



Qutblar nisbati kichik bo'lgan qutblar soni o'zgaruvchan chulg'amlarni ishlab chiqish

Dauletbek A. Rismuxamedov¹, Husniddin F. Shamsutdinov^{1, a)}

¹ t.f.n, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; shamsutdinov83@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

^{1, a)} PhD, dots. Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; shamsutdinov83@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

Dolzarblik: texnik jihatdan rivojlangan mamlakatlar sanoati yiliga millionlab miqdorda nasoslar, ventilyatorlar va kompressorlar ishlab chiqaradi. Respublikamizda yiliga 2000 ga yaqin nasos stansiyalari vegetatsiya davrida ishlatiladi. Bundan tashqari, Respublikamizning yirik issiqlik stansiyalari, sanoat korxonolari, qishloq xo'jaligi ob'ektlari ko'plab nasoslar, ventilyatorlar va kompressor agregatlari bilan jihozlangan bo'lib, ularning iste'moli mamlakat energetika tizimlarida ishlab chiqariladigan barcha elektr energiyasining 25 foizidan oshadi. Ushbu ob'ektlarning yuqori energiya iste'moli energiya tejash muammosiga muhim milliy iqtisodiy ahamiyatga ega. Ma'lumki, turbo mexanizmlarda energiya tejashga yuritmalni motorning tezligini o'zgartirish orqali erishiladi. Shu bilan birga, foidali ish koeffitsiyentlari tezlikda rostlanmaydigan elektr yuritmagga nisbatan o'rtacha 20% ga oshadi, bundan tashqari, kichik tarmoqqa tezliklarida kurilmaning tushishini osonlashtirish.

Maqsad: elektr magnit xususiyatlari yaxshilangan va sodda ishlab chiqarish texnologiyasiga ega bo'lgan, stator pazlar soni 108 ga teng juft qutlar nisbati 5/6 bo'lgan qutblar soni o'zgaruvchan chulg'am sxemalari ishlab chiqishdan iborat.

Usullar: qutblar soni o'zgaruvchan chulg'am sxemalarini ishlab chiqishning toklar taqsimlanishini o'z ichiga oluvchi diskret berilgan fazoviy funksiyalar usuli qo'llanilgan.

Natijalar: ikkita alohida chulg'amli ikki tezlikli motorlarni, bitta qutblari o'zgaruvchan chulg'amli ikki tezlikli motorlarga almashtirib iqtisodiy xarajatlarni - elektrotexnik po'latni 30÷40 % gacha, chulg'am misini 40÷50 % gacha va shunga mos holda chulg'amni ishlab chiqarishdagi sermashshaqatlikni kamaytirish mumkin. Shuningdek, motorning f.i.k va sosφ qiymati o'rtacha 10÷15% ga oshadi. Bir tezlikli motorlarni ikki tezlikli motorlarga almashtirganda ikkita belgilangan tezlikni olish imkoniyatini beradi, bu esa qurilma yuklanmagan ish rejimlarida (yuklanamaning mavsumiy yoki texnologik o'zgarishi) qo'rilmaning f.i.k (ventilyator, nasos, kompressor va shunga o'xshash) o'rtacha 20% ga oshishiga va elektr energiyani 50 % gacha tejalishiga olib keladi.

Kalit so'zlar: chulg'am, qutb, motor, magnit o'zak, ikki tezlikli, bazaviy sxema, diskret berilgan fazoviy-funksiya, paz, qatlam, sintezlash.

For citation: Rismuxamedov D.A., Shamsutdinov H.F. Development of pole-changing windings for close pole ratio. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 3, pp. 67-75.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14032752>

Received: 20.04.2024
Revised: 27.05.2024
Accepted: 08.06.2024
Published: 22.07.2024

Copyright: © Dauletbek A. Rismuxamedov, Husniddin F. Shamsutdinov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Разработка полюсопереключаемых обмоток на близкое соотношение полюсов

Даулетбек А. Рисмухамедов¹, Хусниддин Ф. Шамсутдинов^{1, а)}

¹ к.т.н, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; shamsutdinov83@gmail.com <http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

^{1, а)} PhD, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; shamsutdinov83@gmail.com <http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

Актуальность: промышленностью технически развитых стран выпускаются различные типы насосов, вентиляторов и компрессоров в количестве, исчисляемые миллионами штук в год. В нашей республике в период вегетационных поливов ежегодно эксплуатируются около 2000 насосных станций. Кроме того, крупные тепловые станции, промышленные предприятия, объекты сельского хозяйства республики оснащены многочисленными насосами, вентиляторами и компрессорными установками, потребление, которых превышает 25% всей электроэнергии, вырабатываемой энергосистемами страны. Высокое энергопотребление этих объектов придает важное народнохозяйственное значение проблеме экономии электроэнергии. Экономия электроэнергии в турбомеханизмах достигается путем изменения числа оборотов приводного двигателя. При этом повышается к.п.д. установки в среднем на 20% по сравнению с не регулируемым электроприводом, кроме того, облегчается запуск установки на пониженной скорости вращения.

