УДК 621.313: 621.318.122

Н.Н. Заблодский, А.В. Лупанов, В.Ю. Грицюк

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОСТИ ФОРМ УКЛАДКИ СОВМЕЩЕННЫХ ОБМОТОК В ТОРЦЕВОЙ ЧАСТИ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Запропонована конструктивна компоновка суміщених обмоток заглибного поіфункціонального електромеханічного перетворювача у торцевій зоні зовнішнього статору. Розглянута картина магнітного поля при застосуванні різних профілів пазу та різній глибині розташування їх на статорі, основного магнітного потоку та потоку пазового розсіювання в торцевій частині кільцевій обмотки.

Предложена конструктивная компоновка совмещенных обмоток погружного электромеханического преобразователя в торцевой зоне внешнего статора. Рассмотрена картина магнитного поля при использовании разных профилей пазов и разной глубине их расположения на статоре, рассчитаны основного магнитного потока и потока пазового рассеяния в торцевой части кольцевой обмотки.

ВВЕДЕНИЕ

Погружные полифункциональные электромеханические преобразователи (ПЭМП) в настоящее время представлены рядом модификаций в зависимости от технологических процессов, которые они обеспечивают [1, 2]. Многообразие операций (плавление, перекачка, транспортировка, смешивание и нагрев в химических реакторах легкоплавких материалов и т. д.), в которых участвуют ПЭМП, порождает множество компоновок и форм укладки статорных обмоток. Особое место занимают композиции совмещенных кольцевых и барабанных обмоток [3], формирующие электромагнитные системы ПЭМП с высокими коэффициентами использования активных материалов.

ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

Технологии укладки лобовых частей барабанных обмоток асинхронных машин [4] описаны достаточно широко, однако в ПЭМП при наличии активной кольцевой обмотки невозможно применить стандартные технологические решения и методы оценки.

Известны математические модели расчёта пазового рассеяния методами дифференциального исчисления для машин (стандартного) классического исполнения, однако различия в конструкции не позволяют в полной мере использовать известные модели без корректировок.

Разумной альтернативой предварительной оценки являются комбинированные методы прогнозирования, основанные на методах численного моделирования [5, 6]. Эти методы на практике показывают удовлетворительные результаты сходимости модели и натурных исследований с допустимыми уровнями погрешностей. Также методы моделирования повышают уровень автоматизации расчётного процесса, что экономит время и даёт возможность проработки большего количества вариантов исполнения и выбора оптимальной конструкции обмоток.

Цель работы. Оценка рациональности форм укладки совмещенных обмоток и потоков пазового рассеяния магнитного поля при различной глубине и форме паза статора ПЭМП.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В связи с укладкой двух обмоток на торцевой части статора возникают сложности в размещении и коммутации обмотки барабанного типа. Авторами статьи предложено рациональное расположение совмещенных обмоток на внешней торцевой части статора (рис. 1).

Для обеспечения межкоммутационных соединений барабанной обмотки необходимо увеличить глубину паза обмотки кольцевого типа, а лобовые части секций барабанной обмотки расположить над уложенной в пазы обмоткой кольцевого типа. В тоже время подобного способа расположения возникает возможность увеличения потоков рассеяния в пазовой части торцевого статора и увеличения плотности магнитной индукции в ярме. Для проверки соотношения между потоком пазового рассеяния и основным магнитным потоком ПЭМП, а также для получения картины поля с целью определения зон максимальной индукции, была разработана математическая модель, охватывающая различные формы пазов торцевой части индуктора и различное их расположение в глубине массива статора.

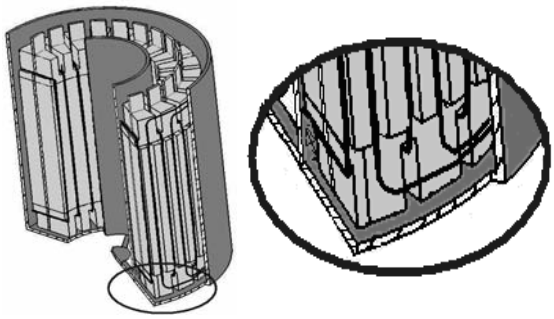


Рис. 1. Расположение обмоток статора на внешней торцевой части

Для укладки лобовой части барабанной обмотки глубина паза кольцевой обмотки была увеличена примерно в 2 раза и установлена величина безопасного электрического воздушного промежутка между двумя обмотками. Пазы располагались на расстоянии, позволяющем считать магнитные поля вокруг каждого паза независимыми друг от друга.

