

УДК 621.313.33

UDC 621.313.33

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К РАСЧЕТУ МАГНИТНОГО ПОТОКА ОДНОЙ КАТУШЕЧНОЙ ГРУППЫ ОБМОТКИ СТАТОРА КОМПОНЕНТА УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА**

**DEVELOPMENT OF APPROACH TO CALCULATION OF THE MAGNETIC FLUX OF ONE BOBBIN GROUP OF THE WINDING OF THE STATOR OF THE COMPONENT OF THE OPERATED ASYNCHRONOUS CASCADE ELECTRIC DRIVE**

Карандей Владимир Юрьевич

к.т.н., доцент

[kvy1983@mail.ru](mailto:kvy1983@mail.ru)

РИНЦ SPIN-код: 5078-5042

Karandey Vladimir Yurievich

Cand.Tech.Sci., Associate Professor

[kvy1983@mail.ru](mailto:kvy1983@mail.ru)

SPIN-code: 5078-5042

Карандей Юрий Юрьевич

Karandey Yuriy Yurievich

Афанасьев Виктор Леонидович

Студент

[buguvix@mail.ru](mailto:buguvix@mail.ru)

Afanasyev Viktor Leonidovich

Student

[buguvix@mail.ru](mailto:buguvix@mail.ru)

Квочкин Владислав Владимирович

Студент

Kvochkin Vladislav Vladimirovich

Student

Кишко Владислав Николаевич

Студент

*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия*

Kishko Vladislav Nikolaevich

Student

*Kuban State Technical University, Krasnodar, Russia*

В настоящее время некоторые отрасли промышленности нуждаются в гибридных или каскадных системах электрического привода. Электрические приводы используют до 60 процентов всей вырабатываемой электроэнергии, поэтому с улучшением массогабаритных показателей и энергетических характеристик рассматриваемых устройств достигаются необходимые технические характеристики и уменьшаются потери электрической энергии. При проектировании электрических приводов различной конструкции важной и достаточно трудной задачей является расчет электромагнитной системы. Классический подход к проектированию данных систем имеет ряд недостатков, что требует создание новых подходов или корректировку и дополнение известных методов и подходов. В статье предложен другой подход к проектированию разрабатываемых систем электрического привода

Nowadays some branches of the industry need hybrid or cascade systems of electric drives. Electric drives use up to 60 percent of all developed electric power therefore with improvement of mass-dimensional indicators and power characteristics of the considered devices necessary technical characteristics are reached and losses of electric energy decrease. When creating electric drives of various designs, it is important and rather difficult to calculate an electromagnetic system. Classical approach to design of data of systems has a number of shortcomings that demands creation of new approaches or adjustment and addition of the known methods and approaches. In the article, another approach to design of the developed systems of the electric drive is offered

Ключевые слова: ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, УПРАВЛЯЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ КАСКАДНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИСТЕМА

Keywords: HYBRID SYSTEM, VECTOR CONTROL DRIVEN CASCADING ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, ELECTROMAGNETIC TORQUE, ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERSION, ELECTROMAGNETIC SYSTEM

## **1 Введение. Общие положения.**

Существующие типы и конструкции электрических приводов [1] порой не удовлетворяют современным требованиям различных отраслей промышленности. В частности, электрические приводы, как постоянного тока, так и переменного тока с короткозамкнутым или фазным ротором имеют высокую частоту вращения в режимах, близких к номинальным. Низкие частоты вращения могут быть получены двумя способами. Первый способ заключается в применении различных редукторов, что усложняет привод, снижает его надежность. При этом частота вращения на выходе редуктора не может быть близкой к нулю, тем более изменить знак и осуществить реверс привода. Второй способ требует применением дорогостоящего частотно управляемого электропривода, который в свою очередь не решает проблемы получения очень низких скоростей вращения, близких к 0 с номинальным значением вращающего момента, а также получения удвоенной синхронной скорости вращения при постоянном моменте или удвоенного момента при постоянной синхронной скорости для номинального режима работы. При этом асинхронные электроприводы с частотными преобразователями при низких скоростях вращения имеют низкое значение вращающего момента, к тому же вал будет вращаться рывками, из-за принципов работы преобразователей, а также данные преобразователи загрязняют питающую сеть гармониками высших порядков, приводящих к искажению синусоидальности напряжения, т.е. снижает качество электроэнергии.

