

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Жмодикова Александра Леонидовича «Разработка и исследование мощных импульсных устройств на основе кремниевых полупроводниковых приборов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Современный уровень развития мощных электрофизических установок с емкостными накопителями энергии предъявляет самые высокие требования к одному из ключевых элементов накопителя – высоковольтному коммутатору. До недавнего времени в качестве основного типа коммутаторов при рабочем напряжении свыше 10 кВ использовались только газоразрядные коммутаторы. Однако, с ростом количества коммутаторов в накопителе и с ростом величины пикового тока, который требуется пропускать через единичный коммутатор, все большее внимание стали привлекать полупроводниковые коммутаторы. Это связано, прежде всего, с высокой надежностью их работы, большой долговечностью и идентичностью параметров, обусловленной надежным промышленным освоением технологии изготовления полупроводниковых приборов.

Внедрение в современное производство мощных электрофизических установок потребовало разработки импульсных устройств, способных коммутировать большую мощность в нагрузки различного вида. Для этого было необходимо освоить диапазон субмикросекундных импульсных сигналов, который для полупроводниковых приборов малоизучен. Таким образом, диссертационная работа Жмодикова А. Л., в которой исследуется поведение различного рода полупроводниковых устройств на основе биполярных транзисторов (IGBT), силовых тиристоров (СТ) и импульсных интегральных тиристоров (ИИТ), реверсивно включаемых динисторов (РВД), способных коммутировать как импульсы субмикросекундной длительности и/или с субмикросекундным фронтом, так и знакопеременные импульсы, является несомненно актуальной.

Научной новизной обладают:

- результаты исследований IGBT, СТ, ИИТ и РВД в режимах коммутации импульсов тока с субмикросекундной длительностью фронта.
- результаты исследований модернизированных РВД, позволившие определить возможность их эффективного использования при коммутации мощных знакопеременных импульсов силового тока;
- схемотехнические и конструктивные способы построения коммутаторов на основе РВД с рабочим напряжением десятки кВ, коммутирующих импульсы тока с амплитудой сотни килоампер и скоростью нарастания десятки кА/мкс.

Оформление диссертационной работы

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Содержит 131 страницу машинописного текста и 126 рисунков. Список использованной литературы включает 89 наименований.

Во введении автор определяет объект исследования, обосновывает актуальность, научную новизну, практическую значимость своей работы и приводит основные результаты, вынесенные на защиту. Описан личный вклад автора в проведенные исследования. Указано, что результаты работы прошли апробацию на 5 международных конференциях. Материалы работы изложены также в 15 публикациях в журналах, рекомендованных ВАК, и 2 публикациях в журналах, входящих в базу Web of Science.

Первая глава является обзорной, в ней рассмотрены современные полупроводниковые приборы, которые могут быть использованы в качестве элементной базы для коммутаторов, способных работать с импульсными токами с длительностью до субмикросекундного диапазона.

Во второй главе описаны исследования коммутаторов на основе последовательно соединённых IGBT-транзисторов, силовых тиристоров и импульсных интегральных тиристоров в режимах коммутации мощных импульсов тока с субмикросекундным фронтом нарастания. Представлены схемы управления последовательно соединенными приборами, которые обеспечивают необходимую

синхронность их включения и высокие коммутационные возможности в этих режимах.

В третьей главе представлены результаты исследования коммутаторов на основе реверсивно включаемых динисторов (РВД) в различных импульсных режимах. Показана возможность переключения РВД при управлении их включения импульсами субмикросекундной длительности. Установлено, что потери в РВД при переключении не возрастают, если сохраняется передаваемый импульсом управления заряд. Исследованы первые образцы модернизированных РВД, способных коммутировать знакопеременные импульсы тока. Представлены высоковольтные РВД-ключи, способные коммутировать импульсы тока с амплитудой десятки и сотни килоампер, микросекундной длительностью и скоростью нарастания тока десятки килоампер в микросекунду.

В четвертой главе описаны высоковольтные импульсные генераторы на основе силовых тиристоров и биполярных транзисторов с изолированным затвором. Представлен тиристорный генератор, который позволяет на частоте 10 Гц формировать в индукторе $L_h=0,8$ мГн импульсы тока с амплитудой 12 кА и фронтом 1 мкс, что создает мощные импульсы электромагнитного поля. Представлен транзисторный генератор, способный на частоте 500 Гц при уровне напряжения 30 кВ формировать импульсы разрядного тока амплитудой до 500 А и фронтом около 150 нс, при этом энергия, отраженная от нагрузки (разрядника), возвращается в генератор и эффективно используется в следующем цикле.

