

РАЗРАБОТКА ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ОБМОТОК ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ТУРБОМЕХАНИЗМОВ

Рисмухамедов Д.А.

Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического
университета

имени Ислама Каримова, г. Алмалык, Узбекистан

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9458-0522>; drismuxamedov@gmail.com

Ганиев С.Т.

Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического
университета

имени Ислама Каримова, г. Алмалык, Узбекистан

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3392-9127>; ganiyev_st@mail.ru

Рисмухамедов С.Д.

Ташкентский государственный технический университет,

имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9538-604X>;

sabitrismukhamedov1996@gmail.com

Пейсенов М.Б.

Ташкентский государственный технический университет,

имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8150-9408>, peysenovmoldagali@gmail.com

Хусанов Ш.Х.

Ташкентский государственный технический университет,

имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9303-9224>,

shahobiddinhusanov0809@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье приведена актуальность разработки полюсопереключаемых обмоток для двигателей турбомеханизмов, на основе метода «Дискретно-заданных пространственных функций» разработана полюсопереключаемая обмотка на соотношение полюсов 3/4 при 54 пазах статора. Произведен анализ электромагнитных свойств полученной обмотки. Выявлены соответствие полученной обмотки для применения в турбомеханизмах.

Ключевые слова: турбомеханизм, двухскоростной двигатель, полюсопереключаемая обмотка, обмоточный коэффициент, картины магнитодвижущих сил, гармонические составляющие, диаграмма Гергеса, коэффициент дифференциального рассеяния.

ABSTRACT

The article describes the relevance of the development of pole-switching windings for engines of turbo mechanisms; based on the method of “Discrete-specified spatial functions”, a pole-switching winding has been developed for a pole ratio of 3/4 with 54 stator slots. An analysis of the electromagnetic properties of the resulting winding was carried out. The suitability of the resulting winding for use in turbo mechanisms was revealed.

Key words: *turbo mechanism, two-speed motor, pole-switching winding, winding coefficient, magnetomotive force patterns, harmonic components, Gerges diagram, differential dissipation coefficient.*

Крупные тепловые станции, промышленные предприятия, объекты сельского хозяйства Республики оснащены многочисленными насосами, вентиляторами и компрессорными установками различного назначения, выпускаемые промышленностью технически развитых стран миллионами штук в год.

Крупные двухскоростные двигатели (ДД), используемых сейчас в турбомеханизмах, имеют две отдельные обмотки на статоре, что ухудшает их массогабаритные показатели и энергетические параметры. Применение в ДД одной полюсопереключаемой обмотки (ППО), имеющей две группы выводов для каждой полюсности, позволяет увеличить полезную мощность этих двигателей, т.е. более эффективно использовать активную часть машины, сэкономить обмоточную медь и изоляционные материалы, повысить энергетические показатели, а также дает возможность приблизить ДД по массогабаритным показателям к обычным серийным односкоростным асинхронным двигателям (АД). Применение таких двигателей в нерегулируемых электроприводах турбомеханизмов позволяет рационально использовать электрическую энергию при малозагруженных режимах работы [2].

Построения ППО на близкие соотношения полюсов производится на основе базовой схемы «три трехфазные звезды» (см. рис. 1).

В качестве примера рассмотрим построение ППО на соотношение пар полюсов 3/4, размещаемая в 54 пазах статора применением метода ДЗПФ.

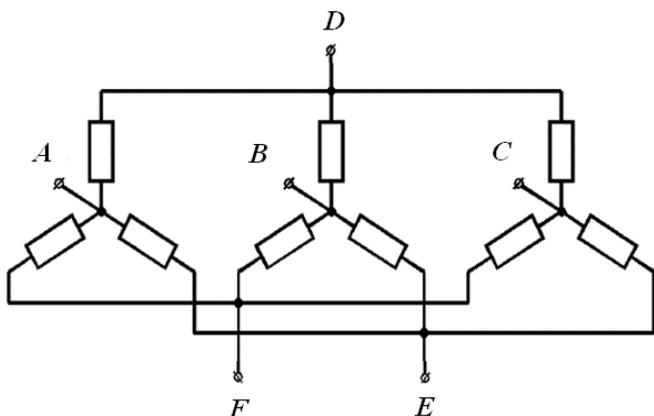


Рис. 1-Схема переключения «YYY/YYY»

За исходные обмотки возьмем две двухслойные петлевые м-зонные обмотки статора с числами пар полюсов $2p_1=6$ и $2p_2=8$, причем для $2p_1=6$ обмотку с целым числом пазов на полюс и фазу $q_1=6$ с шагом 1-9 (1), для $2p_2=8$ с дробным числом пазов на полюс и фазу $q_2=4,5$ с шагом 1-7 (2).

