

## **Повышение надежности и удельных характеристик аппаратуры управления стационарными плазменными двигателями**

А.С. Викторов, М.Ф. Ганзбург

### **Аннотация**

Статья рассказывает о технологиях, разработанных и внедренных в производство в открытом акционерном обществе «Авиационная электроника и коммуникационные системы» (ОАО «АВЕКС») с целью повышения надежности и удельных характеристик аппаратуры электропитания и управления (АПУ) стационарными плазменными двигателями.

### **Ключевые слова**

стационарный плазменный двигатель (СПД); аппаратура электропитания и управления (АПУ)

В настоящее время для ориентации космических аппаратов (КА) широко используются стационарные плазменные двигатели (СПД) М-70 и М-100.

Управление такими СПД осуществляется с помощью аппаратуры электропитания и управления (АПУ), которая должна обеспечивать срок эксплуатации до 15 лет в условиях космоса (давление  $10^{-6}$  мм рт. ст.).

В состав каждого СПД типа М-70 или М-100 входят:

- два катода (основной и резервный) с соответствующими нагревателями;
- два термодросселя (ТД) (основной и резервный);
- поджигной электрод (один или два).

В случае питания нагревателей катодов и ТД в СПД постоянным током необходимо:

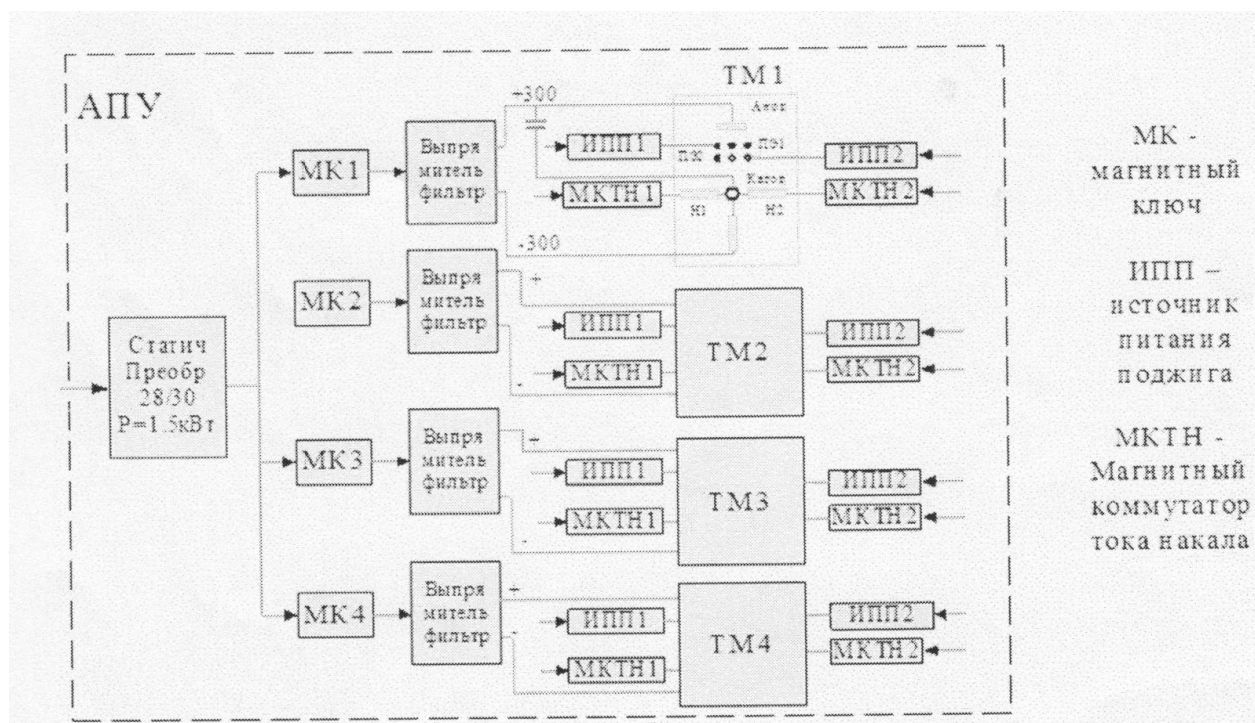
- преобразовать напряжения системы электроснабжения КА в напряжение питания нагревателей катодов и ТД;
- обеспечить коммутацию цепей нагревателей катодов СПД по бортовой центральной вычислительной машины (ЦВМ) контактами реле или транзисторными ключами;

- стабилизировать ток нагревателей  $12 \pm 0.3$  А при реально существующем технологическом разбросе сопротивления нагревателей катодов  $0.2 \dots 0.6$  Ом;
- обеспечить защиту от короткого замыкания (КЗ) в цепях питания нагревателей.

Кроме того, при питании ТД постоянным током необходим транзисторный ключ-регулятор на 4 А и датчик тока анода, по которому происходит управление этим ключом.

Для реализации этих требований необходимы дополнительные массовые и энергетические затраты. Все это, помимо снижения надежности и коэффициента полезного действия (КПД), увеличивает тепловыделение и массу аппаратуры, а также приводит к дополнительной погрешности при регулировке анодного тока током ТД.

Все эти недостатки в разработанных в ОАО «АВЭКС» приборах АПУ сведены к минимуму за счет питания нагревателей катодов и ТД СПД переменным током, и применения в качестве стабилизаторов анодного тока магнитных усилителей (МУ), а в качестве силовых коммутаторов тока ТД - магнитных дросселей (МД), в результате чего, в схемах отсутствуют механические коммутаторы, переключающие силовые цепи двигателя (рисунок 1).



