

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-104-111

Корчагин О.А.

ООО НПФ «Политех»

E-mail: koroleg@inbox.ru

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СТАТОРА И РОТОРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ОБМОТКАМИ СТАТОРА И ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА РОТОРЕ

Аннотация. Рассмотрены вопросы выбора конструктивных соотношений при проектировании электрических машин с однозубцовыми обмотками.

На основе свойства симметричности m -фазной системы электромашины выведены соотношения, связывающие число пар полюсов ротора, зубцов статора в однозубцовых машинах, с учетом числа фаз и числа зубцов в фазной группе.

Выведенные в работе соотношения по сравнению с известными ранее позволяют рассматривать большее число рабочих вариантов среди которых могут находиться более рациональные, кроме того предложенные соотношения проще в применении для разработчика, так как определяют номенклатуру фаз и направление намотки как в случае четного, так и нечетного числа фаз.

Конструктивные зависимости позволяют разработчику проектировать широкий ряд устройств, таких как двигатели, генераторы и синхронные тахометры с возбуждением со стороны ротора, в том числе и от постоянных магнитов, что можно использовать при разработке электромашин, встраиваемых в конструкцию мехатронных модулей. Таким образом создается база вариантов для дальнейшего углубленного проектирования с привлечением моделирования методом конечных элементов и других средств проектирования.

Сопоставлен предлагаемый подход с известными и используемыми ранее соотношениями. На примере электромашины с одной парой полюсов показано, что с расширением рассматриваемых вариантов можно получить более рациональные варианты реализации.

Ключевые слова: электродвигатели с возбуждением на роторе, на постоянных магнитах, электромашины мехатронных модулей с сосредоточенными обмотками, соотношения между зубцами статора и ротора электрических машин, синхронный тахометр.

Введение. При построении мехатронных модулей актуальной является задача встраивания различных компонентов в заданные габариты конструкции. Такими компонентами могут быть как механические, например, редукторы, так и исполнительные – электродвигатели, а также измерительные компоненты – датчики скорости, угла, тока и т.д. Применение в качестве исполнительных и измерительных компонентов электро-механических узлов индивидуального конструктивного исполнения позволяет рационально учесть заданные габариты и условия эксплуатации. При этом обеспечивается высокая надежность, технологичность, и возможность использования мехатронного модуля в жестких условиях эксплуатации.

В данной статье рассмотрим вопросы построения электромеханических компонентов мехатронных модулей на основе электромашин с сосредоточенными обмотками и возбуждением на роторе. Преимуществом электродвигателей с сосредоточенными обмотками является высокая энергетическая эффективность, что особенно проявляется при использовании для возбуждения постоянных магнитов на роторе, малые габариты, высокая надежность, что позволяет реали-

зовывать высокую динамику перемещений мехатронных модулей, высокий по отношению к другим типам двигателей КПД, значительные возможности по форсированию. Применяются данные двигатели в настоящее время широко: в составе роботов и автоматических систем, в промышленных сервоприводах, в высокоточных приводах станков, а кроме того в электротранспорте, в лифтовых лебедках, погружных насосах, конвейерах и т.д.

Данные электромашины меньше рассматриваются в литературе, при этом упор в основном сделан на разработке электродвигателей с сосредоточенными обмотками, что в определенной степени ограничивает разработчика, так как практически требуется комплексная разработка, включающая и измерительные компоненты, которые также целесообразно реализовывать на электромашинах с сосредоточенными обмотками. Например, при проектировании мехатронного модуля, особенно при необходимости обеспечить качественное измерение скорости на низких скоростях может потребоваться измеритель скорости тахометр, в котором реализована высо-

кая электрическая редукция, увязанная с электрической редукцией датчика угла обратной связи.

Несмотря на то, что измерительные электро-механические компоненты с точки зрения сути электромеханического преобразования энергии не отличаются от электродвигателя, требования к ним могут отличаться от требований к двигателям очень сильно. Датчикам измерителям по сути неважна такая характеристика двигателей как КПД, развиваемый момент, но при этом важны такие параметры, как синусоидальность ЭДС, точность, электрическая редукция и т.д.

