

УДК 621.313.33

UDC 621.313.33

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТА УПРАВЛЯЕМОГО КАСКАДНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА**

**APPROACH TO DETERMINATION OF MAGNETIC PARAMETERS OF THE COMPONENT OF THE OPERATED CASCADE ASYNCHRONOUS 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)  
RSCI SPIN-code: 5078-5042

Попов Борис Клавдиевич  
к.т.н., доцент, [pbk47@mail.ru](mailto:pbk47@mail.ru)

Popov Boris Klavdievich  
Cand.Tech.Sci., associate professor, [pbk47@mail.ru](mailto:pbk47@mail.ru)

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)

Абанин Филипп Сергеевич  
студент  
*Кубанский государственный  
технологический университет, Краснодар,  
Россия*

Abanin Philip Sergeevich  
student  
*Kuban State Technical University, Krasnodar,  
Russia*

Современное состояние промышленности и высокий уровень развития технологий диктует свои требования к различным электромеханическим преобразователям энергии и электрическим приводам. Постоянно появляются новые требования к данным типам устройств и их характеристикам, что приводит к созданию все более сложных устройств электропривода и систем управления, примером которых является каскадные системы электроприводов. Данный тип приводов решают часть проблем современной промышленности. Однако для построения таких устройств требуется разработка новых подходов к проектированию и созданию каскадных систем электропривода и его компонентов, где одной из самых сложных задач является определение параметров электромагнитной системы. В статье приведен новый подход в нахождении электромагнитных параметров компонентов управляемого каскадного асинхронного электрического привода, исходя из применяемых типов электрических обмоток, распределенных в пространстве. Данный подход реализован при создании программного комплекса, являющегося частью системы автоматического проектирования

The current state of the industry and high level of development of technologies dictates the requirements to various electromechanical converters of energy and electric drives. Constantly there are new requirements to these types of devices and their characteristics that lead to creation of more and more difficult devices of the electric drive and control systems which example is cascade systems of electric drives. This type of drives solves part of problems of the modern industry. However, creation of such devices requires development of new approaches to design and creation of cascade systems of the electric drive and its components where one of the most complex challenges is determination of parameters of electromagnetic system. In the article, a new approach is given, in finding electromagnetic parameters of components of the operated cascade asynchronous electric drive, proceeding from the applied types of the electric windings distributed in space. This approach is realized at creation of the program complex, which is part of system of automatic design

Ключевые слова: ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, КАСКАДНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

Keywords: VECTORIAL CONTROL, CASCADE ELECTRIC DRIVE, ELECTROMAGNETIC MOMENT, ELECTROMECHANICAL TRANSFORMING OF ENERGY

## 1. Введение. Общие положения

Процесс проектирования и создания каскадных электрических приводов [1,2,3] и их компонентов [4] довольно сложная электротехническая задача, которая разбивается на несколько этапов [5,6,7].

Одним из этапов проектирования является определение электроэнергетических параметров рассматриваемого каскадного устройства и его компонентов [8-14].

В данной работе представлен оригинальный подход нахождения необходимых параметров компонента (рис.1) рассматриваемого привода с применением закона Ома для магнитной цепи и принципа наложения [5,6]. Предложенный алгоритм позволяет найти магнитные параметры рассматриваемого устройства, приведенные комплексные алгоритмы следует рассматривать в виде программных комплексов [15-17] являющихся частью системы автоматизированного проектирование.

В качестве рассматриваемого компонента асинхронного каскадного электрического привода был выбран асинхронный двигателя со следующей геометрией: соотношение ширины зубца и паза статора один к одному и на зубец и паз приходится по семь с половиной геометрических градусов; соотношение ширины зубца к пазу ротора — 1,5. На паз и на зубец приходится по пять геометрических градусов, а на большой зубец приходится пятнадцать градусов (рис. 1).

В качестве статорной обмотки была взята обмотка с параметрами  $Z=24$ ;  $2p=4$ ;  $q=3$ .

Ниже приведен расчет для нулевого положения оси поля ротора относительно оси поля статора.

## Выражение для магнитного потока катушки

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

где  $I$  – ток, протекающий в катушке;

$w$  – количество витков катушки;

$R_{\mu}$  – магнитное сопротивление потоку катушки.