Математическая модель рассматривалась для развёрнутого участка торцевого статора. В дальнейшем рассматриваются первые гармонические магнитного потока и ЭДС. При построении модели был использован подход, идея которого изложена в [7, 8].

На основании разработанной геометрической модели торцевого статора, построена сетка конечных элементов, приняты граничные условия, а также заданы физические значения величин модели. Картины распределения сетки конечных элементов, эквипотенциальных линий магнитного поля и плотности магнитного потока представлены на рис. 2.

Аппаратами постпроцессорной обработки в пакете прикладных программ Comsol Multifisics на границе внутренней части ротора получены численные значения потоков пазового рассеяния и основного магнитного потока ПЭМП, а также получены зоны максимальной плотности магнитной индукции пакета торцевого статора.

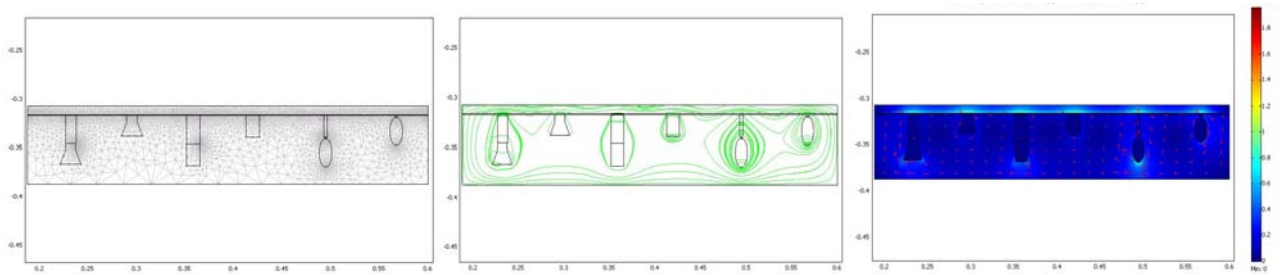


Рис. 2. Картины распределения сетки конечных элементов, эквипотенциальных линий магнитного поля и плотности магнитного потока торцевой части ПЭМП

Примем, что величина поперечного магнитного потока рассеяния замыкается поперёк паза и определяется следующим выражением:

$$\Phi_{\sigma X} = l_n \cdot \int_0^{h_x} B_x \cdot dy \approx l_n \cdot B_{X_{ср}} \cdot h_n \,, \qquad (1)$$

где $B_{Xср}$ – среднее значение x-й составляющей магнитной индукции по высоте паза.

Поскольку для двухмерных задач $B_X = \partial A / \partial y$, то имеем $B_{Xср} \approx \Delta A / \Delta y = \Delta A / h_n$. С учётом (1) получим:

$$\Phi_{\sigma X} = l_n \cdot \Delta A_p \,, \qquad (2)$$

где ΔA_p – разница значений векторного магнитного потенциала между точками по высоте паза.

Величина основного магнитного потока определяется следующим выражением:

$$\Phi_{\mu} = l_n \cdot \int_0^{b_z} B_y \cdot dx \approx l_n \cdot B_{Yср} \cdot b_z \,, \qquad (3)$$

где $B_{Yср}$ – среднее значение y-й составляющей магнитной индукции по ширине зубца.

Поскольку для двухмерных задач $B_Y = \partial A / \partial x$, то имеем $B_{Yср} \approx \Delta A / \Delta x = \Delta A / b_Z$. С учётом (1) получим:

$$\Phi_{\mu y} = l_n \cdot \Delta A_я \,, \qquad (4)$$

где $\Delta A_я$ – разница значений между точками по ширине зубца.

