

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 621.313.33:004.42(043)

MARCEL BURDUNIUC

**CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA MOTOARELOR
ASINCRONE MONOFAZATE FĂRĂ ELEMENTE EXTERNE
DE DEFAZARE**

222.01 – DISPOZITIVE ȘI ECHIPAMENTE ELECTROTEHNICE

Teză de doctor în științe inginerești

Conducător științific:

Ambros Tudor

Doctor habilitat în tehnică

Profesor universitar

Autor:

Burduniuc Marcel

CHIȘINĂU, 2025

Teza a fost elaborată la Departamentul Inginerie Electrică, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Universitatea Tehnică a Moldovei

Conducător științific:

AMBROS Tudor, prof. univ., dr. hab., Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referenți oficiali:

1. CÂMPEANU Aurel, prof.univ.dr.ing. Uiniversitatea din Craiova, România
2. PIROI Ion, prof.univ.dr.ing. Uiniversitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca, România

Componența Consiliului Științific Specializat:

1. CHIORSAC Mihail, prof. univ., dr. hab., – președinte
2. CAZAC Vadim, conf. univ., dr., – secretar
3. ERHAN Tudor, prof. univ., dr. hab.
4. NUCA Ilie, conf. univ., dr.
5. MUNTEANU Adrian, conf. univ., dr. ing., Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România.

Suținerea tezei va avea loc la 26.02.2025, ora 11.00, în ședința Consiliului Științific Specializat **D 222.01-24-118** din cadrul Universității Tehnice a Moldovei: str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-222.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a ANACEC (www.anacec.md).

Rezumatul a fost expediat la 22.01. 2025

Conducător științific

AMBROS Tudor, prof. univ., dr. hab.

Secretar științific al Consiliului științific specializat

CAZAC Vadim, conf. univ., dr.

Autor

BURDUNIUC Marcel



© BURDUNIUC Marcel, 2025

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII.....	4
CONȚINUTUL TEZEI.....	8
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	26
BIBLIOGRAFIE.....	28
LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZEI.....	30
ADNOTARE.....	32
АННОТАЦИЯ.....	33
ANNOTATION.....	34

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța problemei abordate.

Economia de piață bazată pe principii de concurență este orientată spre soluționarea problemelor legate de dezvoltarea industriei Republicii Moldova. Nivelul de dezvoltare a industriei în noile condiții va determina calea de ieșire din criza economică.

Republica Moldova până în prezent dispune de un potențial economic și tehnico-științific esențial în domeniul electrotehnicii. La întreprinderile *Moldovahidromaș*, *Electromaș*, *Electromașina*, *Hidropompa*, *Hidrotehnica* s-au produs, iar în unele uzine continuă să se producă, pompe submersibile și ermetizate acționate de motoare asincrone trifazate sau monofazate [1]. Motoarele asincrone monofazate sunt destinate pentru mașinile și mecanismele de uz casnic, generatoarele sincrone pentru sursele electrice autonome mobile, ca elemente de execuție în buclele de automatizare ș.a.

Rolul de bază în revigorarea părții tehnice a economiei aparține mijloacelor electrice de automatizare a proceselor tehnologice. Mijlocul de importanță majoră în realizarea automatizării proceselor tehnologice sunt acționările electrice. Motorul asincron este elementul principal al acționărilor electrice, care răspunde de transformarea energiei electrice în energie mecanică.

Motoarele asincrone sunt utilizate pe larg în aplicațiile industriale datorită avantajelor materializate în simplitate, fiabilitate, preț accesibil și prin faptul că nu necesită un personal de deservire cu pregătire specială. Cu toate aceste avantaje, pentru o funcționare sigură și de durată este necesară monitorizarea funcționării acestora în vederea identificării valorilor parametrilor motoarelor și a detectării timpurii a defectelor. Acest fapt este necesar a fi aplicat și motoarelor asincrone monofazate, mai ales luând în considerare construcția specială a acestora. Motoarele asincrone ocupă aproximativ (80-90)% din parcul mașinilor electrice produse pe plan mondial.

Numărul motoarelor asincrone monofazate utilizate în diverse ramuri ale economiei naționale crește odată cu intensificarea și automatizarea proceselor tehnologice care cer puteri mici. Totodată, este în creștere numărul de echipamente electrice utilizate în rețelele monofazate. În acest scop, este necesar să se soluționeze problema pornirii și reglării vitezei unghiulare a motoarelor asincrone monofazate, utilizând scheme constructive ieftine și simple din punct de vedere tehnologic.

Motoarele asincrone monofazate au însă caracteristici de reglare nesatisfăcătoare și în acest sens sunt depășite de mașinile de curent continuu. Odată cu dezvoltarea electronicii de putere și apariția unor metode artificiale de reglare a vitezei cu ajutorul unor convertizoare

comandate reglabile, într-o gamă largă de frecvență, aceste motoare se apropie esențial de motoarele de curent continuu în ceea ce privește caracteristicile acestora. Cu toate acestea, utilizarea electronicii de putere în comanda motoarelor asincrone monofazate conduce la costuri mai mari de fabricație și mai ales de mentenanță.

Un motor similar cu cel proiectat și prezentat în teză a fost utilizat în sistemele de automatizare a navelor. În urma cercetărilor s-a constatat că de multe ori la proiectarea micromașinilor nu se ține seama de pierderile de fier, ceea ce conduce la erori considerabile. O importanță deosebită pentru acest tip de mașini este determinată de alegerea optimală a unghiului electric, întrucât acesta influențează semnificativ cuplul de pornire [3].

Cercetările realizate în această lucrare sunt legate de elaborarea și implementarea noilor scheme constructive de motoare monofazate asincrone în vederea obținerii cuplului de pornire și reglării vitezei unghiulare fără elemente auxiliare de defazaj și de reglare. Aceste motoare cu proprietăți electromagnetice, deosebite de cele uzuale, pot fi utilizate pe larg în tehnica de uz casnic și ca elemente de execuție în sistemele automatizate.

Motoarele asincrone cu o singură fază indicate pot fi realizate, pornind de la tehnologia pentru producerea motoarelor asincrone monofazate clasice.

Actualitatea problemei rezidă în reducerea consumului de energie în procesele tehnologice industriale și sporirea competitivității produselor naționale care este în deplină conformitate cu: Programul național pentru eficiență energetică 2011-2020 (H.G. a RM, nr. 833 din 10.11.2011), legea nr. 139 din 19.07.2018 cu privire la eficiența energetică (Publicat: 17.08.2018 în Monitorul oficial Nr. 309-320), Planul național de acțiuni în domeniul eficienței energetice pentru anii 2013-2015 (HG nr. 113 din 07.02.2013) și pentru anii 2016-2018 (H.G. nr. 1471 din 30.12.2016), Programul Național pentru dezvoltarea industrială pentru anii 2024-2028 (H.G. a RM nr. 280/2024) elaborat în contextul Strategiei naționale de dezvoltare „Moldova Europeană 2030” și în conformitate cu directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului, din 25 octombrie 2012, privind eficiența energetică.

Totoodată, actualitatea temei rezultă și din faptul că problema propusă se încadrează în: Prioritatea 5 – *Competitivitate industrială și materiale inovative* a Programului național în domeniile Cercetării și Inovării pentru anii 2020-2023 și a Planului de acțiuni privind implementarea acestuia aprobat prin Hotărârea de Guvern nr. 381 din 01.08.2019, Prioritatea V – *Tehnologii inovative, energie sustenabilă, digitalizare* a Programului național în domeniile cercetării și inovării pentru anii 2024-2027 aprobat prin Hotărârea de Guvern nr. 1049 din 21.12.2023.

Domeniul de cercetare. Lucrarea conține cercetări teoretice și experimentale referitoare la studiul proceselor staționare și tranzitorii ale motoarelor asincrone monofazate, concomitent fiind aplicate metode moderne de cercetare a acestora (modelarea matematică, simularea și proiectarea optimală a sistemului electromagnetic) pentru implementarea în practică.

În lucrare, de asemenea, este cercetată pornirea motoarelor asincrone monofazate prin compensarea uneia din succesiuni, folosind diverse scheme constructive.

Scopul lucrării: dezvoltarea bazei teoretice, metodologiei de proiectare și topologiei motoarelor asincrone monofazate fără elemente auxiliare externe de pornire și reglare a vitezei, fiind luate în considerație particularitățile constructive ale acestora.

Obiectivele lucrării:

- analiza situației actuale privind motoarele asincrone monofazate;
- elaborarea schemelor constructive pentru asigurarea pornirii motorului monofazat fără elemente externe de defazaj;
- elaborarea metodologiei de proiectare a motoarelor asincrone monofazate cu o parte a înfășurării statorice scurtcircuitată;
- studiul proceselor fizice în regim tranzitoriu de pornire a acestor motoare cu ajutorul modelării matematice;
- testarea prototipului motorului asincron cu o singură fază.

Ipoteza de cercetare. Metodologia de proiectare a motorului asincron cu o singură fază va contribui la următoarele:

- elaborarea modelelor matematice pentru optimizarea construcției;
- contribuții relevante la dezvoltarea tehnologică a motoarelor electrice monofazate;
- reduceri semnificative ale costurilor de fabricație și întreținere a acestora.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare. Metodologia de cercetare utilizată în această lucrare combină metode teoretice și experimentale pentru a dezvolta soluții inovatoare în proiectarea și optimizarea motoarelor asincrone monofazate. Cercetarea a început cu analiză detaliată a literaturii de specialitate și a brevetelor, identificând limitările schemelor constructive tradiționale. Pe baza acestor observații au fost propuse soluții noi, cum ar fi compensarea curenților inverși prin scurtcircuitarea parțială a înfășurării statorice și metode inovatoare privind reglarea vitezei unghiulare fără elemente externe.

Modelarea matematică a fost esențială pentru înțelegerea proceselor staționare și tranzitorii care au loc în motorul monofazat, fiind realizată prin utilizarea soft-ului MATLAB/SIMULINK. Aceste simulări au permis optimizarea construcției și analiza circuitului

electromagnetic. Totodată, aplicația MATCHAD a facilitat calculul parametrilor optimi pentru înfășurările statorice și rotorice, contribuind la reducerea pierderilor magnetice și mecanice.

Rezultatele teoretice au fost validate prin construcția unui prototip testat experimental în laborator. Studiul a inclus caracterizarea mecanică și analiza pierderilor, confirmând fezabilitatea soluțiilor propuse. Această abordare integrată a condiționat dezvoltarea unei metodologii de proiectare fiabile, contribuind la îmbunătățirea performanței în procesul de pornire a motorului cu o singură fază fără elemente de defazare externe.

Rezultatul obținut care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante constă în *elaborarea metodologiei de proiectare a motoarelor asincrone cu o singură fază*, fapt ce a avut ca efect obținerea unei scheme constructive fiabile și avantajoase din punct de vedere tehnic și economic. Totodată, a fost dezvoltată teoria fundamentală a motoarelor asincrone cu o singură fază fără elemente auxiliare externe de pornire și reglare a vitezei unghiulare.

Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării. Problematika analizată în prezenta lucrare este o contribuție la dezvoltarea teoriei mașinilor asincrone monofazate de mică putere, constituind o bază de pornire a cercetărilor ulterioare.

Valoarea aplicativă a lucrării derivă din faptul că motoarele asincrone monofazate prezentate au fost realizate practic și sunt studiate la cursuri de către studenți.

Aprobarea rezultatelor. Rezultatele cercetărilor efectuate au fost prezentate la seminare, conferințe științifice naționale și internaționale, simpozioane, expoziții, și anume: conferințele tehnico-științifice ale colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM; WESC2012; SIEMEN 2017, 2019; CNAE 2022; ICEES 2022; EPE 2016, 2024.

Prototipul motorului asincron cu o singură fază cu partea înfășurării statorice scurtcircuitată a fost implementat la Departamentul Inginerie Electrică a Facultății Energetică și Inginerie Electrică, Universitatea Tehnică a Moldovei, fiind studiat în laborator de către studenți la cursul *Mașini speciale*.

Structura tezei: teza conține introducerea, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 107 titluri, 6 anexe, 120 pagini, 82 figuri și 9 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 19 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: motor asincron monofazat, elemente de defazaj, înfășurare divizată, comutator electromagnetic, modelare matematică, metoda elementelor finite.

CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** este descrisă actualitatea și importanța motoarelor asincrone monofazate în economia Republicii Moldova, fiind utilizate în mașinile și mecanisme de uz casnic, generatoarele sincrone pentru surse electrice autonome mobile, ca elemente de execuție în realizarea automatizării proceselor tehnologice ș.a. De asemenea, sunt prezentate scopul și obiectivele tezei, noutatea științifică a rezultatelor obținute, importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării și sumarul capitolelor tezei.

