УДК 621.313.33

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ КОМПОНЕНТА УПРАВЛЯЕМОГО КАСКАДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА БУРЕНИЯ

–––––––

CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC SYSTEM OF THE COMPONENT OF THE OPERATED CASCADE ELECTRIC DRIVE FOR SYSTEM OF THE TOP DRIVE OF DRILLING

Карандей Владимир Юрьевич
кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет

Афанасьев Виктор Леонидович
студент,
Кубанский государственный технологический университет

Бездетко Владислав Сергеевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет

Ляшенко Андрей Михайлович
студент,
Кубанский государственный технологический университет

Karandey Vladimir Yuryevich
Candidate of technical sciences,
Associate professor of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Afanasiev Viktor Leonidovich
Student,
Kuban state technological university

Bezdetko Vladislav Sergeyevich
Student,
Kuban state technological university

Lyashenko Andrey Mikhaylovich
Student,
Kuban state technological university

Аннотация. Создание новых типов нефтедобывающего оборудования является актуальной задачей для нефтяной промышленности. Необходима постоянная модернизация оборудования, например, систем верхнего привода бурения. Для создания нового оборудования требуется разработать новые методики расчета и предложить новые типы механизмов. Модернизировать системы верхнего привода бурения можно путем применения управляемых каскадных электрических приводов. Так как разработка новых устройств является очень трудоемким процессом, предлагается разбить его на отдельные этапы. В данной статье будет показан метод расчета электромагнитной системы управляемого каскадного электрического привода.

Ключевые слова: гибридная система, векторное управление, управляемый асинхронный каскадный электропривод, электромагнитный момент, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Annotation. The creation of new types of oil production equipment is an urgent task for the oil industry. It is necessary to constantly upgrade equipment, for example, top drive systems. To create new equipment, it is required to develop new calculation methods and propose new types of mechanisms. Upgrading of the upper drive systems of drilling can be done by using controlled cascaded electric drives. Since the development of new devices is a very time-consuming process, it is proposed to break it down into separate stages. This article will show a method for calculating the electromagnetic system of a controlled cascaded electric drive.

Keywords: hybrid system, vector control, controlled asynchronous cascade electric drive, electromagnetic moment, electromechanical transformation of energy, electromagnetic system.

Общие положения

Разработка новых устройств [1–5] является трудоемким процессом. Для облегчения процесса разработки необходимо разбить его на отдельные этапы.

Расчет магнитной системы управляемого каскадного электрического привода производится с применением закона Кирхгофа, закона Ома для магнитной цепи и принципа наложения. Схема замещения приведена на (рис 3.). В качестве примера взята двухслойная обмотка на 24 пазов. Такой подход подробно описан в работах [6–17].

При изменении положения ротора изменяется величины магнитных сопротивлений зубцовой зоны статора и ротора, а также воздушного зазора по следующей зависимости:

$$R_{зi}^{(k)} = \frac{2}{\mu_0} \cdot \frac{\delta}{n b_{зс} l_м}, \quad (1)$$

где $R_{зi}^{(k)}$ – общее магнитное сопротивление зубцовой зоны ротора, статора и воздушного зазора i-ой катушки при (k)-ом угле сдвига оси поля ротора относительно оси поля статора; n – коэффициент для каждого сопротивления.

Коэффициент n показывает изменение магнитного сопротивления.
На рисунке 1 показаны основные геометрические размеры участвующие в расчете.