Определение конструкции статора и ротора машин с сосредоточенными обмотками может производиться по-разному. Существуют подходы, которые опираются на число q (число пазов на полюс и фазу). Например, в [1] разработчику предлагается проектировать данные двигатели так, чтобы q с одной стороны было меньше единицы, что соответствует дискретным или однозубцовым обмоткам, а с другой стороны должно соответствовать наиболее эффективным вариантам для двух и трехфазных электродвигателей, при этом проектирование электродвигателя ведется с учетом рассмотрения м.д.с. катушек. В [2] вводится формула связи числа q с числом фаз. В [3] для построения электродвигателя вводится набор правил, позволяющих спроектировать электродвигатель с дискретно-распределенными обмотками. В [4] также, опираясь на число q даны рекомендации по проектированию двигателей с фиксированным числом зубцов статора. Кроме того, разработчик электромашин может и опираясь на свой опыт изначально задавать наиболее перспективные варианты, как например [5]. Отметим, что во всех перечисленных источниках упор сделан на электродвигатели, в то время как для разработки мехатронных модулей в заданных габаритах требуются и датчики, а преимуществом датчиков, выполненных на машинах с сосредоточенными обмотками является минимизация габаритов статора, за счет уменьшения габаритов катушек, а также повышение надежности.

Отметим, что существует и другой подход, рассмотренный в [6] и [7], которым вводится формула, позволяющие строить двигатели с сосредоточенной обмоткой. При этом вопросы построения датчиков скорости на электромашинах рассмотрены в [8], пример построения нескольких электромашин с сосредоточенной обмоткой в составе мехатронного модуля представлен в [9].

В данной статье вопрос связи параметров статора и ротора электромашины с сосредоточенными обмотками рассмотрен по-другому. Из-

начально не ставится вопрос о классе электромашины, измерительная или исполнительная, не предъявляются требования по энергоэффективности, и не решается задача построения электромашины по проверенному на практике соотношению. В данной работе выводится и обосновывается зависимость параметров статора и ротора, которая описывает, по-возможности, большее число рабочих комбинаций для анализа как датчиков, так и двигателей с сосредоточенными обмотками и возбуждением на роторе. Это позволяет значительно увеличить номенклатуру рассматриваемых комбинаций проектирования различных электромашин мехатронного устройства, что в свою очередь существенно расширяет возможности разработчика.

Основная часть. Для правильного функционирования электромашины достаточно, чтобы обмотка электромашины образовывала симметричную m -фазную систему. Симметричность m -фазной системы электромашины не гарантирует эффективность электродвигателя, а обеспечивает только его работоспособность. Свойства симметричных m -фазных систем рассмотрены в [10], здесь просто отметим, что симметричная система m -фазных величин имеет одинаковый угловой сдвиг между фазами, и сумма мгновенных значений фазных величин равна нулю.

Разработчику мехатронной системы этот достаточно очевидный и известный вывод интересен тем, что, исходя из него можно получить соотношения между статором и ротором в двигателе с сосредоточенными обмотками на статоре и возбуждением на роторе (в частности от постоянных магнитов).

Введем следующие обозначения: z – число зубцов статора; m – число фаз двигателя; k – число зубцов в фазной группе; p – электрическая редукция двигателя с возбуждением на роторе (число полюсов составляет $2p$ соответственно, в качестве полюсов могут быть использованы постоянные магниты).

Так как каждый зубец двигателя охватывается своей катушкой, то количество зубцов и катушек совпадает. С учетом редукции двигателя электрический угол, измеряемый по статору двигателя можно выразить:

$$\alpha_{эл} = 2\pi \times p \quad (2)$$

Исходя из необходимости симметричной m -фазной обмотки, можем записать, что механический угол между соседними фазами одинаков и составляет:

$$\Delta\alpha_{ф_эл} = \frac{2\pi}{m} \quad (3)$$

То есть электрический угол между соседними фазами в радианах равен электрическому периоду, деленному на число фаз. В тоже время механический угол между зубцами равен:

