



# Elektr magnit xususiyatlarini yaxshilangan yangi qutblar soni o'zgaruvchan chulg'amlar

Dauletbek A. Rismuxamedov<sup>1</sup>, Husniddin F. Shamsutdinov<sup>1,a</sup>

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

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

**Dolzarblik:** hozirgi vaqtda yuqori inersiyali maydalash hamda yuk ko'tarish-ko'chirish mexanizmlarini ishga tushirish jarayonini yengillashtirish, texnologik jarayonni soddalashtirish hamda aniq to'xtatilishini ta'minlash orqali ularning aktiv qismining ishlash muddatini oshirish imkonini beruvchi energiya va resurslarni tejaydigan yangi elektr yuritmalarni yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ushbu mexanizmlarni rostlovchi elektr yuritmalar yordamida takomillashtirish orqali mavjud elektr yuritmalarning ishlash xarakteristikalarini yaxshilash bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu yo'nalishda maydalash va yuk ko'tarish-ko'chirish mexanizmlarining elektr yuritmalari talablariga javob beradigan, ko'p tezlikli motorlar asosida rostlanuvchi elektr yuritmalarni ishlab chiqish ustuvor vazifalardan biridir.

**Maqsad:** elektromagnit xususiyatlari yaxshilangan va soddalashtirilgan ishlab chiqarish texnologiyasiga ega bo'lgan qutblar soni o'zgaruvchan cho'lg'am sxemalarini ishlab chiqish.

**Usullar:** qutblar soni o'zgaruvchan cho'lg'amning yangi sxemalarini ishlab chiqish uchun toklar stator pazlari bo'ylab bir teng taqsimlangan Diskret berilgan fazoviy funktsiyalar usuli qo'llanildi.

**Natijalar:** olib borilgan ilmiy tadqiqot natijalari asosida stator pazlar soni 48-ga teng, qutblar nisbati 8/4 bo'lgan uch fazali qutblari o'zgaruvchan chulg'am sxemasi ishlab chiqildi. Yangi ishlab chiqilgan chulg'amning elektr magnit tarkibining tahlili shuni ko'rsatadiki, yuqori garmonika tashkil etuvchilari minimal, Gyorges diagrammasining ko'rinishi aylanaga yaqin, differensial sochilish koeffitsiyentining qiymati minimal  $\sigma_0=5,3\%$ .

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

## Новые полюсопереключаемые обмотки с улучшенными электромагнитными свойствами

Даулетбек А. Рисмухамедов<sup>1</sup>, Хусниддин Ф. Шамсутдинов<sup>1,a</sup>

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

<sup>1a</sup>PhD, доц. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; shamsutdinov83@gmail.com <http://orcid.org/0000-0003-1075-1927>

**Актуальность:** в настоящее время особое внимание уделяется созданию новых энерго- и ресурсосберегающих электроприводов, позволяющих увеличить срок службы активных частей механизмов путём облегчения процесса пуска и упрощения технологического процесса путём обеспечения точной остановки высокоинерционных измельчающих и подъёмно-транспортных механизмов. Ведутся научные исследования по улучшению эксплуатационных характеристик существующих электроприводов путём усовершенствования этих механизмов применением регулируемых электроприводов. В этом направлении одной из приоритетных задач является разработка регулируемых электроприводов на основе многоскоростных двигателей, отвечающих требованиям электропривода измельчающих и подъёмно-транспортных механизмов.

**Цель:** разработка схем полюсопереключаемых обмоток с улучшенными электромагнитными свойствами и упрощенной технологией изготовления.

**Методы:** для разработки новых схем с полюсопереключаемых обмоток применен метод дискретно-заданных пространственных функций, при котором токи равномерно распределяются по пазам статора.

**Результаты:** на основании научных исследований разработана трехфазная полюсопереключаемая обмотка с числом паз статора 48 и соотношением полюсов 8/4. Анализ электромагнитного состава новой разработанной обмотки показывает, что высшие гармонические составляющие минимальны, форма

**For citation:** Rismuxamedov D.A., Shamsutdinov H.F. New pole-changing windings with improved electromagnetic properties. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 1, pp. 50-58.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.1509499>

Received: 12.01.2025

Revised: 5.02.2025

Accepted: 18.03.2025

Published: 25.03.2025

**Copyright:** © Dauletbek A. Rismuxamedov, Husniddin F. Shamsutdinov, 2025. 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/>)



диаграммы Гёргеса близка к окружности, а значение коэффициента дифференциального рассеяния минимально:  $\sigma_0=5,3\%$ .