Цель: разработка схем полюсопереключаемых обмоток с улучшенными электромагнитными свойствами и упрощенной технологией изготовления при 108 пазах статора на соотношение пар полюсов 5/6.

Методы: для разработки схем с переменным числом полюсов применен метод дискретных пространственных функций, включающий равномерное распределение токов по пазам статора.

Результаты: заменой двухскоростных двигателей с двумя отдельными обмотками на двухскоростные двигатели с одной полюсопереключаемой обмоткой можно снизить экономические затраты: - до 30÷40% по электротехнической стали, до 40 ÷ 50% - по обмоточной меди и трудоемкость производства обмоток. Кроме того, энергетические показатели, такие как к.п.д. и sos φ двигателя увеличатся в среднем на 10 ÷ 15%. При замене односкоростных двигателей на двухскоростные можно получить две фиксированные скорости, что приводит к увеличению к.п.д. (вентиляторов, насосов, компрессоров и т.д.) в среднем на 20%



и экономии электроэнергии - до 50% в режимах работы с меньшей нагрузкой (сезонные или технологические изменения нагрузки).

Ключевые слова: обмотка, полюс, двигатель, магнитопровод, двухскоростной, базовая схема, дискретно-заданная пространственная функция, паз, слой, синтезирование.

Development of pole-changing windings for close pole ratio

Dauletbek A. Rismuxamedov¹, Husniddin F. Shamsutdinov^{1,a)}

¹ d.t.s., prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; shamsutdinov83@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

^{1,a)} PhD, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; shamsutdinov83@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

Relevance: the industry of technologically developed countries produces various types of pumps, fans and compressors in quantities amounting to millions of pieces per year. In our Republic, about 2,000 pumping stations are used annually during the growing season. In addition, large thermal stations, industrial enterprises, and agricultural facilities of the Republic are equipped with numerous pumps, fans and compressor units, the consumption of which exceeds 25% of all electricity generated by the country's energy systems. The high energy consumption of these objects gives great national economic significance to the problem of energy saving. As is known, energy saving in turbomechanisms is achieved by changing the number of revolutions of the drive motor. This increases the efficiency of the installation by an average of 20% compared to a non-adjustable electric drive, and also makes it easier to start the installation at a reduced rotation speed.

Aim: development of pole-changing winding circuits with improved electromagnetic properties and simplified manufacturing technology with 108 stator slots for a pole pair ratio of 5/6.

Methods: to develop circuits with a variable number of poles, the method of discrete spatial functions was used, including uniform distribution of currents across the stator slots.

Results: by replacing two-speed motors with two separate windings with two-speed motors with one pole-changing winding, it is possible to reduce economic costs - up to 30 ÷ 40% for electrical steel, up to 40 ÷ 50% for winding copper and the labor intensity of winding production. In addition, the energy indicators such as efficiency and $\cos \varphi$ of the engine will increase by an average of 10 ÷ 15%. When replacing single-speed engines with two-speed ones, two fixed speeds can be obtained, which leads to an increase in efficiency (fan, pump, compressor, etc.) by an average of 20% and energy savings of up to 50% in operating modes with a lower load (seasonal or technological load change).

Key words: winding, pole, motor, magnetic circuit, two-speed, basic circuit, discrete-set spatial function, groove, layer, synthesis.

1. Введение (Introduction)

Разработка схем полюсо-переключаемых обмоток (ППО) на близкое соотношение полюсов является одной из актуальных задач ввиду большой распространенности двухскоростных электрических машин с близким соотношением скоростей. В первую очередь сюда относятся механизмы с вентиляторным типом нагрузки или турбомеханизмы (насосы, вентиляторы, воздуходувки и т.д.) [1].

Кроме этого такие обмотки могут найти применение в двухскоростных асинхронных генераторах для ветровых установок. Эти обмотки должны быть высокотехнологичными, иметь минимальное количество выводов и переключающих контактов (лучше вообще не иметь), а также обладать улучшенными электромагнитными свойствами, для того, чтобы их использование на статоре двухскоростной электрической машины позволило приблизить их по массогабаритным и электромагнитным показателям к электрическим машинам обычного исполнения.

