

## ШЕСТИФАЗНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Л. Я. Беликова, В. С. Петрушин, В. П. Чайковский, А. М. Якимец

Одесский национальный политехнический университет

**Аннотация.** Предлагаются схемы шестифазных обмоток разных конструктивных исполнений для асинхронных регулируемых двигателей. Считалось, что шестифазные обмотки могут быть только двухслойными. Однако, возможно выполнение однослойных обмоток. Приведены схемы однослойных шестифазных обмоток в числе пазов статора  $Z_1=36$  с числом полюсов  $2p=4$  при изменении чередования фаз и  $Z_1=24$  с  $2p=2$  при изменении числового ряда и чередования фаз обмотки.

**Ключевые слова:** шесть фаз, фазные зоны, число пазов статора, схема обмотки, однослойная обмотка.

## Введение

Одним из путей улучшения эксплуатационных характеристик регулируемых асинхронных двигателей (РАД) является увеличение числа фаз обмотки статора с трех до шести.

Ток, потребляемый одной фазой обмотки статора шестифазного АД, примерно вдвое меньше потребляемого фазного тока его трехфазного аналога. Благодаря этому, в приводах средней и большой мощности есть возможность уменьшить токовую нагрузку на фазу инвертора при одновременном увеличении их количества (распараллеливание нагрузки).

Выявлено значительное снижение виброскоростей и магнитных шумов шестифазных АД по сравнению с аналогичными показателями трехфазного АД в анализируемом диапазоне регулирования, что способствует снижению пульсаций момента и скорости на валу двигателя и повышению его надежности.

## Постановка задач исследования

Считалось, что 6-ти фазная обмотка может быть получена из 3-х фазной путем замены шести фазных зон (ФЗ) А, С', В, А', С, В' на шесть фаз А, В, С, D, E, F с 60 градусной фазной зоной.

В этом случае 6-ти фазная обмотка получается двухслойной. Здесь приводится анализ возможных схем 6-ти фазных обмоток в 36 и 24 пазах статора с числом полюсов  $2p=4$  и  $2p=2$ .

Рассмотрим шестифазную ( $m = 6$ ) обмотку статора асинхронной машины с числом пазов статора  $Z_1 = 36$ , и числом полюсов  $2p = 4$ .

Обмотка должна быть симметричной, а оси фаз сдвинуты на 60 эл. градусов.

Определяем:

- число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z_1}{p \cdot m} = \frac{36}{2 \cdot 6} = 3;$$

- числовой ряд для периода повторения

3, 3, 3, 3, 3, 3;

- чередование шести фаз:

A, B, C, D, E, F.

Распределение активных катушечных сторон (АКС) обмотки по пазам и фазным зонам представлено в табл. 1.

Векторная диаграмма пазовых ЭДС показана на рис. 1

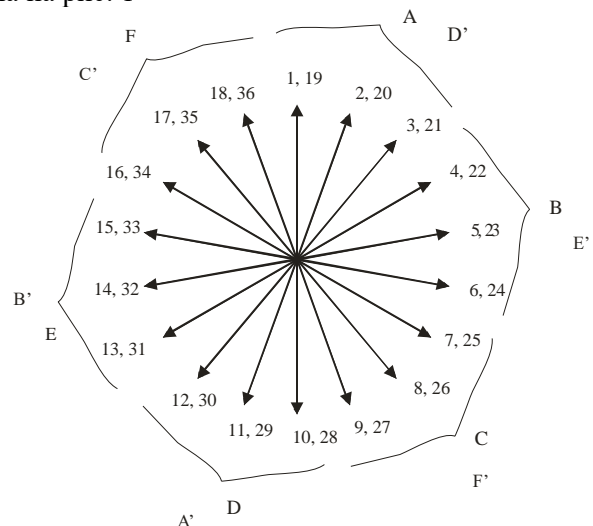


Рис. 1. Звезда пазовых ЭДС 6-ти фазной обмотки статора

Угол сдвига между пазовыми ЭДС определяется из выражения

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{Z_1} = \frac{360 \cdot 2}{36} = 20 \text{ эл.град.}$$

Коэффициент распределения обмотки

$$k_r = \frac{0,5}{q \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,5}{3 \cdot \sin 10^\circ} = 0,959.$$

$$y = (0,8 \div 0,86) \cdot \tau = (0,8 \div 0,86) \cdot 9 = 8.$$

Обмоточный коэффициент

$$k_w = k_r \cdot k_y = 0,959 \cdot 0,985 = 0,945.$$

Шестифазная обмотка с чередованием фаз A, B, C, D, E, F может быть только двухслойной, например, с шагом

Таблица 1

Распределение АКС 6-ти фазной обмотки в 36 пазах статора

Номера пазов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ФЗ	A			B			C			D			E			F		
Номера пазов	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ФЗ	A			B			C			D			E			F		

В 6-ти фазных обмотках с четным числом пар полюсов можно поменять чередование фаз и сделать 6-ти фазную обмотку однослойной.

