

УДК 621.313: 621.318

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ОБМОТОК В ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

*Заблодский Н.Н., к.т.н., доц., Лупанов А.В., асп., Квасов В.А., асп.
Донбасский государственный технический университет
94204, г. Алчевск, пр. Ленина, 16
Гринь Г.М., инж.
ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К. Маркса»
93202, г. Первомайск, переулок Заводской, 1
E-mail: info@edu.dgmi.ua*

Наведені результати аналізу ефективності використання кільцевих та суміщених обмоток в заглибних поліфункціональних електромеханічних перетворювачах технологічного призначення.

Ключові слова: поліфункціональний електромеханічний перетворювач, кільцева обмотка.

The results of analysis of efficiency of the use of circular and combined coils are resulted in the submersible polyfunctional electromechanical transformers of the technological setting.

Key words: polyfunctional electromechanical transformer, circular puttee.

Введение. В асинхронных машинах традиционной конструкции преимущественно применяются обмотки барабанного типа, в которых активной является лишь пазовая часть. Длина проводниковых материалов (медь, алюминий), идущих при изготовлении обмоток на лобовые части, составляет $I_{\text{лоб}} \approx 1,3\tau$ [1, 2]. Таким образом, лобовые части не участвуют в образовании электромагнитного момента и несут с собой дополнительные затраты активных материалов.

Анализ предыдущих исследований. Ряд модификаций погружных полифункциональных электромеханических преобразователей (ПЭМП) могут выполняться с совмещенными обмотками, одна из которых может быть кольцевого типа [3, 4]. При этом появляется реальная возможность использования лобовых частей не только для формирования результирующего электромагнитного момента, но и обеспечения греющей мощности в торцевых зонах ПЭМП. Однако известные публикации не содержат анализа возникающих при этом процессов и их энергетической оценки.

Цель работы. Анализ эффективности и особенности применения кольцевых и совмещенных обмоток в погружных полифункциональных электромеханических преобразователях.

Материал и результаты исследования. При проектировании ПЭМП с комбинированными обмотками для устранения вибраций и шумов необходимо выполнение условия $r_1 - r_2 \geq 2$.

Поскольку ПЭМП является электрической машиной, в которой по условиям эксплуатации высокая частота вращения не требуется, выбираем обмотки, в которых $2p = 8$ и $2p = 4$ согласно условиям отсутствия вибраций [1].

Обмотка кольцевого типа (рис. 1) укладывается в

пазовую зону по всей длине, следовательно, лобовые части в такой обмотке отсутствуют, а длина активной части увеличивается. Такую обмотку целесообразно использовать как создающую вращающий момент согласно с направлением вращения машины (т.е. двигательную), а обмотку барабанного типа – как тормозную.

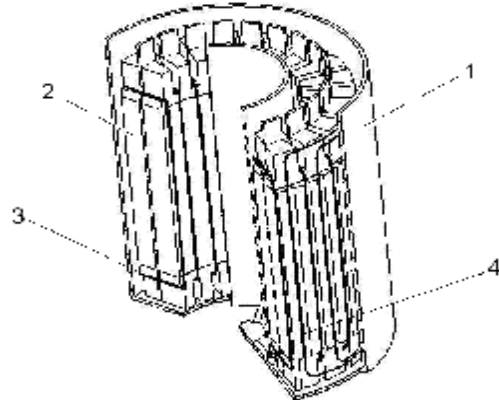


Рисунок 1 – Конструкция активной части погружного ПЭМП:

- 1 - полый массивный коаксиальный ротор;
- 2 - пакет статора с обмотками;
- 3 - кольцевая обмотка;
- 4 - внешняя обмотка барабанного типа

Согласно условиям эксплуатации, обмотки ПЭМП могут включаться согласно и встречно, в зависимости от условий работы. Вариация режима включения производится переключением тормозной обмотки, поскольку мощность ее меньше, чем у двигательной.

Принцип формирования и общие свойства многофазных обмоток для получения вращающегося магнитного поля покажем для числа фаз $m=3$. Угол каждой фазной зоны $\alpha_{\phi} = 360^{\circ} / (2m) = 60^{\circ}$. Разбивка на

фазные зоны окружности представлена на рис. 2.

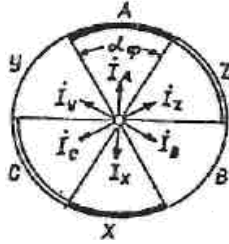


Рисунок 2 – Распределение фазных зон трехфазной обмотки

Для простоты и наглядности изображения приведенные картины магнитных потоков будут показаны для числа пазов $Z_1=24$. Построим картины направления токов в пазах и картины МДС при неизменном чередовании фаз кольцевой обмотки и меняющемся чередовании фаз (А-С-В-встречное, А-В-С-согласное) для обмотки барабанного типа, так как направление магнитного поля, создаваемого данной обмоткой, меняется в зависимости от эксплуатационных требований. На рис. 3-6 приведены картины распределения токов в пазах, МДС и магнитных полей статора ПЭМП с указанием зон насыщения и направлением вращения магнитного поля, создаваемого обмоткой.

