

УДК 629.7.087:538.4:001.2

М.В. ШЕВЧЕНКО¹, А.В. ХИТЬКО¹, А.Ф. ПИСКУНКОВ²¹*Днепропетровский национальный университет, Украина*²*Государственный НИИ прикладной механики и электродинамики МАИ, Россия*

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ КОНТАКТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ

Проведен анализ различных конфигураций контакторов для электродинамической тросовой системы. Показано, что конфигурация с полым плазменным катодом представляется как наиболее перспективная.

электроракетный двигатель, полый расходный цезиевый катод, работа выхода, внутренний вспомогательный разряд, ионизация, эффект полого катода

Введение

К настоящему времени разработаны основные принципы электродинамической тросовой системы (ЭДТС), описаны различные варианты ее применения в космическом пространстве:

– ЭДТС может быть использована как генератор электрической энергии и сверх низкочастотных колебаний;

– ЭДТС как двигательная система для осуществления транспортных операций;

– ЭДТС для передачи и диссипации энергии в магнитосфере;

– ЭДТС для проведения фундаментальных исследований в магнитосфере;

– ЭДТС для мониторинга межпланетной среды.

Основные проблемы функционирования электродинамической тросовой системы связаны с организацией замкнутого контура в ионосфере, что ставит задачу сброса заряда с концевых элементов троса.

Формулирование проблемы

Задача собирания тока в ионосферной плазме первоначально рассматривалась в связи с проблемой нейтрализации заряда спутника при проведении космических экспериментов с электронным пучком.

При испускании электронного пучка со спутника в стационарном режиме суммарный ток у его поверхности должен отсутствовать в соответствии с законом сохранения электростатического заряда. Следовательно, такой же ток, как и ток пучка, должен возвращаться на спутник.

Чтобы возвратный ток электронов из фоновой плазмы превышал хаотический тепловой ток в ней, потенциал спутника должен быть положительным, притягивающим электроны.

Для собирания тока на уровне 1 А положительное электрическое смещение спутника должно быть несколько киловольт. Такое падение напряжения соответствует эффективному импедансу эмиссионной системы порядка тысячи Ом.

Огромная величина смещения нежелательна для реальной технической системы, в которой максимальное падение напряжения должно приходиться на нагрузку. Как показано в [1], учет магнитного поля Земли увеличивает оценочную величину смещения до 5...10 кВ.

Поэтому проблема формирования токовой трубки в ионосфере связана с проблемой создания плазменного контактора [2 – 4].

Общие соотношения. Задача формирования плазменного контактора в электродинамической тросовой системе определяется необходимостью

увеличения площади электрического контакта в системе «трос – ионосфера».

Плазменные контакторы, расположенные на концах ЭДТС, должны эффективно проводить ток через достаточно большие площади. При этом уменьшится потребный уровень плотности тока из окружающей ионосферной плазмы.

ЭДТС используют три типа плазменных контакторов: пассивный крупногабаритный контактор на обоих концах троса; пассивный крупногабаритный контактор на верхнем конце троса и электронная пушка на нижнем конце; генерирующие плазму полые катоды на обоих концах троса.

В первой конфигурации верхний контактор (возможно проводящий шар) накапливает электроны. Нижний плазменный контактор в этой конфигурации (возможно проводящая поверхность, соединенная с КА) использует крупногабаритную поверхность для аналогичного сбора ионов. Это простейший способ генерации тока в тросе. Однако, в нем реализуется значительный импеданс переходного слоя.

Так для обеспечения тока в несколько ампер требуется потенциал в несколько киловольт, что подтверждено экспериментальными исследованиями взаимодействия плазмы с КА.

В этом случае оба контактора являются пассивными элементами ЭДТС, они отличаются простотой конструкции, но из-за низкой плотности плазмы в ионосфере они должны иметь большие собирающие поверхности.

Во второй конфигурации, для обеспечения возможности получения большой силы тока через трос, пассивный контактор на нижнем конце ЭДТС заменяется электронной пушкой, обеспечивающей эквивалентную сбору положительных ионов инжекцию электронов.