Чередование фаз для всей обмотки:

A, B, C, A', B', C', D', E', F', D, E, F.

Распределение активных катушечных сторон (АКС) обмотки по пазам и фазным зонам представлено в табл. 2

Схема-развертка 6-ти фазной обмотки может быть выполнена из катушечных групп с шагом  $y=9$  в однослойном исполнении. Её схема представлена на рис. 2

Таблица 2

Распределение АКС 6-ти фазной однослойной обмотки в 36 пазах статора

Z <sub>1</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ФЗ	A			B			C			A'			B'			C'		
Z <sub>1</sub>	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ФЗ	D'			E'			F'			D			E			F		

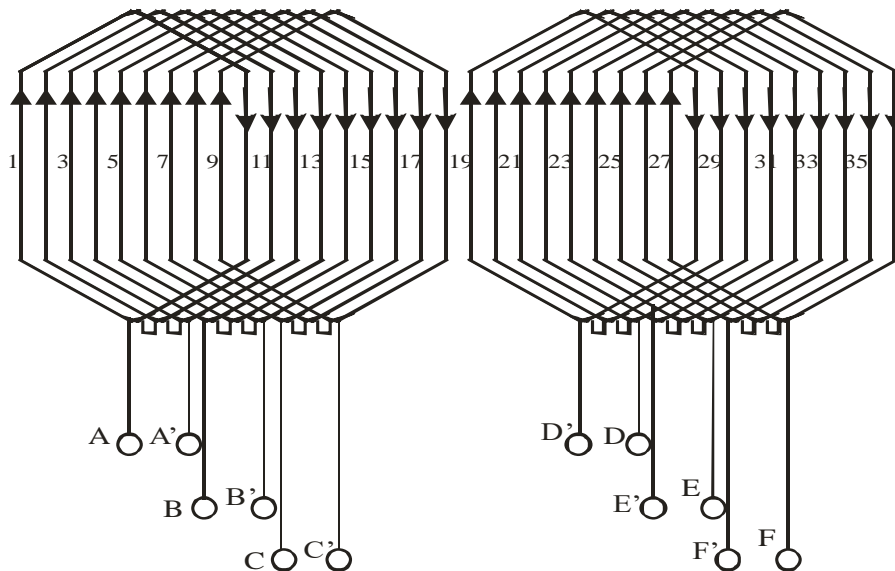


Рис. 2. Схема-развертка однослойной катушечной 6-ти фазной обмотки с числом полюсов  $2p=4$  и шагом  $y=9$

Обмоточный коэффициент равен коэффициенту распределения обмотки

$$k_w = k_r = 0,959.$$

Если поменять чередование фаз обмотки, то можно построить однослойную концентрическую двухплоскостную 6-ти фазную обмотку.

Распределение для такой обмотки приведено в табл. 3.

Вместо фазы В' будет фаза Е, а вместо фазы Е будет фаза В'.

Схема - развертка этой обмотки показана на рис. 3.

Таблица 3

Распределение АКС 6-ти фазной однослойной двухплоскостной обмотки в 36 пазах статора с  $2p=4$

Номера пазов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ФЗ	A			B			C			A'			E			C'		
Номера пазов	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ФЗ	D'			E'			F'			D			B'			F		

