

УДК 621.313.84

doi: 10.53015/18159958_2021_17_2_3

ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

RESEARCH AND MATHEMATICAL MODELING OF EXECUTIVE ELECTRIC MOTORS OF SPECIAL AUTOMATION SYSTEMS

© 2021

Агапов Александр Александрович^{1,2}, аспирант**Крылов Юрий Михайлович^{1,3}**, магистрант**Литвиненко Александр Михайлович^{1,4}**, доктор технических наук, профессор**Agapov Alexander Alexandrovich^{1,2}**, PhD student**Krylov Yuri Mikhailovich^{1,3}**, Master's student**Litvinenko Alexander Mikhailovich^{1,4}**, Doctor of Technical Sciences, Professor¹*Воронежский государственный технический университет, Воронеж (Россия)*¹*Voronezh State Technical University, Voronezh (Russia)***E-mail: alex0894080418@yandex.ru**²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6881-4129>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5138-0419>⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7878-9388>

Аннотация: Рассматриваются различные типы магнитных систем на основе ромбовидной и стреловидной обмоток. Габариты электрической машины в значительной степени зависят от параметров обмотки и технологии её формирования, что требует обеспечения всестороннего анализа еще на начальном этапе проектирования. С точки зрения общей концепции минимизации массогабаритных показателей можно отметить ряд технических решений, позволяющих снизить аксиальные размеры электродвигателя, обмотка которого построена по технологии беспазовых многосекционных катушек. Наиболее яркими примерами таких решений являются рассматриваемые обмотки, однако данный технический облик магнитной системы исключает возможность разделения обмотки на активную и лобовые части ввиду того, что все указанные части формируют МДС. С целью определения эффективности обмоток проводится анализ методом конечных элементов на основе пространственных трехмерных моделей. Для обеспечения единства измерений принята общая для всех рассматриваемых моделей базовая конструкция электродвигателя на основе индуктора с постоянным магнитом при конструктивной вариативности обмоток. Оценка качества преобразования энергии проводилась с точки зрения моделирования системы в генераторном режиме по критерию действующего значения ЭДС, а также полученной кривой – в части пульсаций. Представленные технические решения нашли применение при создании исполнительных механизмов различного рода манипуляционных многокоординатных систем обеспечения движения.

Ключевые слова: бесконтактный электродвигатель, обмотка, стреловидная, ромбовидная, привод манипулятора, магнитная система.

Для цитирования: Агапов, А.А. Исследование и математическое моделирование исполнительных электродвигателей специальных систем автоматизации / А.А. Агапов, Ю.М. Крылов, А.М. Литвиненко // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2021. – Т. 17, № 2 (64). – С. 3–12. DOI: 10.53015/18159958_2021_17_2_3.

Abstract: Various types of magnetic systems based on rhomboid and arrow-shaped windings are considered. The dimensions of an electric machine largely depend on the parameters of the winding and the technology of its formation, which requires a comprehensive analysis at the initial design stage. From the point of view of the general concept of minimization of weight and size indicators, a number of technical solutions can be noted that make it possible to reduce the axial dimensions of an electric motor, the winding of which is built using the technology of slotless multi-section coils. The most striking examples of such solutions are the considered windings, however, this technical design of the magnetic system excludes the possibility of dividing the winding into active and frontal parts due to the fact that all these parts are involved in the formation of the MDS. In order to determine the efficiency of the windings, a finite element analysis is carried out on the basis of spatial three-dimensional models. To ensure the uniformity of measurements, the basic design of an electric motor based on a permanent magnet inductor with a constructive variability of the windings was adopted for all the models under consideration. The evaluation of the quality of energy conversion was carried out from the point of view of modeling the system in the generator mode according to the criterion of the effective value of the EMF, as well as the obtained curve – in terms of pulsations. The presented technical solutions have found application in the creation of actuating mechanisms for various manipulation multi-axis systems for ensuring movement.

Keywords: brushless electric motor, winding, arrow-shaped, diamond-shaped manipulator drive, magnetic system.