Недостатком использования электронной пушки в качестве плазменного контактора ЭДТС является необходимость источника электрической энергии на

борту КА для обеспечения запуска и функционирования пушки. Электронная пушка была использована в программе на МТКК «Space Shuttle». При токе 1 А ускоряющее напряжение должно быть порядка тысячи вольт.

Решение проблемы

Третья конфигурация представляется как наиболее перспективная. В этой конфигурации полые катоды на каждом из концов ЭДТС генерируют образования проводящей плазмы.

Плазменные образования обеспечивают возможность замыкания тросового тока в любом направлении, что позволяет системе функционировать как генератору или как двигателю с большой свободой, чем две ее другие описанные конфигурации. Для обеспечения функционирования полых катодов необходимы источник электрической энергии и расход рабочего газа. Но мощность источника энергии в этом случае, значительно меньше, чем та, которая необходима для работы электронной пушки, а система хранения и подачи рабочего газа не определяет весовой состав ЭДТС.

Высокие токи и мощности могут быть получены при эмиссии больших ионных токов, но даже при высоких анодных потенциалах собрать достаточно много электронов поперек магнитного поля невозможно, и токовое усилие будет близко к единице.

Главная цель исследований по плазменным контакторам состоит в том, чтобы выяснить, насколько большое токовое усилие можно получить при заданном уровне мощности. Если окажется, что на уровнях мощности, представляющих интерес для КТС (десятки киловатт), максимальное токовое усилие близко к единице, то нет никакого смысла использовать плазменные контакторы для собирания электронного тока, в сущности, наилучший плазменный контактор ничем не лучше, чем обычный ионный пучок.

Если, с другой стороны, окажется возможным получить токовое усиление хотя бы в несколько раз больше единицы на нужных уровнях мощности, то плазменные контакторы будут полезны для собирания тока в КТС.

Заключение

Можно сформулировать следующие основные задачи создания плазменных контакторов:

- в настоящее время отсутствуют результаты расчетного и экспериментального моделирования сильноточных режимов работы плазменных контакторов, которые позволили бы сформулировать техническое задание на разработку плазменного контактора для использования в натурных экспериментах с ЭДТС;

- ресурс работоспособности ЭДТС ограничивается запасом рабочего тела плазменного контактора;

- в литературе отсутствует сравнительный анализ режимов движения КА при использовании ЭДТС и двигателей (например, стационарных плазменных двигателей);

- работоспособность электродинамической тростовой системы с током порядка 1 А и более может быть обеспечена только в режимах с привлечением столкновительного механизма диффузии электронов в поперечном геомагнитном поле, который экспериментально не реализован;

- в литературе отсутствуют исследования альтернативных схем плазменных контакторов, например, схемы, при которой плазменный контактор заменяется искусственно созданным магнитным по-

лем. Принципиальную возможность создания такого магнитного поля, которое совместно с геомагнитным полем Земли могло бы обеспечить собирание фоновых электронов на коллектор силовых линий магнитного поля без ограничений, связанных с столкновительными и турбулентными процессами;

- в литературе отсутствуют упоминания об исследованиях, связанных с возможностью создания различных магнитных конфигураций, например, в форме магнитных ловушек в геомагнитном поле Земли с использованием полей токов или полей пассивных магнитов.

Литература

1. Parker B. Murphy «Potential Building on an Electron Emitting Ionospheric Satellite» // Journal Geophys. Research. – 1967. – V. 72. – P. 1631.
2. Паркс Д.Э., Катц И. Теория замыкания для электродинамических систем с привязным спутником // Аэрокосмическая техника. – 1988. – № 1. – С. 43-50.
3. Гастингс Д.Е. Теория плазменных замыкателей, предназначенных для использования в ионосфере // Аэрокосмическая техника. – 1988. – № 1. – С. 29-34.
4. Джервер М.Д., Гастингс Д.Е., Оберхард М.Р. Теория плазменных замыкателей для условий наземных экспериментов и низких околоземных орбит // Аэрокосмическая техника. – 1991. – № 6. – С. 13-20.

Поступила в редакцию 5.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Сичевой
Днепропетровский национальный университет,
Днепропетровск.