

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И РАКЕТ

*Канд. техн. наук В.Я.Авербух, д-р техн. наук Д.М.Вейнберг,
д-р техн. наук В.П.Верещагин, канд. техн. наук О.М.Мирошник,
канд. техн. наук Е.М.Михайлов, инж. В.Е.Ремизов,
канд. техн. наук С.А. Стома, акад. РАН Н.Н.Шереметьевский*

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

За 50 лет космической деятельности в НПП ВНИИЭМ создан целый ряд электромеханических приборов и систем, установленных на КА собственного изготовления и на целом ряде КА и ракет-носителей (РН), изготавливаемых на предприятиях космической отрасли промышленности России и стран СНГ [1-6].

Преобразователи машинные

Для питания аппаратуры систем управления ракет трехфазным током частотой 500 Гц в начале 50-х гг. были разработаны двухмашинные однокорпусные преобразователи постоянного тока в переменный мощностью 180 и 600 В·А с частотой вращения 7500 об/мин.

В 1962 г. был создан электромашинный преобразователь с кварцевым регулятором частоты, позволивший поднять точность стабилизации частоты с 0,2 до 0,05%.

В дальнейшем была разработана серия преобразователей ПТ-500, ПТ-1000, ПТ-1500, ПТ-3500 с частотой вращения 15-20 тыс. об/мин мощностью 0,5; 1,0; 1,5; 3,5 кВ·А и улучшенными массо-энергетическими характеристиками.

Преобразователи статические

В 1960 г. были разработаны первые отечественные статические полупроводниковые преобразователи мощностью 200 и 800 В·А для РН. В дальнейшем были разработаны статические преобразователи мощностью 100 и 500 В·А, а в 1966 г. статический преобразователь на 1000 В·А.

За период с 1958 по 1978 гг. было создано более 30 типов бортовых статических преобразователей серии ПТС, некоторые из которых находятся в эксплуатации в современных КА и РН.

В настоящее время ведутся работы по созданию аналогов преобразователей 8Л0138М и 15Л192К на современной кремниевой элементной базе.

Коммутационная аппаратура

В начале 50-х г. были разработаны промежуточные многоконтактные реле серии 8С на токи от 6 до 40А и серии 8В на токи от 10 до 50А для ракетной техники.

В 1958 г. были внедрены в серийное производство промежуточные малогабаритные реле 8М на токи от 6 до 40А, а в середине 60-х г. – миниатюрные реле 8Э122, 8Э123 и малогабаритные контакторы 8К-2 на ток 100А.

В дальнейшем были разработаны и внедрены в производство унифицированные общевойсковые серии малогабаритных реле РНЕ на токи 10-50А и контакторы КНЕ на токи 16-250А, заменившие 65 типов коммутационных электрических аппаратов. Эта аппаратура серийно выпускается до настоящего времени.

В 90-х г. были разработаны контакторы импульсного управления КНИ и унифицированные с ними контакторы серии КНЕУ и начато серийное производство 4-х типов этих контакторов.

В настоящее время в НПП ВНИИЭМ внедряется в серийное производство реле 8Э123М улучшенной конструкции, в котором используются современные контактные и магнитопроводные материалы.

Гистерезисные и синхронные электрические машины

В 1952 г. в НПП ВНИИЭМ был создан первый в СССР гистерезисный двигатель с частотой вращения 30000 об/мин, на базе которого был разработан синхронный гироскоп с высокой стабильностью скорости вращения. В последующие годы частота вращения гироскопа была доведена до 60000 об/мин.

Для приводов программных устройств систем управления баллистических ракет были спроектированы малогабаритные электродвигатели на частоту питания 1000 Гц.

На базе торцевых гистерезисных двигателей были разработаны тихоходные двигатели Т, ТС, ТРС на частоты питания 50 и 500 Гц, в которых были применены разработанные в НПП ВНИИЭМ магнитомягкие материалы с малыми потерями на гистерезис и вихревые токи.

Кроме того, был разработан ряд гистерезисных двигателей для лентопротяжных механизмов ДЛП-1,2,3 и высокоскоростных двигателей ДМГ-1,2,3, в том числе и на газовых опорах. Гистерезисные двигатели получили широкое применение в устройствах бортовой магнитной записи, в системах ориентации и телеметрии, а также в ряде научных приборов КА.

