

Mechanizuotai kloti pritaikytų dvisluoksnių trifazių apvijų tyrimas

J. Bukšnaitis

Agroenergetikos katedra, Lietuvos žemės ūkio universitetas

LT - 4324 Noreikiškės, Lietuva, tel. +370 7 397529; el. paštas buksnaitis@topolis.ktu.lt

Įvadas

Technologinės schemos, pagal kurias dirba šiuolaikinės apvijų klojimo į statoriaus griovelius staklės, gali būti naudojamos tik tokioms apvijoms, kurias klojant nereikia pakelti ričių aktyviųjų šonų, t.y. viensluoksniams apvijoms. Tačiau šios apvijos tinka tik iki 12 ÷ 15 kW galios asinchroniniams varikliams. Esant didesnėms galioms paprastai naudojamos dvisluoksnių apvijos. Šių apvijų žingsnį y galima sutrumpinti kiek reikia, todėl prislopinama arba visiškai panaikinama tam tikros aukštesniosios magnetinio lauko erdvinės harmonikos ir pastebimai pagerėja variklių charakteristikos. Tačiau labiausiai paplitusios dvisluoksnių forminės apvijos netenkina pagrindinio mechanizuoto apvijų klojimo į statoriaus griovelius reikalavimo. Norint išplėsti šio klojimo būdo taikymo sritį, buvo sukurtos naujos statoriaus apvijų simetrinės schemos, kad jas būtų galima sukloti į griovelius nepakeliant ričių aktyviųjų šonų, kaip viensluoksnių, ir kartu daryti jas sutrumpinto žingsnio, kaip dvisluoksnių. Labiausiai paplitusios tokio tipo apvijos yra dvisluoksnių koncentrinės apvijos [1].

Dvisluoksnių koncentrinė apvijų sudarymas

Dvisluoksnių koncentrinė apvijų ričių grupės sudaromos iš koncentrinė ričių ir skiriasi nuo dvisluoksnių forminės apvijos (1 pav., a), esant tam pačiam griovelių skaičiui q , tenkančiam fazei ir poliui, ričių sujungimais ir jų žingsniais. Dvisluoksnių koncentrinės apvijos sudaromos iš ričių grupių, kurių koncentrinės ritės yra nevienodo žingsnio. Didžiųjų ričių žingsniai y_1 gali būti lygūs polių žingsniui τ ($y_1 = \tau$) (2 pav., a) arba vienu griovele mažesni ($y_1 = \tau - 1$) (3 pav., a). Pirmuoju atveju tai pačiai fazei priklausančių gretimų grupių didžiųjų ričių aktyvieji šonai bus klojami į tuos pačius griovelius, o antruoju atveju – į griovelius, esančius šalia vienas kito. Ričių grupėse vidinių ričių žingsniai, kaip ir viensluoksnių koncentrinės apvijos, šių grupių centrinių ašių kryptimi sutrumpėja po du griovelius. Dvisluoksnių koncentrinės apvijos vidutinis žingsnis, kai $y_1 = \tau$, išreiškiamas taip:

$$y_{vid-1} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_q}{q} = \frac{\tau + (\tau - 2) + \dots + (\tau - 2(q - 1))}{q} =$$

$$= \tau - q + 1 = 2\tau / 3 + 1 = 2q + 1; \quad (1)$$

čia y_i - ričių grupės i -osios koncentrinės ritės žingsnis.

Dvisluoksnių koncentrinės apvijos vidutinis žingsnis, kai $y_1 = \tau - 1$, išreiškiamas taip:

$$y_{vid-2} = \frac{(\tau - 1) + (\tau - 3) + \dots + (\tau - 2q + 1)}{q} =$$

$$= \tau - q = 2\tau / 3 = 2q. \quad (2)$$

Iš anksto nustatytas ričių klojimo į magnetolaidžių griovelius, nepakeliant jų aktyviųjų šonų, nuoseklumas leidžia staklėmis (mechanizuotai) sukloti visą apviją. Nagrinėjamųjų apvijų ričių aktyviųjų šonų, esančių apatiniuose ir viršutiniuose griovelių sluoksniuose, skaičius kiekvienai fazei yra vienodas, taigi apvijos yra simetriškos (2 ir 3 pav.).