Пазы статора																															$2p_1$				
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	...	...	...	54	$2p_1$
-b	-b	-c	-c	-c	-c	-c	-c	-a	-a	-a	-a	-a	-a	-b	-b	-b	-b	-b	-c	-c	-c	-c	-c	-c	-a	-a	-a	-a	-a					-b	6
a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	c				c	(1)

Пазы статора																															$2p_2$				
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	...	...	...	54	$2p_2$
-e	-e	-f	-f	-f	-f	-d	-d	-d	-d	-e	-e	-e	-e	-f	-f	-f	-f	-d	-d	-d	-d	-e	-e	-e	-e	-e	-f	-f					-e	8	
d	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	e	e	e	e	e	f	f	f	f	d	d	d	d				f	(2)

Расположив нижний ряд каждой обмотки, друг под другом (3), по наименованию фазы в пазе с одной и другой обмоткой, можно определить ветвь, которой соответствует тот или иной номер катушки.

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	25	26	27	$2p$
a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	b	b	b	6	
d	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	e	e	e	e	e	f	f	f	f	8

Пазы статора																											$2p$
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	$2p$
b	b	b	c	c	c	c	c	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c	6	
d	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	e	e	e	e	e	f	f	f	f	8

Например, паз №1 при $2p_1=6$ полюсной обмотки соответствует фазе А, а при $2p_2=8$ фазе D, следовательно, принадлежит ветви D-A. Основываясь на этот способ, группируем катушки (3) в ветви BC и заносим в таблицу 1.

Таблица 1- Распределение катушек в ветвях базовой схемы

№ катушек	Ветви BC «YYY/YYY»								
	D-A	D-B	D-C	E-A	E-B	E-C	F-A	F-B	F-C

	42,1,2,3,4,5	6,19,20,21,22,23	24,38,39,40,41	28,29,30,43,44,45	46,47,48,7,8,9	10,11,12,25,26,27	15,16,17,18,31,32	33,34,35,36,49,50	51,52,53,54,13,14
--	--------------	------------------	----------------	-------------------	----------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Объединение групп катушек в обмотку осуществляется в соответствии с соединениями катушек БС «УУУ/УУУ».

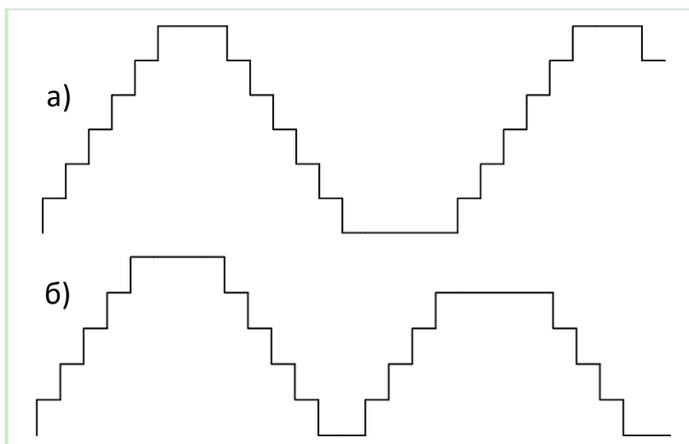


Рис. 2 - Картины МДС при $\gamma=8$

а) со стороны $2p_1=6$, б) со стороны $2p_2=8$

Картины магнитодвижущих сил (МДС) полученной ППО представлены на рис.2.

Полученная ППО со стороны $2p_1$ полюсности вектора ЭДС каждой фазы равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на 120° , т.е. обмотка абсолютно симметрична по отношению к источнику питания (см. табл. 2), а со стороны $2p_2$ имеет расхождение суммарных векторов ЭДС по фазе между ветвями одноименной фазы D-A, D-V и D-C, которые повторяется и в

параллельных ветвях фаз *F* и *E* не вызывают уравнивательные токи, так как они по отношению друг к другу равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на 120° , то есть в звездах обмотки со стороны $2p_2=8$ полюсов сохраняется симметрия по отношению к источнику питания (см.табл.3).