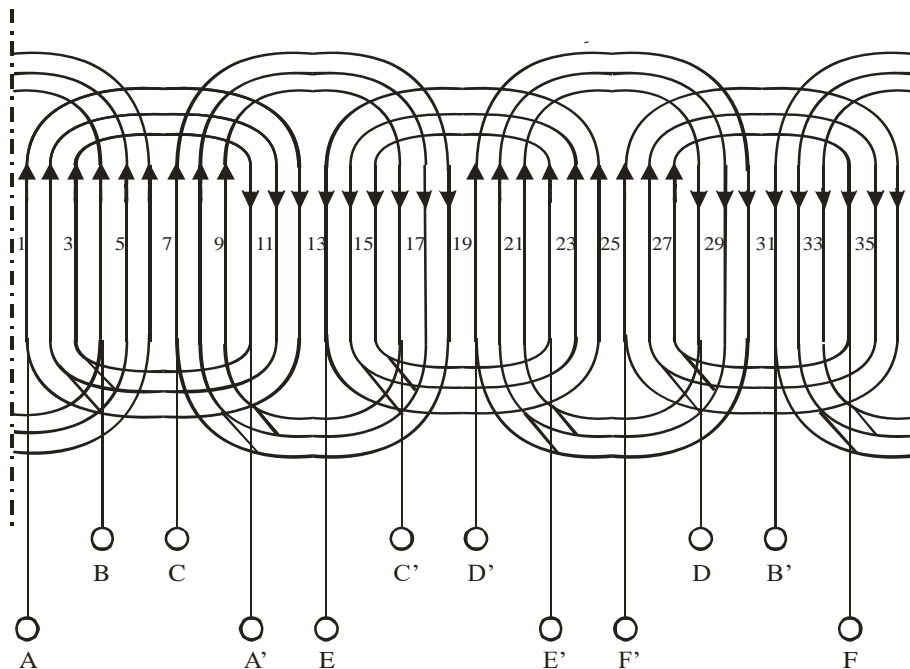


Рис.3. Схема-развертка однослойной концентрической двухплоскостной 6-ти фазной обмотки с  $2p=4$

Аналогично, рассмотрим возможные схемы 6-ти фазных обмоток с нечетным числом пар полюсов  $p=1$  в числе пазов статора  $Z_1 = 24$ .

Обмотка должна быть симметричной и оси фаз сдвинуты на  $60^\circ$  эл. градусов.

Для  $60^\circ$  фазной зоны определяем:

- число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z_1}{p \cdot m} = \frac{24}{1 \cdot 6} = 4;$$

- числовой ряд для всей обмотки:

4, 4, 4, 4, 4, 4;

- чередование шести фаз:

A, B, C, D, E, F.

Распределение активных катушечных сторон (АКС) обмотки с  $2p=2$  по пазам и фазным зонам представлено в табл. 4.

Таблица 4

 Распределение АКС 6-ти фазной обмотки в 24 пазах статора при  $2p=2$ 

Номера пазов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ФЗ	A				B				C			
Номера пазов	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ФЗ	D				E				F			

Векторная диаграмма пазовых ЭДС показана на рис. 4.

Угол сдвига между пазовыми ЭДС определяется по выражению

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{Z_1} = \frac{360 \cdot 1}{24} = 15 \text{ эл.град.}$$

Коэффициент распределения обмотки

$$k_r = \frac{0,5}{q \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,5}{4 \cdot \sin 7,5^\circ} = 0,9576.$$

Шестифазная обмотка с таким чередованием фаз может быть только двухслойной с шагом

$$y = (0,8 \div 0,86) \cdot \tau = (0,8 \div 0,86) \cdot 12 = 10.$$

Коэффициент укорочения

$$k_y = \sin\left(90 \cdot \frac{y}{\tau}\right) = \sin\left(90 \cdot \frac{10}{12}\right) = 0,966.$$

Обмоточный коэффициент

$$k_w = k_r \cdot k_y = 0,9576 \cdot 0,966 = 0,925.$$

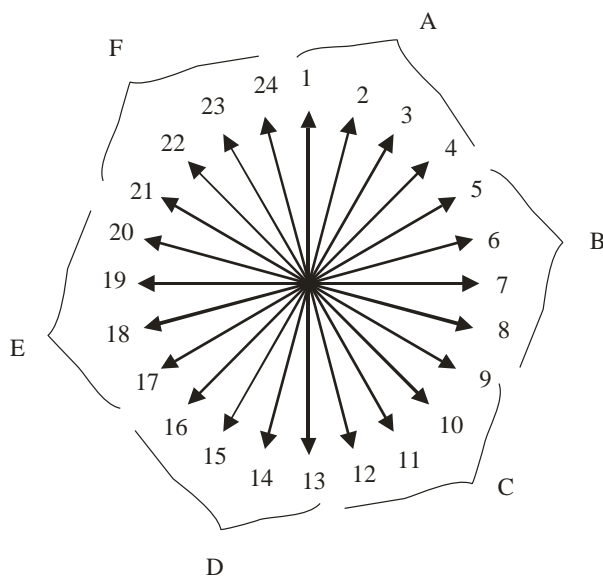


Рис. 4. Звезда пазовых ЭДС 6-ти фазной обмотки статора при  $p=1$

Схема-развертка 6-ти фазной двухслойной обмотки с шагом  $y=8$  показана на рис. 6.