Dvisluoksnių koncentrinė apvijų tyrimas

Kad galėtume palyginti tam tikrus tiriamųjų apvijų parametrus, panagrinėsime tris tą patį griovelių skaičių $q = 2$, tenkantį fazei ir poliui, turinčias dvisluoksnių apvijos, t.y. dvisluoksnių forminę (0) ir dvi dvisluoksnių koncentrinės vidutinio žingsnio $y_{vid-1} = 5$ (1) bei $y_{vid-2} = 4$ (2) trifazes apvijos. Pagrindinius ir kitus apskaičiuotus nagrinėjamųjų apvijų parametrus pateikiame 1 lentelėje.

1 lentelė. Nagrinėjamųjų dvisluoksnių trifazių apvijų parametrai

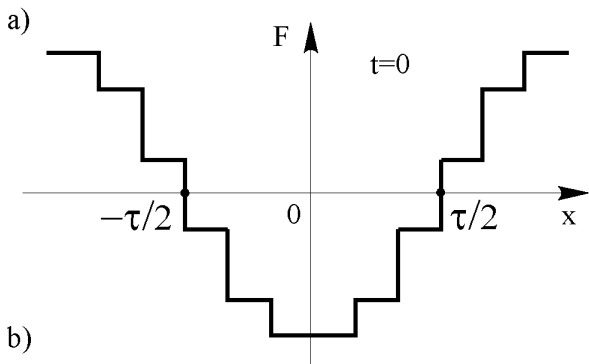
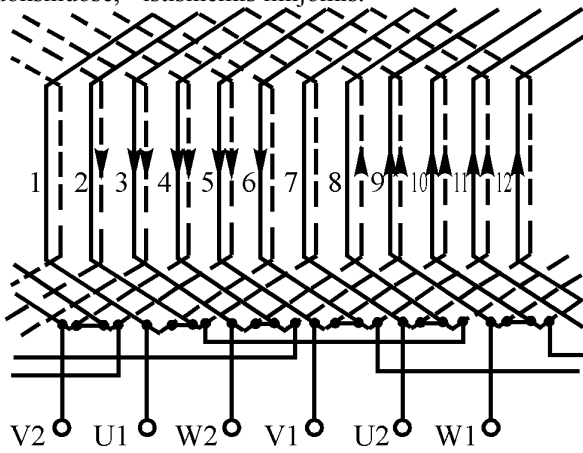
Apvijų parametrai	Apvijų tipai		
	0	1	2
Fazių skaičius (m)	3	3	3
Griovelių skaičius (Z)	12	12	12
Polių skaičius (2p)	2	2	2
Griovelių (ričių) skaičius, tenkantis fazei ir poliui (q)	2	2	2
Polių žingsnis (τ)	6	6	6
Vidutinis apvijos žingsnis (y_{vid})	5	5	4
Kampas tarp gretimų statoriaus griovelių (β)	30°	30°	30°

Remdamiesi 1 lentelėje pateiktais parametrais, į griovelių apatinius ir viršutinius sluoksnius išdėliojame nagrinėjamųjų dvisluoksnių trifazių apvijų rites (2 lentelė).

2 lentelė. Nagrinėjamųjų dvisluoksnių trifazių apvijų ričių išdėliojimo lentelė

Fazių kaita	Ričių skaičius grupėje	Griovelio Nr.					
		0		1		2	
		Z	Z'	Z	Z'	Z	Z'
U1	2	1; 2	6; 7	1; 2	7; 8	1; 2	7; 8
W2	2	3; 4	8; 9	3; 4	9; 10	3; 4	9; 10
V1	2	5; 6	10; 11	6; 7	12; 1	11; 12	5; 6
U2	2	7; 8	12; 1	8; 9	2; 3	5; 6	11; 12
W1	2	9; 10	2; 3	10; 11	4; 5	7; 8	1; 2
V2	2	11; 12	4; 5	5; 12	6; 11	9; 10	3; 4

Remdamiesi 1 ir 2 lentelėmis, sudarysime šių apvijų elektrinių schemų išsklotines (1 pav., a; 2 pav., a; 3 pav., a). Šiose schemose ričių aktyvieji šonai, esantys apatiniuose griovelių sluoksniuose, vaizduojami brūkšninėmis linijomis, o ričių šonai, esantys viršutiniuose griovelių sluoksniuose, - ištisinėmis linijomis.