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

## New pole-changing windings with improved electromagnetic properties

Dauletbek A. Rismuxamedov<sup>1</sup>, Husniddin F. Shamsutdinov<sup>1,a</sup>

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

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

**Relevance:** at present, special attention is paid to the creation of new energy- and resource-saving electric drives that make it possible to increase the service life of active parts of mechanisms by facilitating the start-up process and simplifying the technological process by ensuring precise stopping of high-inertia grinding and lifting and transport mechanisms. Scientific research is being conducted to improve the performance characteristics of existing electric drives by upgrading these mechanisms using adjustable electric drives. In this area, one of the priority tasks is to develop adjustable electric drives based on multi-speed motors that meet the requirements of electric drives for grinding and lifting and transport mechanisms.

**Aim:** development of pole-changing winding circuits with improved electromagnetic properties and simplified manufacturing technology.

**Methods:** to develop new circuits with pole-changing windings, the method of Discretely Given Spatial Functions was used, in which the currents are uniformly distributed across the stator slots.

**Results:** based on the results of scientific research, a three-phase pole-changing winding with a stator slot number of 48 and a pole ratio of 8/4 has been developed. Analysis of the electromagnetic composition of the newly developed winding shows that the higher harmonic components are minimal, the shape of the Goerges diagram is close to a circle, and the value of the differential scattering coefficient is minimal  $\sigma_0=5.3\%$ .

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

### 1. Введение (Introduction)

В настоящее время ведутся научные исследования по улучшению эксплуатационных характеристик существующих электроприводов измельчающих и подъёмно-транспортных механизмов путём применения регулируемых электроприводов. В этом направлении одной из приоритетных задач является разработка регулируемых электроприводов на основе многоскоростных двигателей, отвечающих требованиям к электроприводам таких механизмов.

Большое количество используемых двухскоростных двигателей (ДД) имеют две отдельные обмотки статора, что ухудшает их массогабаритные показатели и энергопараметры [1,2].

Применение в ДД одной полюсопереключаемой обмотки (ППО), имеющей две группы выводов для каждой полюсности, позволяет увеличить полезную мощность двигателя, т.е. более эффективно использовать активную часть машины, экономить обмоточную медь и изоляционные материалы, повысить энергетические показатели, а также даёт возможность приблизить ДД по массогабаритным показателям обычных серийных односкоростных асинхронных двигателей.

Разработкой методов построения ППО занимаются многие учёные Великобритании, Германии, Франции и стран СНГ. Были разработаны различные базовые схемы (БС) переключения полюсов обмоток ( $\Delta/\Delta$ ,  $\Delta/Y$ ,  $Y/Y$ ,  $Y/Y$ ,  $Y/Y$ ,  $Y/Y$ ,  $Y/Y$ ,  $Y/Y$ ,  $Y/Y$  и мн.др.), на основе которых получены множество схем ППО [3].

ППО на основе «схемы Даландера» широко используются в практике электромашиностроения, они имеют минимальное число выводов, но несогласованность магнитных индукций в воздушном зазоре  $B_2/B_1=1,41$  приводит к недоиспользованию активной части машины со стороны меньшей полюсности. Кроме того, возможное соотношение чисел полюсов только 2/1 на основе БС « $\Delta/Y$ » и « $Y/Y$ » ограничивает область их применения [5].

ППО разработанные под руководством проф. Ванурина В.Н., выполненные на основе базовой схемы  $Y-\Delta/\Delta$ , имеют неравномерное распределение картин МДС и диаграммы Гёргеса, что приводит к увеличению амплитуд высших гармонических и ухудшению



виброакустических характеристик. Кроме того, при подключении обмотки к источнику питания со стороны меньшей полюсности, в дополнительных ветвях наводятся паразитные ЭДС, которые создают противодействующий момент вращения [6,7].

Исходя из этого, актуальными задачами являются разработка новых схем ППО с улучшенными электромагнитными свойствами и простой технологии изготовления, применяемых в многоскоростных двигателях.