Возможно проектирование двухполюсной однослойной 6-ти фазной обмотки, но только с другим числовым рядом и другим чередованием фаз:

- числовой ряд для всей обмотки:

2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2;

- чередование фаз:

$A, E' B, F', C, A', D, B', E, C', F, D'$ .

Векторная диаграмма пазовых ЭДС показана на рис. 5, а схема-развертка однослойной катушечной обмотки с шагом  $y=10$  приведена на рис. 7.

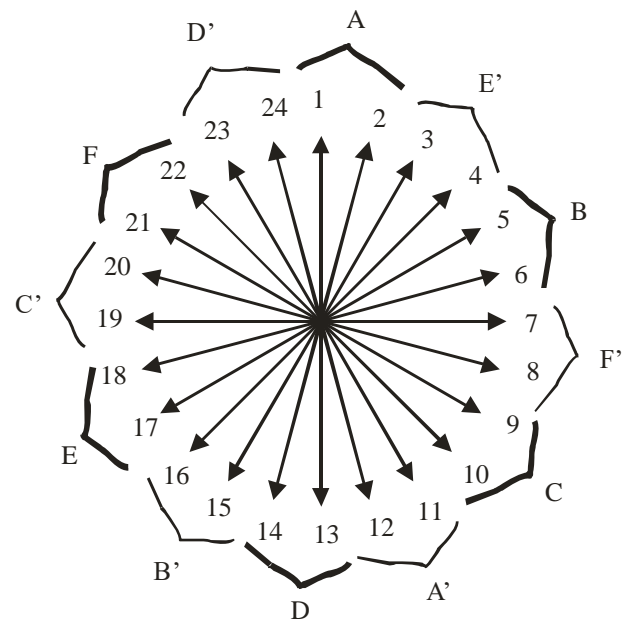


Рис. 5. Векторная диаграмма пазовых ЭДС 6-ти фазной однослойной обмотки при  $p=1$

Несмотря на изменение числового ряда, полученная обмотка эквивалентна обмотке с  $q=4$  и ее обмоточный коэффициент равен