$$\Delta\alpha_z = \frac{2\pi}{z} \quad (4)$$

С учетом того, что в фазной группе может быть использовано k зубцов, то механический угол, занимаемый одной фазой, а также и угол между фазами составляет

$$\Delta\alpha_F = \frac{2\pi \times k}{z} \quad (5)$$

С учетом электрической редукции электрический угол между фазами составляет:

$$\Delta\alpha_{F_эл} = \frac{2\pi \times p \times k}{z} \quad (6)$$

Выражение (6) показывает фактический угол между фазами в двигателе, в то время как выражение (3) показывает условие симметрии m -фазной обмотки, создающей круговое вращающееся магнитное поле. Для обеспечения работоспособности электродвигателя приравниваем выражение (3) к (6).

$$\frac{2\pi}{m} = \frac{2\pi \times p \times k}{z} \quad (7)$$

Отметим, что условие симметрии m - фазной обмотки в двигателе не нарушится, если к углу между фазами добавить любое целое количество электрических периодов. Дополнительно можно заметить, что угол между фазами может отсчитываться как положительную, так и в отрицательную сторону, что также не нарушает симметрию m -фазной обмотки. Таким образом, выражение (7) можно представить:

$$\pm \frac{2\pi}{m} \pm 2\pi \times i = \frac{2\pi \times p \times k}{z} \quad (8)$$

где i –любое целое число. Данное выражение можно упростить, и вынеся электрическую редукцию в левую часть, получаем:

$$p = \pm \frac{z}{km} \pm \frac{zi}{k} = \pm \frac{z \times (mi \pm 1)}{km} \quad (9)$$

Рассматривая выражение (9), можно прийти к выводу о том, что данное соотношение можно дополнительно расширить. Симметричность m -фазной обмотки не нарушится, если электрический угол между фазами будет равен не только периоду 2π , деленному на число фаз, но и будет увеличен в целое число раз от этого значения.

То есть можно принять, что

$$\alpha_{F_эл} = \pm \frac{2\pi \times n}{m} \quad (10)$$

где по сравнению с выражением (3) введено целое число n . Данное целое число введено независимо от выбора числа i , поэтому для него выбрано отдельное обозначение, в частном случае n может быть принят единице с получением указанного выше соотношения (9).

Поясним на примере вышеизложенное. Допустим, разрабатывается электродвигатель с числом фаз, равным 5, тогда при $n=1$ возможно построение двигателя, в котором сдвиг угла между соседними электрическими фазами составляет $\frac{2\pi}{5}$, значения сдвига фаз для наглядности представлены в таблице 1 (начальный угол для первой фазы принят за ноль).

Таблица 1

Углы фаз при сдвиге между фазами $\frac{2\pi}{5}$

Номер фазы	1	2	3	4	5
Электрический угол фазы при $n=1$ (рад.)	0	$\frac{2\pi \cdot 1}{5} \cdot 1 = \frac{2\pi}{5}$	$\frac{2\pi \cdot 1}{5} \cdot 2 = \frac{4\pi}{5}$	$\frac{2\pi \cdot 1}{5} \cdot 3 = \frac{6\pi}{5}$	$\frac{2\pi \cdot 1}{5} \cdot 4 = \frac{8\pi}{5}$
Электрический угол фазы (гр.)	0°	72°	144°	216°	288°

При выборе другого числа n обход фаз в двигателе изменится, но при этом также будет сформирована работающая электромашина с круговым магнитным полем. Для 5-ти фазной машины значения сдвига фаз при $n=3$ приведены в таблице 2.

Сравнивая значения электрических углов фаз в таблицах 1, 2, видим, что фактически одни

и те же значения сдвигов фаз выпадают в разных фазах в зависимости от выбранного числа n . Таким образом, машины, данные которых приведены в данных таблицах будут работоспособны, так как каждая из них формирует симметричную 5-ти фазную систему.

