



Universitatea Tehnică a Moldovei
Programul de masterat **Inginerie Electrică**

STUDIUL EXPERIMENTAL AL MAȘINII DE INDUCȚIE HEXAFAZATE CU CONVERTOR DE FRECVENȚĂ

Teză de master

Masterand: Mihai GUTU

Conducător: dr.prof.univ. Petru TODOS

Chișinău – 2021

Rezumat

Teza conține: 74 pagini, 17 ilustrații, 41 tabele, 31 surse bibliografice.

Cuvinte cheie: motor, hexafazat, inducție, cuplu.

Obiect de studiu: Studiul motorului hexafazat.

Obiective generale:

1. Încercarea mașinei de inducție hexafazată în regim de funcționare în/fără sarcină, alimentat de la o sursă de tensine sinusoidală reglabilă și de la un convertor de frecvență reglabilă.
2. Executarea încercărilor, înregistrarea rezultatelor.
3. Determinarea caracteristicilor de funcționare.
4. Determinarea pierderilor, calculul randamentului.

Scopul general al proiectului:

Scopul tezei constă în studiul mașinei hexafazate de inducție, perspectiva utilizării acesteia în în sisteme de tracțiune – troleibuz, alimentat de la un convertor de frecvență.

Capitol 1 - Analiza standardelor pentru încercări de acceptare a mașinilor de inducție multifazate.

Capitol 2 – Elaborarea programului de încercări: categoriile și volumul de testări; standardele aplicate.

Capitol 3 – Elaborarea metodologiei de încercări: metode, determinarea parametrilor mașinii asincrone, trasarea caracteristicilor.

Capitol 4 – Încercarea motorului hexafazat de inducție în regim de funcționare în/fără sarcină. Determinarea pierderilor, randamentului mașinii. Analiza datelor experimentale și trasarea caracteristicilor de funcționare.

Abstract

The thesis contains: 74 pages, 17 illustrations, 41 tables, 31 bibliographic sources.

Keywords: motor, hexaphase, induction, torque.

Study object: Study of the hexaphase motor.

General objectives:

1. Test of the hexaphase induction machine in on / off mode, powered by an adjustable sinusoidal voltage source and an adjustable frequency converter.
2. Execution of tests, recording of results.
3. Determination of operating characteristics.
4. Determining losses, calculating yield.

The general purpose of the project:

The aim of the thesis is to study the hexaphase induction machine, the perspective of its use in traction systems - trolleybus, powered by a frequency converter.

Chapter 1 - Analysis of standards for acceptance tests of multiphase induction machines.

Chapter 2 - Development of the test program: categories and volume of tests; applied standards.

Chapter 3 - Development of test methodology: methods, determination of asynchronous machine parameters, tracing of characteristics.

Chapter 4 - Testing the hexaphase induction motor in an on / off load mode. Determining the losses and efficiency of the machine. Analysis of experimental data and tracing of operating characteristics.

CUPRINS

INTRODUCERE	5
1 STANDARDELE PENTRU ÎNCERCĂRI DE ACCEPTARE	7
1.1 Generalități.....	7
1.2 Încercarea mașinilor de inducție multifazate.....	7
1.3 Descrierea mostrei experimentale.....	11
2 PROGRAMUL DE ÎNCERCARE – STRUCTURA GENERALĂ	13
2.1 Generalități.....	13
2.2 Categoriile de testare/încercare a mașinilor electrice la diferite etape ale procesului de elaborare și fabricare.....	13
2.3 Standarde aplicate în domeniul testării mașinilor electrice de tracțiune de tip asincron.....	14
2.4 Programul și volumul testărilor/încercărilor.....	21
3 ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE. METODOLOGIA ÎNCERCĂRILOR	26
3.1 Determinarea parametrilor mașinii de curent alternativ în baza încercărilor experimentale.....	26
3.1.1 Schema electrică echivalentă a mașinii de inducție.....	26
3.1.2 Încercări la funcționarea mașinii de inducție în regim fără sarcină (mers în gol).....	28
3.1.3 Încercare în regim de scurt circuit.....	30
3.1.4. Determinare parametrilor conturului rotoric în baza rezultatelor încercării în regim de sarcină.....	34
3.2. Metode standarde de determinare a eficienței energetice a motorului asincron multifazat în baza rezultatelor încercărilor experimentale.....	35
3.2.1 Însușirea pierderilor	35
3.1.1 Pierderile totale reprezintă suma următoarelor pierderi elementare.....	35
3.2.2. Determinarea pierderilor elementare	36
3.2.3 Determinarea experimentală a pierderilor.....	37
3.2.3.1 Metoda 2-3-A. Însușirea pierderilor la alimentarea motorului de la test-convertizor.....	37
3.2.3.2 Metoda 2-3-V. Însușirea pierderilor atunci când motorul este alimentat de la un convertor individual.....	39

