УДК 621.311

РАСЧЕТ ЯКОРЯ ДВУХМЕРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ В СОСТАВЕ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

CALCULATION OF ANCHOR TWO-DIMENSIONAL ELECTRICAL MACHINES IN THE AUTONOMOUS POWER SOURCE

Самородов Александр Валерьевич
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
Alex.Samorodoff@gmail.com.

Христофоров Михаил Сергеевич
аспирант кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
mkhristoforov87@mail.ru.

Ким Владислав Анатольевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
Vladik-kub@mail.ru.

Аннотация. В статье приводятся основные конструктивные соотношения для двухмерных электрических машин – элементы расчета якоря двухмерной электрической машины – генератора.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, электромеханические преобразователи энергии, якорь.

Alexander Samorodov Valeryevich
Candidate of technical sciences, Associate professor, department of electrical engineering and electrical machines,
Kuban state technological university
jlms@mail.ru

Christoforov Michail Sergeevich
Graduate student, department of electrical engineering and electrical machines,
Kuban state technological university
mkhristoforov87@mail.ru

Kim Vlavislav Anatolievich
Student,
Kuban state technological university
Vladik-kub@mail.ru

Annotation. The article presents the basic structural relations for the two-dimensional electrical machines – the elements for calculating anchor two-dimensional electric machine – generator.

Keywords: renewable energy power systems, electromechanical energy converters, inductor.

Для решения задач нетрадиционной энергетики на кафедре электротехники и электрических машин КубГТУ была разработана и исследована двухмерная электрическая машина-генератор (ДЭМ-Г), которая обеспечивает одновременное преобразование солнечной и ветровой энергии в электрическую [1–7].

Якорь ДЭМ-Г имеет две обмотки, уложенные в одних пазах: двигательную обмотку постоянного тока и генераторную обмотку трехфазного переменного тока [8, 9].

Тип обмотки и число параллельных ветвей определяют, исходя из принятого числа главных полюсов 2_p и тока параллельной ветви I_a.

Для расчета числа параллельных ветвей определяют предварительное значение тока якоря, А:

- для генератора $I = P_{ном}\,(1+ k_в)/U$
- для двигателей $I = P_{ном}\,(1- k_в)/U$

Значение коэффициентов $k_в$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение магнитной индукции в зависимости от частоты перемагничивания

Исполнение двигателей по степени защиты и способу охлаждения	Магнитная индукция B_z при частоте перемагничивания, Гц			
	100	75	50	25 и ниже
IP22, IC01, IC17, IP44, IC37	1,65−1,85	1,75−1,95	1,85−2,05	1,9−2,1
IP44, IC0141	1,4−1,6	1,5−1,7	1,55−1,75	1,6−1,8
IP44, IC0041	1,3−1,5	1,3−1,6	1,5−1,7	1,55−1,75

Исходя из принятого числа главных полюсов 2_p, предварительного значения тока якоря I и допустимого тока параллельной ветви I_a = 250…300 А, принимают тип обмотки. Выбираем простую волновую обмотку. Число проводников обмотки якоря $N = (A\pi D2_a)/I$.

Согласно рекомендации и ориентировочным значениям зубцового деления tz_1 определяют число пазов якоря: $Z = \pi D/tz_1$.

Ориентировочные значения tz_1 для различных высот оси вращения следующие:

H,мм	80−200,	225−315,	355−500;
tz_1, мм	10−20,	15−35,	18−40.

Число эффективных проводников обмотки в пазу N/Z должно быть в двухслойных обмотках чётным числом.

При сравнении вариантов следует учесть, что в двигателях с полузакрытыми пазами всыпная обмотка из круглых проводников может иметь дробное число витков секции $W_c = N/2K$, так как в этом случае допускается выполнение секций, расположенных в одном пазу с разным числом витков.

При открытых пазах и проводах прямоугольного сечения значения W_c должны округляться до ближайшего целого числа.

Максимальное число коллекторных пластин $W_c = N/2K$ должно оцениваться по минимально допустимому значению коллекторного деления, которое в зависимости от диаметра коллектора должно быть не менее:

$Dк$, мм	125,	140−280,	315−500;
$tк$, мм	3,0,	3,5,	3,8.

Для серийных машин допускается $U_{к.ср.}$ до 16 В, для машин малой мощности (до 1 кВт) $U_{к.ср.}$ < 25…30 В. Для расчета коллекторного давления $t_к$ необходимо выбрать внешний диаметр коллектора $D_к$, из следующего ряда по ГОСТ 19780−81: 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450 мм.

Диаметр коллектора $D_к$ при открытых пазах якоря должен находиться в пределах:

$$D_к = (0{,}65…0{,}7)\ D.$$

При полузакрытых пазах якоря и отсутствии петушков на коллекторе:

$$D_к = (0{,}65…0{,}8)\ D.$$

После выбора варианта обмотки необходимо уточнить линейную нагрузку:

$$A = 2uпZWcIa/(Dπ)$$

и скорректировать расчетную длину машины.