Одновременно с разработкой гистерезисных двигателей разрабатывались синхронные электродвигатели и тахогенераторы с постоянными магнитами. Малогабаритный синхронный привод МСП-1 использован в цветной телевизионной камере при совместном советско-американском полете «Союз-Аполлон».

Коллекторные микроэлектродвигатели постоянного тока

В период с 1956 по 1960 гг. в НПП ВНИИЭМ была разработана серия микроэлектродвигателей постоянного тока серии ДПМ. В серию вошли машины 4-х габаритов исполнения мощностью от 3 до 22 Вт на напряжение от 6 до 27 В с частотой вращения от 2000 до 9000 об/мин. В пределах каждого габарита было создано 30 - 40 различных исполнений. Эти двигатели нашли широкое применение в изделиях ракетно-космической, военной техники и в народном хозяйстве. Годовой объем выпуска достигал 250 тыс. штук. Некоторые двигатели используются и в настоящее время.

Бесконтактные электродвигатели постоянного тока

В начале 60-х г. были разработаны первые бесконтактные электродвигатели постоянного тока типа БП-203, БП-251 и БПС-202. В первом космическом скафандре в кислородном нагнетателе был установлен бесконтактный электродвигатель БПК-401.

За прошедшие 40 лет разработаны 4 поколения бесконтактных электродвигателей. Двигатели 4-го поколения серии БК-1 (20 модификаций), БК-2 (6 модификаций) и ДБ (5 модификаций) применяются в приводах вентиляторов и насосов систем жизнеобеспечения, в системах терморегулирования КА и скафандрах космонавтов. Только на орбитальной станции «Мир» установлено более 100 таких электродвигателей.

Для обеспечения большого гарантийного ресурса двигателей в составе КА с длительным сроком активного существования НПП ВНИИЭМ ведет разработку бесконтактных электродвигателей постоянного тока с гидростатическими опорами ротора для насосных агрегатов.

Техническое решение для бесконтактного гидроподвеса вращающегося ротора обеспечивает возможность реализации элект-

трической машины насосного исполнения с практически неограниченным ресурсом, определяемым лишь сроком сохраняемости электротехнических материалов и комплектующих элементов, способных обеспечить гарантийный ресурс двигателя в составе электронасосного агрегата более 100 тыс. ч.

Одноосные двигатели-маховики

Первые электромеханические системы ориентации на КА «Метеор» и «Ресурс» были построены с исполнительными органами на базе использования асинхронных двигателей с электронными преобразователями.

В дальнейшем была разработана серия двигателей-маховиков ДМ на основе управляемого бесконтактного двигателя постоянного тока.

Наиболее тяжелые элементы - постоянные магниты ротора, расположены на периферии обода маховика. Сам двигатель-маховик расположен в тонкостенном герметичном кожухе со специальным перепускным магнитным клапаном для сохранения внутреннего избыточного давления в пределах 20-70 мм рт.ст. Этим создаются комфортные условия для надежной работы подшипников в течение длительного срока службы двигателя-маховика, размещаемого вне гермоконтейнера КА, и одновременно минимизируются вентиляционные потери при вращении ротора.

В настоящее время разрабатывается перспективная серия двигателей-маховиков с диапазоном изменения кинетического момента от $\pm 0,3$ до $\pm 8,0$ Н·м·с.

Ведутся работы по дальнейшему интегрированию электромеханики и электроники, в том числе и с применением полузаказных интегральных схем, совершенствованию схемотехнических и конструктивных решений.

Шаровой двигатель-маховик (ШДМ)

ШДМ был использован в системе ориентации орбитальной станции «Салют». Он объединяет шесть независимых систем управления (три системы регулирования токов в обмотках дуговых статоров и три системы регулирования токов в обмотках электромагнитов).

Ротор-маховик, выполненный в виде полого шара, удерживается без механических опор внутри корпуса трехосного электродвигателя в подвешенном состоянии с помощью шести электромагнитов по сигналам шести индуктивных датчиков. Максимальный кинетический момент ШДМ - 200 Н·м·с. Один ШДМ заменяет систему трех одноосных двигателей-маховиков.

Отсутствие жесткой связи между ротором и статором ШДМ имеет особые преимущества при высокоточной ориентации и обеспечении условий микрогравитации на КА.

