

УДК 537.62,621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МИНИАТЮРНЫХ И СВЕРХМИНИАТЮРНЫХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭНЕРГИИ

© 2020 г. В. Б. Никаноров¹, С. Ю. Останин²*, В. А. Телегин², Н. С. Зубарев²,
И. М. Миляев³, Цуй Шумэй⁴, Вэй Го⁴

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Московский политехнический университет”, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Институт металлургии и материаловедения
имени А.А. Байкова”, Москва, Россия

⁴Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай

*E-mail: OstaninSY@mpei.ru

Поступила в редакцию 02.12.2019 г.

После доработки 23.12.2019 г.

Принята к публикации 27.01.2020 г.

Разрабатываются вопросы создания научной базы и обеспечения перспективных разработок для совершенствования гистерезисного электромеханического преобразования энергии и управления им в миниатюрных и сверхминиатюрных электромеханических преобразователях и электроприводах, а также для миниатюрных и сверхминиатюрных гистерезисных электродвигателей и электроприводов.

DOI: 10.31857/S0367676520050245

ВВЕДЕНИЕ

Гистерезисное электромеханическое преобразование энергии с помощью преобразователей, работающих как гистерезисные электродвигатели, традиционно применяется в гироскопии, системах автоматизации и управления, смежных с ними и других наукоёмких отраслях [1, 2], в которых используются электроприводы с миниатюрными электродвигателями. В настоящее время сфера использования миниатюрных электродвигателей расширяется и, в перспективе, эта тенденция будет только усиливаться. Кроме этого, все большую актуальность и распространение приобретают сверхминиатюрные электродвигатели для применений в медицине, прецизионных приборах и др.

Японское аэрокосмическое агентство, компания ShinMaywa Industries, университеты Ibaraki и Shizuoka разработали миниатюрный и высокопроизводительный электродвигатель массой 25 грамм [3, 4]. Его максимальная мощность достигает 50 Вт, а КПД 80% и выше при разных частотах вращения и широком диапазоне изменения мощности. Как отмечают разработчики, на частоте вращения 15000 об./мин КПД электродвигателя

достигает 85%, при этом выработка тепла очень незначительна.

Предполагается, что электроприводы с подобными миниатюрными электродвигателями найдут применение в космических исследованиях, проводимых Японией. В частности, на поверхности Луны, где нет атмосферы, и на поверхности Марса, где атмосфера сильно разрежена, существует проблема рассеивания тепла от работающего электродвигателя, поэтому высокопроизводительный электродвигатель, который незначительно нагревается при работе, будет очень востребован для подобных использований.

Сверхминиатюрные электродвигатели используются в медицине, в частности, в различных зонах. Размеры сверхминиатюрных электродвигателей могут быть как у стандартных медикаментозных средств в виде таблетки и меньшими. Сверхминиатюрные электродвигатели легко вводятся в организм в составе миниатюрного медицинского зонда, например, с целью анализа желудочного сока пациента. Электропривод со сверхминиатюрным электродвигателем обеспечивает продвижение зонда по желудку и даже по кишечнику. Сверхминиатюрный электродвигатель может перемещать камеру для об-

