A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

SISTEMELE ELECTROENERGETICE DE LA BORDUL AERONAVELOR

Dragoş POPA, Dragoş NĂSTASE

GRIDS FROM AIRCRAFT

These first papers try to describe the beginning of electrical systems and their development in the aeronautically field. We described the power systems and their parameters, the influence of different perturbations against on-board systems and make consideration about the use of magnetic circuit with permanent magnets based on rare earth in aircraft manufacturing.

Cuvinte cheie: sisteme electroenergetice de bord, perturbaţii, magneţi permanenţi, performanțe
Keywords: power systems, noise, permanent magnets, performing

1. Introducere

La început în aviaţie şi în ceea ce avea să devină mai târziu industria aero-nautică, energia electrică s-a utilizat la bordul aeronavelor cu motor, în primul rând pentru aprinderea amestecului carburant. Dezvoltarea şi continua perfecţionare a aeronavelor, dorinţa constructorilor de a creşte performanţele acestora a dus la creşterea consumului de energie electrică de la bord. Datorită necesitaţii de a minimiza masa acestuia, la început s-a folosit instalaţia electrică de curent alternativ la frecvenţă cuprinsă între 600 și 1200 Hz. Sistemele energetice de curent alternativ de 8 V şi de 12 V s-au adoptat prin anii 20, iar primele instrumente şi motoare electrice de curent continuu intră în dotarea aviaţiei în jurul anilor 30. Mai târziu se generalizează sistemul electroenergetic de curent continuu cu tensiunea de 24 V.

Ca urmare a utilizării din ce în ce mai mult a aviaţiei ca armă tactică şi strategică şi având în vedere noile cerinţe rezultate în urma experienţei cumulate în cele două războaie mondiale, a creşterii performanţelor de zbor, în anii 50 situaţia s-a schimbat în sensul creşterii necesarului de energie electrică datorită diversificării echipamentelor ce dotează aeronavele. Apariţia aeronavelor cu propulsie reactivă a fost o nouă provocare pentru dezvoltarea instalaţiilor electrice, electronice şi a automatizărilor de bord.

În anii 80 puterea tuturor receptoarelor de energie electrică de la bordul unui avion de pasageri era între 150 şi 400 kW, iar în anumite cazuri de aeronave cu dotări speciale se putea ajunge şi la 1000 kW. Astăzi puterea necesară la bordul unor aeronave moderne poate atinge valori de câțiva MW.

Sistemele electroenergetice de la bordul aeronavelor pot fi de mai multe feluri:

● după modul de utilizare:

- Primare, secundare, de rezervă sau de avarie;

● după tipul de curent:

- de curent continuu, de curent alternativ trifazat cu frecvenţă variabilă, de curent alternativ cu frecvenţă stabilizată, de curent alternativ trifazat cu frecvenţă stabilizată precis, de curent alternativ monofazat cu frecvenţă constantă;

2. Cerinţe specifice impuse sistemelor electroenergetice de bord din structura cărora fac parte şi circuitele magnetice cu magneţi permanenţi

În principiu performanţele impuse sistemelor electroenergetice de bord sunt aceleaşi ca şi cele utilizate la sol, dar având în vedere condiţiile în care acestea funcţionează, se impun proiectanţilor şi constructorilor câteva cerinţe specifice:

Siguranţa în funcţionare

Instalaţiile electrice de la bordul aeronavelor trebuie să prezinte o înaltă siguranţă în funcţionare în orice condiţii de zbor, componentele acestora construindu-se după o tehnologie şi cu materiale cât mai avansate.

Minimizarea greutăţii şi gabaritului

Având în vedere că fiecare kilogram ridicat în aer costă prin creşterea puterii motoarelor, creşterea consumului acestora, este foarte importantă reducerea greutății şi volumului tuturor componentelor fără a afecta siguranţa în funcţionare şi simplitatea în exploatare a instalaţiilor

electrice. Problema gabaritului se impune datorită spaţiului disponibil limitat în aeronave. Pentru a reduce greutatea instalaţiei electrice este necesar să se utilizeze materiale uşoare cu calități electromagnetice superioare împreună cu creşterea considerabilă a sarcinilor admisibile, mecanice, termice şi electrice. Posibilitatea îndeplinirii acestei cerinţe se poate face prin creşterea tensiunii şi frecvenţei de lucru a reţelelor de bord dar şi prin creşterea turaţiei maşinilor electrice.

