

SUTELKTOSIOS DVISLUOKSNĖS ŠEŠIAFAZĖS APVIJOS SUDARYMAS

Benas Kundrotas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas benas.kundrotas@dok.vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje apžvelgti daugiafazių variklių pranašumai, palyginti su trifaziais varikliais. Nurodytos pagrindinės daugiafazių variklių naudojimo sritys. Sudaryta sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijų sekcijų jungimo schema, elektrinių schemų išsklotinė ir gautas šios apvijų sukamosios magnetovaros pasiskirstymas erdvėje.

Reikšminiai žodžiai: asinchroninis variklis, šešiafazis variklis, sutrumpinto žingsnio apvija, sukamoji magnetovara.

Įvadas

Labiausiai paplitusi iš daugiafazių elektros sistemų yra trifazė sistema – variklis ir jam valdyti skirtas dažnio keitiklis. Mažas maitinimo įtampos fazių skaičius sukelia dideles trifazio asinchroninio variklio, maitinamo dažnio keitikliu, sukimo momento pulsacijas, palyginti mažą sukimo momentą, esant mažam sukimosi greičiui, mažą galios tankį, tenkantį variklio tūrio vienetui. Daugiafazių asinchroninių elektros variklių, kurių fazių daugiau nei trys, taikymas leidžia išvengti minėtų trūkumų.

Tyrimais nustatyta, kad daugiafazių variklių, kurių fazių daugiau nei trys, mažesni statoriaus nuostoliai, mažesnės rotoriaus srovių harmonikos, daugiafazis variklis gali veikti dingus statoriaus fazei, jį galima paleisti nutrūkus vienos fazės maitinimui (Gregor *et al.* 2008; Levi 2008).

Pastebėti daugiafazių variklių, kurių fazių daugiau nei trys, pranašumai paskatino juos naudoti laivuose, elektrinėse, hibridinėse-elektrinėse transporto priemonėse, koncepciniuose orlaivių modeliuose, lokomotyvuose, naftos platformose, erdvėlaivių valdymo grandinėse, robotų technikoje, branduolinėse elektrinėse bei kituose didelės galios įrenginiuose (Leon *et al.* 2010; Miranda *et al.* 2009; Rata *et al.* 2007).

Straipsnyje nagrinėjama sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijų elektrinė schema ir šios apvijų magnetovaros pasiskirstymas erdvėje.

Sutelktoji dvisluoksnė sutrumpinto žingsnio šešiafazė apvija

Dvisluoksnės apvijų turi daug pranašumų, palyginti su viensluoksnėmis apvijomis: paprastesnė ir pigesnė

gamyba, apvijų gali turėti trupmeninį poliaus ir fazės griovelių skaičių, apvija gali būti sutrumpinto arba poliaus žingsnio.

Statoriaus apvijų parametrai: griovelių skaičius statoriuje $Z = 48$, polių skaičius $2p = 8$, fazių skaičius $m = 6$, poliaus žingsnis $\tau = 6$, griovelio žingsnis elektriniais laipsniais $\alpha = 30^\circ$, poliaus ir fazės griovelių skaičius $q = 1$, apvijų žingsnis $\gamma = 5$, fazinė zona elektriniais laipsniais $\sigma = 30^\circ$, kampas tarp fazinių srovių elektriniais laipsniais 60° .