На основе метода «Дискретно заданные пространственные функции» (ДЗПФ), предложенного профессором Х.Г. Каримовым, было разработано множество схем ППО в широком диапазоне соотношений полюсов и фаз, приближенных по своим свойствам к обмоткам односкоростных двигателей серийного исполнения [8]. Основу данного метода составляет принцип приближения токораспределения исходной обмотки к токораспределению типовой обмотки, где каждый слой распределенных по пазам проводников с условными токами заменяется ДЗПФ обмоткой. Причём исходная и типовая обмотки являются обмотками нормального исполнения с заданными числами полюсов ( $2p_1$ ,  $2p_2$ ) и фаз ( $m_1$ ,  $m_2$ ), которые одновременно используются в процессе построения синтезируемой ППО [9].

## 2. Материалы и методы (Materials and Methods)

Рассмотрим процесс построения ППО на основе метода ДЗПФ. В данном случае рассматриваются токораспределения  $m-2m$ -зонных обмоток. В качестве исходной обмотки возьмём  $m$ -зонную обмотку с  $p_2=4$  и с числом пазов на полюс и фазу  $q_2=4$ , а в качестве типовой – нормальную  $2m$ -зонную обмотку с  $p_1=2$  и  $q_1=4$ . Запишем ДЗПФ нижнего слоя каждой обмотки друг под другом, тогда соответствие рядов будет иметь вид (табл.1):

**Таблица 1.** ДЗПФ нижнего слоя обмоток  
**Table 1.** DDSF of the lower layer of windings

Пазы статора																								2p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	8
a	a	a	<u>a</u>	-c	-c	-c	<u>-c</u>	b	b	b	<u>b</u>	-a	-a	-a	<u>-a</u>	c	c	c	<u>c</u>	-b	-b	-b	<u>-b</u>	4

Пазы статора																								2p
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	8
a	a	a	a	-c	-c	-c	-c	b	b	b	b	-a	-a	-a	-a	c	c	c	c	-b	-b	-b	-b	4

Полученная схема ППО является схемой Даландера. Для улучшения электромагнитных свойств, согласования индукций в воздушном зазоре, симметрировании и т.п. целесообразно применение дополнительных ветвей.

Число катушек, выведенных в дополнительные ветви, может составлять 17-50% от общего числа. В дополнительные ветви выносятся те катушки, которые малоэффективны при создании суммарной ЭДС фазы [10]. Катушки дополнительных ветвей распределяются с условием взаимокompенсации, т.к. при подключении источника питания со стороны полюсности, где отсутствуют дополнительные ветви, в них наводятся ЭДС, которые способствуют появлению уравнительных токов. В дополнительные ветви могут быть вынесены катушки, представленные в табл.1 (подчёркнуты снизу).

Запишем ДЗПФ обмотки со стороны обеих полюсностей с учётом выведенных катушек в дополнительные ветви (см. табл. 2 и 3)

**Таблица 2.** ДЗПФ ППО со стороны меньшей полюсности  
**Table 2.** DDSF PCHW from the side of lower polarity

Пазы статора																								2p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	4
-c		b	b	b		-a	-a	-a		c	c	c		-b	-b	-b		a	a	a		-c	-c	
a	a	a		-c	-c	-c		b	b	b		-a	-a	-a		c	c	c		-b	-b	-b		

Пазы статора																								2p
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	4
-c		b	b	b		-a	-a	-a		c	c	c		-b	-b	-b		a	a	a		-c	-c	
a	a	a		-c	-c	-c		b	b	b		-a	-a	-a		c	c	c		-b	-b	-b		

**Таблица 3.** ДЗПФ ППО со стороны большей полюсности  
**Table 3.** DDSF PCHW from the high polarity side

Пазы статора																								2p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	8
			-b				-a				-c				-b				-a				-c	
a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	
-c	-c	-b	-b	-b	-b	-a	-a	-a	-a	-c	-c	-c	-c	-b	-b	-b	-b	-a	-a	-a	-a	-c	-c	
	a				c				b				a				c				b			