Разрабатываемые типы приводов [2-5] обладают улучшенными характеристиками управления и рабочими характеристиками, по сравнению с имеющимися типами электрических приводов. Для создания таких типов приводов требуется разработать новые методики расчета. Предлагается новый подход к созданию данных устройств. Предполагая, что магнитная система линейна и в номинальном режиме работы магнитная индукция не

выходит за пределы колена кривой намагничивания, применяя метод наложения, закона Кирхгофа и закона Ома для магнитной цепи. Метод заключается в следующем выключаются фазы В и С, включается фаза А, находится потокораспределение сначала от одной катушечной группы затем от другой, после этого потоки складываются со сдвигом в пространстве. Затем тоже проделываем с фазами В и С. Затем полученные потоки складываем. Расчет сводится к последовательному и параллельному сложению магнитных сопротивлений и применению закона Кирхгофа и закона Ома для магнитной цепи [6-16].

## 2. Общие положения.

Процесс проектирование и создания каскадных электрических приводов и их компонентов довольно сложная электротехническая задача, которая разбивается на несколько этапов [17-21].

$$\Phi = \frac{Iw}{R_{\mu}}, \quad (1)$$

где  $\Phi$  – магнитный поток электрической машины;

$I$  – ток, протекающий по статору;

$w$  – количество витков;

$R_{\mu}$  – магнитное сопротивление электрической машины.

Эскиз магнитной системы и принятые размеры представлены на рисунке 1, магнитная цепь асинхронного двигателя изображена на рисунке 2.

$d_g$  – диаметр вала;

$d$  – диаметр ротора;

$D$  – внутренний диаметр статора;

$D_a$  – внешний диаметр статора;

$\delta = D - d$  - величина воздушного зазора; (2)

$l_{\delta}$  – расчетная длина магнитопровода;

$h_{зс}, h_{зр}$  – высота зубца статора и, соответственно, ротора;

$b_{зс}, b_{зр}$  – ширина зубца статора и, соответственно, ротора;

$\Phi_{к2}$  – поток катушечной группы.