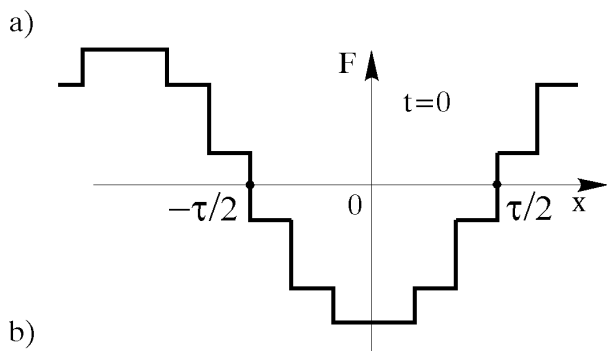
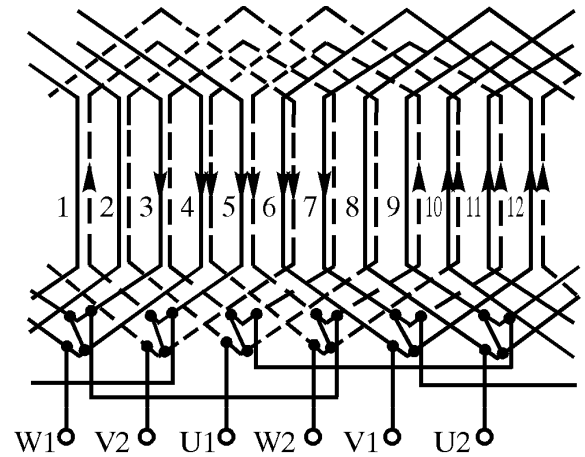


1 pav. Dvisluoksnių forminės trifazės apvijų elektrinė schema (a) ir jos magnetovaros laiko momentu $t=0$ grafinis vaizdas (b)

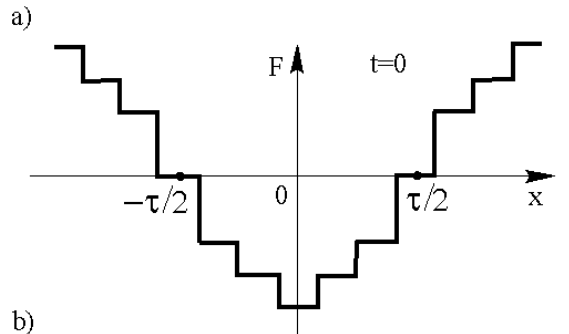
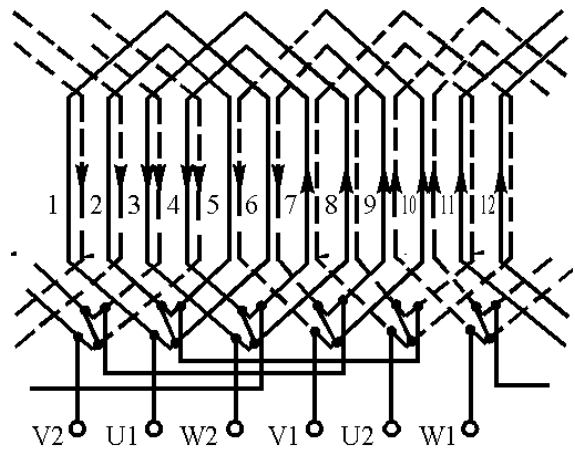
Didžiausio vidutinio žingsnio dvisluoksnių koncentrinė apvija į statoriaus griovelius mechanizuotai klojama šia tvarka:

- a) ričių 2-8 ir 3-7 visi aktyvieji šonai klojami į apatinius atitinkamų griovelių sluoksnius;
- b) ričių 4-10 ir 5-9 visi aktyvieji šonai taip pat klojami į apatinius atitinkamų griovelių sluoksnius;
- c) ritės 7-11 vienas aktyvusis šonas (7) klojamas į viršutinį, o kitas (11) – į apatinį griovelių sluoksnių;
- d) ričių 10-4 ir 11-3 visi aktyvieji šonai klojami į viršutinius atitinkamų griovelių sluoksnius;

e) ritės 1-5 vienas aktyvusis šonas (1) klojamas į apatinį, o kitas (5) – į viršutinį griovelių sluoksnių;