Магнитное сопротивление

$$R_{\mu} = \frac{l}{\mu_0 \mu S}, \quad (2)$$

Где  $l$  – длина средней силовой линии на данном участке;

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

$\mu$  – магнитная проницаемость данного участка;

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

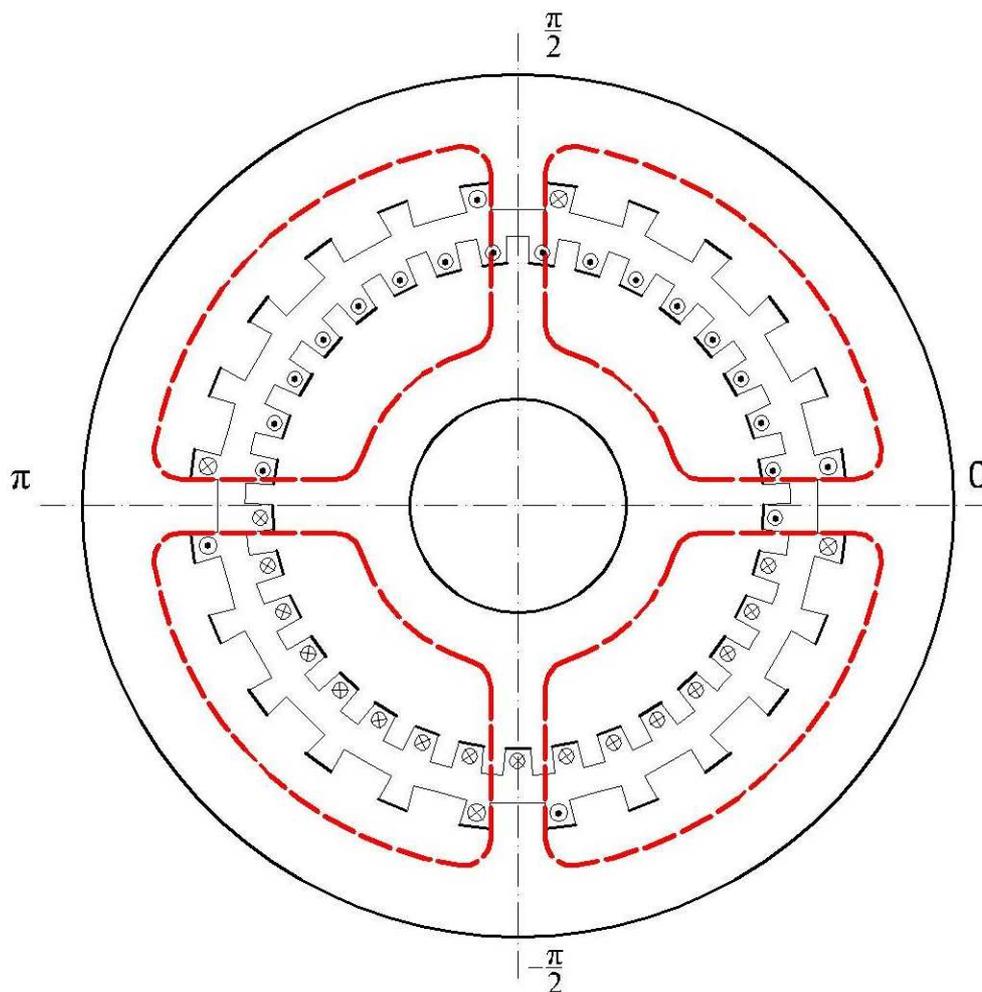


Рисунок 1. Геометрия компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода

Для полного расчета магнитной системы необходимо выполнить расчет магнитных систем статора ротора. Ниже приведен расчет