Uşurinţa în exploatare şi coeficient ridicat de securitate a echipajului şi pasagerilor

Această cerinţă se referă la concepţia şi amplasamentul instalaţiilor de bord pentru a permite accesul uşor şi utilizarea simplă a acestora. Automatizarea acestor instalaţii se impune pentru reducerea numărului de persoane în echipaj şi pentru creşterea siguranţei şi securităţii zborului respectând principiile ergonomiei.

Mentenanţa cât mai scăzută (tehnologii de reparaţie simple) la preţuri de cost reduse

Elementele componente ale sistemului electroenergetic dar şi sistemul în sine trebuie proiectat astfel încât să poată fi uşor depistate, izolate şi remediate în cel mai scurt timp, pentru a se reduce perioada de indisponibilizare a aeronavei sau a agregatelor respective. Reducerea cheltuielilor de întreţinere şi reparaţii impun realizarea unor agregate perfecţionate care să înglobeze noile tehnologii şi care să confere acestora resursă mărită între reparaţiile capitale.

Nivel redus de perturbaţii şi rezolvare a problemelor compatibilitate electromagnetică

Folosirea unor ecrane electromagnetice şi a unor filtre speciale, pentru limitarea nivelului de zgomote radioelectrice ce ar putea produce interferenţe în funcţionarea aparaturii radio şi radiolocaţie, de pilotaj şi navigaţie, rezolvarea problemelor de compatibilitate electromagnetică.

Vulnerabilitate redusă

Necesitatea ca instalaţia electrică să reziste la explozii, incendii şi/sau diferite defecţiuni, astfel încât la aeronavele (militare, civile, navete) echipate trebuie studiate posibilitățile de apariţie a unor asemenea fenomene şi găsită soluţia de izolare a lor, astfel încât aeronava să poată continua zborul şi să aterizeze în regim de urgenţă. Aceasta implică şi realizarea sistemului electroenergetic din materiale cu proprietăți adecvate.

Interschimbabilitatea agregatelor şi unificarea fabricaţiei componentelor

Necesitatea operativității pentru aeronavele militare, necesitatea punerii în stare de funcţionare cât mai rapidă pentru aeronavele civile, necesitatea înlocuirii comode în exploatare pentru

navele spaţiale (sateliţi, staţii orbitale) se impune ca acelaşi tip de agregat să aibă un anumit grad de precizie în fabricaţie astfel încât să poată fi înlocuit oricând cu altul de la orice furnizor.

Informatizarea

Noile tehnologii dar şi calculatoarele puternice instalate la bordul aeronavelor moderne militare sau civile permit diagnosticarea cu ajutorul unor programe specializate, echipamente şi aparatură de bord, cu reduceri de cheltuieli în mentenanţă şi având ca efect, creşterea nivelului de operativitate.

3. Influenţa diferitelor perturbaţii asupra aparatelor de bord şi posibilități de limitare a acesteia

Variaţia temperaturii modifică dimensiuni şi parametrii de material. Temperaturile ridicate micșorează rezistenţa mecanică, intensifică uzura, degradează calităţile materialului izolant şi a magneţilor permanenţi. Temperaturile scăzute duc la modificarea dimensiunilor şi a parametrilor de funcționare. Se aleg materiale cu coeficienţi de temperatură mici; se utilizează compensatoare de temperatură; se termostatează parţial sau total, circuitul, aparatul de bord etc.

Scăderea presiunii atmosferice înrăutăţește regimul termic al maşinilor electrice şi aparatelor. Creşte evaporarea uleiului de ungere a lagărelor. Scade tensiunea de străpungere a izolaţiilor. Ermetizarea carcaselor aparatelor de bord şi umplerea acestora cu gaze inerte sub presiuni convenabile rezolvă această problemă.

Umiditate ridicată a aerului accentuează coroziunea pieselor şi micşorează rezistenţa izolanţilor electrici, blochează piesele mobile prin înghețarea apei. Utilizarea materialelor inoxidabile, straturi de protecţie etc. sau încălzirea unor aparate şi ermetizarea lor compensează aceste probleme. Acoperirea magneţilor permanenţi prin diferite metode, pentru a rezista la coroziune. Acceleraţii liniare datorate variaţiei vitezei modifică poziţia de echilibrare a unor piese mobile, creşte zona de insensibilitate prin creşterea frecării în lagăre. Echilibrarea perfectă a pieselor mobile, diminuarea frecării în lagăre.

4. Influenţa factorilor perturbatori mecanici asupra aparatelor de bord

Precizia şi fiabilitatea aparatelor de la bordul aeronavelor scad şi datorită solicitărilor mecanice, ce pot fi cauzate de forţe de inerţie

care apar ca urmare a mișcării accelerate a aeronavei şi de vibraţie a structurii pe care se montează aparatele la bord.