При построении картин магнитных полей были использованы следующие обозначения: стрелка со штриховкой указывает на принадлежность тока в пазу к фазе с максимальным действующим значением, стрелки без штриховки – к фазам с действующим значением тока, равным половине максимального.

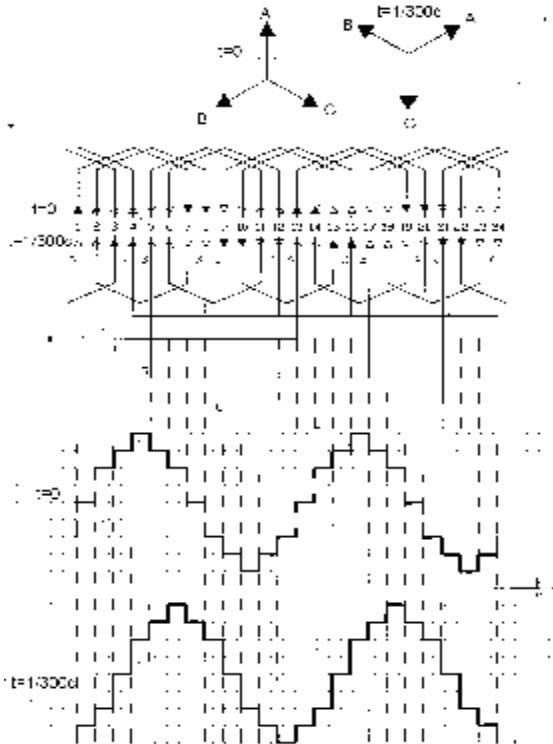


Рисунок 3 – Картина направления токов в пазах и МДС кольцевой обмотки

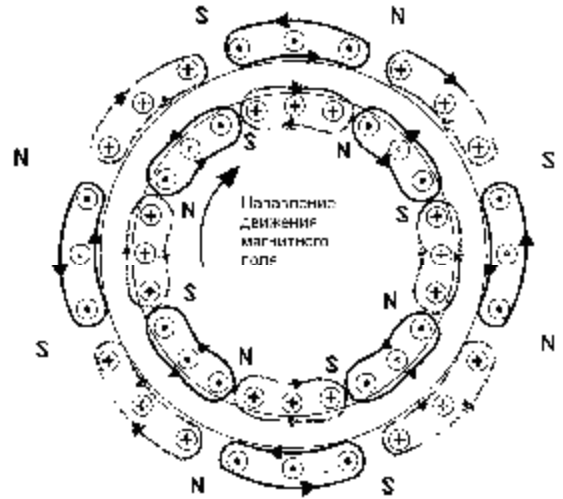


Рисунок 4 – Картина распределения магнитных потоков кольцевой обмотки

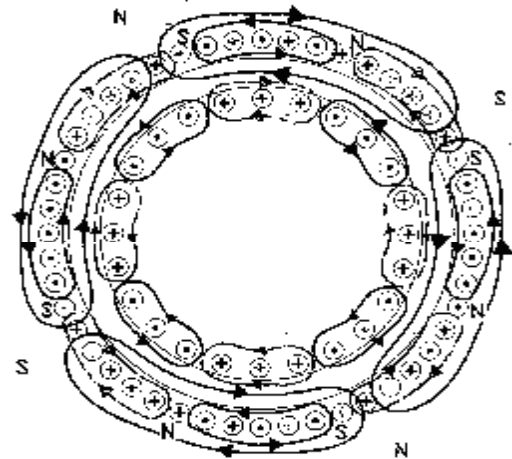


Рисунок 5 – Общая картина распределения магнитных потоков

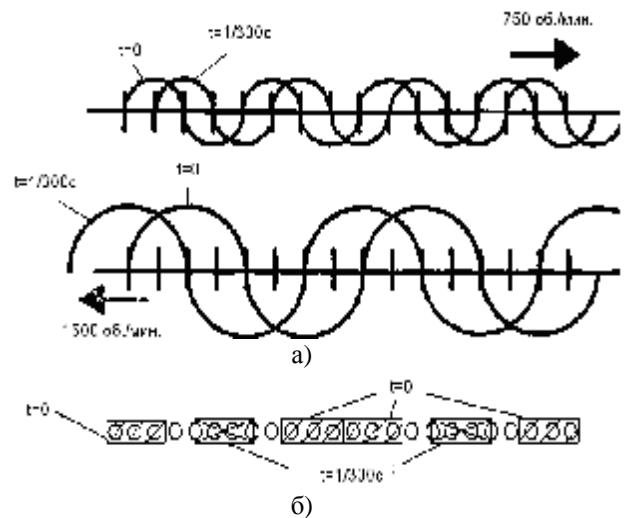


Рисунок 6 – а) картина индукций, наводимых кольцевой и барабанной обмотками; б) картина насыщения внешней зубцовой зоны статора

По результатам анализа картин распределения можно установить следующие признаки использования кольцевой обмотки в совмещенной системе ПЭМП:

1) При размещении кольцевой обмотки в ПЭМП получаем взаимодействие коаксиального ротора с обмотками на внешней и внутренней частях.