2 pav. Didžiausio vidutinio žingsnio dvisluoksnių koncentrinė trifazė apvijų elektrinė schema (a) ir jos magnetovaros laiko momentu $t=0$ grafinis vaizdas (b)



3 pav. Sumažinto vidutinio žingsnio dvisluoksnių koncentrinė trifazė apvijų elektrinė schema (a) ir jos magnetovaros laiko momentu $t=0$ grafinis vaizdas (b)

f) ričių 8-2 ir 9-1 visi aktyvieji šonai klojami į viršutinius atitinkamų griovelių sluoksnius;

g) ritės 6-12 abu aktyvieji šonai klojami į apatinius griovelių sluoksnius;

h) ritės 12-6 abu aktyvieji šonai klojami į viršutinius griovelių sluoksnius.

Sumažinto vidutinio žingsnio dvisluoksnės koncentrinės apvijos mechanizuotai klojamos tokia tvarka:

a) ričių 7-12 ir 8-11 visi aktyvieji šonai klojami į apatinius atitinkamų griovelių sluoksnius;

b) ričių 9-2 ir 10-1 visi aktyvieji šonai taip pat klojami į apatinius atitinkamų griovelių sluoksnius;

c) ričių 5-10 ir 6-9 vieni aktyvieji šonai (5 ir 6) klojami į apatinius, o kiti (10 ir 9) – į viršutinius griovelių sluoksnius;

d) ričių 11-4 ir 12-3 vieni aktyvieji šonai (11 ir 12) klojami į viršutinius, o kiti (4 ir 3) - į apatinius griovelių sluoksnius;

e) ričių 1-6 ir 2-5 visi aktyvieji šonai klojami į viršutinius atitinkamų griovelių sluoksnius;

f) ričių 3-8 ir 4-7 visi aktyvieji šonai taip pat klojami į viršutinius atitinkamų griovelių sluoksnius.

Nagrinėjamosios dvisluoksnės trifazės apvijos gali būti tiriamos dviem metodais. Pirmasis tyrimo metodas yra dalinis ir paprastas, t.y. pagrindinei ir aukštesnės eilės harmonikoms apskaičiuojant apvijos žingsnio sutrumpinimo koeficientus, kai $q = const$. Šie koeficientai apskaičiuojami pagal žinomą lygtį [2], [3], [4]:

$$k_{y\nu} = \sin\left(\nu \frac{\pi \cdot y_{vid}}{2 \cdot \tau}\right); \quad (3)$$

čia ν - harmonikos eilės numeris.

Pasinaudoję (3) lygtimi, sudarome nagrinėjamų apvijų žingsnio sutrumpinimo koeficientų lentelę (3 lentelė).

3 lentelė. Nagrinėjamųjų dvisluoksnų trifazių apvijų žingsnio sutrumpinimo koeficientai

Harmonikos eilės numeris	Apvijų tipas		
	0	1	2
1	0,966	0,966	0,866
5	0,259	0,259	-0,866
7	0,259	0,259	0,866
11	0,966	0,966	-0,866
13	-0,966	-0,966	0,866
17	-0,259	-0,259	-0,866
19	-0,259	-0,259	0,866

Iš 3 lentelės matome, kad nagrinėjamųjų dvisluoksnės forminės ir koncentrinės su $y_{vid1} = 5$ apvijų žingsnio sutrumpinimo koeficientai atitinkamoms harmonikoms yra tie patys, kadangi šių apvijų vidutiniai žingsniai yra lygūs. Galima teigti, kad šios apvijos elektromagnetiniu požiūriu yra identiškos. Antrosios dvisluoksnės koncentrinės apvijos su $y_{vid2} = 4$ visoms erdvinėms harmonikoms žingsnio sutrumpinimo koeficientai esti vienodi ir, palyginti su pirmųjų dviejų apvijų šiais koeficientais, išskyrus 11 bei 13 harmonikas, yra blogesni.

