

Mehli I.S. - Johnson R.N. - Hastings W.J.

A TELJESEN VILLAMOSÍTOTT REPÜLŐGÉP  
KUTATÁSI PROGRAMJÁNAK ÁLLAPOTA

Fordító: Szabolcsi Róbert mk.százados

(Az 1990-ben Daytonban megrendezett NAECON Repülési és Űrhajózási Elektronikai Konferencia anyagából. Megjelent az "AVIASZTROENYIE" folyóiratban).

Az Amerikai Egyesült Államok Szenátusának határozata értelmében a NASA olyan új technológiát készítő és ellenőrző hosszútávú programot dolgozott ki, mely lehetővé teszi, hogy az USA a repüléstudományokban és a repülőtechnika terén vezető helyet foglaljon el és polgári repülőgépei a nemzetközi piacon piacképesek legyenek.

A szubszónikus szállító repülőgépek vezérlő rendszerének nagyon fontos pillére a "teljesítmény vezetéken" koncepció (power-by-wire-PBW), melynek megvalósítása esetén a mai repülőgépekhez képest mintegy 10 %-kal csökken a repülőgép-, valamint a tüzelőanyag tömege.

A PBW koncepció egy sor új technológiát képvisel, például nagy megbízhatóságú, a terhelések között a villamosenergiát számítógép segítségével elosztó energiarendszer; elektromechanikus kormánygépek alkalmazása; intelligens elemeket tartalmazó automatikus önellenőrző rendszerek; gazdaságos, csendes kétáramú gázturbinás sugárhajtómű.

A NASA programjának másik kulcsfontosságú eleme az optikai érzékelőket tartalmazó elektronikus adók és az őket egyesítő üvegszálalás információs vezetékrendszer, mely felváltja a hagyományos információközvetítő rendszert.

A fent felsorolt technológiák hatékonyságát a NASA kutatóközpontjában polgári repülőgépeken vizsgálták. Alapítusnak a BOEING-767 szállítórepülőgépet választották. Bár az egyes technológiák alkalmazásának hatékonysága függ a vizsgált repülőgép típusától, méreteitől, a repülőgép hajtóműveitől és a vezérlő rendszer jellegétől, a már létező technológiák tökéletesítésének és az új technológiák költséghatásait el lehet végezni a BOEING-767 repülőgépen.

A NASA kutatóközpontjának jelentése szerint a repülőgép tömegének csökkentését alapvetően a hagyományos hidraulikus, pneumatikus és villamosenergia rendszerek helyett alkalmazott egységes, nagy megbízhatóságú villamos energia rendszer alkalmazása tette lehetővé, melyben a fogyasztók közötti energiaelosztást azok prioritása alapján számítógép vezérli. A repülőgép tömegének további csökkentését - a jelentés szerint - a villamos távvezérlésű elektromechanikus kormánygépekre épülő perspektivikus repülőgépvezérlő rendszer, valamint a gazdaságos, nagy kétáramúsági fokkal rendelkező kétáramú gázturbinás sugárhajtómű alkalmazása eredményezi. Az egységes energiarendszer alkalmazása csökkenti a szerkezeti elemek és a meghibásodások számát, továbbá jelentősen csökkenti az üzemeltetési költségeket.

A PBW technológia alkalmazása esetén nincs szükség levegőelvezetésre a hajtóműtől a jégtelenítő és a levegőkondicionáló rendszer működtetésére. A PBW technológia lehetővé teszi az indítómotor-generátorok alkalmazását, mely esetén nincs szükség a segédberendezések meghajtójárára. Az indítómotor - generátor biztosítja a hajtómű indítását, valamint a villamosenergia ellátását.

A PBW technológia alkalmazásának további előnyei a repülés biztonságának növelése az alacsony üzemeltetési és műszaki kiszolgálási kiadások révén.

A kutatások megállapításai alapján a javasolt új technológiák alkalmazása közül a legnagyobb tüzelőanyag-megtakarítást a jégtelenítő és a levegőkondicionáló rendszer működtetéséhez szükséges, hajtóműtől történő levegővezetés megszüntetése eredményezte. Megoldásképpen a tanulmány villamosenergia-forrásról működő levegőkondicionáló rendszert és elektro-impulzus rendszerű jégtelenítő rendszert javasol.