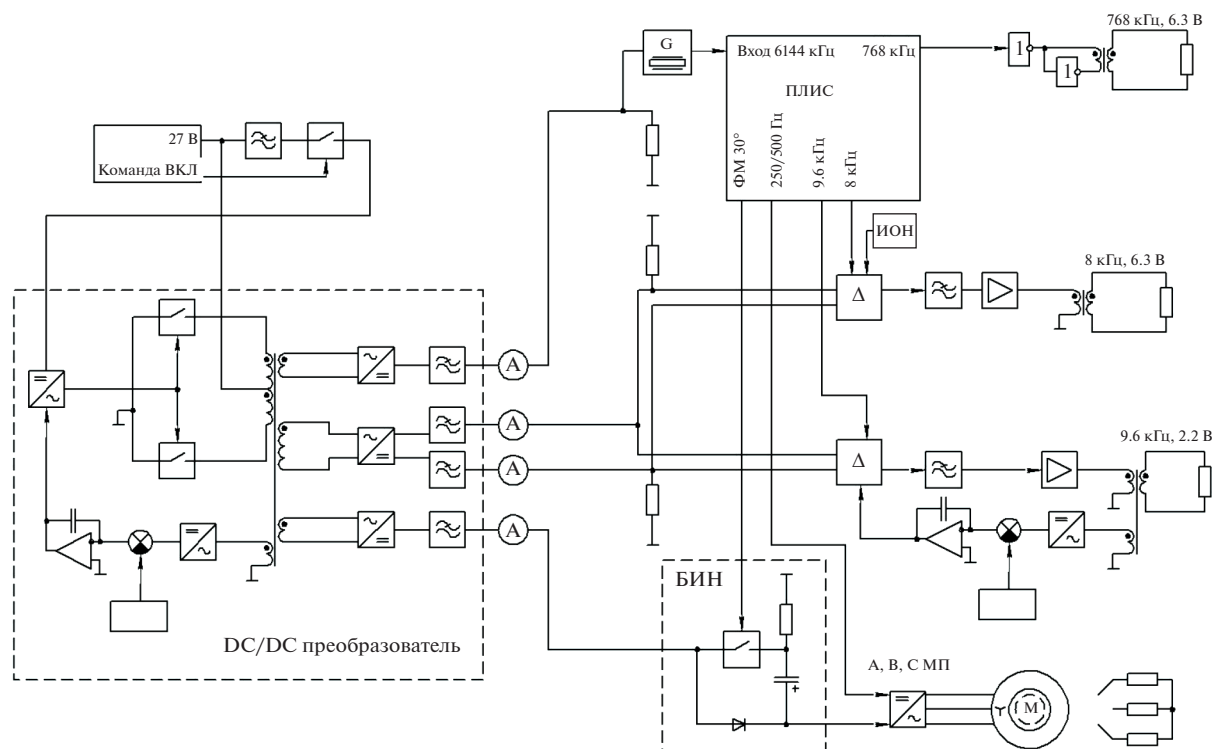


Рис. 1. Структурная схема вторичного источника электропитания всех систем гироблока: ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема, БИИМ – блок импульсного намагничивания ротора электродвигателя гиродвигателя, МП – мостовая транзисторная схема для электропитания электродвигателя.

следования стенок желудка и кишечника с помощью телеустановки.

Наличие значительного количества вспомогательных элементов существенно снижает надежность и энергетические показатели электроприводов со сверхминиатюрными электродвигателями, усложняет их конструктивное выполнение. Это особенно актуально в связи с тем, что прецизионные электроприводы со сверхминиатюрными электродвигателями для приборов, характеризующиеся малыми габаритами, уже используются с диаметрами корпуса 3 мм. Происходит ужесточение требований к качеству изготовления, сроку службы, безотказности и энергопотреблению [3].

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цель работы состояла в создании научной базы для совершенствования гистерезисного электро-механического преобразования энергии и управления им, а также для обеспечения перспективных разработок миниатюрных и сверхминиатюрных гистерезисных электродвигателей и электроприводов.

В качестве базового варианта для исследования был выбран управляемый гистерезисный электро-

привод прецизионной мехатронной системы – гироскопической системы для использования на космическом спутнике, в частности, при измерениях вектора угловой скорости для ориентации спутника.

Рассматривалась реализация предложений по совершенствованию математических моделей [5–7] и методик расчета применительно к исследованию и проектированию миниатюрных и сверхминиатюрных гистерезисных электродвигателей и электроприводов. Исследовался учет влияния полей рассеяния от других элементов системы на характеристики приводного гистерезисного электродвигателя. Анализировались и побочные влияния магнитных полей рассеяния на элементы прецизионной системы.

Структурная схема гистерезисного электропривода, в частности, используемого на борту космического спутника, очень проста и не содержит обратных связей, что особо важно для миниатюрных и сверхминиатюрных электроприводов (рис. 1). Элементы схемы: сеть; вторичный источник электропитания (ВИП); блок импульсного намагничивания (БИИМ); гистерезисный электродвигатель; технологический механизм, например, маховик.