Таблица 2

Углы фаз при сдвиге между фазами $\frac{6\pi}{5}$

Номер фазы	1	2	3	4	5
Электрический угол фазы при $n=3$ (радианы)	0	$\frac{2\pi \cdot 3}{5} \cdot 1 = \frac{6\pi}{5}$	$\frac{2\pi \cdot 3}{5} \cdot 2 = \frac{12\pi}{5}$	$\frac{2\pi \cdot 3}{5} \cdot 3 = \frac{18\pi}{5}$	$\frac{2\pi \cdot 3}{5} \cdot 4 = \frac{24\pi}{5}$
Электрический угол фазы (гр.)	0°	216°	(432°-360°)=72°	(648°-360°)=288°	(864-720)=144°

Необходимо учесть, что значение дроби $\frac{n}{m}$ должно быть несократимым, так как в противном случае система фаз вырождается, так например в 9-ти фазной системе значение $\frac{n}{m}$ может составлять $\frac{1}{9}, \frac{2}{9}, \frac{4}{9}, \frac{5}{9}, \frac{7}{9}, \frac{8}{9}$, и во всех случаях будет сформирована правильная 9-ти фазная система, все фазы будут представлены, но в случае выбора $n=3$, значение дроби $\frac{n}{m}$ сократится $\frac{3}{9} = \frac{1}{3}$, что фактически при обходе фаз выразится в построении 3-х фазной системы вместо 9-фазной. Введение числа n можно обосновать в более общем виде аналитически. Таким образом, используя в выражении (9) вместо значения $\frac{2\pi}{m}$ значение $\frac{2\pi \times n}{m}$ получим:

$$\pm \frac{2\pi \times n}{m} \pm 2\pi \times i = \frac{2\pi \times p \times k}{z} \quad (11)$$

После преобразований получим:

$$p = \pm \frac{z}{mk} \times (n \pm im) \quad (12)$$

где i – любое целое число, $\frac{n}{m}$ – является несократимой дробью;

Выражение (12) описывает рабочие комбинации двигателей с сосредоточенными обмотками и симметричной m -фазной системой. Знаки плюс и минус можно комбинировать в любой последовательности, при этом естественно считается, что число p должно быть положительным. При выводе под z понималось число зубцов в том смысле, что на каждый зубец одета одна катушка и их число эквивалентно.

Необходимо отметить, что в формуле (12) число фаз m понимается строго, то есть при четном числе фаз (4-х фазные, 6-ти фазные и т.д.) на пространственной диаграмме фаз будут находиться фазы, сдвиг которых между собой составит 180 градусов при одинаковом

направлении намотки. Это практически может быть использовано для снижения реального числа фаз управления за счет того, что в одной из противоположных фаз меняется направление намотки катушек, а фазы объединяются.

Таким образом, схема управления 4х фазной электромашины выполняется как 2х фазной, а 6ти фазной как 3х фазной и т.д., что соответственно уменьшает количество аппаратуры управления. Данный подход можно применить и к рассмотрению вопроса соотношений между статором и ротором. То есть если вместо числа m фаз в строгом смысле использовать число M , означающее число фаз, каждая из которых может быть намотана как со знаком «+», так и «-», то соотношение (11) можно записать следующим образом:

$$\pm \frac{\pi \times n}{M} \pm \pi \times i = \frac{2\pi \times p \times k}{z} \quad (13)$$

Действительно в данном случае симметричность итоговой обмотки обеспечивается за счет того, что фазы всегда при необходимости могут быть перевернуты на 180°. Из формулы (13) следует соотношение:

$$2p = \frac{z}{kM} (n \pm im) \quad (14)$$

где i – любое целое число, $\frac{n}{M}$ – является несократимой дробью;

Если в данном выражении принять в частном случае $n=1, i=k$, то получится выражение:

$$2p = \frac{z}{kM} (kM \pm 1) \quad (15)$$

которое полностью совпадает с выражением, приведенным в [7] в разделе 1.1. Формулы (12) или (15) не отвечает на вопрос, эффективен ли тот или иной электродвигатель, но обеспечивает его работоспособность. При этом отметим, что измеритель скорости - синхронный тахометр, по сути, является такой же синхронной машиной, при чем в ней на первый план выходит минимизация высших гармоник, а не энергетическая эффективность, что позволяет разработчику, комбинируя параметры числа фаз, числа зубцов в

фазной группе к разрабатывать как исполнительные двигатели, так и датчики скорости.