Kadangi visų trijų nagrinėjamų apvijų $q = 2 = const$, tai šių apvijų paskirstymo koeficientai atitinkamoms harmonikoms esti vienodi.

Į (3) lygtį įrašę (1), gauname pirmosios dvisluoksnės bet kokių parametrų koncentrinės apvijos žingsnio sutrumpinimo koeficiento priklausomybę nuo polių žingsnio:

$$k_{y\nu,1} = \sin\left[\nu \frac{\pi(2\tau/3+1)}{2\tau}\right] = \sin\left[\nu \cdot \pi \left(\frac{2\tau+3}{6\tau}\right)\right]. \quad (4)$$

Kadangi trifazėms apvijoms $\tau = 3 \cdot q$, tai nesunkiai gauname žingsnio sutrumpinimo koeficiento priklausomybę nuo griovelių skaičiaus, tenkančio fazei ir poliui:

$$k_{y\nu,1} = \sin\left[\nu \cdot \pi \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6q}\right)\right] = \sin\left[\nu \cdot \pi \left(\frac{2q+1}{6q}\right)\right]. \quad (5)$$

Į (3) lygtį įrašę (2), gauname antrosios dvisluoksnės bet kokių parametrų koncentrinės apvijos žingsnio sutrumpinimo koeficiento išraišką:

$$k_{y\nu,2} = \sin\left(\nu \frac{\pi \cdot 2\tau/3}{2\tau}\right) = \sin(\nu \cdot \pi/3). \quad (6)$$

Kaip matome iš (6) lygties, antrojo tipo dvisluoksnų koncentrinė apvijų žingsnio sutrumpinimo koeficientai absoliutiniais dydžiais, esant bet kokiems šių apvijų parametrų ir visoms harmonikoms, gaunami pastovūs.

Antrasis tyrimo metodas yra išsamesnis, tačiau sudėtingesnis. Jis paremtas nagrinėjamųjų apvijų kuriamų magnetovaros bangų harmonine analize. Tiriama, kad visų trijų dvisluoksnų apvijų sąlyginis ričių vijų skaičius N_k yra vienodas ir lygus 10. Šiomis apvijomis tekančios maksimalios fazių srovės I_m yra lygios vienetui (sąlyginės vienetinės srovės). Nagrinėjant šias apvijas, tiriama, kad magnetolaidžių plieno $\mu = \infty$ (magnetolaidžiai neįsotinti). Žinodami, kad magnetovara $F = i_k N_k$, remdamiesi nagrinėjamųjų dvisluoksnų apvijų elektrinėmis schemomis (1, 2 ir 3 pav., a), laiko momentui $t = 0$ sudarome magnetovaros sąlyginių pokyčių statoriaus grioveliuose lentelę (4 lentelė).

4 lentelė. Nagrinėjamųjų dvisluoksnų apvijų laiko momentu $t=0$ magnetovaros statoriaus grioveliuose sąlyginiai pokyčiai

Griovelių Nr.	Magnetovaros grioveliuose sąlyginiai pokyčiai		
	0	1	2
1	0	8,66	-8,66
2	-8,66	0	-8,66
3	-17,32	-8,66	-17,32
4	-17,32	-17,32	-17,32
5	-17,32	-17,32	-8,66
6	-8,66	-17,32	-8,66
7	0	-8,66	8,66
8	8,66	0	8,66
9	17,32	8,66	17,32
10	17,32	17,32	17,32
11	17,32	17,32	8,66
12	8,66	17,32	8,66

Iš 4 lentelės duomenų gauti nagrinėjamųjų apvijų magnetovaros erdviniai pasiskirstymai laiko momentu $t = 0$ (1 pav., b; 2 pav., b; 3 pav., b). Kaip matome iš 1, 2 ir 3 pav., b, pakopų formos magnetovaros bangų teigiami ir neigiami pusperiodžiai yra simetriški koordinatinių ašių atžvilgiu. Gautų magnetovaros erdvinė funkcijų harmoninei analizei atlikti panaudojami jų neigiami pusperiodžiai. Šių nesinusinių pusperiodžių ν -ųjų erdvinė harmonikų amplitudėms analitiškai apskaičiuoti panaudojame [5], [6] pateiktą išraišką:

$$F_{m\nu} = \frac{4}{\pi \cdot \nu} \sum_{i=1}^k F_i \sin \nu \frac{\alpha_i}{2}; \quad (7)$$

