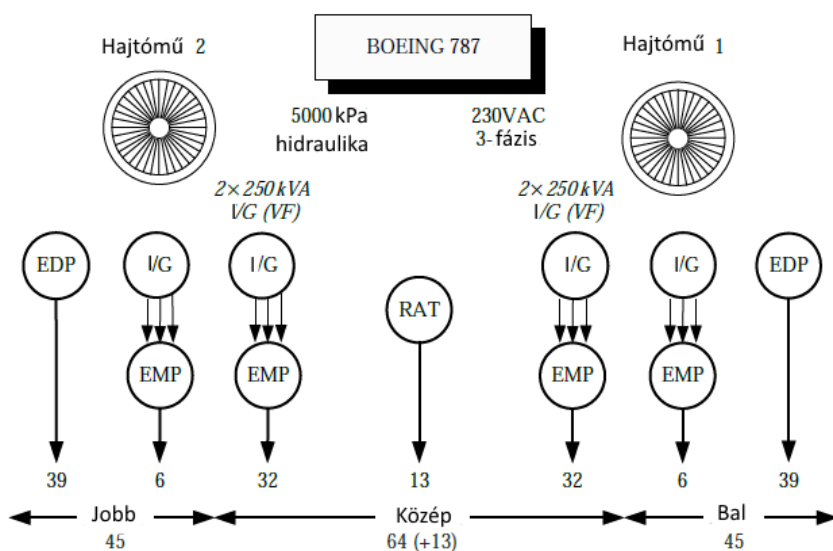
⁸⁴ Remote Power Distribution Unit (RPDU) – Távoli teljesítmény elosztó egység

⁸⁵ http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_07/images/graphic_02_3.gif (2014.04.24.)



42. ábra B767 hidraulika rendszer⁸⁶

A gyár a B787-nél (43. ábra) elővigyázatosságból még mindig központosított hidraulika rendszert alkalmazott, ellentétben az Airbus A380-val és a Lockheed Martin F-35-tel ahol a gyártók már decentralizált rendszert építenek be. A Boeing még az elsődleges repülés vezérlő rendszerek működtetésére is a hagyományos hidraulikus működtetést használja, míg az A380-nál a korszerű elektro-hidrosztatikus aktuátorokat és elektromos vészhelyzeti hidrosztatikus aktuátorokat alkalmaz [8].



43. ábra B787 hidraulika rendszer⁸⁷

⁸⁶ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 10.8

Mind a 767, mind 787 felépítésében a Boeing filozófiájú bal, közép és jobb hidraulika csatornákat használ. Melyek fő különbségeik a következők:

- A 787-ből a légmeghajtású szivattyú (ADP⁸⁸) kiszedésével, itt is kiküszöbölték a hajtóműtől érkező nagynyomású levegő használatát.
- 3000 kPa nyomású hidraulika rendszer helyett 5000 kPa nyomásút alkalmaztak, és 230 V-os háromfázisú, váltakozó áramú változó frekvenciájú, elsődleges tápellátást használnak, a korábbi 115 V-os, váltakozó áramú háromfázisú, 400 Hz-es állandó frekvencia helyett.
- Elektromos hajtómű indítás megkönnyítésére indító/generátorok használata, a korábbi egyszerű generátor helyett.
- Majd négyszer nagyobb elektromos motor szivattyúkat (EMP⁸⁹) alkalmaznak, mint a 767-en. Az elsődleges csatornák teljesítményszintje 120 kVA-ról 500 kVA-re emelkedett, de torló levegős turbina teljesítménye is drasztikusan megnőtt.

