

## ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЕ ОБМОТКИ ДЛЯ ТУРБОМЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Д.А. Рисмухамедов

**Аннотация.** В статье представлено обоснование необходимости разработки полюсопереключаемых обмоток для механизмов собственных нужд тепловых электрических станций, а также методика построения полюсопереключаемой обмотки на соотношение пар полюсов 5/6 в 108 пазах статора методом дискретно-заданных пространственных функций при совместном рассмотрении двух трехфазных двухслойных петлевых обмоток. Новая обмотка может быть использована в механизмах с вентиляторным типом нагрузки в целях ресурсо- и энергосбережения.

**Ключевые слова:** ресурсо - и энергосбережение, тепловые электрические станции, механизмы собственных нужд, механизмы с вентиляторным типом нагрузки, двухскоростной двигатель, полюсопереключаемая обмотка, дискретно-заданные пространственные функции, паз, число пар полюсов, полюсность, шаг.

В современных производственных механизмах все более широкое применение находит регулируемый электропривод (ЭП) переменного тока.

Регулирование скорости вращения с помощью систем тиристорного преобразователя частоты или асинхронно-вентильного каскада являются наиболее экономичным, т.к. при плавном регулировании производительности насоса подача покрывает требования технологического процесса без добавочного дросселирования, но эти ЭП сопряжены с необходимостью добавочных инвестиций, усложнения управления и обслуживания.

В настоящее время наряду с частотным регулированием получили распространение ЭП с двухскоростными двигателями (ДД). Эти приводы имеют ряд таких достоинств, как дешевизна, отсутствие дополнительных устройств и простота в управлении и эксплуатации, а также большая эффективность с точки зрения экономии электроэнергии при менее жестких требованиях к ЭП.

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, сэкономить обмоточную медь и изоляционные материалы, повысить

энергетические показатели, а также дает возможность приблизить ДД по массогабаритным показателям к обычным серийным односкоростным асинхронным двигателям. Применение таких двигателей в нерегулируемых ЭП собственных нужд ТЭС позволяет рационально использовать электрическую энергию при малозагруженных режимах работы станции.

Профессором Х.Г. Каримовым был предложен новый метод построения схем ППО с помощью дискретно-заданных пространственных функций (ДЗПФ). На основе этого метода двухскоростные ППО строятся при совместном рассмотрении двух многофазных двухслойных петлевых обмоток, получивших наибольшее распространение в практике электромашиностроения.

Рассмотрим построение ППО для наиболее актуального соотношения пар полюсов 5/6, размещенную в 108 пазах статора.

За исходные обмотки возьмем две двухслойные петлевые  $m$ -зонные обмотки статора, размещенные в 108 пазах, с числами пар полюсов  $p_1=5$  и  $p_2=6$ , шагами  $y=1-12$  и  $y=1-10$  соответственно. В соответствии с развернутой схемой получена ДЗПФ каждой обмотки (табл. 1 и табл. 2).

Объединение групп катушек в обмотку осуществляется в соответствии с соединениями катушек по базовой схеме «три трехфазные звезды».

**Таблица 1**

| Пазы статора |    |    |    |    |    |    |    |    |     | $p_1=5$ Полнотность |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------------------|
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 |                     |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -11                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -12                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -13                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -14                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -15                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -16                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -17                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -18                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -19                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -20                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -21                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -22                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -23                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -24                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -25                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -26                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -27                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -28                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -29                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -30                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -31                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -32                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -33                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -34                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -35                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -36                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -37                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -38                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -39                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -40                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -41                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -42                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -43                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -44                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -45                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -46                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -47                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -48                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -49                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -50                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -51                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -52                 |
| -b           | -b | -b | -b | -c | -c | -c | -c | -c | -c  | -53                 |
| a            | a  | a  | a  | a  | a  | b  | b  | b  | b   | -54                 |

**Таблица 2**

| Пазы статора |    |    |    |    |    |    |    |    |     | $p_2=6$ Полнотность |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------------------|
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 |                     |
| -e           | -e | -e | -f  | -11                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -12                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -13                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -14                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -15                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -16                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -17                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -18                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -19                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -20                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -21                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -22                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -23                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -24                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -25                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -26                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -27                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -28                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -29                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -30                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -31                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -32                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -33                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -34                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -35                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -36                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -37                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -38                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -39                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -40                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -41                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -42                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -43                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -44                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -45                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -46                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -47                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -48                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -49                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -50                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -51                 |
| -1           | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -52                 |
| -e           | -e | -e | -f  | -53                 |
| d            | d  | d  | d  | e  | e  | e  | e  | e  | e   | -54                 |

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

Таблица 3

Причем, паз №1 при  $p_1=5$  полюсной обмотки соответствует фазе А, а при  $p_2=6$  фазе D, следовательно, принадлежит ветви D-A. Основываясь на этот способ, группируем катушки (табл. 4) в ветви базовой схемы:

