

Отзыв

официального оппонента Воробьева Максима Сергеевича на диссертационную работу Маханько Дмитрия Сергеевича «Разработка разрядников-обострителей с улучшенными техническими параметрами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Актуальность темы. Разрядники-обострители являются ответственными элементами высоковольтных импульсных генераторов, широко применяемых в науке и технике. Развитие генераторов наносекундных импульсов ужесточает требования, предъявляемые к элементам, входящим в их состав, в частности, и к разрядникам-обострителям. Одни из основных требований, предъявляемых к данным устройствам это высокий ресурс работы и стабильность параметров, что приводит к необходимости непрерывного совершенствования этих приборов в условиях минимизации их габаритных размеров.

Диссертационная работа, в целом, несет прикладной характер, и посвящена научно-практическому исследованию основных физических и технологических процессов в малогабаритных отпаянных газонаполненных разрядниках-обострителях с целью улучшения основных технических характеристик приборов данного класса, что в итоге позволило разработать технологию создания линейки новых приборов и внедрить их в серийное производство.

В представленной работе исследуются физические закономерности развития коммутирующего искрового разряда в среде водорода и азота в ранее неизученном диапазоне давлений 20-140 атмосфер, теоретическое и экспериментальное определение факторов, влияющих на механическую и электрическую прочности конструкции разрядника-обострителя, а также вопросы конструирования и производства малогабаритных отпаянных газонаполненных разрядников-обострителей с напряжениями пробоя от 100 до 400 киловольт, относительным среднеквадратичным разбросом напряжения пробоя не более 3%, субнаносекундными временами коммутации и ресурсом не менее $3 \cdot 10^6$ срабатываний, что, на мой взгляд,

заслуживает особого внимания.

Поэтому диссертация Маханько Д.С., посвященная разработке новых образцов разрядников-обострителей с улучшенными техническими параметрами, безусловно является **актуальной** и имеет важное научное и практическое применение.

Теоретическая и практическая значимость.

1. Теоретически и экспериментально определены линейные и угловые соотношения геометрических размеров основных элементов конструкции разрядника-обострителя, обеспечивающие требуемую электрическую прочность коммутатора при напряжениях пробоя до 400 кВ, а также обеспечивающие стабильность срабатывания разрядника-обострителя строго между электродами.

2. Разработана конструкция разрядника-обострителя обладающая повышенной механической прочностью на разрыв, а также определён и реализован способ повышения механической прочности конструкции разрядника-обострителя, способной выдерживать внутренние давления рабочего газа до 160 атмосфер, за счёт использования дополнительного резьбового соединения анодного узла с корпусом разрядника.

3. Отработан режим пайки металлокерамических узлов разрядника-обострителя высокотемпературным припоем ПСр72 с дополнительным превышением температуры пайки на 20-80°C относительно температуры плавления припоя 780 °C и временем выдержки пайки в пределах 6-8 минут, позволяющий получать высококачественные герметичные соединения с высоким процентом выхода годных изделий на уровне 95%.

4. Обеспечен гарантированный ресурс работы разрядников не менее $3 \cdot 10^6$ срабатываний в заданном эксплуатационном режиме.

6. На базе АО «Плазма» обеспечен промышленный выпуск разрядников-обострителей серии РО-43, РО-48, РО-49 и РО-72 на напряжения пробоя 100 ÷ 400 кВ с субнаносекундными временами коммутации, токами до нескольких килоампер и коммутируемой энергией до 20 Дж на частотах повторения импульсов до 50 Гц, с относительным среднеквадратичным отклонением напряжения пробоя не более 3%.

Научная новизна диссертационной работы.

1. В работе определены соотношения размеров элементов конструкции разрядников-обострителей, которые обеспечивают электрическую прочность в диапазоне напряжений 100-400 кВ, а также устойчивое формирование искрового разряда строго между электродами в условиях статического пробоя с субнаносекундными временами коммутации на частотах повторения импульсов до 50 Гц, при этом относительный среднеквадратичный разброс напряжения пробоя не превышает 3%.

2. Определены времена коммутации в разрядниках-обострителях с водородным и азотным наполнениями при давлении наполняющих газов до 140 атмосфер в условиях статического пробоя.

3. Показано, что применение в разрядниках-обострителях в качестве рабочей среды водорода ОСЧ при давлениях от 50 до 140 атмосфер обеспечивает срабатывание с относительным среднеквадратичным разбросом напряжения пробоя не более 3% и субнаносекундные времена коммутации в течение $3 \cdot 10^6$ импульсов.