Поперечное сечение эффективного проводника обмотки якоря, м^2:

$$Q_a = I/(2_aJ_a),$$

где J_a − плотность тока, А/м^2.

Плотность тока предварительно выбирают, используя зависимости произведения AJ от класса нагревостойкости изоляции, построенные по данным серийных машин постоянного тока.

Для всыпных обмоток якоря с полузакрытыми пазами следует выбрать круглый провод марки ПЭТВ при классе нагревостойкости В. При классе нагревостойкости Н могут быть применены провода марки ПСДТК. Диаметр изолированного провода не должен превышать 1,8 мм.

Эффективные проводники всыпных обмоток обычно состоят из нескольких элементарных проводников. Число элементарных проводников $nэл$ и сечение элементарного проводника $q_{эл}$ определяют из равенства:

$$q_a = n_{эл}q_{эл},$$

где $n_{эл}$ – должно быть целым числом.

Сечение и размеры прямоугольных проводников обмотки якоря с открытыми пазами определяют при расчете размеров паза и зубца.

Форма паза и геометрии зубцовой зоны в целом зависят от диаметра якоря, типа и конструкции обмотки.

Наиболее целесообразно, с точки зрения технологии обмоточных работ, формой паза является открытый паз с параллельными стенками. При прямоугольной форме проводников эти пазы имеют высокий коэффициент заполнения.

Однако при открытых пазах увеличивается коэффициент воздушного зазора, возрастают пульсации магнитного потока и зубцовые гармонические электромагнитного момента. Увеличиваются также поверхностные и пульсационные добавочные потери в магнитной системе.

При диаметрах якоря до 50 мм для упрощения формы штампа допускается применение пазов круглой формы.

При выбранной форме паза исходной величиной в расчетах геометрии зубцовой зоны является площадь паза, которая должна быть достаточной не только для размещения в пазу проводников обмотки якоря, изоляции и крепления, но и проводников трехфазной генераторной обмотки.

Овальные пазы якоря. При овальной форме паза зубцы выполняют с равновеликим по высоте сечением. Ширина зубцов предварительно:

$$B_z = B_\delta t z_1/(k_c B_z),$$

где B_z − допустимое значение индукции в зубцах, $T_л$; k_c − коэффициент заполнения пакета якоря сталью.

Высоту паза $h_п$ выбирают предварительно. Эти значения размеров паза уточняют на основании расчетов индукций в соответствующих участках магнитной цепи зубцовой зоны и размещении обмоток в пазах. Одновременно необходимо иметь в виду, что высота ярма якоря h_j должна быть более или равной значению $h_{j\ min}$ при котором магнитная индукция в спинке якоря является предельно допустимой (таб. 2).

Таблица 2 – Исполнение двигателей по степени защиты и способу охлаждения

Исполнение двигателей по степени защиты и способу охлаждения	Магнитная индукция B_j, $T_л$ при частоте перемагничивания, Гц	
	50100	до 50
IP22, IC01, IC17, IP44, IC37	1,4	1,45
IP44, IC0141	1,15	1,2
IP44, IC0041	1,05	1,1

Минимальная высота спинки якоря $h_{j\ min}$ равна:

$$h_{j\ min} = \Phi/(2 l_k B_j) + ⅔\ d_k,$$

где Φ − магнитный поток в воздушном зазоре, $B_б$; l − длина пакета якоря, м; d_k − диаметр аксиальных вентиляционных каналов, м; B_j − индукция в спинке якоря.

Обычно магнитопроводы якорей с овальными пазами выполняются без аксиальных каналов, и только в некоторых случаях при высотах оси вращения $h \geq 200$ мм и диаметрах якоря свыше 200 ммвыполняется один ряд аксиальных каналов.

При расчете $h_п$ и h_j необходимо задаться значением внутреннего диаметра листов якоря D_0. Это значение приближенно определяют по формуле:

$$D_0 = 27 P_{ном}/n_{ном}.$$

Внутренний диаметр D_0 можно определить по таблице 3.

Таблица 3 – Внутренний диаметр машин

h, мм	90	110	112	132	160	180	200
D, мм	90	106	110	132	156	180	200
D_0, мм	24	28	38	50	55	60	65

При выбранной ширине зубца b_z и установленном значении $h_п$ определяют размеры и площадь сечения паза:

- высота шлица – $h_ш \approx 0{,}5…0{,}8$ мм;
- ширина шлица принимается больше суммы максимального диаметра изолированного проводника и двусторонней толщины изоляции:

большой радиус –

$r_1 = (\pi(D - 2h_ш) - Zb_z)/(2(Z + \pi))$,

меньший радиус –

$r_2 = (\pi(D - 2h_ш) - Zb_z)/(2(Z - \pi))$;

- расстояние h_1 – $h_1 = h_п - h_ш - r_1 - r_2$;
- площадь паза в штампе – $S_п = \pi/2(r_1^2 + r_2^2) + (r_2 + r_1)h_1$;
- площадь сечения пазовой изоляции – $S_{из} = b_{из}(2\pi r_1 + \pi r_2 + 2h_1)$.

