

УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор,
заместитель генерального директора
кандидат технических наук
АО «Аэроэлектромаш»



Третьяк В.И.

«10» ноября 2016 года

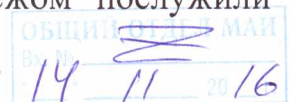
ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Куликовского Кирилла Владиславовича на тему «Транзисторное устройство защиты авиационных систем распределения электроэнергии от аварийных электрических разрядов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Актуальность темы

Диссертационная работа Куликовского К.В. посвящена научно-техническим проблемам разработки и исследования принципов создания алгоритмов и методов индикации и ликвидации нежелательных дуговых разрядов в системах электроснабжения (СЭС) летательных аппаратов (ЛА) постоянного тока 27 В.

Создание и внедрение подобных устройств в СЭС ЛА нацелено на повышение безопасности эксплуатации воздушного судна, так как основным толчком к созданию подобного рода устройств за рубежом послужили серьезные авиационные катастрофы пассажирских лайнеров.



Помимо авиационных СЭС, данная проблематика также может быть интересна и производителям автомобильной техники, с бортовым напряжением 24 В, более того, следует дополнительно отметить бурно развивающуюся тематику электромобилей, на борту которых, в целях экономии электроэнергии прибегают к повышению бортового напряжения, что дополнительно способствует возникновению и развитию нежелательных дуговых разрядов.

На протяжении последних 25-30 лет среди иностранных научно-технических статей, диссертационных работ и материалов конференций регулярно упоминается о разработках методов индикации и ликвидации нежелательных дуговых разрядов, а также готовых устройств под общим названием «Arc fault circuit interrupter» (AFCI). Также, существуют данные о внедрении зарубежными фирмами таких устройств в СЭС вновь проектируемых и модернизируемых ЛА. Более того, в США действует технологический стандарт UL 1999, описывающий тесты, которые должны пройти устройства подобного рода для получения сертификатов соответствия, что косвенно может свидетельствовать об обязательном наличии подобного рода устройств на борту проектируемых ЛА.

Несмотря на то, что различные устройства индикации и ликвидации нежелательных дуговых разрядов (ИДР) выпускаются рядом зарубежных фирм, на данный момент, отечественными предприятиями такие устройства не выпускаются, а информация о ведущихся разработках в научных публикациях отсутствует. В этой связи тема диссертационной работы Куликовского К.В. представляется актуальной и практически значимой.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 156 страницах и включает в себя 101 иллюстрацию, 2 таблицы. Список литературы состоит из 49 наименований.

Во введении обоснована актуальность и целесообразность разработки устройств ИДР для авиационных СЭС постоянного напряжения 27 В.

Отмечена необходимость применения подобного рода систем в автомобильных, бытовых и других СЭС. Установлены некоторые ограничения на применения существующих методов и алгоритмов ИДР в условиях авиационных СЭС. Отмечены возможные пути уменьшения вероятности аварий, вызванных нежелательными дугowymi разрядами.

Определены цели и задачи исследований, показаны: научная новизна и практическая полезность работы; методология и методы исследования; положения, выносимые на защиту; приведены сведения о достоверности и апробации результатов работы, а также сведения о публикациях и структуре диссертационной работы.

В первой главе изложены результаты анализа имеющихся в свободном доступе способов ИДР в наземных и бортовых системах электропитания. Приведен обзор результатов исследования научно-технических статей, патентной литературы, технических отчётов и фундаментальных научных трудов, опубликованных в открытой печати, начиная с 1992...1994 годов и по настоящее время. Разработана классификация опубликованных результатов исследований.

Отмечено, что число публикаций по авиационным СЭС относительно невелико, несмотря на важность проблемы, ввиду ряда неблагоприятных условий для работы устройств защиты от дуги в таких системах.

Определено два основных метода защиты от дуги: использование для индикации «характерных» признаков: розовый шум, хаос и сравнение протекающих процессов в фидере с «нормальными».

