

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea de Energetică și Inginerie Electrică
Departamentul Inginerie Electrică

Admis la susținere

Șef departament:

Nuca Ilie dr.conf.

_____ 2022
„_____”

TEMA

PROIECTAREA ȘI ELABORAREA UNUI INVERTOR DE FRECVENȚĂ HEXAFAZAT

Teză de master

Masterand: _____ (**Damian Leonid**)

Conducător: _____ (**Cazac Vadim**)

Chișinău – 2022

Rezumat RO

Teza conține: 49 pagini, 32 ilustrații, 1 tabel, 33 surse bibliografice.

Cuvinte cheie: *invertor hexafazat, motor nesimetric, motor simetric, acționare electrică, IGBT, regulator, soft, microcontroler.*

Obiect de studiu: *Proiectarea invertorului hexafazat*

Scopul general al tezei: Proiectarea invertorului pentru acționarea unui motor hexafazat nesimetric destinat pentru utilizarea acestuia în domeni de acționare electrică modernă.

Actualitatea lucrării este demonstrată de necesitatea elaborării și adaptării sistemelor de acționare modernă, pentru motoarele electrice hexafazate ce pot fi utilizate ca element inovativ în domeniul tracțiunii electrice a vehiculelor, navelor maritime sau aeriene.

Memoriul explicativ include introducerea și 3 capitole.

Capitolul 1 conține o descriere succintă a tipurilor de sisteme pentru alimentarea motoarelor hexafazate.

Capitolul 2 este destinat descrierii tipurilor de motoare hexafazate după schema de conectare a înfășurărilor pe statorul acestora, metodele modern de comandă a motoarelor electrice. Modalităților de comandă și control a motoarelor electrice hexafazate dar și propunerea unei scheme de proiectare a unui invertor pe bază de elemente semiconductoare.

În capitolul 3 sunt prezentate etapele de proiectare a invertorului propriu-zis, elaborarea schemei bloc a meniului de comandă, elaborarea softului pentru microcontrolerul STM32. Lucrarea este însoțită de machete funcțional pentru care a fost elaborate circuitul cablajului imprimat, plachetele de montaj, carcasa și alte componente care la fel au fost reprezentate prin modele tridimensionale elaborate. La fel s-a executat simularea regimurilor de funcționare a motorului conectat la invertor pentru determinarea funcționalității acestuia, iar pentru interacțiune mai ușoară și aplicabilitate sporită a fost elaborate și prezentat meniul pentru interacțiune cu invertorul proiectat.

Rezumat EN

The thesis contains: 49 pages, 32 illustrations, 1 table, 33 bibliographic sources.

Keywords: hexaphase inverter, asymmetric motor, symmetrical motor, electric drive, IGBT, regulator, software, microcontroller.

Object of study: Design of the hexaphase inverter

The general purpose of the thesis: Design of the inverter to drive an asymmetric hexaphase motor intended for use in modern electric drive fields.

The topicality of the work is demonstrated by the need to develop and adapt modern drive systems for hexaphase electric motors that can be used as an innovative element in the field of electric traction of vehicles, ships or aircraft.

The explanatory memorandum includes the introduction and 3 chapters.

Chapter 1 contains a brief description of the types of systems for powering hexaphase motors.

Chapter 2 is intended to describe the types of hexaphase motors according to the wiring diagram on their stator, the modern methods of controlling electric motors. Ways of command and control of hexaphase electric motors but also the proposal of a scheme for designing an inverter based on semiconductor elements.

Chapter 3 presents the design steps of the inverter itself, the elaboration of the block diagram of the control menu, the elaboration of the software for the STM32 microcontroller. The work is accompanied by functional models for which the printed wiring circuit, mounting plates, housing and other components were developed, which were also represented by elaborate three-dimensional models. The simulation of the operating modes of the motor connected to the inverter was also performed to determine its functionality, and for easier interaction and increased applicability, the menu for interaction with the designed inverter was developed and presented.