Достоверность результатов.

Исследование электрической прочности малогабаритных металлокерамических разрядников-обострителей с помощью численного моделирования распределения электрического поля и потенциала в пределах и за пределами корпуса разрядника-обострителя в среде COMSOL Multiphysics и экспериментальная проверка полученных расчётных результатов численного моделирования подтверждается совпадением результатов исследований. Результаты механических расчетов статического линейного и нелинейного анализа в САПР SolidWorks Simulation и прямые механические испытания разрядников-обострителей также обеспечивают удовлетворительное совпадение результатов исследований. Результаты работы внедрены в производство разрядников-обострителей в АО «ПЛАЗМА» г. Рязань.

Оценка содержания диссертационного исследования.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, списка опубликованных работ по теме диссертации, списка использованной литературы и приложения. Содержание диссертационной работы

достаточно полно отражено в 16 печатных работах, включая статьи и тезисы докладов всероссийских и международных конференций, из них 3 статьи в журналах из перечня ВАК, в том числе 1 статья в журнале по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника, 2 статьи включены в реферативные базы данных Scopus, 5 патентов на изобретение и 1 патент на полезную модель.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации и представляет собой краткое изложение основных результатов диссертационного исследования. Автореферат и диссертационная работа написаны технически грамотным и ясным языком.

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. Местами автор использует ненаучные фразы и формулировки. Например, «... мгновенная готовность к работе...» (стр. 4, второй абзац), «... подача на электроды импульсов напряжения анода...» (стр. 9, первый абзац) или «...напряжения пробоя по газу...» (стр. 68, первый абзац).

2. На рисунок 2.2 приведена «... зависимость **напряжения** пробоя между выводом электрода и отбортовкой корпуса разрядника-обострителя от отношения диаметра вывода электрода d к диаметру отбортовки корпуса D_3 ...», хотя на оси ординат отмечено **отношение** $U/U_{\max}$. Автор отмечает, что U – напряжение пробоя, $U_{\max}$ – максимальное напряжение пробоя 500 кВ, однако из текста диссертации осталось непонятным, для чего введено данное отношение. Кроме этого, электрический пробой носит вероятностный характер, а на графике отсутствует какой-либо статистический разброс.

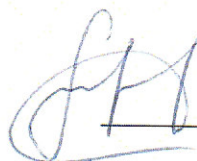
3. Автор неоднократно отмечает, что смог обеспечить «**максимально возможную** электрическую прочность при минимизации габаритных размеров разрядника» (стр. 61 диссертации, а также стр. 9 и стр. 18 автореферата). При этом в п. 2 Заключение в диссертации отмечена «наибольшая электрическая прочность», а в автореферате в том же п.2 Заключение – «максимально возможная электрическая прочность». В этой связи вопрос – какими критериями помимо геометрических пропорций автор руководствовался, чтобы считать полученную электрическую прочность максимально возможной?

4. Небольшое количество орфографических, синтаксических и пунктуационных ошибок. Например, «...вывод 6 электрода 5, часть которого, расположенная внутри изолятора, выполнена в виде усеченного конуса...» (стр. 52, первый абзац).

Отмеченные недостатки **не снижают** общей ценности диссертационной работы, которая представляет собой исследование, выполненное на высоком квалификационном уровне.

На основании вышеизложенного **считаю**, что диссертация Маханько Дмитрия Сергеевича «Разработка разрядников-обострителей с улучшенными техническими параметрами» является законченной квалификационной работой, полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., в части, касающейся кандидатских диссертаций, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Ведущий научный сотрудник,
доктор технических наук



Воробьёв Максим Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
634055, г. Томск, Пр. Академический 2/3

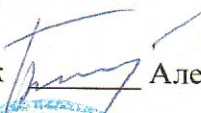
Тел.: 8-913-886-95-37

E-mail: vorobyovms@yandex.ru

Я, Воробьёв Максим Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы и их дальнейшую обработку, связанные с защитой диссертации Маханько Дмитрия Сергеевича.

02.06.2025 г.

Подпись Воробьёва М.С. удостоверяю
Зам. директора по НР,
кандидат физико-математических наук



Александр Владимирович Батраков



С отзавом ознакомились 06.06.2025 