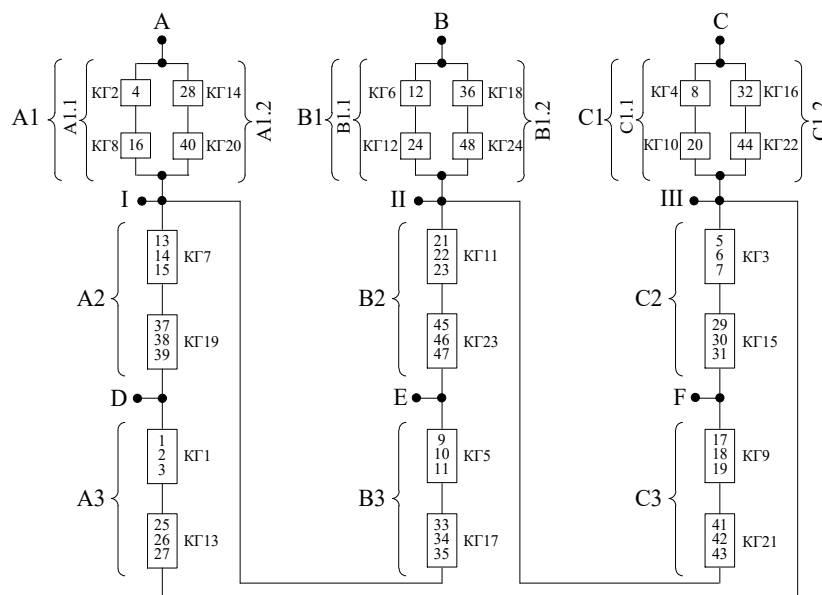
  

Пазы статора																								2p
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	8
			-b				-a				-c				-b				-a				-c	
a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	
-c	-c	-b	-b	-b	-b	-a	-a	-a	-a	-c	-c	-c	-c	-b	-b	-b	-b	-a	-a	-a	-a	-c	-c	
	a				c				b				a				c				b			

По полученной ДЗПФ составляем схему соединений ППО, которая составляется с учётом свойств БС (в половине катушек изменяется знак), и, рассматривая первый и третий ряды, по состоянию знаков определяется ветвь, которой соответствует тот или иной номер катушки [11].

**Таблица 4.** Группировка катушек в ветви базовой схемы обмотки  
**Table 4.** Grouping of coils in the branches of the basic winding scheme

№ Катушки	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
	4, 16, 28, 40	12, 24, 36, 48	8, 20, 32, 44	13, 14, 15, 37, 38, 39	21, 22, 23, 45, 46, 47	5, 6, 7, 29, 30, 31	1, 2, 3, 25, 26, 27	9, 10, 11, 33, 34, 35	17, 18, 19, 41, 42, 43



**Рис.1.** Электрическая схема предлагаемой трехфазной полюсопереключаемой обмотки с соотношением полюсов 8/4  
**Fig.1.** Electrical diagram of the proposed three-phase pole-changing winding with a pole ratio of 8/4

На рис.1 показана электрическая схема предлагаемой трехфазной полюсопереключаемой обмотки с соотношением полюсов 8/4. Катушки обмотки сгруппированы в схему треугольник с дополнительными ветвями-двойная звезда, причем в часть A1.1 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 4, 16; в часть A1.2 последовательно-согласно

включены катушки с порядковыми номерами 14, 20; в часть В1.1 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 12, 24; в часть В1.2 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 36, 48; в часть С1.1 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 8, 20; в часть С1.2 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 32, 44; в часть А2 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 13, 14, 15, 37, 38, 39; в часть А3 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 1, 2, 3, 25, 26, 27; в часть В2 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 21, 22, 23, 45, 46, 47; в часть В3 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 9, 10, 11, 33, 34, 35; в часть С2 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 5, 6, 7, 29, 30, 31; в часть С3 последовательно-согласно включены катушки с порядковыми номерами 17, 18, 19, 41, 42, 43.

При анализе электромагнитных свойств полюсопереключаемой обмотки учитывают и обмоточные коэффициенты, так как амплитуды гармонических составляющих зависят от величин обмоточных коэффициентов; коэффициенты дифференциального рассеяния рассматриваются одновременно с использованием диаграмм Гёрреса обеих полюсных сторон [12,13].

### 3. Результаты (Results)

Обмоточные коэффициенты полюсопереключаемой обмотки с  $2p_1$  и  $2p_2$  полюсной стороны соответственно равны  $k_{об1}=0,876$  и  $k_{об2}=0,691$ .