Clasificarea acceleraţiilor ce apar în timpul zborului funcţie de cauzele ce le provoacă:

• *acceleraţii liniare care apar din cauza variaţiei vectorului viteză de zbor ca mărime şi ca orientare* depind de tipul aeronavei, astfel:

- aeronavele pilotate au limitări fiziologice ale echipajului şi rezistenţa structurii acestora;
- aeronave de mare capacitate (transport pasageri şi/sau marfă) suprasarcinile pot fi în jurul valorii de 4g (unde g = 9,81m/$s^{2,}$ reprezintă acceleraţia gravitaţională);
- aeronave militare de mare viteza, suprasarcinile se situează în jurul valorii 10g;
- aeronave fără pilot, au limitări doar constructive şi suprasarcina poate fi de ordinul zecilor de g.

• *acceleraţii liniare care sunt produse de vibraţia structurii de rezistenţă a aeronavei datorită sistemului de propulsie sau forţelor aerodinamice ce acționează pe suprafeţele de comandă.*

5. Consideraţii asupra folosirii magneţilor permanenţi în circuite magnetice utilizate în industria aeronautică

Folosirea magneţilor permanenţi în construcţia maşinilor electrice, se face pe baza unor criterii de obţinere a unui optim, în condiţii tehnico-economice date. Reguli posibile pentru alegerea tipului de mașină cu magneţi permanenţi:

- Aplicaţii cu surse de energie limitate şi cost impus;
- Cuplu mare, viteza mică, regim de lucru continuu;
- Cuplu mare, viteză mare, regim continuu (servo-motoare de curent continuu); motoarele pas cu pas se evită datorită pierderilor dezvoltate în motor la viteze mari, care pot cauza o încălzire excesivă.
- Scurte, rapide şi repetitive în mișcări (motoare pas cu pas);
- Viteza mică şi cuplu scăzut (se preferă motoarele pas cu pas cu funcţionare în regim micro-pas sau motoare de curent continuu);
- Aplicaţii în care frecarea este redusă, iar cuplul de sarcină este foarte redus (construcţia de ventilatoare;
- climatizare, condiţionare(preferate sunt maşinile de curent continuu cu magneţi permanenţi);
- Aplicaţiile în care nu se poate face întreţinerea maşinii se preferă maşinile de curent continuu cu magneţi permanenţi;

- Aplicaţii în care motorul are un regim greu de funcţionare, cu înalt regim dinamic de funcţionare sau mare viteză: se preferă motoarele fără perii;

- Aplicaţii în medii periculoase sau în vid: motoarele pas cu pas sau maşinile sincrone fără perii nu sunt o soluţie bună; căldura disipată de acestea poate constitui o problemă, în vid, unde nu există schimb de căldură cu mediul exterior.

6. Dezavantajele utilizării magneţilor permanenţi în construcţia maşinilor electrice, dar şi pentru alte tipuri de aplicaţii utilizate

▪ Dependenţa caracteristicii magnetice a magnetului cu temperatura. Daca temperatura de lucru creşte, se trece pe o altă caracteristică de funcţionare, inferioară celei iniţiale, ceea ce duce la un proces de pierdere a magnetizaţiei;

▪ Dificultăţi în reglajul fluxului magnetic inductor. Astfel, în cazul unui motor de curent continuu clasic, cu magneţi permanenţi, nu se poate face un reglaj al turaţiei prin metoda variaţiei fluxului magnetic inductor, aceasta nu se poate realiza decât dacă inductorul este mixt;

▪ Magneţii se pot demagnetiza în urma solicitărilor mecanice (vibraţii, mecanice, şocuri);

▪ Posibilitatea poluării magneţilor permanenţi cu pilitură de fier;

▪ Dificultăți tehnologice la montajul maşinii, în cazul în care magneţii s-au format în exteriorul său;

▪ Dificultăți în prelucrarea magneţilor, cei ceramici sunt casanţi, Alnico sunt duri şi se prelucrează numai prin polizare.

Odată cu dezvoltarea cercetării în domeniul magneţilor permanenţi, şi obţinerea unor rezultate, s-au combinat avantajele utilizării magnetului permanent cu cele ale maşinii de curent alternativ, iar utilizarea maşinilor de curent alternativ echipate cu magneţi permanenţi a devenit foarte atrăgătoare fată de motorul sincron.

Dezvoltarea tehnologiilor de fabricaţie a magneţilor cu pământuri rare, a dus la îmbunătățirea performanţelor dar şi a raportului putere nominală pe volum, performanţei dinamice şi a fiabilităţii existând o strânsă interdependentă între valorile ridicate ale proprietăților magnetice ale magneţilor permanenţi şi echipamentele din industria aeronautică.