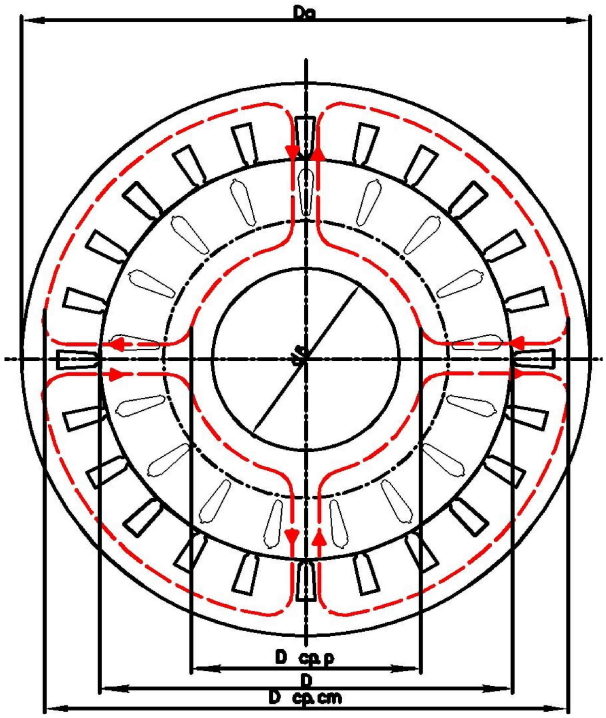

Рисунок 1 – Основные геометрические размеры асинхронного двигателя управляемого каскадного электрического привода:
D – внутренний диаметр статора; D_a – внешний диаметр статора; δ – воздушный зазор; $d_в$ – диаметр вала; d – диаметр ротора; $D_{ср.ст}$ – диаметр средней линии статора; $D_{ср.р}$ – диаметр средней линии ротора.

Расчет магнитных сопротивлений электрического двигателя

Предлагается следующая математическая модель магнитной системы. Разобьем магнитную систему на отдельные участки, такие как ярмо статора, зубцовая зона статора, воздушный зазор, зубцовая зона ротора, ярмо ротора. Каждый отдельный участок будет обладать собственным значением магнитного сопротивления и магнитной индукции, значение магнитной индукции можно скорректировать, например, методом последовательных приближений. Данное действие позволит повысить точность расчета и увеличить скорость расчета по сравнению с классической теорией. Для увеличения точности также разобьем мнимо участки со сложной геометрией (зубцовая зона статора на 2 отдельных участка, зубцовая зона ротора на 3 отдельных участка) (рис. 2).

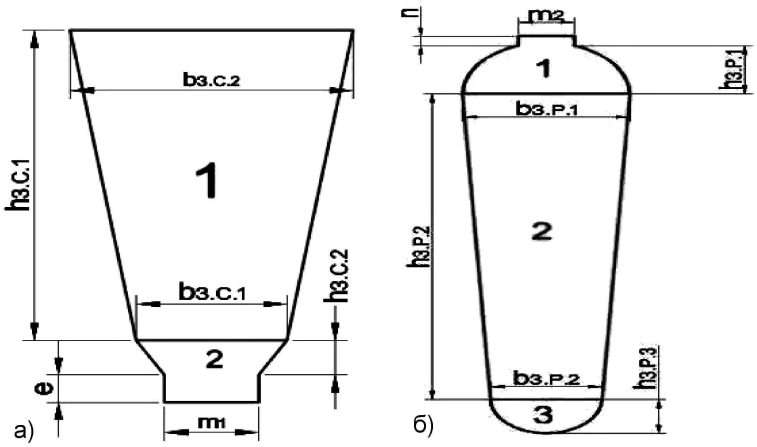

Рисунок 2 – Схема разбиения участков зубцовой зоны статора а) и ротора б)

Ниже приведены формулы для нахождения магнитного сопротивления для зубцовой зоны статора:

1) $$R_{\mu ЗС1} = \frac{h_{ЗС2}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗС} \cdot \frac{1}{2}\left(b_{ЗС1} + b_{ЗС2}\right) \cdot l_{ЗС1}}; \quad (3)$$

2) $$R_{\mu ЗС} = \frac{h_{зс1}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗС} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \left(b_{ЗС1} - m\right)^2 + m \cdot \left(h_{ЗС1} + n\right)}. \quad (4)$$

Для зубцовой зоны ротора:

1) $$R_{\mu ЗР1} = \frac{h_{ЗР1}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗР} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot b_{ЗР1}{}^2}; \quad (5)$$

2) $$R_{\mu ЗР2} = \frac{h_{ЗР2}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗР} \cdot \frac{1}{2}\left(b_{ЗР1} + b_{ЗР2}\right) \cdot l_{ЗР2}}; \quad (6)$$

3) $$R_{\mu ЗР3} = \frac{h_{ЗР3}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЗР} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot b_{ЗР3}{}^2}. \quad (7)$$

Магнитные сопротивления ярма ротора:

Площадь ярма ротора 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.

$$R_{\mu ЯР} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{D_{ср.р}}{2p \cdot 2} + d - 2h_{ЗР} - D_{ср.р}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЯР} \cdot \left(d - 2h_{ЗР} + d_B\right) \cdot l_P}, \quad (8)$$

где $\mu_{ЯР}$ – магнитная проницаемость ярма ротора.