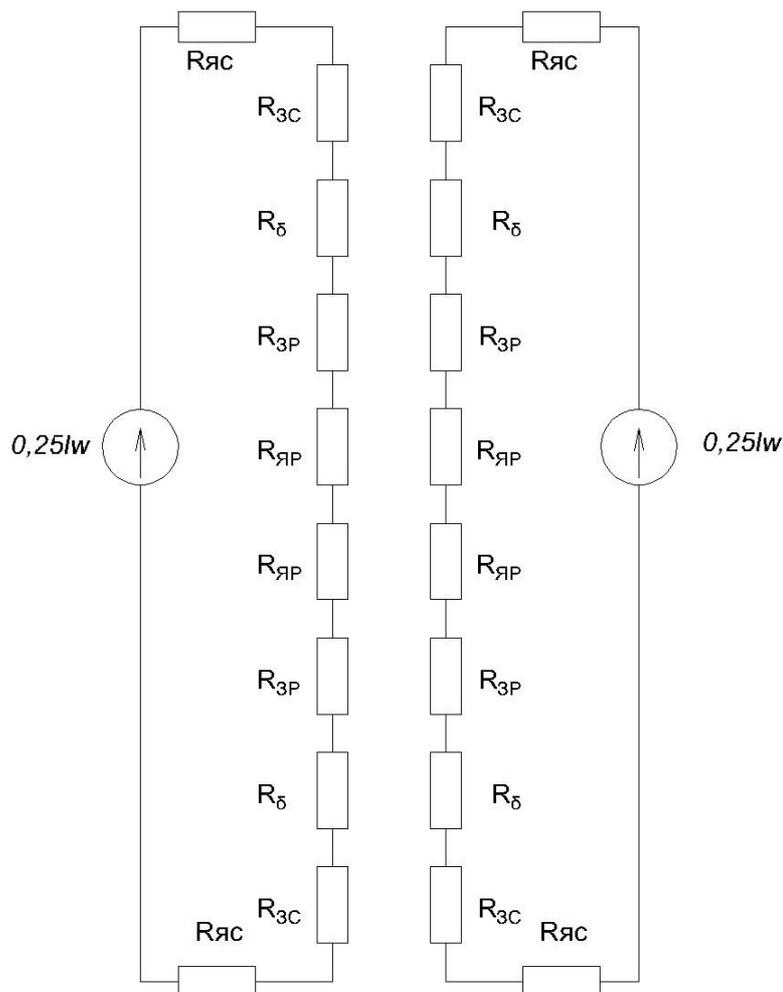


Рисунок 2. Схема замещения магнитной системы компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода

## 2. Расчет магнитных сопротивлений статора компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода

Магнитное сопротивление ярма ротора асинхронного двигателя.

Площадь ярма ротора асинхронного двигателя выбирается по самому узкому месту, по которому проходят магнитные силовые линии, и происходит передача магнитного потока в зубцовую зону ротора. Аналогично рассчитываем площадь, по которой протекает магнитный поток для остальных частей электрической машины.

Площадь самого узкого места ярма ротора асинхронного двигателя

$$S_p = \frac{(d - 2h_{зр} - d_{\epsilon}) l_m}{2}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр ротора;

$h_{зр}$  – высота зубца ротора;

$l_m$  – расчетная длина магнитопровода.

Введем понятие среднего диаметра ротора асинхронного двигателя

$$D_{ср.р} = \frac{d - 2h_{зр} + d_{\epsilon}}{2}, \quad (4)$$

где  $d_{\epsilon}$  – диаметр вала.

Длина средней силовой магнитной линии асинхронного двигателя равна

$$l_p = 2 \cdot \left( \frac{d}{2} - h_{зр} - D_{ср.р} \right) + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{ср.р} - \frac{1}{16} \cdot \pi \cdot D_{ср.р}. \quad (5)$$

Магнитное сопротивление ярма ротора асинхронного двигателя равно

$$R_p = \frac{2}{\mu_0 \mu_p} \frac{2 \cdot \left( \frac{d}{2} - h_{зр} - D_{ср.р} \right) + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{ср.р} - \frac{1}{16} \cdot \pi \cdot D_{ср.р}}{(d - 2h_{зр} + d_{\epsilon}) l_m}, \quad (6)$$

где  $\mu_p$  – магнитная проницаемость ярма ротора.

Магнитное сопротивление зубцовой части ротора асинхронного двигателя.

Площадь, по которой проходит магнитная силовая линия, равна

$$S_{зр} = 7 b_{зр} l_m, \quad (7)$$

где  $b_{зр}$  – ширина зубца ротора.

Длина магнитной линии на этом участке равна высоте зубца ротора асинхронного двигателя

$$l_{зр} = 2 h_{зр}. \quad (8)$$

Магнитное сопротивление зубцовой части ротора асинхронного двигателя равно

$$R_{зр} = \frac{2}{\mu_0 \mu_{зр}} \frac{h_{зр}}{7 b_{зр} l_m}, \quad (9)$$

где  $\mu_{зр}$  – магнитная проницаемость зубцовой части ротора.

Магнитное сопротивление зубцовой части статора асинхронного двигателя.

Площадь прохождения магнитного потока асинхронного двигателя равна

$$S_{зс} = 5 b_{зс} l_m, \quad (10)$$

где  $b_{zc}$  – ширина зубца статора.

