

УДК 621.373

А.В.ЛООС

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Приведены основные результаты исследований и показаны направления работы научных школ электротехнических кафедр факультета автоматики и электромеханики, связанные с разработкой эффективных электрических машин и машинно-вентильных систем.

В течение последних десятилетий на электротехнических кафедрах факультета автоматики и электромеханики Томского политехнического университета получили развитие и нашли широкое признание научно-технической общественности важные научные направления и школы. Их становление и развитие связано с именами профессоров Г.А.Сипайлова, Е.В.Кононенко, В.В.Ивашина, О.П.Муравлева, Р.Ф.Бекешева, К.А.Хорькова, А.В.Лооса, А.И.Чучалина, В.И.Луковникова, Б.В.Лукутина и многих других сотрудников факультета [1]. Ниже приводятся основные результаты и направления работы некоторых научных школ, связанные с разработкой и исследованием эффективных электрических машин и машинно-вентильных систем.

Электромашинные импульсные источники питания

Данное научное направление основано профессором Г.А.Сипайловым. Импульсные электромашинные генераторы занимают важное место в импульсной электротехнике [2,3]. Инерционные накопители способны записать до 10^{10} Вт·с кинетической энергии при плотности порядка 10^2 Вт·с/г. Преобразование накопленной энергии в электромагнитную осуществляется с помощью импульсных генераторов при длительности импульсов 10^{-3} – 10с. Конструкция и принцип действия генераторов обеспечивают возможность работы в автономных системах.

По результатам научных исследований в этой области получено более 80 изобретений и патентов, опубликованы 3 монографии, защищено 5 докторских диссертаций, результаты работ внедрены в промышленности.

Основные достижения в этой области:

- созданы научные основы электромашинного накопления, генерирования больших импульсных мощностей и коммутации импульсных потоков энергии;
- решены вопросы теории переходных процессов импульсных генераторов, расчета магнитных полей и параметров;
- впервые созданы ударные генераторы с форсировкой возбуждения за счет реакции якоря, обладающие значительно большей импульсной мощностью в сравнении с генераторами классического типа;
- предложено использование эффекта сжатия магнитного потока в воздушном зазоре для генерирования импульсов тока с программируемой формой;
- разработаны конструкции импульсных генераторов многодискового типа;
- расширены области применения импульсных генераторов электромашинного типа в сравнении с традиционными, в частности, осуществлено их использование в импульсных электротехнологических процессах сварки и наплавки [4], для создания высокоэффективного электрогидравлического удара в устройствах возбуждения сейсмических колебаний, питания электронных успокоителей, устройств нагрева плазмы;
- изготовлены и внедрены уникальные импульсные генераторы и опытные серии источников питания для ЦНИИ «Прометей» и ЦНИИ технологии судостроения, г. Санкт-Петербург, НПО «Астрофизика», г. Москва, НИИ ЭФА им. Д.В. Ефремова, г. Санкт-Петербург, Института физики прочности и материаловедения СО АН РФ, г. Томск, и многих других научных учреждений.

Коллекторные электрические машины малой мощности с оптимизированной активной зоной

Оптимизация активной зоны коллекторных машин обеспечивается применением демпферных обмоток на якоре и улучшенной конструкцией индуктора. Демпфированные обмотки якорей коллекторных машин имеют сниженные индуктивности секций, высокие магнитные связи между соседними секциями якоря и соответственно низкий коэффициент демпфирования, характеризующий выделение энергии коммутируемых секций в скользящем контакте, а также обеспечивают оптимальное взаимодействие активных проводников якоря с магнитным полем электрической машины, особенно при согласовании параметров индуктора с параметрами якоря.

Это позволяет повысить коммутационную устойчивость коллекторных электрических машин и эффективность процессов электромагнитного преобразования энергии в указанных машинах.

Применение демпфированных обмоток совместно с улучшениями на индукторе в современных коллекторных машинах традиционной конструкции обеспечивает:

- уменьшение энергии коммутационного искрения в 8 – 10 раз;
- увеличение ресурса элементов коллекторно-щеточного узла в 2 – 3 раза;
- снижение уровня промышленных радиопомех на 5 – 20 дБ в диапазоне частот 0,15 – 30 МГц;
- увеличение удельной мощности на 30 – 40%;
- снижение потребляемой мощности на 10 – 20% при неизменных выходных параметрах;
- экономию обмоточного провода в машине на 10 – 20%.