For citation: Agapov, A.A. Research and mathematical modeling of executive electric motors of special automation systems / A.A. Agapov, Y.M. Krylov, A.M. Litvinenko // Conduct of higher educational institutions of the Chernozem region. – 2021. – Vol. 17, № 2 (64). – P. 3–12. DOI: 10.53015/18159958_2021_17_2_3.

ВВЕДЕНИЕ

Бесконтактные электродвигатели постоянного тока (БДПТ) являются наиболее распространенными электромеханическими преобразователями в самых разнообразных областях техники. Высокая надежность и широкий диапазон регулирования частоты вращения позволяют использовать данные машины не только в высокоответственных приборах, но и в оборудовании массового потребления [1].

Однако в области электромашиностроения, помимо таких основополагающих характеристик, как КПД, момент и частота вращения, немаловажную роль играет массогабаритный показатель.

Ввиду этого довольно часто инженерам, разрабатывающим новые машины, приходится либо улучшать электромеханические характеристики, в строго ограниченном по габаритному показателю диапазоне, либо, уменьшая габариты, сохранять электромеханические показатели на прежнем уровне.

Создание электрической машины – по сути многокритериальная задача, зачастую не имеющая идеального решения. В связи с этим инженерам приходится выбирать

наиболее важные для того или иного изделия характеристики.

На сегодняшний день отсутствием ненадежного щеточного-коллекторного контакта в электрической машине (ЭМ) уже невозможно никого удивить, в результате для повышения удельных показателей и оптимизации массогабаритных параметров ЭМ требуются качественно новые нестандартные решения. Стоит отметить, что в рамках общей тенденции к минимизации исполнительных механизмов довольно распространенным стало применение нетрадиционных типов обмоток и конструкций магнитных систем в целом. Исключением не стали и приводы систем направленного перемещения [2, 3]. Довольно ярко это наблюдается в манипуляционных приводах специального назначения, применяемых в условиях агрессивных сред.

ТЕОРИЯ ВОПРОСА

Одним из первых шагов к использованию сложных нетрадиционных магнитных систем стал скос пазов. Такое конструктивное решение в свое время позволило значительно снизить пульсации тока, а вследствие этого и пульсации электромагнитного момента.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

А.А. Агапов, Ю.М. Крылов, А.М. Литвиненко Исследование и математическое моделирование исполнительных электродвигателей специальных систем автоматизации	3
Л.А. Плащанский, С.Н. Решетняк, М.Ю. Решетняк Исследование резонансных явлений в подземных электрических сетях высокопроизводительных угольных шахт	13
Н.А. Серебряков Выбор оптимальной архитектуры и конфигурации нейросети в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления гарантирующего поставщика электроэнергии	26
И.П. Попов Факторы снижения реактивной мощности в сети	43
Т.А. Мусасев, М.Н. Хабибуллин, С.Р. Шагеев, Р.Н. Камалиев Разработка подходов к выбору оптимальной мощности силовых трансформаторов 6 (10) кВ при их ротации в целях снижения потерь электрической энергии	49
А.Н. Кустов, В.И. Зацепина, В. Бялы Анализ высшей гармонической составляющей и моделирование трансформатора с кривой намагничивания в сетях с изолированной нейтралью при однофазном коротком замыкании	60
А.С. Луковенко, И.В. Зеньков Установка устройств FACTS и анализ прибыли с использованием множителей Лагранжа.....	70

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИКА

С.Л. Блюмин Оптимизация: прямое вычисление оптимумов	85
А.Н. Проничев, А.Д. Палладина, Ю.В. Зорин, С.Д. Шibaкова Метод распознавания лейкоцитов на изображениях препаратов костного мозга в условиях множественного соприкосновения клеток.....	96