čia k – pakopų formos magnetovaros pusperiodžių sudarančių stačiakampių skaičius; F_i – pakopų formos magnetovaros pusperiodžio i -ojo stačiakampio sąlyginis aukštis; α_i – pakopų formos magnetovaros kreivės i -ojo stačiakampio plotis, išreikštas pusperiodžio elektriniais laipsniais.

Realius ir sąlyginis nagrinėjamųjų magnetovaros pusperiodžių parametrus surašome į 5 lentelę.

5 lentelė. Realūs ir sąlyginiai nagrinėjamųjų magnetovaros pusperiodžių parametrai

Magnetovaros pusperiodžio parametrai	Nagrinėjamųjų apvijų variantai		
	0	1	2
k	3	3	3
F_1	-8,66	-8,66	-17,32
F_2	-17,32	-17,32	-8,66
F_3	-8,66	-8,66	-8,66
α_1	180°	180°	150°
α_2	120°	120°	90°
α_3	60°	60°	30°

Pagal (7) lygtį apskaičiuoti magnetovaros erdvinė harmonikų sąlyginiai amplitudiniai dydžiai pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Nagrinėjamųjų dvisluoksnių apvijų magnetovaros bangų harmoninės analizės rezultatai

Magnetovaros harmonikos eilės numeris	Magnetovaros erdvinė harmonikų sąlyginiai amplitudiniai dydžiai		
	0	1	2
1	-35,6	-35,6	-32,0
5	0,512	0,512	-1,71
7	-0,366	-0,366	-1,22
11	3,24	3,24	-2,91
13	-2,74	-2,74	2,46
17	0,151	0,151	0,50
19	-0,135	-0,135	0,45
23	1,55	1,55	1,39
25	-1,42	-1,42	-1,28
29	0,088	0,088	-0,30

Nagrinėjamųjų dvisluoksnių trifazių apvijų kuriamos magnetovaros lyginės ir trijų kartotinės nelyginės erdvinės harmonikos gaunamos lygios nuliui. Tai patvirtina (7) lygties bei nagrinėjamųjų magnetovaros pusperiodžių parametrų nustatymo teisingumą. Iš magnetovaros kreivių harmoninės analizės rezultatų matome, kad dvisluoksni

forminė ir dvisluoksni koncentrinė didžiausio vidutinio žingsnio apvijų (tai dar kartą patvirtinama) elektromagnetiniu požiūriu yra identiškos. Dėl to, kad šių apvijų žingsniai sutrumpinti vienu šeštadaliu polių žingsnio, penktoji, septintoji, septynioliktoji ir devynioliktoji magnetovaros erdvinės harmonikos gaunamos labai mažos. Kitos nelyginės magnetovaros harmonikos, artimos lyginiam polių žingsnio kartotinumui, yra šiek tiek didesnės. Dvisluoksni koncentrinės mažesnio vidutinio žingsnio apvijų dėl didesnio apvijų žingsnio sutrumpinimo pagrindinė magnetovaros harmonika gaunama truputį (~10%) mažesnė, palyginti su pirmųjų dviejų apvijų šia harmonika. Kai kurios kitos (aukštesniosios) magnetovaros sąlyginės harmonikos gaunamos didesnės, o kai kurios – mažesnės už pirmųjų dviejų apvijų atitinkamas erdvinės harmonikas.

Remiantis 6 lentelės duomenimis, 7 lentelėje pateikiami magnetovaros erdvinė harmonikų absoliutiniai santykiniai dydžiai.