Кольцевой двигатель-маховик

Кольцевой двигатель маховик был разработан для быстрого разворота станции «Салют» вокруг продольной оси на большой угол. Ротор-маховик выполнен в виде кольца диаметром 2,7 м, которое вращалось с частотой 80 об/мин, опираясь на две приводные и одну тахометрическую станции. Максимальный кинетический момент кольцевого двигателя-маховика 1000 Н·м·с.

Гироскоп

При проектировании трехосной системы стабилизации орбитальной станции «Мир» пришли к заключению, что силовые гироскопы (гироскопы) более выгодны, чем двигатели-маховики.

Гироскоп функционально объединил три самостоятельных следящих системы: электропривод роторов, электропривод гироскопа и электромагнитный подвес ротора.

Электропривод ротора с частотным управлением трехфазным асинхронным двигателем по сигналу тахогенератора обеспечивает разгон и стабилизацию частоты вращения, а электропривод гироскопа - точное регулирование скорости прецессии при больших моментах нагрузки.

Электромагнитный подвес ротора с линейным управлением силами электромагнитов по сигналам индукционных датчиков положения ротора и сигналу скорости прецессии обеспечивает центрирование ротора.

Максимальный кинетический момент гироскопа 1000 Н·м·с.

Дальнейшая модернизация гироскопов, как показывает опыт многолетней эксплуатации, должна быть направлена на увеличение управляющих и кинетических моментов.

Автономные турбогенераторные источники электропитания ракетносителя

Первая в мировой практике система электропитания переменного тока с турбогенераторными источниками электроэнергии была создана для ракеты Н-1 в период 1965 - 1972 гг. совместно с заводом «Сатурн», разработавшим турбопривод.

Агрегаты работали в наземных условиях от воздуха с давлением 230-60 атм и температурой 223-323 К, а в полетных условиях от гелия с давлением 220-21,5 атм и температурой 130-535 К.

Напряжения, снимаемые непосредственно с генератора переменного тока частотой 1000 ± 6 Гц – $61,5 \pm 2,5$ В; $40,5 \pm 1$ В, а с генератора постоянного тока – $29,5 \pm 0,5$ В. Мощность генератора переменного тока 15 кВ·А с допустимой кратковременной перегрузкой до 25 кВ·А. Мощность постоянного тока 3 кВт с допустимой перегрузкой до 5 кВт.

Турбопривод обеспечивал частоту вращения 15000 об/мин.

Генератор состоит из 2-х спаренных электрических машин – торцевого синхронного генератора и генератора постоянного тока с внешнезамкнутым потоком.

В состав турбогенераторного агрегата входит система регулирования частоты, система регулирования напряжения и система отключения неисправного канала.

Опыт создания турбогенераторного источника питания был использован при разработке системы электропитания МКС «Буран».

Привода сканирующих устройств бортовой телевизионной аппаратуры

Первые электроприводы развертывающих устройств разработки НИИ ВНИИЭМ были выполнены на базе гистерезисных электродвигателей.

Для многоспектральных сканирующих устройств на базе бесконтактных электродвигателей постоянного тока были разработаны развертывающие привода ПМСУ-С и ПМСУ-И с высокой стабильностью мгновенной скорости вращения.

Для бортовых телевизионных комплексов высокого разрешения в НИИ ВНИИЭМ разработаны прецизионные двухкоординатные оптико-электромеханические развертывающие устройства типа БСКР с цифровым программным управлением и лазерным интерферометром в цепи обратной связи.

Приборы этого типа предоставляют пользователю широкие возможности управления положением макрообъектов с погрешностью не более 2 угл.с.

Проводимые работы по дальнейшему совершенствованию прецизионных электроприводов сканирующих устройств показали реальную перспективу повышения точности позиционирования и движения исполнительного органа, что открывает возможность построения бортовых радиометров с разрешающей способностью на местности до 1 м, способных проводить выбор и оперативно изменять ширину и положение полосы обзора как вдоль, так и поперек трассы полета КА.

Электромеханические системы ориентации солнечных батарей (СОСБ) КА

На всех КА разработки НПП ВНИИЭМ, НПО им. С.А. Лавочкина и на большинстве КА разработки РКК «Энергия» и ГКНПЦ им М.В. Хруничева установлены СОСБ, разработанные и изготовленные в НПП ВНИИЭМ.