В настоящее время разработаны ряд конструкций демпфированных обмоток и индуктора для различных типов электрических машин и методики оптимизации их параметров. Предлагаемые технические решения прошли экспериментальную проверку на образцах коллекторных электрических машин Российского и зарубежного производства с полезными мощностями от 100 до 1500 Вт, с номинальными частотами вращения от 6000 до 18000 об/мин, с диаметрами якорей от 30 до 100 мм.

Одна из конструкций демпфированных обмоток защищена патентом РФ «якорь коллекторной машины» № 1489536 с приоритетом от 1 июля 1991 г.

Разработанные конструкции коллекторных электрических машин могут быть с высокой эффективностью применены:

- в коллекторных машинах переменного тока для бытовых электроприборов и электроинструмента, отличающихся повышенной коммутационной напряженностью;
- в серводвигателях для автономных подвижных объектов, отличающихся низкими массогабаритными показателями и экономичностью энергопотребления;
- в специальных коллекторных электрических машинах малой мощности.

Усовершенствованные синхронные реактивные двигатели (СРД)

СРД широко используются в регистрирующей аппаратуре, технике связи и телевидения, текстильной промышленности, системах управления и синхронной связи, как электромагнитные муфты и преобразователи частоты. Перспективно их использование в генераторном режиме в силовых импульсных системах. Созданы основы теории и разработаны конструкции гибридных СРД, представляющих сочетание СРД с синхронной машиной с возбужденным от постоянных магнитов. Установлено, что усовершенствованные и гибридные СРД по энергетическим показателям можно приблизить к асинхронным двигателям, сохранив все достоинства, присущие синхронным двигателям.

Машинно-вентильные источники питания

Развитие полупроводниковой техники привело к возможности создания бесконтактных и бесколлекторных машин постоянного и переменного тока, обладающих расширенными функциональными возможностями. Исследования в этом направлении охватывают разработку автономных машинно-вентильных генераторов специальных установок на основе системного подхода к источ-

нику как к электромеханическому преобразователю энергии, источников заряда емкостных накопителей, автономных вентильных генераторов постоянного тока с высоким качеством выходного напряжения, создание источников стабильной частоты при переменной скорости вала генератора. На базе теоретических исследований машинно-вентильных систем разработаны высоковольтные автономные импульсные источники для уничтожения сорной растительности для Брянского сельскохозяйственного института.

Совместно с Институтом гидродинамики СО АН РФ, ПО «Баррикада» (г. Волгоград) проведен комплекс работ по расширению областей применения машинно-вентильных автономных генераторов, в частности, решена проблема их параллельной работы, созданы системы быстрого действия регулирования возбуждения бесконтактных генераторов, разработаны источники стабильной частоты модуляционного типа.

В последнее время определилось два направления в создании машинно-вентильных систем: создание автономных источников гарантированного питания и разработка вентильных двигателей на базе магнитно-электрических машин.

Вибродвигатели для создания сейсмических волн

Вибрационные методы возбуждения сейсмических колебаний применяются для поисков месторождений нефти и газа и являются наиболее перспективными [1].

Эти работы имеют своей целью, во-первых, создание скважинных источников поперечных сейсмических волн для разведки нефти и газа в районах расположения болот, во-вторых, создание и исследование многополюсных синхронных вибродвигателей и их синхронизация при работе на одной платформе, в-третьих, создание бесконтактных синхронных вибродвигателей и синхронных двигателей с двумя обмотками возбуждения.

Основные результаты работы по созданию поверхностных виброисточников продольных сейсмических волн можно обобщить следующим образом:

- разработаны синхронные двигатели и методы исследования режимов работы этих двигателей в виброприводах с управлением взаимного углового положения дебалансных роторов;
- создан ряд оригинальных конструкций дебалансных вибровозбудителей с автоматической коррекцией силы при изменении частоты вращения;
- выявлены свойства и исследованы характеристики синхронных двигателей продольно-поперечного возбуждения в виброприводах.

Разработка методов и средств реализации заданного периодического движения вала исполнительных двигателей

Такие системы применяются в машино- и приборостроении, горной и химической промышленности, в современной технике измерения, контроля и управления. В частности, регулируемые механические колебания широко используются в технологических процессах при виброточении, виброфрезеровании, виброварке и виброшлифовке. Как правило, в технологических операциях регулирование параметров колебаний должно быть плавным, бесступенчатым, чем достигается требуемое количество обрабатываемых изделий. В ряде технологических операций необходимо обеспечение сдвига нейтралы колебаний или формирования траектории колебательного движения в виде круга, эллипса и т.д. Достаточно жесткие требования в промышленности предъявляются и к самому закону колебаний, а именно его форме, стабильности по амплитуде, частоте и фазе. Так, в испытательной технике требуются линейные и угловые колебания, охватывающие границы: $0,1 \div 10^{-2}$ Гц, $10^{-2} \div 10$ мм; $2 \div 800$ м/с² и $10^{-2} \div 10^2$ Гц, $2 \cdot 10^{-2} \div 2 \cdot 10^{-2}$ рад, $10^{-1} \div 10^4$ рад/с² соответственно при стабилизации их с предельной точностью до 1% по амплитуде, 0,1 по частоте и 2° по фазе.