Следует принять во внимание, что коэффициент заполнения паза обмоткой постоянного тока в якоре должен быть не более 0,5. Оставшееся пространство в пазу заполняется трехфазной обмоткой переменного тока.

Если площадь поперечного сечения обмотки больше половины площади поперечного сечения паза, то требуется увеличить плотность тока и выбрать проводники меньшего сечения, чтобы обеспечить коэффициент заполнения паза не более 0,5.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 16-48-230200 «р_а».

Литература:

1. Пат. RUS 2332774. Управляемая двухмерная электрическая машина / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова, Л.Е. Копелевич. – Опубл. 07.05.2007.

2. Разработка и основы теории двухмерных электрических машин для систем автономного электроснабжения / Б.Х. Гайтов, Т.Б. Гайтова, С.Р. Шарифуллин, А.В. Самородов // Изв. вузов. Электромеханика. – 1999. – № 4. – С. 16.

3. Пат. RUS 2332775. Управляемая двухмерная электрическая машина / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова, Л.Е. Копелевич. – Опубл. 05.12.2006.

4. Гайтов Б.Х. Двухмерная электрическая машина-генератор для автономных систем электроснабжения / Б.Х. Гайтов, А.В. Самородов, Л.Е. Копелевич, Я.М. Кашин // Наука. Техника. Технологии. (Политехнический вестник). – 2013. – № 1–2. С. 66–69.

5. Нетрадиционные электромеханические преобразователи энергии в системе автономного электроснабжения / Б.Х. Гайтов, Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2003. – № 1. – С. 21–28.

6. Теоретические предпосылки к построению и исследованию аксиальных двухмерных электрических машин-генераторов / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.В. Голощапов : мат. II Межд. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-11». – 2011. – С. 39–41.

7. Создание перспективных систем автономного электроснабжения объектов на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, Н.В. Ладенко, Р.А. Пахомов, А.В. Самородов // Отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014 (РФФИ и Администрация Краснодарского края).

8. Самородов А.В. Разработка системы автономного электроснабжения на базе двухмерной электрической машины : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Краснодар, 2002.

9. Ермак А.А. Перспективные источники для автономных систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии / А.А. Ермак, А.В. Самородов, М.Л. Копелевич // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–1. – С. 39–41.

References:

1. Patent RUS 2332774. The operated two-dimensional electrical machine / B.H. Gaytov, A.V. Samorodov, T.B. Gaytova, L.E. Kopelevich. – Publ. 5/7/2007.

2. Development and bases of the theory of two-dimensional electrical machines for systems of autonomous power supply / B.H. Gaytov, T.B. Gaytova, S.R. Sharifullin, A.V. Samorodov // Izv. higher education institutions. Elektromekhanics. – 1999. – No. 4. – C. 16.

3. Patent RUS 2332775. The operated two-dimensional electrical machine / B.H. Gaytov, A.V. Samorodov, T.B. Gaytova, L.E. Kopelevich. – Publ. 12/5/2006.

4. Gaytov B.H. The two-dimensional electric machine generator for autonomous systems of power supply / B.H. Gaytov, A.V. Samorodov, L.E. Kopelevich, Ya.M. Kashin // Science. Equipment. Technologies. (Polytechnical messenger). – 2013. – No. 1–2. P. 66–69.

5. Nonconventional electromechanical converters of energy in system of autonomous power supply / B.H. Gaytov, T.B. Gaytova, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov // News of higher educational institutions. Electromecanics. – 2003. – No. 1. – P. 21–28.

6. Theoretical prerequisites to construction and a research of axial two-dimensional electric machines generators / T.B. Gaytova, Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.V. Goloshchapov : mat. II international scientific conference. «The technical and technological TTS-11 systems». – 2011. – P. 39–41.

7. Creation of perspective systems of autonomous power supply of objects on the basis of essentially new electromechanical converters of energy of the increased reliability / B.H. Gaytov, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, N.V. Ladenko, R.A. Pakhomov, A.V. Samorodov // the Report on No. 13-08-96515/14 NIR from 10/8/2014 (the Russian Federal Property Fund and Administration of Krasnodar Krai).

8. Samorodov A.V. Development of the system of autonomous power supply on the basis of the two-dimensional electrical machine : the thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences. – Krasnodar, 2002.

9. Ermak A.A. Perspective sources for autonomous systems of power supply on the basis of renewables / A.A. Yermak, A.V. Samorodov, M.L. Kopelevich // Modern high technologies. – 2013. – No. 8–1. – P. 39–41.