Сравнение различных вариантов аналитических соотношений на примере электромашины с одной парой полюсов.

Рассмотрим пример проектирования электромашины с одной парой полюсов, в котором будет показано как применение соотношения по общей формуле (12), так и применение формулы (15).

Отметим особенность в применении формул (12) и (15). Двухфазная система на самом деле является 4х фазной симметричной системой, в которой путем переворота можно свести систему к управлению по двум фазам, сдвинутым на 90 градусов. В формуле (15), где эти перевороты могут выполняться произвольно, данная 2х фазная система может быть формально получена, но это не соответствует понятию симметричной системы. Например, при 8-ми фазной симметричной системе фаз между соседними фазами сдвиг 45°. Ее

можно рассматривать и как 4х фазную по формуле (15), но при этом разработчику необходимо помнить, что сдвиг фаз между фазами 45°, а не 90°, что противоречит понятию симметричности системы и несколько неудобно при использовании, в то же время при использовании общей формулы (12) никаких противоречий нет.

Отметим, что при проектировании высокоскоростных электромашин с ростом скорости резко растут потери в материалах электродвигателя, и начиная с некоторого порога данные потери начинают сравниться или даже преобладать над омическими потерями, поэтому в высокоскоростных электродвигателях целесообразно применение ротора, имеющего одну пару полюсов на роторе. Рассмотрим варианты конструкции, которые могут быть реализованы с одной парой полюсов, представленные в таблице 3.

Схемы всех трех вариантов представлены ниже в таблице 4.

Таблица 3

Варианты реализации конструкции по различным соотношениям между статором и ротором

Вариант	Аналитическое соотношение	Параметры	Реализация соотношения
1	$p = \pm \frac{z}{mk} \times (n \pm im)$	2 магнита и 3 зубца (3 фазы управления)	$z=3; m=3; p=1; n=2; i=1; k=1$ $1 = -\frac{3}{3 \cdot 1} \times (2 - 1 \cdot 3)$
	$2p = \frac{z}{kM} (kM \pm 1)$		$z=3; M=3; p=1; k=1$ $2 = \frac{3}{3 \cdot 1} \times (1 \cdot 3 - 1)$
2	$p = \pm \frac{z}{mk} \times (n \pm im)$	2 магнита и 4 зубца (2 фазы управления)	$z=4; m=4; p=1; n=3; i=1; k=1$ $1 = -\frac{4}{4 \cdot 1} \times (3 - 1 \cdot 4)$
	$2p = \frac{z}{kM} (kM \pm 1)$		$z=4; M=2; p=1; k=1$ $2 = \frac{4}{2 \cdot 1} \times (1 \cdot 2 - 1)$
3	$p = \pm \frac{z}{mk} \times (n \pm im)$	2 магнита и 5 зубцов (5 фаз управления)	$z=5; m=5; p=1; n=4; i=1; k=1$ $1 = -\frac{5}{5 \cdot 1} \times (4 - 1 \cdot 5)$
	$2p = \frac{z}{kM} (kM \pm 1)$		Вариант не разрешен

Отметим, что с увеличением числа зубцов уменьшаются лобовые части электромашины, что является положительным фактором. Для сравнения характеристик характеристики всех машины были рассчитаны методом конечных элементов, при этом ротор во всех конструкция принят идеальным, при расчете в фазы двигателя в модели задавались идеально синусоидальные токи, диаметр статора одинаковый. Для корректного учета преимуществ и недостатков необходимо учесть разную толщину лобовых частей, что сказывается на габаритных размерах. Учет данного фактора произведен следующим обра-

зом: общие габаритные размеры всех машин приняты одинаковыми, при этом 5ти зубцовая машина имеет наибольшую длину пакета стали статора по оси и наименьшие размеры лобовых, 4х зубцовая машина имеет среднее значение длины пакета стали и средние размеры лобовых, 3х зубцовая машина имеет минимальную длину пакета статора и максимальные размеры лобовых частей. Обмотка рассчитывалась на одинаковый провод и одинаковый коэффициент заполнения. В силу разности сопротивления фаз для корректности сравнения вариантов токи фаз задавались таким, образом, что бы омические потери мощ-

ности всех машин были одинаковыми. Результаты сравнения после расчета представлены в таблице 5.