Сформирована концепция построения устройства ИДР как дополнения для перспективных систем с бесконтактной коммутационно-защитной аппаратурой (КЗА), как часть автомата защиты и коммутации (АЗК), либо входить в состав многоканальных централизованных устройств управления нагрузками (ЦУН).

Во второй главе разработан и предложен метод ИДР параллельного типа, основанный на использовании свойств АЗК, способных к амплитудному ограничению токов при аварийных перегрузках.

Проведено моделирование и последующее натурное макетирование разработанного алгоритма, с приведением положительных результатов экспериментов.

В третьей главе приведены результаты исследований характерных свойств дуги последовательного типа.

Разработан лабораторный стенд, для исследования процессов возникновения и развития дуги в цепях с нагрузками различного характера. Установлено, что напряжение на дуге в начальной фазе процесса не зависит от номинального значения тока, напряжения сети и конечного зазора, являясь характерной константой, позволяющей оценить минимальное изменение тока в фидере при возникновении дуги. Установлено, что вероятность возникновения дуги максимальна в цепях с нагрузками RL типа и минимальна в цепях с нагрузками RC типа, и коллекторными электродвигателями постоянного тока.

Разработан портативный лабораторный стенд для исследования прерывистой последовательной дуги. Показано, что характер изменения тока в дуге зависит от многочисленных факторов, таких как: материал контактов, напряжения сети, величины зазора дугового промежутка.

Разработан портативный лабораторный стенд для исследования устойчивой последовательной дуги при фиксированном зазоре.

Разработаны схемы непрерывного и импульсного ограничителей тока для исследований статических вольт-амперных характеристик (ВАХ) дуги в режиме регулируемого тока через дугу при короткозамкнутой нагрузке. Обнаружено, что при малых зазорах напряжение на дуге может иметь минимум в функции тока.

При исследовании пульсаций тока дуги установлено, что размах пульсаций тока максимален в начальной стадии возникновения дуги, непропорционален среднему току в нагрузке и растёт с увеличением зазора.

В четвертой главе приведены результаты исследований и разработки методов индикации последовательной дуги, основанных на обнаружении её характерных признаков в текущих процессах токов нагрузок.

Определен состав электрических нагрузок и уровни электромагнитных помех в СЭС постоянного тока 27 В.

Выполнена оценка применимости метода индикации дуги по уровню её шума. Выявлены возможности и ограничения применения метода.

Разработаны функциональные схемы, аналоговые модели и цифровые узлы ИД, построенных по критерию наличия шума. Показан положительный опыт применения метода в ряде нагрузок.

Разработаны функциональные схемы, компьютерные модели аналогово-цифровых ИД, построенных по критерию наличия хаоса в пульсациях тока дуги. Работоспособность алгоритма для ряда нагрузок подтверждена моделированием и испытаниями на лабораторном стенде.

Экспериментально подтверждено, что общим ограничением на методы индикации дуги, основанных на ее характерных признаках, является их восприимчивость к электромагнитным помехам из цепей, несущих аварийные дуговые разряды, что может вызвать массовые отключения исправных цепей.

В пятой главе изложены результаты исследований и разработки методов ИДР последовательного типа, основанных на отклонении параметров нагрузки от нормальных, штатных процессов.

Разработаны функциональные, аналоговые и аналого-цифровые компьютерные модели ИДР с использованием динамических аналоговых моделей нагрузок, либо их вольтамперных характеристик.

Определено техническое содержание ИДР, универсальных к набору нагрузок для СЭС постоянного тока 27 В, построенных на основе аналоговых базо-матричных кристаллов (БМК).

Научная новизна и практическая значимость результатов

Исследованы и разработаны электронные устройства нового типа, предназначенные для ИДР в авиационных СЭС постоянного тока 27 В, сформированные как дополнение к транзисторным АЗК.