Длина магнитной линии равна высоте зубца статора асинхронного двигателя равно

$$l_{zc} = 2 h_{zc}. \quad (11)$$

где  $h_{zc}$  – высота зубца статора.

Магнитное сопротивление зубцовой зоны статора асинхронного двигателя равно

$$R_{zc} = \frac{2}{\mu_0 \mu_{zc}} \frac{h_{zc}}{5 b_{zc} l_m}, \quad (12)$$

где  $\mu_{zc}$  – магнитная проницаемость зубцовой части статора.

Магнитное сопротивление воздушного зазора асинхронного двигателя.

Данное сопротивление определим аналогично, как магнитное сопротивление зубцовой части статора из-за пренебрежения потоками рассеяния и выпучивания. Длина силовой магнитной линии равна величине зазора.

$$R_z = \frac{2}{\mu_0} \frac{\delta}{5 b_{zc} l_m}, \quad (13)$$

где  $\delta$  – величина воздушного зазора.

Магнитное сопротивление ярма статора асинхронного двигателя.

Площадь, по которой проходит магнитная линия, равна

$$S_c = \frac{D_a - D - 2 h_{zc}}{2} l_m, \quad (14)$$

где  $D_a$  – внешний диаметр статора;

$D$  – внутренний диаметр статора.

Введем понятие среднего диаметра ярма статора асинхронного двигателя

$$D_{cp.c} = \frac{D_a + D + 2 h_{zc}}{2}. \quad (15)$$

Длина средней силовой магнитной линии асинхронного двигателя будет равна

$$l_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} - \frac{1}{48} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} + (D_{cp.c} - d - 2 \cdot \delta - 2 \cdot h_{zc}). \quad (16)$$

Магнитное сопротивление на участке ярма статора асинхронного двигателя равно

$$R_c = \frac{1}{\mu_0 \mu_c} \frac{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} - \frac{1}{24} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} + 2(D_{cp.c} - d - 2 \cdot \delta - 2 \cdot h_{zc})}{(D_a - D - 2 h_{zc}) l_m}, \quad (17)$$

где  $\mu_c$  – магнитная проницаемость ярма статора.

Аналогично производим расчёт для значений магнитных сопротивлений всех катушек статорной обмотки при различных углах

поворота ротора относительно статора с шагом  $1^\circ$  или  $\frac{1}{5}b_{zc}$ .

Магнитное сопротивление ярма ротора и зубцовой зоны ротора для соответствующих катушек останутся прежними. Также останутся без изменения и магнитные сопротивления ярма статора и зубцовой зоны статора для соответствующих катушек.

При повороте ротора изменяется величина магнитного сопротивления воздушного зазора по следующей зависимости:

$$R_{zi}^{(k)} = \frac{2}{\mu_0} \frac{\delta}{n b_{zp} l_m}, \quad (18)$$

где  $R_{zi}^{(k)}$  – общее магнитное сопротивление воздушного зазора  $i$ -ой катушки при  $(k)$ -ом угле сдвига оси поля ротора относительно оси поля статора;

$n$  – коэффициент для каждого сопротивления.

Коэффициент  $n$  количественно описывает площади, через которые проходит магнитный поток. В таблице 1 приведены значения коэффициента для всех катушек и всех положений оси поля ротора относительно оси поля статора, причём после угла поворота в десять градусов, значения коэффициента повторяются.

Таблица 1 – Значения коэффициентов  $n$

Угол поворота	Номер катушки											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	4,5	5	4,5	4	4,5	5	4,5	5	4,5	4	4,5	5
1	4,5	5	4,5	4	4,5	5	4,5	5	4,5	4	4,5	5
2	4,5	4,7	4,5	3,85	4,5	4,7	4,5	4,7	4,5	3,85	4,5	4,7
3	4,5	4,3	4,5	3,65	4,5	4,3	4,5	4,3	4,5	3,65	4,5	4,3
4	4,35	3,8	4,35	3,35	4,35	3,8	4,35	3,8	4,35	3,35	4,35	3,8
5	4	3,25	4	2,75	4	3,25	4	3,2	4	2,75	3,25	4
6	4,35	3,8	4,35	3,35	4,35	3,8	4,35	3,8	4,35	3,35	4,35	3,8
7	4,5	4,3	4,5	3,65	4,5	4,3	4,5	4,3	4,5	3,65	4,5	4,3
8	4,5	4,7	4,5	3,85	4,5	4,7	4,5	4,7	4,5	3,85	4,5	4,7
9	4,5	5	4,5	4	4,5	5	4,5	5	4,5	4	4,5	5
10	4,5	5	4,5	4	4,5	5	4,5	5	4,5	4	4,5	5
11	4,5	5	4,5	4	4,5	5	4,5	5	4,5	4	4,5	5

### 3. Расчет магнитных сопротивлений ротора компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода

Магнитное сопротивление ярма ротора асинхронного двигателя.