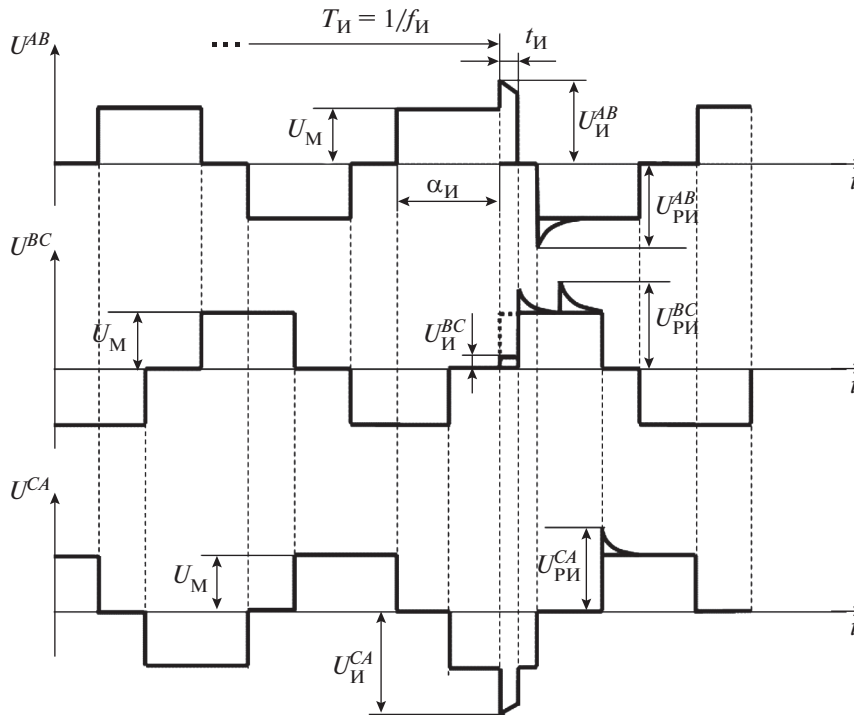


Рис. 2. Форма междуфазных электрических напряжений при выработке трехфазного напряжения в форме квазисинуса с импульсами для намагничивания ротора электродвигателя гидродвигателя.

Анализировались процессы работы и управления гистерезисного электродвигателя для электропривода гироскопа с поплачковым подвесом ротора, устанавливаемого, в частности, в гироскопические измерители вектора угловой скорости для ориентации спутника в пространстве. Исследовались вопросы разработки и исследования нового ряда гидродвигателей – гистерезисных электродвигателей с меньшими габаритами, с повышенной частотой вращения, с использованием в перспективе для производства деталей новых материалов.

В гироскопической системе на космическом спутнике бортовая сеть поставляет электрическую энергию постоянного тока напряжением 27 В, получаемую от солнечной батареи спутника на вторичный источник электропитания. Этот источник служит для электропитания всех систем гироскопа, включая гидродвигатель, датчики углов и др. С вторичным источником объединяется блок импульсного намагничивания (БИН) (рис. 1).

Этот блок вырабатывает импульсы тока (напряжения), которые подаются по электрической цепи статора приводного гистерезисного электродвигателя и обеспечивают управление электродвигателем путем подмагничивания и намагничивания его ротора. Форма междуфазных электрических напряжений представлена на рис. 2. Гироскопический электродвигатель это гистерезисный электро-механический преобразователь энергии нор-

мального исполнения (рис. 3), ротор которого вращается на двух сферических газодинамических опорах. Гироскоп с гистерезисным гидродвигателем конструктивно в целом на порядок сложнее и тем не менее он компактно размещается в малых габаритах.

Таким образом, разработки и исследования гистерезисного электро-механического преобразования энергии в гироскопическом электродви-

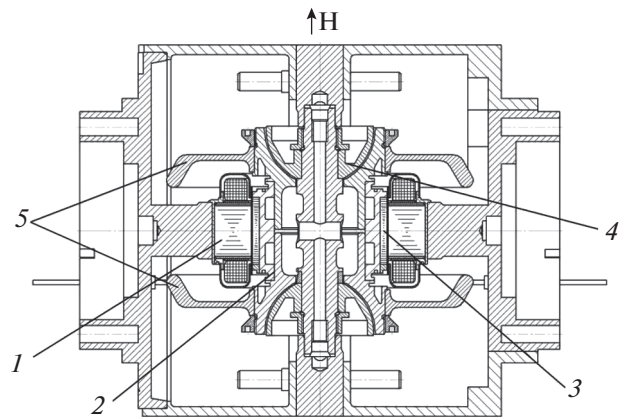


Рис. 3. Схема конструкционного исполнения гидродвигателя с гистерезисным электродвигателем: 1 – статор, 2 – ротор, 3 – активная часть или гистерезисный слой ротора, 4 – сферические газодинамические опоры, 5 – маховики.