**Таблица 5.** Обмоточные данные при шаге-6 со стороны  $2p_1=8$

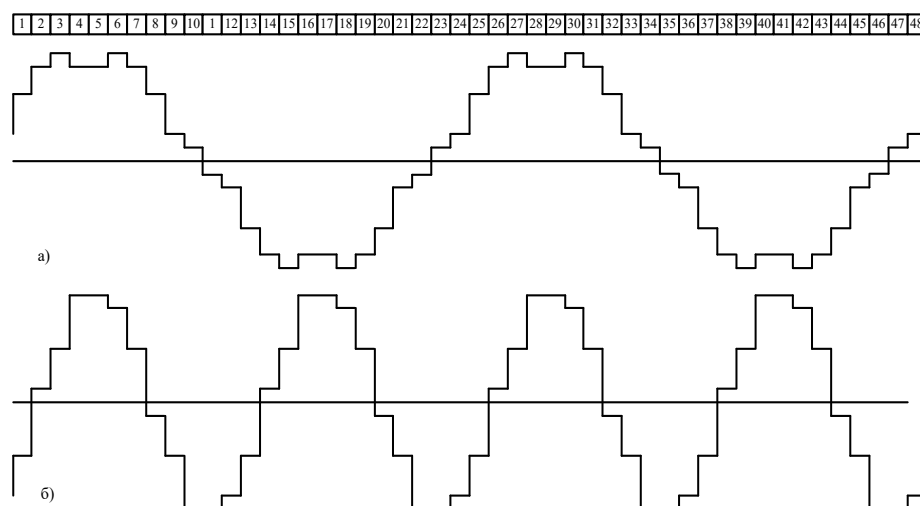
**Table 5.** Winding data at step-6 from side  $2p_1=8$

	Ветви БС Δ/YΥ с дополнительными ветвями					
	A2	B2	C2	A3	B3	C3
A	8,293	8,293	8,293	8,293	8,293	8,293
$k_{обм}$	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691
$\varphi$	30	90	150	30	90	150

**Таблица 6.** Обмоточные данные при шаге-6 со стороны  $2p_2=4$

**Table 6.** Winding data at step-6 from side  $2p_2=4$

	A	B	C
A	28,07	28,07	28,07
$k_{обм}$	0,877	0,877	0,877
$\varphi$	37,09	82,91	157,09



**Рис. 2.** Картины МДС при шаге ППО  $y=6$ : а) для  $2p_1=4$ ; б) для  $2p_2=8$

**Fig. 2.** Pictures of MMF at step PCHW  $y=6$ : а) for  $2p_1=4$ ; б) for  $2p_2=8$

Как можно увидеть по результатам расчётов (табл.5 и табл.6), данная обмотка со стороны обеих полюсностей имеет обычное распределение катушек по фазам, угол между фазами равен  $120^\circ$ , величины ЭДС, индуцированных в одноименных параллельных ветвях равны по амплитуде и по фазе, а в ветвях, относящихся разным фазам, индуцируются ЭДС равные по



амплитуде и сдвинутые по фазе на  $120^\circ$ . Одним словом, не имеется внешней или внутренней несимметрии. Картины намагничивающих сил, создаваемых ППО со стороны обеих полюсностей, близки к синусоиде, поэтому обмотка имеет достаточно высокие обмоточные коэффициенты. Обмотка является совершенно симметричной по отношению к источнику питания [15].

Со стороны 8 полюсов в картине МДС присутствуют четные гармонические с большими амплитудами, и коэффициент дифференциального рассеяния равен 1,4%.

Поскольку в двигателях смесительных установок обе скорости являются равноценными, электромагнитные свойства ППО с обеих сторон должны быть оптимальными [16].

Анализ электромагнитных свойств разработанной ППО со стороны обеих полюсностей при различных шагах показал, что оптимальным шагом обмотки является, при 48 пазах статора, шаг равный  $y=6$ .

Расчет коэффициента обмотки для каждой гармоники производился в три этапа обмотки. В табл. 7 приведены значения коэффициента вариации для каждой гармоники.

**Таблица 7.** Гармонический состав МДС с учетом обмоточных коэффициентов  
**Table 7.** Harmonic composition of MMF taking into account winding coefficients

Z	48											
2p	4						8					
y	5		6		7		5		6		7	
№	$k_{обм}$	A, %	$k_{обм}$	A, %	$k_{обм}$	A, %	$k_{обм}$	A, %	$k_{обм}$	A, %	$k_{обм}$	A, %
1	0,595	100,000	0,691	100,000	0,775	100,000	0,847	100,000	0,877	100,000	0,847	100,000
3	0,333	0,000	0,000	0,000	0,333	0,000	0,188	0,000	0,000	0,000	0,188	0,000
5	0,066	2,220	0,358	8,342	0,502	12,938	0,028	1,436	0,108	0,196	0,028	1,436
7	0,432	3,828	0,228	1,711	0,017	0,387	0,031	1,026	0,224	0,289	0,060	1,026
9	0,053	0,000	0,098	0,832	0,128	0,000	0,177	0,000	0,250	1,496	0,177	0,000
11	0,246	3,766	0,220	0,824	0,189	2,217	0,847	9,091	0,877	9,091	0,847	9,091
13	0,246	3,186	0,220	0,697	0,189	1,876	0,847	-7,692	0,877	-7,692	0,847	-7,692

В табл. 8 представлены дифференциальные коэффициенты рассеяния новых токов смены полярности с соотношением  $p_1 / p_2 = 8:4$  на основе базовых схем «Y-Δ/YU».