CUPRINS

Rezumat RO	5
Rezumat EN	6
CUPRINS.....	7
Abrevieri.....	9
INTRODUCERE	10
1. SPECIFICAȚIA GENERALĂ A SISTEMELOR CU ȘASE FAZE A MAȘINILOR DE CURENT ALTERNATIV.....	11
1.1 Surse de tensiune cu șase faze și particularitățile acestora.....	12
1.2 Surse de tensiune cu șase faze pe elemente semiconductoare	15
2.1 Modalități de reglare a parametrilor electrici prin intermediul unui invertor	22
2.2 Analiza schemei optime pentru proiectarea invertorului cu șase faze	23
3. PROIECTAREA INVERTORULUI HEXAFAZAT	27
3.1 Elaborarea programului de comandă și contor a invertorului	27
3.2 Constituirea schemei bloc a meniului invertorului	29
3.3 Modelul FreeMASTER pentru acționarea electrică a motorului cu șase faze	35
3.4 Executarea modelului 3D a invertrului	39
CONCLUZII	43
BIBLIOGRAFIE.....	44

INTRODUCERE

În a doua jumătate a secolului al XIX-lea, mașină de curent continuu era practic utilizată în toate ramurile existente de automatizare, se presupunea în general că curentul alternativ, al cărui flux și magnitudine se schimbă de multe ori pe secundă, practic nu ar fi aplicat și că era necesitatea de generatoare de curent alternativ. Cu toate acestea, mulți oameni de știință și inventatori și-au dat seama că sursele de curent alternativ sunt mai simple și mai fiabile. În consecință, până la sfârșitul secolului al XIX-lea secolului, s-au efectuat cercetări semnificative pe sisteme monofazate, bifazate și trifazate de curent alternativ. Câmpul magnetic rotativ al unui sistem bifazic a fost descoperit de doi oameni de știință care lucrau independent: Ferrari din Italia, și Tesla din fosta Iugoslavia. Ambii oameni de știință au publicat aceste lucrări în 1888. Pentru a demonstra rotația câmpului magnetic, a fost construit un model de motor cu inducție în două faze. După descoperirea dată, adoptarea dispozitivelor de curent electric trifazat a devenit larg răspândită. Utilizarea sistemelor trifazate a fost accentuată și de Dolivo-Dobrovolsky care a dezvoltat un generator cu trei faze în 1888, un motor cu inducție cu un rotor de tip colivie în 1889 în timp ce lucra la Compania AEG. Aceasta a pus baza prin construirea primei linii de transport a energiei electrice trifazate de 170 km în 1891.

Multă vreme s-a crezut că sistemul de tensiune trifazat s-a întrunit în mod optim nevoile tuturor consumatorilor de energie electrică. Prin urmare, mai târziu sau inițiat cercetări asupra diferitelor studii teoretice și experimentale de utilizarea electrică cu curent alternativ cu patru, cinci și mai multe faze. Sistemul de tensiune în șase faze a fost introdus pentru prima dată în circuitele de redresare a curentului, întrucât creșterea numărului de faze reduce semnificativ ondulațiile în electricitate. Acest sistem de tensiune este din ce în ce mai utilizat în cercetarea diferitelor moduri de funcționare a mașinilor electrice cu curent alternativ multifazat. Investigații asupra mașinei de inducție în șase faze, s-au executat motoare cu înfășurări statorice simetrice și asimetrice cu motoare alimentate de invertoare multifazate. Au fost efectuate și unele studii folosind generatoare asincrone și sincrone în șase faze. Cele mai multe dintre aceste lucrări se ocupă de aspectele controlului mașinilor electrice în șase faze. Studiile finalizate dezvăluie că există unele avantaje ale mașinilor electrice cu șase faze față de mașinile trifazate. Cu toate acestea, procesul de creare a înfășurărilor în șase faze și parametrii mașinilor electrice investigate nu au fost explorați suficient, nici proprietățile electromagnetice ale unor astfel de înfășurări. În rezultatele existente, de asemenea, lipsește o comparație a parametrilor legați de energie în șase faze mașini față de parametri similari ai mașinilor trifazate. Lucrarea actuală analizează posibilitatea de executare a unor sisteme de acționare electrică performantă pentru diferite tipuri de înfășurări în șase faze pentru prezentarea parametrilor acestora. De asemenea, se vor propune rezultate legate de eficiența electromagnetică și factori de înfășurare pentru a le compara cu factorii corelați în înfășurările trifazate analogice.