2) Направление вращения синхронных магнитных полей в рабочих цилиндрических и плоских (торцевых) зазорах между статором и коаксиальным ротором совпадают.

3) Отсутствует циркуляция магнитного потока по спинке общего статора.

Расчетная активная длина по лобовым частям кольцевой обмотки при наружном D_2 и внутреннем D_1 диаметрах совмещенного статора составляет $l_{\text{на}} = (D_2 - D_1)/2$. Ток, приходящийся на элементарный угол $d\varphi$ поворота ротора, – $i_{2\varphi}$.

Принимаем синусоидальный закон изменения индукции B_{1T} в торцевой части воздушного зазора и тока I_2 в торцевой части ротора:

$$B_{1T} = B_m \sin(p\varphi), \quad (1)$$

$$i_{2\varphi} = I_{2m} \sin(p\varphi - \psi). \quad (2)$$

Среднее значение результирующего электромагнитного момента двух торцевых частей ПЭМП:

$$M_{\text{эм}} = 4p \int_0^{\tau} B_m \cdot I_{2m} \cdot \sin(p\varphi) \cdot \sin(p\varphi - \psi_2) \left(\frac{D_2^2 - D_1^2}{4} \right) d\varphi, \quad (3)$$

где ψ_2 – начальный фазовый сдвиг гармоники тока $i_{2\varphi}$; p , τ – соответственно число пар полюсов и полюсное деление.

На рис. 6 изображены картины индукций магнитного поля вдоль статора ПЭМП для обмоток кольцевого и барабанного типов, а также внешние зубцовые зоны статора, имеющие насыщение в моменты времени $t = 0$ и $t = 1/300$ с.

В результате наложения двух картин индукций в зубцовой зоне статора были получены зоны насыщения, перемещающиеся по окружности и изменяющиеся от 2 до 4. Длина окружности с зонами насыщения меняется от 25 % до 50 % от внешней длины окружности статора и, соответственно, количество пазов находящееся в зонах насыщения, меняется от 6 до 12, что может вызывать вибрации статора, локальные перегревы коронок зубцовых зон пакета магнитопровода.

После анализа полученных суммарных значений магнитных полей, создаваемых двумя обмотками, можно прогнозировать принимаемые значения индукции воздушного зазора $B\delta$ для обмотки барабанного и кольцевого типов для предотвращения насыщения магнитопровода в зубцовой зоне. При реальном проектировании ПЭМП с двумя обмотками значение индукции в воздушном зазоре $B\delta$ можно принимать в 1,1-1,2 раза больше, чем для ПЭМП с одной обмоткой [1].

В формировании греющей мощности торцов ПЭМП участвуют не только торцевые части кольцевой обмотки, но и лобовые части барабанной обмотки. Во внешнем массивном роторе одновременно наводятся токи двух частот:

$$f_{2Д} = f_1 \cdot S_{Д}, \quad (4)$$

$$f_{1T} = f_1(2 - S_{Д}). \quad (5)$$

Выводы.

1. Приведены картины распределения токов в пазах, подтверждающие целесообразность применения кольцевой обмотки в ПЭМП.

2. При использовании кольцевой обмотки в совмещенной системе ПЭМП существенно повышается коэффициент использования активных материалов (меди) и увеличивается результирующий электромагнитный момент за счет взаимодействия магнитного поля и вихревых токов в торцевых частях ПЭМП.

3. Повышается греющая способность в торцах ПЭМП, что дает возможность применения режима погружения ПЭМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В.И. Электромашинные совмещенные преобразователи частоты. – М.: Энергия, 1980. – 176 с.
2. Попов В.И. Оптимизация электромагнитных параметров двухфазных обмоток электрических машин // Электричество. №3/2002. – С. 40-43.
3. Пат. 39226 України, МКІ 7 Н05В6/10. Заглибний електронагрівач / М.М. Заблодський, В.М. Веремєєнко, В.М. Бондарев. - №98031637; Заявл. 31.03.1998; Опубл. 15.06.2001, Бюл. №5. – 6 с.
4. Пат. 75771 України МПК (2006) Н05В6/10. Заглибний електронагрівач/ М.М. Заблодський, В.М.Дорофєєв, В.Ф. Шинкаренко та інш. - №20040605162; Заявл. 29.06.2004; Опубл. 15.05.2006, Бюл.№5. – 5 с.

Стаття надійшла 17.04.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.