Модификации разработанных СОСБ зависят от назначения и орбит КА. Они включают в себя автономные СОСБ и управляемые от бортового вычислителя, с компенсацией и без компенсации кинетического момента, с ограниченным углом поворота и с круговым вращением, однокоординатные и двухкоординатные. В качестве приводного двигателя использованы асинхронные, бесколлекторные постоянного тока и шаговые двигатели.

В настоящее время проводится разработка двухкоординатного привода СБ для научно-энергетической платформы международной космической станции (НЭП МКС) – самого большого из ранее разработанных приводов СОСБ и однокоординатного привода для малого спутника - универсальной космической платформы – самого маленького из всех ранее разработанных.

Привод локатора кругового обзора и радиометра

Для равномерного кругового вращения локатора кругового обзора, разработанного ОКБ МЭИ и установленного на станции «Мир», был разработан привод с моментным двигателем постоянного тока с частотой вращения 25 об/мин, обеспечивающий отклонение частоты вращения от заданной не более $1 \cdot 10^{-2}$.

Момент инерции нагрузки $0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, масса 5 кг.

В настоящее время проведена модификация указанного привода, позволившая использовать его для вращения параболического рефлектора антенны радиометрического устройства МТВЗА, момент инерции которой составляет $1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, а масса 40 кг.

Привода антенн КА

Для КА «Электро» разработаны двухкоординатные привода зеркал антенн, обеспечивающие угол прокачки относительно каждой из осей 16,5 угл. град, со скоростью поворота 1,2 град/мин. Поворот зеркал осуществляется дискретно с шагом 9,5 угл. мин.

Для КА «Ресурс» разработан двухкоординатный привод антенны, обеспечивающий угол прокачки относительно каждой из осей 130° с дискретным шагом $1^\circ 40'$ в каждой плоскости.

В настоящее время ведется разработка системы ориентации малонаправленной антенны (СОМНА) НЭП МКС, которая должна

обеспечить перемещение зеркала параболической антенны с моментом инерции $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на угол $\pm 90^\circ$ в каждой плоскости со скоростью 3 град/с.

Так как СОМНА размещена на корневом приводе СБ НЭП, то управление положением антенны осуществляется по сигналу расогласования, определяемому бортовыми вычислительными средствами по результатам отработки сигналов контроля за положением линии визирования спутника-ретранслятора, положением вала корневого привода СБ НЭП и положением валов привода СОМНА.

В настоящей статье только указаны основные разработки НПП ВНИИЭМ для нужд космической техники и ракетостроения. Фактический перечень работ гораздо шире, так как проводятся разработки целого ряда приводов, в том числе приводов экранов системы терморегулирования, приводов калибровки и фокусировки приводов крышек бленд бортового телевизионного комплекса, инфракрасных построителей вертикали солнечных координаторов, систем контроля температур, систем подогрева и многих других приборов. Номенклатура разработок электромеханических устройств НПП ВНИИЭМ для нужд РКТ ежегодно расширяется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Всесоюзный научно-исследовательский институт электромеханики. 1941 – 1991. М.: 1992.
2. Изделия точной электромеханики для космических аппаратов (опыт создания и эксплуатации) / Стома С.А., Ремизов В.Е., Кузьмин В.Н., Медушев С.В., Михайлов Е.М., Тихомиров В.К. // Сборник докладов юбилейной научной конференции. М.: МЭИ. 1999.
3. Система электропитания лунной ракеты / Шереметьевский Н.Н., Авербух В.Я. // Труды ВНИИЭМ. Т.97. М.: 1997.
4. Высоконадежная система ориентации солнечных батарей для орбитальных станций «Салют» и «Мир» / Шереметьевский Н.Н., Стома С.А., Курилович В.П., Мирошник О.М. // Электротехника. 1996. №5.
5. Электромеханические системы ориентации солнечных батарей искусственных спутников Земли / Стома С.А., Авербух В.Я., Лещинский Э.А. // Электротехника. 1996. №5.
6. Электрические исполнительные органы с магнитными опорами для управления ориентацией космических станций / Стома С.А., Верещагин В.П., Вейнберг Д.М. // Космический бюллетень. 1995. Т.2. №1.