

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Фролова Никиты Сергеевича

“КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, СИНХРОНИЗАЦИЯ И УСИЛЕНИЕ СИГНАЛОВ В НИЗКОВОЛЬТНОМ ВИРКАТОРЕ И ВИРТОДЕ”,

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальностям 01.04.03 – радиопизика

и 01.04.04 – физическая электроника.

В настоящее время СВЧ электроника определяет современный образ техники практически во всех областях: системы космической связи, спутниковые системы навигации, сотовая связь т.д. немыслимы без развития методов генерации и усиления электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона. Конкретная область техники применения ставит перед СВЧ электроникой весьма специфические задачи, решение которых представляет фундаментальную проблему науки. И одной из основных задач является разработка новых методов генерации и усиления СВЧ колебаний. Фактически на сегодняшний день чуть ли не единственным низковольтным источником СВЧ энергии являются магнетронные генераторы, альтернативы которым по уровню электронного КПД и качества спектра выходного сигнала нет. Однако подобные системы имеют и ряд существенных недостатков: сложность изготовления, сложность электродинамической системы, жесткие требования к нагрузке и т.д.

Поэтому **актуальность** диссертации, направленной на разработку и исследования новых методов генерации, и широкий прикладной охват темы не подлежат сомнению.

В ходе исследовательских работ автором получены существенно **новые результаты**:

1. Построена физическая модель формирования нерелятивистского виртуального катода для пучков с предварительной модуляцией и разработана численная методика проектирования устройств с предмодуляцией.

2. Теоретически показана возможность увеличения электронного КПД систем с предмодуляцией и дан критерий выбора частоты внешнего воздействия, которая обеспечивает резкий рост выходной мощности.
3. Построена физическая модель связанных генераторов на виртуальном катоде по схеме «ведущий – ведомый» и обнаружены режимы существенного роста электронного КПД в подобных системах.
4. Дано детальное 3D моделирование физических процессов в нерелятивистском пучке со сверхкритическим током в виркаторе и впервые проведено сопоставление результатов моделирования и экспериментов.
5. Методами трехмерного моделирования выявлены физические процессы, протекающие при срыве СВЧ импульса в двухсекционном виртоде и дано сопоставления моделирования и экспериментальных исследований.
6. Предложена новая схема усилителя на двухсекционном виркаторе.

**Обоснованность и достоверность** полученных автором результатов и вынесенных на защиту положений подтверждается их воспроизводимостью, согласованностью расчетных данных, полученных соискателем на основе различных математических моделей, с обширным экспериментальным материалом.

**Новизна** научных методов, описанных в диссертационном исследовании Фролова Н.С., подтверждена так же пятью свидетельствами о государственной регистрации программ анализа физических процессов в виркаторных системах. В целом, результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями для вакуумной электроники.

**Значимость** для практики результатов диссертационной работы Фролова Н.С. состоит в детальном исследовании новых принципов построения генераторов и усилителей СВЧ и предложении конкретных схем построения приборов, а так же в разработке программ и методов проектирования предложенных устройств.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Содержание разделов работы представляется ло-

гически целостным, в них последовательно излагаются постановка и решение основных задач исследований, объединенных целью диссертационной работы. По каждой главе и работе в целом сделаны выводы.

Представленная диссертация не лишена отдельных недостатков:

1. Некоторые математические определения требуют большей обоснованности: так, на стр. 46 определение мощности дается интегралом, нижний предел которого есть время окончания переходного процесса. Определение странное, поскольку при таком рассмотрении длительность фронта СВЧ импульса (и спада) просто не учитывается. Связано ли это с малым временем фронта/спада, или с чем-то еще, не оговаривается.
2. При численном анализе (стр. 87 и далее) низковольтного виркатора с предмодуляцией в секции замедляющей системы типа «спираль в экране» совершенно ничего не сказано о согласовании спирали и ввода/вывода энергии. В эксперименте, вероятно, этот вопрос решен, но численная модель в данном случае сложнее. Каков КСВн ввода/вывода? Если он больше 3 то говорить о каких-либо характеристиках с точки зрения выходной мощности весьма проблематично, при том, что задача расчета КСВн, или коэффициента отражения в MWS решается однозначно.
3. При анализе двухсекционных систем рассмотрена модель без вывода энергии, т.е. выходной резонатор не нагружен на волновод. Прежде всего, нагрузка волноводом существенно сместит парциальную частоту выходного резонатора, и сместит спектр частот связи. Кроме того, несимметричная нагрузка только выходного звена приводит к существенному изменению сопротивления излучению электронного потока. Рассмотренная 3D модель позволяет учесть все эти факты, однако рассмотрена только идеализированная модель устройства, далекая от практического воплощения.

4. Предложенный автором усилитель обеспечивает уровни усиления в 15-17 дБ. Этого явно недостаточно для аппаратуры применения.
5. В тексте диссертации присутствуют досадные опечатки: «модуляции пучка о скорости» (стр. 35), «численно, с учетом граничных» (стр. 40), «когда наступает происходит» (стр. 50) и т.д.

Сделанные замечания, впрочем, не снижают общей научной и прикладной значимости представленной на защиту работы. В целом диссертация Фролова Н.С. выполнена на высоком уровне, она представляется законченным исследованием, содержащим неоспоримые новые научные результаты и имеющим несомненную практическую значимость. Содержание работы достаточно полно отражено в представленном автореферате.

Содержание диссертации Фролова Н.С. соответствует паспортам специальностей 01.04.03 – Радиофизика и 01.04.04 – Физическая электроника, отвечает требованиям пп. 9-14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Считаю, что Фролов Н.С. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 01.04.04 – Физическая электроника

Заместитель начальника  
научно-технического комплекса по разработкам  
ФГУП «НПП»Торий»,  
доктор технических наук

  
Комаров Дмитрий Александрович

Адрес: г. Москва, ул. Обручева, д. 52

телефон: 8(499)3326866

e-mail: [komardmitrij@yandex.ru](mailto:komardmitrij@yandex.ru)



*Иванов*  
*2015* *Еконюк*