Таблица 4

Общий вид вариантов двигателей с различным числом зубцов статора и 1 парой полюсов ротора

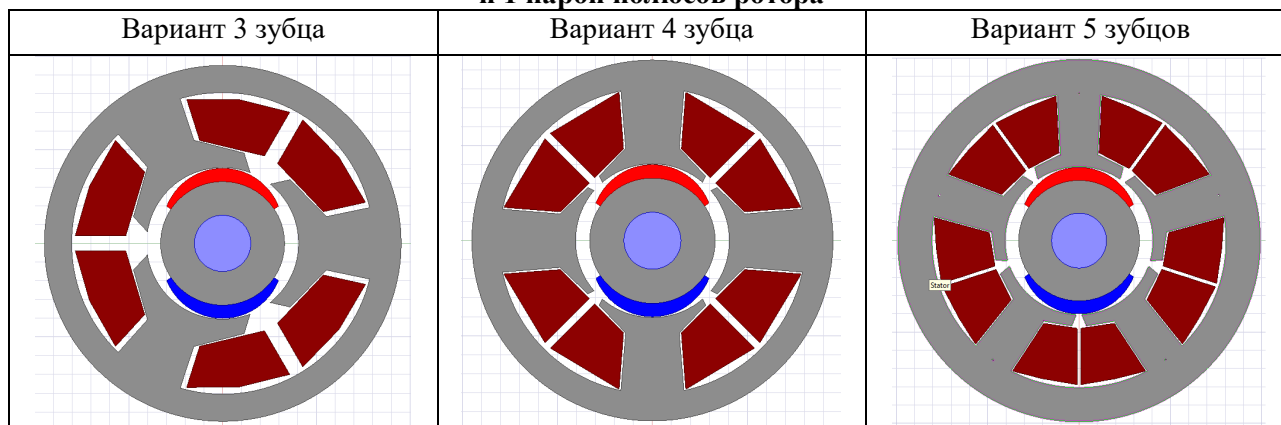


Таблица 5

Результаты сравнения различных вариантов двигателя с одной парой полюсов

Параметр	Вариант 3 зубца	Вариант 4 зубца	Вариант 5 зубцов
Сопротивление Фазы (Ом)	0,2	0,16	0,145
Омические потери одной фазы (Вт)	40	30	24
Суммарные омические потери мощности двигателя (Вт)	120	120	120
Действующее значение номинального тока (А)	14,1	13,7	12,9
Средний момент (Нм) при действующем значении тока	16,9	16,7	18,4
Пульсации момента (%), при действующем значении тока	23	15,8	5,4

Сравнивая данные варианты видим, что 5ти зубцовый вариант имеет наиболее высокий средний момент при тех же омических потерях, наименьшие пульсации полезного момента под током. Отметим, что среди всех представленных 4х зубцовый вариант имеет наибольший зубцовый момент тяжения, что является недостатком. Таким образом, в представленном наборе вариантов наиболее перспективным для дальнейшего рассмотрения оказался 5ти фазный вариант, соотношения которого получены по общей формуле (12) (по соотношению (15) данный вариант не реализуется), но при этом при его реализации из-за большего числа фаз потребуется увеличение используемой аппаратуры управления, что с одной стороны повышает требуемые габариты системы управления, а с другой стороны может повышать стоимость аппаратуры управления. При этом следует отметить, что решение об окончательном выборе в пользу того или иного варианта следует вести с учетом реальной номинальной скорости и потерь в материалах. Данный

пример демонстрирует то, что расширение вариантов анализа, получаемый в соответствии с соотношением (12) может приводить к созданию более рациональных конструкций.

Выводы

1. Предложены и обоснованы соотношения для построения исполнительных и измерительных компонентов мехатронных приводных модулей, реализованных на электрических машинах с сосредоточенными обмотками.