Площадь самого узкого места ярма ротора

$$S_p = \left( \frac{d}{2} - h_{зр} \right) \cdot \sin(37,5) \cdot l_m, \quad (19)$$

где  $d$  – диаметр ротора;

$h_{зр}$  – высота зубца ротора;

$l_m$  – расчетная длина магнитопровода.

Введем понятие среднего диаметра ротора асинхронного двигателя

$$D_{cp.p} = \frac{d - 2h_{зп} + d_{\epsilon}}{2}, \quad (20)$$

где  $d_{\epsilon}$  – диаметр вала.

Длина средней силовой магнитной линии асинхронного двигателя равна

$$l_p = 2 \cdot \left( \frac{d}{2} - h_{зп} - D_{cp.p} \right) + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cp.p} - \frac{7}{36} \cdot \pi \cdot D_{cp.p}. \quad (21)$$

Магнитное сопротивление ярма ротора асинхронного двигателя равно

$$R_p = \frac{1}{\mu_0 \mu_p} \frac{2 \cdot \left( \frac{d}{2} - h_{зп} - D_{cp.p} \right) + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cp.p} - \frac{7}{36} \cdot \pi \cdot D_{cp.p}}{\left( \frac{d}{2} - h_{зп} \right) \cdot \sin(37,5) \cdot l_m}, \quad (22)$$

где  $\mu_p$  – магнитная проницаемость ярма ротора.

Магнитное сопротивление зубцовой части ротора асинхронного двигателя.

Площадь, по которой проходит магнитная силовая линия, равна

$$S_{зп} = \frac{1}{16} \cdot \pi \cdot D \cdot l_m, \quad (23)$$

где  $D$  – внутренний диаметр статора.

Длина магнитной линии равна высоте зубца ротора

$$l_{зр} = h_{зр} . \quad (24)$$

Магнитное сопротивление зубцовой части ротора асинхронного двигателя равно

$$R_{зр} = \frac{1}{\mu_0 \mu_{зр}} \frac{h_{зр}}{\frac{1}{16} \cdot \pi \cdot D \cdot l_m} , \quad (25)$$

где  $\mu_{зр}$  – магнитная проницаемость зубцовой части ротора.

Магнитное сопротивление зубцовой части статора асинхронного двигателя.

Площадь прохождения магнитного потока асинхронного двигателя равна

$$S_{зс} = \frac{5}{96} \cdot \pi \cdot D \cdot l_m . \quad (26)$$

Длина магнитной линии равна высоте зубца статора асинхронного двигателя

$$l_{зс} = h_{зс} , \quad (27)$$

где  $h_{зс}$  – высота зубца статора.

Магнитное сопротивление зубцовой зоны статора асинхронного двигателя равно

$$R_{zc} = \frac{1}{\mu_0 \mu_{zc}} \frac{h_{zc}}{\frac{5}{96} \cdot \pi \cdot D \cdot l_m}, \quad (28)$$

где  $\mu_{zc}$  – магнитная проницаемость зубцовой части статора.

Магнитное сопротивление воздушного зазора асинхронного двигателя.

Данное сопротивление определим аналогично, как магнитное сопротивление зубцовой части статора из-за пренебрежения потоками рассеяния и выпучивания. Длина силовой магнитной линии равна величине зазора.

$$R_z = \frac{1}{\mu_0} \frac{\delta}{\frac{5}{96} \cdot \pi \cdot D \cdot l_m}, \quad (29)$$

где  $\delta$  – величина воздушного зазора.

Магнитное сопротивление ярма статора асинхронного двигателя.

Площадь, по которой проходит магнитная линия, равна

$$S_c = \frac{D_a - d - 2\delta - 2h_{zc}}{2} l_m, \quad (30)$$

где  $D_a$  – внешний диаметр статора.