Sudaryta sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijų sekcijų jungimo schema pateikta 1 pav. Pirmoji fazinės apvijų sekcija suklota į 1 ir 6 griovelius taip, kad vienas sekcijos šonas yra 1 griovelio viršutiniame sluoksnyje, o kitas šonas – 6 griovelio apatiniam sluoksnyje 6'. Pirmosios fazinės apvijų pradžia yra 1 griovelio, o apatiniam 6 griovelio sluoksnyje 6' yra pirmosios sekcijos galas. Iš viso fazinėje apvijoje yra 8 nuosekliai sujungtos sekcijos, kurių šonai yra po kiekvienu poliumi. Toliau pirmosios sekcijos galas 6' sujungtas su kitos sekcijos, kuri suklota 6 ir 11 grioveliuose, galu 11', o pradžia yra viršutiniame 6 griovelio sluoksnyje. Iš 6 griovelio viršutinio sluoksnio pereinama į kitą polių porą, kuri nuo apvijų pradžios yra nutolusi 360 elektrinių laipsnių. Statoriaus griovelio žingsnis yra 30 elektrinių laipsnių, todėl 360 elektrinių laipsnių yra 12 griovelių. Dėl to iš 6 griovelio viršutinio sluoksnio pereinama į 13 griovelio viršutinį sluoksnį. Toliau viskas kartojasi, kol pasiekiamas 42 griovelio viršutinis sluoksnis, kur yra pirmosios fazinės apvijų pabaiga.

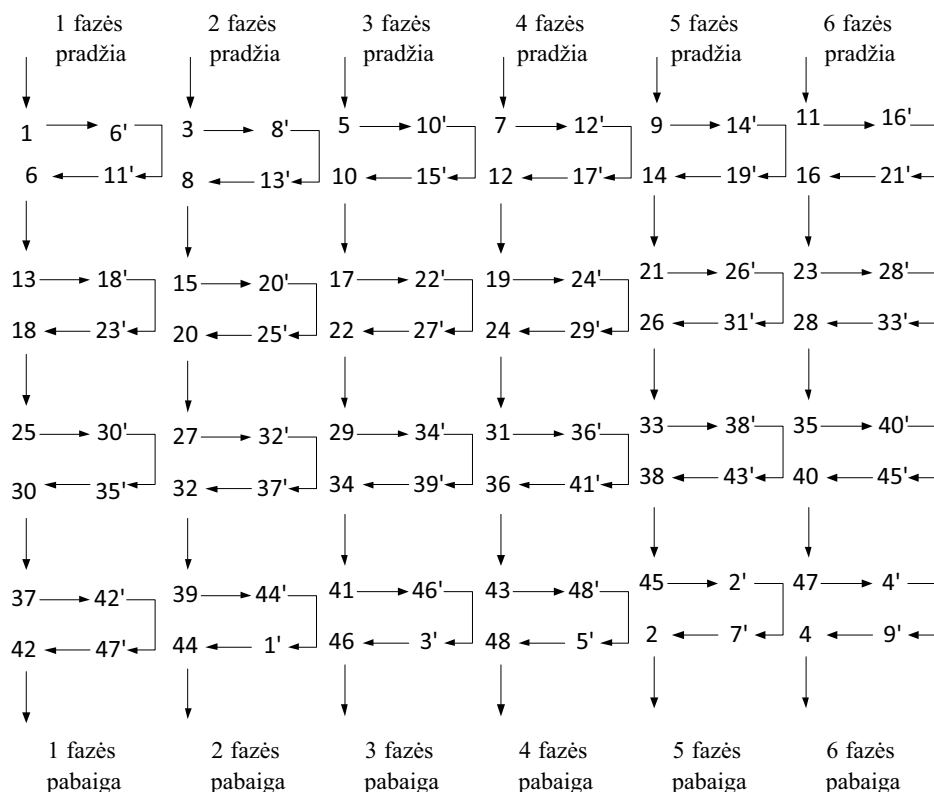
Antrosios fazinės apvijų sekcija suklota į 3 griovelio viršutinį sluoksnį, nes ji turi būti nutolusi nuo pirmosios fazinės apvijų pradžios 60 elektrinių laipsnių, o tai sudaro du griovelius. Toliau sujungta analogiškai pirmosios fazinės apvijų atveju. 44 griovelio viršutinis sluoksnis yra antrosios fazinės apvijų galas. Trečiosios, ketvirtosios, penktosios ir šeštosios fazinių apvijų pradžios yra suklotos atitinkamai į 5, 7, 9 ir 11 griovelių viršutinius sluoksnius, o šių fazinių apvijų galai yra sukloti atitinkamai į 46, 48, 2 ir 4 griovelių viršutinius sluoksnius. Šių fazinių apvijų sekcijos yra sujungtos analogiškai pirmosios ir antrosios fazinių apvijų atvejais.

