

PNCDI-INVENT 2006

Subprogram 1-MDP (Modele Demonstrative si Prototipuri)

Contract Nr. 180/2006

Denumirea proiectului:

**Motoare electrice asincrone trifazate cu bobinaje comutabile,
intr-un strat, in raportul 4/6 (cfm. Brevet RO 120.115)**

Etapă I

A2.1 Proiectare modele experimentale

Termen: 28 Februarie 2006

Valoare etapă (buget): 24.000 lei

Conducător de proiect ICPE-ME:

Partener:

**DIRECTOR GENERAL,
Ing. Victor NITIGUS**

**ICPE-ME microproductie,
Director Tehnic Ing.Mircea CARACAS**

DIRECTOR DE PROIECT:

Dr.Ing. Mihail V. CISTELECAN

-FEBRUARIE 2006-

PNCDI-INVENT 2006
Subprogram 1–MDP (Modele Demonstrative si Prototipuri)
Contract Nr. 180/2006

Denumirea proiectului:
Motoare electrice asincrone trifazate cu bobinaje comutabile,
intr-un strat, in raportul 4/6 (cfm. Brevet RO 120.115)

Etapa I
A2.1 Proiectare modele experimentale

Termen: 28 Februarie 2006
Valoare etapa (buget): 24.000 lei

CUPRINSUL LUCRARI

- 1. Introducere**
- 2. Elemente de analiza tehnica la nivelul temei/etapei**
 - 2.1 Situatia pe plan national si international**
 - 2.2 Prezentarea stiintifica si tehnica a proiectului**
 - 2.2.1 Metoda de analiza a cimpului magnetic din intrefier**
 - 2.2.2 Rezultate de analiza a cimpului magnetic din intrefier**
 - 2.3 Obiectivele generale si specifice ale proiectului**
- 3 Elemente de proiectare modele experimentale (activitatea A2.1)**
 - 3.1 Elemente de definire tehnica a motorului 1 (varianta constructiva 1)**
 - 3.2 Elemente de definire tehnica a motorului 2 (varianta constructiva 2)**
 - 3.3 Prezentarea unor elemente tehnice specifice rezultate din brevetul care face obiectul temei**
- 4 Concluzii de etapa**
- 5 Referinte bibliografice**

ANEXE:

-documentatie tehnica de executie modele experimentale (motor de 4 kW/2.2 kW cu poli comutabili in raportul 4/6 si motor 2.5 kW/5.5 kW cu poli comutabili in raportul 6/4)

PNCDI-INVENT 2006

Subprogram 1–MDP (Modele Demonstrative si Prototipuri)

Contract Nr. 180/2006

Denumirea proiectului:

**Motoare electrice asincrone trifazate cu bobinaje comutabile,
intr-un strat, in raportul 4/6 (cfm. Brevet RO 120.115)**

Etapa I

A2.1 Proiectare modele experimentale

REZUMAT (PUBLICABIL) DE FAZA

1. INTRODUCERE

Obiectivul principal al temei de cercetare propusa si finantata in cadrul programului INVENT (Competitia de proiecte 2005 cu derulare in 2006) este realizarea unor produse noi, la nivel de modele demonstrative sub aspectul principalelor conditii tehnice, cu referire la brevetul de inventie **RO 120.115** cu titlul *“Bobinaj intr-un strat pentru masini electrice trifazate cu poli comutabili in raportul 4:6”* al carui titular este SC ICPE-ME S.A.

Este cunoscut faptul ca in multe actionari industriale este necesara actionarea unei sarcini, in functie de caracteristicile procesului tehnologic, cu doua sau mai multe turatii diferite. Reglarea continua a turatiei cu ajutorul echipamentelor electronice de tip convertizor static comandat in frecventa este posibila dar nu se justifica economic decit intr-un numar limitat de cazuri, ca actionarea principala a masinilor unelte, ascensoare de persoane, actionari in industria textila (fire si fibre sintetice), sisteme de climatizare pretentioase. Pentru actionarea in trepte a agregatelor de ventilatie, unele procese din industria chimica sau a cimentului sunt suficiente trepte distincte de turatie, posibil de realizat cu motoare asincrone cu poli comutabili. Robustetea si avantajele economice ale motoarelor asincrone cu rotor in scurtcircuit se regasesc in totalitate si in cazurile utilizarii ca motoare cu poli comutabili.

Comutatia de poli dupa principiul “Dahlander” este cunoscuta si aplicabila in toate situatiile in care turatia se modifica in raportul 2:1 prin simpla schimbare a numarului de cai de curent in paralel si reversare a curentului de magnetizare printr-o parte a sectiilor infasurarii. In cazurile in care raportul este diferit de 2:1 (cazul in

speta) exista doua sisteme care se aplica si care au avut si au, ambele, acoperiri cu brevete pe plan international:

-sistemul denumit **PAM (Pole Amplitude Modulation)**, in care comutatia se realizeaza intre bobinele infasurarii care, apartinand unei faze la una dintre turatii, ramin in aceeaasi faza si la a doua turatie (cercetarile de baza ale britanicilor Rawcliffe, Burbidge, Fong [1, 2] cu perfectionarile ulterioare)

-sistemul denumit **PPM (Pole Phase Modulation)**, in care unele bobine apartin unei faze la una dintre turatii dar se muta in alte faze la a doua turatie (cercetari de baza ale lui Herbert Auinger de la Siemens AG [3, 4] cu perfectiunari ulterioare ale lui Haritonov, Broadway, etc).

Ambele sisteme au avantajul unui numar redus (in general 6) de terminale scoase la cutia de borne a motorului in vederea comutarii alimentarii.

Trebuie subliniat ca, in general, variantele de bobinaje cu poli comutabili sunt elaborate in doua straturi pentru a realiza o modelare cit mai apropiata de sinusoida a tensiunii magnetice din intrefier si deci un continut redus de armonice spatiale.

Obiectul contractului este experimentarea la nivel de modele demonstrative a celor doua variante constructive ale brevetului romanesc RO 120.115 avind ca obiect bobinaje comutabile in raportul 4:6 intr-un strat. Urmeaza a se pune in evidenta confirmarea validitatii solutiilor tehnice brevetate cu bobinaje intr-un strat, cu toate avantajele tehnologice care decurg din utilizarea mai eficienta a spatiului din crestaturile motorului si reducerea manoperei de introducere a bobinelor in crestaturi.

Obiectivul etapei curente este proiectarea a doua modele experimentale in baza revendicarilor din brevet, modele ce urmeaza a fi realizate fizic si experimentate la standul de proba in etapele urmatoare ale contractului. Ca urmare documentele esentiale care vor sta la baza lucrarii de fata sunt urmatoarele:

-documentatia tehnica de executie a modelului experimental de 4kW/2.2kW (4/6 poli) avind ca motor de baza motorul de 4 poli de 5,5 kW/1500 rpm din gab.132 S

-documentatia tehnica de executie a modelului experimental de 2.5kW/5.5kW (6/4 poli) avind ca motor de baza motorul de 6 poli de 5,5 kW/1000 rpm din gab.132 M.

Ca urmare, la dosarul etapei vor fi anexate in copie documentatiile elaborate de executie a modelelor experimentale, inclusiv schemele electrice de bobinaj revendicate in brevetul asociat temei, cu particularizarile concrete adaptate celor doua variante constructive.

Evident ca, in afara partii tehnice a memoriului de prezentare, in partea de documentatii financiare, urmeaza a se regasi elementele de justificare a cheltuielilor

efectuate cu materialele si manopera, inclusiv aspecte legate de cofinantarea lucrarii de cercetare de catre cofinantatorul ICPE-ME (compartimentul de microproductie) ca principal utilizator al rezultatelor lucrarilor de cercetare, in deplina concordanta cu prevederile contractuale.

2. ELEMENTE DE ANALIZA TEHNICA LA NIVELUL TEMEI/ETAPEI

2.1 Situatia pe plan national si international la nivelul domeniului si al tematicii propuse

In prezent motoarele de inductie se fabrica in principalele tari industrializate in productii de masa, atat pentru utilizari generale, in serii unificate, cit si pentru aplicatii specializate, inclusiv cele care necesita reglarea turatiei in mod discret, prin comutatia polilor, sau in limite largi, prin alimentare comandata de la convertizoare statice de frecventa. Avind in vedere efortul material depus pentru fabricarea motoarelor de inductie sub forma cheltuielilor materiale si de manopera precum si cheltuielile de exploatare ale acestora reprezentate prin costul pierderilor, rezulta importanta deosebita pe care o are o dimensionare optimala, in baza unor criterii prestabilite, a constructiei, dar si o exploatare rationala, pentru asigurarea unui cost "real" justificat economic. In acest sens este important de a se prevedea, pentru cazuri concrete in exploatare, motorul care, raspunzind efectiv si punctual cerintelor sarcinii legate de cuplu de pornire, cuplu maxim, turatie (turatii) nominala(e), disponibilitati de alimentare, sa fie cel mai economic din punctul de vedere al investitiei.