Capitolul 1 – *Analiza schemelor constructive ale motoarelor asincrone monofazate* este destinat analizei schemelor constructive ale motoarelor asincrone monofazate cu pornire netradițională.

Sunt analizate diverse procedee de pornire a motoarelor monofazate, care au fost prezentate în diverse brevete și în literatura tehnică de specialitate. Astfel, în acest capitol sunt descrise schemele de motoare asincrone monofazate cu poli ecranati, cu miezuri magnetice suplimentare, cu dispozitive pentru modificarea unghiului forței magnetizante față de axa d etc.

Sunt identificate mai multe dezavantaje ale acestor construcții cum ar fi: imposibilitatea reglării vitezei rotorului, consumul suplimentar de material activ, cuplul de pornire mic, construcția complicată din punct de vedere tehnologic ș.a.

Odată cu automatizarea proceselor tehnologice, care necesită acționare cu motoare de puteri mici, crește numărul motoarelor monofazate utilizate în diverse ramuri. În acest scop, este necesară soluționarea problemei pornirii și reglării vitezei unghiulare a motoarelor asincrone monofazate, utilizând scheme constructive simple și necostisitoare.

În acest capitol s-a făcut o analiză a diferitor scheme constructive de pornire a motoarelor asincrone monofazate, urmărindu-se varianta care asigură cel mai mare cuplu de pornire și posibilitatea reglării și inversării turației. Din toate schemele constructive analizate prezintă interes câteva dintre aceste.

Motor asincron monofazat cu poli ecranati special

Neajunsul motoarelor asincrone monofazate cu poli ecranati constă în faptul că au cuplu de pornire mic. Motorul asincron monofazat, prezentat în invenția [5], urmărește îmbunătățirea caracteristicilor de pornire și funcționare ale acestuia. Motorul electric folosește poli divizați, fiind, de fapt, tot un motor asincron cu poli ecranati, la care spira de scurtcircuitare este montată diferit (figura 1).

Pe fiecare parte a polului divizat sunt montate două spire în scurtcircuit unite între ele în

formă de opt, dar care nu se intersectează la centru, ocupând astfel toată lățimea polului. În figura 1 este prezentat polul motorului electric monofazat.

Spira 1 este situată pe partea 2 a tălpii polare, iar spira 3 este situată pe partea 4 a tălpii polului. Curentul, care trece prin spira realizată astfel (1+3), produce fluxul magnetic, care

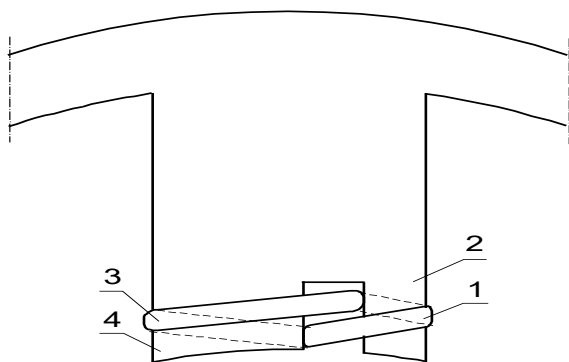


Fig. 1. Schema constructivă a polului motorului asincron monofazat [5].

demagnetizează partea 4 a tălpii polului cu secțiunea mai mare și magnetizează partea 2 a tălpii polului, care are o secțiune mai mică.

Din cauza direcțiilor opuse ale fluxurilor magnetice, produse de spirele în scurtcircuit 1 și 3, defazajul în timp dintre fluxurile magnetice ale ambelor părți ale tălpii polului se mărește, ceea ce conduce la majorarea cuplului de pornire și îmbunătățirea caracteristicilor de funcționare a motorului asincron monofazat [5].

Motor asincron monofazat cu bobine scurtcircuitate în procesul de pornire

Un procedeu de pornire a motoarelor asincrone monofazate este reprezentat în figura 2. Pentru pornirea motorului se folosește o parte din înfășurarea de lucru. Ambele părți ale înfășurării statorice W_1 și W_1' conțin și spirele W_2 și W_2' . Aceste spire în procesul de pornire sunt scurtcircuitate cu întreruptorul K . Acesta conține un element termic care la încălzire se deschide,

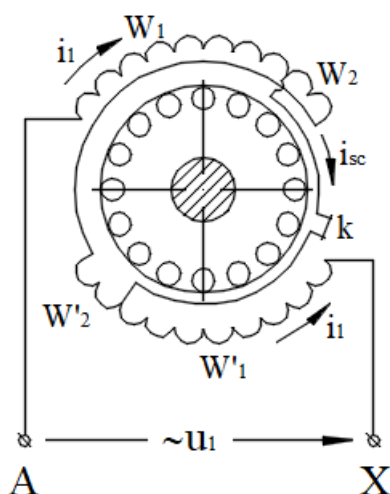


Fig. 2. Schema electrică a motorului asincron monofazat cu înfășurarea scurtcircuitată.

astfel spirele W_2 și W_2' se conectează în serie cu spirele W_1 și W_1' după finalizarea procesului de pornire.

În procesul de pornire, spirele W_2 și W_2' sunt scurtcircuitate și prin circuitul creat se închide curentul de scurtcircuit i_{sc} mult mai mare decât curentul de pornire i_1 , închis prin W_1 și W_1' , deoarece numărul de spire W_2 și W_2' constituie aproximativ (10-15)% din numărul de spire W_1 și W_1' . Datorită diferenței mari dintre inductivitățile înfășurărilor se asigură defazajul dintre curenții i_{sc} și i_1 (figura 2).

Forțele magnetizante produse de curenții

statorici creează asimetrie în circuitul magnetic. Fluxurile produse de aceste forțe magnetizante, interacționând cu curenții rotorici, creează cuplul de pornire al motorului monofazat.

Motor asincron monofazat de turație reglabilă și reversibilă

Există motoare asincrone cu moment de pornire reactiv, care se formează pe baza asimetriei statorului. Neajunsul acestor tipuri de motoare constă în imposibilitatea reversării turației rotorului și obținerea unor intervale limitate de reglare a acesteia.

Îmbunătățirea proprietăților de pornire, de reglare a turației motorului asincron monofazat și asigurarea reversării acesteia se obține dacă, în interiorul părții cave a rotorului scurtcircuitat este instalat asimetric un stator auxiliar, confecționat din material feromagnetic, fără înfășurare [6].

În figura 3 este reprezentată construcția motorului asincron monofazat propus, iar în figura 4 este reprezentată secțiunea statorului auxiliar asimetric și a părții cave a rotorului.

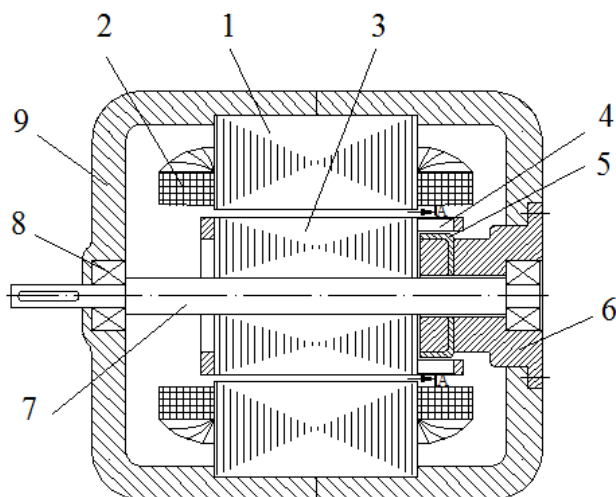


Fig. 3. Schema constructivă a motorului asincron monofazat.

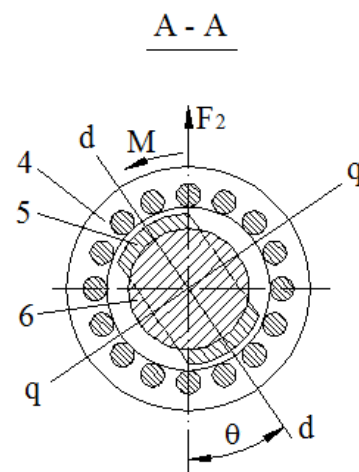


Fig. 4. Secțiunea transversală a statorului auxiliar asimetric și a rotorului.

Motorul asincron monofazat este compus dintr-un stator 1 cu poli aparenti, cu înfășurările de excitație 2, rotorul scurtcircuitat 3 cu partea cavă 4, statorul interior 5 asimetric față de axele $d-d$ și $q-q$, butucul 6, arborele 7, rulmenții 8 și scuturile 9. La rotirea butucului 6 se modifică unghiul θ dintre direcția forței magnetizante a rotorului F_2 și axa $d-d$, ceea ce permite reglarea valorii și sensului cuplului de pornire.

Mașina monofazată cu repulsie

Această mașină are construcția asemănătoare cu a mașinii serie monofazată cu colector, dar fără conexiune electrică între înfășurarea statorică și cea rotorică. Între înfășurările celor două armături există doar cuplaj magnetic [4]. Înfășurarea statorică se alimentează de la o rețea

monofazată de curent alternativ, iar înfășurarea rotorică este în scurtcircuit.

Din punct de vedere constructiv, există două tipuri de mașini monofazate cu repulsie, între care, principal, nu există deosebiri:

- mașina cu repulsie având o singură înfășurare statorică (primară) și perii mobile pe periferia colectorului (figura 5, a);
- mașina cu repulsie cu două înfășurări statorice cu axele în cvadratură electrică și perii fixe (figura 5, b).

La aceste mașini se pot utiliza și poli de comutație.

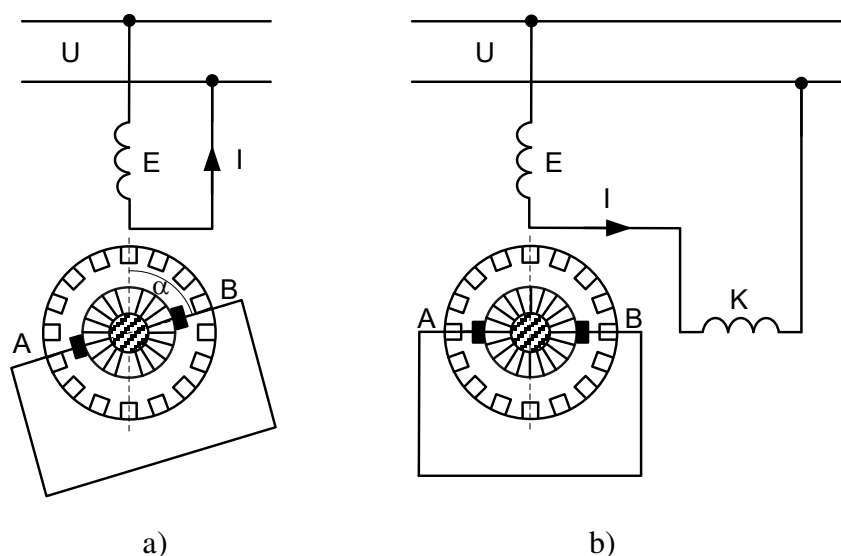


Fig. 5. Mașina cu repulsie:

a) cu o înfășurare pe stator și perii mobile; b) cu două înfășurări pe stator și perii fixe.

Motorul cu repulsie are un cuplu de pornire mare, cuprins între $(1,5-4,5)M_n$, corespunzător unui curent cuprins între $(2,5-4,5)I_n$. Turația mașinii cu repulsie poate fi modificată prin deplasarea periilor pe colector. Astfel, la cuplul nominal turația se poate modifica între 0,7 și 1,1 din turația sincronă, iar la cuplul redus limitele de turații cresc de la 0,4 până la 1,2 din turația sincronă. Sensul de rotație al rotorului motorului cu repulsie este opus sensului în care se deplasează periile față de axa neutră.

Mașina cu repulsie se aseamănă cu mașina monofazată serie, însă are o comutație mai bună față de aceasta. Motorul cu repulsie se utilizează în industria textilă, la ascensoare și la aparate de ridicat.

Reieșind din schemele constructive ale motoarelor asincrone monofazate analizate prezintă interes motorul monofazat cu bobina scurtcircuitată în procesul pornirii (fig. 2).

În capitolul 2 – Metode de pornire și reglare a vitezei unghiulare a motoarelor monofazate asincrone sunt cercetate metodele de pornire și reglare a vitezei unghiulare a motoarelor monofazate asincrone fără elemente externe de defazare.

O metodă de pornire a motorului asincron monofazat este bazată pe compensarea uneia dintre succesiunile curenților (directă sau inversă). Compensarea se realizează prin scurtcircuitarea parțială a înfășurării statorice sau prin reducerea numărului de bare scurtcircuitate a înfășurării rotorice. Este elaborată și dezvoltată metoda de reglare a vitezei unghiulare a motorului asincron monofazat cu înfășurarea rotorică conectată la un comutator electromagnetic.