$$k_w = k_r = 0,9576.$$

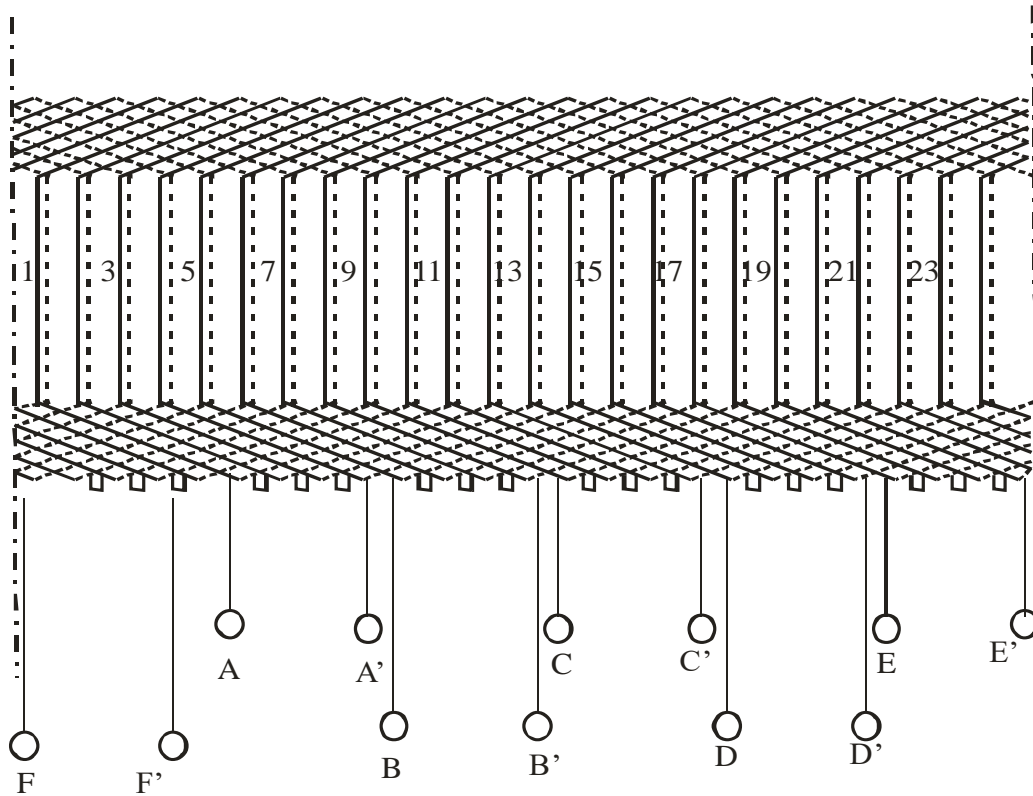


Рис. 6. Схема-розгортка двухслойной 6-ти фазной обмотки с числом пар полюсов  $p=1$

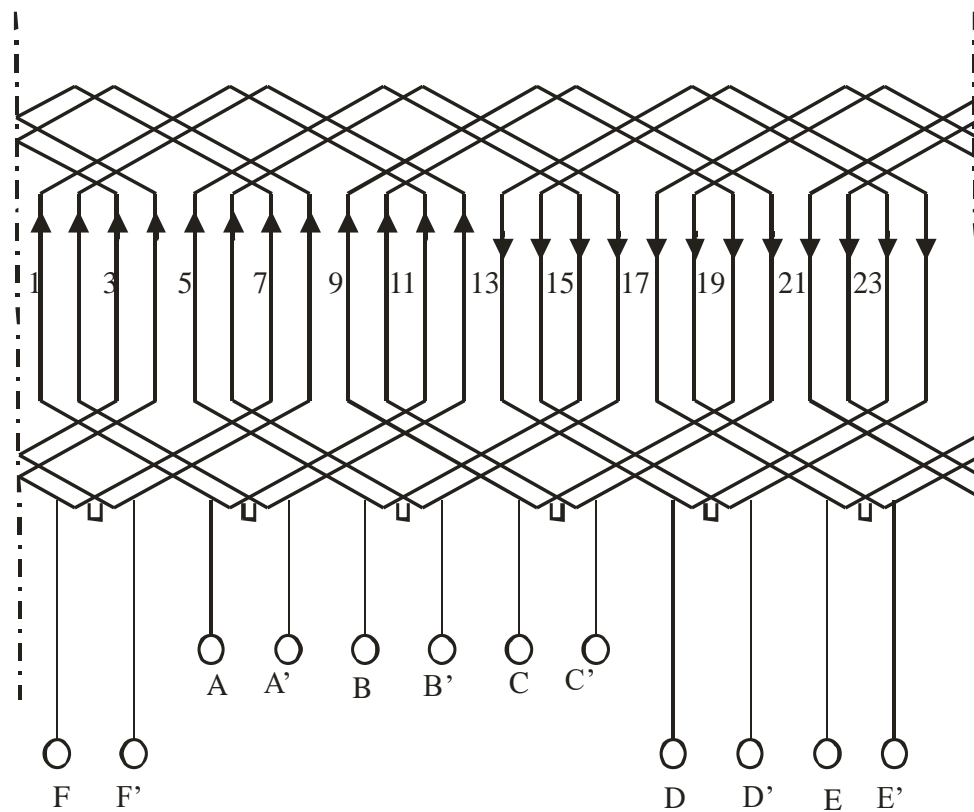


Рис.7. Схема-розгортка однослойной катушечной 6-ти фазной обмотки при  $p=1$  и  $y=10$

## Выводы

В рассматриваемых числах пазов статора  $Z_1=24$  шестифазные обмотки с нечетным числом пар полюсов  $p=1$  могут быть только двухслойными. Изменение числового ряда и чередования фаз дает возможность получения однослойной обмотки.

При четных числах полюсов, например,  $p=2$  конструкции шестифазных обмоток могут быть однослойными при изменении чередования фаз обмотки.

Рассмотрев представленные схемы шестифазных обмоток, можно сделать вывод, что несмотря на то, что 6-ти фазные обмотки нельзя проектировать с 30 градусной фазной зоной, все-таки есть возможность конструирования их в однослойном исполнении.