4.4 Nagyobb elektromos energia igényű gépek környezetvezérlő rendszere

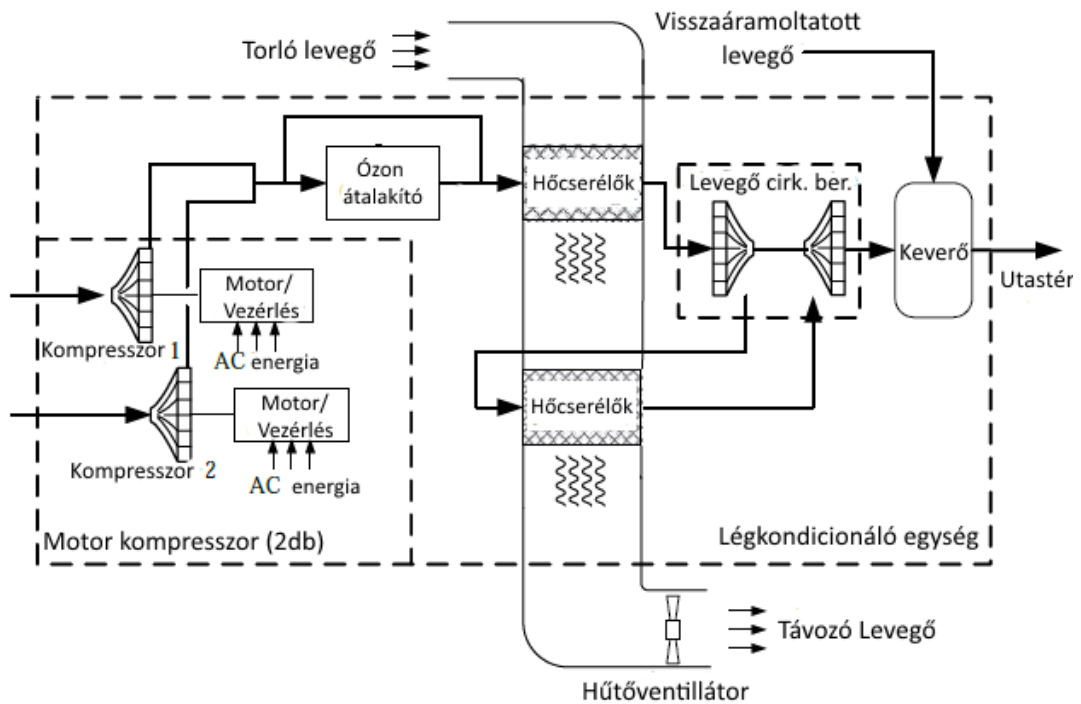
A kompresszortól elvezetett nagynyomású levegő használatának megszüntetésével az utastér túlnyomásnak létrehozásához és környezetvezérlő rendszer levegő forrásának biztosításához, elektromos kompresszorok használata vált szükségessé.

Más hasonló méretű repülőgépekhez hasonlóan a 787-es is két légkondicionáló egységgel rendelkezik, a különbség csak az, hogy ezek elektromos táplálásúak. Mindkét egység két elektromos meghajtású kompresszorral rendelkezik melyeket a hátsó elektromos berendezések rekeszében található motorvezérlők szabályoznak és minden állandó mágneses motor meghajtásához 125 kVA teljesítmény szükséges. A kompresszorok kimenete először egy közös elosztótérbe lép, majd az elsődleges és másodlagos hőcserélők, a külső torló levegő segítségével lehűtik. A kapott hideg levegőt elkeverik az utastérből visszavezetett levegővel, fenntartva ezáltal a kívánt utastér hőmérsékletet. Az elektromos meghajtású környezetvezérlő rendszer működését az 44. ábrán láthatjuk.