BIBLIOGRAFIE

1. Ghid_Editare Teza masterat 2009 A.Chiciuc
2. Gârlaşu, Şt. – Convertoare statice, Universitatea „Eftimie Murgu” Reşiţa, Reşiţa, 1995
3. Slemon GR, Straughen A (1980) Electric machines. Addison- Wesley Publ. Comp, Reading.
4. Krause PC, Wasynczuk O, Sudhoff SD (1995) Analysis of electric machinery. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, McGraw-Hill, New York, p 564
5. Chapman SJ (2001) Electric machinery and power system fundamentals. McGraw-Hill, New York, p 333
6. Thomas JB (2005) Electromechanics of particles. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p 265
7. Saurabh KM, Ahmad SK, Yatendra PS (2015) Electromagnetics for electrical machines. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, p 421
8. Ivanov-Smolenskiy A (1988) Electrical machines, vol 1, 2. MIR Publishers, Moscow, p 400–464.
9. Livsic-Garik M (1959) Windings of alternating current electrical machines. Translated from English. Moscow Power Engineering Institute (MPEI), p 766
10. Kučera J, Gapl I (1963) Windings of rotating electrical machines. Translated from Czech, Czech Academy of Sciences, Prague, p 982
11. Zerve GK (1989) Windings of electrical machines. Energoatom-izdat Publishers, Leningrad, p 399
12. Singh GK, Pant V, Singh YK (2003) Stability analysis of a multi-phase (six-phase) induction machine. *Comput Electr Eng* 29:727–756
13. Vukosavic SN, Jones M, Levi E, Varga J (2005) Rotor flux oriented control of a symmetrical six-phase induction machine. *Electr Power Syst Res* 75:142–152. Subotica, Serbia and Montenegro
14. Kianinezhad R, Nahid B, Baghi L, Betin F, Capolino GA (2008) Modeling and control of six-phase symmetrical induction machine under fault condition due to open phases. *IEEE Trans Ind Appl* 55(5):1966–1977
15. Talaeizadeh V, Kianinezhad R, Seyfossadat SG, Shayanfar HA (2010) Direct torque control of six-phase induction motors using three-phase matrix converter. *Conversi Manage* 51:2482–2491
15. Singh GK, Singh D (2012) Transient analysis of isolated six-phase synchronous generator. *Indian Inst Technol* 14:73–80. Roorkeem India
16. Schreier L, Bendl J, Chomat M (2014) Analysis of IM with combined six-phase configuration of stator phase windings with respect to higher spatial harmonics. In: *Proceedings of international conference on electrical machines*, Berlin

17. Levi E. Editorial – Special Issue on Multi–Phase Motor Drives // EPE Journal, 2004. – Vol. 14, No. 3. – P. 4
18. Miranda R. S., Jacobina C. B., Lima A. M. N. Modeling and analysis of six–phase induction machine under fault condition // Power Electronics Conference (COBEP'09), 2009. – P. 824–830.
19. Bugenis S. J., Vanagas J., Gečys S. Optimal phase number of induction motor with the integrated frequency converter // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2008. – No. 8(88). – P.67–70.
20. Dobrucky B., Benova M., Spanik P. Using Complex Conjugated Magnitudes – and Orthogonal Park/Clarke Transformation Methods of DC/AC/AC Frequency Converter // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2009. – No. 5(93). – P. 29–34.
21. Ojo O., Davidson I. E. PWM–VSI inverter assisted stand– alone dual stator winding induction generator // Industry Applications Conference, 1999. Thirty–Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999. – Vol. 3. – P. 1573–1580
22. Rinkevičienė R., Petrovas A. Dynamic Modells of Controlled Linear Induction Drive // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 5(61). – P. 23–27.
23. B. Kundrotas, S. Lisauskas, R. Rinkeviciene. Model of Multiphase Induction Motor // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2011. – No. 5(111). – P. 111–114.
24. Holakooie MH, Ojaghi M, Taheri A. Modified DTC of a Six-Phase Induction Motor With a Second-Order Sliding Mode MRAS-Based Speed Estimator. IEEE Transactions On Power Electronics 2019; 34(1): 600-611.
25. Pandit JK, Aware VA, Nemade RV, Levi E. Direct Torque Control Scheme for a Six-Phase Induction Motor With Reduced Torque Ripple. IEEE Transactions On Power Electronics 2017; 32(9): 7118-7129.
26. Fnaiech MA, Betin F, Capolino GA, Fnaiech F. Fuzzy Logic and Sliding-Mode Controls Applied to Six-Phase Induction Machine With Open Phases. IEEE Transactions On Industrial Electronics 2010; 57(1): 354-364
27. http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/1328/Conf_UTM_2012_I_pg483-486.pdf?sequence=1&isAllowed=y
28. https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf

29. <file:///C:/Users/Leonid-1Tb/Downloads/PerformanceAnalysisofOpenLoopV-fControlTechniqueforSix-PhaseInductionMotorFedByAMultiphaseInverter.pdf>
30. https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/367653/
31. https://www.susu.ru/sites/default/files/dissertation/dissertaciya_sychev_d.a.pdf
32. file:///C:/Users/Leonid-1Tb/Downloads/Model_of_Multiphase_Induction_Motor.pdf
33. <https://ieeexplore.ieee.org/document/178191>