

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шнайдера Антона Витальевича на тему «Процессы при переходе тока сильноточной вакуумной дуги через ноль», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника

Явления, протекающие в вакуумных выключателях, являются объектом широких исследований, в связи с многообразием происходящих в них процессов, как при горении дуги, так и после перехода тока через ноль.

Основной задачей вакуумного выключателя является восстановление своих электроизоляционных свойств после горения дуги. На восстановление электрических свойств промежутка влияют многие факторы: амплитуда тока и длительность горения разряда; температура поверхности анода, которая, в свою очередь, зависит от моды горения разряда; амплитудное значение и темп роста напряжения на промежутке после перехода тока через ноль.

Нарушение вакуумной изоляции является негативным фактором, как в вакуумной коммутационной технике (вакуумных дугогасительных камерах), так и в радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов. Поэтому в работе также рассматривается проблема вторичного дугообразования в промежутке, заполненном плазмой первичного разряда при напряжениях на промежутке уровня 100 В, в том числе, и при наличии дефекта сплошности диэлектрического покрытия электрода. Данная проблема стоит достаточно остро в бортовой аппаратуре космических аппаратов и её решение необходимо для бесперебойного функционирования космических аппаратов в условиях космического пространства.

Таким образом, тема диссертационной работы является весьма востребованной и актуальной.

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением экспериментальных результатов с теоретическими оценками и результатами других авторов и многочисленными публикациями.

В работе присутствует **научная новизна**, заключающаяся в следующем.

1. Впервые предложен и реализован многозондовый метод диагностики катодного слоя дуги в вакуумной камере. Показано, что слой распространяется со скоростью порядка 10^5 см/с, что соответствует скорости Бома.

2. Предложен и реализован метод дистанционного измерения температуры поверхности анода после перехода тока дуги через ноль. Временное разрешение метода составляет 100 мкс, погрешность измерения – 35 К.

3. Экспериментальным путём определена оптимальная длительность горения дугового разряда, которая не приводит к повторному пробую промежутка в условиях роста напряжения на нём.

Практическая значимость работы состоит в том, что:

1. Показано, что при параллельном подключении сборки тиристоров к разрядному промежутку происходит повышение отключающей способности вакуумной дугогасительной камеры.

2. Экспериментально определён критический размер дефекта сплошности электроизоляционного покрытия электрода, способного приводить к иницированию вторичного дугового разряда в условиях окружения промежутка плазмой.

Структурно диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемой литературы. Объём диссертации составляет 166 страниц, включая 91 рисунок, 3 таблицы и список литературы из 115 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель, изложена научная новизна исследований и представлены научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации посвящена подробному обзору литературы, касающемуся основным свойствам вакуумного дугового разряда, режимов горения вакуумной дуги, процессам в области анода. Кроме того, рассматривается модель расширения катодного слоя после обрыва сильноточной дуги. На основании проделанного обзора сформулированы основные задачи, которые решаются в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена описанию и практической реализации многозондового метода диагностики катодного слоя. С помощью зондовых измерений определены концентрации плазмы и температуры электронов в катодном слое, расширяющемся в течение горения дугового разряда.

В третьей главе представлены результаты исследования анодного факела методом скоростной регистрации спектрально-дифференцированных изображений свечения анодного факела. Для этого были выбраны и установлены в скоростную камеру три интерференционных светофильтра с полосой пропускания 10 нм. При подсветке излучением лазера на красителе с изменяемой длиной волны излучения получены теневые изображения анодного факела, показавшие полное заполнение разрядного промежутка парами анодного материала. Данные экспериментов показали, что заметного поглощения лазерного излучения после прохода через анодный факел не выявлено, что свидетельствует о малой оптической толщине факела. По результатам экспериментов предложен ионизационно-рекомбинационный механизм образования светящейся оболочки анодного факела.

Также достаточно подробно описан метод, позволяющий проводить измерения температуры поверхности анода соотношению интенсивности свечения

наблюдаемого объекта на различных длинах волн, и представлены результаты по измерению температуры поверхности анода после перехода тока через ноль при наличии и отсутствии внешнего магнитного поля.

Следует отметить изящество методик бесконтактного контроля процессов, протекающих в разрядном промежутке и тщательность учёта всех факторов, влияющих на результаты экспериментов.

Четвёртая глава посвящена влиянию длительности горения дугового разряда на отключающую способность вакуумной камеры. Для ограничения длительности горения разряда используется два метода: изменение времени размыкания контактов относительно начала полупериода тока и шунтирование промежутка полупроводниками (тиристорами и диодами). Показано, что параллельное подключение полупроводникового ключа приводит к улучшению отключающей способности вакуумного выключателя.

В пятой главе рассмотрена проблема инициирования вторичного дугового разряда в низковольтной радиоэлектронной аппаратуре при наличии плазмы первичного разряда. Создана экспериментальная установка с источником первичной плазмы и макетом изоляционного промежутка, в котором под воздействием плазмы иницируется вторичный разряд. Определены расстояния от источника первичной плазмы, приводящие к пробое исследуемого промежутка. Экспериментально установлен критический размер дефекта сплошности электроизоляционного покрытия, способного приводить к инициированию вторичного дугового разряда. Полученные данные находятся в согласии с теоретическим моделированием.

В целом диссертационная работа представляет собой законченный научный труд. Автореферат полностью и правильно отражает основное содержание диссертации. Результаты защищаемой работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, докладах и трудах различных конференций.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. Имеет место некоторый разрыв в логической связке между исследованиями физических явлений (главы 2 и 3) и исследованиями энергетических макрохарактеристик ВДК (глава 4). Например, повторные пробои в ВДК связываются с током и длительностью горения дуги при фиксированной скорости восстановления напряжения, а электрофизические характеристики (катодный и анодный факелы, концентрации заряженных и нейтральных частиц и пр.) в объяснениях механизма повторного пробоя практически не используются.

2. Не приведены паспортные данные по предельно допустимым скорости нарастания напряжения и тока тиристоров, которые можно было бы сравнить с экспериментальными значениями. Кроме того, автору было бы нелишне подчерк-

нать, что диодные сборки взамен тиристорных могут применяться только для экспериментов с образованием дуги методом размыкания контактов ВДК (стр.121).

3. Нет обоснования выбранных скоростей нарастания напряжения (0,4 и 0,8 кВ/мкс) на разрядном промежутке ВДК после погасания дуги.

4. В оформлении диссертации имеют место отклонения от требований ГОСТ Р 7.0.11-2011 «ДИССЕРТАЦИЯ И АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ. Структура и правила оформления». Так, например, часть рисунков снабжена названиями осей и параметров на английском языке, а некоторые надписи на рисунках не читаются из-за мелкого шрифта. Имеются ошибки в падежных окончаниях и жаргонные выражения. Например, «катодные ионы» (стр. 25), «медная дуга» (стр. 96) и др.

Указанные замечания не снижают общую значимость работы, не затрагивают сущность защищаемых положений, а также основных результатов, полученных в ходе выполнения работы, и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Шнайдера Антона Витальевича «Процессы при переходе тока сильноточной вакуумной дуги через ноль» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор, главный специалист филиала ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС» - СПб «Электросетьремонт», почётный энергетик

Овсянников А.Г.

Адрес: 630126, г. Новосибирск, м-рн «Зеленый бор», д. 7

Тел.: +7 383 2692300

Эл. почта: oag@nspb.ru

Подпись Овсянникова А.Г. удостоверяю,

Специалист 2 категории

Семенюк Е.В.

«12» декабря 2016 г.