## Список использованной литературы

1. Петрушин, В. С., Беликова, Л. Я., Еноктаев, Р. Н., Плоткин, Ю. Р. Сравнение эксплуатационных характеристик многофазных регулируемых асинхронных двигателей [Текст] / В. С. Петрушин., Л. Я. Беликова // Электротехника и электромеханика № 1, 2016, – с.38–41
2. Петрушин, В. С., Плоткин, Ю. Р., Еноктаев, Р. Н., Шестаков, О. И. Разработка шестифазного регулируемого асинхронного двигателя [Текст] / В. С. Петрушин., Ю. Р. Плоткин // Научно-практический журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи» № 20 (96), 2015, – с.35–41.
3. Петрушин, В. С., Плоткин, Ю. Р., Енокта

ев, Р. Н. Моделирование регулируемых электроприводов с двухблочными выпрямителями и многофазными асинхронными двигателями [Текст] / В. С. Петрушин., Ю. Р. Плоткин., Р. Н. Еноктаев // Научно-практический журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи» № 22 (98), 2016, – с.43–49.

## References

1. Petrushin, V. S., Bielikova, L. J., Enoktaev, R. N., Plotkin, JU. R. (2016). Comparison characteristics multiphase regulated the asynchronous engines. [Srvavnenie jekspluatacionnyh harakteristik mnogofaznyh reguliruemyyh asinhronnyh dvigatelej,]. The electrical engineer and electromecanics № 1, 2016, p.38–41.
2. V. S. Petrushin, J. R. Plotkin, R. N. Enoktaev, O. I. Shestakov (2015). Working out of the six-phase adjustable asynchronous engine [Razrabotka shestifaznogo reguliruemogo asinhronnogo dvigatelja]. Scientifically-practical magazine «Elektrotehnichnye and computer systems» № 20 (96), 2015, p. 35–41.
3. V. S. Petrushin, JU. R. Plotkin, R. N. Enoktaev (2016). Modelling of adjustable electric drives with two-block rectifiers and multiphase asynchronous engines [Modelirovanie reguliruemyyh jelektroprivodov s dvuhblochnymi vyprjmiteljami i mnogofaznymi asinhronnymi dvigateljami]. Scientifically-practical magazine «Elektrotehnichnye and computer systems» № 22 (98), 2016, p.43–49.

## SIX-PHASE WINDINGS OF ASYNCHRONOUS ENGINES

L. Bielikova, V. Petrushin, V. Chaikovskiy, A. Yakimets,

Odessa National Polytechnic University

**Abstract.** One of ways of improvement of operational characteristics of adjustable-speed induction motors is the increase in number of phases of a stator winding from three to six. A current consumed by one phase of a stator winding six-phase induction motor, approximately twice less than a consumed phase current of its three-phase analogue. Thanks to it, in drives of average and big capacity there is a possibility to reduce current load on an inverter phase at simultaneous increase in their quantity. Was considered that six-phase winding can be received from three-phase by replacement of six-phase zones A, C', B, A', C, B' on six phases A, B, C, D, E, F with  $60^\circ$  phase zone. In this case six-phase winding turns out two-layer. Here the analysis of possible schemes six-phase windings in 36 and 24 slots of stator with number of poles  $2p=4$  and  $2p=2$  is resulted. Schemes of six-phase windings of different designs for adjustable-speed induction motors are offered. Was considered that six-phase windings can be only two-layer. However, performance of sin-

gle-layered windings is possible. Application of single-layered windings simplifies manufacturing techniques of six-phase engines. Schemes of single-layered six-phase windings among grooves статора  $Z_1=36$  with number of poles  $2p=4$  are resulted at change of alternation of phases, and also among grooves  $Z_1=24$  with number of poles  $2p=2$  at change of a numerical number and alternation of phases of a winding. Application six-phase induction motors will lead to considerable decrease in vibration and magnetic noise in comparison with similar indicators in three-phase the induction motors that promotes decrease in pulsations of the torque and speed on a shaft of the motor and increase of its reliability. Having considered the presented schemes of six-phase windings, it is possible to draw a conclusion that in spite of the fact that six-phase windings cannot be designed with  $30^\circ$  phase zone, all the same there is a possibility of their designing in single-layered execution.

**Keywords:** six phases, phase zones, stator slots number, the winding scheme, a single-layered winding, alternation of phases, reliability.