Таблица 2 - Обмоточные данные со стороны $2p_1=6$

	Ветви БС УУУ/УУУ								
	A-D	A-E	A-F	B-D	B-E	B-F	C-D	C-E	C-F
A	9,823	9,823	9,823	9,823	9,823	9,823	9,823	9,823	9,823
$k_{обм}$	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819	0,819
φ	40,00	40,00	40,00	160,00	160,00	160,00	80,00	80,00	80,00

Таблица 3 - Обмоточные данные со стороны $2p_2=8$

	Ветви БС УУУ/УУУ								
	D-A	E-A	F-A	D-B	E-B	F-B	D-C	E-C	F-C
A	9,179	9,179	9,179	10,037	10,037	10,037	9,817	9,817	9,817
$k_{обм}$	0,765	0,765	0,765	0,836	0,836	0,836	0,818	0,818	0,818
φ	62,29	177,71	57,71	63,33	176,67	56,67	84,13	155,87	35,87

Различие в величинах магнитных индукций может быть скомпенсировано только за счёт разницы в значениях обмоточных коэффициентов, причём с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны соответственно равны $k_{об1}=0,819$ и $k_{об2cp}=0,806$.

На рис. 3 показаны диаграммы Гёргеса для ППО на основе БС «УУУ/УУУ» на соотношение полюсов 3/4 в 54 пазах статора при шаге обмотки $y=8$. Значения коэффициентов дифференциального рассеяния для $2p_1=6$ стороны $\sigma_1=2,17\%$, для $2p_2=8$ стороны $\sigma_2=5,53\%$.

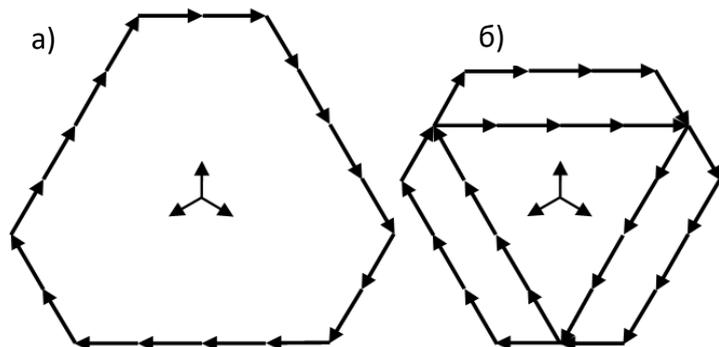


Рис. 3 - Диаграммы Гёргеса при $y=8$

а) со стороны $2p_1=6$ и б) со стороны $2p_2=8$

Для определения оптимального шага обмотки, который бы удовлетворял требованиям со стороны обеих полюсностей необходимо провести анализ полученных расчетных данных. При анализе электромагнитных свойств ППО одновременно рассматриваются расчетные данные гармонического состава

картин МДС с учетом обмоточных коэффициентов и коэффициенты дифференциального рассеяния со стороны обеих полюсностей при трех возможных шагах со стороны обеих полюсностей.

В картине МДС ППО со стороны 3 полюсов при шаге обмотки $y=7$ кроме первой гармоники присутствуют 2-я, 5-я, 7-я, 8-я, 10-я, 11-я, 13-я и 14-я гармонические, их амплитуда в процентном соотношении составляет 17,365%, 0,838%, 2,152%, 0,802%, 0,642%, 1,369%, 0,322%, 2,022% соответственно, а с учетом обмоточных коэффициентов их влияние уменьшается до 6,463%, 0,035%, 0,324%, 0,051%, 0,041%, 0,206%, 0,013%, 0,573%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma = 4,87\%$.

При шаге $y=8$ со стороны 3 полюсов гармонические этих же порядков имеют амплитуды – 8,816 %, 2,959 %, 0,917 %, 2,204 %, 1,763 %, 0,583 %, 1,138 %, 1,259 % соответственно, но с учётом обмоточных коэффициентов их величина сильно уменьшается, т.е. - 1,671 %, 0,438 %, 0,059 %, 0,389 %, 0,311 %, 0,037 %, 0,168 %, 0,222 %. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma=2,17\%$.

При шаге $y=9$ со стороны 3 полюсов кроме первой гармоники присутствуют 5-я, 7-я, 11-я и 13-я, гармонические, их амплитуды имеют – 3,534%, 2,640%, 1,680%, 1,744% соответственно и с учётом их обмоточных коэффициентов их величина сильно уменьшается, т.е. - 1,028%, 0,488%, 0,310%, и 0,395%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma = 1,45\%$.

В картине МДС ППО со стороны 4 полюсов при шаге $y=7$ кроме первой гармоники присутствуют 2-я, 5-я, 7-я, 8-я, 10-я, 11-я, 13-я и 14-я гармонические, их амплитуда составляет 5,911%, 2,298, 4,734%, 1,816%, 2,392%, 1,698%, 1,328% и 1,236% соответственно, а с учетом обмоточных коэффициентов - 0,293%, 6,762%, 3,382%, 0,906%, 1,995%, 1,346% и 7,720%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma=2,33\%$.