Deoarece in cazul motoarelor de inductie, ca si in cazul altor echipamente consumatoare de energie, cheltuielile de fabricatie, care concura la realizarea produsului, precum si cheltuielile de exploatare, apreciate in principal prin efortul economic echivalent pierderilor asociate conversiei de energie, sunt elemente contradictorii, masina de inductie justificata din punct de vedere economic va fi aceea care, la asigurarea aceleiasi functionalitati, este caracterizata prin cheltuieli totale minime. Aceste cheltuieli, reprezentind costul real al motorului, depind de regimul de functionare, de tipul serviciului, de numarul de ore de functionare anuala, de costul specific al energiei electrice active si reactive si, desigur, de costul investitiei initiale (pretul de achizitie).

In cazul in care sistemele de actionare cu motoare de inductie, pentru materiale active disponibile de o anumita calitate si pentru tehnologii determinate de nivelul local al fabricatiei, se proiecteaza si se fabrica in baza criteriului cheltuielilor totale minime, reclamarea unilaterala, fie din partea furnizorului de sistem de actionare, de reducere a costurilor materiale, fara considerarea cresterii cheltuielilor

de exploatare, fie din partea utilizatorului direct, de ridicare a eficienței în exploatare, fără considerarea creșterii cheltuielilor de fabricație, sunt acțiuni eronate cu consecința negativă asupra eficienței globale a produsului.

Din punct de vedere al fabricației, în România este acoperită întreaga gamă de motoare de inducție de uz general, cu rotor în scurtcircuit, în corelare DIN-CENELEC, motoare cu o singură turatie. Motoarele cu două turatii se fabrică cu o singură înfasurare, cu utilizarea cunoscutelor scheme de tip Dahlander [5, 6], *dar exclusiv pentru cazurile de rapoarte de turatii 2:1 adică 3000/1500 rpm, 1500/750 rpm sau 1000/500 rpm. Orice altă combinație de turatii, ca de exemplu în rapoarte 4:6, 6:4, 2:8, 4:16, 2:12 se fabrică cu două înfasurări distincte, în timp ce motoare cu trei turatii, ca de exemplu în raportul 4:6:8, cu o singură înfasurare, nu există deloc în programele de fabricație ale furnizorilor interni.* Toate aceste combinații figurează însă în cataloagele și programele de fabricație ale furnizorilor europeni și mondiali reprezentativi, exemple fiind Leroy-Somer (Franța) sau ISGEV (Italia). Consultând cererile existente din necesarul intern de asemenea motoare (cereri la care fabricanții actuali nu pot răspunde) se remarcă, totuși, că acesta nu este de loc neglijabil și că, economic vorbind, este util de a se dispune de proiecte de prototipuri și pregătire de fabricație pentru motoare cu două sau mai multe turatii cu poli comutabili în raportul de 4:6 (sau 6:4, după caz). În multe aplicații industriale de tip ventilatoare, pompe, compresoare, este ineficient economic să se prevadă sisteme complicate și costisitoare bazate pe invertoare comandate în frecvență acolo unde simple motoare cu poli comutabili și o singură înfasurare pot rezolva acționarea sarcinii specifice în condiții de economicitate.

România a fost mulți ani un fabricant și exportator semnificativ de motoare asincrone. Chiar dacă nu întotdeauna exportul a avut un curs de revenire economic eficient, acesta a constituit pentru economia națională o sursă valutară importantă. După 1989 fabricația de motoare asincrone de uz general și specializate a urmat trendul general de scădere astfel că în prezent ea are reprezentat circa 80% din cifrele de atunci. Oricum este de luat în seamă o restructurare a domeniului și o reintrare în normal, caz în care trebuie avute în vedere evoluțiile ce au avut loc între timp pe plan mondial unde s-a extins fabricația de motoare cu performanțe ridicate, atât din punct de vedere al comportării energetice (motoare cu randament ridicat, clasa eff-2 și foarte ridicat eff-1), cât și, mai ales, *al funcțiilor multiple ca motoare cu frână înglobată, motoare cu pornire (accelerație) controlată și motoare cu două sau mai multe turatii.*

Rezumind se poate sublinia că:

-pe plan mondial fabricanții reprezentativi au în programul de fabricație motoare cu două sau mai multe turatii, cu o singură înfasurare, șase terminale și scheme de comutație a polilor (Leroy Somer, ISGEV, WEG, Himmel, etc.)

-intre motoarele cu mai multe turatii si infasurari distincte separate (pentru fiecare turatie cite o infasurare) si cele cu o singura infasurare comutabila diferenta la puterea obtenabila (la aceleasi dimensiuni) este de circa 25-30%, respectiv la aceleasi puteri de timbrare economia de materiale active (cupru, tabla electrotehnica) poate fi de circa 25-30%.

-exista un necesar real, intern, de asemenea motoare, cules de colectivul de cercetare de la compartimentele de desfacere ale fabricantilor interni, ceea ce justifica cercetarea si asimilarea in tara a motoarelor cu poli comutabili, cu o singura infasurare, in rapoarte diferite de 2:1.

Motivul pentru care aceasta actiune nu a fost intreprinsa pina in prezent este ca schemele de bobinaj comutabile sunt mai dificil de conceput si de realizat. In partea urmatoare a lucrarii se vor prezenta succint sarcinile tehnice si stiintifice de rezolvat de catre colectivul de cercetare cu referire la continutul de armonice spatiale din curba cimpului magnetic din intrefier, cu repercusiuni asupra pierderilor suplimentare, a cuplurilor de pornire si a zgomotului in timpul demararii motorului.

Fata de cele de mai sus este limpede ca efortul de conceptie si tehnologic de introducere in fabricatia interna a motoarelor cu doua sau mai multe turatii, cu poli comutabili in rapoarte diferite de 2:1 si o singura infasurare comutabila intr-un strat cu sase terminale, este pe deplin justificat si chiar impus de tendintele pe plan mondial in domeniu. Trebuie avute in vedere categorii distincte de aplicatii, asa cum rezulta ele din cererile curente ale utilizatorilor, si anume *aplicatii centrifugale* (de tip ventilatoare sau pompe) la care cuplul este proportional cu puterea a doua a turatiei, deci puterile nominale de timbrare pe cele doua turatii sunt in raportul cuburilor turatiilor si *aplicatii generale* la care cuplul este considerat constant si deci puterile sunt proportionale cu turatiile. Desigur ca in aplicatii speciale orice alt raport al puterilor de timbrare a motoarelor pentru cele doua turatii este de avut in vedere, inclusiv nuantari specifice date de anumite tipuri speciale de serviciu, in general intermitent periodic.

2.2 Aspecte stiintifice si tehnice ale proiectului

Metoda de reglare a vitezei motoarelor asincrone prin schimbarea numarului de poli este foarte veche, Dahlander a fundamentat principiul schimbarii numarului de poli in raportul 1/2 de peste 100 ani [5]. Desi aceasta metoda permite doar o reglare in trepte a vitezei motoarelor, ea continua sa fie folosita in multe aplicatii industriale (in trifazat) precum si casnice (monofazat) care nu necesita performante ridicate cu reglare continua. Chiar daca in ultima perioada s-au extins aplicatiile unde viteza se regleaza continuu prin invertoare comandate, sunt multe situatii in care o asemenea investitie nu se justifica economic. Realizarea de motoare cu poli comutabili in rapoarte diferite de 1:2 este mai dificila si necesita metode de analiza si de testare deosebite.