A perspektívikus űvegyszálas vezetékrendszerre épülő energiarendszer alkalmazása nagyfokú védelmet biztosít a nagyteljesítményű elektromágneses hullámok és a légköri ki-sülések ellen.

A PBW technológia kidolgozása és fő összetevőinek megállapítása a NASA kutatólaboratóriumának és más cégeknek a "teljesen villamosított repülőgép" koncepciójának megvalósítása során hosszú évekig végzett munkájuk eredménye.

A "teljesen villamosított repülőgép" koncepciója a 80-as évek végén, a 90-es évek elején fejlődött széleskörűen, mint a repülőgép tüzelőanyag- és energetikai hatékonysága növelésének egyik lehetséges változata. A "teljesen villamosított repülőgép" koncepcióját az USA-ban a NASA-val kötött megállapodás alapján a BOEING és a LOCKHEED cégek, Nagy-Britanniában az Ipari Minisztériummal kötött megállapodás alapján a Cranfield-i Repülőgép-terem, valamint a BAE cég dolgozták ki.

A BOEING cég kísérletei alapján a "teljesen villamosított repülőgép"-re történő átállás a BOEING-767 repülőgép esetében csak a másodlagos energiarendszerek elhagyásával a tüzelőanyag 3 %-os megtakarítását eredményezi. A csökkentett statikus stabilitással rendelkező repülőgép vezérlő rendszerének alkalmazása a tüzelőanyag 7 %-os megtakarítását teszi lehetővé. A többi perspektívikus technológia alkalmazása a tüzelőanyag további (10-15) %-os megtakarítását eredményezi.

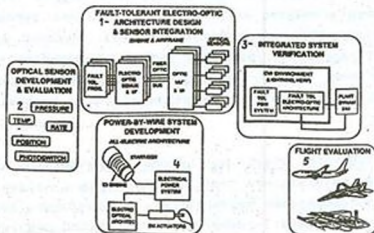
Az egyes költségmodellekkel végzett kísérletek azt igazolják, hogy a "teljesen villamosított repülőgép" esetében a repülőgép tömege 1431 kg-al csökkent: a hidraulikus és a pneumatikus energiarendszerek elhagyása miatt 634,5 kg a tömegmegtakarítás, míg a fedélzeti rádiótechnikai rendszerek integrációja és a villamos távvezérlésű vezérlőrendszer alkalmazása révén 796,5 kg tömeget sikerült megtakarítani. Az egyes rendszerek tömegének ilyen mérvű csökkenése a repülőgép felszálló tömegének 3177 kg-os (2,8 %) csökkenését eredményezi. A villamos tartalék (másodlagos) energiarendszer költségkihatás vizsgálatai bebizonyították, hogy a villamos tartalék energiarendszer alkalmazása a fedélzeti berendezések előállítási költségeit 3 %-kal növeli. Viszont egy 30 "teljesen villamosított repülőgép"-ből álló gépparkot - mely legalább 15 évet repül - egy ugyanilyen számú hagyományos repülőgépből álló gépparkkal összehasonlítva a megtakarítás 26,5 millió.

A LOCKHEED cég által egy háromhajtóműves, 350 személyes, közepes távolságokra repülő repülőgépen a teljes villamosítás koncepciójának megvalósítása a tüzelőanyag tömegének 10 %-os csökkenését eredményezi. A LOCKHEED cég repülőgépén a hidraulikus és a pneumatikus energiarendszerek elhagyása és a villamos tartalék energiarendszer alkalmazása 2415 kg tömeg megtakarítását eredményezi, a fedélzeti rádió- és vezérlő rendszerek integrációja révén 750 kg tömeget sikerül megtakarítani. Egyéb más új technológiák alkalmazása esetén 15750 kg (7,5 %) tömeg megtakarítása érhető el. A "teljesen villamosított repülőgép" műszaki kiszolgálása egyszerűsödik, Üzemeltetési költségei 1,2 %-kal csökkennek.