3.3. Determinarea caracteristicilor specificate a mașinilor de tractiune.....	39
3.3.1 Caracteristici specificate.....	39
3.3.2 Caracteristici de bază.....	39
3.3.3 Caracteristici de performanță.....	39
3.3.4 Caracteristicile motoarelor de tracțiune.....	39
3.3.5 Caracteristicile motoarelor auxiliare.....	40
3.3.6 Înregistrarea caracteristicilor și toleranțe.....	40
4 REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR EXPERIMENTALE ȘI A PRELUCRĂRII ACESTORA	41
4.1 Executarea încercărilor, înregistrarea rezultatelor.....	41
4.1.1 Examinarea preventivă a motorului	41
4.1.2 Măsurarea rezistenței la curent continuu a înfășurărilor în stare rece.....	41
4.1.3 Încercarea motorului la regim de funcționare fără sarcină (mers în gol).....	41
4.1.4. Încercarea motorului la regim de funcționare în sarcină.....	45
4.2 Prelucrarea și analiza rezultatelor experimentale.....	49
4.2.1. Determinarea parametrilor schemei electrice echivalente a motorului.....	50
4.2.1.1 Determinarea parametrilor circuitului de magnetizare, R_m și X_m	50
4.2.1.2 Determinarea parametrilor circuitului rotoric.....	52
4.2.2 Schema electrică echivalentă parametrizată a motorului hexafazat.....	53
4.3 Determinarea pierderilor, calculul randamentului.....	54
4.3.1 Determinarea relațiilor pentru componentele pierderilor constante.....	54
4.3.2 Pierderile dependente de curentul de sarcină.....	61
4.3.3 Calculul randamentului.....	61
4.4 Determinarea caracteristicilor de funcționare.....	62
CONCLUZII	68
BIBLIOGRAFIE	69
ANEXE	70 - 82

INTRODUCERE

Motorul asincron, cu inducție este unul dintre motoarele de curent alternativ foarte importante și unul dintre cele mai utilizate. Ambele motoare cu inducție monofazate și trifazate sunt populare și utilizate pe scară largă datorită simplității, robusteții și performanței bune. Dar motoarele cu inducție multifazice (mai mult de trei) devin populare și au fost studiate de mulți ani datorită mai multor avantaje față de motoarele cu inducție trifazate convenționale sau motoarele cu inducție cu faze mai mici. Avantajele sunt o toleranță mai bună la erori, eficiență mai mare, undulație de curent mai mică, pulsație mai mică a cuplului, fiabilitate și facilitatea de a împărți o anumită cantitate de putere în mai multe faze. Această împărțire a puterii permite utilizarea dispozitivelor cu un rating mai mic în cazul aplicațiilor de mare putere. Motoarele multifazate sunt utilizate în cazul propulsiei navei, tracțiunii, vehiculelor electrice etc. unde este necesară putere și fiabilitate ridicată.

Unitățile multifazate sunt convenabile pentru aplicații de mare putere/curenți mari, deoarece permit reducerea curentului de fază pentru puterea nominală și tensiunea de fază date. În plus, ele posedă o capacitate inerentă de toleranță la erori datorită structurii lor redundante. Prin urmare, antrenările multifazate reprezintă o soluție promițătoare pentru aplicații critice din punct de vedere al siguranței, cum ar fi propulsia electrică a navelor, tracțiunea feroviară, vehiculele hibride/electrice, generarea de energie eoliană și alte aplicații. Mai mult, „gradele de libertate” suplimentare pot fi exploatate pentru încărcătoarele de baterii integrate. Deși literatura de specialitate raportează multe soluții de proiectare a mașinilor și tehnici de control pentru acționările multifazate, pătrunderea soluțiilor multifazate în electrificarea transporturilor și producția de energie este încă prea limitată.