Akimirkinės srovių kryptys sutelktojoje dvisluoksneje sutrumpinto žingsnio šešiafazėje apvijoje laiku $t = 0$ pateiktos 2 pav., a. Matyti, kad srovių fazės skiriasi 60 elektrinių laipsnių kampais. Laiko momentu $t = 0$ pirmosios, antrosios ir šeštosios fazių srovių kryptys bus priešingos krypties nei trečiosios, ketvirtosios ir penktosios fazių srovių kryptys.

Pagal sutelktosios dvisluoksnes sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijų sekcijų jungimo schemą (1 pav.) sudaromas pirmosios, antrosios, trečiosios, ketvirtosios, penktosios ir šeštosios fazinių apvijų laidininkų pasiskirstymas

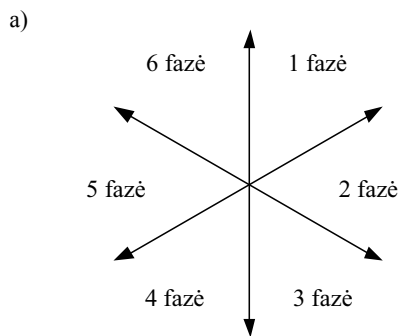
48 statoriaus grioveliuose. Atsižvelgiant į akimirkinės srovių kryptis laiko momentu $t = 0$ (2 pav., a) sudaromas fazinių srovių krypčių pasiskirstymas statoriaus griovelių viršutiniuose ir apatiniuose sluoksniuose. Viršutinėje eilutėje nurodyti statoriaus griovelio numeriai, vidurinėje eilutėje pateiktos srovių kryptys viršutiniuose griovelių sluoksniuose, o apatinėje eilutėje pateiktos srovių kryptys apatiniuose griovelių sluoksniuose (2 pav., b). Tais atvejais, kai viršutiniame ir apatiniame griovelio sluoksniuose ženklai sutampa, sakoma, kad srovių kryptys sutampa, o tais atvejais, kai ženklai nesutampa, srovių kryptys viršutiniame ir apatiniame griovelio sluoksniuose yra priešingų krypčių.

Sutelktosios dvisluoksnes sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijų elektrinės schemos išsklotinė ir šios apvijų sukamosios magnetovaros pasiskirstymas erdvėje pateiktas 3 pav. Apvija suklota 48 grioveliuose. $U1, V1, W1, U'1, V'1, W'1$ simboliiais pažymėta atitinkamai pirmosios, antrosios, trečiosios, ketvirtosios, penktosios ir šeštosios fazinių apvijų pradžios, o $U2, V2, W2, U'2, V'2, W'2$ atitinkamai fazinių apvijų pabaigos. 3 pav. grafinėje dalyje F simboliu pažymėta sukamoji magnetovara yra atidėta santykiniais dydžiais, x simboliu pažymėta erdvinė koordinatė, τ simboliu – poliaus žingsnis.



1 pav. Sutelktosios dvisluoksnes sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijų sekcijų jungimo schema

Fig. 1. Connection of concentrated double layer short pitch coil six-phase winding section



b)