**Таблица 8.** Коэффициенты дифференциального рассеяния  
**Table 8.** Differential scattering coefficients

Z	y	$\sigma_0$ , %	
		при $2p_1=4$	при $2p_2=8$
48	5	1,1	0,9
	6	2	1,4
	7	6,5	0,9

Анализ состава переменного тока проводится для обоих полюсов одновременно. В этом случае необходимо определить шаг катушки с наибольшими электромагнитными параметрами, то есть оптимальный шаг, удовлетворяющий требованиям обоих полюсов.

#### 4. Обсуждение (Discussion)

Для электродвигателей с пазом статора равным 48, построенных на основе базовой схемы «Y-Δ/YU», число полюсов в соотношении 8/4, на стороне полюса  $p_1=8$ , при шаге  $y=5$ , присутствуют высшие гармоники, кроме первой гармоники в виде ЭДС, а их амплитуда больше суммарной гармоники. С учётом обмоточного коэффициента их влияние значительно уменьшается (табл.7);  $v_5=1,436\%$ ,  $v_7=1,026\%$ ,  $v_{11}=9,091\%$ ,  $v_{13}=7,692\%$ . Коэффициент дифференциального рассеяния  $\sigma_0=0,9\%$ .

При шаге  $y=6$  присутствуют высшие гармоники, кроме первой гармоники в виде ЭДС. Их амплитуда рассчитывается в процентах от общей гармоники, соответственно:  $v_5=0,196\%$ ,  $v_7=0,289\%$ ,  $v_9=1,496\%$ ,  $v_{11}=9,091\%$ ,  $v_{13}=7,692\%$  с учётом обмоточного коэффициента. Коэффициент дифференциального рассеяния  $\sigma_0=1,4\%$ .

При шаге  $y=7$  присутствуют высшие гармоники, кроме первой гармоники в виде ЭДС. Их амплитуда рассчитывается в процентах от общей гармоники, соответственно:  $v_5=1,436\%$ ,  $v_7=1,026\%$ ,  $v_{11}=9,091\%$ ,  $v_{13}=7,692\%$  с учётом обмоточного коэффициента. Коэффициент дифференциального рассеяния  $\sigma_0=0,9\%$ .

На стороне  $p_2=4$  при шаге  $y=5$  присутствуют высшие гармоники, кроме первой гармоники в



виде ЭДС, а их амплитуда больше суммарной гармоник. С учётом обмоточного коэффициента их влияние значительно уменьшается (табл. 7):  $v_5=2,2\%$ ,  $v_7=3,8\%$ ,  $v_{11}=3,766\%$ ,  $v_{13}=3,186\%$ . Коэффициент дифференциального рассеяния  $\sigma_0=1,1\%$ .

При шаге  $y=6$  присутствуют высшие гармоники, кроме первой гармоники в виде ЭДС. Их амплитуда рассчитывается в процентах от общей гармоники, соответственно:  $v_5=8,342\%$ ,  $v_7=1,7\%$ ,  $v_9=0,832\%$ ,  $v_{11}=0,824\%$ ,  $v_{13}=0,69\%$  с учётом обмоточного коэффициента. Коэффициент дифференциального рассеяния  $\sigma_0=2\%$ .

При шаге  $y=7$  присутствуют высшие гармоники, кроме первой гармоники в виде ЭДС. Их амплитуда рассчитывается в процентах от общей гармоники, соответственно:  $v_5=12,938\%$ ,  $v_7=0,387\%$ ,  $v_{11}=2,217\%$ ,  $v_{13}=1,876\%$  с учётом обмоточного коэффициента. Коэффициент дифференциального рассеяния  $\sigma_0=6,5\%$ .