⁸⁷ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 10.8

⁸⁸ Air Driven Pump (ADP) – Légmeghajtású szivattyú

⁸⁹ Electric Motor Pump (EMP) – Elektromos motor szivattyú

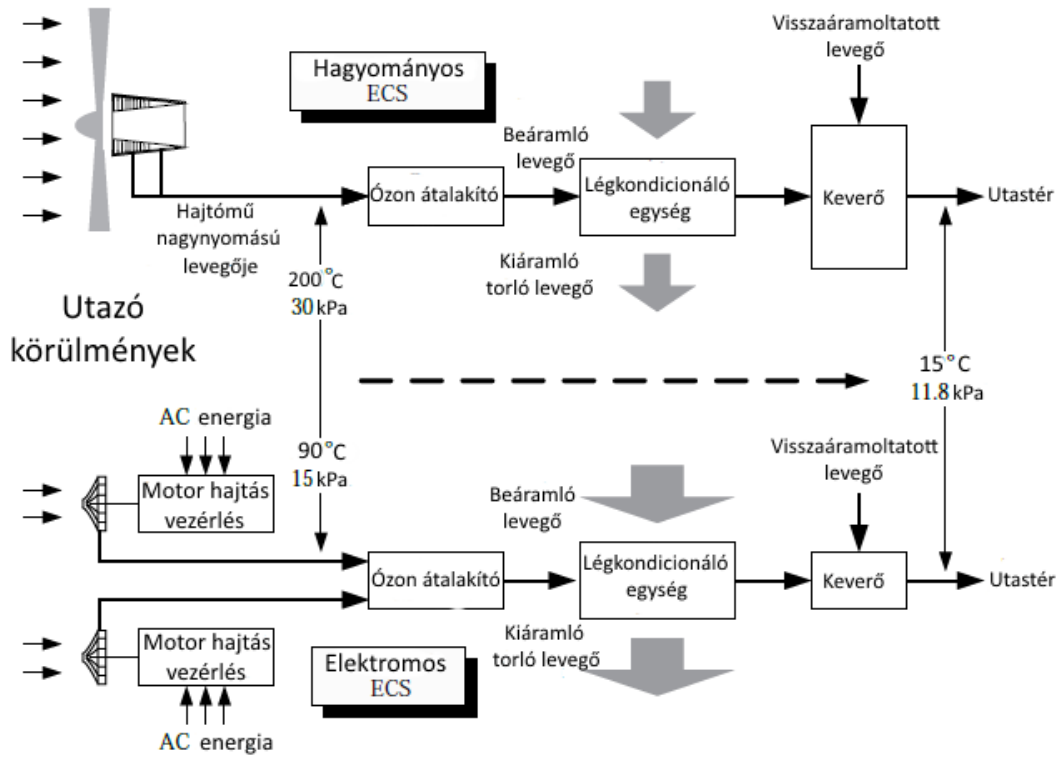


44. ábra MEA légkondicionáló egység⁹⁰

Bár a környezetvezérlő rendszer jelentős mennyiségű energiát fogyaszt, de még mindig nem volt szükséges a hajtómű központi magjától levegőt elvezetni. Legnagyobb előnye pedig, hogy a szállított levegő hőmérséklete, nyomása lényegesen alacsonyabb. Az 45. ábra szemlélteti a különbséget a hagyományos és az elektromos ECS között. A hagyományos rendszernél a kompresszortól érkező levegő megközelítőleg 200°C és 30 kPa nyomású. Miután lehítik ez általában 15°C és 11,8 kPa nyomású, ez az utastér 6000 láb körüli nyomásértékének felel meg. Az elektromos kompresszor szállított levegője ezzel szemben körülbelül 90°C, és 15 kPa nyomású, mielőtt azt a visszavezetett meleg levegő összekeverésére alkalmas 15°C-ra és 11,8 kPa csökkentenék. Mint láhattuk a levegő hűtésére és nyomásának csökkentésére fordított energia szempontjából, a két módszer között jelentős különbség van, így az elektromos ECS használatával rengeteg energia megtakarítható.

Ahogy azt korábban már említettük, a nagy energiaigényű rendszerek és nagy teljesítményű energiaelosztó rendszerek használata új technológiák használatát is szükségessé tette. Ilyenek az elektromos energiaelosztó szekrények, melyek a gép első és hátsó rekeszeiben találhatóak, súlyuk pedig eléri a 370 kg-ot. A nagyobb terhelésekhez külön motorvezérlők szükségesek. Az elosztószekrények táplálásához sok esetben ± 270 V egyenáram, jelentős hő leadásuk miatt pedig a szekrények folyadékos hűtése szükséges [8].