Определены изменения отношения потока пазового рассеяния и основного магнитного потока в зависимости от глубины и формы паза (табл. 1).

Таблица 1

Магнитные потоки в торцевой части ПЭМП

Форма паза	$\Phi_{\sigma X}$, мВб		Φ_{μ}, мВб		$\Phi_{\sigma X} / \Phi_{\mu}$, %	
Глубина паза	h	$2{\cdot}h$	h	$2{\cdot}h$	h	$2{\cdot}h$
Овальный	0,9	3,27	4,15	4,19	21,7	78
Прямоугольный	0,41	1,14	3,61	3,4	11,4	33,5
Трапециевидный	0,46	1,35	3,67	3,49	12,6	38,7

По результатам расчётов выявлено, что при подобном расположении обмоток на торцевой части статора ПЭМП наиболее выгодным является применение пазов прямоугольной формы, которые дают наименьшее увеличение потока пазового рассеяния при углублении паза в массив статора.

ВЫВОДЫ

1. В работе предложена конструкция расположения двух обмоток на внешнем торцевом статоре, позволяющая выполнять коммутацию двух обмоток, торцевые зоны которых лежат в разных плоскостях.

2. В работе рассмотрена математическая модель торцевой зоны статора с расположенной в ней обмоткой кольцевого типа. Получены картины распределения магнитного поля торцевой части статора, определены участки максимальной плотности магнитной индукции, обусловленные наименьшей шириной магнитопровода и угловыми зонами профилей пазов. Полученная математическая модель может быть использована при комплексном проектировании погружного ПЭМП.

3. Рассчитаны магнитные потоки рассеяния и основные магнитные потоки, получены их соотношения. По результатам расчётов наиболее подходящим для "углубления" оказался прямоугольный паз, обладающий, кроме того, технологическими преимуществами при укладке и изготовлении обмотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заблодский Н.Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения. – Монография. – Алчевск: ДонГТУ. – 2008. – 340 с.
2. Пат. 75771 Украины МПК[8] (2008) H05B6/10. Погружной электротепломеханический преобразователь / Н.Н. Заблодский, В.Ф. Шинкаренко Г.М. Гринь и др. – №20040605162; Заявлено 29.06.2004; Опубл. 15.05.2006, Бюл.№5. – 5с.
3. Заблодский Н.Н., Лупанов А.В., Квасов В.А. Эффективность применения кольцевых обмоток в полифункциональных электротепломеханических преобразователях // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ, 2008. – Вип. 4/2008 (51). Ч. 1. – С. 67-69.
4. Сабоннадьер Ж.К., Кулон Ж.Л. Метод конечных элементов и САПР: Пер.с франц. – М.: Мир, 1989. – 190 с.
5. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
6. Клоков Б. К. Обмотчик электрических машин: Учеб. для СПТУ. – М.: Высш. шк., 1987. – 256 с.
7. Заблодский Н.Н. и др. Расчёт электромагнитного момента полифункционального элктромеханического преобразователя с применением численных методов // Сборник научн. труд. ДонГТУ. – 2009. – № 28. – С. 403-407.
8. Васьковский Ю.М. Польовий аналіз електричних машин: Навч.посіб. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 192 с.

Поступила 30.08.2009

Заблодский Николай Николаевич, д.т.н., проф.
Лупанов Андрей Викторович,
Грицюк Владимир Юрьевич,
Донбасский государственный технический университет
Украина, 94400 Алчевск, пр. Ленина 16,
кафедра "Электрические машины и аппараты"
тел. (06442) 2-30-73, e-mail: info@dmmi.edu.ua

N.N. Zablodskiy, A.V. Lupanov, V.U. Gritsyuk

Rationality estimation of combined windings structural arrangement in front area of a polifunctional electromechanical converter

Structural arrangement of combined windings of a submersible electromechanical converter in the front area of an external stator is introduced. Patterns of magnetic field for different types of slots and different depth of their location on the stator are considered, the basic magnetic flux and slot leakage flux in the front part of circular winding calculated.

Key words – **submersible electromechanical converter, dispersion flux, circular winding, structural arrangement**