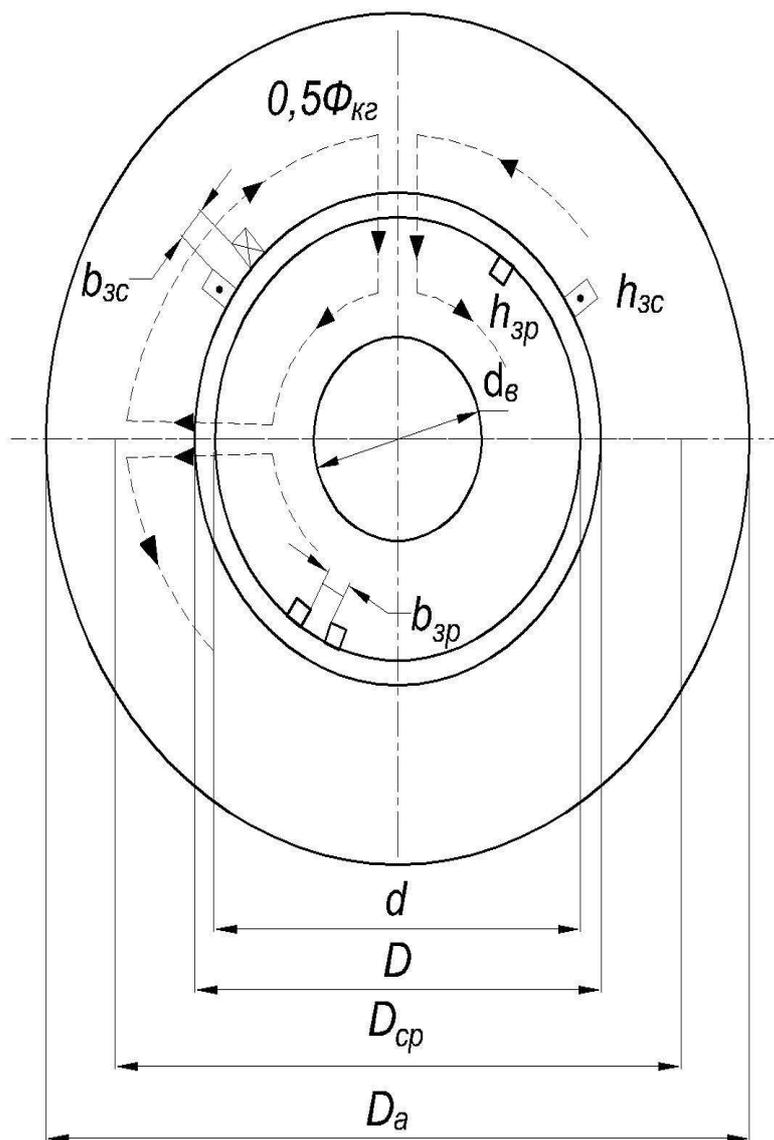


Рисунок 1 – Геометрические размеры компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода

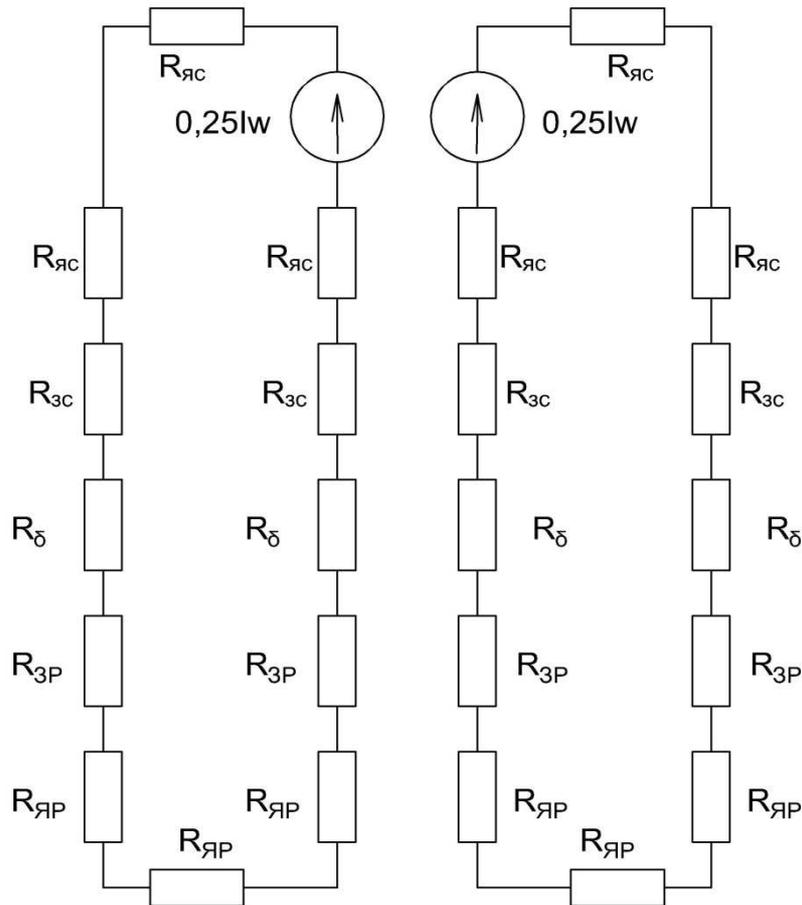


Рисунок 2 – Схема замещения магнитной системы компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода

### 3. Расчет магнитных сопротивлений статора

Выключаем фазы В и С и оставляем включенной фазу А. Рассчитываем потокораспределение в системе, определяя магнитное сопротивление каждого участка по пути протекания магнитного потока катушечной группы.

Магнитное сопротивление находим по формуле:

$$R_{\mu} = \frac{1}{G_{\mu}} = \frac{l}{\mu_0 \mu S}, \tag{3}$$

где  $G_{\mu}$  – магнитная проводимость;

$l$  – длина силовой линии на данном участке;

$S$  – площадь, сквозь которую протекает магнитный поток;

$\mu$  – магнитная проницаемость данного участка;

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}, \frac{\text{Гн}}{\text{м}}.$$

Найдем магнитное сопротивление ярма ротора асинхронного двигателя  $R_\mu$  по формуле (3)

Находим площадь самого узкого места ярма ротора, по которому проходят магнитные силовые линии

$$S_p = \frac{d - 2h_{zp} - d_B}{2} l_\delta. \quad (4)$$

Определяем среднюю длину магнитной линии, предварительно введем понятие среднего диаметра ротора

$$D_{cp\ p} = \frac{d - 2h_{zp} + d_B}{2}. \quad (5)$$

$$l_p = \pi \frac{D_{cp\ p}}{2p} + 2 \frac{d - 2h_{zp} - D_{cp\ p}}{2}, \quad (6)$$

где –  $2p$  - число пар полюсов.