⁹⁰ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 10.9



45. ábra MEA és hagyományos ECS⁹¹

⁹¹ Szerkesztette a szerző (Paint.net) – Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8) Figure 10.10

ÖSSZEGZÉS

Elemző munkám során bemutattam, hogy honnan is indult, és miként fejlődtek a repülőgépek energetikai rendszerei. Miként érték el mai formájukat és egy egyszerű néhány elemes hálózatból, hogyan fejlődtek egy olyan komplex rendszerré, melyek ma már egy repülőeszköz tervezésekor alapvetően meghatározzák a gépek felépítését, berendezések elhelyezkedését.

Céлом az volt, hogy egy általános nyugati légi jármű elektromos rendszerének, berendezéseinek bemutatásán keresztül, egy olyan képet adjak azok feladatairól, felépítéseiről, hogy a későbbi típus ismertetéseknél, az olvasóban ne merüljenek fel kérdések az egyes rendszerekkel kapcsolatban. Az egyes típusok bemutatásakor láthattuk, hogy egy nyugati gépen, milyen energetika rendszerek, eszközöket alkalmaztak, a repülés biztonságossá, az utazás kényelmessé tételéhez. Nagy gondot fordítottam arra is, hogy bemutassam egy modern gép teljesítmény igényeit is, ezzel is utalva a fokozatos fejlesztések szükségességére.

Ha valaki korábban már találkozott keleti technológiájú légieszközök energetikai rendszereivel, az megfigyelhette a két eltérő szemléletmód közötti különbségeket. Sajnos munkámban az idő rövidege és a terjedelem korlátozott mivolta miatt, példákon keresztüli bemutatására már nem volt lehetőségem, de a jövőben szándékomban áll dolgozatomat ilyen irányokba is kiterjeszteni.

Dolgozatom utolsó részében pedig a jelenlegi fejlesztési irányokkal foglalkoztam, azon belül is a több energiát igénylő repülő energia, valamint környezet vezérlő rendszerével. Próbáltam rávilágítani egy hagyományos rendszerű repülőeszköz és egy ilyen modern repülőgép rendszere közötti különbségekre, a hagyományos rendszerekkel szembeni előnyökre. Bemutattam milyen paradigma váltás következett be a korszerű repülőeszközök tervezésénél és ez mennyivel nagyobb hajtómű hatásfokot eredményez.

A jövőben várhatóan tovább növekszik a légieszközök teljesítményigénye, illetve hajtóművek teljesítményének hatásfoka, ezért az energetikai rendszerek folyamatos fejlesztése tovább szükséges, ezáltal a téma aktuális marad. A jövőben növekvő energia szükséglet miatt, talán a pneumatikus rendszerek, rendszervezérlése mellett a hidraulikus, hidromechanikus berendezések vezérlését, valamint a nyomást létrehozó egységének működtetését is elektromos úton oldják meg, lehetőséget adva a tanulmány ilyen irányú folytatására.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. A. AbdElhavez, A. J. Forsyth: A Review of More-Electric Aircraft. 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology, ASAT-13, May 26 – 28, 2009, pp. 1-13. url: <http://www.mtc.edu.eg/asat13/pdf/EP01.pdf> (2014.03.29.)
- [2] Ahmed Abdel-Hafez: Power Generation and Distribution System for a More Electric Aircraft - A Review, url: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/28814.pdf> (2013.04.13.)
- [3] Барвинский А. П. - Козлова Ф. Г.: Электрооборудование самолётов. Москва, Транспорт, 1990. url: http://guap.ru/guap/kaf71/meth/5_7.pdf (2014.03.26.)
- [4] Békési Bertold: Forgószárnyas légitűrművek története 1907-ig. Repüléstudományi Közlemények 2014/2. pp. 443-466. http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-35-0168_Bekesi_Bertold.pdf (2014.04.18)
- [5] Benada Károly, Dr. Gáti Balázs, Hámori György, Dr. Óvári Gyula, Rácz János: Repülőgépek Rendszerei és Avionika. Egyetemi tananyag, Typotex Kiadó, 2012. 144 p. (ISBN 978-963-279-613-0) url: http://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/48/dd/1/Gati_etal_Repulogepek_rendszerei.pdf (2014.04.15)
- [6] E.H.J. Palett: Aircraft Electrical Systems. Introduction to Aeronautical Engineering Series, Pitman Publishing, 1976. 159 p.(ISBN 0 273 36159 7) url: <https://archive.org/details/AircraftElectricalSystems> (2014.03.11.)
- [7] FAA-H-8083-31 Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe Volume 1. Federal Aviation administration, 2012. Figure 9-79. url: http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/amt_airframe_vol1.pdf (2014.04.01.)
- [8] Ian Moir and Allan Seabridge: Aircraft Systems. Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2008. 546 p. (ISBN 978-0-470-05996-8)
- [9] Ian Moir and Allan Seabridge: Civil Avionics Systems. AIAA Education Series, 2003. 396 p. (ISBN 1-56347-589-8)
- [10] Journal of the American Society for Naval Engineers Volume 67, Issue 1, Developments in Aircraft Electrical Power, February 1955 url: <http://www.readcube.com/authenticate/10.1111/j.1559-3584.1955.tb03080.x?locale=en&url=http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1111%2Fj.1559-3584.1955.tb03080.x> (2014.04.10)
- [11] Lockheed Martin, F-16 International Multirole Fighter System Description 1999
- [12] M.J. Cronin, A. P. Hays, F. B. Green, N. A. Radovich, C. W. Helsley, and W. L. Rutchik: Integrated Digital/Electric Aircraft Concepts Study. Nasa Contractor Report 3841, 1985. 452 p. url: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19850008552.pdf> (2014.03.15.)
- [13] Reyad Abdel-Fadil, Ahmad Eid, Mazen Abdel-Salam, Electrical distribution power systems of modern civil aircrafts, 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies 18–21 Feb. 2013, Cairo, Egypt 2013. p. 201-210 url: <http://www.afaqscientific.com/icest2013/22-Eid76.pdf> (2014.03.17.)
- [14] Xiuxian Xia, Dynamic Power Distribution Management for All Electric Aircraft, 2011. url: https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/6285/1/Xiuxian_Xia_Thesis_2011.pdf (2014.03.18.)