Parametrul de stare cel mai important care determina aceste performante este *inductia din intrefierul motorului* pentru fiecare dintre polaritati. Valoarea inductiei din intrefier, determinanta atat pentru performantele de pornire cit si pentru nivelul de pierderi din masina, este o functie de tensiunea de alimentare, tipul conexiunii fazelor, elementele de bobinaj (numarul de spire si factorii de infasurare ai fundamentalei si ai celorlalte armonice spatiale) si de starea de saturatie rezultanta in circuitul magnetic. Atunci cind trebuie realizate in aceeasi structura magnetica (pachet de tole stator) doua sau mai multe viteze, se pune problema *adoptarii bobinajului astfel ca factorii de infasurare ai fundamentalelor sa fie potriviti astfel ca sa rezulte, coroborat cu numarul de spire, o incarcare magnetica echilibrata intre polaritati, care sa conduca la cupluri de pornire si de functionare corespunzatoare.*

O problema importanta sub aspect stiintific in realizarea de bobinaje cu poli comutabili *este continutul de armonice spatiale din tensiunea magnetica a intrefierului.* Obtinerea mai multor polaritati dintr-un bobinaj prin schimbarea conexiunilor dintre grupele de bobine (eventual a cailor de curent) conduce de regula la cresterea nivelului de armonice spatiale cel putin la una dintre polaritati (sau la ambele). Consecintele sunt negative asupra curentului de mers in gol, pierderilor in fier si factorului de putere in sarcina. Adesea cuplurile de pornire au de suferit datorita “inseuarilor” care au loc in curba cuplului tranzitoriu datorita armonicelor spatiale de ordin mic, *mai ales cele care se rotesc in acelasi sens ca fundamentala (unde directe).* Trebuie mentionat ca aproape intotdeauna in cauza apar si armonice spatiale fractionare, eventual subarmonice cu efecte negative in tensiunea magnetica din fier, cu influenta in primul rind asupra curentului de mers in gol si asupra pierderilor in fier. Acesta este motivul pentru care, avind in vedere si necesitatea unui intrefier sensibil marit, utilizarea unei singure infasurari in raport cu doua infasurari distincte *nu dubleaza puterile ce se pot obtine in spatiul gabarital dar in orice caz conduce la o sporire a puterilor nominale cu circa 25-30%, sau, in alternativa, la aceleasi puteri, permite o economie de cupru in aceeasi masura.*

2.2.1. Metoda de analiza a cimpului magnetic din intrefier

La baza aprecierii calitative a solutiilor tehnice vor sta metodele matematice de analiza a tensiunii magnetice din intrefier, esentiala pentru aplicatia in speta. De continutul de armonice spatiale depinde curentul de mers in gol, factorul de putere nominal, pierderile in fier suplimentare si implicit randamentul motorului. In cadrul colectivului de cercetare s-au elaborat si sunt functionale programe de calcul evolute care permit caracterizarea sintetica din punct de vedere stiintific a unei solutii tehnice de bobinaj comutabil si de asemenea compararea, dupa criterii obiective, a performantelor a doua solutii tehnice realizabile. Aceste metode au stat la baza obtinerii brevetului de inventie ce urmeaza a se aplica in speta. Sunt prezentate in continuarea prezentului paragraf unele aspecte calitative.

Tensiunea magnetica produsa in intrefier de curentul ce parcurge bobinele unei faze poate fi obtinuta prin considerarea unei analize de tip Fourier a solenatiei existente in crestaturile aferente acestei faze. Astfel [7] daca se noteaza cu K_A multimea crestaturilor in care o faza (pentru exemplificare faza A) are conductoare, cu θ_k coordonata spatiala (in raport cu o origine arbitrara prestabilita) a unei crestaturi notata cu indicele k , cu N_{ck} numarul de conductoare din crestatura k , cu w numarul total de spire pe faza, cu k_{wvA} factorul de infasurare al armonicii spatiale de ordin v , cu c numarul de cai de curent in paralel si cu φ_{vA} faza spatiala a armonicii v , sunt demonstrate urmatoarele relatii:

$$k_{wvA} = \frac{1}{2cw} \sqrt{\left(\sum_{k \in \{K_A\}} N_{ck} \cos v\theta_k \right)^2 + \left(\sum_{k \in \{K_A\}} N_{ck} \sin v\theta_k \right)^2};$$

$$\varphi_{vA} = \frac{1}{v} \operatorname{arctg} \frac{\sum_{k \in \{K_A\}} N_{ck} \sin v\theta_k}{\sum_{k \in \{K_A\}} N_{ck} \cos v\theta_k} \quad (1)$$

Numarul de conductoare include in simbolul N_{ck} si semnul (\pm) care tine seama de pozitionarea conductoarelor in latura de “ducere” respectiv de “intoarcere” a bobinei. Cu notatiile de mai sus, daca I_A este curentul efectiv care parcurge conductoarele fazei A, tensiunea magnetica din intrefierul masinii corespunzatoare acestei faze va fi [8]:

$$F_A(\theta, t) = \frac{2wI_A\sqrt{2}\sin\alpha t}{\pi} \sum_{v=1}^{\infty} \frac{k_{wv}}{v} \sin(v\theta - \varphi_{vA}) \quad (2)$$

Tinand seama ca cele trei infasurari ale masinii sunt parcurse in general de un sistem trifazat simetric de curenti (se neglijeaza nesimetria indusa de insasi o eventuala nesimetrie structurala de amplasare spatiala a infasurarilor), tensiunea magnetica rezultanta ca urmare a suprapunerii celor trei tensiuni magnetice de faza este o suma de unde directe si inverse dupa cum urmeaza:

$$F_{rez}(\theta, t) = \frac{3wI\sqrt{2}}{\pi} \sum_{v=1}^{\infty} \left[\frac{k_{wdv}}{v} \sin(v\theta - \omega t) + \frac{k_{wiv}}{v} \sin(v\theta + \omega t) \right] \quad (3)$$

Coeficientii k_{wdv} , k_{wiv} care caracterizeaza amplitudinea undelor directe, respectiv inverse ale tensiunii magnetice din intrefier sunt exprimabili in raport cu elementele de faza si sunt definiti prin relatiile:

$$\begin{aligned}
k_{wdv} &= \frac{2}{3} \sqrt{C_{1v}^2 + C_{2v}^2}; & k_{wiv} &= \frac{2}{3} \sqrt{D_{1v}^2 + D_{2v}^2} \\
C_{1v} &= \frac{1}{2} [k_{wAv} \cos \varphi_{vA} + k_{wBv} \cos(\varphi_{vB} + \frac{2\pi}{3}) + k_{wCv} \cos(\varphi_{vC} - \frac{2\pi}{3})] \\
C_{2v} &= -\frac{1}{2} [k_{wAv} \sin \varphi_{vA} + k_{wBv} \sin(\varphi_{vB} + \frac{2\pi}{3}) + k_{wCv} \sin(\varphi_{vC} - \frac{2\pi}{3})] \\
D_{1v} &= \frac{1}{2} [k_{wAv} \cos \varphi_{vA} + k_{wBv} \cos(\varphi_{vB} - \frac{2\pi}{3}) + k_{wCv} \cos(\varphi_{vC} + \frac{2\pi}{3})] \\
D_{2v} &= -\frac{1}{2} [k_{wAv} \sin \varphi_{vA} + k_{wBv} \sin(\varphi_{vB} - \frac{2\pi}{3}) + k_{wCv} \sin(\varphi_{vC} + \frac{2\pi}{3})]
\end{aligned} \tag{4}$$

In cazul cel mai general analiza bazata pe relatiile (1-4) trebuie facuta in sistemul coordonatelor geometrice si doar in cazuri particulare, cind exista periodicitate structurala la o pereche de poli, se poate simplifica analiza considerind sistemul de referinta al unghiurilor electrice. Corespunzator, rezultatele analizei pun in evidenta factorii de infasurare in sistemul geometric si prin transpunerea lor in sistemul electric pot rezulta, in anumite situatii, asa numitele armonice “fractionare”, inclusiv “subarmonice”. In urma analizei rezulta prin coeficientii k_{wdv} , k_{wiv} marimea tensiunilor magnetice invirtitoare directe, respectiv inverse, in baza carora se poate aprecia calitatea unei solutii tehnice de bobinaj.