Одним из наиболее распространенных соотношений скоростей в двухскоростных двигателях, используемых в приводах механизмов с вентиляторным типом нагрузки является соотношение 5:6.

При этом первая скорость - 600 об/мин является основной, на которой электрическая машина будет работать в случае полной загрузки механизма, а вторая скорость (500 об/мин) – вспомогательной и используется, как было сказано выше, для регулирования производительности, рационального использования электроэнергии в режимах недогрузки, а также может служить п ступенью при ступенчатом пуске

Многие из разработанных ППО на близкое соотношение полюсов не находят практического применения из-за большого количества выводных концов, переключающих контактов, ухудшенных электромагнитных свойств, а также сложной технологии изготовления, связанной с выполнением катушек разноразмерными и с разными шагами.

Создание двухскоростных двигателей (ДД), приближающихся по своим энергетическим и

массогабаритным показателям к обычным односкоростным машинам, дает возможность усовершенствовать существующие электропривода с ДД и заменить некоторые односкоростные двигатели с целью экономии электроэнергии в малозагруженных режимах, а также для облегчения процесса пуска мощных двигателей [1].

2. Материалы и методы (Materials and Methods)

На основе метода «Дискретно заданных пространственных функций» (ДЗПФ) были разработаны множество схем ППО на широкий диапазон соотношения полюсов и фаз, приближенных по своим свойствам к обмоткам односкоростных двигателей серийного исполнения [2].

Рассмотрим построение ППО на наиболее актуальное соотношение полюсов 5/6, размещенное в 108 пазах статора.

Таблица 1. ДЗПФ $p_1=5$ стороны

Table 1. DDSF $p_1=5$ sides

Паза статора																											полос
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	
-b	-b	-b	-b	-c	-a	-b	-c																				
a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	

Паза статора																											полос
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
-c	-c	-c	-c	-c	-c	-a	-b	-c																			
a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	

Паза статора																											полос
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	
-c	-a	-b	-c	-a	-a	-a	-a	-a																			
b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	b	c	

Паза статора																											полос
82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
-a	-a	-b	-c	-a	-a	-a	-a	-a	-a	-a	-b	-b	-b														
c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	

Таблица 2. ДЗПФ $p_2=6$ стороны

Table 2. DDSF $p_2=6$ sides

Паза статора																											полос
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	
-e	-e	-e	-f	-f	-f	-f	-f	-f	-d	-d	-d	-d	-d	-d	-e	-f	-f	-f	-f	-f							
d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	

Паза статора																											полос
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
-d	-d	-d	-d	-d	-d	-e	-e	-e	-e	-e	-e	-f	-f	-f	-f	-f	-f	-d	-d	-d	-d	-d	-d	-e	-e	-e	
e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	

Паза статора																											полос
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	
-e	-e	-e	-f	-f	-f	-f	-f	-f	-d	-d	-d	-d	-d	-d	-e	-f	-f	-f	-f	-f							
d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	

Паза статора																											полос
82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
-d	-d	-d	-d	-d	-d	-e	-e	-e	-e	-e	-e	-f	-f	-f	-f	-f	-f	-d	-d	-d	-d	-d	-d	-e	-e	-e	
e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	



За исходные обмотки возьмем две двухслойные петлевые m -зонные обмотки статора, размещенные в 108 пазах, с числами полюсов $p_1=5$ и $p_2=6$, причем для $p_1=5$ обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу $q_1=7,2$; и для $2p_2=6$ - обмотку с целым числом пазов на полюс и фазу $q_2=6$ с шагом $y_1=1-12$ и $y_2=1-10$, соответственно.

Расположив нижний ряд ДЗПФ каждой обмотки друг под другом (табл.3), по состоянию наименования фазы в пазу можно получить результирующее совмещение двух обмоток. Анализируя сопряжения фаз можно заметить, что каждая фаза одной полюсности соприкасается со всеми фазами второй полюсности, т.е. по таблицам сопряжения фаз для этой обмотки подходит схема переключения «три трехфазные звезды» [4].

По наименованию фазы в пазе с одной и другой обмоткой, можно определить ветвь, которой соответствует тот или иной номер катушки.

Таблица 3. Размещение обмоток в пазах статора

Table 3. Placement of windings in stator slots

Паза статора																											ПОЛЮС	
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		
a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	$p_1=5$
d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	$p_2=6$

Паза статора																											ПОЛЮС	
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	$p_1=5$
e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	$p_2=6$

Паза статора																											ПОЛЮС
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	
b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	b	c	$p_1=5$
d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	$p_2=6$

Паза статора																											ПОЛЮС
82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
c	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	$p_1=5$
e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	$p_2=6$

Объединение групп катушек в обмотку осуществляется в соответствии с соединениями катушек в БС «YYY/YYY». Причем, паз №1 со стороны $p_1=5$ полюсной обмотки соответствует фазе А, а со стороны $p_2=6$ фазе D, следовательно, принадлежит ветви D-A. Основываясь на этот способ, группируем катушки (табл. 4) в ветви БС.