În capitol este dezvoltată teoria fundamentală privind diferite tipuri constructive de motoare asincrone monofazate. Totodată, sunt enumerate avantajele și dezavantajele metodelor de pornire și reglare a vitezei expuse anterior.

Motoare asincrone monofazate cu înfășurare statorică nesimetrică

Dezavantajul principal al motoarelor asincrone monofazate fără înfășurare auxiliară constă în lipsa cuplului de pornire. În continuare, se analizează schema electrică a înfășurării motorului asincron monofazat cu o singură fază (MASF), care exclude acest dezavantaj.

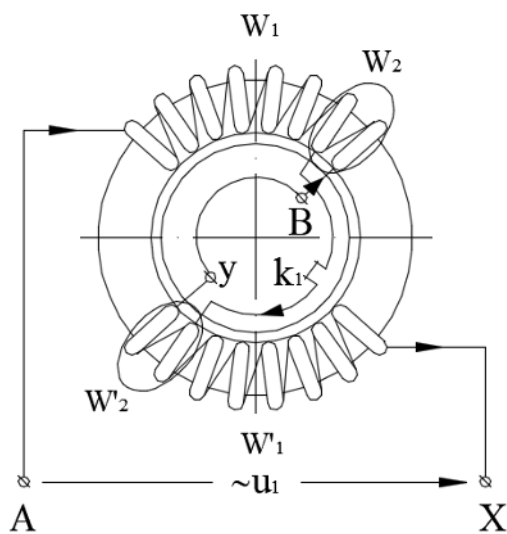


Fig. 6. Schema principală a motorului asincron monofazat cu înfășurare statorică asimetrică.

În figura 6 este reprezentată schema principală a acestui MASF. Pe stator este plasată o înfășurare toroidală divizată în două părți. Ambele părți ale înfășurării statorice AX cu numărul de spire W_1 și W_1' conțin și spirele W_2 și W_2' , care în procesul de pornire sunt scurtcircuitate cu întrerupătorul k . Acest întrerupător poate fi un element termic, care pentru valori mari ale curentului de scurtcircuit se încălzește și deschide circuitul. Astfel, spirele W_2 și W_2' se conectează în serie cu spirele W_1 și W_1' .

Curentul de scurtcircuit I_{sc} închis prin spirele W_2 și W_2' în procesul de pornire este mai mare decât curentul I_1 , închis prin W_1 și W_1' , deoarece numărul de spire W_2 și W_2' constituie aproximativ (10-15)% din numărul de spire W_1 și W_1' . Datorită decalajului egal cu unghiul α dintre bobina principală B_{AX} și bobina scurtcircuitată B_{BY} a înfășurării monofazate se asigură decalajul notat tot cu α dintre fluxurile produse de cele 2

perechi de bobine (figura 7). Datorită valorilor diferite ale inductivităților și rezistențelor celor două perechi de bobine, care se materializează prin valori diferite ale impedanțelor acestora, se asigură defazajul dintre curenții I_{sc} și I_1 (figura 8).

Forțele magnetizante produse de curenții statorici creează asimetrie în circuitul magnetic. Fluxurile produse de aceste forțe magnetizante, interacționând cu curenții rotorici, creează cuplul de pornire al motorului asincron monofazat.

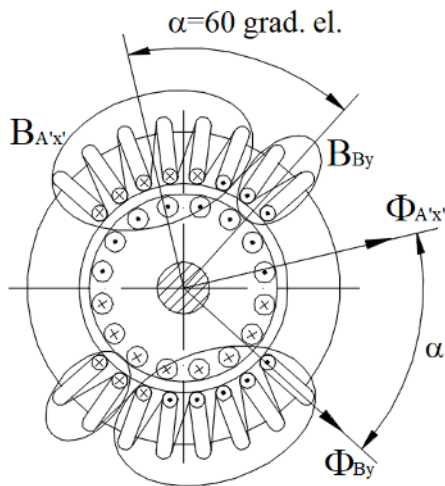


Fig. 7. Decalajul dintre axele bobinelor principală și cea în scurtcircuit.

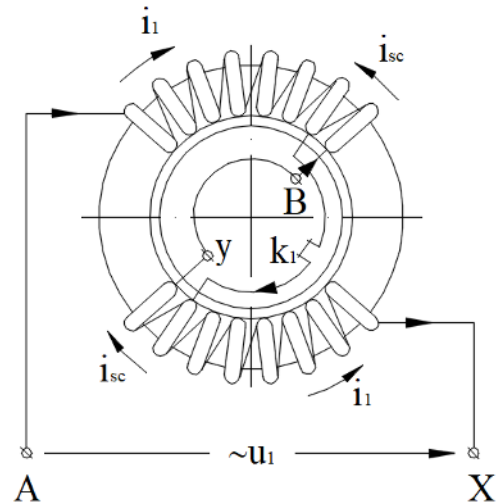


Fig. 8. Repartizarea bobinelor în crestături.

Prin scurtcircuitarea părților W_2 și W_2' ale înfășurării de bază W_1 și W_1' se realizează defazajul dintre curenții înfășurării divizate, care asigură pornirea motorului. După pornire, deschizând contactul k_1 , prin care era scurtcircuitată partea înfășurării de pornire W_2 și W_2' , aceasta rămâne conectată în serie cu înfășurarea W_1 și respectiv W_1' , contribuind la funcționarea în regim nominal a motorului asincron monofazat. Cuplul util este produs, deci, de toată înfășurarea statorică.

Motorul asincron monofazat cu o singură înfășurare pe stator are înfășurarea rotorică cu barele scurtcircuitate [12]. În $\frac{2}{3}$ din crestăturile statorice se montează o înfășurare toroidală (figura 2.3), fiind divizată în două părți diametral opuse, fiecare parte conținând $\frac{1}{3}Z_1N_c$ conductoare, grupate în $\frac{1}{3}Z_1$ bobine. Fiecare grup de bobine este divizat, la rândul său, în două subgrupe de bobine: primul subgrup conținând $\frac{1}{4}Z_1$ bobine, iar al doilea subgrup $-\frac{1}{12}Z_1$

bobine. Așezarea celor două subgrupe de bobine este simetrică față de axa de rotație. Z_1 este numărul de creștături pe stator, iar N_c – numărul de conductori din creștătura statorică.

Unghiul corespunzător părților înfășurărilor se determină astfel:

pentru faza $A'x'$:

$$\gamma_{A'x'} = \frac{360}{Z_1} \cdot \frac{1}{2} Z_1 = 180 \text{ grade electrice}; \quad (1)$$

pentru faza By :

$$\gamma_{By} = \frac{360}{Z_1} \cdot \frac{1}{6} Z_1 = 60 \text{ grade electrice}. \quad (2)$$

Ca urmare, axele fluxurilor magnetice sunt decalate în spațiu la un unghi [12]:

$$\frac{\gamma_{A'x'} + \gamma_{By}}{4} = 60 \text{ grade electrice}. \quad (3)$$

La pornire, înfășurarea Ax este conectată la rețea, iar înfășurarea By este scurtcircuitată de întrerupătorul k_1 . În înfășurarea $A'x'$ se induce tensiunea electromotoare:

$$E_{A'x'v} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_{mv} \cdot f_v \cdot W_{Ax} \cdot k_{WA'x'v}, \quad (4)$$

iar în înfășurarea By tensiunea electromotoare este:

$$E_{Byv} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_{mv} \cdot f_v \cdot W_{By} \cdot k_{WByv}. \quad (5)$$

Amplitudinile forțelor magnetizante ale celor două părți ale înfășurării statorice sunt egale, iar unghiul dintre acestea constituie 60 grade.

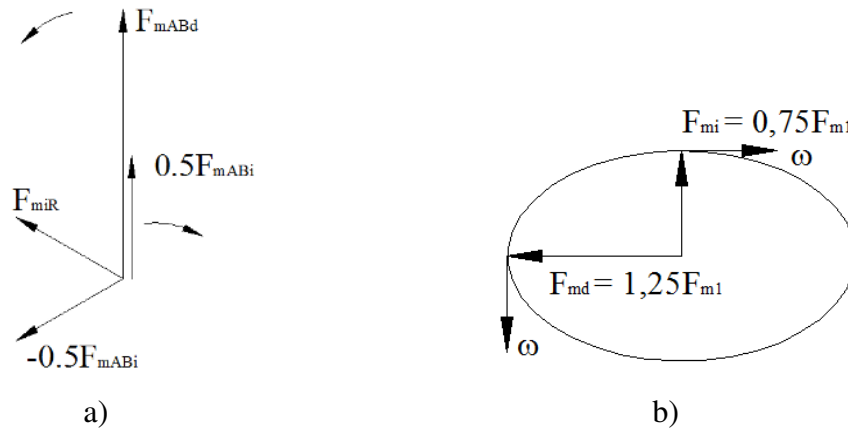


Fig. 9. Diagrama fazorială (a) și curba forțelor magnetizante (b) ale MASF.

Atunci ecuația forței magnetizante se scrie astfel:

$$F_{t1Ax} = F_m \cdot \cos \omega_1 t \cdot \cos \frac{x\pi}{\tau}; \quad (6)$$

$$F_{t1By} = F_m \cdot \cos \left(\omega_1 t - \frac{\pi}{3} \right) \cdot \cos \left(\frac{x\pi}{\tau} - \frac{\pi}{3} \right). \quad (7)$$

Fazorul forței magnetizante descrie o elipsă cu amplitudine directă egală cu amplitudinea F_m de fază. Fazorul forței magnetizante inverse constituie 25% din amplitudinea F_m de fază și, desigur, se rotește cu aceeași viteză unghiulară în direcția opusă [2]. La însumarea geometrică a componentelor succesiunilor directă și inversă se obține elipsa indicată în figura 9.

Aceste tipuri constructive ale motoarelor asincrone monofazate oferă soluții pentru asigurarea pornirii motorului fără elemente de defazaj.

În capitolul 3 sunt analizate procesele tranzitorii la pornirea motoarelor asincrone monofazate cercetate, utilizând programul MATLAB SIMULINK.

Pentru descrierea proceselor tranzitorii care au loc în motoarele asincrone cu o singură fază cercetate anterior au fost elaborate metode matematice privind diverse principii de pornire și reglare a vitezei unghiulare.

Optimizarea proceselor de pornire s-a efectuat fiind modificați parametrii înfășurărilor statorice și rotorice cum ar fi:

- corelarea dintre numărul de spire ale părților înfășurării statorice;
- modificarea unghiului dintre axele magnetice ale părților înfășurării statorice;
- compensarea totală a uneia din succesiuni determinată de poziția dintre axele magnetice ale înfășurării statorice și rotorice;

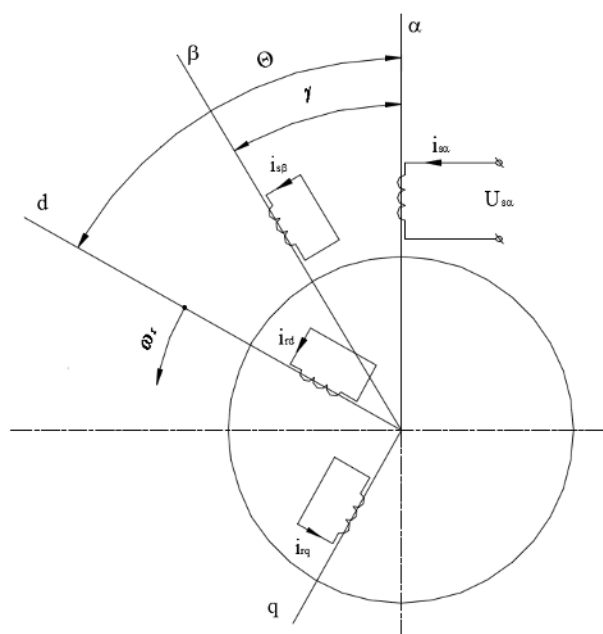


Fig. 13. Schema modelului fizic al motorului asincron cu o singură fază cu înfășurările statorice și rotorice orientate după axele naturale.

Soluționând sistemele de ecuații diferențiale a cazurilor indicate anterior, se selectează variantele optime privind pornirea motoarelor asincrone cu o singură fază.

Analiza aspectelor câmpului magnetic din motorul asincron cu o singură fază în diverse regimuri, obținut cu ajutorul aplicației metodei elementului finit, a permis studiul câmpului electromagnetic în diferite sectoare ale circuitului magnetic al motorului asincron monofazat cercetat.