In cazurile infasurarilor regulate, simetrice, cu periodicitate structurala de o pereche de poli, se stie ca exista urmatoarele trei proprietati fundamentale [8, 9]:

- a. pentru fiecare ordin v al armonicelor spatiale exista fie numai unda directa, fie numai unda inversa, adica produsul $k_{wdv}k_{wiv}$ are valoarea zero (se spune ca undele tensiunii magnetice sunt unde “pure”)
- b. exista armonice spatiale nenule numai pentru ordinele $v=6k\pm 1$, $k \in \mathbf{Z}$, pentru (+) rezulta unde invirtitoare directe, pentru (-) cele inverse
- c. toate armonicile de ordin $v=3k$ sunt nule (armonicile sunt “sinfazice”)

Trebuie remarcat ca in cazurile infasurarilor care rezulta din necesitatea comutarii polilor, datorita pierderii unor aspecte de regularitate, proprietatile de mai sus nu mai exista in general, fiind de subliniat urmatoarele aspecte:

- a. undele de tensiune magnetica sunt de regula impure (undele directe si cele inverse pot coexista, cu amplitudini diferite pentru anumite ordine spatiale, formind sisteme nesimetrice)
- b. armonicile de ordin $3k$ nu se mai anuleaza automat in tensiunea rezultanta
- c. apar armonice de toate ordinele, inclusiv pare, uneori fractionare (sub aspect electric) si chiar subarmonice. Mai mult, unele infasurari produc unde fundamentale simetrice dar sub aspectul armonicelor spatiale pot exista unde invirtitoare cu componente nesimetrice, inclusiv unde stationare. Exemplele de analiza pe solutiile

concrete ale variantelor constructive din brevetul RO 120.115 vor pune in evidenta aceste aspecte.

O proprietate importanta a unei solutii de infasurare trifazata este coeficientul reactantei de scapari diferentiale, introdus inca de la inceputul secolului 20 de Kronl, apoi aprofundat de Liwschitz si pus in forme definitive ca metodologie si rezultate de calcul de Görges si Richter. O generalizare a metodei de calcul al acestui coeficient pentru situatia in care exista doar unde “pure” in componenta tensiunii magnetice din intrefier este facuta de Heller si Hamata [9] care arata, plecind de la energia magnetica inmagazinata la nivelul intrefierului, ca aceasta este constanta in timp si deci masina electrica corespunzatoare se poate caracteriza printr-o reactanta de dispersie diferentia constanta ca parametru al unei scheme echivalente de faza. In cazul mai general al masinilor nesimetrice, in care coexista unde directe si inverse de amplitudini diferite in general, este demonstrat [7] ca reactanta diferentia, calculata pe baza metodei energetice, conduce la un coeficient de calcul care, in afara unui termenului constant, contine un termen variabil cu frecventa dubla:

$$\tau_d = \left(\frac{P}{k_{wp}} \right)^2 \sum_{v \neq p} \left[\left(\frac{k_{wdv}}{v} \right)^2 + \left(\frac{k_{wdi}}{v} \right)^2 + 2 \frac{k_{wdv} k_{wiv}}{v^2} \cos 2\omega t \right] = \tau_{dC} + \tau_{dV} \cos 2\omega t \quad (5)$$

Existenta termenului variabil cu timpul din ecuatie (5) reprezinta o limitare suplimentara a posibilitatii tratarii unei masini asincrone printr-o schema echivalenta cu parametri constanti bazata pe armonica fundamentala. Pentru toate infasarile simetrice spatial, pentru care nu exista decit unde “pure”, se poate constata prin calcul direct ca termenul variabil cu timpul din (5) reprezinta o serie convergenta la zero; termenul constant (τ_{dC}) reprezinta chiar coeficientul scaparilor diferentiale asa cum este el cunoscut din literatura si rezultatele de calcul pentru cazuri cunoscute converg catre cele existente in indrumarele de proiectare ale masinilor de curent alternativ [8, 10, 11].

Metoda de analiza prezentata a fost pusa in forme practice de utilizare in mediul de programare MATLAB pentru vizualizarea formelor de unda ale tensiunii magnetice rezultante in fiecare moment de timp, inclusiv determinarea tuturor factorilor de infasurare ai armonicilor spatiale.

2.2.2. Rezultate de analiza a cimpului magnetic din intrefier pentru variantele constructive din brevetul in speta RO 120.115

Schemele de bobinaj conform brevetului sunt prezentate in anexele dosarului tehnic sub forma de documentatii constructive, avind precizate pentru fiecare din cele doua motoare pentru care s-a elaborat documentatia de executie diagrama de amplasare a bobinelor, schema de conexiuni, numarul de spire pe fiecare bobina si

dimensiunile conductoarelor de bobinaj emailate. Astfel, pentru motorul de 4kW/2.2 kW cu poli comutabili 4/6 s-a prevazut schema de bobinaj din varianta constructiva 1 iar pentru motorul de 2.5 kW/5.5 kW cu poli comutabili 6/4 s-a prevazut varianta constructiva 2 din brevet.

In cele ce urmeaza sunt prezentate rezultate de analiza efectuate in conformitate cu metodologia dezvoltata in paragraful anterior. In tabelele 1 si 2 sunt afisate rezultatele de calcul ale factorilor de infasurare pe faze precum si in unda rezultanta directa (D) respectiv inversa (I) pentru ordine de armonice spatiale incepind de la fundamentala (electrica, respectiv geometrica) pina la prima armonica spatia de dantura (ordin $Z \pm p$ sau $Z/p \pm 1$ in functie de sistemul geometri, respectiv electric de referinta) pentru prima varianta constructiva. De asemenea, in figurile 1 (a, b) si 2 (a, b) sunt prezentate la doua momente de timp diferite dintr-o perioada forma de unda a tensiunii magnetice din intrefier la mersul in gol, rezultanta, fundamentala si cea diferentia, pentru aceeasi varianta (1) din brevet.

Tabelul 1. Rezultate de calcul tensiune magnetica varianta constructiva 1 (4 poli)

Ordinul armonicii spatiale electrice v	k_{wAv}	k_{wBv}	k_{wCv}	k_{wIv} (unda inversa)	k_{wDv} (unda directa)	Observatii: toate armonicele spatiale sunt unde nesimetrice impure (componente directe si inverse simultan)
1	-0.8287	0.8818	0.8287	0.0103	0.8464	Fundamentala electrica
2	0.2143	0.3283	-0.2143	0.1342	0.0248	Armonica para impura
3	-0.1667	-0.1667	0.1667	0.1111	0.0556	Armonica $3k \neq 0$
4	-0.3283	-0.1140	0.3283	0.2056	0.1676	
5	0.1531	-0.4290	-0.1531	0.0933	0.2451	
6	0.2887	-0.2887	-0.2887	0.0962	0.1925	Armonica $3k \neq 0$
7	0.6756	0.4528	0.6756	0.0681	0.0803	
8	0.1140	0.2143	0.1140	0.0132	0.0582	
9	0.3333	-0.3333	0.3333	0.2222	0.2222	Armonica $3k \neq 0$
10	0.1140	0.2143	0.1140	0.0582	0.0132	
11	0.6756	0.4528	0.6756	0.0803	0.0681	
12	-0.2887	-0.2887	-0.2887	0.1925	0.0962	Armonica $3k \neq 0$
13	0.1531	-0.4290	-0.1531	0.2451	0.0933	
14	-0.3283	-0.1140	0.3283	0.1676	0.2056	
15	-0.1667	-0.1667	0.1667	0.0556	0.1111	Armonica $3k \neq 0$
16	0.2143	0.3283	-0.2143	0.0248	0.1342	
17	-0.8287	0.8818	0.8287	0.8464	0.0103	Prima armonica de dantura

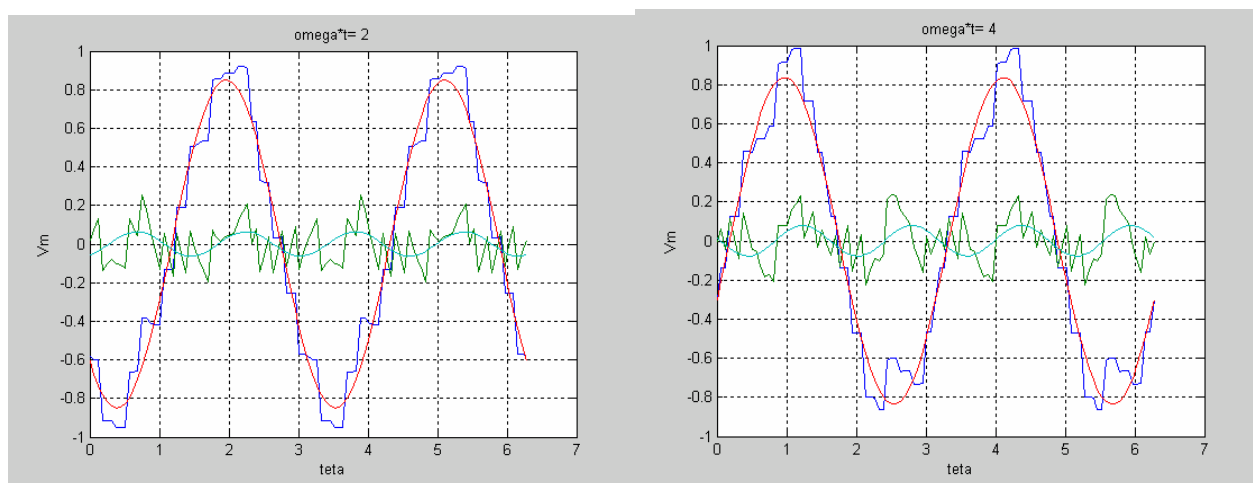


Figura 1 (a, b) Tensiunea magnetica rezultanta, 4 poli, varianta constructiva 1 (taudC =0.0371; taudV =0.0221 unda nesimetrica)