Таблица 4. Распределение катушек в ветвях базовой схемы

Table 4. Distribution of coils in the branches of the basic circuit

№ катушек	Ветви БС YYY/YYY								
	D-A	D-B	D-C	E-A	E-B	E-C	F-A	F-B	F-C
91,92,93,94, 1,2,3,4,5,6,23,24	55,56,57,58,73,74, 75,76,77,78,79,80	19,20,21,22,37,38, 39,40,41,42,59,60	7,8,25,26,27,28,29,45,46,4 7,48,66	79,80,97,98,99,100,101, 9,10,11,12,30	43,44,61,62,63,64,65, 81,82,83,84,102	49,50,51,67,68,69, 70,71,72,88,89,90	13,14,15,31,32,33, 34,35,36,52,53,54	85,86,87,103,104,105, 106,107,108,16,17,18	

3. Результаты (Results)

Полученная ППО симметрична по отношению к источнику питания со стороны $2p_1$ полюсности, а со стороны $2p_2$ имеет расхождение суммарных векторов ЭДС (рис.1) между ветвями одноименной фазы D-A и D-B по амплитуде на 1,1% и по фазе на 10,2 эл.градусов и, соответственно, это приводит к различию обмоточных коэффициентов (табл. 5, 6)

Таблица 5. Обмоточные данные со стороны $2p_1=10$

Table 5. Winding data from the side $2p_1=10$

	Ветви BC YYY/YYY								
	A-D	B-D	C-D	A-E	B-E	C-E	A-F	B-F	C-F
A	19,79	19,58	19,99	19,79	19,58	19,99	19,79	19,58	19,99
$k_{обм}$	0,824	0,816	0,833	0,824	0,816	0,833	0,824	0,816	0,833
φ	44,91	55,08	55,0	164,91	175,08	175,0	75,09	64,92	65

Таблица 6. Обмоточные данные со стороны $2p_2=12$

Table 6. Winding data from the side $2p_2=12$

	Ветви BC YYY/YYY								
	D-A	E-A	F-A	D-B	E-B	F-B	D-C	E-C	F-C
A	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65
$k_{обм}$	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819
φ	60	60	60	180	180	180	60	60	60

Анализ гармонического состава картин МДС показал, что со стороны обеих полюсностей присутствуют высшие гармонические, но их амплитуда, с учетом обмоточных коэффициентов, уменьшается, и на работу двигателя существенного влияния не оказывает, причем со стороны $2p_1=10$ полюсов относительно к первой гармонике амплитуды высших гармонических равны: $A_2=0,64\%$, $A_5=0,75\%$, $A_6=0,42\%$, $A_7=0,59\%$, а со стороны $2p_2=12$ полюсов: $A_2=1,28\%$, $A_5=0,77\%$, $A_7=0,37\%$.

Коэффициент дифференциального рассеяния σ_0 (в воздушном зазоре) является одним из критериев при оценке свойств обмотки, а именно - показателем отношения реактивного сопротивления высших гармонических к главному реактивному сопротивлению обмотки. Расчет коэффициента дифференциального рассеяния проводится на основе теоремы Кронля с использованием многоугольника намагничивающих сил (н.с.) Гёргеса [7,8].

На рис.1 показаны диаграммы Гёргеса для ППО на основе BC «YYY/YYY» на соотношение полюсов 5/6 в 108 пазах статора при шаге обмотки $y=10$.

Значения коэффициентов дифференциального рассеяния со стороны $p_1=5$ составляет $\sigma_0=15,3\%$, а стороны $p_2=6$ - $\sigma_0=2,2\%$.