Тогда магнитное сопротивление ярма ротора имеет вид

$$R_p = 2 \frac{\frac{\pi D_{cp\ p}}{2p} + d - 2h_{zp} - D_{cp\ p}}{\mu_0 \mu_p (d - 2h_{zp} - d_B) l_\delta}. \quad (7)$$

Находим магнитное сопротивление зубцовой части ротора

Площадь, по которой проходит магнитная силовая линия, равна

$$S_{zp} = \frac{b_{zp} n_{zp}}{2p2} \beta l_\delta, \quad (8)$$

где  $n_{zp}$  - количество зубцов ротора;

$\beta$  - относительный шаг.

$$\beta = \frac{y}{Z}, \quad (9)$$

где  $y$  - число зубцов на катушку (шаг обмотки);

$Z$  - количество зубцов статора.

Длина магнитной линии на этом участке

$$l_{зр} = h_{зр}. \quad (10)$$

Тогда магнитное сопротивление на участке зубцов ротора

$$R_{зр} = \frac{4 p h_{зр}}{\mu_0 \mu_{зр} b_{зр} n_{зр} \beta l_{\delta}}. \quad (11)$$

Находим магнитное сопротивление зубцовой части статора

Площадь, по которой проходит магнитная силовая линия, равна

$$S_{зс} = \frac{b_{зс} y l_{\delta}}{2}. \quad (12)$$

Длина магнитной линии равна высоте зубца статора

$$l_{зс} = h_{зс}. \quad (13)$$

Тогда магнитное сопротивление участка равно

$$R_{зс} = \frac{2 h_{зс}}{\mu_0 \mu_{зс} b_{зс} y l_{\delta}}. \quad (14)$$

Расчет и формула для магнитного сопротивления воздушного зазора такая же, как и для зубцовой части статора, только длина магнитной линии  $l_z$  равна величине зазора  $\delta$ . Это утверждение верно, так как мы не учитываем поля выпучивания и рассеяния на зубцовой зоне статора.

$$R_{\delta} = \frac{2 \delta}{\mu_0 b_{зс} y l_{\delta}}. \quad (15)$$

Рассчитываем магнитное сопротивление ярма статора

Находим площадь, по которой проходит магнитная линия

$$S_c = \frac{D_a - D - 2 h_{зс}}{2} l_{\delta}. \quad (16)$$

Вводим понятие среднего диаметра ярма статора

$$D_{cp\ c} = \frac{D_a + D + 2h_{nc}}{2}. \quad (17)$$

Тогда длина силовой магнитной линии равна

$$l_{яр} = \frac{\pi D_{cp\ c}}{2p} + 2 \frac{D_{cp\ c} - D - 2h_{zc}}{2}. \quad (18)$$

Тогда величина магнитного сопротивления на участке ярма статора равна

$$R_c = \frac{\frac{\pi D_{cp\ яр}}{2p} + 2 \frac{D_{cp\ яр} - D - 2h_{zc}}{2}}{\mu_0 \mu_c \frac{D_a - D - 2h_{zc}}{2} l_{\delta}}. \quad (19)$$

Подставляя полученные значения магнитных сопротивлений в (1), получим:

$$\Phi_{к2} = \frac{I w}{k \sum_{i=1}^2 R_k}. \quad (20)$$

Поток катушечной группы будет равен сумме потоков от всех катушек. Причем каждый поток будет сдвинут в пространстве на соответствующее количество зубцов. Так что суммарная картина будет выглядеть в виде ступенчатой кривой.

