

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Фролова Н.С.
«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,
01.04.04 – физическая электроника

Диссертационная работа Фролова Н.С. посвящена исследованию физических процессов формирования виртуального катода в интенсивном электронном пучке, а также анализу характеристик выходного излучения неавтономного генератора на виртуальном катоде.

Электронно-волновые и пучково-плазменные системы, содержащие интенсивные электронные потоки, самосогласованно взаимодействующие с электромагнитными полями, являются эталонными моделями пространственно-распределенных активных сред, способными демонстрировать различные нелинейные феномены. Анализ поведения таких систем под влиянием различных типов внешнего воздействия или при объединении их между собой является важной задачей современной радиофизики и нелинейной динамики. В то же время, проведение подобных исследований представляет интерес для активно развивающегося в настоящий момент направления сильноточной электроники СВЧ, связанного с повышением эффективности работы генераторов мощного излучения за счет предварительной модуляции пучка внешним относительно слабым электромагнитным воздействием. Таким образом, рассмотренная в диссертационной работе задача изучения влияния внешнего воздействия и обратной связи на динамику интенсивных электронных пучков в режиме формирования виртуального катода является важной для понимания физических процессов, оказывающих существенное влияние на параметры выходного излучения виркаторных систем. В связи со сказанным, актуальность и важность темы диссертации, а также ее соответствие обеим специальностям не вызывают сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность работы, ее новизна, научная и практическая значимость, а также намечаются пути и методы решения поставленных задач. В первой главе диссертации проводится теоретическое рассмотрение общих механизмов динамики пучка с виртуальным катодом под воздействием внешнего сигнала, приводящих к росту мощности выходного СВЧ сигнала, в рамках одномерной модели пучка. Кроме того, изучается динамика

ка однонаправленно связанных генераторов на виртуальном катоде. Важными результатами в данной главе являются демонстрация основных условий, при которых возможно увеличение выходной мощности генератора на виртуальном катоде под внешним воздействием, и установление прямой связи между синхронизацией колебаний виркатора с внешним воздействием и ростом мощности излучения.

Во второй главе подробно описан процесс создания трехмерной математической модели и оптимизации такой разновидности виркаторных систем, как низковольтный виркатор. Показано хорошее качественное соответствие между результатами трехмерного моделирования и результатами, полученными в первой главе с помощью одномерного рассмотрения динамики пучка. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Третья глава посвящена анализу поведения пучка в двухсекционной релятивистской виркаторной системе — виртоде. Построена полностью электромагнитная трехмерная модель пучка в виртоде и дано объяснение наблюдаемому срыву генерации СВЧ импульса с позиций возникающих в данной системе эффектов взаимодействия релятивистского электронного пучка и электромагнитного поля. Помимо этого, автором предложена модель релятивистского усилителя СВЧ сигналов, в которой за основу взята схема релятивистского виртода. Показано, что разработанная схема усилителя на виртуальном катоде обладает достаточно высоким коэффициентом усиления СВЧ сигнала по мощности.

Представленные в диссертационной работе результаты обладают существенной научной новизной. В частности,

- впервые детально изучен процесс группировки электронного потока в области формирования виртуального катода при наличии предварительной скоростной модуляции пучка внешним сигналом;

- обнаружено существование различных типов синхронизации связанных колебательных систем с виртуальным катодом;

- впервые выявлен механизм срыва генерации в релятивистском виртоде, связанный не с нейтрализацией отрицательного пространственного заряда пучка положительными ионами, а с переключением моды колебаний электромагнитного поля в первой секции двухзачорного резонатора.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой квалификации автора работы, от которого потребовалось хорошее владение математическим аппаратом и методами компьютерного эксперимента. Достоверность научных выводов подтверждается их согласованностью между собой и с известными результатами других исследователей, а также

хорошим совпадением результатов аналитического рассмотрения, численного и натурального экспериментов.

Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы определяется возможностью их использования для решения задач, связанных с созданием новых и оптимизацией существующих СВЧ приборов для генерации мощного электромагнитного СВЧ излучения. Кроме того, полученные результаты способствуют пониманию природы физических процессов, протекающих в приборах СВЧ электроники, основанных на взаимодействии пучков с электромагнитным полем.

К недостаткам работы, на мой взгляд, относится следующее:

1) Рассмотренную в первой главе систему двух однонаправлено связанных низковольтных виркаторов не вполне уместно называть цепочкой, так как в этой связанной системе всего два элемента.

2) На блок-схеме релятивистского виртода, представленной на рис. 3.1, не показано расположение поршня, регулирующего высоту второй секции резонатора, что затрудняет понимание устройства установки.

3) В третьей главе проводится сравнение полученных автором результатов численного моделирования релятивистского виртода с экспериментальными результатами других авторов. Однако параметры системы в численном и физическом экспериментах отличаются. Для удобства сравнения результатов было бы желательно использовать при численном анализе такие же значения параметров как и в натурном эксперименте.

4) Зависимости коэффициентов усиления по мощности от частоты и амплитуды внешнего сигнала, представленные на рис.3.15 и 3.16 для релятивистского виртода, не согласуются между собой. На рис.3.15 при $A_{вх}=0.5$ кВ и $f_{вх}=1.14$ ГГц максимальный коэффициент усиления $K \approx 54$, а на рис.3.16 при тех же значениях параметров $K \approx 65$.

5) Диссертационная работа содержит опечатки, в тексте отсутствуют ссылки на некоторые рисунки, автор иногда использует различные обозначения для одних и тех же параметров.

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом диссертационная работа производит очень хорошее впечатление. Работа выглядит единым, цельным произведением, развивающим современные направления исследований, и содержит ряд новых интересных результатов. Автореферат правильно отражает ее содержание.

Работа представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится решение задачи, имеющей существенное значение для радиофизики и физической электроники. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в Саратовском, Нижегородском, Московском и Томском университетах, ведущих подготовку сту-

дентов по радиофизическим направлениям, а также в научных лабораториях ИРЭ РАН, занимающихся исследованиями в области радиофизики и физической электроники.

Результаты диссертации достаточно полно представлены публикациями в отечественных и зарубежных научных журналах, входящих в перечень ВАК для публикации основных материалов кандидатских и докторских диссертаций (ЖТФ, Известия РАН. Серия Физическая, Известия ВУЗов «Прикладная нелинейная динамика», Physics Letters A, The European Physical Journal Special Topics), неоднократно докладывались на международных и российских научных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа Фролова Никиты Сергеевича удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9-14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор работы заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – радиофизика и 01.04.04 – физическая электроника.

05.06.2015

Официальный оппонент
заведующий лабораторией
моделирования в нелинейной динамике
Саратовского филиала Института радиотехники
и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
д.ф.-м.н.

Прохоров Михаил Дмитриевич

Рабочий адрес: 410019, г. Саратов, ул. Зеленая, 38; Телефон: +79063105531;
e-mail: mdprokhorov@yandex.ru

Подпись Прохорова М.Д. заверяю
Зам. директора по науке
СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
д.ф.-м.н.



Е.П. Селезнев