**Рис. 1. Схема аппаратуры электропитания и управления**

Использование МУ и МД на современных аморфных магнитных материалах (5БДСР), работающих на частотах до 20 кГц, позволило получить их массовые характеристики, близкие к бесконтактным коммутаторам постоянного тока, а надежность и КПД - несравненно выше. Кроме того, МУ и МД просты в изготовлении и имеют значительно

меньшую стоимость, устойчивы к факторам воздействия окружающей среды в условиях работы на геостационарной орбите.

Применение МУ и МД существенно упрощает реализацию таких необходимых управленческих функций АПУ как:

- стабилизация тока нагревателей катодов от дестабилизирующих факторов: разброса входного напряжения и технологических разбросов сопротивлений цепей нагревателей катодов;
- защита от КЗ;
- гальваническая развязка силовых цепей и цепей управления;
- контроль целостности цепей;
- минимизация количества токовых датчиков нагрузок СПД.

Особо следует отметить высокую эффективность и простоту средств стабилизации анодного тока током ТД и ограничения его пусковых и аномальных режимов с помощью МУ. При этом АПУ допускает короткое замыкание нагрузки на время любой длительности без увеличения потребляемой из сети мощности.

При разработке системы электропитания и управления электроракетными двигателями в ОАО «АВЭКС» принято, что на каждую нагрузку создается свой источник питания. Количество источников определяется количеством нагрузок основных и резервных цепей тяговых двигателей.

Все устройства управления и контроля, в разрабатываемых изделиях выполняются с учетом резервирования элементов электрорадиоизделий (ЭРИ) кроме цепей отдельных каналов телеметрической информации (ТМИ).

Преобразователь напряжения изготавливается на ключевых транзисторных модулях.

Для обеспечения высокой надежности ключевых транзисторных устройств с одновременным обеспечением высоких удельных характеристик и минимальных тепловых потерь применен способ резервирования методом глубокого секционирования с автоматическим отключением вышедшего из строя элемента. Метод обеспечивает сохранение нормального функционирования устройств при выходе из строя до 20 % элементов.

Для реализации метода глубокого секционирования разработаны специальные методы и технологии:

- разработана методика подбора изделий электронной техники (ИЭТ) по группам по параметрам как статического, так и динамического режима работы для выравнивания

загрузки при параллельной работе ИЭТ;

- разработана конструкция рассредоточенного монтажа без общих жгутов в цепях коммутируемого тока, при которой элементы (диод, конденсатор), «гасящие» разрываемый ток, установлены каждый параллельно цепи ключа и соединяются непосредственно рядом с выводами соответствующего транзистора, что необходимо для снижения электродвижущей силы (ЭДС) самоиндукции при коммутации силовых цепей;
- разработан и внедрен метод групповой пайки транзисторов на общий теплоотвод, обеспечивающий нулевое тепловое сопротивление и электрическую связь транзисторов с теплопроводящей шиной с практически нулевым падением напряжения.

На повышение удельных характеристик и надежности аппаратуры направлены разработанные и реализованные предприятием оригинальные конструктивные и технологические решения:

- токоизмерители с нулевым падением напряжения в измеряемой цепи (первичной обмоткой измерительного трансформатора является силовой кабель, ток в котором подлежит измерению);
- токопроводящие шины в устройствах выполняются облегченными – из алюминия с олово-висмутовым покрытием, обеспечивающим пайку к ним монтажных проводов обычными припоями. При этом шины одновременно являются силовыми и теплопроводящими элементами конструкции;
- токопроводящие панели с силовыми диодами и транзисторами крепятся к термостатируемому основанию прибора с использованием тонкого теплопроводящего электроизоляционного покрытия (АнОксИз), практически не имеющего теплового сопротивления;
- силовое шинное непосредственное соединение силовых приборов (без соединителей и жгутов);
- конструкция моточных изделий на тороидальных сердечниках без гибких выводов.

Мощные трансформаторы и дроссели выполняются секционной намоткой с шинным монтажом, позволяющим передавать большие токи, и обеспечить сброс тепла на термостатируемое основание прибора.

Отработана технология изготовления тороидальных сердечников диаметром от 6 мм до 100 мм с использованием ленты из аморфных сталей.

Реализация схмотехнических решений арифметико-логических устройств (АЛУ) осуществлена на отечественной элементной базе, что обуславливает, по сравнению с

импортными элементами, более низкую стоимость АПУ и сокращает сроки комплектации.

Если учитывать, что цепи нагревателей катодов и ТД СПД имеют дублирования (основные и резервные), то надежность двигательной установки с АПУ, выполненной с применением МУ и МД, становится предельно велика.

Дальнейшее повышение надежности системы «Двигатель – АПУ» может быть получено при использовании информации о состоянии и режимах двигателя и его узлов.

С этой целью в ОАО «АВЭКС» ведутся работы по созданию первичных преобразователей информации о температуре и степени ионизации плазменной струи и, с учетом этой информации, АПУ как для новых типов двигателей, так и для различного ряда промышленных плазменных установок.

### **Сведения об авторах**

ВИКТОРОВ Александр Сергеевич, Генеральный директор ОАО «Авиационная электроника и коммутационные системы», к.т.н.

Россия, 125124 г. Москва, 1-я улица Ямского поля, д. 17;

тел.: +74992570502; fax: +74992577732; e-mail: [avelkomm@mail.ru](mailto:avelkomm@mail.ru)

ГАНЗБУРГ Михаил Феликсович, первый заместитель Генерального директора ОАО «Авиационная электроника и коммутационные системы».

Россия, 125124 г. Москва, 1-я улица Ямского поля, д. 17;

тел.: +74992570509; fax: +74992577732; e-mail: [avellkomm@mail.ru](mailto:avellkomm@mail.ru)