2. Данные соотношения по сравнению с известными ранее позволяют рассматривать большее число рабочих вариантов электрических машин среди которых могут находиться более рациональные для данного применения электромашины, кроме того предложенные соотношения проще в применении для разработчика, так как четко определяют номенклатуру фаз и направление намотки как в случае четного, так и нечетного числа фаз.

3. Выведенные соотношения позволяют проектировать широкий ряд устройств, таких как двигатели, генераторы и синхронные тахометры

с возбуждением со стороны ротора, в том числе и от постоянных магнитов, что можно использовать при разработке электромашин, встраиваемых в конструкцию мехатронных модулей, что определяет базу для дальнейшего углубленного проектирования с привлечением моделирования и других средств проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бухгольц Ю.Г., Комаров А.В., Шевченко А.Ф. Многополосные синхронные машины с дробными однозубцовыми обмотками. Основы теории и конструкция. Часть 1: В 2ч.: методическое руководство по курсовому и дипломному проектированию. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1995. 38 с.
2. Шевченко А.Ф. Многополосные синхронные машины с дробными ($q < 1$) зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов // Электротехника. 2007. № 9. С. 3–9.
3. Калужский Д.Л. Электрические машины с дискретно-распределенными обмотками: дис. ... доктора тех. наук: 05.09.01. Новосиб., 2000. 277 с.
4. Захаренко А.Б., Авдонин А.Ф. Исследование ЭДС электрических машин с сосредоточенной обмоткой статора // Электротехника. 2006. № 3. С. 9–14.
5. Захаренко А.Б. Проектирование погружного электродвигателя с сосредоточенной обмоткой статора // Электротехника. 2005. № 1. С. 39 – 44
6. Пат. 2047936 Российская Федерация, ПМК Н02К 21/00 (1995.01). Синхронный электродвигатель /Бродовский В. Н., Иванов Е.С., Лузин М.И., Петухов В.П., Пятков М.И.; заявитель Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики. - №4001093/63; заявл. 02.01.1986; опубл. 10.11.1995.
7. Баранов М.В., Бродовский В.Н., Зимин А.В., Каржавов Б.Н. Электрические следящие приводы с моментным управлением исполнительными двигателями: Монография. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 240с.
8. Бродовский В.Н., Каржавов Б.Н., Рыбкин Ю.П. Бесколлекторные тахогенераторы постоянного тока. М.: Энергоиздат, 1982. 128 с.
9. Бродовский В.Н., Каржавов Б.Н., Петухов В.П., Рыбкин Ю.П. Электроагрегат: Патент РФ № 2112309 // Бюллетень изобретателя. 1998. №15.
10. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Спб: СПбГУ ИТМО, 2006. 94 с.

Информация об авторах

Корчагин Олег Александрович, зам. главного конструктора. E-mail: koroleg@inbox.ru. ООО НПФ «Политех». 123001, Российская Федерация, г. Москва, Малый Патриарший переулок д. 3-39.

Поступила 11.12.2023 г.

© Корчагин О.А., 2024

Korchagin O.A.
NPF Polytech LLC
E-mail: koroleg@inbox.ru

RELATIONSHIP OF STATOR AND ROTOR PARAMETERS IN ELECTRIC MACHINES OF MECHATRONIC SYSTEMS WITH CONCENTRATED STATOR WINDINGS AND EXCITATION ON THE ROTOR

Abstract. *The issues of choosing design relationships when designing electrical machines with single-tooth windings are considered.*

Based on the property of symmetry of the m-phase system of an electric machine, relationships are derived that connect the number of pairs of rotor poles and stator teeth in single-tooth machines, taking into account the number of phases and the number of teeth in a phase group.

The relations derived in the work, in comparison with the previously known ones, allow us to consider a larger number of working options, among which there may be more rational ones, in addition, the proposed relations are easier to use for the developer, since they determine the nomenclature of phases and the direction of winding in both the case of even and an odd number of phases.

Structural dependencies allow the developer to design a wide range of devices, such as engines, generators and synchronous tachometers with excitation from the rotor side, including from permanent magnets, which can be used in the development of electric machines built into the design of mechatronic modules. In this way, a base of options is created for further in-depth design using finite element modeling and other design tools.