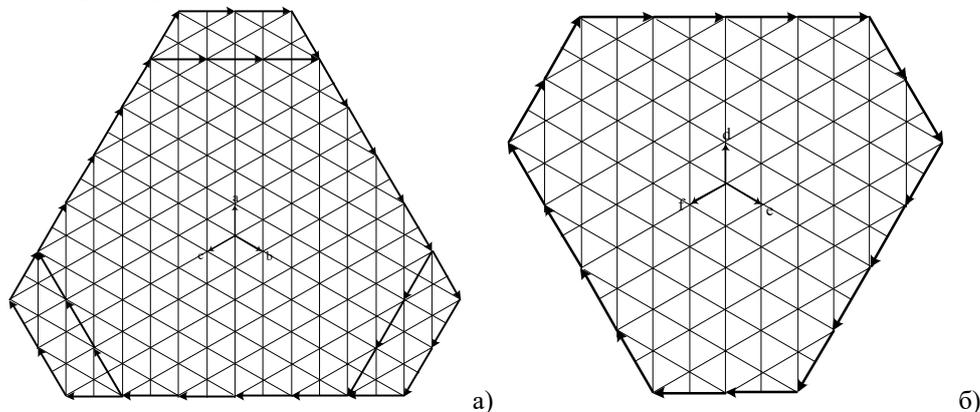


Рис.1. Диаграммы Гёргеса при $p_1/p_2=5/6$ на основе BC «YYY/YYY»:а) для $p_1=5$, б) для $p_2=6$

Fig.1. Goerges diagrams for $p_1/p_2=5/6$ based on the BS “YYY/YYY”: a) for $p_1=5$, b) for $p_2=6$

Согласование магнитных индукций в воздушном зазоре может быть достигнуто только за счет небольшой разницы в значениях обмоточных коэффициентов, причем с $2p_1$ и $2p_2$ полюсностью соответственно равны $k_{об1}=0,833$ и $k_{об2cp}=0,831$.

Отношение магнитных индукций в воздушном зазоре:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{p_2 k_{обм1} W_1}{p_1 k_{обм2} W_2} = \frac{6 \cdot 0,833 \cdot 6}{5 \cdot 0,831 \cdot 6} = 1,2.$$

Как видно из вышеприведенного анализа, наряду с несимметрией в этой обмотке не согласованы магнитные индукции в воздушном зазоре, что ведет к недоиспользованию активной части машины на высшей скорости вращения. Кроме того, неравномерно распределенная картина МДС со стороны $2p_1=10$ приводит к появлению шума и вибрации в работе двигателя [9].

Для улучшения электромагнитных свойств и обеспечения высокого использования активной части машины со стороны высшей скорости (особенно для двигателей механизмов с вентиляторной нагрузкой) целесообразно использовать обмотки по схеме «YYY/YYY с дополнительными ветвями» (рис.2); они также очень удобны в эксплуатации, т.к. отсутствует дополнительное коммутирующее устройство [10].

На основе данных предыдущего примера (табл.2) построим ППО по схеме «YYY/YYY с дополнительными ветвями».

Для этого исключим по одной катушке из каждой фазы полюсной зоны со стороны полюсности $2p_1$. Соответственно, со стороны полюсности $2p_2$ это могут быть катушки в пазах под номерами: для фазы D – 12, 30, 48; для фазы E – 6, 24, 42; для фазы F – 18, 36, 54 (в табл.1 они подчеркнуты снизу). Эти катушки выводятся в дополнительные ветви и, перераспределяясь по фазам, участвуют в создании магнитного поля полюсности $2p_2$. В данном случае, взаимокompенсация ЭДС дополнительных ветвей осуществляется при соединении катушек дополнительных ветвей последовательно, и их распределении по окружности магнитопровода с отставанием по отношению друг к другу на угол сдвига равный 120 эл. Градусов, при помещении обмотки в магнитном поле с меньшим числом полюсов [12].

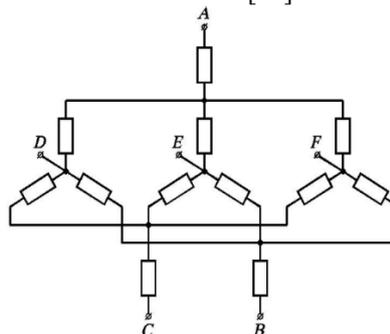


Рис. 2. Схема переключения YYY/YYY с дополнительными ветвями

Fig. 2. YYY/YYY switching scheme with additional branches

Объединение групп катушек в обмотку осуществляется в соответствии со способом предыдущего примера с соединениями катушек в БС «YYY/YYY с дополнительными ветвями».