Tabelul 2. Rezultate de calcul tensiune magnetica varianta constructiva 1 (6 poli)

Ordinul armonicii spatiale geometrice v	k_{wAv}	k_{wBv}	k_{wCv}	k_{wIv} (unda inversa)	k_{wDv} (unda directa)	Observatii: unde mixte pure si impure [undele de rang 3(6k±1) sunt pure, restul sunt impure; cele de rang 3k sunt nule in rezultanta]
1	0.3694	0.3832	0.0990	0.1048	0.0868	Fundamentala mecanica (impura)
3	-0.7200	-0.7200	0.7200	0.0000	0.7200	Fundamentala electrica (pura)
5	0.0150	-0.3035	-0.0561	0.1214	0.0868	
7	-0.1564	0.4072	-0.5836	0.3789	0.1048	
9	0.5270	0.5270	0.5270	0.0000	0.0000	Armonica electrica $v=3$
11	0.2721	0.2375	0.0729	0.0901	0.1214	
13	-0.6415	0.3607	0.1719	0.1931	0.3789	
15	0.1929	-0.1929	0.1929	0.1929	0.0000	Armonica "pura" inversa
17	0.1413	-0.2746	0.5275	0.1931	0.0901	
19	0.1413	-0.2746	0.5275	0.0901	0.1931	
21	0.1929	-0.1929	0.1929	0.0000	0.1929	Armonica "pura" directa
23	-0.6415	0.3607	0.1719	0.3789	0.1931	
25	0.2721	0.2375	0.0729	0.1214	0.0901	
27	0.5270	0.5270	0.5270	0.0000	0.0000	Armonica electrica $v=3k$
29	-0.1564	0.4072	-0.5836	0.1048	0.3789	
31	0.0150	-0.3035	-0.0561	0.0868	0.1214	
33	-0.7200	-0.7200	0.7200	0.7200	0.0000	Prima armonica de dantura (Z-p)

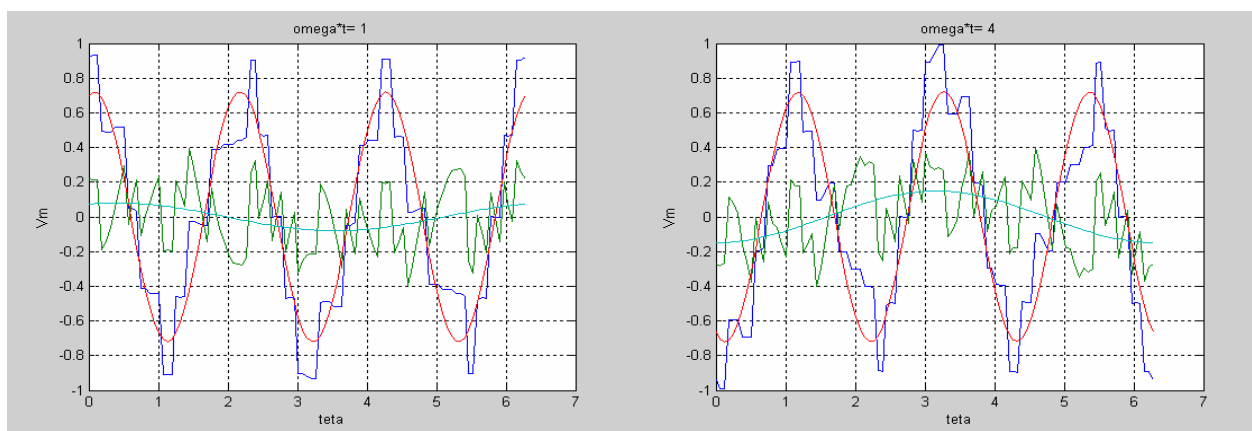


Figura 2 (a, b) Tensiunea magnetica rezultanta, 6 poli, varianta constructiva 1
($\tau_{dC}=0.4682$; $\tau_{dV}=0.1983$)

De asemenea, in tabelele 3 si 4 sunt afisate rezultatele de calcul ale factorilor de infasurare pe faze precum si in unda rezultanta directa (D) respectiv inversa (I) pentru ordine de armonice spatiale incepind de la fundamentala (electrica, respectiv geometrica) pina la prima armonica spatiala de dantura (ordin $Z\pm p$ sau $Z/p\pm 1$ in functie de sistemul geometri, respectiv electric de referinta) pentru a doua varianta constructiva din brevet (bobinaj intr-un strat cu bobine egale in „lant”. La fel, in figurile 3 (a, b) si 4 (a, b) sunt prezentate in diferite momente de timp dintr-o perioada forma de unda a tensiunii magnetice din intrefier la mersul in gol, rezultanta, fundamentala si cea diferentiala pentru varianta constructiva 2.

Tabelul 3. Rezultate de calcul tensiune magnetica varianta constructiva 2 (4 poli)

Ordinul armonicii spatiale electrice v	k_{wAv}	k_{wBv}	k_{wCv}	k_{wDv} (unda directa)	k_{wIv} (unda inversa)	Observatii: toate armonicile spatiale sunt unde pure (contin doar componenta directa sau inversa, nu simultan)
1	0.9019	-0.9019	-0.9019	0.9019	0.0000	Fundamentala electrica
2	-0.1140	-0.1140	0.1140	0.0000	0.1140	Armonica para pura
3	0.3333	0.3333	0.3333	0.0000	0.0000	Armonica $3k=0$
4	-0.2143	-0.2143	0.2143	0.2143	0.0000	
5	-0.0378	0.0378	0.0378	0.0000	0.0378	
6	0.5774	0.5774	0.5774	0.0000	0.0000	Armonica $3k=0$
7	0.1359	-0.1359	-0.1359	0.1359	0.0000	
8	0.3283	0.3283	-0.3283	0.0000	0.3283	
9	0.3333	0.3333	0.3333	0.0000	0.0000	Armonica $3k=0$
10	-0.3283	0.3283	-0.3283	0.3283	0.0000	
11	0.1359	-0.1359	-0.1359	0.0000	0.1359	
12	-0.5774	-0.5774	-0.5774	0.0000	0.0000	Armonica $3k=0$
13	-0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0000	
14	-0.2143	-0.2143	0.2143	0.0000	0.2143	
15	0.3333	0.3333	0.3333	0.0000	0.0000	Armonica $3k=0$
16	0.1140	-0.1140	0.1140	0.1140	0.0000	
17	0.9019	-0.9019	-0.9019	0.0000	0.9019	Prima armonica de dantura

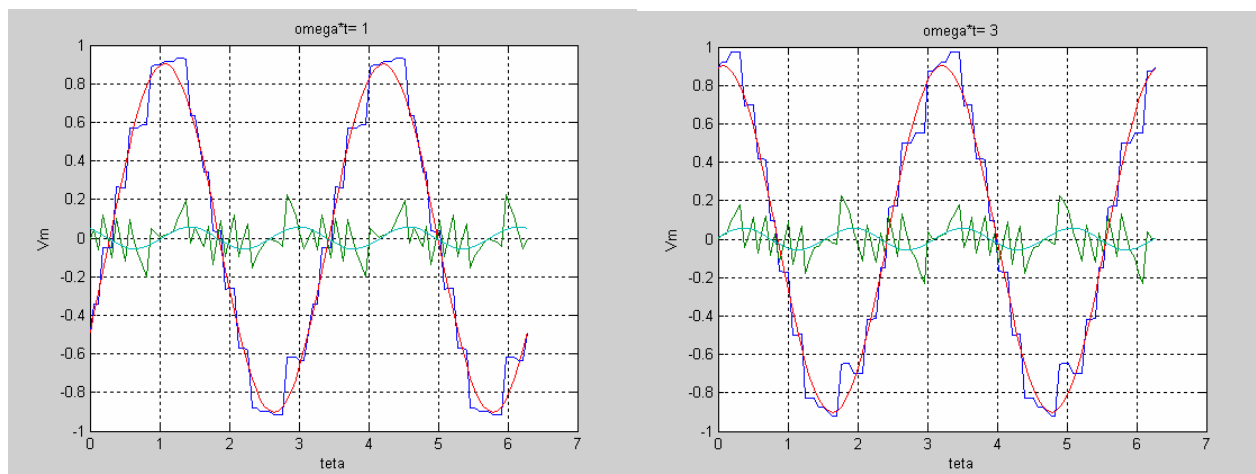


Figura 3 (a, b) Tensiunea magnetica rezultanta, 4 poli, varianta constructiva 2
($\tau_{dC} = 0.0233$ $\tau_{dV} = 2.5947e-016$, unda fundamentala simetrica)