7 lentelė. Nagrinėjamųjų dvisluoksnių trifazių apvijų magnetovaros harmonikų absoliutiniai santykiniai dydžiai pagrindinės harmonikos atžvilgiu

Magnetovaros harmonikos eilės numeris	Magnetovaros harmonikų absoliutiniai santykiniai dydžiai pagrindinės harmonikos atžvilgiu		
	0	1	2
1	1	1	1
5	0,014	0,014	0,054
7	0,010	0,010	0,038
11	0,091	0,091	0,091
13	0,077	0,077	0,077
17	0,004	0,004	0,016
19	0,004	0,004	0,014
23	0,043	0,043	0,043
25	0,040	0,040	0,040
29	0,002	0,002	0,009

Pasinaudoję nagrinėjamųjų dvisluoksnių trifazių apvijų magnetovaros harmonikų absoliutiniais santykiniais dydžiais, apskaičiuojame šių apvijų efektyvumo koeficientus pagal šią išraišką [7]:

$$k_{ef} = 1 - \sqrt{\sum_{\nu=5}^{\infty} f_{\nu}^2}; \quad (8)$$

čia f_{ν} – ν -osios magnetovaros harmonikos santykinis dydis.

Gauname, kad dvisluoksni forminės ir dvisluoksni koncentrinės didžiausio vidutinio žingsnio apvijų $k_{ef01} = 0,866$, o dvisluoksni koncentrinės mažesnio vidutinio žingsnio apvijų $k_{ef2} = 0,850$. Nors šios apvijų efektyvumo koeficientas sumažėja 1,85%, tačiau ją klojant dėl galūnių sutrumpėjimo sutaupoma vario, taip pat supaprastėja jos mechanizuoto suklojimo į statoriaus griovelius technologija.

Išvados

1. Dvisluoksni koncentrinės didžiausio arba sumažinto vidutinio žingsnio trifazės apvijų į statoriaus

griovelius galima sukloti mechanizuotai, nepakeliant ričių aktyviųjų šonų.

2. Dvisluoksnės koncentrinės trifazės didžiausio vidutinio žingsnio apvijų elektromagnetiniu požiūriu yra identiškos dvisluoksnėms forminėms trifazėms apvijoms, kurių žingsnis sutrumpinamas vienu šeštadaliu polių žingsnio.

3. Dvisluoksninių koncentrinė trifazių sumažinto vidutinio žingsnio apvijų žingsnio sutrumpinimo koeficientai visoms harmonikoms absoliutiniais dydžiais yra pastovūs (0,866).

4. Dvisluoksninių koncentrinė trifazių sumažinto žingsnio apvijų pagrindinės harmonikos magnetovara, palyginti su didžiausio vidutinio žingsnio dvisluoksninių koncentrinė apvijų tos pačios harmonikos magnetovara, sumažėjo apie 10%.

5. Dvisluoksninių koncentrinė trifazių sumažinto vidutinio žingsnio apvijų efektyvumo koeficientas, palyginti su to paties tipo apvijų, kurių vidutinis žingsnis didžiausias, tuo pačiu koeficientu, sumažėjo 1,85%.

6. Naudojant dvisluoksnės koncentrinės trifazės sumažinto vidutinio žingsnio apviją sutaupoma vario ir

supaprastėja jų mechanizuoto klojimo į statoriaus griovelius technologija.

Literatūra

1. **Клюков Б. К.** Обмотчик электрических машин. - Москва: Высшая школа, 1982. –279 с.
2. **Marazas S.** Elektros mašinos. - V.: Mokslas, 1989. – 303 p.
3. **Вольдек А.И.** Электрические машины. - Ленинград: Энергия, 1978. – 832 с.
4. **Кулик Ю.А.** Электрические машины. - Москва: Высшая школа, 1971. –454 с.
5. **Букšnaitis J.** Trifazių apvijų magnetovarų analizė // Žemės ūkio inžinerija, 30 (2). –Raudondvaris, 1998. –P.133-145.
6. **Букšnaitis J.** Trifazių žadinimo apvijų kuriamų magnetinių laukų analizė // Elektronika ir elektrotechnika. –Kaunas: Technologija, 2003. – Nr.1(43). – P.43-46.
7. **Букšnaitis J.** Trifazės trupmeninės apvijų elektromagnetinis įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. –Kaunas: Technologija, 2001. – Nr.1(30). – P.61-66.

Pateikta spaudai 2003 04 18

J. Bukšnaitis. Mechanizuotai kloti pritaikytų dvisluoksninių trifazių apvijų tyrimas //Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 6(48). – P.52-56.