CONTENTS

ELECTRIC POWER INDUSTRY

- A.A. Agapov, Yu.M. Krylov, A.M. Litvinenko** Research and mathematical modeling of executive electric motors of special automation systems.....3
- L.A. Plaschansky, S.N. Reshetnyak, M.Yu. Reshetnyak** Investigation of resonant phenomena in underground electrical networks of high-performance coal mines.....13
- N.A. Serebryakov** The selection of the optimal architecture and configuration of the neural network for a short-term load forecasting of default provider26
- I.P. Popov** Factors of reducing reactive power in the network43
- T.A. Musayev M.N. Khabibullin, S.R. Shageev, R.N. Kamaliev** Development of approaches to choosing the optimal power of 6 (10) kV power transformers during their rotation in order to reduce electrical energy losses.....49
- A.N. Kustov, V.I. Zatsepina, W. Byaly** Analysis of the highest harmonic component and simulation of a transformer with a magnetization curve in networks with an isolated neutral with a single-phase short circuit.....60
- A.S. Lukovenko, I.V. Zenkov** Installation of FACTS devices and profit analysis using Lagrange multipliers.....70

AUTOMATION AND INFORMATICS

- S.L. Blyumin** Optimization: direct optimums computation.....85
- A.N. Pronichev, A.D. Palladina, Yu.V. Zorin, S.D. Shibakova** Method of recognition of leukocytes on images of bone marrow preparations in conditions of multiple cell contact.....96

Chief Editor

Shpiganovich Alexander Nikolaevich – D.Sc. (Tech.), Prof.

Deputy Chief Editor

Zatsepina Violetta Iosifovna – D.Sc. (Tech.), Prof.

Executive Secretary

Shachnev Oleg Yaroslavovich – Cand.Sc. (Tech.), Associate Prof.

Members of the Editorial Council:

Saraev Pavel Viktorovich, D.Sc. (Tech.), Associate Prof. (Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk)

Pogodaev Anatoly Kiryanovich, D.Sc. (Tech.), Prof. (Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk)

Byaly Vitold, D.Sc. (Tech.), Prof. (Silesian Technical University, Poland, Gliwice)

Voltchev Stanimir, D.Sc. (Tech.), Prof. (University of Lisbon, Portugal, Lisbon)

Ruomei Li, D.Sc. (Tech.), Prof. (Chinese Society of Electrical Engineering, China)

Krasnyansky Mikhail Nikolaevich, D.Sc. (Tech.), Prof. (Tambov State Technical University, Russia, Tambov)

Lucas Vilmar Adolfovich, D.Sc. (Tech.), Prof. (Berlin Technical University, Germany, Berlin)

Naizabekov Abdrakhman Batyrbekovich, D.Sc. (Tech.), Prof. (Rudny Industrial Institute, Kazakhstan, Rudny)

Sukhinin Boris Vladimirovich, D.Sc. (Tech.), Prof. (Tula State University, Russia, Tula)

Timoshin Sergey Ivanovich, D.Sc. (Phys.-Mat.), Prof. (Gomel State Technical University, Belarus, Gomel)

Troyanovska Malgorzata, D.Sc. (Tech.), Prof. (Agrarian University, Poland, Krakow)

Morkun Vladimir Stanislavovich, D.Sc. (Tech.), Prof. (Krivoy Rog national university, Ukraine, Krivoy Rog)

Reza Derakhshani, D.Sc. (Philos.), (University of Utrecht, Netherlands, Utrecht)

Editorial board of the issue:

Electric power industry

Meshcheryakov V.N., D.Sc. (Tech.), Prof. (Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk)

Gracheva E.I., D.Sc. (Tech.), Prof. (Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan)

Kachanov A.N., D.Sc. (Tech.), Prof. (Orel State University, Russia, Orel)

Shevyrev Yu.V., D.Sc. (Tech.), Prof. (National Research Technological University MISiS, Russia, Moscow)

Automation and informatics

Blyumin S.L., D.Sc. (Phys.-Mat.), Prof. (Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk)

Kachanovsky Yu.P., Cand.Sc. (Tech.), Associate Prof. (Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk)

Fedorov O.V., D.Sc. (Tech.), Prof. (Nizhny Novgorod State Technical University, Russia, Nizhny Novgorod)