

В диссертационный совет 24.1.160.01, созданный на
базе Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института электрофизики
Уральского отделения Российской академии наук»

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шунайлова Сергея Афанасьевича «Разработка малогабаритных сильноточных устройств для исследований в пикосекундной электронике больших мощностей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13.- «Электрофизика, электрофизические установки».

Актуальность

Разработка сильноточных источников электрических импульсов в настоящее время представляет собой динамично развивающееся направление электрофизики. Особый интерес в этом направлении вызывают исследования, направленные на создание относительно компактных систем и устройств, имеющих, очевидно, максимальные возможности и перспективы для их применения в различных сферах науки и техники. В этой связи диссертация С.А.Шунайлова, посвященная разработке малогабаритных устройств для пикосекундной мощной электроники, безусловно, представляется актуальной.

Общая характеристика диссертационной работы

Содержательная часть диссертации состоит из 8 разделов. Раздел 1 посвящен разработке собственно компактных источников высоковольтных импульсов наносекундной и субнаносекундной длительности. Предложенные и реализованные в диссертации решения позволили получать стабильные импульсы напряжения с регулируемой длительностью и управлением запуском с точностью не хуже 25 пикосекунд. В разделах 2 и 3 рассмотрены особенности работы электронных инжекторов на субнаносекундных временных интервалах. Автором экспериментально определены и проанализированы характеристики сильноточных диодов и формируемых электронных потоков в зависимости от формы высоковольтного импульса (в том числе, от параметров предимпульса напряжения), от материала катода и других практически важных условий работы устройств. В частности, определены условия перехода взрывной эмиссии электронов в режим генерации убегающих электронов при повышении остаточного давления в анод-катодном промежутке. Особо отметим разработку автором специальной методики определения параметров высоковольтных импульсов на основе динамической

рефлектометрии, позволившей, например, с пикосекундной точностью сравнивать моменты появления тока диода при различной крутизне фронта импульса напряжения. Разделы 4-6 посвящены применению разработанных источников в высокочастотной электронике. В разделе 4 рассмотрены различные варианты микроволновых генераторов черенковского типа, работающих, несмотря на малую длительность импульса питания, в режимах, близких к стационарным. Соответственно, их реализация оказывается возможной при малом времени переходных процессов в генераторе. В диссертации проведено глубокое исследование факторов, влияющих на длительность таких процессов, и реализованы подходы, обеспечивающие их сокращение. В разделе 5 представлены СВЧ источники, работающие в принципиально нестационарном режиме сверхизлучения, при котором формируется высокочастотный импульс с длительностью, существенно меньшей длительности электронного тока, но с пиковой мощностью, сравнимой с мощностью электронного пучка. Следует подчеркнуть, что в ряде представленных работ удалось реализовать рекордные значения выходных параметров излучения. Так, в 10 мм диапазоне длин волн получены импульсы с мощностью до 3 ГВт при коэффициенте конверсии (отношении мощностей излучения и пучка), близком к 1. Наибольшее впечатление производят работы по многоканальным источникам излучения, представленные в разделе 6. Автором экспериментально реализована согласованная по фазам высокочастотного излучения синхронная генерация 4-х релятивистских ламп обратной волны (ЛОВ) 8-мм диапазона волн с когерентным пространственным суммированием их выходных сигналов. Раздел 7 посвящен исследованиям генерации убегающих электронов (УЭ) в атмосферных разрядных промежутках. Разработанные автором подходы по управлению параметрами импульсов малой длительности позволили определить ряд важных характеристик эмиссии УЭ. В разделе 8 представлены результаты, показывающие возможности применения устройств короткоимпульсной мощной электроники в смежных областях науки и техники – для исследования импульсной катодной люминесценции диэлектриков, для воздействия на полупроводниковые лазерные мишени, для реализации высокоградиентного ускорения электронов.

Научная новизна результатов

Научная новизна проведенного исследования связана, в первую очередь, с разработкой методов и подходов, позволяющих обеспечить синхронизованную работу нескольких устройств. Важно отметить, что такая синхронизация оказалась возможной как по взаимной привязке видеоимпульсов с точностью порядка 10^{-11} с, так и по фазам генерируемого высокочастотного излучения. Эти исследования, однозначно, носят пионерский характер и имеют признанный мировой приоритет.

Достоверность экспериментальных данных

Характеризуя диссертацию в целом, следует сказать, что в работе результаты расчетов и экспериментов и их анализ представлены в большом объеме, свидетельствующем о полноте и завершенности проведенных исследований. Все результаты работы реализованы и проверены в экспериментальных образцах и макетах, что дает возможность утверждать о практической ценности проведенного исследования.

Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, докладывались на представительных международных конференциях. 51 статья по теме диссертации опубликована в течение последних 10 лет в научных изданиях, включенных в базы данных RSCI и/или Scopus и имеющих категорию K1 или приравненную к ней. Диссертация написана хорошим языком и качественно оформлена. Публикации автора полно и правильно отражают содержание диссертации.

Замечания к диссертации

1. Автором выявлена определяющая роль в инициации микроволновой генерации лидирующего высокочастотного сигнала, возникающего на фронте ускоряющего напряжения (раздел 3, стр.28). Однако механизм возникновения этого сигнала не вполне понятен, соответственно, остается открытым вопрос о возможности влиять на его характеристики, в частности, на его спектральную локализацию.
2. Степень фазовой синхронизации излучения ЛОВ внешним источником (раздел 6, рис.41), судя по тексту работы, оценена только по осциллограмме. Указание числовой характеристики было бы вполне уместным.

Важно отметить, что приведенные замечания носят уточняющий характер и не ставят под сомнение высокий уровень диссертационной работы.

Заключение

Проведенный комплекс исследований позволяет считать диссертацию Шунайлова Сергея Афанасьевича научно-квалификационной работой, в которой представлены новые научно обоснованные физико-технические решения в области разработки малогабаритных сильноточных устройств, внедрение которых вносит значительный вклад в импульсную электронику больших мощностей, относящуюся к направлениям, определяющим научно-технологический суверенитет развития страны.

Таким образом, по степени обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, их достоверности и новизне, актуальности выбранной темы исследования, практической значимости полученных результатов диссертационная работа «Разработка малогабаритных сильноточных устройств для

исследований в пикосекундной электронике больших мощностей» соответствует критериям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Шунайлов Сергей Афанасьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13.-«Электрофизика, электрофизические установки».

Официальный оппонент Абубакиров Эдуард Булатович, доктор физико-математических наук, специальность 01.04.04 «Физическая электроника», ведущий научный сотрудник отдела высокочастотной релятивистской электроники Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им.А.В.Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН) Адрес 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46.

Телефон (831) 416-48-47, адрес электронной почты edward@ipfran.ru

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации

Подпись Э.Б.Абубакирова заверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН

к.ф.-м.н



Э.Б.Абубакиров

30 января 2025 г.

И.В.Корюкин