Введем понятие среднего диаметра ярма статора асинхронного двигателя

$$D_{cp.c} = \frac{D_a + D + 2h_{zc}}{2}. \quad (31)$$

Длина средней силовой магнитной линии асинхронного двигателя будет равна

$$l_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} - \frac{7}{36} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} + (D_{cp.c} - d - 2 \cdot \delta - 2 \cdot h_{zc}). \quad (32)$$

Магнитное сопротивление на участке ярма статора асинхронного двигателя равно

$$R_c = \frac{2}{\mu_0 \mu_c} \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} - \frac{7}{36} \cdot \pi \cdot D_{cp.c} + 2(D_{cp.c} - d - 2 \cdot \delta - 2 \cdot h_{zc})}{(D_a - d - 2\delta - 2h_{zc}) l_m}, \quad (33)$$

где  $\mu_c$  – магнитная проницаемость ярма статора.

Аналогично производим расчёт для значений магнитных сопротивлений всех катушек статорной обмотки при различных углах

поворота ротора относительно статора с шагом  $1^\circ$  или  $\frac{1}{5}b_{zc}$ .

Магнитное сопротивление ярма ротора и зубцовой зоны ротора для соответствующих катушек останутся прежними. Также останутся без изменения и магнитные сопротивления ярма статора и зубцовой зоны статора для соответствующих катушек.

При повороте ротора изменится величина магнитного сопротивления воздушного зазора по следующей зависимости:

$$R_{zi}^{(k)} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\delta}{n b_{зр} l_m}, \quad (34)$$

где  $R_{zi}^{(k)}$  – общее магнитное сопротивление воздушного зазора  $i$ -ой катушки при  $(k)$ -ом угле сдвига оси поля ротора относительно оси поля статора;

$n$  – коэффициент для каждого сопротивления.

Коэффициент  $n$  количественно описывает площади, через которые проходит магнитный поток. В таблице 2 приведены значения коэффициента для всех катушек и всех положений оси поля ротора относительно оси поля статора, причём после угла поворота в пятнадцать градусов, значения коэффициента повторяются.

Таблица 2 – Значения коэффициентов  $n$ 

Угол поворота	Катушка 1		Катушка2		Катушка 3		Катушка 4	
	n1	n2	n1	n2	n1	n2	n1	n2
0	0,5	0,5	1,5	1,5	1,75	1,75	2	2
1	0,633	0,367	1,633	1,367	1,683	1,817	2,133	0,867
2	0,767	0,233	1,617	1,083	1,617	1,733	2,267	1,733
3	0,9	0,1	1,55	0,75	1,55	1,6	2,4	1,6
4	0,967	0,033	1,417	0,483	1,467	1,483	2,467	1,533
5	0,833	0,167	1,083	0,417	1,333	1,417	2,333	1,667
6	0,7	0,3	0,75	0,35	1,2	1,35	2,2	1,8
7	0,567	0,433	0,567	0,433	1,217	1,283	2,067	1,933
8	0,433	0,567	0,433	0,567	1,283	1,217	1,933	2,067
9	0,3	0,7	0,35	0,75	1,35	1,2	1,8	2,2
10	0,167	0,833	0,417	1,083	1,417	1,333	1,667	2,333
11	0,033	0,967	0,483	1,417	1,483	1,467	1,533	2,467
12	0,1	0,9	0,75	1,55	1,6	1,55	1,6	2,4
13	0,233	0,767	1,083	1,617	1,733	1,617	1,733	2,267
14	0,367	0,633	1,367	1,633	1,817	1,683	1,867	1,733
15	0,5	0,5	1,5	1,5	1,75	1,75	2	2
16	0,633	0,367	1,633	1,367	1,683	1,817	2,133	0,867

### Выводы

В данной статье приведен оригинальный подход к расчету магнитной системы исследуемого объекта, основанный на применении законов Ома для магнитной цепи и метода наложения. Данный подход в отличие от классического метода расчета позволяет получить аналитические зависимости магнитных сопротивлений. На основе полученных зависимостей были созданы программные продукты позволяющие определить необходимые электромагнитные параметры, а также получать визуальную картину потокораспределения компонента управляемого каскадного асинхронного электрического привода.