Таблица 7. Распределение катушек в ветвях базовой схемы

Table 7. Distribution of coils in the branches of the basic circuit

№ катушек	Ветви БС YYY/YYY с дополнительными ветвями											
	D _{доп}	D-A	D-B	D-C	E _{доп}	E-A	E-B	E-C	F _{доп}	F-A	F-B	F-C
	1 и 55, 19 и 73, 37 и 91	92, 93, 94, 2, 3, 4, 5, 6, 23, 24	56, 57, 58, 74, 75, 76, 77, 78, 95, 96	20, 21, 22, 38, 39, 40, 41, 42, 59, 60	7 и 61, 25 и 79, 43 и 97	8, 26, 27, 28, 29, 45, 46, 47, 48, 66	80, 98, 99, 100, 101, 9, 10, 11, 12, 30	44, 62, 63, 64, 65, 81, 82, 83, 84, 102	13 и 67, 31 и 85, 49 и 103	50, 51, 68, 69, 70, 71, 72, 88, 89, 90	14, 15, 32, 33, 34, 35, 36, 52, 53, 54	86, 87, 104, 105, 106, 107, 108, 16, 17, 18

Полученная ППО симметрична по отношению к источнику питания со стороны $2p_2$ полюсности (см. табл. 9), а со стороны $2p_1$ имеет расхождение суммарных векторов ЭДС (см. табл. 8) между ветвями одноименной фазы D-A и D-B по амплитуде на 6,2% и по фазе на 6,91 эл.градусов, и соответственно, это приводит к различию обмоточных коэффициентов.

Таблица 8. Обмоточные данные со стороны $2p_1=10$
Table 8. Winding data from the side $2p_1=10$

	Ветви BC YYY/YYY с дополнительными ветвями								
	D-A	D-B	D-C	E-A	E-B	E-C	F-A	F-B	F-C
A	16,63	16,18	16,63	16,63	16,18	16,63	16,63	16,18	16,63
$k_{обм}$	0,832	0,809	0,832	0,832	0,809	0,832	0,832	0,809	0,832
φ	49,27	53,33	57,4	169,27	173,33	177,4	70,73	66,67	62,6

Таблица 9. Обмоточные данные со стороны $2p_2=12$
Table 9. Winding data from the side $2p_2=12$

	Ветви BC YYY/YYY с дополнительными ветвями								
	A-D	A-E	A-F	B-D	B-E	B-F	C-D	C-E	C-F
A	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65	19,65
$k_{обм}$	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819
φ	60	180	60	60	180	60	60	180	60

4. Обсуждение (Discussion)

Анализ гармонического состава картин МДС показал, что со стороны обеих полюсностей присутствуют высшие гармонические, но их амплитуда с учетом обмоточных коэффициентов уменьшается и на работу двигателя существенного влияния не оказывает, причем со стороны $2p_1=10$ полюсов относительно к первой гармонике амплитуда высших гармонических равна: $A_2=1,08\%$, $A_3=1,37\%$, $A_5=0,72\%$, $A_6=0,39\%$, $A_7=0,38\%$, а со стороны $2p_2=12$ полюсов $A_2=1,29\%$, $A_5=1,22\%$, $A_7=0,37\%$.

На рис.3 показаны диаграммы Гёрреса для ППО на основе BC «YYY/YYY с дополнительными ветвями» на соотношение полюсов 5/6 в 108 пазах статора при шаге обмотки $y=5$. Значения коэффициентов дифференциального рассеяния со стороны $2p_1=10$ $\sigma_{\theta}=2,1\%$, а со стороны $2p_2=12$ - $\sigma_{\theta}=2,2\%$ [2].

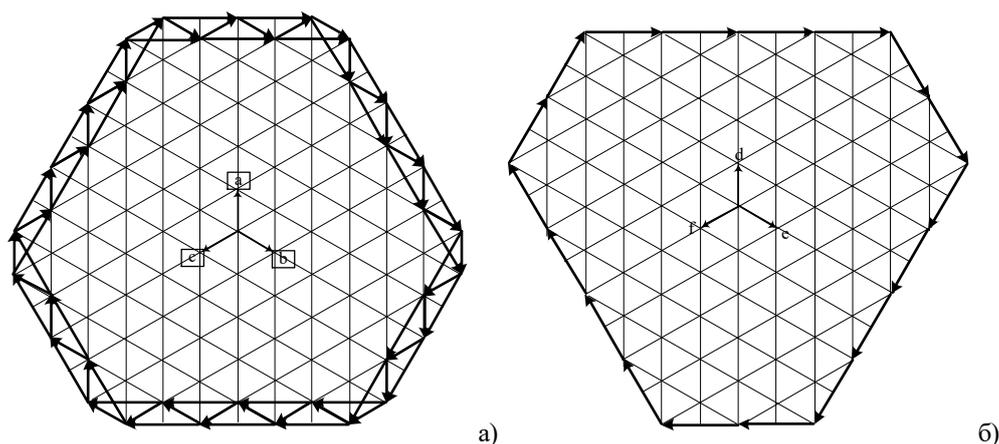


Рис. 3. Диаграммы Гёрреса при $p_1/p_2=5/6$ на основе BC «YYY/YYY с дополнительными ветвями»: а) для $p_1=5$, б) для $p_2=6$