## ШЕСТИФАЗНІ ОБМОТКИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Л. Я. Бєлікова, В. С. Петрушин, В. П. Чайковський, А. М. Якімець

Одеський національний політехнічний університет

**Анотація.** Одним зі шляхів поліпшення експлуатаційних характеристик регульованих асинхронних двигунів являється збільшення числа фаз обмотки статора із трьох до шести. Струм, споживаний однією фазою обмотки статора шестифазного асинхронного двигуна, приблизно вдвічі менше споживаного фазного струму його трифазного аналога. Завдяки цьому, у приводах середньої й великої потужності є можливість зменшити струмове навантаження на фазу інвертора при одночасному збільшенні їхньої кількості. Вважалося, що 6-ти фазна обмотка може бути отримана з 3-и фазної шляхом заміни шести фазних зон А, С', В, А', С, В' на шість фаз А, В, С, D, E, F з  $60^\circ$  градусною фазною зоною. У цьому випадку 6-ти фазна обмотка утворюється двошаровою. Тут приводиться аналіз можливих схем 6-ти фазних обмоток в 36 і 24 пазах статора із числом полюсів  $2p=4$  і  $2p=2$ . Пропонуються схеми шестифазних обмоток різних конструктивних виконань для асинхронних регульованих двигунів. Уважалося, що шестифазні обмотки можуть бути тільки двошаровими. Однак, можливе виконання одношарових обмоток. Застосування одношарових обмоток спрощує технологію виготовлення шестифазних двигунів. Наведено схеми одношарових шестифазних обмоток у числі пазів статора  $Z_1=36$  із числом полюсів  $2p=4$  при зміні чередування фаз, а також у числі пазів  $Z_1=24$  із числом полюсів  $2p=2$  при зміні числового ряду й чередування фаз обмотки. Застосування шестифазних асинхронних двигунів приведе до значного зниження вібрації й магнітних шумів у порівнянні з аналогічними показниками в трифазних АД, що сприяє зниженню пульсацій моменту й швидкості на валу двигуна й підвищенню його надійності. Розглянувши представлені схеми шестифазних обмоток, можна зробити висновок, що незважаючи на те, що 6-ти фазні обмотки не можна проектувати з  $30^\circ$  градусною фазною зоною, все-таки є можливість конструювання їх

**Ключові слова:** шість фаз, фазні зони, число пазів статора, схема обмотки, одношарова обмотка.

Получено 24.10.2018



**Беликова Людмила Яковлевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин одесского национального политехнического университета. 65044, Одесса, пр-т Шевченко, 1, ОНПУ тел. +380 666993342. E-mail Conda@ukr.net

**Belikova Liudmyla**, Ph.D, docent of Electric machines chair. Odessa national polytechnic university. ONPU, 1, Shevchenko av., Odessa, 65044, Phone: +380 666993342. E-mail: conda@ukr.net

**ORCID ID** 0000-0001-5999-8205



**Виктор Сергеевич Петрушин**, доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин Одесского национального политехнического университета. 65044, Одесса, проспект Шевченко, 1, ОНПУ, тел: +380 674897335. E-mail victor\_petrushin@ukr.net

**Petrushin Victor**, Sc.D, professor of Electric machines chair. Odessa national polytechnic university. ONPU, 1, Shevchenko av., Odessa, 65044, Phone: +380 674897335. E-mail victor\_petrushin@ukr.net

**ORCID ID** 0000-0003-2659-1261



**Чайковский Владимир Павлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин одесского национального политехнического университета, 65044, Одесса, проспект Шевченко, 1, ОНПУ, тел. (048)77-97681.

**Vladimir Chaikovskiy**, Ph.D, Electric Cars Department, ONPU, 65044, Odessa, Shevchenko av.,1, ONPU, ph.(048)28-86-81

**ORCID ID:** 0000-0001-6057-7483



**Якимец Андрей Миронович**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин Одесского национального политехнического университета. 65044, Одесса, проспект Шевченко, 1, ОНПУ, тел. +380 487058494. E-mail: yakimets\_andriy@ukr.net

**Yakimets Andrii**, Ph.D, head of Electric machines chair. Odessa national polytechnic university. ONPU, 1, Shevchenko av., Odessa, 65044, Phone: +380 487058494. E-mail: yakimets\_andriy@ukr.net

**ORCID ID:** 0000-0002-0588-8606