В пятой главе представлены мощные коммутаторы на основе РВД с рабочим напряжением от 12 до 24 кВ, способные коммутировать импульсы тока с амплитудой десятки и сотни кА и скоростью нарастания единицы и десятки кА/мкс.

Весь объем проделанных автором исследований представляет большую **практическую значимость** для широкого круга специалистов в области высоковольтной импульсной техники и физических экспериментов. Все результаты исследований доведены до степени действующего узла или конструкции электрофизической установки.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений, сделанных в диссертации, несомненна, поскольку опирается на

значительный объем экспериментальных результатов, полученных непосредственно автором.

Однако по диссертации имеется ряд **замечаний**.

- 1) В диссертации упоминаются результаты работы некоторых разработанных генераторов с определёнными частотами следования импульсов, но не обсуждается, чем объясняется выбор таких частот, являются ли эти частоты предельными для данных генераторов, и каковы способы повышения их рабочей частоты.
- 2) В диссертации на рис. 3.38 представлена вольт-амперная характеристика модернизированных РВД, но не показана вольт-амперная характеристика базового РВД.
- 3) Сравнение результатов расчета (рис.3.20б) и эксперимента (рис.3.22а) приходится делать на глаз. Вероятно, было бы лучше нанести ток на один график.
- 4) В диссертации несколько раз упоминаются расчеты, но не понятно – по каким методикам или программам они производились.
- 5) В п.4.3. определен кпд генератора 96%. Как он вычислялся?
- 6) В п.2.1 использован термин «время установления критического тока». Как определяется это время? На графике рис.2.5 время установления указано в микросекундах, хотя в тексте речь идет о наносекундах.

Тем не менее, сделанные замечания не существенны и не уменьшают ценности работы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Заключение

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, содержащую научно обоснованные решения, внедрение которых позволит

разрабатывать мощные импульсные устройства на основе современных полупроводниковых приборов.

По научному уровню и объему проведенных исследований, актуальности, новизне и практической ценности представленная работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции, введенной в действие с 5 мая 2016 года постановлением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 года № 335, и ее автор – Жмодиков Александр Леонидович несомненно достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник

ИЛФИ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

кандидат физико-математических наук

Галахов Игорь Владимирович

29 августа 2022 года

Почтовый адрес: 607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, д. 37

Эл. почта: igor.galakhov@mail.ru

Подпись Галахова Игоря Владимировича заверяю

Ведущий специалист

В.С. Нехаева



Сведения об официальном оппоненте

Фамилия имя отчество	Галахов Игорь Владимирович
Ученая степень	кандидат физико-математических наук
Научная специальность	01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики
Место работы и должность	Институт лазерно-физических исследований Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ИЛФИ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), ведущий научный сотрудник
Адрес	607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, д. 37
Эл. почта	igor.galakhov@mail.ru

Список публикаций Галахова И.В. по теме диссертации за последние 5 лет:

1. Арзев А. Г., Галахов И. В., Ганин Л. С., Гришанин А. В., Елисеев В. В., Картав В. Н., Коженков Е. В., Креков А. В., Мартыненко В. А., Мускатиньев В. Г., Наумов Д. А., Немаев Д. Ю., Осин В. А., Свиридов В. В., Фролов О. В., Хапугин А. А. Коммутаторы импульсов тока на основе реверсивно-включаемых диисторов для мощных электрофизических установок // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 4. – С. 33-43.
2. Галахов И. В., Ганин Л. С., Осин В. А., Сеник Д. А., Свиридов В. В., Чистопольский М. В. Способ управления разрядом емкостного накопителя энергии при импульсном питании ламп накачки твердотельного лазера. Патент на изобретение номер RU 2723901 С1. 2020. Номер заявки 2019136566. Дата регистрации 13.11.2019.

3. Коженков Е. В., Безуглов В. Г., Галахов И. В., Ганин Л. С., Креков А. В., Осин В. А. Проблемы создания полупроводниковых коммутаторов, рассчитанных на напряжение 24 кВ и ток 250 кА // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2019. – Т. 1. – № 24. – С. 222-227.
4. Бродский И. А., Галахов И. В., Задорожная Е. Н., Калмыков Н. А., Копелович Е. А., Логутенко С. Л., Новиков А. Ю., Осин В. А., Сеник Д. А., Троицкий М. М., Флат Ф. А., Чистопольский М. В. Система заряда конденсаторной батареи лазерной установки "ИСКРА-5" // Приборы и техника эксперимента. – 2018. – № 2. – С. 65-71.

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник

ИЛФИ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

кандидат физико-математических наук



Галахов Игорь Владимирович

29 августа 2022 года

Сведения об официальном оппоненте верны.

Подпись Галахова Игоря Владимировича заверяю

Ведущий специалист

В.С. Нехаева