A Grandfield-i Repülőgyetem kísérletei alapjából az A-300-600 repülőgép szolgált és megállapították, a "teljesen villamosított repülőgép" koncepciójának alkalmazása a tüzelőanyag tömegének 1 %-os csökkenését eredményezi. A fenti cégek azonban megállapították, hogy a teljesen villamosított

repülőgép" koncepciójának potenciális lehetőségei, valamint a 90-es évek közepére - végére tervezett új technológiák (villamos távvezérlésű vezérlő rendszer; gazdaságos, nagy kétáramússági fokkal rendelkező kétáramú gázturbinás sugárhajtómű; új szárnyprofil; kompozit anyagok alkalmazása) együttes alkalmazása révén jelentős mértékben csökkenthető a tüzelőanyag-felhasználás, valamint csökkenthető az utas- és teherszállító repülőgépek felszálló tömege.

Az 1. ábrán a NASA öt éves "Polgári szállító-repülőgép kifejlesztése" elnevezésű program látható.



1. ábra

Az 1. ábrán:

- 1 - meghibásodásbiztos vezérlő rendszer kifejlesztése (nagy megbízhatóságú processzor, opto-elektronikus multiplexer, optikai adók),
- 2 - az optikai érzékelők kifejlesztése (nyomás, hőmérséklet, elmozdulás, fotoelemek),

- 3 - a rendszer próbája (az elektromágneses hullámok hatása: villámlás, nagyteljesítményű elektromágneses besugárzás),
  - meghibásodásbiztos PBW-rendszer;
  - meghibásodásbiztos opto-elektronikai rendszer;
  - dinamikus modellezés (földi ellenőrző berendezés).
- 4 - a PBW-rendszer kifejlesztése, egyik változat:
  - indítómotor generátor;
  - nagy hatékonyságú EB hajtómű;
  - villamosenergia-ellátórendszer;
  - opto-elektronikus vezérlő rendszer;
  - elektronikus kormánygépek.
- 5 - a PBW koncepció repülőgépeken történő kipróbálása.

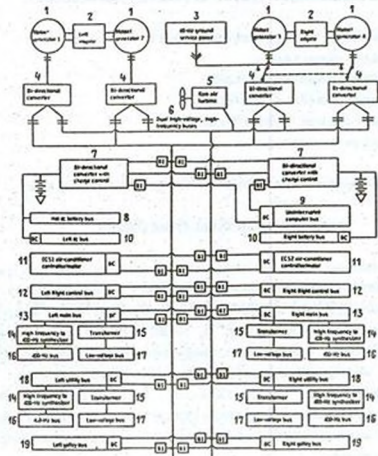
#### VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÓRENDSZER

Kéthajtóműves, négy indítómotor - generátoros (hajtóművenként kettő) repülőgép energiarendszert vizsgáljuk. A repülőgép vészenergia ellátását a külső levegőárral működtetett levegőturbina biztosítja. A repülőgép fő energiarendszere többszörösen tartalékos meghibásodásbiztos rendszer, melyben az energiaelosztást mikroszámítógép vezérli. Az energiarendszer a 2. ábrán látható. Az energiarendszer a villamos teljesítmény összpontosítására, elosztására és a meghibásodás azonosítására elektronikus, kulcsüzemben működő elemeket tartalmaz.

A 2. ábrán:

- 1 - indítómotor - generátorok 1, 2, 3, 4;
- 2 - bal (-jobb) hajtómű;
- 3 - földi táplálás  $80 H_z$ ;
- 4 - kétirányú energiaátalakító;
- 5 - a külső levegőárral működtetett levegőturbina;

- 6 - nagyfeszültségű - nagyfrekvenciájú tartalékos energia-sínnek;  
 7 - kétirányú energiaátalakító mikroszámítógépes vezérlés-sel;  
 8 - "meleg tartalék" üzemű akkumulátorok sínje;



2. ábra

- 9 - a számítógépek szünetmentes tápforrásának sijnje;  
 10 - bal (-jobb) egyenáramú energiasín;  
 11 - levegőkondicionáló rendszer motorjának vezérlése;  
 12 - a repülőgépvezérlő rendszer bal (jobb) energiasijnje;  
 13 - bal (jobb) váltakozóáramú energiasín;  
 14 - a frekvenciaátalakító nagyfrekvenciás jele;

- 15 - transzformátor;
- 16 - 400 H<sub>z</sub>-es energiasín;
- 17 - kisfeszültségű energiasín;
- 18 - bal (jobb) általános energiasín;
- 19 - a konyha bal (jobb) energiasínje;
- BC - sínellenőrző egység;
- BI - sínleválasztó egység;
- ECS - levegőkondicionáló rendszer.