Магнитное сопротивление воздушного зазора:

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

$$R_З = \frac{2}{\mu_0} \cdot \frac{\delta}{5 b_{ЗС} l_M}, \quad (9)$$

где δ – величина воздушного зазора; μ_c – магнитная проницаемость ярма статора.

Магнитное сопротивление ярма статора:

$$R_{\mu ЯС} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{D_{ср.р}}{2} + D_a - 2h_{ЗС} - D_{ср.р}}{\mu_0 \cdot \mu_{ЯС} \cdot \left(D_{ср.ст} - 2h_{ЗС} - D\right) \cdot l_\delta}, \quad (10)$$

где $\mu_{ЯС}$ – магнитное сопротивления ярма статора.

Магнитный поток приходящийся на один полюс равен:

$$0{,}25\Phi_{КГ} = \frac{I_w}{R_{ЯС} + R_{ЗС1} + R_{ЗС2} + R_\delta + R_{ЗР1} + R_{ЗР2} + R_{ЗР3} + R_{ЯР}}. \quad (11)$$

В данной статье приведен расчет магнитной системы компонента управляемого асинхронного электрического привода. Были получены расчетные формулы для нахождения магнитных сопротивлений: ярма статора; зубцовой зоны статора; воздушного зазора; зубцовой зоны ротора; ярма ротора. Получена формула для нахождения магнитного потока приходящегося на один полюс. Продолжается работа над расчетом управляемого каскадного асинхронного электрического привода [18–20].

Литература:

1. Пат. № 2402857. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. – Опубл. 27.10.2010 г.
2. Пат. № 2461947. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. – Опубл. 20.09.2012 г.
3. Пат. № 2483415. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова. – Опубл. 11.03.2013 г.
4. Пат. № 2370869. Карандей В.Ю. Токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов. – Опубл. 30.06.2008 г.
5. Пат. № 2601958. Сигнализирующее токосъемное устройство / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев. – Опубл. 18.10.2016 г.
6. 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). – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 10 (114). – IDA : 1141510014. – URL : http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/14.pdf , 1,188 у.п.л.
7. 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). – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 03 (097). – IDA : 0971401039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf , 0,625 у.п.л.
8. 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.
9. Карандей В.Ю. Определение токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Известия высших учебных завед-ний, Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 91–96.
10. 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.
11. Intelligence amplification in distance learning through the bina-ry tree of question-answer system / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov // Procedia-social and behavioral science. – Vol. : 214, 2015. – P. 711–719.
12. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, M.A. Evseeva // Procedia-social and behavioral science. – Vol. : 214, 2015. – P. 897–905.
13. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva, M.A. Evseeva // Mediterranean journal of social sciences. – 2015. – Vol. 6. – No 6 S 5. – P. 212–217.
14. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // British journal of applied science & technology. – 2016. – Vol. 17. – No 2. –P. 9–19.
15. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ю.Ю. Карандей, Ф.С. Абанин, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 6 (120). – IDA : 1201606041. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf
16. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ю.Ю. Карандей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 6 (120). – IDA : 1201606040. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf
17. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ю.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 6 (120). – IDA : 1201606039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf
18. Свидетельство № 2015615828. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, А.В. Базык, В.Л. Афанасьев – Опуб. 25 мая 2015 г.
19. Свидетельство № 2015615826. Программа расчета параметров и самоанимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, А.В. Базык – Опубл. 25 мая 2015 г.
20. Свидетельство № 2015615827. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потокаспределения. – Опубл. 25 мая 2015 г.

References:

1. Patent № 2402857. Managed cascaded electric drive / V.Yu. Karandey, B.K. Popov. – Publ. october 27, 2010.
2. Patent № 2461947. Controllable cascade electric drive with a liquid current collector / V.Yu. Karandey, B.K. Popov. – Publ. september 20, 2012.
3. Patent № 2483415. Axial cascade electric drive with a liquid current collector / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova. – Publ. march 11, 2013.