Tabelul 4. Rezultate de calcul tensiune magnetica varianta constructiva 2 (4 poli)

Ordinul armonicii spatiale electrice v	k_{wAv}	k_{wBv}	k_{wCv}	k_{wIv} (unda inversa)	k_{wDv} (unda directa)	Observatii: toate armonicele spatiale sunt unde nesimetrice impure (componente directe si inverse simultan)
1	0.1248	-0.4223	0.4223	0.0859	0.3227	Subarmonica geometrica impura
3	0.6440	0.6440	-0.6440	0.0000	0.6440	Fundamentala electrica pura
5	0.0155	-0.0473	-0.0473	0.0170	0.0245	
7	0.8699	0.3660	0.3660	0.0886	0.2713	
9	0.2357	0.2357	0.2357	0.0000	0.0000	Armonica electrica 3 nula
11	0.4056	0.1707	0.1707	0.1265	0.0413	
13	0.1767	-0.5408	-0.5408	0.2803	0.1947	
15	-0.1725	0.1725	-0.1725	0.1725	0.0000	Armonice pure de ordin $3(6k \pm 1)$
17	-0.1782	-0.6032	0.6032	0.4609	0.1226	
19	-0.1782	-0.6032	0.6032	0.1226	0.4609	
21	-0.1725	0.1725	-0.1725	0.0000	0.1725	Armonice pure de ordin $3(6k \pm 1)$
23	0.1767	-0.5408	-0.5408	0.1947	0.2803	
25	0.4056	0.1707	0.1707	0.0413	0.1265	
27	0.2357	0.2357	0.2357	0.0000	0.0000	
29	0.8699	0.3660	0.3660	0.2713	0.0886	
31	0.0155	-0.0473	-0.0473	0.0245	0.0170	
33	0.6440	0.6440	-0.6440	0.6440	0.0000	Prima armonica de dantura Z-p

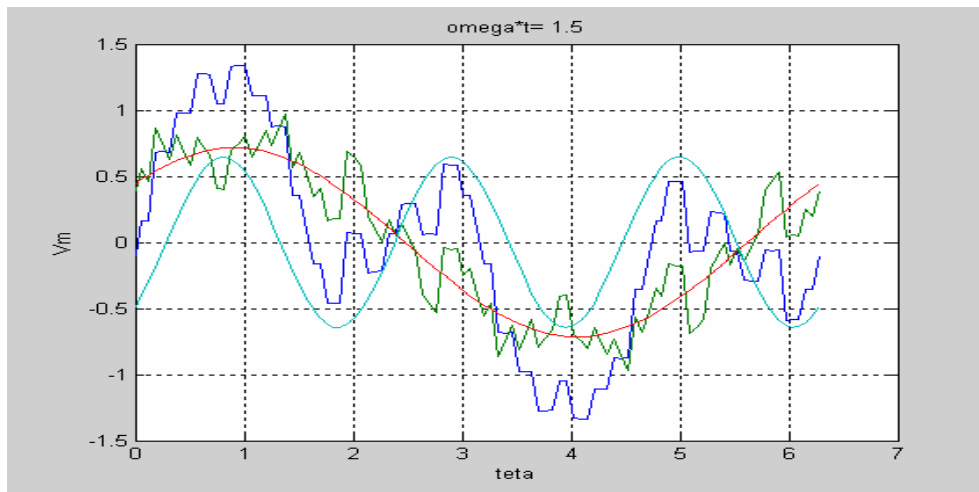


Figura 4. Tensiunea magnetica rezultanta, 6 poli, varianta constructiva 2

2.3 Obiectivele generale si specifice ale proiectului/etapei

Cu foarte putine exceptii motoarele cu poli comutabili se realizeaza cu bobinaje in doua straturi datorita posibilitatilor practic nelimitate oferite de acestea cu referire la pasul (deschiderea) bobinelor. Existenta unui numar dublu de bobine (in raport cu bobinajele intr-un singur strat) ofera posibilitatea modelarii mai fine a tensiunii magnetice din intrefier si deci obtinerea unui continut rezonabil (intotdeauna mai bun decat la simplu strat) de armonice spatiale. Avantajele stratului dublu sunt de avut in vedere si in raport cu utilizarea mai buna a spatiului in zona frontala printr-o asezare optimizata, in coroana, a capetelor de bobina. Totusi, dezavantajele legate de utilizarea inefficienta a spatiului disponibil in crestatura din cauza izolatiei dintre straturi precum si manopera mai mare legata de introducerea in crestaturi a unui numar dublu de bobine, conduc la necesitatea studierii si aplicarii, acolo unde conditiile tehnice legate de caracteristica mecanica a motorului, curentul de mers in gol si pierderile globale permit, a bobinajelor intr-un singur strat.

Proiectul are in vedere crearea conditiilor initiale pentru realizarea unor produse noi, in deplina conformitate elementele revendicate in brevet si cu conditiile tehnice impuse de piata internationala de motoare asincrone specializate cu doua sau mai multe turatii. Elementele concrete care urmeaza a determina esential solutia sub aspect stiintific si tehnic sunt legate de:

- (a) realizarea unei constructii care sa asigure performantele de pornire (curent de pornire, cuplu de pornire, putere aparenta maxima la pornire) in conformitate cu normele impuse motoarelor de inductie la nivel CEI.
- (b) asigurarea unui grad sporit de siguranta in functionare prin incadrarea termica a motorului corespunzator clasei de izolatie a materialelor izolante, coroborat cu tipul de serviciu nominal (de regula diferentiat dupa cele doua turatii)

- (c) asigurarea conditiilor legate de noile prescriptii internationale legate de zgomotul admis (nivelul presiunii acustice) in exploatare (a se vedea CEI34-9, amendamentul 1).

Obiectivul tehnic principal este stabilirea sistemului constructiv (in principal conceptia bobinajului in cadrul sistemului magnetic definit de constructia de baza a motoarelor normale) care sa corespunda cel mai bine cerintelor aplicatiei in speta in conditii de fezabilitate tehnica si economicitate. O analiza succinta a solutiilor cunoscute, cu evidentierea avantajelor respectiv a dezavantajelor fiecareia, este de natura sa clarifice si sa fundamenteze optiunea pentru *o constructie in care sa fie utilizate la maximum componentele existente intr-o combinatie a reperelor stantate de la seriile existente si anume seriile MA, 2MA si 3MA inclusiv a cochilelor de turnare sub presiune existente la beneficiarul cofinantator, cu aplicarea unor solutii noi, brevetate (sau brevetabile) cu referire la infasurarile trifazate comutabile elaborate aind ca titular pe de conducatorul de proiect ICPE-ME.*

Astfel, pentru a corobora sub toate aspectele particularitatile solutiilor tehnice ce se vor experimenta cu realitatea din fabricile producatoare s-a optat pentru ca unul dintre motoarele de baza (5,5 kW/1500 rpm, gab. 132 S) sa fie din seria de fonta a fabricii ELECTROPRECIZIE Sacele (seria MA) iar celalalt motor (5,5/1000 rpm, gab. 132 M) sa fie din seria de aluminiu (2MA) a aceleiasi fabrici.