Modelul matematic al motorului asincron cu o singură fază în regim de pornire

În continuare este descris modelul matematic al motorului asincron cu o singură fază, în axele spațiale naturale, deoarece în acest caz se obțin valorile reale ale curenților statorici. În figura 13 este reprezentată schema modelului fizic al motorului cu o singură fază cu înfășurările orientate după axele naturale.

Se consideră că bobina scurtcircuitată b a înfășurării statorice și înfășurarea rotorică sunt raportate la înfășurarea statorică a conectată la rețea. Pentru simplitatea scrierii ecuațiilor, semnele de raportare sunt omise.

Bobina înfășurării statorice este orientată după axa α și la bornele acesteia este aplicată tensiunea $U_{s\alpha}$. Bobina scurtcircuitată a înfășurării statorice este decalată la unghiul γ în raport cu bobina înfășurării statorice în direcția rotirii rotorului și este orientată după axa β . Înfășurarea rotorului este repartizată după axele d și q . Unghiul Θ este unghiul de decalare al axelor d și q în raport cu axele α și β ale înfășurării statorice în direcția rotirii rotorului [9].

Ecuțiile de echilibru ale tensiunilor din sistemul de coordonate reale pentru motorul asincron cu o singură fază [9, 10] sunt expuse după cum urmează:

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha} &= r_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} + d \frac{\Psi_{s\alpha}}{dt} \\ U_{s\beta} &= 0 = r_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + d \frac{\Psi_{s\beta}}{dt} \\ U_{rd} &= 0 = r_r \cdot i_{rd} + d \frac{\Psi_{rd}}{dt} \\ U_{rq} &= 0 = r_r \cdot i_{rq} + d \frac{\Psi_{rq}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Aplicând metodele cunoscute, se trece de la sistemul de ecuații din coordonatele rotorice d, q la sistemul de ecuații de echilibru statorice și rotorice transformate în sistemul de axe α, β .

Ecuțiile de echilibru al curenților rotorici orientați după axele d și q pot fi scrise astfel:

$$\left. \begin{aligned} i_{rd} &= i_{r\alpha} \cdot \cos \Theta + i_{r\beta} \cdot \cos(\Theta - \gamma) = i_{r\alpha} \cdot \cos \Theta + i_{r\beta} \cdot \cos \Theta \cdot \cos \gamma + i_{r\beta} \cdot \sin \Theta \cdot \sin \gamma \\ i_{rq} &= -i_{r\alpha} \cdot \sin \Theta - i_{r\beta} \cdot \sin(\Theta - \gamma) = -i_{r\alpha} \cdot \sin \Theta - i_{r\beta} \cdot \sin \Theta \cdot \cos \gamma + i_{r\beta} \cdot \cos \Theta \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Ecuțiile de echilibru al fluxurilor rotorice orientate după axele d și q se dau prin expresiile:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{rd} &= \Psi_{r\alpha} \cdot \cos \Theta + \Psi_{r\beta} \cdot \cos(\Theta - \gamma) = \Psi_{r\alpha} \cdot \cos \Theta + \Psi_{r\beta} \cdot \cos \Theta \cdot \cos \gamma + \Psi_{r\beta} \cdot \sin \Theta \cdot \sin \gamma \\ \Psi_{rq} &= -\Psi_{r\alpha} \cdot \sin \Theta - \Psi_{r\beta} \cdot \sin(\Theta - \gamma) = -\Psi_{r\alpha} \cdot \sin \Theta - \Psi_{r\beta} \cdot \sin \Theta \cdot \cos \gamma + \Psi_{r\beta} \cdot \cos \Theta \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Ecuțiile de echilibru al tensiunilor rotorice după axele α, β pot fi scrise astfel:

$$\left. \begin{aligned} U_{ra} &= U_{rd} \cdot \cos \Theta - U_{rq} \cdot \sin \Theta \\ U_{r\beta} &= U_{rd} \cdot \cos(\Theta - \gamma) - U_{rq} \cdot \sin(\Theta - \gamma) \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Astfel, ecuațiile de echilibru al tensiunilor pentru motorul asincron cu o singură fază în sistemul de axe α, β se dau prin expresiile:

$$\left. \begin{aligned} U_{sa} &= r_{sa} \cdot i_{sa} + d \frac{\Psi_{sa}}{dt} \\ U_{s\beta} &= 0 = r_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + d \frac{\Psi_{s\beta}}{dt} \\ U_{ra} &= 0 = r_r \cdot i_{ra} + r_r \cdot i_{r\beta} \cdot \cos \gamma + d \frac{\Psi_{ra}}{dt} + d \frac{\Psi_{r\beta}}{dt} \cdot \cos \gamma + \omega_r \cdot \Psi_{r\beta} \cdot \sin \gamma \\ U_{r\beta} &= 0 = r_r \cdot i_{r\beta} + r_r \cdot i_{ra} \cdot \cos \gamma + d \frac{\Psi_{r\beta}}{dt} + d \frac{\Psi_{ra}}{dt} \cdot \cos \gamma + \omega_r \cdot \Psi_{ra} \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

Modelul matematic este elaborat în ipoteză că înfășurarea rotorică este raportată la înfășurarea statorică. Raportul numărului de spire W_β ale bobinei scurtcircuitate și W_α ale bobinei înfășurării statorice se determină astfel:

$$k = \frac{W_\beta K_{w\beta}}{W_\alpha K_{w\alpha}}. \quad (16)$$

Ecuațiile pentru fluxurile totale în sistemul de axe α, β se scriu astfel:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{sa} &= L_{sa} \cdot i_{sa} + k \cdot L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{s\beta} + L_M \cdot i_{ra} + L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{r\beta} \\ \Psi_{s\beta} &= k \cdot L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{sa} + L_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + k \cdot L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{ra} + k \cdot L_M \cdot i_{r\beta} \\ \Psi_{ra} &= L_M \cdot i_{sa} + k \cdot L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{s\beta} + L_r \cdot i_{ra} + L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{r\beta} \\ \Psi_{r\beta} &= L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{sa} + k \cdot L_M \cdot i_{s\beta} + L_M \cdot \cos \gamma \cdot i_{ra} + L_r \cdot i_{r\beta} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

unde L_m – inductivitatea mutuală a înfășurărilor, iar $L_{sa}, L_{s\beta}, L_r$ – inductivitățile totale ale înfășurărilor statorice și cele rotorice după axele α și β .

Inductivitățile totale ale înfășurărilor statorice și rotorice se determină prin expresiile:

$$\begin{aligned} L_{sa} &= L_m + l_{\sigma\alpha}; \\ L_{s\beta} &= k^2 L_m + l_{\sigma\beta}; \\ L_r &= L_m + l_{\sigma r}, \end{aligned} \quad (18)$$

unde $l_{\sigma\alpha}, l_{\sigma\beta}, l_{\sigma r}$ – inductivitățile de dispersie ale înfășurărilor statorice și rotorice după axele α și β .

Substituind ecuațiile de echilibru al curenților rotorici orientați după axele d și q și utilizând aparatul matematic, se obține expresia pentru cuplul electromagnetic

$$M_e = p \cdot \sin \gamma \cdot L_M (k \cdot i_{s\beta} \cdot i_{ra} - i_{sa} \cdot i_{r\beta}). \quad (19)$$

Modelul matematic obținut poate fi realizat cu ajutorul soft-ului SIMULINK MATLAB (figura 14), care permite analiza proceselor tranzitorii ce au loc la pornire și în timpul funcționării motorului asincron cu o singură fază. Pentru aceasta, în schema structurală realizată în SIMULINK MATLAB se scriu ecuațiile de echilibru al tensiunilor și fluxurilor electromagnetice. Cu ajutorul programului SIMULINK MATLAB fost realizată simularea procesului de pornire a motorului asincron cu o singură fază în regim dinamic pentru o sarcină de tip ventilator.

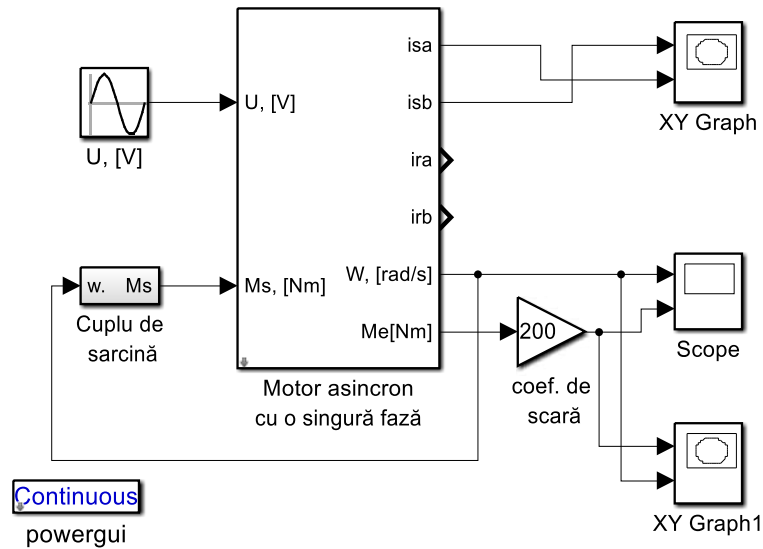


Fig. 14. Schema modelului matematic pentru realizarea simulării procesului de pornire a motorului asincron cu o singură fază.

În figura 15 este reprezentată oscilograma variației cuplului electromagnetic și vitezei unghiulare la pornirea motorului asincron cu o singură fază.

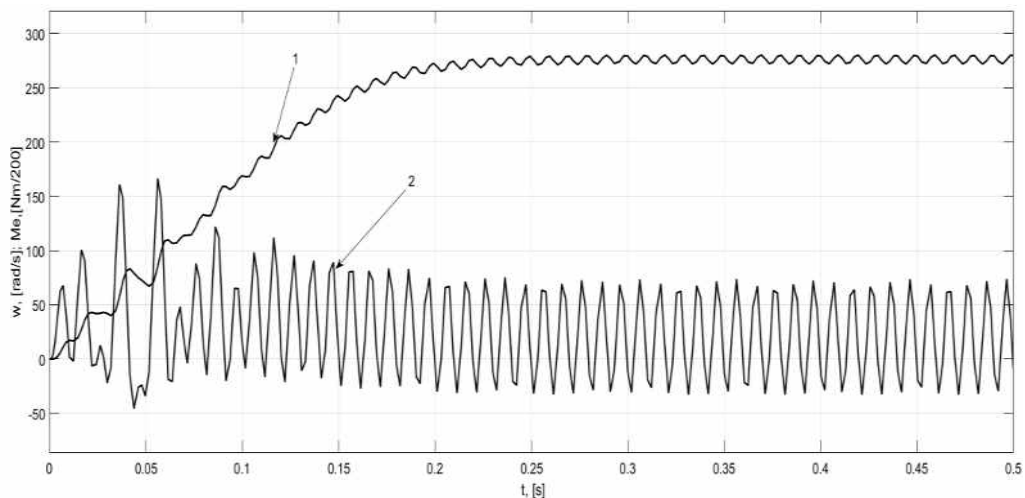


Fig. 15. Variația vitezei unghiulare (1) și a cuplului electromagnetic (2) al motorului asincron cu o singură fază în proces tranzitoriu de pornire.

Pentru studiul influenței numărului de spire ale bobinei scurtcircuitate a înfășurării statorice asupra cuplului și curentului de pornire au fost simulate 2 cazuri cu ajutorul programului SIMULINK MATLAB. În primul caz, raportul dintre numărul de spire ale înfășurării W_2 și W_1 , respectiv W_2' și W_1' (figura 2), este $k = 0,125$, iar în al doilea caz acest raport este $k = 0,25$.

În figura 16 sunt reprezentate caracteristicile cuplului electromagnetic pentru cele două cazuri simulate în care numărul de spire ale bobinei scurtcircuitate se deosebește.