4. Patent № 2370869. Current collector device / V.Yu. Karandey, B.K. Popov. – Publ. 30.06.2008.
5. Patent № 2601958. Signaling current collector device / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, Yu.Yu. Karandey, V.L. Afanasyev. – Publ. october 18, 2016.
6. Popov BK, Karandey Yu.Yu., Karandey V.Yu., Afanasiev V.L, Abanin F.S. Approach to the determination of the magnetic parameters of the component of the controlled cascaded asynchronous electric drive // Poly-thematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific journal KubSAU). – Krasnodar : KubGAU, 2015. – № 10 (114). – IDA : 1141510014. – URL : http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/14.pdf, 1,188 u.p.l.
7. Determination of electromagnetic energy and mo ment in a cascade electric drive / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, A.V. Bazyk, Yu.Yu. Karandey // Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubSAU). – Krasnodar : KubGAU, 2014. – № 03 (097). – IDA : 0971401039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/39.pdf, 0,625 u.p.l.
8. Karandey V.Y. The concept of calculating the magnetic system of the asynchronous motor of a special electric drive / V.Yu. Karandey, B.K. Popov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Food technology. Scientific and technical journal. – 2008. – No. 1. – P. 101–103.
9. Karandey V.Y. Determination of stator and rotor currents in a cascade electric drive / V.Yu. Karandey, B.K. Popov // News of Higher Educational Institutions, North-Caucasian Region. Technical science. – 2008. – No. 4. – P. 91–96.
10. Karandey V.Y. Mathematical modeling of cascaded asynchronous electric drives in 3 t : monograph. FGBOU HPE «KubGTU». – Krasnodar : Publishing House – South. T. 1 : Mathematical modeling of magnetic systems of the electric drive. – 2014. – 142 p.
11. Intelligence amplification in distance learning through the bina-ry tree of the question-answer system / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov // Procedia-social and behavioral science. – Vol. : 214, 2015, P. 711–719.
12. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, M.A. Evseeva // Procedural-social and behavioral science. – Vol. : 214,2015, P. 897–905.
13. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva, M.A. Evseeva // Mediterranean journal of social sciences. – 2015. – Vol. 6. – No 6 S 5. – P. 212–217.
14. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // British journal of applied science & technology. – 2016. Vol. 17. – No 2. – P. 9–19.
15. Development of the algorithm for calculating the electromagnetic parameters of the stator of a component of a controlled asynchronous cascade electric drive / V.Yu. Karandey, V.L. Afanasyev, Yu.Yu. Karandey, F.S. Abanin, V.N. Kishko, V.V. Kvochkin // The Political Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubSAU). – Krasnodar : KubGAU, 2016. – № 6 (120). – IDA : 1201606041. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf
16. Approach to the determination of the magnetic parameters of a controlled asynchronous cascade electric drive with a specified geometry / V.Yu. Karandey, V.L. Afanasyev, Yu.Yu. Karandey // The Political Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University (KubSAU Scientific Journal). – Krasnodar : KubGAU, 2016. – № 6 (120). – IDA : 1201606040. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf
17. Development of the approach to the calculation of the magnetic flux of a single coil group of the stator winding of a component of a controlled asynchronous cascade electric drive / V.Yu. Karandey, V.L. Afanasyev, Yu.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.V. Kvochkin // Polytechnical Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University (KubSAU Scientific Journal). – Krasnodar : KubGAU, 2016. – № 6 (120). – IDA : 1201606039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf
18. Certificate No. 2015615828. Program for calculating the parameters and the animation construction of the flow distribution of the component of an asynchronous cascade electric drive / V.Yu. Karandey, A.V. Bazyk, V.L. Afanasyev – Publ. may 25, 2015.
19. Certificate No. 20115615826. Program for calculating parameters and self-animation construction of the flow distribution of the component of an asynchronous cascade electric drive / V.Yu. Karandey, Yu.Yu. Karandey, A.V. Bazyk. – Publ. may 25, 2015.
20. Certificate No. 20115615827. Karandey V.Yu. The program for specifying the design parameters of the component of an asynchronous cascade electric drive, a stator winding, and visual construction of the obtained flow distribution. – Publ. may 25, 2015.