Fig. 3. Goerges diagrams for $p_1/p_2=5/6$ based on the BS “YYY/YYY with additional branches”: a) for $p_1=5$, b) for $p_2=6$

Катушки дополнительных ветвей целесообразно выполнить проводом с сечением в три раза больше (в этих катушках протекает ток в три раза больший по величине) и соответственно с числом витков в три раза меньше, чем в остальных катушках. При этом будет достигнуто практически полное согласование магнитных индукций в воздушном зазоре, при котором отношение магнитных индукций должно быть как можно ближе к единице [14, 17]:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{p_2 k_{обм1} w_1}{p_1 k_{обм2} w_2} = \frac{6 \cdot 0,833 \cdot 5}{5 \cdot 0,827 \cdot 6} = 1,01.$$



5. Заключение (Conclusions)

На основании результатов вышеприведённых расчётов можно сделать вывод о том, что полученная обмотка может найти применение в механизмах с вентиляторным моментом нагрузки, так как мощность и момент двигателя возрастает обратно пропорционально числу полюсов.

Таким образом, разработанные ППО имеют улучшенные картины МДС и равномерно-распределённые по окружности диаграммы Гёргеса, что приводит к уменьшению присутствия высших гармонических и уменьшению коэффициентов дифференциального рассеяния, а также к улучшению виброакустических характеристик со стороны обеих полюсностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kovacs C 2018 Pole-Changing Windings for Close Ratio and 1:N Ratio Using the 3//Y3//Y Method. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* 3 (4) pp 241-253. DOI: 10.25046/aj030424.
2. Kh.G. Karimov. Methods for developing pole-changing windings for motors in controlled electrical drives in general use. // *Проблемы информатики и энергетики*, 1,1993.
3. M. V. Cistelecan, L. M. Melcescu, H. B. Cosan and M. Popescu, "Induction motors with changeable pole windings in the ratio 1:4" *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion, Joint Conference, Istanbul, 2011*, pp. 781-786, doi: 10.1109/ACEMP.2011.6490700.
4. Karimov Kh G Yu A Tupoguz A Method for Designing Electrically Aligned Windings in AC Machines. *Electricity* 1987, №9, pp 29–38.
5. Makhjud Bobojanov, Dauletbek Rismuxamedov, Furkat Tuychiev, Khusniddin Shamsutdinov, Khayotullo Magdiev. "Pole-changing motor for lift installation". *E3S Web of Conferences* 216, 01164 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.
6. Bobojanov M.K., Eshmurodov Z.O., Ismoilov M.T., "Research of Dynamic Properties of Electric Drives of Mining Complexes" *International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. IJARSET*, Volume 6, Issue 5 May. India. PP.9200-9207. 2019 y.
7. Kh.G. Karimov, M.K.Bobojanov. "New pole-changing windings of asynchronous motors". *Magazine "Elektrichestvo" (Russia)*, 1996, №1, Moscow, pp. 27-32.
8. Kh.G. Karimov and M.K.Bobojanov, "New design of pole-changing windings for induction Motors for intense operating conditions", *Magazine "Electrical Technology" (United Kingdom)*, №1, 1996, pp.19-28.
9. M.K.Bobojanov, E. Bolte. Polumschaltbare Motoren: neue Perspektiven. "UNIFORSCHUNG" *Forschungsmagazin der Universitaet der Bundeswehr Hamburg*. 12.Jahrgang.2002. Seite 2-7.
10. D. Rismuhamedov, F. Tuychiev, S. Rismuhamedov, "Pole-changing windings for turbomechanism engines" *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 883 (2020) 012140. Doi: 10.1088/1757-899X/883/1/012140.
11. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G. (2020). Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(7), 9206-9211.
12. Kh.G.Karimov and M.K. Bobojanov, "Two speed induction motors with an improved design of pole- changing windings". *Electromotion'99. 3rd International Symposium on advanced Electromechanical Motion Systems; Patras, Greece, July 8-9, 1999*, pp.35-38.
13. M.K. Bobojanov, M. Sadikova, H. Hakan: "New pole-changing asynchronous gen-erator for wind devices", *PEOCO 2007-First Power Ingeneering and Optimization Conference, Malaysia, June 6, 2007*.
14. Kh.G. Karimov, D.A. Rismukhamedov: "Two – speeds induction motors for the ener-gy saving measures", 6 th International conference on Engineering of Modern Elec-tric Systems. - Oradea (Romania), pp. 385-389, 2001.
15. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov, D.A. Rismuhamedov: "The methodology of con-struction and analysis of the electromagnetic properties of a pole switchable wind-ing", *Bulletin of TSTU*, no. 3, pp. 71-78, 2004.
16. H. Liu, J. Wang, Z. Zhang: "Performance analysis of variable speed multiphase in-duction motor with pole phase modulation", *Archives of electrical engineering*, vol. 65 (3), pp. 425–436 (2016).
17. M.K. Bobojanov, D.A. Rismukhamedov, F.N. Tuychiev: "Development of a pole-changing winding for a 5/6 pole ratio at 108 stator slot using the DSSF method with additional branches". *Bulletin of TSTU*, No. 1 (106), pp. 57–63, 2019.