Motoarele trifazate convenționale au fost utilizate pe scară largă în aplicații industriale. Totuși, dacă una dintre faze este pierdută, câmpul rotativ dispare și mașina se oprește. Drive-urile multifazice oferă îmbunătățirea fiabilității sistemului, care prezintă un mare interes în aplicații specializate, cum ar fi vehiculele electrice/hibride sau aplicațiile aerospațiale. Indiferent de numărul de faze pe care le are mașina multifazică, are nevoie de doar două grade de libertate pentru a genera un câmp rotativ. În consecință, dacă se pierde o fază, unitatea continuă să funcționeze, deși la valori nominale diferite. Din acest motiv, în ultimii ani există un interes din ce în ce mai mare pentru cercetarea mai multor probleme legate de utilizarea convertizoarelor multifazate ca alternativă potențială pentru sistemele trifazate convenționale. Acest lucru este valabil mai ales pentru unitățile cu motor cu inducție trifazat dublu și aplicațiile acestora. Această mașină de inducție are două seturi de înfășurări trifazate care sunt defazate spațial cu 30 de grade electrice.

Unele măsuri de transport sunt mult mai bune pentru sănătate decât altele. Un număr bogat de dovezi acumulate în ultimii 30 de ani indică faptul că reducerea călătoriilor private cu motor, creșterea transportului activ și a transportului public și îmbunătățirea amenajării terenurilor au beneficii mult mai mari pentru sănătate decât politicile care se concentrează doar pe îmbunătățirea vehiculelor și a combustibililor. Aceste strategii sunt complementare și ar trebui urmate concomitent, dar este nevoie de un accent mult mai mare pe îmbunătățirea utilizării terenurilor și pe schimbarea modului de călătorie. Țintele pentru reducerea călătoriilor private cu motor trebuie să fie mai ambițioase, iar atingerea acestor obiective va aduce beneficii substanțiale pentru sănătate. Evaluarea proiectelor de transport a neglijat sau subestimat adesea efectele transportului asupra sănătății și schimbărilor climatice, în timp ce indicatorii de transport au acordat adesea mai

multă atenție măsurilor axate pe mașini, cum ar fi nivelul de serviciu al drumurilor, decât măsurilor aplicabile transportului public și transportului activ.

Prezenta lucrare are intenția să contribuie la dezvoltarea metodelor de încercare experimentală a mașinilor hexafazate cu alimentare de la convertor care vor fi folosite în sistemele de propulsie a unităților de transport electric urban.

BIBLIOGRAFIE

1. Petru Todos, Ghenadie Terteia, Ilie Nuca, Vadim Cazac, Marcel Burduniuc, Acceptance Testing of the Six-Phase Asynchronous Machines
http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/18422/Conf_IEEE_SIELMEN_2021_p511_516.pdf?sequence=1
2. Iu. Rata, I. Nuca, D. Dimov, L`étude des priorités du moteur asynchrone hexaphasé déséquilibré, Proceedings of the 8th International Conference on ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS, October – 2011,
3. Huang, J., Kang, M., Yang, J., et al.: ‘Multiphase machine theory and its applications’. Int.Conf. on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Wuhan, China, 2008.
4. Levi, E., Barrera, F., Duran, M.J.: ‘Multiphase machines and drives-revisited’, IEEE Trans. Ind.Electron.
5. Schofield, N., Niu, X., Beik, O.: ‘Multiphase machines for electric vehicle traction’. IEEE Transportation Electrification Conf. and Expo (ITEC), Dearborn, USA, 2014.
6. Baltatanu, A., Florea, M.L.: ‘Multiphase machines used in electric vehicles propulsion’. Int. Conf. on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Pitesti, Romania, 2013.
7. IEC 60349-1:2010 Electric traction - Rotating electrical machines for rail and road vehicles - Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors.
8. IEC 60349-2:2010 Electric traction - Rotating electrical machines for rail and road vehicles - Part 2: Electronic converter-fed alternating current motors.
9. GOST 2582-2013 (Interstate). Rotating electrical traction machines for rail and road vehicles. General technical specifications. Date of updating the text: 01.01.2020 (In compliance with IEC 60349-1:2010 in terms of tests, IEC 60349-2:2010).
10. GOST 7217. Rotating electrical machines. Asynchronous motors. Test methods. Date of updating the text: 01.02.2020
11. IEC 60034-12 Rotating electrical machines - Part 12: Starting performance of single-speed three-phase cage induction motors.
12. IEC TS 60034-25:2014 Rotating electrical machines - Part 25: AC electrical machines used in power drive systems - Application guide.
13. IEC 61377-1 Railway applications – Rolling stock. Part 1: Combined testing of inverter-fed alternating current motors and their control system.
14. IEC 60034-2-3:2020 Rotating electrical machines - Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors.
15. GOST IEC/TS 60034-2-3-2015. Rotating electrical machines. Part. 2-3. Specific test methods for determining losses and efficiency of converter- fed AC motors. It is aligned to IEC/TS 60034-2-3-2020.