### Выводы

Представленный выше подход не вносит больших погрешностей, так, как разбивая магнитную систему на отдельные участки, мы можем задавать свое значение магнитной индукции, которую можно уточнить методом последовательных приближений. На основе изложенного выше подхода разработаны алгоритмы и блок схемы управления программами расчёта. Написаны программы [22-24], позволяющие для заданных параметров рассчитать распределения потока обмотки компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода. Данные программы являются частью комплекса по расчету каскадных управляемых электрических приводов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. В 2-х ч. Ч.2 / – Машины переменного тока. Изд. 3-е, перераб. - Л.: Энергия, 1973. - 648 с.
2. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2402857 зарегистрировано 27.10.2010 г.
3. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
4. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Патент на изобретение № 2483415 зарегистрировано 11.03.2013 г.
5. Карандей В.Ю. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2370869 зарегистрировано 30.06.2008 г.
6. Попов Б.К. Обобщенный алгоритм расчета магнитной цепи статора / Б.К. Попов, О.Б. Попова, В.Ю. Карандей, А.Н. Лахман // Электроэнергетические комплексы и системы: Материалы международной научно-практической конференции, 25 апреля 2006 г./ Краснодар, ГОУ ВПО «КубГТУ», 2006. – С. 126-128.
7. Карандей В.Ю. Программа для расчета магнитной системы статора методом магнитных цепей / В.Ю. Карандей, А.Н. Лахман // Энергетика и энергосбережение: Материалы Всероссийской конференции – конкурсного отбора инновационных проектов студентов и аспирантов по приоритетному направлению, 26-29 сентября 2006 г./ Томск, Томский политехн. ун-т, 2006. – С. 105-111.
8. Попов Б.К. Расчет магнитного сопротивления для третьей катушки обмотки возбуждения ротора синхронного двигателя / Б.К. Попов, О.Б. Попова, В.Ю. Карандей, А.Н. Лахман // Инновационные технологии – транспорту и промышленности: Труды 45-й международной научно-практической конференции, 7-9 ноября 2007 г./ Хабаровск, ДВГУПС, 2007. – Том 2 – С. 15-19.
9. Карандей В.Ю. Расчет магнитной системы специального электрического привода / В.Ю. Карандей, А.Н. Лахман // Тинчуринские чтения: Материалы докладов 3-й молодежной международной научной конференции, 24-25 апреля 2008 г./ Казань, Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. –С. 85-86.
10. Карандей В.Ю. Определение полного потока для одной катушки статора управляемого каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, А.Н. Лахман // Материалы докладов международной научно-технической конференции «Энергетика 2008: инновации, решения, перспективы» 15-19 сентября 2008 г./ Казань, Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. – Ч.5, С.172 -174.
11. Карандей В.Ю. Определение ЭДС взаимной индукции в статоре асинхронного двигателя каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Материалы международной научной конференции «Технические и технологические системы» г. Краснодар, ФГОУ ВПО «КубГАУ» 8-10 сентября 2009 г. стр. 81-83.
12. Карандей В.Ю. Определение полного потока одного контура ротора асинхронного двигателя каскадного электропривода / В.Ю. Карандей // Материалы третьей международной научной конференции «Технические и технологические системы» г. Краснодар, КубГТУ 5-7 октября 2011 г. стр. 135-137.
13. Карандей В.Ю. Уточненный расчет магнитной системы статора асинхронного двигателя марки 4a160s2 методом магнитных цепей / В.Ю. Карандей, Попов Д.В. // Материалы V международной научно-практической конференции «Технические и технологические системы» г. Краснодар, КубГТУ 10-11 октября 2013 г. стр. 113-117.

14. Карандей В.Ю. Определение потокораспределения от статорной обмотки асинхронного двигателя малой мощности / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Материалы шестой международной научной конференции «Технические и технологические системы» г. Краснодар, КубГТУ 8-10 октября 2014 г. стр. 120-122

15. Карандей В.Ю. Расчет магнитной системы статора асинхронного двигателя каскадного электрического привода с учетом геометрии паза / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Материалы седьмой международной научной конференции «Технические и технологические системы» ТТС-15 г. Краснодар, КубГТУ 7-9 октября 2015 г. стр. 68-71.

16. Карандей В.Ю. Вывод величины перекрытия одноименных магнитных полюсов асинхронного двигателя каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Материалы второй международной научной конференции «Технические и технологические системы» г. Краснодар, КВВАУЛ 7-9 октября 2010 г. стр. 64-67.