Az energiarendszer kétirányú statikus energiaátalakítóval rendelkezik, melyek a váltakozó feszültségű - változó frekvenciájú generátorokat összekötő nagyfrekvenciás sínről (6) kapják táplálásukat. A kétirányú energiaátalakítók lehetővé teszik a generátorok motor üzemben történő működtetését. Az energiarendszer 400 H<sub>z</sub>-es háromfázisú fázisváltót tartalmaz, mivel a fogyasztók egy része ilyen táplálást követel. A hajtóművek indítása után a levegőkondicionáló rendszer vezérlése táplálást biztosít a légkondicionáló rendszer működtető villamos motor számára.

A nagyfrekvenciás energiasín (6) biztosítja a váltakozóáram előnyeinek teljes kihasználását a stabilitását, a hibafeltárást, az ellenőrzés és vezérlés tagoltságát, valamint a hajózó és kiszolgáló állomány biztonságát illetően. A nagyfrekvenciás sín biztosítja továbbá a többfázisú egyenáramú vagy váltakozóáramú energiaforrások táplálását. Mivel a fő inverterek kommunikációja zérus áram - és feszültségek-nél megy végbe, ezért csökkennek az elektromágneses és egyéb teljesítményvesztések, valamint feleslegessé válnak a nagytömegű zavarvédők. A kétirányú áramátalakítók alkalmazása jelentős mértékben csökkenti a vezérlő eszközök méreteit és tömegét.

A változó feszültségű - változó frekvenciájú energiarendszer fő rendszerként történő alkalmazása gyakorlatilag az összes villamos motor felhasználását lehetővé teszi (töb-

bek között a nagyteljesítményű aszinkron motorokét is), melyek fordulatszámát és forgatónyomatékát széles határok között változtatják. Ismeretes továbbá, hogy a fogyasztók nagy többsége nem igényel stabilizált feszültségű és frekvenciájú villamos áramot, ezért nincs szükség átalakítóra sem.

A vizsgált energiaellátó rendszerben könnyen kialakítható néhányszoros tartalékolás, garantáltan biztos a szigetelés és a hibaelhárítás. A tudományos kísérleti laboratóriumokban kifejlesztett energiarendszer - melynek fő jellemzőit korábban vizsgáltuk - a PBW koncepció egyik fő részét képezi és polgári, valamint katonai felhasználása perspektívikus.

A BOEING cég kéthajtóműves, "teljesen villamosított repülőgépe" számára a 90-es évek közepére készíti el a változó feszültségű - változó frekvenciájú energiarendszert.

Az energiarendszer 6 háromfázisú, 135 kVA teljesítményű generátorból áll: kettő-kettő a két hajtóműre építve és kettő a segédhajtóművön. A generátorok a fő energiasínré kapcsolódnak, míg a segédhajtóműről működtetett generátorok a négy tartaléksínré kapcsolódnak. A mikroszámítógéppel vezérelt kétiárányú energiaátalakító biztosítja, hogy a hajtóművek indítása során a generátorok motor üzemmódban működjenek. Az esetek többségében a hajtóművek indításához elegendő egy indítómotor-generátor.

A generátorok változó feszültségű - változó frekvenciájú villamosenergiát állítanak elő fázisonként  $V/F = 0,5$  hányadossal (tehát pl. 150 V, 300 Hz). Így a hajtómű "alapsz" üzemmódján (7400 1/perc) az előállított villamosenergia 135 kVA, 270 V, 300 Hz, "utazó sebesség" esetén (11000 1/perc) 200 kVA, 400 V, 450 Hz. Utazó sebességen az energiarendszer fogyasztói 395 kVA teljesítményt vesznek fel, így az egyik

hajtómű meghibásodása (leállása) esetén a működőképes hajtómű biztosítja a fogyasztók táplálását (400 kVA).