Odata stabilita conceptia constructiva a bobinajelor motoarelor, cu considerarea factorilor de infasurare fundamentali determinati in paragraful precedent, se pot pune in evidenta **obiectivele stiintifice** ale proiectarii dupa cum urmeaza:

(1) conceperea si dimensionarea circuitelor electro-magnetice ale motoarelor in constructie tipizata astfel incit dispersiile totale sa fie strict controlate, deoarece influenta acestora asupra scaderii capacitatii de suprasarcina a motoarelor de inductie si a factorului de putere nominal este extrem de importanta

(2) stabilirea nivelurilor optime de saturatie in diferitele portiuni ale circuitului magnetic (dinti, juguri, portiunile dinspre intrefier ale istmurilor crestaturilor), corespunzator pentru fiecare turatie si realizarea unui compromis rezonabil intre utilizarea aceluiasi circuit magnetic pentru mai multe polaritati, avind in vedere ca un nivel de saturatie corect prescris si realizat are efecte benefice sub aspectul controlului si minimizarii efectului reactiei indusului asupra cimpului magnetic principal

(3) dimensionarea (sau verificarea) sectiunii barelor rotorice si a inelelor de scurtcircuitare in vederea realizarii in bune conditii a serviciului tip S1 sau S3 pentru care se face dimensionarea motoarelor in speta

(4) studierea, evidentierea si gasirea solutiilor de dimensionare a circuitelor electric si magnetic astfel incit motorul sa corespunda din punct de vedere termic in conditiile concrete ale serviciului intermitent (diametre, lungimi de pachete)

(5) gasirea solutiei tehnologice optime pentru bobinajele care urmeza a se proiecta si dimensiona cu considerarea revendicarilor din brevetul RO 120.115 care ofera un surplus de cistig la reducerea consumului de cupru, respectiv la reducerea pierderilor de tip Joule in stator.

Realizarea obiectivelor stiintifice definite concret mai sus vor crea premisele adaugarii de motoare noi la seriile existente de motoare asincrone cu rotor in scurtcircuit cu doua turatii, fabricate intr-o constructie moderna, permitind astfel obtinerea oricind cu usurinta a unor motoare derivate, diversificate dupa puteri, cupluri, tensiuni. Utilizarea de materiale izolante de clasa F cu sollicitare termica a motoarelor doar corespunzator clasei B vor face ca indicatorii de fiabilitate ai motorului realizat sa corespunda pe deplin temei.

Concluzionind se poate afirma ca solutia tehnica avuta in vedere, acoperita de brevetul recent de inventie RO-120.115, ofera elemente de ameliorare sensibila a motoarelor asincrone cu rotor in scurtcircuit cu doua turatii (realizate pina in prezent doar cu doua infasurari distincte) pentru actionarea echipamentelor industriale. In baza acestei solutii tehnice se poate realiza un produs nou, performant sub aspect energetic si functional, raspunzind in totalitate la toate conditiile tehnice impuse de normele europene si de catre utilizatorii interni.

3. ELEMENTE DE PROIECTARE MODEL EXPERIMENTAL (activitatea A2.1 din cadrul etapei curente)

In anexe la lucrare sunt prezentate in copie cele doua documentatii constructive de executie a modelelor experimentale asa cum sunt precizate in planul de realizare a proiectului. In cele ce urmeaza se fac unele precizari preliminare asupra conditiilor tehnice asteptate precum si asupra elementelor tehnice constructive ale acestora

3.1 Elemente de definire tehnica a motorului de 4kW/2.2kW (4/6) (model experimental)

Se au in vedere ca elemente de proiectare urmatoarele:

Conditii tehnice de baza:

Tensiune de alimentare (sursa primara)	400 V, 50 Hz
Numar de poli:	2p=4/6 (p=2/3)
Turatie sincrona	1500/1000 rpm
Putere nominala:	4/2,2 kW
Nivel de zgomot max.	70 dB

Nivel de vibratii admis max	1mm/s
Grad de protectie	IP 44
Conditii de gabarit si montaj impuse	gab.132 S
Conexiune infasurari:	YY/Y
Numar de cai de curent in paralel	2/1
Raportul rezistentei infasurarilor de faza	1/4

Elemente constructive de baza:

Diametru exterior	212 mm
Diametru interior	136 mm
Diametru la fundul crestaturii	179 mm
Lungime pachet elementar	140 mm
Numar crestaturi stator	36
Numar crestaturi rotor	28
Diametru arbore (sub tola)	48 mm
Grosime tola	0,5 mm
Calitate tola (pierderi specifice)	$p_{10}=3,6$ W/kg (maximum)
Calitate tola (magnetizare)	$B_{25}=1,58$ T (minimum)
Carcasa	fonta
Circuit electric stator	cupru
Circuit electric rotor	Al electrotehnic (turnat)
Modul de fixare	talpi (B3)
Interfata mecanica arbore	$\phi 38 \times 80$ mm
Lungime totala produs	466 mm

Alte conditii cu referire la performante energetice si de pornire, nivel de alunecare, capacitate de suprasarcina pentru cele doua turatii, timpi de frinare la comutare, urmeaza a se stabili si definitiva pe parcursul cercetarii in urma elaborarii si testarii primelor modele experimentale in vederea proiectarii prototipului.

**3.2 Elemente de definire tehnica a motorului
de 2.5kW/5.5kW (6/4) (model experimental)**

Conditii tehnice de baza:

Tensiune de alimentare (sursa primara)	400 V, 50 Hz
Numar de poli:	$2p=6/4$ ($p=3/2$)
Turatie sincrona	1000/1500 rpm
Putere nominala:	2,5/5,5 kW
Nivel de zgomot max.	70 dB
Nivel de vibratii admis max	1mm/s
Grad de protectie	IP 44

Conditii de gabarit si montaj impuse	gab.132 M
Conexiune infasurari:	Y/YY
Numar de cai de curent in paralel	1/2
Raportul rezistentei infasurarilor de faza	4/1

Elemente constructive de baza:

Diametru exterior	200 mm
Diametru intreior	135 mm
Diametru la fundul crestaturii	168 mm
Lungime pachet elementar	160 mm
Numar crestaturi stator	36
Numar crestaturi rotor	33
Diametru arbore (sub tola)	48 mm
Grosime tola	0,5 mm
Calitate tola (pierderi specifice)	$p_{10}=3,6$ W/kg (maximum)
Calitate tola (magnetizare)	$B_{25}=1,58$ T (minimum)
Carcasa	aluminiu
Circuit electric stator	cupru
Circuit electric rotor	Al electrotehnic (turnat)
Modul de fixare	talpi (B3)
Interfata mecanica arbore	$\phi 38 \times 80$ mm
Lungime totala produs	480 mm

3.3 . Prezentarea unor elemente tehnice specifice rezultate din revendicarile brevetului care face obiectul temei

Pentru clarificarea elementelor de brevet care se aplica in cadrul temei trebuie remarcate urmatoarele chestiuni, asa cum rezulta ele din revendicarile acceptate ale brevetului si asa cum se regasesc in documentatia tehnica de proiectare constructiva a modelelor experimentale.

In prima varianta constructiva, bobinajul intr-un strat pentru masini electrice trifazate, cu armatura de treizecisisase de crestaturi, cu poli comutabili in raportul 4:6, avind sase conductoare terminale si capetele frontale de bobine asezate in coroana de grupe de bobine, se caracterizeaza prin aceea ca este constituit dintr-un numar de optsprezece bobine cu acelasi numar de spire, notate de la (1) la (18), avind deschiderile (pasii in numar de crestaturi) precum si amplasarea inceputurilor si sfirsiturilor, intr-o schema desfasurata, conform tabelului 5:

Tabelul 5. Compozitia constructiva a bobinajului, varianta constructiva 1

Bobina nr.	Deschidere in numar de crestaturi (pas)	Inceputul in crestatura nr.	Sfirsitul in crestatura nr.
(1)	7 (pas 1-8)	1	8
(2)	7 (pas 1-8)	2	9
(3)	7 (pas 1-8)	5	12
(4)	7 (pas 1-8)	6	13
(5)	7 (pas 1-8)	7	14
(6)	7 (pas 1-8)	10	17
(7)	7 (pas 1-8)	11	18
(8)	6 (pas 1-7)	15	21
(9)	6 (pas 1-7)	16	22
(10)	7 (pas 1-8)	19	26
(11)	7 (pas 1-8)	20	27
(12)	7 (pas 1-8)	23	30
(13)	7 (pas 1-8)	24	31
(14)	7 (pas 1-8)	25	32
(15)	7 (pas 1-8)	28	35
(16)	7 (pas 1-8)	29	36
(17)	6 (pas 1-7)	33	3
(18)	6 (pas 1-7)	34	4

iar legaturile dintre bobine sunt realizate pentru fiecare faza dupa cum urmeaza:

-faza notata U4 are doua cai de curent in paralel, una formata din bobinele (+6), (+5) si (-1), cu iesire in X, si a doua formata din bobinele (+15), (+14) si (-10), cu iesire in U6,

-faza notata V4 are doua cai de curent in paralel, una formata din bobinele (+8), (+9), (-13), cu iesirea in Y si a doua formata din bobinele (+17), (+18), (-4), cu iesirea in W6,

-faza W4 are doua cai de curent in paralel, una formata din bobinele (+3), (-7), (+11) cu iesirea in Z si a doua formata din bobinele (+12), (-16), (+2), cu iesirea in V6, terminalele X, Y, Z fiind legate in interiorul bobinajului fie intre ele (cazul dubla stea/simpla stea) fie dupa regula X-V6, Y-U6 si Z-W6 (cazul dubla stea/triunghi), astfel ca la alimentarea de la retea a terminalelor U4, V4, W4 si legarea impreuna a terminalelor U6, V6 si W6 se realizeaza polaritatea de 4 poli iar la alimentarea de la retea a terminalelor U6, V6, W6 si lasarea libera a terminalelor U4, V4, W4 se realizeaza polaritatea de 6 poli.