17. Попов Б.К., Карандей Ю.Ю., Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Абанин Ф.С. Подход к определению магнитных параметров компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода: Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №10(114). – IDA [article ID]: 1141510014. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/14.pdf>, 1,188 у.п.л.

18. Карандей В.Ю. Определение электромагнитной энергии и момента в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, А.В. Базык, Ю.Ю. Карандей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401039. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf>, 0,625 у.п.л.

19. Карандей В.Ю. Концепция расчета магнитной системы асинхронного двигателя специального электропривода / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, // Известия высших учебных заведений, Пищевая технология. Научно-технический журнал. – 2008. – № 1. – С. 101-103.

20. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91-96.

21. Карандей В.Ю. Математическое моделирование каскадных асинхронных электроприводов: в 3 т.: монография. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 1: Математическое моделирование магнитных систем электропривода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2

22. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Базык А.В., Афанасьев В.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615828 от 25 мая 2015 г.

23. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и самоанимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Базык А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615826 от 25 мая 2015 г.

24. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального по-

строения полученного потока распределения / Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г.

#### Literature

1. Kostenko M.P., Piotrovskij L.M. Jelektricheskie mashiny. V 2-h ch. Ch.2 / – Mashiny peremennogo toka. Izd. 3-e, pererab. - L.: Jenergija, 1973. - 648 s.
2. Karandey V.Ju. Upravljaemyj kaskadnyj jelektricheskij privod / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2402857 zaregistrovano 27.10.2010 g.
3. Karandey V.Ju. Upravljaemyj kaskadnyj jelektricheskij privod s zhidkostnym tokos#emom / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2461947 zaregistrovano 20.09.2012 g.
4. Karandey V.Ju. Aksial'nyj kaskadnyj jelektricheskij privod s zhidkostnym tokos#emom / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova // Patent na izobrenenie № 2483415 zaregistrovano 11.03.2013 g.
5. Karandey V.Ju. Tokos#emnoe ustrojstvo / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2370869 zaregistrovano 30.06.2008 g.
6. Popov B.K. Obobshhennyj algoritm rascheta magnitnoj cepi statora / B.K. Popov, O.B. Popova, V.Ju. Karandey, A.N. Lahman // Jelektrojenergeticheskie komplek-sy i sistemy: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 25 ap-relja 2006 g./ Krasnodar, GOU VPO «KubGTU», 2006. – S. 126-128.
7. Karandey V.Ju. Programma dlja rascheta magnitnoj sistemy statora metodom magnitnyh cepej / V.Ju. Karandey, A.N. Lahman // Jenergetika i jenergoberezenie: Materialy Vserossijskoj konferencii – konkursnogo otbora innovacionnyh pro-ektov studentov i aspirantov po prioritetnomu napravleniju, 26-29 sentjabrja 2006 g./ Tomsk, Tomskij politehn. un-t, 2006. – S. 105-111.
8. Popov B.K. Raschet magnitnogo soprotivlenija dlja tret'ej katushki obmotki vzbuzhdenija rotora sinhronnogo dvigatelja / B.K. Popov, O.B. Popova, V.Ju. Karandey, A.N. Lahman // Innovacionnye tehnologii – transportu i promyshlennosti: Trudy 45-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 7-9 nojabrja 2007 g./ Habarovsk, DVGUPS, 2007. – Tom 2 – S. 15-19.
9. Karandey V.Ju. Raschet magnitnoj sistemy special'nogo jelektricheskogo privoda / V.Ju. Karandey, A.N. Lahman // Tinchurinskie chtenija: Materialy dokladov 3-j molodezhnoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, 24-25 aprelja 2008 g./ Kazan', Kazan. gos. jenerg. un-t, 2008. – S. 85-86.
10. Karandey V.Ju. Opredelenie polnogo potoka dlja odnoj katushki statora upravljaemogo kaskadnogo jelektricheskogo privoda / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, A.N. Lahman // Materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Jenergetika 2008: innovacii, reshenija, perspektivy» 15-19 sentjabrja 2008 g./ Kazan', Kazan. gos. jenerg. un-t, 2008. – Ch.5, S.172 -174.
11. Karandey V.Ju. Opredelenie JeDS vzaimoindukcii v statore asinhronnogo dvigatelja kaskadnogo jelektroprivoda / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova // Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy» g. Krasnodar, FGOU VPO «KubGAU» 8-10 sentjabrja 2009 g. str. 81-83.
12. Karandey V.Ju. Opredelenie polnogo potoka odnogo kontura ro-tora asinhronnogo dvigatelja kaskadnogo jelektroprivoda / V.Ju. Karandey // Materialy tret'-ej mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy» g. Krasnodar, KubGTU 5-7 oktjabrja 2011 g. str. 135-137.
13. Karandey V.Ju. Utochnennyj raschet magnitnoj sistemy statora asinhronnogo dvigatelja marki 4a160s2 metodom magnitnyh cepej / V.Ju. Karandey, Popov D.V. // Materi-