The proposed approach is compared with known and previously used relationships. Using the example of an electric machine with one pair of poles, it is shown that by expanding the options under consideration, more rational implementation options can be obtained.

Keywords: electric motors with excitation on the rotor, on permanent magnets, electric machines of mechatronic modules with discrete windings, the ratio between the teeth of the stator and rotor of electric machines, synchronous tachometer.

REFERENCES

1. Buchholz Yu.G., Komarov A.V., Shevchenko A.F., Shevchenko L.G., Multi-pole synchronous machines with fractional single-tooth windings. Fundamentals of theory and construction. Part 1: In 2 parts: methodological guide for course and diploma design [Mnogopolusnye sinhronnye mashiny s drobnymi odnozubtsovymi obmotkami. Osnovi teorii i konstruktsiya. Chast 1: V 2 chastyakh: Metodicheskoe rukovodstvo po kursovomu i diplomu proektirovaniyu]. Novosibirsk, NSTU Publ., 1995. 38 p. (rus)
2. Shevchenko A.F. Multipolar synchronous machines with fractional ($q < 1$) tooth windings with excitation from permanent magnets [Mnogopolusnye sinkhronnye mashiny s drobnymi ($q < 1$) zubtsovymi obmotkami s vzbuzhdeniem ot postoyannykh magnitov]. Electrical engineering. 2007. No. 9. Pp. 3–9. (rus)
3. Kaluzhsky D.L. Electric machines with discretely distributed windings [Electrichekieskie mashiny s diskretno raspredelennymi obmotkami], Doc. tech. sci. diss. Novosibirsk, 2000. 277 p. (rus)
4. Zakharenko A.B., Avdonin A.F. Investigation of the EMF of electric machines with a concentrated stator winding [Issledovanie EDS ehlektricheskikh mashin s sosredotochennoi obmotkoi statora]. Electrical Engineering. 2006. No. 3. Pp. 9–14. (rus)
5. Zakharenko A. B. Design of a submersible electric motor with a concentrated stator winding [Proektirovanie pogruzhnogo ehlektrodvigatelya s sosredotochennoi obmotkoi statora]. Electrical Engineering. 2005. No. 1. Pp. 39–44. (rus)
6. Brodovsky V.N., Ivanov E.S., Luzin M.I., Petukhov V.P., Pyatkov M.I., Synchronous electric motor [Sinhronnyi elektrodvigatel], copyright certificate 2047936, Russian Federation, 1995. (rus)
7. Baranov M.V., Brodovsky V.N., Zimin A.V., Karzhavov B.N. Electric tracking drives with torque control of executive motors [Electrichekieskie sledyaschie privody s momentnym upravleniem ispolnitelnymi dvigatelyami]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2006, 240 p. (rus)
8. Brodovsky V.N., Karzhavov B. N., Rybkin Yu.P. Brushless DC tachogenerators [Beskollektornye takhogeneratory postoyannogo toka]. M.: Energoizdat, 1982. 128 p. (rus)
9. Brodovsky V.N., Karzhavov B.N., Petukhov V.P., Rybkin Yu.P. Electric unit: [Ehleketroagregat] Patent of the Russian Federation No. 2112309. Bulletin of the inventor. 1998. No. 15. (rus)
10. Usoltsev A.A. Frequency control of asynchronous motors [Chastotnoe upravlenie asinhronnymi dvigatelyami]. Saint-Petersburg, St. Petersburg State University ITMO, 2006. 94 p. (rus)

Information about the authors

Korchagin, Oleg A. Deputy Chief Designer. E-mail: koroleg@inbox.ru. NPF Polytech LLC. Moscow, 123001, Russia, Moscow, Maly Patriarchal alleyway, d3-39

Received 11.12.2023

Для цитирования:

Корчагин О.А. Связь параметров статора и ротора в электрических машинах мехатронных систем с сосредоточенными обмотками статора и возбуждением на роторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №1. С. 104–111. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-104-111

For citation:

Korchagin O.A. Relationship of stator and rotor parameters in electric machines of mechatronic systems with concentrated stator windings and excitation on the rotor. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 1. Pp. 104–111. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-104-111