## Литература

1. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2402857 зарегистрировано 27.10.2010 г.
2. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъёмом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
3. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъёмом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Патент на изобретение № 2483415 зарегистрировано 11.03.2013 г.
4. Патент 2370869 Российская Федерация, токосъёмное устройство Попов Б.К., Карандей В.Ю. зарегистрировано 30.08.2008г
5. Шмитц Н., Новотный Д. Введение в электромеханику / – М.:, 1969 г. – 336 с.
6. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты переменного тока / – М.:, 1968. – 200 с.
7. 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.
8. 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 электро-привода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Попова О.Б. Учёт неоднородности среды при расчёте магнитного поля. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №01(095). – IDA [article ID]: 0951401052. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/52.pdf>.
13. Попова О.Б. Решение полевых задач электротехники с помощью вторичных источников поля и рядов Фурье. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/40.pdf>.
14. Попова О.Б. Анализ связей в реальной и технической системах процесса оптимизации. Международный журнал экспериментального образования. – 2013, - №10, с. 405 – 408; URL: [www.rae.ru/meo/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=4259](http://www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4259) (дата обращения: 22.10.2013)

15. 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.

16. 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.

17. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потока распределения / Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г.

#### References

1. Karandey V.Ju. Upravljaemyj kaskadnyj jelektricheskiy privod / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2402857 zaregistrirvano 27.10.2010 g.
2. Karandey V.Ju. Upravljaemyj kaskadnyj jelektricheskiy privod s zhidko-stnym tokos#emom / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2461947 zaregistrirvano 20.09.2012 g.
3. Karandey V.Ju. Aksial'nyj kaskadnyj jelektricheskiy privod s zhidko-stnym tokos#emom / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova // Patent na izobrenenie № 2483415 zaregistrirvano 11.03.2013 g.
4. Patent 2370869 Rossijskaja Federacija, tokos#emnoe ustrojstvo Popov B.K., Karandey V.Ju. zaregistrirvano 30.08.2008g
5. Shmitc N., Novotnyj D. Vvedenie v jelectromehaniku / □ M.: 1969 g. □ 336 s.
6. Gordon A.V., Slivinskaja A.G. Jelectromagnity peremennogo toka / □ M.: 1968. □ 200 s.
7. 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.
8. Karandey V.Ju. Matematicheskoe modelirovanie kas-kadnyh asinhron-nyh jelektroprivodov: v 3 t.: monografija. FGBOU VPO «KubGTU». – Krasnodar: Iz-datel'skij Dom – Jug. T. 1: Matematicheskoe modelirovanie magnitnyh sistem jelek-troprivoda. – 2014. – 142 s., ISBN 978-5-91718-345-9 (T. 1), ISBN 978-5-91718-344-2
9. Karandey V.Ju. Koncepcija rascheta magnitnoj sistemy asinhron-nogo dvigatelja special'nogo jelektroprivoda / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Pishhevaja tehnologija. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. – 2008. – № 1. – S. 101-103.
10. Karandey V.Ju. Opredelenie tokov statora i rotora v kaskadnom jelek-tricheskom privode / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki. – 2008. – № 4. – S. 91-96.
11. Karandey V.Ju. Opredelenie jelectromagnitnoj jenergii i momenta v kas-kadnom jelektricheskom privode / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, A.V. Bazyk, Ju.Ju. Karandey // 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.

12. Popova O.B. Uchjot neodnorodnosti sredy pri raschjote magnitnogo polja. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvenno-go agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №01(095). – IDA [article ID]: 0951401052. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/52.pdf>.

13. Popova O.B. Reshenie polevyh zadach jelectrotehniki s pomoshh'ju vtorich-nyh istochnikov polja i rjadov Fur'e. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal Kub-GAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309040. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/40.pdf>.

14. Popova O.B. Analiz svjazej v real'noj i tehnicheckoj sistemah processa optimizacii. Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija. – 2013, - №10, s. 405 – 408; URL: [www.rae.ru/meo/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=4259](http://www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4259) (data obrashhenija: 22.10.2013)

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

16. Karandej V.Ju. Programma rascheta parametrov i samoanimacionnogo po-stroenija potokoraspredelenija komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda / Karandej V.Ju., Karandej Ju.Ju., Bazyk A.V. Svidetel'stvo ob oficial'noj registra-cii programmy dlja JeVM №2015615826 ot 25 maja 2015 g .

17. Karandej V.Ju. Programma zadaniya konstruktivnyh parametrov komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda, statornoj obmotki i vizual'nogo po-stroenija poluchennogo potokaspredelenija / Karandej V.Ju. Svidetel'stvo ob ofici-al'noj registra-cii programmy dlja JeVM №2015615827 ot 25 maja 2015 g.