aly V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy» g. Krasnodar, KubGTU 10-11 oktjabrja 2013 g. str. 113-117.

14. Karandej V.Ju. Opredelenie potokoraspredelenija ot statornoj obmotki asinhronnogo dvigatelja maloj moshhnosti / V.Ju. Karandej, Ju.Ju. Karandej, V.L. Afanas'ev // Materialy shestoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy» g. Krasnodar, KubGTU 8-10 oktjabrja 2014 g. str. 120-122

15. Karandej V.Ju. Raschet magnitnoj sistemy statora asinhronnogo dvigatelja kaskadnogo jelektricheskogo privoda s uchetom geometrii paza / V.Ju. Karandej, Ju.Ju. Karandej, V.L. Afanas'ev // Materialy sed'moj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy» TTS-15 g. Krasnodar, KubGTU 7-9 oktjabrja 2015 g. str. 68-71.

16. Karandej V.Ju. Vyvod velichiny perekrytija odnoimennyh magnitnyh poljusov asinhronnogo dvigatelja kaskadnogo jelektroprivoda / V.Ju. Karandej, B.K. Popov, O.B. Popova // Materialy vtoroj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy» g. Krasnodar, KVVAUL 7-9 oktjabrja 2010 g. str. 64-67.

17. Popov B.K., Karandej Ju.Ju., Karandej V.Ju., Afanas'ev V.L., Abanin F.S. Podhod k opredeleniju magnitnyh parametrov komponenta upravljaemogo kaskadnogo asinhronnogo jelektricheskogo privoda: Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – №10(114). – IDA [article ID]: 1141510014. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/14.pdf>, 1,188 u.p.l.

18. Karandej V.Ju. Opredelenie jelektromagnitnoj jenerгии i momenta v kaskadnom jelektricheskom privode / V.Ju. Karandej, B.K. Popov, A.V. Bazyk, Ju.Ju. Karandej // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401039. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf>, 0,625 u.p.l.

19. Karandej V.Ju. Koncepcija rascheta magnitnoj sistemy asinhronnogo dvigatelja special'nogo jelektroprivoda / V.Ju. Karandej, B.K. Popov, // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Pishhevaja tehnologija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. – 2008. – № 1. – S. 101-103.

20. Karandej V.Ju. Opredelenie tokov statora i rotora v kaskadnom jelektricheskom privode / V.Ju. Karandej, B.K. Popov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki. – 2008. – № 4. – S. 91-96.

21. Karandej V.Ju. Matematicheskoe modelirovanie kaskadnyh asinhronnyh jelektroprivodov: v 3 t.: monografija. FGBOU VPO «KubGTU». – Krasnodar: Izdatel'skij Dom – Jug. T. 1: Matematicheskoe modelirovanie magnitnyh sistem jelektroprivoda. – 2014. – 142 s., ISBN 978-5-91718-345-9 (T. 1), ISBN 978-5-91718-344-2

22. Karandej V.Ju. Programma rascheta parametrov i animacionnogo postroenija potokoraspredelenija komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda / Karandej V.Ju., Bazyk A.V., Afanas'ev V.L. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM № 2015615828 ot 25 maja 2015 g.

23. Karandej V.Ju. Programma rascheta parametrov i samoanimacionnogo postroenija potokoraspredelenija komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda / Karandej V.Ju., Karandej Ju.Ju., Bazyk A.V. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2015615826 ot 25 maja 2015 g.

24. Karandej V.Ju. Programma zadaniya konstruktivnyh parametrov komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda, statornoj obmotki i vizual'nogo postroenija poluchennogo potokoraspredelenija / Karandej V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2015615827 ot 25 maja 2015 g.