In a doua varianta constructiva, bobinajul in "lant" intr-un strat pentru masini electrice trifazate, cu armatura de treizecisisase de crestaturi, cu poli comutabili in

raportul 4:6, avind sase conductoare terminale si capetele frontale de bobine asezate in coroana de bobine egale, se caracterizeaza prin aceea ca este constituit dintr-un numar de optsprezece bobine cu acelasi numar de spire, notate de la (1') la (18'), avind deschiderile (pasii) precum si amplasarea inceputurilor si sfirsiturilor conform tabelului 6:

Tabelul 6. Compozitia constructiva a bobinajului, varianta constructiva 2

Bobina nr.	Deschidere in numar de crestaturi (pas)	Inceputul in crestatura nr.	Sfirsitul in crestatura nr.
(1')	7 (pas 1-8)	1	8
(2')	7 (pas 1-8)	3	10
(3')	7 (pas 1-8)	5	12
(4')	7 (pas 1-8)	7	14
(5')	7 (pas 1-8)	9	16
(6')	7 (pas 1-8)	11	18
(7')	7 (pas 1-8)	13	20
(8')	7 (pas 1-8)	15	22
(9')	7 (pas 1-8)	17	24
(10')	7 (pas 1-8)	19	26
(11')	7 (pas 1-8)	21	28
(12')	7 (pas 1-8)	23	30
(13')	7 (pas 1-8)	25	32
(14')	7 (pas 1-8)	27	34
(15')	7 (pas 1-8)	29	36
(16')	7 (pas 1-8)	31	2
(17')	7 (pas 1-8)	33	4
(18')	7 (pas 1-8)	35	6

iar legaturile dintre bobine fiind realizate pentru fiecare faza dupa cum urmeaza:

-faza notata U4 are doua cai de curent in paralel, prima formata din bobinele (+1'), (-5') si (-15'), care are iesirea in X si a doua care are inseriate bobinele (-14'), (-6') si (+10'), care are iesirea in U6,

-faza notata V4 are pe o cale inseriate bobinele (+4'), (-18') si (-17'), cu iesirea in Y si pe cealalta bobinele (-8'), (-9') si (+13') cu iesirea in V6

-faza notata W4 are pe o cale inseriate bobinele (+16'), (-2') si (-3') cu iesirea in Z iar pe a doua bobinele (-12'), (-11') si (+7') cu iesirea in W6, terminalele X, Y, Z fiind legate in interiorul bobinajului fie intre ele (cazul dubla stea/impla stea) fie dupa regula X-V6, Y-U6 si Z-W6 (cazul dubla stea/triunghi), astfel ca la alimentarea de la retea a terminalelor U4, V4, W4 si legarea impreuna a terminalelor U6, V6 si W6 se realizeaza polaritatea de 4 poli iar la alimentarea de la retea a terminalelor

U6, V6, W6 si lasarea libera a terminalelor U4, V4, W4 se realizeaza polaritatea de 6 poli.

4. CONCLUZII DE ETAPA

4.1. Lucrarea de fata face obiectul etapei I a temei de cercetare “Motoare electrice asincrone trifazate cu bobinaje comutabile, intr-un strat, in raportul 4/6 (cfm. Brevet RO 120.115)” din cadrul programului national INVENT si raspunde la activitatea prevazuta in planul de realizare a proiectului si anume “A2.1: Proiectare modele experimentale”. In vederea asigurarii unui grad minimal de claritate si completitudine in textul lucrarii au fost reluate succint si nuanstate unele elemente prezentate in cadrul ofertei proiectului la competitia C1/2005 si anume cele legate de situatia pe plan national si mondial in legatura cu tema precum si unele elemente referitoare la aspectele stiintifice ale proiectului.

4.2. Cu referire la proiectarea modelelor experimentale, in lucrare se face o prezentare a unei metode generale de calcul al infasurarilor trifazate sub aspectul determinarii factorilor de infasurare ai fundamentalelor electrice si ai celorlalte armonice spatiale, elemente necesare pentru caracterizarea circuitelor electrice ale masinilor proiectate sub aspectul numarului de spire, al diametrelor conductoarelor de bobinaj, al rezistentelor si reactantelor de dispersie din circuitele de faza. Din analiza rezulta faptul ca, desi undele tensiunii magnetice rezultante in intrefierul masinii au un continut mai mare de armonice spatiale, ele asigura conditiile necesare si suficiente conversiei electromecanice a energiei la parametri impusi prin conditiile tehnice stabilite.

4.3. In baza calculelor infasurarilor in cele doua variante constructive cuprinse in descrierea si revendicarile brevetului RO 120.115 care face obiectul lucrarii in speta, s-au realizat cele doua documentatii tehnice constructive la nivel de model experimental care sa raspunda elementelor impuse prin planul de realizare si anume motorul de 4 kW/2.2 kW (4/6) in gabaritul 132 S si motorul de 2.5 kW/5.5 kW (6/4) in gabaritul 132 M. Documentatiile constructive sunt anexate la lucrare.

4.4. Rezultatele obtinute in cadrul etapei sunt corespunzatoare, ele raspund calitativ si cantitativ cerintelor din documentatia tehnica si financiara a proiectului cu referire la planul de realizare si al documentelor de elaborat, respectiv al obiectelor de realizat, si sunt de natura sa fie utilizate in etapele urmatoare de realizare si experimentare a modelelor.

5. Bibliografie

1. Rawcliffe, G.H., Burbidge, R.F., Fong, W.: "Induction motor speed changing by pole-amplitude modulation", Peoc.IEE, 1958, paper nr.2597U, p.411-19
2. Rawcliffe, G.H., Fong, W.: "Sum and difference winding modulation with special reference to the design of 4/6 pole PAM windings", Proc.IEE, Vol.117, nr.9/1970, p.1782-92
3. Auinger, H.: "Changeable pole three phase winding", US Patent 4,127,787/1978
4. Auinger, H.: "Drehstrom-Kafigmotoren mit neuartiger polumschaltbarer Wicklung", EMA, 1978, p.3-10
5. Kunze, G.: "Uber 100 Jahre Dahlander", EMA, nr.12/1996, p.16-20
6. Hortig, G.: "Polumschaltbare Motoren mit Pol-Amplituden-Modulation", EMA, nr.8/1977, p.216-220
7. Cistelecan, M., Covrig, M.: "Asupra calculului reactantei de dispersie diferentia la masinile de curent alternativ trifazate", EEA-Electrotehnica, nr.5-6/1995, p.9-16
8. Bala, C.: "Masini electrice. Teorie, incercari" Bucuresti, EDP, 1979
9. Heller, B., Hamata, V.: "Harmonic field effects in induction machines", Academia Publishing House, Prague, 1977
10. Srb Neven.: "Die Wicklungstechnik der Asynchronmotoren; Teil 53: Polumschaltbare Dreiphasenwicklungen", EMA, 1978, p.317
11. Madescu, Gh.: "Analiza armonica automata a campului magnetic produs de infasurarile repartizate de curent alternativ", EEA-Electrotehnica, 32, 1984, nr.5, p.187-194
12. Cistelecan, M., Ciumbulea Gloria, Covrig M., Popescu M.: "Probleme specifice motoarelor asincrone cu doua turatii cu poli comutabili", in revista EEA-ELECTROTEHNICA, nr.2/2004, pag.1-11.
13. Cistelecan, M., Demeter E., Nitigus V., Popescu Mihai: "Bobinaj intr-un strat pentru masini electrice trifazate cu poli comutabili in raportul 4:6", RO-120.115