

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального директора,
Главный инженер АО «НПП «Алмаз»,
К.Э.Н.

« 02 »



М. П. Апин

2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Акционерного общества «Научно – производственное предприятие «Алмаз» - на диссертационную работу Фролова Никиты Сергеевича «Колебательные процессы, синхронизация и усиление сигналов в низковольтном виркаторе и виртоде», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 01.04.04 – Физическая электроника.

Изучение источников мощного электромагнитного СВЧ излучения на основе интенсивных электронных потоков в режиме формирования виртуального катода, взаимодействующих с электромагнитным полем, является важным направлением исследований в области современной СВЧ электроники больших мощностей, физики плазмы и радиофизики и подтверждается публикациями в ведущих научных журналах и большим числом сообщений на различных международных и всероссийских конференциях. Поэтому тема диссертационной работы Фролова Н.С., посвященная изучению возможностей повышения выходной мощности и эффективности работы приборов с виртуальным катодом за счет подачи внешнего воздействия или обратной связи является **актуальной**.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Первая глава диссертационной работы посвящена

теоретическому и численному изучению процессов, протекающих в пучках со сверхкритическим током под воздействием внешнего сигнала. Во второй главе рассматривается вопрос о построении электромагнитной трехмерной численной модели низковольтного виркатора с возможностью ввода внешнего сигнала и математической оптимизации ее геометрических параметров и параметров пучка с помощью программного продукта CST Particle Studio. В третьей главе сделан обзор экспериментальных и теоретических работ по релятивистскому двухззорному генератору на виртуальном катоде с внешней электромагнитной обратной связью – виртоду, проведено численное моделирование данного прибора на основе трехмерной электромагнитной модели пучка в программе CST Particle Studio и предложенной модификации двухззорного виртода для работы в режиме усиления мощных СВЧ сигналов. В списке литературы содержится 141 наименование, в том числе 28 – по публикациям автора.

Основные материалы диссертации отражены в опубликованных работах автора.

Наиболее значимыми **новыми научными результатами**, полученными автором диссертации, являются:

Построена аналитическая и численная модели формирования виртуального катода под действием внешней предварительной скоростной модуляции и впервые проведено исследование процесса формирования виртуального катода при внешнем воздействии, подтверждена возможность увеличения выходной мощности излучения виркатора за счет синхронизации собственных колебаний виркатора и внешнего воздействия.

Построена модель и изучены основные закономерности взаимодействия однонаправлено связанных генераторов на виртуальном катоде и получены условия синхронизации, позволяющие увеличить выходную мощность. Проведены детальные исследования процессов перехода связанных систем с виртуальным катодом к режиму синхронизации в рамках диагностики обобщенной синхронизации и синхронизации временных масштабов.

Впервые проведены моделирование физических процессов в нерелятивистском пучке со сверхкритическим током в неавтономном низковольтном виркаторе и оптимизация геометрии прибора с помощью программы CST Particle Studio. Также продемонстрирована возможность увеличения выходной мощности при внешнем гармоническом воздействии. Проведенное сравнение результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований других авторов показало их хорошее качественное соответствие.

Проведено численное моделирование поведения пучка в двухсекционном релятивистском виртоде и выявлен один из механизмов ограничения длительности импульса выходного СВЧ излучения.

Предложена и исследована модель нового мощного двухсекционного усилителя на виртуальном катоде на основе схемы релятивистского

двухазорного виртода–генератора, выявлены основные закономерности работы усилителя.

Оценивая данную диссертационную работу в целом, стоит отметить, что Н.С. Фроловым были получены новые теоретические результаты, связанные с вопросами повышения эффективности работы приборов на основе пучков со сверхкритическим током, которые являются важными для развития современной СВЧ электроники и интересными для инженеров и специалистов, работающих в данном научном направлении.

К достоинствам работы следует отнести её внутреннее единство, широту охвата решаемой проблемы.

Достоверность приведенных в диссертации Н.С. Фролова результатов подтверждается простотой и наглядностью выбранной математической модели, согласованностью результатов, полученных с применением различных методов (качественного рассмотрения, аналитических и численных расчетов). Также следует отметить соответствие ряда полученных автором результатов известным из научной литературы данным.

Диссертации по тематике рассмотренных в ней вопросов удовлетворяет специальностям 01.04.03 – радиоп физика и 01.04.04 – физическая электроника.

Наряду с достоинствами диссертации следует отметить и ее недостатки:

- на рис. 1.12 и рис. 2.12 показаны рассчитанные по одномерной и трехмерной моделям зависимости выходной мощности виркатора от величины внешнего воздействия, но не приводится объяснение качественного отличия результатов – по 1D модели при слабом воздействии наблюдается сначала спад мощности, а затем ее резкий рост, по 3D – монотонный рост с некоторым ускорением,

- в п. 2.2.1 основные геометрические параметры модели выбраны в соответствии с экспериментальным макетом, далее идет выбор некоторых размеров модели, расчет проходил при напряжении 800 В и токе пучка 0,8 А, и потом результаты расчетов без объяснения критериев сравниваются с данными эксперимента, который проводился при напряжении 3 кВ и токе 0,25 А,

- в п. 3.2.2 указывается, что приведенные на рис. 3.11 данные расчета отлично согласуются с экспериментальными данными на рис. 3.4 (стр. 126), но на рис. 3.11 максимум мощности достигается при $L=15,5$ см, на рис. 3.4 - при 12 см, на рис. 3.11 – частота выходного сигнала изменяется от 1,84 до 2 ГГц, на рис. 3.4 – 2,5 – 2,5 ГГц, и также не ясно, каков критерий сравнения.

Следует отметить некоторые погрешности в оформлении работы, например, формула 1.10, ошибки в словах и пропуски слов в тексте: стр. 118 – последняя строка, стр. 119 – 2 строка сверху, 139 – 3 строка сверху.

Высказанные замечания не снижают качества диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке усилителей и генераторов СВЧ диапазона на виртуальном катоде, в лекционных курсах для студентов - радиоп физиков.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и достаточно полно её характеризует.

Диссертация Н.С. Фролова представляет собой законченное научное исследование актуальной проблемы на стыке современной радиофизики и физической электроники, выполненное самостоятельно, на высоком уровне.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Фролов Никита Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 - радиофизика и 01.04.04 - физическая электроника.

Заместитель директора по научной работе
НПЦ «Электронные системы»
АО «НПП «Алмаз»,
д.т.н., профессор

Валерий Павлович Кудряшов

Ведущий научный сотрудник
НПЦ «Электронные системы»
АО «НПП «Алмаз», к.ф. - м.н.

Александр Иванович Петросян

Отзыв утвержден на заседании НТС АО «НПП «Алмаз»
(протокол № 5 от 2 июня 2015 года)