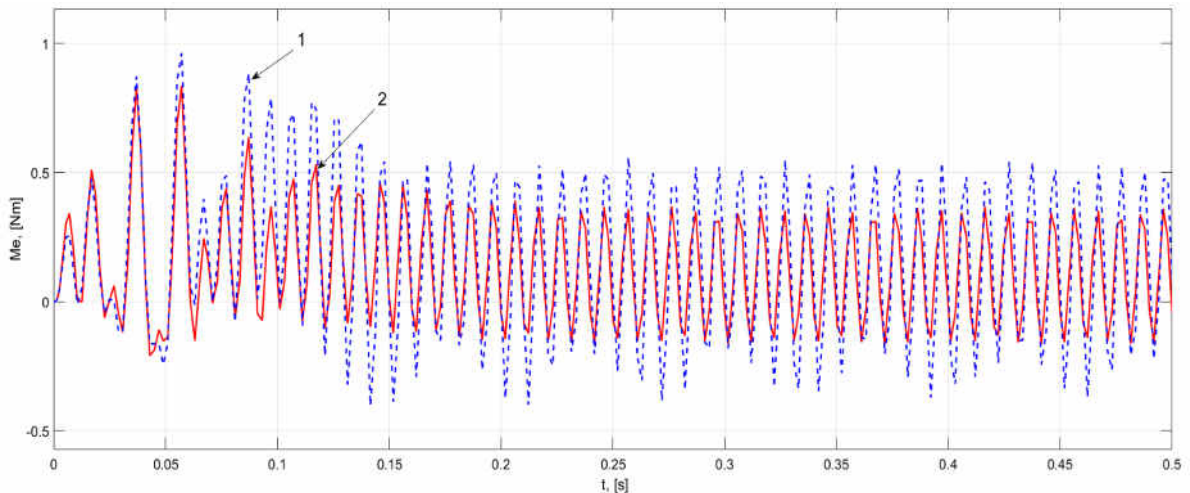


Fig. 16. Caracteristica cuplului electromagnetic $M_e = f(t)$ al motorului asincron cu o singură fază: 1 – $k = 0,125$; 2 – $k = 0,25$.

În figura 17 este reprezentată variația vitezei unghiulare a motorului asincron cu o singură fază în regim tranzitoriu de pornire în cazul când avem diferit număr de spire ale bobinei scurtcircuitate a înfășurării statorice.

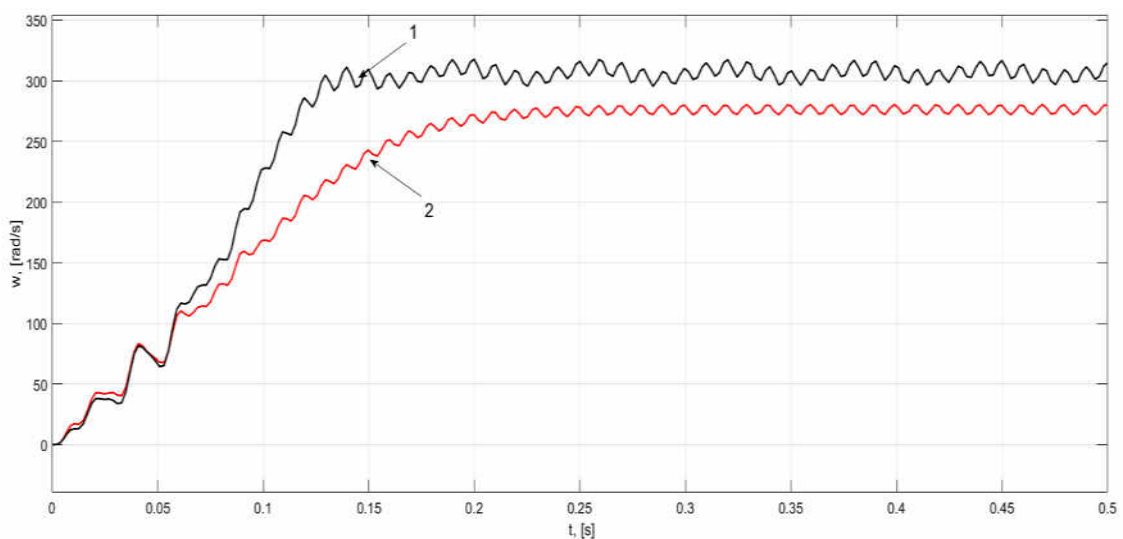


Fig. 17. Caracteristica vitezei unghiulare a motorului asincron cu o singură fază în proces tranzitoriu de pornire: 1 – $k = 0,125$; 2 – $k = 0,25$.

Analiza câmpului electromagnetic din circuitul magnetic al motorului asincron cu o singură fază

Câmpul magnetic închis printr-un sistem magnetic este descris matematic cu ajutorul ecuațiilor Maxwell. Acest sistem de ecuații poate fi utilizat pentru studiul câmpului magnetic în mașinile electrice, fiind adoptate ipotezele cunoscute: neglijarea saturației magnetice, neglijarea pierderilor în oțelul electrotehnic, simetria deplină a înfășurărilor, neglijarea neuniformității densității curentului din barele înfășurării rotorice, repartizarea sinusoidală a forței de magnetizare și inducției magnetice din întrefier etc. Totodată, aceste ipoteze nu pot fi aplicate întotdeauna.

Cu ajutorul metodei elementului finit pot fi determinate și calculate calitativ și cantitativ două laturi de esență ale câmpului magnetic: repartizarea liniilor inducției magnetice, adică tabloul câmpului magnetic în mașina electrică și curba repartiției inducției magnetice în orice secțiune transversală a circuitului magnetic [16].

În continuare, utilizând soft-ul FEMM, se dă repartizarea câmpului electromagnetic pe tot circuitul sistemului magnetic. În figura 18 sunt reprezentate rezultatele calculului câmpului electromagnetic la alimentarea înfășurării de funcționare și părții scurtcircuitate a înfășurării statorice cu diferite valori ale curenților.

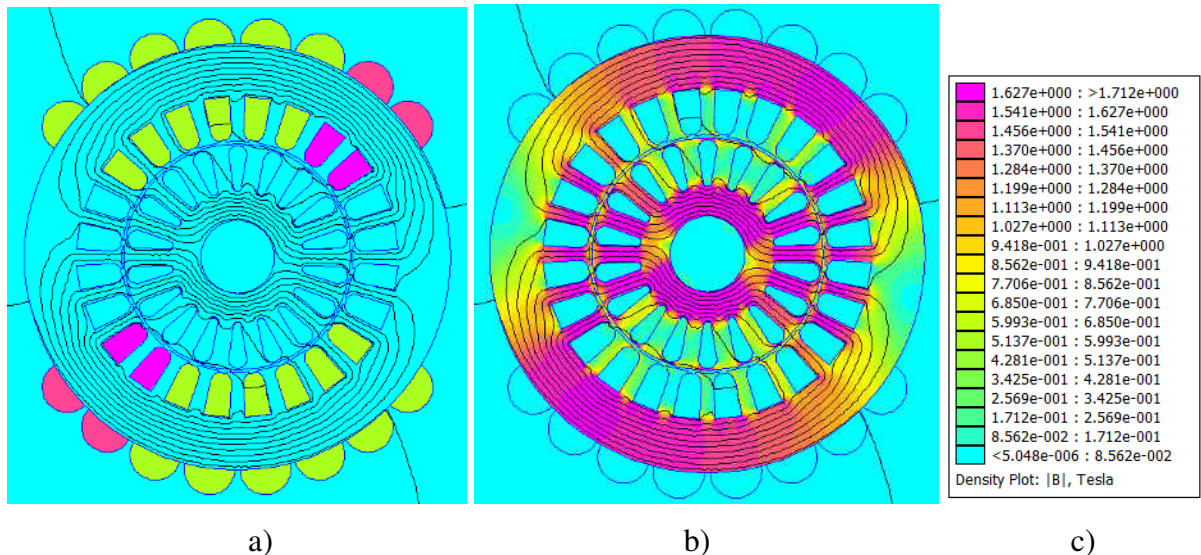


Fig. 18. Repartizarea liniilor inducției magnetice la alimentarea înfășurării de funcționare și părții scurtcircuitate a înfășurării statorice:

- a) tabloul curenților în înfășurarea statorică; b) tabloul repartiției câmpului electromagnetic în sectoarele circuitului magnetic al motorului asincron monofazat;**
- c) legenda valorilor inducției magnetice în sectoarele circuitului magnetic al motorului asincron monofazat.**

Programul FEMM permite vizualizarea rezultatelor în formă grafică selectând sectorul de circuit magnetic de interes al motorului asincron. În figura 19 este reprezentată repartizarea inducției magnetice în întrefierul motorului asincron cu o singură fază.

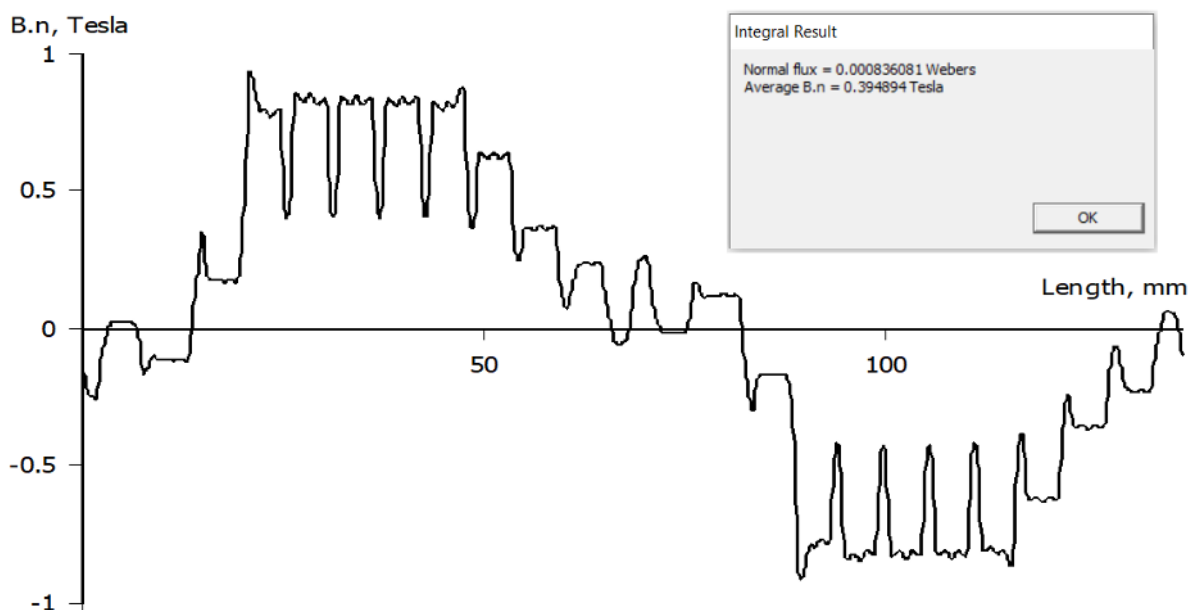


Fig. 19. Curba inducției magnetice înregistrată în întrefierul motorului asincron cu o singură fază.

Cu ajutorul soft-ului FEMM a fost calculat câmpul electromagnetic produs de înfășurările motorului asincron și s-au obținut valorile și curbele variației fluxurilor și inducției magnetice în anumite zone de interes ale circuitului magnetic. Analizând câmpul magnetic pentru toate cazurile studiate, se poate observa mișcarea câmpului magnetic în diferite sectoare ale circuitului magnetic [17].

În capitolul 4 este expusă metodologia de calcul elaborată, propusă de autor, a motorului asincron cu o singură fază și o parte a înfășurării scurtcircuitată și sunt prezentate rezultatele testării prototipului acestui motor asincron.

Metoda de proiectare și calcul elaborată pentru aceste tipuri de motoare cu o singură fază a fost realizată cu ajutorul aplicației MATCHAD pentru motorul asincron cu o singură fază cu puterea $P_n = 30$ W și numărul de poli $2p = 2$, alimentat cu tensiunea $U_{1n} = 230$ V de frecvență nominală [7, 18]. Aceasta a permis efectuarea calculelor și alegerea variantei optime a parametrilor motorului asincron.

În rezultatul calculului electromagnetic al motorului asincron cu o singură fază, prezentat în anexa A4, au fost determinați parametrii înfășurărilor statorice și rotorice ai motorului asincron cu o singură fază, ceea ce a permis construirea caracteristicii mecanice a motorului și caracteristicilor de funcționare și pornire.

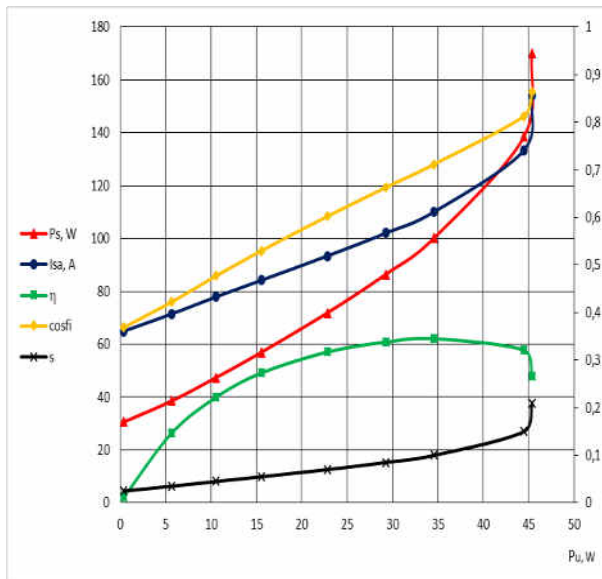


Fig. 20. Caracteristicile de funcționare ale motorului asincron cu o singură fază.