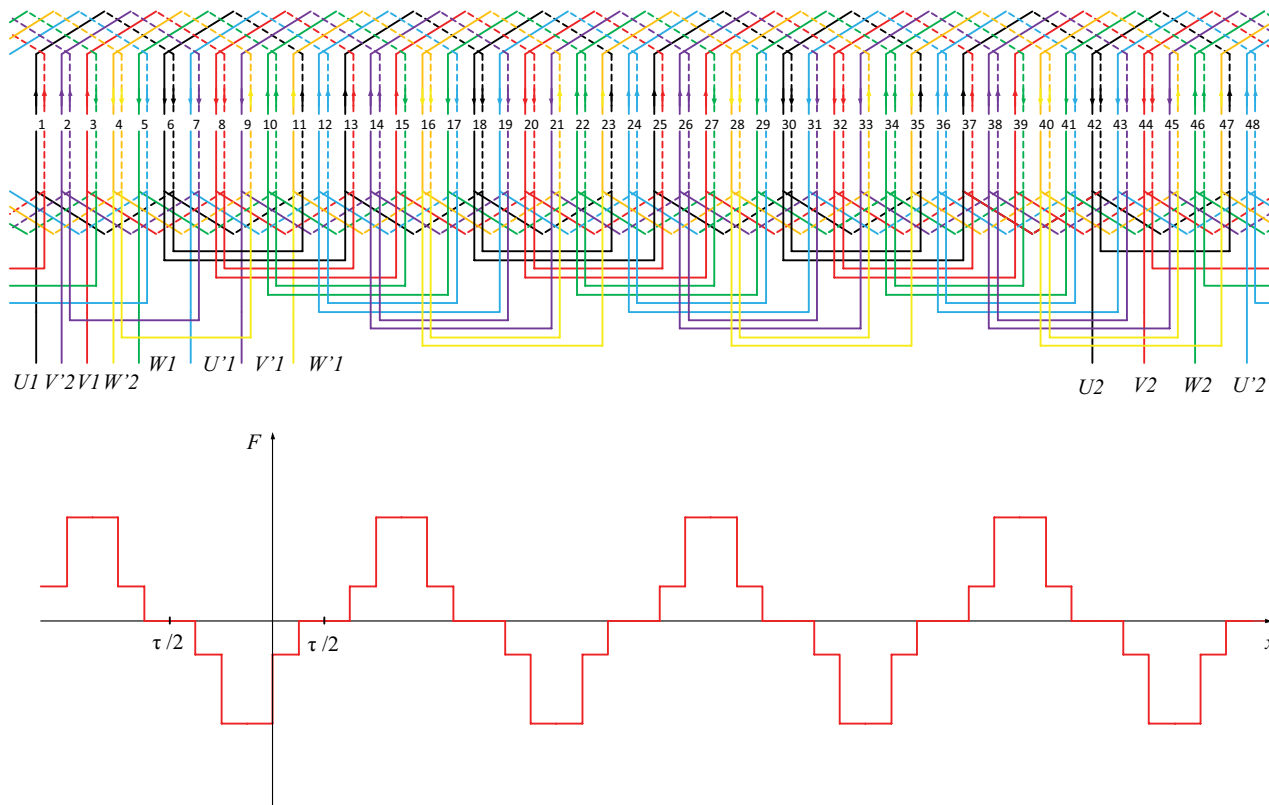
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
+	+	+							+	+	+	+	+	+					
+	+							+	+	+	+	+	+						

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	+	+	+	+	+	+							+	+	+	+	+	+	
+	+	+	+	+	+							+	+	+	+	+	+		

41	42	43	44	45	46	47	48
				+	+	+	+

2 pav. Akimirkinės fazinių srovių kryptys: a – laiku $t = 0$; b – viršutiniuose ir apatiniuose statoriaus griovelių sluoksniuose

Fig. 2. Instantaneous current directions: a – at time instant $t = 0$; b – in the the upper and lower layers of slots



3 pav. Sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijės elektrinės schemos išlotinė ir šios apvijės sukamosios magnetovaros pasiskirstymas erdvėje

Fig. 3. Connection of concentrated double layer short pitch coil six-phase winding section and space distribution of magnetomotive force

Rezultatų aptarimas

Pagal sudarytą sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijos sekcijų jungimo schemą pagamintas eksperimentinis variklis, kurio statoriaus su suklotą apviją bendras vaizdas pateiktas (4 pav.).

Kiekvieną šio variklio apvijos sekciją sudaro 160 vijų, suvyniotų iš 0,4 mm skersmens laido. Eksperimentinis šešiafazis variklis sėkmingai išbandytas.

Sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijos atveju, nagrinėjant akimirkinės srovių vertes neviršijant poliaus žingsnio, matyti, kad penkių griovelių viršutinio ir apatinio sluoksnio srovių kryptys sutampa, o vieno – ne (2 pav., b).