A hajtóművek indítása után a kétirányú átalakító vezérlő egysége (mikroszámítógép) bekapcsolja a levegőkondicionáló rendszer villamos motorjait. Minden egyes motor egyenáramú, egyenként 20 kW teljesítményű és a létfontosságú fogyasztók táplálását biztosító generátorokat is működtetnek. Egyenáramú generátort működtet még a segédhajtómű is. A negyedik, 20 kW-os tartalék egyenáramú generátort a külső levegőárammal működtetett turbina forgatja meg.

A repülőgépvezérlő rendszer táplálását az energiarendszer három nagyteljesítményű, kettős vezérlésű átalakítója biztosítja. A három átalakító közül mindegyik három energiasínhez van kötve: a fő és két tartalék energiasínhez. Az átalakító kimeneti feszültsége 270 V egyenfeszültség, mely a repülés szempontjából létfontosságú fogyasztók - a repülőgépvezérlő rendszer számítógépei, kormánygépek, mikroszámítógépek - sínjére kapcsolódik. A repülőgépvezérlő rendszer maximális teljesítményfelvétele (leszállás oldalszélben egy hajtóművel) 114 kW, ezért minden átalakító teljesítménye 38 kW és 5 sec. ideig megengedett az átalakító háromszoros túlterhelése, tehát rövid ideig egy átalakító képes a repülőgépvezérlő rendszer teljes energiaellátására.

A LOCKHEED cég - a BOEING céghez hasonlóan - a "teljesen villamosított repülőgép" energiaellátó rendszerét változó feszültségű - változó frekvenciájúra tervezi. Az energiarendszer gerinceit 8 darab egyenként 150 kVA teljesítményű generátor képezi. Négy inverter a váltakozófeszültséget 270 V feszültségű egyenárammá alakítja és a repülőgépvezérlő rendszer energiasínjére kapcsolja azt. Az energiarendszer háromfázisú, 200 V - 400 Hz váltakozóáramú táplálást is biztosít a fogyasztók számára. Tartalék energiaforrásként több

megoldást is vizsgálnak: akkumulátor; generátor, melyet a külső levegőáram által működtetett levegőturbina vagy a hajtómű forgat meg, a szárnyvégeken elhelyezett generátor, melyet a leváló légörvény forgat meg. Az energiarendszer teljesítményeloszlását és fogyasztását számítógép vezérli. A hajtóművek vagy a generátorok meghibásodása esetén a rendszer a generátorvezérlő egységtől vagy a személyzettől kap jeleket, melyek a fogyasztók folytonos táplálása érdekében az összekötő síneket vezérlik.

#### ELEKTROMECHANIKUS KORMÁNYGÉPEK

A modern szállítórepülőgépeken - ugyanúgy mint a teljesen villamosított repülőgépeken - a repülőgépvezérlő rendszer hagyományos hidraulikus kormánygépeit villamos vezérlésű kormánygépek váltják fel. A villamos hajtásoknál alkalmazott kommutátor nélküli, nagy fajlagos teljesítményű és kis tehetetlenségű, ritka földfémből készülő állandómágneset tartalmazó egyenáramú motor biztosítja a jobb méret, tömeg, hatásfok, megbízhatósági paramétereket. Ezen kívül a villamos vezérlésű kormánygépek nagy áteresztő képességgel rendelkeznek és nagymértékben alkalmasak számítógépek történő vezérlésre. Ma kétféle villamos vezérlésű kormánygép létezik: elektromechanikus kormánygép, melyben a villamos motor fogaskerekek és tengelykapcsoló segítségével csatlakozik a kormányfelülethez; elektro-hidrosztatikus kormánygépek, melyekben hidraulika-szivattyún keresztül történik az energiaátvitel a kormányfelületek felé.