MELLÉKLET

1. melléklet: Alkalmazott rövidítések

1. melléklet

Alkalmazott rövidítések

AC	– Alternating current: Váltakozó áram
ADP	– Air Driven Pump: Légmeghajtású szivattyú
APB	– APU Power Breaker: APU árammegszakító
APU	– Auxiliary Power Unit: Segédhajtómű
AUPB	– Auxiliary Power Breaker: Kiegészítő árammegszakító
BCCU	– Battery Charger Control Unit: Akkumulátor töltésvezérlő egység
BCRU	– Battery Charge Regulator Unit: Akkumulátor töltés szabályzó egység
BCU	– Bus Control Unit: Sín vezérlő egység
BPCU	– Bus Power Control Unit: Sín energiaellátást ellenőrző egység
BTB	– Bus Tie Breaker: Sínáthidaló
BTC	– Bus Tie Contactor: Sínösszekapcsoló kontaktorok
CF	– Constant Frequency: Állandó frekvenciájú
CSD	– Constant Speed Drive: Állandó sebességű meghajtás
DC	– Direct current: Egyenáram
ECS	– Environmental Control System: Környezetvezérlő rendszer
EICAS	– Engine Indication and Crew Alerting System: Hajtómű jelző és személyzet figyelmeztető rendszer
ELCU	– Electronic Loads Control Unit: Elektromos terhelések vezérlőegysége
ELMS	– Electrical Load Management System: elektromos terhelés vezérlő rendszer
EMP	– Electric Motor Pump: Elektromos motor szivattyú
EPC	– External Power Contactor: Külső energia kontaktor
EPC	– External Power Control: Külső áram vezérlés
EPU	– Emergency Power Unit: Vészhelyzeti áramellátó egység
ESS	– Essential: elsődleges
EXT	– External Power Connection: Külső csatlakozóaljzat
GCB	– Generator Control Breaker: Generátor vezérlés megszakító
GCR	– Generator Control Relay: Generátorvezérlő relé
GCU	– Generator Control Unit: Generátorvezérlő egység
IDG	– Integrated Drive Generator: Integrált meghajtású generátor
IMA	– Integrated Modular Avionics: Integrált moduláris avionikai rendszer
LRU	– Line Replaceable Unit: Cserélhető egység