Straipsnyje nagrinėjamos dvisluoksnės trifazės apvijos, pritaikytos mechanizuotam klojimui, t.y. dvisluoksnės koncentrinės didžiausio ir sumažinto vidutinio žingsnio apvijos. Šios apvijos tiriamos dviem metodais: apvijos žingsnio sutrumpinimo koeficientų nustatymo ir trifazių apvijų kuriamos sukiosios magnetovaros analizės. Abiem metodais gauti tyrimų rezultatai parodė, kad didžiausio vidutinio žingsnio dvisluoksnė koncentrinė apvija elektromagnetiniu požiūriu yra identiška tuos pačius pagrindinius parametrus turinčiai dvisluoksnėi forminei apvijai. Kai kurioms harmonikoms apskaičiuoti sumažinto vidutinio žingsnio dvisluoksnės koncentrinės apvijos žingsnio sutrumpinimo koeficientai, palyginti su pirmosios apvijos šiais koeficientais, pablogėjo, o kai kurie – pagerėjo. Nustatyta, kad visoms harmonikoms antrosios apvijos žingsnio sutrumpinimo koeficientai nepriklausomai nuo šios apvijos parametrų absoliutiniu dydžiu išlieka pastovūs (0,866). Antrosios apvijos efektyvumo koeficientas, palyginti su pirmąja, sumažėjo 1,85%, tačiau naudojant šią apviją dėl jos galūnių sutrumpėjimo sutaupoma vario, taip pat supaprastėja mechanizuoto klojimo į statoriaus griovelius technologija. Il. 3, bibl. 7 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

J. Bukšnaitis. The Investigation of Two-layer Three- phase Winding Applied to Mechanized Laying // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003. – No. 6(48). – P.52-56.

The paper deals with the two-layer three- phase winding applied to mechanized laying, i.e. two-layer concentric winding with the largest and reduced average winding span. The windings are investigated by two methods: determining pitch factor and by the analysis of three-phase windings developed rotating magnetomotive force. The obtained results, investigated by these two methods, have shown that the two-layer concentric winding of the largest average span from the electromagnetic point of view is identical to that, which has the same parameters as the two-layer former winding. The calculated pitch factors of the reduced average two-layer concentric winding for some harmonics in comparison with these factors of the first winding have worsened, while some of them have improved. There has been determined that the pitch factors for all harmonics of the second winding irrespective to the parameters of this winding in absolute value remain constant (0.866). The efficiency factor of the second winding, in comparison with the first one, diminished by 1.85%, however, when using this winding due to its overhang shortening the amount of copper is saved up, also there the technology of the mechanized laying into stator slots becomes simpler. Ill. 3, bibl. 7 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

Ю. Букšnaitис. Исследование двухслойных трехфазных обмоток, приспособленных для механизированной укладки // Электроника и электротехника. - Каунас: Технология, 2003. - № 6(48). – С.52-56.

В статье рассматриваются двухслойные трехфазные обмотки, приспособленные для механизированной укладки, т.е. двухслойные концентрические обмотки с наибольшим и уменьшенным средним шагом. Эти обмотки исследовались двумя методами: путем определения коэффициентов сокращения шага обмотки и анализа вращающейся магнитодвижущей силы. Полученные обоими методами результаты исследования показали, что двухслойная концентрическая обмотка с наибольшим средним шагом в электромагнитном отношении является идентичной двухслойной шаблонной обмотке, имеющей те же основные параметры. Рассчитанные коэффициенты сокращения шага двухслойной концентрической обмотки уменьшенного среднего шага для некоторых гармоник, по сравнению с такими же коэффициентами первой обмотки, ухудшились, а некоторые – улучшились. Установлено, что коэффициенты сокращения шага второй обмотки для всех гармоник, независимо от параметров этой обмотки, по абсолютной величине остаются постоянными (0,866). Коэффициент эффективности второй обмотки по сравнению с первой уменьшился на 1,85%, однако при использовании этой обмотки, для сокращения лобовых частей, получается экономия меди, упрощается также технология механизированной укладки обмотки в пазы статора. Ил. 3, библи. 7 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).