Полигармонические колебательные движения самых различных форм широко используются в текстильной промышленности при вибротранспортировке, сканировании и т.д.

Проведен комплекс научно-исследовательских работ, включающих в себя разработку общей теории электродвигателей колебательного движения, работающих непосредственно в режиме периодического реверса за счет потенциальной фазовой модуляции напряжений питания. Как пока-

зали результаты практического внедрения как промышленных образцов, так и комплекса методик по расчету и синтезу их рабочих характеристик, включающих в себя оценку статической и динамической устойчивости, а также технические рекомендации по улучшению динамических и энергетических характеристик самих колебательных машин, данные системы характеризуются простотой, хорошей управляемостью и позволяют регулировать выходные параметры колебаний в широких пределах.

Так, в частности, разработанный по заказу Томского научно-исследовательского проектно-конструкторского и технологического кабельного института (ТомНИКИ) НПО «Сибкабель» колебательный электропривод «ОПТИУМ-01» на базе асинхронного электродвигателя позволил существенно повысить качество испытаний на сматывание-наматывание микрокабелей диаметром 1,05 – 4,5 мм. Благодаря техническим решениям, защищенным рядом авторских свидетельств, девиация частоты колебаний не превышает в нем 0,01%. В уникальной технологической установке «ОПТИУМ-02», используемой в составе гидродинамического испытательного комплекса ПО «Автозавод» г. Воронежа впервые применено программное формирование асимметричных колебаний. Используемая в ней машина двойного питания в режиме периодических колебаний позволила повысить энергетические характеристики колебательных комплексов почти в 2 раза при сохранении высокой управляемости. Внедрение разработанного комплекса в технический процесс позволило уменьшить в 1,5 ÷ 2 раза объем и трудоемкость конструкторско-технологической отработки трубопроводных магистральных гидросистем, сократив в 3 – 5 раза трудоемкость и продолжительность очистки гидросистем за счет оптимизации их технологических режимов, повысив эксплуатационную надежность и ресурс элементов системы.

Ряд колебательных электроприводов «ОПТИУМ-03» и «ОПТИУМ-03-1», выполненных по заказу НИСКБ «Спектр» ПО СМП г.Северодвинска Архангельской области, позволили создать принципиально новые образцы активных компенсаторов пульсирующих усилий валопроводов автономных объектов. В них, как и в «ОПТИУМ-2», в качестве исполнительного двигателя применена машина двойного питания, а основные технические решения защищены патентами РФ и авторскими свидетельствами. В отличие от ранее разрабатываемых систем, здесь впервые применены конструкция обращенных электрических машин с массой подвижной части свыше 200 кг.

С целью вибротранспортировки устройств снаряжения тепловыделяющих элементов АЭС, по заданию предприятия НИИ Химии г. Свердловска были разработаны два варианта вибропитателей «ОПТИУМ-04» и «ОПТИУМ-05». Формирование управляемых асимметричных колебаний с заданным числом гармоник линейного и соответственно углового движения позволило оптимизировать технологический процесс, сократив время снаряжения тенов в 2,4 раза. При решении технических задач на данном этапе были решены вопросы улучшения динамических характеристик электродвигателей колебательного движения, исследованы вопросы динамической и статической устойчивости электрических машин переменного тока при периодическом движении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сибирская электротехническая школа / Под ред. Г. А. Сипайлова. - Томск, 1996. - 209 с.
2. Сипайлов Г. А., Хорьков К. А. Генераторы ударной мощности. - М.: Энергия, 1979. - 118 с.
3. Сипайлов Г. А., Лоос А. В., Чучалин А. И. Электромашинное генерирование импульсных мощностей в автономных режимах. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 168 с.
4. Лоос А. В., Лукутин А. В., Сараев Ю. Н. Источники питания для импульсных электротехнологических процессов. - Томск: ИПФ ТПУ, 1998. - 158 с.