- PMG – Permanent Magnet Generator: Állandó mágneses generátor
- RAT – Ram Air Turbine: Torló levegős turbina
- RPDU – Remote Power Distribution Unit: Távoli teljesítmény elosztó egység
- SCR – Silicon Controlled Rectifier: Négyrétegű kapcsolódióda
- SSB – Split System Breaker: Osztott rendszer megszakító
- TRU – Transformer Rectifier Units: Transzformátoros egyenirányító egység
- VSCF – Variable Speed/Constant Frequency: Változó sebességű/ állandó meghajtású
- XPC – External Power Contactors: Külső áram kontaktorok

FÜGGELÉKEK

1. függelék: Annotáció
2. függelék: A konzultációkon történő részvétel igazolása (konzultációs lap)
3. függelék: Nyilatkozat

1. függelék

Annotáció

A második világháború befejezése után, a repülőgépek energetikai rendszereinek a fejlődése jelentősen felgyorsult. A légijárművek teljesítményigénye a többszörösére emelkedett, ami a repülőgépen található elektromos berendezések, fogyasztók számának drasztikus növekedésével indokolható. A mai korszerű repülőgépek irányításánál, vezérlésénél pedig a fő szempont az, hogy a lehető legtöbb folyamatot elektromos úton oldjanak meg, ezáltal minimalizálják az esetleges mechanikai hibák kialakulásának lehetőségét és csökkentik a gép tömegét kiváltva a nehezebb hidromechanikus sűrített levegős rendszereket.

A szerző munkájában, röviden kitér az energetikai rendszerek fejlődéstörténetére, majd csoportosítja és általánosan jellemzi a rendszereket, mindezt első sorban a nyugati technológiákon. Ezt követően bemutatja és felvázolja a területen, a jövőben várható fejlesztési terveket, elképzeléseket, elvárásokat. A dolgozat utolsó részében pedig néhány civil és katonai repülőgép energetikai rendszerének jellemzése olvasható.

2. függelék

A konzultációkon történő részvétel igazolása (konzultációs lap)

A honvéd tisztjelölt neve:

Náczi Róbert honvéd tisztjelölt

A belső konzulensek nevei és beosztásai:

Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens

A témát kiadó önálló oktatási szervezeti egység neve:

Nemzeti Közszolgálati Egyetem

Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Katonai Üzemeltető Intézet

Katonai Repülő Tanszék

Nevezett honvéd tisztjelölt a 2013/2014. tanévben a szakdolgozat készítésével kapcsolatos konzultációkon rendszeresen részt vett.

Az elkészített dolgozatot „Repülőgépeken alkalmazott energetikai rendszerek” címmel bemutatta, a dolgozat saját szellemi termék, plágium gyanúja nem merült fel.

A dolgozatnak a Záróvizsgálathoz kapcsolódó bírálati eljárásra történő beadásával egyetértek.

Szolnok, 2014. április 24.

.....
**Dr. Békési Bertold alezredes
egyetemi docens**

3. függelék

Nyilatkozat

Alulírott Náci Róbert a H_AN4_SHBRM73 tancsoport hallgatója (NEPTUN-kód: WSLI4P) büntetőjogi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a „Repülőgépeken alkalmazott energetikai rendszerek” című, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszéken benyújtott jelen szakdolgozat saját szellemi tevékenységem eredménye, a benne foglaltak más személyek jogszabályban rögzített jogait nem sértik.

Ezennel hozzájárulok ahhoz, hogy a Nemzeti Közszolgálati Egyetem a szakdolgozatom egy példányát a könyvtárában tárolja (elektronikus adathordozón rögzítse), azt mások számára hozzáférhetővé tegye.

Hozzájárulok ahhoz is, hogy más személyek a szakdolgozatomban foglaltakat tanulmányaik, kutatásaik során – a hivatkozási előírások betartásával – felhasználják.

Szolnok, 2014. április 25.

.....
Náci Róbert honvéd tisztjelölt