A polgári repülőgépeken alkalmazott elektro-hidrosztatikus kormánygépek teljesítménye közel 3 kW. A ma létező elektromechanikus kormánygépek (3,7 - 37) kW teljesítményűek és a fő-, valamint segéd kormányfelületek mozgatását végzik. A BOEING cég például a BOEING-727 repülőgép oldalkormányának felső szekciójára mozgatására elektromechanikus kormánygépet alkalmaz.

A BOEING cég a NASA GSRA kísérleti repülőgépek interceptorait mozgató elektromechanikus kormánygépet fejlesztett ki. A HONEYWELL és a ROCKWELL cégek a Space Shuttle űrrepülőgép belső csőrlapjainak mozgatására fejlesztettek ki elektromechanikus kormánygépet (22 kW). Fényes jövőt jósolnak az INLAND cég találmányának: az elektromechanikus kormánygépek számára többcsatornás, többtekercses villamos motort fejlesztettek ki, amely a jelenlegi kommutátorok alkalmazása esetén a kormánygép teljesítményét (2-4)-szeresére növeli. A kormánygépek motorjainak táplálása 270 V egyenfeszültséggel történik.

A már létező elektromechanikus kormánygépeket a tervezés alatt álló szállító repülőgépekkel szemben támasztott követelményeknek feleltetik meg. Tervezik és megépítik a teljes ellenőrző - vezérlő egységgel ellátott elektromechanikus kormánygépet, mely az elosztó energiasínról kapja táplálását.

### BEÉPÍTETT ÖNELLENŐRZŐ RENDSZER

A PBW koncepció elvei alapján épülő, modern szállító repülőgép beépített önellenőrző rendszere átfogja a fedélzeti villamos rendszerek teljes egészét. Az ellenőrző egységek integrált áramköri elemekre épülnek, melyek lehetővé teszik a fedélzeti rendszerek állapotának ellenőrzését repülés előtt és repülés alatt is, valamint az ellenőrzések eredményének rögzítését és tárolását a földi műszaki kiszolgálók részére.

Az autonóm vezérlő és ellenőrző rendszerek alapjául intelligens, tartalékkolt logikai és kommutációs eszközök szolgálnak. A nagy teljesítményű kulcsüzemű elemek, valamint a mikroszámítógépek felhasználása megkönnyíti az egyes rendszerek állapotának ellenőrzését, magasfokú kiszolgálási

technológia alkalmazását teszi lehetővé. A komplex ellenőrző és logikai diagnosztikai rendszerek könnyen illeszthetők az egyéb modern, információ továbbító és feldolgozó rendszerekhez.

#### OPTO - ELEKTRONIKUS VEZÉRLŐ RENDSZEREK

A modern szállító repülőgépeken a vezérlő információ továbbítására mintegy 4 GHz áteresztő képességű, optikai adó-vevőkre épülő opto-elektronikus rendszer szolgál.

Az Uvegszálhas technológia alkalmazása biztosítja a digitális rendszerek árnyékolás nélküli nagyfokú védettségét az elektromágneses hullámok és a légköri kisülések ellen.

Az Uvegszálhas technológia alkalmazási területe főleg a létfontosságú rendszerek: a repülőgépvezérlő rendszer és a hajtómű vezérlő rendszere.

#### KÖVETKEZTETÉSEK

1./ A NASA a "Kezdeményezés polgári szállító repülőgép kifejlesztésére" program keretében a PBW elképzelést vizsgálja, melynek megvalósítása a repülőgép felszálló tömegének és a tüzelőanyag-fogyasztás több mint 10 %-os csökkentését teszi lehetővé.

2./ A PBW koncepció a következő új technológiákat jelenti: Üzembiztos energiaellátó rendszer az elosztó és vezérlő rendszerekkel; villamos távvezérlésű elektromechanikus kormánygépek; automatikus önellenőrzés; opto-elektronikus technológiára épülő információs rendszer; gazdaságos, halk kétáramú gázturbinás sugárhajtómű.

3./ A PBW technológiák kidolgozása a NACA és különböző repülőgépgyárak nagyszámú kísérletén alapszik.

A PBW technológia olyan részei, mint a villamos távvezérelt elektromechanikus kormánygép, opto-elektronikus információ-közvetítő vonalak, üzembiztos energiarendszer kipróbálása polgári repülőgépeken történik.