При шаге $y=8$ со стороны 4 полюсов гармонические этих же порядков имеют амплитуды - 5,135%, 2,593%, 3,465%, 1,318%, 2,062%, 1,260%, 1,190% и 0,945% соответственно, а с учетом обмоточных коэффициентов - 2,584%, 0,964%, 0,656%, 5,527%, 0,096%, 2,566%, 3,932% и 3,651%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma=5,53\%$.

При шаге $y=9$ со стороны 4 полюсов гармонические этих же порядков имеют амплитуды - 4,299%, 2,080%, 2,915%, 1,205%, 1,816%, 0,931%, 1,055%, и 0,580% соответственно, а с учетом обмоточных коэффициентов - 3,833%, 6,390%, 4,867%, 6,359%, 2,752%, 2,715%, 8,394% и 7,794%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma=12,09\%$.

Поскольку в ДД турбомеханизмов обе скорости являются равноценными, электромагнитные свойства ППО с обеих сторон должны быть оптимальными. Анализ электромагнитных свойств разработанной ППО со стороны обеих полюсностей при различных шагах показал, что оптимальным шагом обмотки является при 54 пазах статора шаг равный $y=8$ ($1 \rightarrow 9$).

Изучение и теоретический анализ свойств новой полюсопереключаемой обмотки показали, что в данной обмотке величины ЭДС, индуцированных в ветвях, относящихся к разным фазам равны по амплитуде и сдвинутые по фазе на 120° , т.е. обмотка является совершенно симметричной по отношению к источнику питания и имеет достаточно высокие обмоточные коэффициенты.

С технологической точки зрения разработанная полюсопереключаемая обмотка представляет собой обычную двухслойную обмотку, состоящую из равномерно распределенных по пазам равновитковых катушек одинакового шага, что позволяет обеспечить промышленную применимость предлагаемой обмотки, так как двухскоростные двигатели с такой обмоткой могут найти применение на многочисленных центробежных насосах и вентиляторах, где необходимо регулировка скорости вращения по технологическому процессу или в целях энергосбережения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. Оттерпол Г., Хюбнер Р. Технические и экономические аспекты применения энергосберегающих электроприводов в насосных и вентиляторных

механизмах (из опыта фирмы "Elpro AG", Германия) / Энергосберегающий электропривод насосов и вентиляторов в промышленности и коммунальном хозяйстве: Тез. докл. науч.–тех. семинара.– М., 1995.– С. 12–16.

2. Бергнер М.С., Гальцев Ю.К., Голыгин А.Ф., Давиденко П.В., Данилкин Н.И. Насосное и вентиляторное хозяйство в структурах современного производства // Науч.–тех. семинар «Энергосберегающий электропривод насосов и вентиляторов в промышленности и коммунальном хозяйстве»: Тез. докл.– М., 1995.– С. 23–25.

3. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках.– М.: Энергоатомиздат, 1991.– 144 с.

4. Каримов Х.Г. Методы получения полюсопереключаемых обмоток для двигателей регулируемых электроприводов широкого применения // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики».– 1992, № 3/4. –С. 41–47.

5. Д.А.Рисмухамедов. Полюсопереключаемые асинхронные двигатели для турбомеханизмов: Дис. ... канд. техн. наук.– Ташкент, 2006.– 155 с.

6. Д.А.Рисмухамедов, М.К.Бобожанов, Ф.Н.Туйчиев, Х.Ф.Шамсутдинов, С.Т.Ганиев, Х.Г.Магдиев. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с соотношением пар полюсов 3/4 / Патент на изобретение РУз. № IAP 06647 от 30.12.2021.

7. D. Rismuhamedov, F.Tuychiev, S. Rismuxamedov. Pole-changing windings for turbomechanism engine. CONMECHYDRO – 2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012140 IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012140>.

8. M.Bobojanov, D.Rismukhamedov, F.Tuychiev Kh.Shamsutdinov, Kh.Magdiev. Pole-changing motor for lift installation/E3S Web of Conferences 216, 01164 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.

9. M.Bobojanov, D.Rismukhamedov, F.Tuychiev Kh.Shamsutdinov. Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio/E3S Web of Conferences 264, 03057 (2021) CONMECHYDRO – 2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403057>.

10. M.K.Bobojanov, D.A.Rismukhamedov, F. N.Tuychiev Kh.F.Shamsutdinov. Development of new pole-changing winding for lifting and transport mechanisms/E3S Web of Conferences 365, 04024 (2023) CONMECHYDRO–2022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336504024>

11. D.Rismukhamedov, Kh.Shamsutdinov, S.Ganiev, Kh.Magdiev, Sh.Khusanov/“New pole-changing winding for electric drive of ball mills” E3S Web of Conferences 384, 01059 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401059>.