REFERENCES

1. Kovacs C 2018 Pole-Changing Windings for Close Ratio and 1: N Ratio Using the 3//Y/3//Y Method. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* 3 (4) pp 241-253. DOI: 10.25046/aj030424.
2. Kh.G. Karimov. Methods for developing pole-changing windings for motors in controlled electrical drives in general use. *Problems of informatics and energy*, 1,1993.
3. M. V. Cistelean, L. M. Melcescu, H. B. Cosan and M. Popescu, "Induction motors with changeable pole windings in the ratio 1:4". /International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion, Joint Conference, Istanbul, 2011, pp. 781-786, doi: 10.1109/ACEMP.2011.6490700.
4. Karimov Kh G Yu A Tupoguz A Method for Designing Electrically Aligned Windings in AC Machines. *Electricity* 1987, №9, pp 29–38.
5. Makhsud Bobojanov, Dauletbek Rismuxamedov, Furkat Tuychiev, Khusniddin Shamsutdinov, Khayotullo Magdiev. "Pole-changing motor for lift installation". *E3S Web of Conferences* 216, 01164 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.
6. Bobojanov M.K., Eshmurodov Z.O., Ismoilov M.T., "Research of Dynamic Properties of Electric Drives of Mining Complexes" *International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. IJARSET*, Volume 6, Issue 5 May. India. PP.9200-9207. 2019 y.
7. Kh.G. Karimov, M.K.Bobojanov. "New pole-changing windings of asynchronous motors". Magazine "Elektrichestvo" (In Russ), 1996, №1, Moscow, pp. 27-32.
8. Kh.G. Karimov and M.K.Bobojanov, "New design of pole-changing windings for induction Motors for intense operating conditions", Magazine "Electrical Technology" (United Kingdom), №1, 1996, pp.19-28.
9. M.K.Bobojanov, E. Bolte. Polumschaltbare Motoren: neue Perspektiven. "UNIFORSCHUNG" Forschungsmagazin der Universitaet der Bundeswehr Hamburg. 12.Jahrgang.2002. Seite 2-7.
10. D. Rismuhamedov, F. Tuychiev, S. Rismuhamedov, "Pole-changing windings for turbomechanism engines" *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 883 (2020) 012140. Doi: 10.1088/1757-899X/883/1/012140.
11. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G. (2020). Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(7), 9206-9211.
12. Kh.G.Karimov and M.K. Bobojanov, "Two speed induction motors with an improved design of pole- changing windings". *Electromotion'99. 3rd International Symposium on advanced Electromechanical Motion Systems*; Patras, Greese, July 8-9, 1999, pp.35-38.
13. M.K. Bobojanov, M. Sadikova, H. Hakan: "New pole-changing asynchronous gen-erator for wind devices", *PEOCO 2007-First Power Ingeneering and Optimization Conference*, Malaysia, June 6, 2007.
14. Kh.G. Karimov, D.A. Rismukhamedov: "Two – speeds induction motors for the ener-gy saving measures", 6 th International conference on Engineering of Modern Elec-tric Systems. - Oradea (In Romania), pp. 385-389, 2001.
15. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov, D.A. Rismuhamedov: "The methodology of con-struction and analysis of the electromagnetic properties of a pole switchable wind-ing", *Bulletin of TSTU*, no. 3, pp. 71-78, 2004.
16. H. Liu, J. Wang, Z. Zhang: "Performance analysis of variable speed multiphase in-duction motor with pole phase modulation", *Archives of electrical engineering*, vol. 65 (3), pp. 425–436 (2016).
17. M.K. Bobojanov, D.A. Rismukhamedov, F.N. Tuychiev: "Development of a pole-changing winding for a 5/6 pole ratio at 108 stator slot using the DSSF method with additional branches". *Bulletin of TSTU*, No. 1 (106), pp. 57–63, 2019.