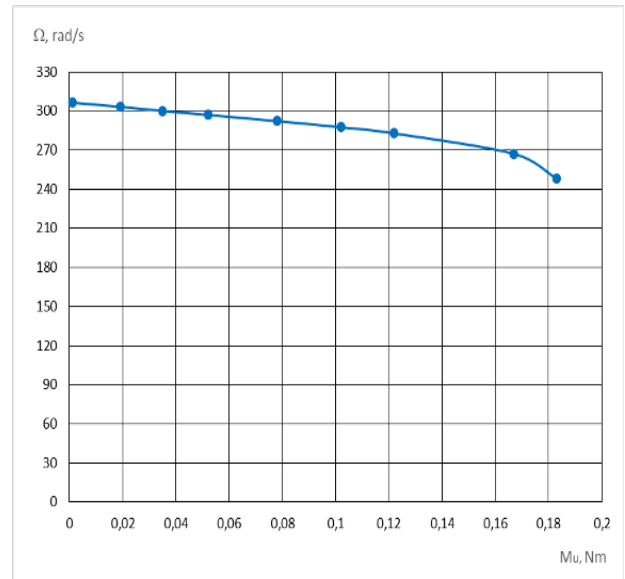


Fig. 21. Caracteristica mecanică a motorului asincron cu o singură fază.

Din figura 20 se poate observa că caracteristicile de funcționare ale motorului asincron cu o singură fază sunt identice cu caracteristicile de funcționare ale motoarelor asincrone monofazate, care sunt utilizate pe larg în domeniile economiei naționale [7].

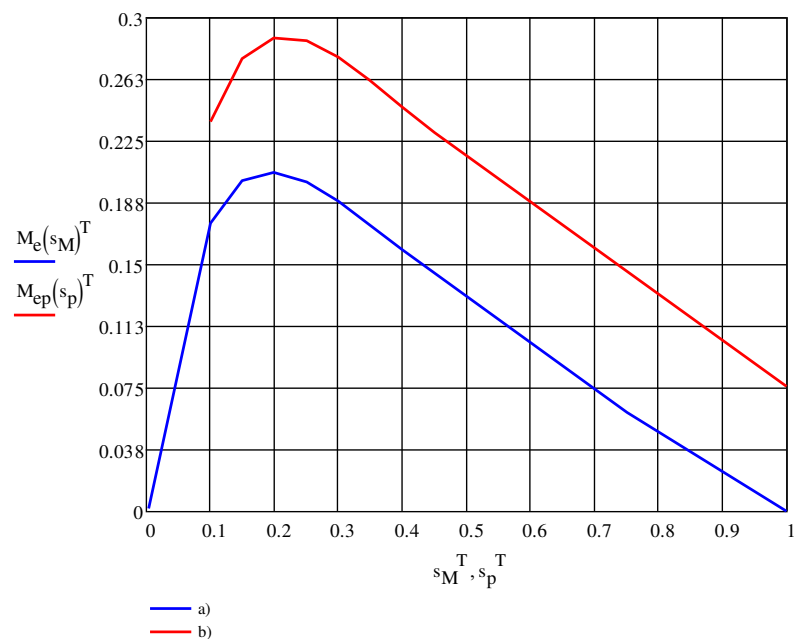


Fig. 22. Caracteristicile de pornire ale motorului asincron cu o singură fază:
a) caracteristica $M_e = f(s)$ în timpul funcționării motorului asincron;
b) caracteristica $M_e = f(s_p)$ în timpul pornirii motorului asincron.

Pentru analiza funcționării motorului asincron cu o singură fază la o sarcină variabilă a fost ridicată caracteristica mecanică.

Din figura 21 se observă că caracteristica mecanică a motorului asincron cu o fază este suficient de rigidă pentru funcționarea motorului în sarcină. Aceasta dovedește că atare tip de motor poate fi utilizat cu succes la antrenarea mecanismelor care au caracteristica de sarcină de tip pompă sau ventilator.

Analizând parametrii motorului în procesul de pornire au fost ridicate caracteristicile de pornire în formă grafică (figura 22). Aceste caracteristici sunt analogice caracteristicilor de pornire a motorului asincron monofazat cu condensator de pornire, care are cuplu mare la pornire și este utilizat pe larg în diferite echipamente electrice alimentate cu tensiune monofazată.

Testarea motorului asincron cu o singură fază a fost efectuată la standul de laborator din cadrul Departamentului Inginerie Electrică (figura 23). Arborele motorului asincron cu o singură fază a fost cuplat cu arborele unui motor universal, care era utilizat în calitate de sarcină. Scopul testărilor a constat în studierea pornirii și funcționării în regim de mers în gol și regim de sarcină a motorului asincron cu o singură fază. În rezultatul încercărilor s-a construit caracteristica de

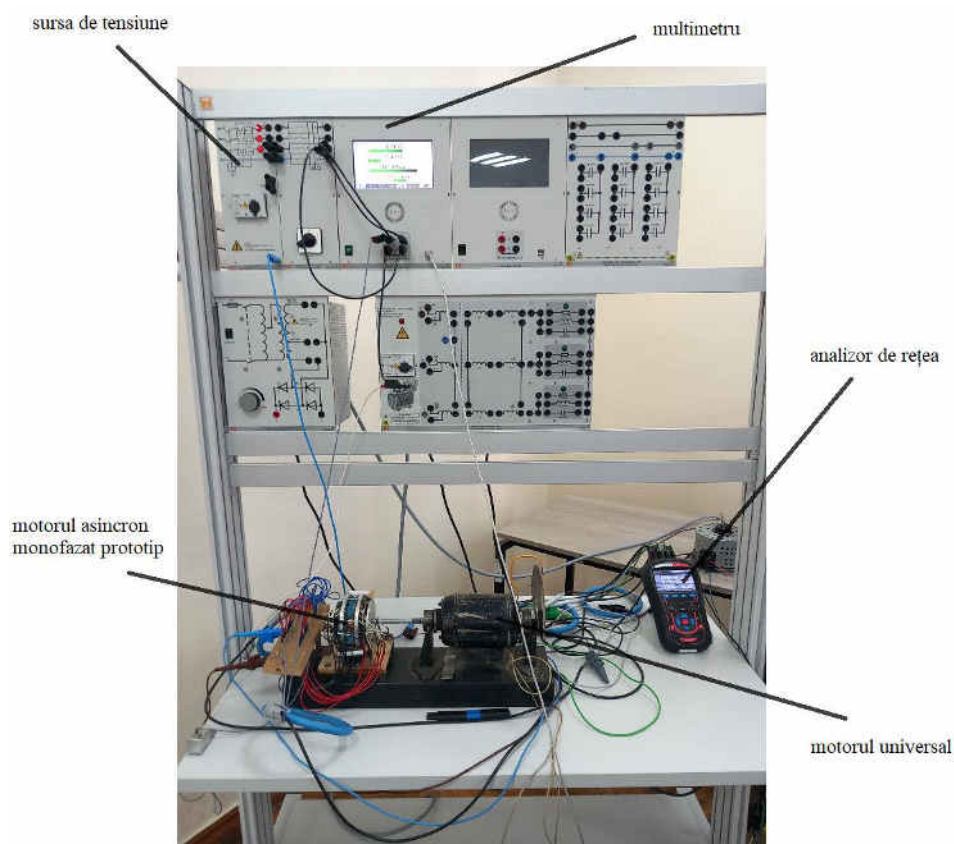


Fig. 23. Standul de testare a prototipului motorului asincron cu o singură fază.

funcționare și caracteristica mecanică a prototipului motorului asincron cu o singură fază. Totodată, au fost determinate pierderile magnetice și cele mecanice, fiind construită caracteristica de separare a pierderilor, utilizând datele colectate în regim de mers în gol.

Testarea în regim de mers în gol s-a realizat cu scopul de a ridica caracteristicile de mers în gol I_0 , ΔP_0 și $\cos\varphi_0 = f(U_0)$. Totodată, s-a determinat valoarea curentului și pierderilor de putere în regim de mers în gol la tensiunea nominală. Testarea a început de la valoarea nominală $U_{1n} = 230$ V, fiind micșorată treptat tensiunea aplicată la înfășurarea statorică și finalizând cu cea mai mică posibilă valoare a tensiunii, pentru care turațiile motorului nu s-au modificat semnificativ.

Conform datelor înregistrate s-au construit caracteristicile de mers în gol ale motorului asincron cu o singură fază reprezentate în figura 24.

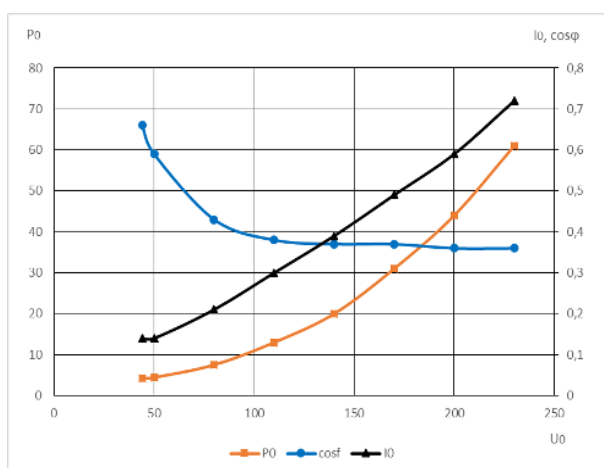


Fig. 24. Caracteristicile în regim de mers în gol ale motorului asincron cu o singură fază.

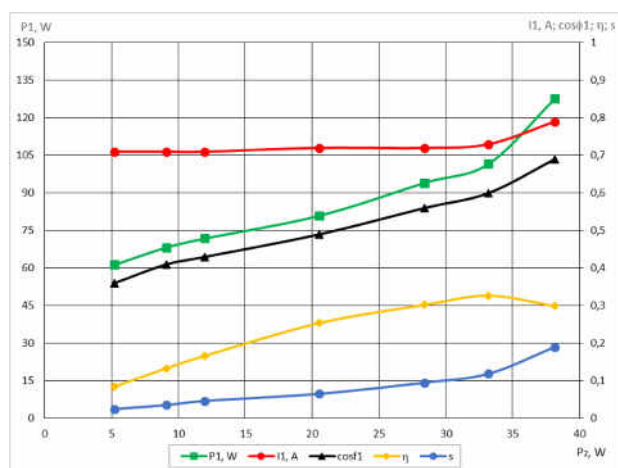


Fig. 25. Caracteristicile de funcționare ale prototipului motorului asincron cu o singură fază.

În procesul de funcționare a motorului asincron cu o singură fază a fost modificată sarcina la arbore, începând cu o sarcină mică până la sarcina nominală (figura 23). Caracteristicile de funcționare au fost ridicate la tensiunea de rețea constantă 230 V și frecvența $f_1 = f_n = 50$ Hz constantă.

În corespundere cu datele înregistrate în timpul testării motorului asincron cu o singură fază au fost construite caracteristicile de funcționare ale acestuia reprezentate în figura 25 și caracteristica mecanică (figura 26).

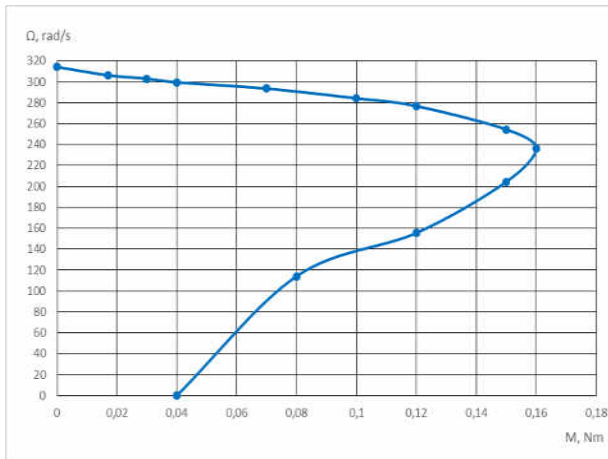


Fig. 26. Caracteristica mecanică a prototipului motorului asincron cu o singură fază.

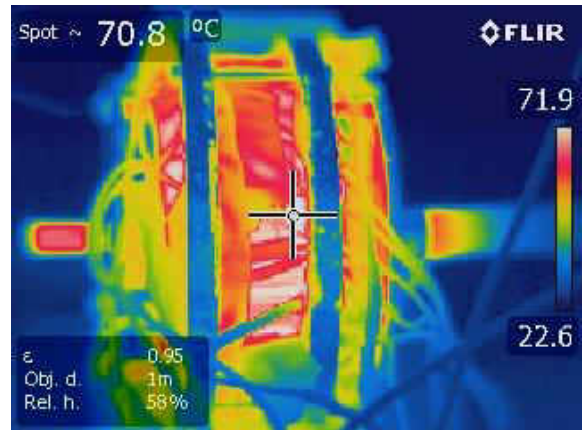


Fig. 27. Portretul termic al prototipului motorului asincron cu o singură fază.