Tolesniais tyrimais nustatyta, kad, esant sutelktajai dvisluoksnei poliaus žingsnio šešiafazei apvijai, akimirkinės srovių vertės viso poliaus žingsnio griovelių viršutiniame ir apatiniame sluoksniuose sutampa. Šešiafazio variklio, kurio statoriuje suklotą dvisluoksnę sutrumpinto žingsnio apviją, sukuriamos magnetovaros amplitudės vertė yra mažesnė (3 pav.) nei variklio, kurio statoriuje suklotą sutelktą dvisluoksnę poliaus žingsnio šešiafazę apviją. Tačiau detalesni skaičiavimai rodo, kad skleidžiant magnetovaros jėgą harmonikomis, sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijos atveju pirmosios harmonikos įnašas gaunamas 22 proc. didesnis nei antruoju apvijos jungimo atveju. Iš pirmosios harmonikos savybių išeina, kad variklis, turintis sutelktąją dvisluoksnę sutrumpinto žingsnio šešiafazę apviją, yra efektyvesnis negu variklis, turintis sutelktąją dvisluoksnę poliaus žingsnio šešiafazę apviją.



4 pav. Eksperimentinio šešiafazio variklio statorius
Fig. 4. Stator of experimental six-phase motor

Išvados

1. Išnagrinėti daugiafazių variklių pranašumai, lyginant juos su trifaziais varikliais, ir pateiktos pagrindinės daugiafazių variklių taikymo sritys.
2. Sudaryta sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijos sekcijų jungimo schema, elektrinės schemos išklotinė ir gautas šios apvijos sukamosios magnetovaros pasiskirstymas erdvėje.
3. Nustatyta, kad šešiafazis variklis, kurio statoriuje suklotą dvisluoksnę sutrumpinto žingsnio apviją, yra efektyvesnė negu šešiafazis variklis, kurio statoriuje suklotą dvisluoksnę poliaus žingsnio apviją.
4. Pagal sudarytą sutelktosios dvisluoksnės sutrumpinto žingsnio šešiafazės apvijos sekcijų jungimo schemą pagamintas ir sėkmingai išbandytas eksperimentinis variklis.

Literatūra

- Gregor, R.; Barrero, F.; Duran, M. J.; Arahal, M. R.; Toral, S. 2008. *Model Based Predictive Current Control of an Asynchronous Six-phase Motor Drive* [žiūrėta 2012 m. balandžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.icrepq.com/icrepq-08/230-gregor.pdf>
- Leon, J. I.; Lopez, O.; Franquelo Fellow, L. G.; Doval-Gandoy, J.; Vazquez, S.; Alvarez, J.; Freijedo, F. D. 2010. Multilevel multiphase feedforward space-vector modulation technique, *Journal of Industrial Electronics* 57(6): 2066–2075. <http://dx.doi.org/10.1109/TIE.2009.2034171>
- Levi, E. 2008. Multiphase electric machines for variable-speed applications, *Journal of Industrial Electronics* 55(5): 1893–1909. <http://dx.doi.org/10.1109/TIE.2008.918488>
- Miranda, R. S.; Jacobina, C. B.; Lima, A. M. N. 2009. Modeling and analysis of six-phase induction machine under fault condition, *Journal of Power Electronics* 9(1): 824–829.
- Rata, I.; Todos, P.; Nuca, I. 2007. A review of multiphase electric machines, *Journal of Electromechanical and Power Systems* 6(1): 154–159.

INVESTIGATION OF THE CONCENTRATED DOUBLE LAYER SIX-PHASE WINDING

B. Kundrotas

Abstract

The article discusses advantages of multiphase motors against three phase motors. It considers the areas of application of multiphase induction motors. The author proposes concentrated double layer short pitch coil winding connection. The research indicated that according to the first harmonic, the short pitch coil winding has greater efficiency than a full pitch coil.

Keywords: induction motor, six phase motor, short-pitch coil winding, magnetomotive force.