Предложен метод ликвидации параллельной дуги в авиационных СЭС постоянного тока 27 В и средство его реализации, основанные на способности транзисторных АЗК к амплитудному ограничению аварийных токов.

Исследованы процессы возникновения и развития дуговых разрядов последовательного типа в низковольтных цепях постоянного тока.

Дана оценка применимости в условиях авиационных СЭС методов ИДР, основанных на индикации её характерных признаков. При этом разработаны и исследованы функциональные схемы, компьютерные модели и лабораторные макеты ИДР по уровню её шума, хаотичности его параметров, рекурсивности дуги и др. Показано, что для каждого из рассмотренных вариантов существуют ограничения, исключающие их универсальность, а общим ограничением является чувствительность к электромагнитным помехам из аварийных цепей.

Разработаны и изготовлены портативные стенды для экспериментальных исследований характерных свойств дугового разряда последовательного типа в установившемся и прерывистом режимах.

В ходе экспериментов пополнены сведения о свойствах последовательной низковольтной дуги. Установлена малая вероятность возникновения дуги в цепях с КДПТ и ИВЭ РЭА. Обнаружены пологие экстремумы на вольтамперных характеристиках дуги при малых зазорах дугового промежутка. Установлена непропорциональность размаха пульсаций тока дуги её среднему значению. Показана возможность

использования факта уменьшения среднего тока в цепи с возникшей дугой в качестве её индикатора.

Разработаны методы, функциональные схемы, компьютерные модели и лабораторные макеты индикаторов последовательной дуги, построенные по принципу мониторинга за аварийными изменениями энергетических параметров в цепях типовых нагрузок авиационных низковольтных систем постоянного тока. Разработано, универсальное устройство индикации последовательной дуги как дополнения к транзисторному аппарату защиты.

Достоверность и апробация полученных результатов

Решение поставленных в диссертационной работе задач стало возможным благодаря комбинации классических методов фундаментальных наук с современными методами компьютерного моделирования и последующего натурного лабораторного макетирования. Использование такого подхода и полученные с его помощью результаты говорят о высокой степени их достоверности и позволяют сделать вывод о работоспособности предложенных схемотехнических решений и о справедливости предложенных алгоритмов и решений.

Результаты работы докладывались на 3 научных конференциях с публикацией тезисов. По результатам исследования опубликовано 7 научных работ в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендуемых изданий ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации

Замечания по диссертации

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В работе отсутствуют рекомендации по применению разработанных алгоритмов для высоковольтных цепей постоянного напряжения 270 В.

2. В проведенной работе отсутствуют какие-либо теоретические выкладки по описанию дуговых разрядов и условий их возникновения.

3. Приведенные в автореферате результаты исследований не полностью отражают содержание диссертации.

4. Исходя из объема и новизны технических решений, встает вопрос о необходимости патентования хотя бы части практических результатов, которое не было произведено.

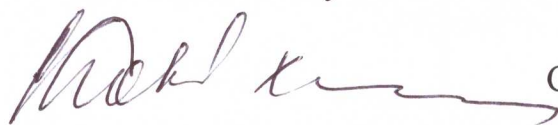
Заключение

Несмотря на представленные замечания, диссертация Куликовского К.В. является законченной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной задачи в области повышения надежности авиационных низковольтных электросетей постоянного тока. Указанные в предыдущем пункте недостатки не носят принципиального характера и не снижают ее научной и практической ценности. Материал диссертации изложен логично и последовательно. Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа «Транзисторное устройство защиты авиационных систем распределения электроэнергии от аварийных электрических разрядов» по своему содержанию и полученным результатам удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Куликовский Кирилл Владиславович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертация рассмотрена на научно-техническом совете (НТС) АО «Аэроэлектромаш». Протокол № 7/16 от 8 ноября 2016 г.

Главный конструктор систем преобразования электроэнергии - заместитель
Главного конструктора, кандидат технических наук



С. Ф. Коняхин