## 5. Заключение (Conclusions)

Как видно из приведенного выше анализа, количество пазов статора составляет 48, а соотношение полюсов – 8:4. Y-Δ/Y/Y значение первой гармоники относительно велико, высшие гармонические составляющие минимальны (двойных гармоник не будет), форма диаграммы Гёргеса близка к кругу. На этом этапе для полярной стороны  $p=4$  значение первой гармоники относительно велико, пары высших гармоник отсутствуют, форма диаграммы Гёргеса близка к кругу, а значение дифференциального коэффициента рассеяния будет минимальным ( $\sigma_0=5,3\%$ ).

Обе скорости такого двухскоростного электродвигателя одинаково важны, электромагнитный состав обеих сторон обмотки переменного тока должен быть оптимальным. Поэтому шаг  $y=4$  принимается как наиболее оптимальный.

Вышеописанный процесс анализа можно использовать для определения оптимального шага различных типов обмоток.

## ЛИТЕРАТУРА

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 //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. Kh.G. Karimov, Yu.A. Tupoguz. A Method for Designing Electrically Aligned Windings in AC Machines //Electricity 1987, №9, pp 29–38.
5. Dahlander und Lindstrom. Wicklungen für zwei verschiedene Polzahlen. (Deutsche Patent № 89137).
6. Makhmud 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>.
7. 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.
8. Kh.G. Karimov, M.K.Bobojanov. "New pole-changing windings of asynchronous motors". //Magazine "Elektrichestvo" (Russia), 1996, №1, Moscow, pp. 27-32.
9. 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.
10. M.K. Bobojanov, E. Bolte. Polumschaltbare Motoren: neue Perspektiven // "UNIFORSCHUNG" Forschungsmagazin der Universität der Bundeswehr Hamburg. 12.Jahrgang.2002. Seite 2-7.
11. 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.
12. 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.

13. 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.
14. M.K. Bobojanov, M. Sadikova, H. Hakan. "New pole-changing asynchronous generator for wind devices" //PEOCO 2007-First Power Ingeneering and Optimization Conference, Malaysia, June 6, 2007.
15. Kh.G. Karimov, D.A. Rismukhamedov. "Two – speeds induction motors for the energy saving measures" //6-th International conference on Engineering of Modern Electric Systems.- Oradea (Romania), pp. 385-389, 2001.
16. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov, D.A. Rismuhamedov. "The methodology of construction and analysis of the electromagnetic properties of a pole switchable winding" // Bulletin of TSTU, no. 3, pp. 71-78, 2004.
17. H. Liu, J. Wang, Z. Zhang. "Performance analysis of variable speed multiphase induction motor with pole phase modulation" //Archives of electrical engineering, vol. 65 (3), pp. 425–436 (2016).
18. 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, 2019. No. 1 (106), pp. 57–63.

## 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. //Проблемы информатики и энергетики, 1993. №1.
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. Kh.G. Karimov, Yu.A. Tupoguz. A Method for Designing Electrically Aligned Windings in AC Machines //Electricity 1987, №9, pp 29–38.
5. Dahlander und Lindstrom. Wicklungen fur zwei verschiedene Polzahleen. (Deutsche Patent № 89137).
6. 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>.
7. 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.
8. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov. "New pole-changing windings of asynchronous motors". //Magazine "Elektrichestvo" (Russia), 1996, №1, Moscow, pp. 27-32.
9. 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.
10. M.K. Bobojanov, E. Bolte. Polumschaltbare Motoren: neue Perspektiven // "UNIFORSCHUNG" Forschungsmagazin der Universitaet der Bundeswehr Hamburg. 12.Jahrgang.2002. Seite 2-7.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. M.K. Bobojanov, M. Sadikova, H. Hakan. "New pole-changing asynchronous generator for wind devices" //PEOCO 2007-First Power Ingeneering and Optimization Conference, Malaysia, June 6, 2007.





15. Kh.G. Karimov, D.A. Rismukhamedov. “Two – speeds induction motors for the energy saving measures” //6-th International conference on Engineering of Modern Electric Systems.- Oradea (Romania), pp. 385-389, 2001.
16. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov, D.A. Rismuhamedov. “The methodology of construction and analysis of the electromagnetic properties of a pole switchable winding” //Bulletin of TSTU, no. 3, pp. 71-78, 2004.
17. H. Liu, J. Wang, Z. Zhang. “Performance analysis of variable speed multiphase induction motor with pole phase modulation” //Archives of electrical engineering, vol. 65 (3), pp. 425–436 (2016).
18. 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.