## Таблица 4

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

При подключении трехфазного питания к зажимам D, E, F (выводы A, B, C свободны) в воздушном зазоре возникает двенадцатиполюсная вращающаяся магнитная волна, в схему включены все 108 катушек, вектора ЭДС каждой фазы равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на  $120^0$ , то есть обмотка со стороны  $p_2=6$  пар полюсов симметрична по отношению к источнику питания, а при питании от зажимов A, B, C (выводы D, E, F свободны) десятиполюсная вращающаяся магнитная волна, в схему включены все 108 катушки, расхождение векторов ЭДС параллельных ветвей составляют всего  $0,08^0$  и разность по амплитуде на 2,05%, что допустимо для практического применения в крупных электрических машинах.

Обмоточные коэффициенты полюсопереключаемой обмотки с  $2p_1$  и  $2p_2$  полюсной стороны соответственно равны  $k_{061}=0,819$  и  $k_{062cp}=0,824$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bobojanov, Makhsud, et al. "Pole-changing motor for lift installation." E3S Web of Conferences. Vol. 216. EDP Sciences, 2020.
2. Тошов, Жавохир Буриевич, et al. "ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОТОРОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ШАХТНЫХ САМОХОДНЫХ ВАГОНОВ." Universum: технические науки 3-6 (96) (2022): 37-42.
3. Rismuhamedov, Dauletbek, and Husniddin Shamsutdinov. "Разработка полюсопереключаемых обмоток на близкое соотношение полюсов." PROBLEMS OF ENERGY AND SOURCES SAVING 3.3 (2024): 67-75.
4. Бобожанов, Махсуд Каландарович, Раҳматилло Чориевич Каримов, and Даулетбек Аманович Рисмухамедов. "Исследование высшего гармонического состава при работе стабилизатора напряжения." Universum: технические науки 10-5 (91) (2021): 20-25.
5. Рисмухамедов, Д. А. (2006). Экспериментальные исследования нового двухскоростного двигателя. Вестник ТашГТУ, 2, 52-55.
6. Алимов, X., & Рисмухамедов, Д. А. (2007). Методические указания к практическим занятиям. Показатели качества электрической энергии подаваемые к электроприемникам.
7. Алимов, X. A., and D. A. Рисмухамедов. "Показатели качества электрической энергии подаваемые к электроприемникам." (2010).
8. Бобожанов, М. К., Рисмухамедов, Д. А., & Туйчиев, Ф. Н. (2016). Построение и анализ полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 методом ДЗПФ. Журнал Проблемы энерго-и ресурсосбережения, (3-4), 138-143.
9. Рисмухамедов, Д. А., Мавлонов, Ж. М., Тўйчиев, Ф. Н., & Мархабаев, Б. А. (2018). Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с соотношением пар полюсов 5/6. Бюл, (11).
10. Рисмухамедов, Д. А., and Ф. Н. Туйчиев. "Проектирование и моделирование асинхронного электродвигателя 4A80A4УЗ с помощью программы Ansys Maxwell." Вестник ТашГТУ 4 (2018): 52-55.
11. Bobojanov, M. K., Rismukhamedov, D. A., & Tuychiev, F. N. (2019). Development of a polechanging winding for a 5/6 pole ratio at 108 stator slot using the DSSF method with additional branches. Bulletin of TSTU, 1(106), 57-63.

12. Karimov, K. G., Bobojanov, M. K., & Rismuhamedov, D. A. (2004). The methodology of construction and analysis of the electromagnetic properties of a pole switchable wind-ing. Bulletin of TSTU, 3, 71-78.
13. Бобожанов, М. К., et al. "ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 4A132M6У3." Экономика и социум 11 (78) (2020): 509-513.
14. Amanovich, Rismuxamedov Dauletbek, and Ganiyev Sarvar Tursuboy o'g'li. "HAVONI KONDENSATSIYALASHDA ENERGIYA TEJAMKORLIKKA ERISHISHNING UMUMIY MASALALAR." Journal of new century innovations 37.1 (2023): 150-155.
15. Bobojanov, M. K., et al. "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 29.11s (2020): 1410-1415.
16. Rismuhamedov, D., F. Tuychiev, and S. Rismuxamedov. "Pole-changing windings for turbomechanism engines." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 883. No. 1. IOP Publishing, 2020.
17. Rismukhamedov, Daulet, et al. "Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio." E3S Web of Conferences. Vol. 264. EDP Sciences, 2021.
18. Собственные нужды тепловых электростанций / Э.М.Аббасова, Ю.М.Голоднов, В.А.Зильберман, А.Г.Мурзаков;Под ред. Ю.М.Голоднова.-М.: Энергоатомиздат,1991.
19. Каримов Х.Г. Методы получения полюсопереключаемых обмоток для двигателей регулируемых электроприводов широкого применения // "Проблемы информатики и энергетики". 1992. №3-4. стр-47.