гателе, являющемся ключевым элементом базового ряда электродвигателей, предназначенных для применения в составе класса поплавковых гироскопов, показывают эффективность применения полученных результатов для миниатюрных электродвигателей и электроприводов.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также интенсивным межотраслевым переносом электро-механических гироскопических технологий, происходящим в рамках создания продукции двойного назначения. В соответствии с этим переносом технологий гистерезисные электроприводы эффективны для применения в новых сферах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время сфера использования миниатюрных электродвигателей расширяется и, в перспективе, эта тенденция будет только усиливаться. Кроме этого, все большую актуальность и распространение приобретают сверхминиатюрные электродвигатели для различных применений в медицине, биофизических и биохимических технологиях. Электроприводы с подобными миниатюрными электродвигателями также актуальны для увеличения продолжительности работы беспилотных летательных аппаратов, в робототехнике, в точных измерительных приборах, для которых недопустимо колебание температур в процессе их длительной работы. Проявляется тенденция к изготовлению все большего количества деталей, компонентов и элементов миниатюрных электроприводов и электродвигателей на 3D-принтерах, стремление к 100%-процентному изготовлению на 3D-принтерах.

Существенным недостатком используемых сверхминиатюрных электродвигателей: коллекторных, бесколлекторных постоянного тока, шаговых — является наличие ряда вспомогательных элементов в составе электропривода: мотор-редукторов, в частности, цилиндрических, планетарных, волновых, оптических и магнитных датчиков абсолютного и относительного отсчета, электромагнитных тормозов, микроконтроллеров, блоков управляющей электроники. Наличие многих вспомогательных элементов резко снижает надежность и энергоэффективность электроприводов со сверхминиатюрными электродвигателями, усложняет их выполнение.

Гистерезисные электродвигатели имеют ряд преимуществ перед другими электродвигателя-

ми: конструкционную простоту, монолитность, механическую стабильность и прочность ротора. Его ротор может быть выполнен в виде одной детали с созданием методами термомагнитной обработки различных магнитных свойств в областях, соответствующих активной части, валу и переходной втулки между активной частью и валом. Ротор может быть объединен с технологическим механизмом в единое целое с устранением, таким образом, механических передач и уменьшением числа элементов в системе и связей между ними. Гистерезисный электропривод прост по структуре, не имеет обратных связей и компактно встраивается в сложные внешние системы, что показывают разработки гироскопических электродвигателей и гироскопов.

Методы и средства управления гистерезисным электродвигателем в составе электропривода просты в реализации и могут быть сведены к подаче управляющих импульсов непосредственно по цепям электропитания статора. Достоинства гистерезисных электродвигателей и электроприводов, подтвержденные опытом их применения в гироскопии, системах автоматизации и управления, позволяют успешно осуществлять их дальнейшую миниатюризацию с обеспечением высоких показателей, в первую очередь, надежности, энергоэффективности, минимального числа элементов в системе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ГФЕН Китая в рамках научного проекта № 19-58-53025 ГФЕН-а и № 18-58-53047 ГФЕН-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Делекторский Б.А., Тарасов В.Н. Управляемый гистерезисный электропривод. М.: Энергоатомиздат, 1983. 128 с.
2. Тарасов В.Н., Останин С.Ю. // Докл. IX Международ. выст. "НИ-ТЕСН" (Санкт-Петербург, 2004). С. 127.
3. Seegen A. Kleinstmotoren bewegen die "Welt". Antriebs & Schalttechnik, 2015.
4. Stolting H.-D. von, Hanser C. Handbuch elektrische Kleinantriebe. München: Verlag, 2011. 464 p.
5. Никаноров В.Б., Останин С.Ю., Шмелёва Г.А. // Электротехн. 2002. № 9. С. 5.
6. Останин С.Ю., Акиншин С.С. // Вестник МЭИ. 2002. № 4. С. 24.
7. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 636 с.