În rezultatul efectuării încercării în regim de sarcină a prototipului motorului asincron monofazat cu o singură fază s-au determinat pierderile electrice din înfășurarea statorică și rotorică pentru stabilitatea termică a motorului la temperatura $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (figura 27):

Cunoscând toate pierderile din prototipul motorului asincron cu o singură fază a fost determinat randamentul motorului și elaborată diagrama energetică a motorului dat reprezentată în figura 28.

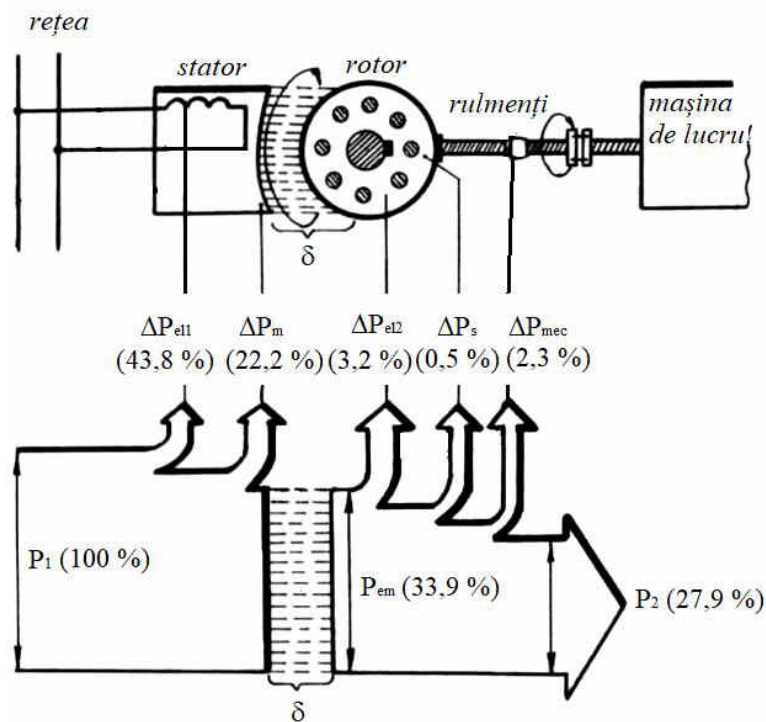


Fig. 28. Diagrama energetică a prototipului motorului asincron cu o singură fază.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Lucrarea de față reprezintă o contribuție semnificativă la dezvoltarea tehnologiilor asociate motoarelor asincrone monofazate, abordând problema optimizării pornirii acestora fără utilizarea unor elemente auxiliare externe. În cadrul tezei, toate obiectivele formulate inițial au fost atinse cu succes.

1. Studiul a arătat că motoarele asincrone monofazate clasice se confruntă cu limitări importante, precum lipsa unui cuplu de pornire adecvat și dependența de elementele auxiliare (de exemplu, condensatorii). Cercetarea a identificat aceste probleme și a propus soluții inovatoare pentru reducerea complexității.

2. S-a constatat că motorul asincron cu o singură fază cu o parte a înfășurării scurtcircuitate în procesul pornirii (figura 2) reprezintă o soluție promițătoare pentru simplificarea construcției și reducerea costurilor, asigurând în același timp un cuplu de pornire, contribuind astfel la creșterea utilizării acestora în diverse aplicații. Schema constructivă a motorului (figura 2) reprezintă avantajele în comparație cu construcțiile clasice prin utilizarea cu 30% mai puțin a cuprului pentru înfășurări, deoarece pe statorul motorului asincron este montată o singură înfășurare în $\frac{2}{3}$ din creștături.

3. A fost elaborat modelul matematic pentru motorul asincron cu o singură fază (figura 2) în sistemul de coordonate α, β (figura 13). Modelul matematic elaborat a condiționat dezvoltarea modelului pe calculator și realizarea simulărilor în mediul MATLAB/SIMULINK. Cu ajutorul simulărilor s-a demonstrat eficiența modelului pentru optimizarea configurației electromagnetice a motorului asincron cu o singură fază.

În urma analizei rezultatelor modelării s-a constatat că la modificarea numărului de spire ale bobinei scurtcircuitate a înfășurării statorice valoarea cuplului electromagnetic în regim staționar, până la deconectarea bobinei scurtcircuitate, este mai mare cu aproximativ 30% în cazul raportului de scurtcircuitare $k = 0,125$ (figura 16).

4. Rezultatele modelării 2D în soft-ul FEMM ale circuitului magnetic al motorului asincron cu o singură fază în regim de pornire (figura 18) și regim de funcționare a demonstrat corectitudinea calculelor pentru determinarea unghiului axelor fluxurilor magnetice.

5. În urma analizei comparative a parametrilor de funcționare în regim nominal ai motorului asincron cu o singură fază obținuți pe cale experimentală și pe cale analitică s-au constatat abateri ale aceleiași valori a cuplului util $M_u = 0,1$ [Nm]. Puterea utilă diferă cu $P_u =$

8,6%, randamentul diferă cu $\eta = 18\%$, factorul de putere cu $\cos\varphi = 15\%$, iar alunecarea cu $s = 9\%$. Toate aceste abateri sunt în detrimentul modelului fizic.

S-a constatat că caracteristicile de pornire (figura 22) ale motorului asincron cu o singură înfășurare și o parte a spirelor scurtcircuitată sunt similare caracteristicilor motorului asincron monofazat cu condensator.

7. Pentru determinarea pierderilor electrice în regim nominal, motorul asincron cu o singură fază a funcționat până la punctul de stabilitate termică ($t = 70^{\circ}\text{C}$) (figura 27) și s-a constatat că pierderile electrice în înfășurarea statorică reprezintă 43,8% din puterea consumată.

În urma testărilor s-a constatat că caracteristica mecanică $\Omega = f(M_u)$ a motorului asincron cu o fază este suficient de rigidă ($\Delta\Omega = 7\%$) pentru funcționarea motorului în sarcină (figura 26). Aceasta dovedește că acest tip de motor poate fi utilizat cu succes la antrenarea mecanismelor care au caracteristica de sarcină de tip pompă sau ventilator.

Limitele rezultatelor obținute:

1. Randamentul prototipurilor este încă relativ scăzut comparativ cu soluțiile comerciale, dar există oportunități de îmbunătățire prin utilizarea unor materiale avansate.

2. Lipsa testărilor în condiții conform standardelor.

Limitările identificate deschid noi oportunități de cercetare, consolidând potențialul aplicativ al soluțiilor propuse.

Din această lucrare derivă următoarele **sugestii privind cercetările de perspectivă** cu caracter științific și aplicativ:

1. Investigarea materialelor magnetice avansate pentru creșterea eficienței.

2. Studiarea sistemului magnetic statoric și rotorice al prototipului motorului asincron cu o singură fază în vederea optimizării dimensiunilor geometrice și parametrilor de funcționare.

BIBLIOGRAFIE

1. TODOS, Petru, NUCA, Ilie, CHICIUC, Andrei, CAZAC, Vadim, **BURDUNIUC, Marcel**. *Electromechanical engineering education and science in Republic of Moldova*. The 3th International Conference On Electrical Engineering And Systems (ICEES). 21 – 23 September 2022, Reșița, Romania. ISSN-v online: 2734-7680, ISSN-L: 2734-7680. VOL.67, No.1, 2022, pp. 256-267; (Revista UBB-Cluj, categoria B+, conform http://studia.ubbcluj.ro/serii/engineering/eval_en.html. Disponibil: http://www.studia.ubbcluj.ro/download/pdf/engineering/2022_1/25.pdf), DOI: 10.24193/subbeng.2022.1.25.
2. BOLDEA, I. *Transformatoare și mașini electrice*. Editura Politehnica, Timișoara, 2014.
3. KARAKAEV, A.B., KOSTENKO, A.V. *Development of a methodology for calculating and designing a single-phase asynchronous electric motor without external phase-shifting devices for ship automation systems using a mathematical model obtained using experimental planning methods*, Marine Intellectual Technologies, Issue 4, Page79-85, Part1, 2021.
4. PIROI, I. *Mașini electrice*, Editura Eftimie Murgu, Reșița, 2009.
5. ПОКРОВСКИЙ, С. В. *Однофазный электродвигатель с расщепленными полюсами*. Изобретения 527802 (11) Н 02 К 17/04. Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова. Опубликовано 05.09.76.
6. ПОКРОВСКИЙ, С. В., ВЛАДИМИРОВ, Э. В. *Однофазный асинхронный электродвигатель*. Изобретения 418938 (11) Н 02 К 17/04. Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова. Опубликовано 05.03.74.
7. LOPUHINA, E. M., SOMIHINA, G. S. *Rasciot asinhronih microdvigatelei odnofaznogo i trefaznogo toca*, Moskva, 1961.
8. DEACONU, Sorin. *Mașini electrice de curent alternativ. Elemente fundamentale*. Editura Politehnica, Timișoara, 2008. ISBN 978-973-625-738-4, p. 155.
9. AMBROS, T., SIMION, A., IAZLOVEȚCHI, L. *Optimizarea procedurii de pornire al motorului asincron monofazat*. Internațional ELECTRO 96, Chișinău, Editura Tehnică, vol.I, 1997.
10. AMBROS, T., IAZLOVEȚCHI, L. *La modele mathematique du moteur asincrone a une seule phase*. Applied Sciences in electromecanical Energy conversion, Bucharest, România, november 3 – 7 1998.

11. AMBROS, T., **BURDUNIUC, M.**, IAZLOVEȚCHI, L. *Pornirea și reglarea vitezei motoarelor asincrone monofazate*. Lucrările Conferinței Internaționale SIELMEN 2001, Chișinău, 4-6 octombrie 2001, p.117-120, ISBN 9975-9638-6-2.
12. **BURDUNIUC, M.** *The starting of single-phase engine, physical processes and theoretical premises*. Inginerie Electrică și Convertoare Electrice, Suceava, România, Buletinul AGIR nr.4/2013 octombrie-decembrie, p. 247-252, ISSN-L 1224-7928.
13. **BURDUNIUC, M.**, AMBROS, T. *The start of asynchronous engine without phase shift element*. Inginerie Electrică și Convertoare Electrice, Suceava, România, Buletinul AGIR nr.4/2013 octombrie-decembrie, p. 243-246, ISSN-L 1224-7928.
14. AMBROS, T., IAZLOVEȚCHI, L., BEJAN, V. *Mathematic model of the asynchronous one-phased electromotor*. 5th International Conference on optimization Electric and Electronic equipments, Brașov, 1996.
15. AMBROS, T., IAZLOVEȚCHI, L., OLHOVSCHI, V. *Comparative analysis of the mathematical model of the one-phased induction motor with non-traditional starting method*. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, 1999, tom. XLV(IL), Fase. 5 c., Ed.: Universitatea Tehnică Gh. Asachi, Iași, România, p.71-75, ISBN 0258-9100 – 0,25 c.a
16. **BURDUNIUC, Marcel**, NUCA, Ilie, CAZAC, Vadim, AMBROS, Tudor et al. *Magnetic Field Analysis in Asynchronous Motors with Six-Phase Windings*. Conferința Națională de Acționări Electrice CNAE-2022. 12-13 mai 2022, Timișoara. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. ISSN: 1584-2665 [print]; ISSN: 1584-2673 [online]. Tome XX [2022] Fascicule 3 [2022], pp. 55 – 60; (Revista UPT, categoria B+, conform <https://annals.fih.upt.ro/indexes.html>. Disponibil: <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2022/ANNALS-2022-3-07.pdf>)
17. AMBROS, Tudor, **BURDUNIUC, Marcel**. *The Magnetic Field of Asynchronous Machines with Concentrated Winding*. 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, October 20-22, 2016 Faculty of Electrical Engineering, Iasi, Romania, Electronic ISBN: 978-1-5090-6129-7, p. 161-164.
18. AMBROS, Tudor. *Proiectarea mașinilor electrice*. Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, 2017, p. 210.
19. VLAD, I. et al. *Optimisation of losses in asynchronous motors for general use*, Conferința Națională de Acționări electrice, ediția XVI, Suceava 2012, Buletinul AGIR, anul XVII, nr. 4, octombrie–decembrie, Editura AGIR, 2012.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZEI

Articole în reviste științifice

1. AMBROS, Tudor, BURDUNIUC, Marcel, DEACONU, Sorin Ioan, RUJANSCHI, N.. *Electromechanical converters for electric vehicles*. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol.294, Issue 1, 10-12 mai 2017, Taipei. Bristol, UK: Institute of Physics Publishing, 2018, pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/294/1/012058>
2. AMBROS, Tudor, BURDUNIUC, Marcel, IAZLOVEȚCHI, Leonid, IAZLOVEȚCHI, Maria. *Method of the parameters determination of the asynchronous motor*. In: Sielmen Proceedings of the 11th international conference on electromechanical and power systems. Ediția 11, 11-13 octombrie 2017, Iași. New Jersey, SUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 151-154. ISBN 978-153861845-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123314>
3. IAZLOVEȚCHI, Leonid, BURDUNIUC, Marcel, IAZLOVEȚCHI, Maria, RUJANSCHI, Dumitru. *Simulation of asynchronous motor tests on the simpowersystems program base*. In: Sielmen Proceedings of the 11th international conference on electromechanical and power systems. Ediția 11, 11-13 octombrie 2017, Iași. New Jersey, SUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 147-150. ISBN 978-153861845-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123315>
4. AMBROS, Tudor, BURDUNIUC, Marcel. *Phase Shift Elements Used to Start Single Phase Induction Motor*. In: Sielmen Proceedings of the 13th international conference on electromechanical and power systems. Ediția 13, 9-11 octombrie 2019, Craiova. New Jersey, SUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, p. 357-361. ISBN 978-9975-108-99-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905830>

Articole în reviste din străinătate recunoscute

1. AMBROS, T., BURDUNIUC, M., URSATII, N. *Fluxes and dispersion reactances of the asynchronous machine*. 9th World Energy System Conference, june 28-30 2012 Suceava, Romania, Buletinul AGIR nr.2/2012, pp. 335-340, ISSN-L 1224-7928. <http://www.agir.ro/buletine/1404.pdf>
2. BURDUNIUC, M., AMBROS, T. *The start of asynchronous engine without phase shift element*. Inginerie Electrică și Convertoare Electrice, Suceava, România, Buletinul AGIR nr.4/2013 octombrie-decembrie, pp. 243-246, ISSN-L 1224-7928. <https://www.buletinulagir.agir.ro/articol.php?id=1842>
3. BURDUNIUC, M. *The starting of single-phase engine, physical processes and theoretical premises*. Inginerie Electrică și Convertoare Electrice, Suceava, România, Buletinul AGIR nr.4/2013 octombrie-decembrie, p. 247-252, ISSN-L 1224-7928. <https://www.buletinulagir.agir.ro/articol.php?id=1843>
4. TODOS, Petru, Ilie, NUCA et al. *Electromechanical Engineering Education and*

Science in Republic of Moldova. The 3th International Conference On Electrical Engineering And Systems (ICEES). 21–23 September 2022, Reșița, România
ENGINEERING – The Journal of the Faculty of Engineering at Reșița, Babeș-Bolyai University from Cluj-Napoca. Studia Engineering - ISSUE no. 1/2022. DOI: 10.24193/subbeng.2022.1.25, pp. 256-267.
http://www.studia.ubbcluj.ro/download/pdf/engineering/2022_1/25.pdf

5. BURDUNIUC, Marcel, Ilie, NUCA et al. *Magnetic Field Analysis in Asynchronous Motors with Six-Phase Windings*. Conferința Națională de Acționări Electrice CNAE-2022. 12-13 mai 2022, Timișoara. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. ISSN: 1584-2665 [print]; ISSN: 1584-2673 [online]. Tome XX [2022] Fascicule 3 [2022], pp. 55–60; Disponibil: <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2022/ANNALS-2022-3-07.pdf>

Articole în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

1. AMBROS, T., BURDUNIUC, M., GULPESCU, D. *Processus électrodynamiques dans le moteur asynchrone, monophasé, court-circuité d'une commutateur*. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tom XLVIII(LII), Fase-5c, Electrical Machines, 2002, pp. 79-84, Ed.: Universitatea Tehnică Gh. Asachi, Iași, România, ISSN 0258-9109
2. AMBROS, Tudor, BURDUNIUC, Marcel. *Forțele de Interacțiune Dintre Părțile Frontale ale Înfășurărilor Mașinilor Electrice*. In: Sielmen Proceedings of the 10th international conference on electromechanical and power systems. Ediția 10, 6-9 octombrie 2015, Craiova. Craiova, România: Editura ALMA, 2015, pp. 278-281. ISBN 978-606-567-284-0. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/64921
3. AMBROS, Tudor, BURDUNIUC, Marcel. *The magnetic field of asynchronous machines with concentrated winding*. In: International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering. Ediția a 9-a, 20-22 octombrie 2016, Iași. New Jersey, SUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016, pp. 161-164. ISBN 978-150906129-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781325>

Articole în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

1. AMBROS, T., BURDUNIUC, M., IAZLOVEȚCHI, L. *Pornirea și reglarea vitezei motoarelor asincrone monofazate*. Lucrările Conferinței Internaționale SIELMEN 2001, Chișinău, 4-6 octombrie 2001, pp. 117-120, ISBN 9975-9638-6-2
2. AMBROS, T., BURDUNIUC, M. *Motor asincron monofazat cu perii magnetice*. Proceedings of the 9th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2013, October 17-18 2013 Chișinău, pp. 257-260, ISBN 978-606-13-1560-4, Editura PIM Iași, România

Articole în lucrările conferințelor științifice naționale

1. AMBROS, T., BURDUNIUC, M. *Noi posibilități de reglare a vitezei motoarelor asincrone monofazate*. Conferința Națională de Energetică CNE-M-2000, Chișinău 19-21 octombrie 2000, Culegere de lucrări, Ediția a II-a, Vol. II, 2000, pp. 23-26, Ed.: UTM Chișinău, ISBN 9975-63-024-3

ADNOTARE

Autor – BURDUNIUC Marcel. **Titlul** – *Contribuții la dezvoltarea motoarelor asincrone monofazate fără elemente externe de defazare*. Teză de doctor pentru conferirea titlului de doctor în științe inginerești la specialitatea 222.01 – *Dispozitive și echipamente electrotehnice*. Chișinău, 2025.

Structura tezei: lucrarea conține introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 107 titluri, 120 pagini text de bază, 82 figuri și 9 tabele, 6 anexe. Rezultatele obținute sunt publicate în 19 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: motor asincron monofazat, elemente de defazaj, înfășurare divizată, comutator electromagnetic, modelare matematică, metoda elementelor finite.

Scopul lucrării: dezvoltarea bazei teoretice, metodologiei de proiectare și topologiei motoarelor asincrone monofazate fără elemente auxiliare externe de pornire și reglare a vitezei.

Obiectivele lucrării: analiza situației actuale privind motoarele asincrone monofazate, elaborarea schemelor constructive pentru asigurarea pornirii motorului monofazat fără elemente externe de defazaj, elaborarea metodologiei de proiectare a motoarelor asincrone monofazate cu o parte a înfășurării statorice scurtcircuitată, studiul proceselor fizice în regim tranzitoriu de pornire a acestor motoare cu ajutorul modelării matematice, testarea prototipului motorului asincron cu o singură fază.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării constă în dezvoltarea teoriei fundamentale a motoarelor asincrone cu o singură fază fără elemente auxiliare externe de pornire și reglare a vitezei unghiulare.

Rezultatul obținut care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante constă în *elaborarea metodologiei de proiectare a motoarelor asincrone cu o singură fază*, fapt ce a avut ca efect obținerea unei scheme constructive fiabile și avantajoase din punct de vedere tehnologic.

Importanța teoretică a lucrării constă în contribuția la dezvoltarea teoriei mașinilor asincrone monofazate de mică putere studiată la cursuri de către studenți.

Valoarea aplicativă a lucrării rezidă în faptul că motoarele asincrone monofazate sunt elementele principale de transformare a energiei electrice în energie mecanică în acționările electrice utilizate în procesele tehnologice.

Implementarea rezultatelor științifice: rezultatele cercetărilor efectuate au fost expuse la seminare, conferințe științifice, naționale și internaționale, simpozioane, expoziții. Prototipul elaborat este studiat în cadrul lucrărilor de laborator la cursul *Mașini speciale*.

АННОТАЦИЯ

Автор – БУРДУНЮК Марчел. **Название** – *Вклад в развитие однофазных асинхронных двигателей без внешних фазосдвигающих элементов*. Докторская диссертация на присуждение звания доктора технических наук по специальности. 222.01 – *Электротехнические устройства и оборудование*. Кишинев 2025.

Структура диссертации: Работа содержит введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиографический список из 107 наименования, 6 приложения, 120 страниц, 82 рисунков и 9 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 19 научных статьях..

Ключевые слова: однофазный асинхронный двигатель, фазосдвигающие элементы, разделенная обмотка, электромагнитный переключатель, математическое моделирование, метод конечных элементов.

Цель работы: Разработка теоретических основ, методики проектирования и топологии однофазных асинхронных двигателей без внешних вспомогательных элементов пуска и регулирования скорости.

Задачи работы: Анализ текущей ситуации в сфере однофазных асинхронных двигателей, разработка схем построения, обеспечивающих пуск однофазного двигателя без внешних фазосдвигающих элементов, разработка методов проектирования однофазных асинхронных двигателей, анализ схем построения с помощью математического моделирования и исследование физических процессов, происходящие в электрической машине, испытания прототипа однофазного асинхронного двигателя.

Научная новизна и оригинальность работы заключается в разработке фундаментальной теории однофазных асинхронных двигателей без внешних вспомогательных средств пуска и регулирования угловой скорости.

Решенную важную научную задачу демонстрирует разработка метода проектирования однофазных асинхронных двигателей с достижением надежной и выгодной конструктивной схемы с технической точки зрения.

Теоретическая значимость работы очевидна из вклада в развитие теории однофазных асинхронных машин малой мощности, которую изучают на курсах студенты.

Прикладная ценность работы обусловлена тем, что однофазные асинхронные двигатели являются основными элементами преобразования электрической энергии в механическую в электроприводах.

Внедрение научных результатов. Результаты проведенных исследований были представлены и выставлены на семинарах, научных республиканских и международных конференциях, симпозиумах, выставках. Прототип однофазного асинхронного двигателя с короткозамкнутой одной стороной статорной обмотки изучается и исследуется в лаборатории студентами курса „Специальные машины”.

ANNOTATION

Author – BURDUNIUC Marcel. **The title** – *Contributions to the development of single-phase asynchronous motors without external phase-shifting elements*. Doctoral thesis for the award of the title of Doctor of Engineering Sciences in the specialty 222.01 – *Electrotechnical devices and equipment*. Chisinau 2025.

Thesis structure: The work contains the introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 102 titles, 6 annexes, 120 pages, 82 figures and 9 tables. The obtained results are published in 19 scientific works.

Keywords: single-phase asynchronous motor, phase shifter elements, split winding, electromagnetic switch, mathematical modeling, finite element method.

The aim of the work: Development of the theoretical basis, design methodology and topology of single-phase asynchronous motors without external auxiliary elements for starting and speed regulation.

Objectives of the work: analysis of the current situation regarding asynchronous single-phase motors, the development of construction schemes to ensure the start of the single-phase motor without external phase-shifting elements, the development of design methods for single-phase asynchronous motors, the analysis of construction schemes by mathematical modeling and the study of the physical processes that take place in the electric machine, the testing of the single-phase asynchronous motor prototype.

The scientific novelty and originality of the work consists in developing the fundamental theory of single-phase asynchronous motors without external auxiliaries for starting and angular speed regulation.

The obtained result that contributes to solving an important scientific problem consists in the elaboration of the design methodology of single-phase asynchronous motors, which resulted in obtaining a reliable and technologically advantageous constructive scheme.

The theoretical importance of the work is evident from the contribution to the development of the theory of low-power single-phase asynchronous machines, which is studied in classes by the students.

The applicative value of the work it derives from the fact that single-phase asynchronous motors are the main elements for transforming electrical energy into mechanical energy in electrical drives.

Implementation of scientific results: The results of the conducted research were presented and exhibited at seminars, national and international scientific conferences, symposia, exhibitions. The single-phase asynchronous motor prototype is studied and researched in the laboratory in the Special Machines course.

BURDUNIUC MARCEL

**CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA MOTOARELOR ASINCRONE
MONOFAZATE FĂRĂ ELEMENTE EXTERNE DE DEFAZARE**

222.01 – DISPOZITIVE ȘI ECHIPAMENTE ELECTROTEHNICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: 16.01.2025

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie offset. Tipar RISO

Tiraj 50 ex.

Coli de tipar: 2.25

Comanda nr. 08

MD-2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168, UTM

MD-2045, Chișinău, str. Studenților 9/9, Editura „Tehnica-UTM”

© UTM, 2025