Maşinile sincrone cu magneţi permanenţi pot avea un randament mai mare decât orice maşină electrică convenţională (cu excepţia celor cu înfăşurări supraconductoare).

Limitarea apare datorită costului magnetului permanent, care face ca maşina de putere mare să fie mai scumpă dacă are magneţi permanenţi în loc de înfăşurări de excitaţie.

La ora actuală magneţii permanenţi NdFeB oferă cea mai mare densitate de energie la un preţ de cost scăzut în raport cu alţi magneţi cu pământuri rare. Dar au şi ei dezavantajul temperaturii de lucru. La proiectarea unei maşini cu astfel de magneţi permanenţi trebuie luate în considerare creşterile de temperatură care pot duce la scăderea proprietăţilor acestora. Dacă temperatura ajunge peste valoarea Curie, atunci magneţii permanenţi se demagnetizează, de unde se poate concluziona că temperatura de lucru a motorului cu NdFeB trebuie menţinută sub 150 ^{0}C. Pentru aceasta când sistemul de răcire natural nu este suficient, se impune un sistem de răcire forţată ceea ce poate duce la creşterea densităţii de curent, care în cazul unor aplicaţii speciale poate ajunge la valori de peste 20 A/mm^2, la o densitate a pânzei de curent de peste 500 A/cm.

7. Concluzii

■ În lucrare s-a prezentat sistemul electro-energetic de bord şi factorii perturbatori ce acţionează asupra acestuia şi implicit asupra circuitelor magnetice cu magneţi permanenţi pe bază de pământuri rare, în principal. Astfel s-a prezentat un studiu privind influenţa diferiţilor factori asupra magneţilor permanenţi pe bază de pământuri rare (temperatură, câmpuri demagnetizante, solicitări mecanice, coroziune, radiaţii, efectul relaxării şi vâscozităţii), precum şi unele metode pentru preîntâmpinarea efectelor negative ale acestora.

■ Proiectarea unui motor fără perii cuprinde diferite tipologii, cu magneţi montaţi la suprafaţa polului şi întrepătrunşi, cu câmp radial sau axial, cu rotoare interioare sau exterioare, ambele cu sau fără crestături, avantajele diferitelor configuraţii depinzând de materialul magnetic şi de cerinţa fiecărei aplicaţii în parte. Astfel există avantaje şi dezavantaje în ceea ce privește utilizarea magneţilor permanenţi în industria aeronautică, aceasta fiind balanța evoluţiei materialelor şi a proiectării circuitelor magnetice.

BIBLIOGRAFIE

[1] Aron, I., Paun, V., *Echipamentul electric al aeronavelor*, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1980.

[2] Aron, I., *Aparate de bord pentru aeronave*, Editura tehnică, Bucureşti, 1984
[3] Vasile, N., *Forţele parazite în motoarele sincrone cu magneţi permanenţi*, Editura ICPE, Bucureşti, 1997.
[4] Kappel, W., Codescu, M.M., Popa, D., Proc. 3-rd Nat. *New research trends in material science* – ARM – 3, Constanţa, Editura Printech, Bucureşti, Romania, 2003, pag. 166.
[5] Gavrilă, H., s.a., *Magnetism tehnic şi aplicat*, Editura Academiei Române, 2000.
[6] Meeker, D., *Finite Element Method in Magnetism*, Users's Manual, 2001.
[7] Schwab, A.J., *Compatibilitatea electromagnetică*, Bucureşti, Editura tehnică, 1996.
[8] Allec, G., *Conceptions actuelles sur les aimants permanents modernes*, Soc. GIFFEY-PRETRE, Paris.
[9] Fransua, A., Covrig, M., Morega, M., Vasile, N., *Conversia electromecanică a energiei*, Editura tehnică, Bucureşti, 1999.
[10] Zărioiu, G., *Industria aeronautică modernă*, Editura tehnică, Bucureşti, 1996.
[11] Steingroever, E., *Magnetization, demagnetisation and calibration of permanent magnet systems*, Edition GmbH, Koln, 1997.
[12] Bejan, M., În lumea unităţilor de măsură, ediţia a doua revăzută şi adăugită. Editura Academiei Române şi Editura AGIR, Bucureşti, 2005.

Dr.Ing.Euring. Dragoş POPA
Inginer echipamente de bord, expert tehnic independent, membru AGIR,
Preşedinte SETEC-AGIR
tudodei@yahoo.com

Ing.Dragoş NĂSTASE
Inginer de aeronave, expert tehnic independent, membru AGIR
dragosh_nccd1701@yahoo.com