

ОТЗЫВ

официального оппонента Рыскина Никиты Михайловича
о диссертационной работе Вилкова Михаила Николаевича
«Электронные генераторы мощных ультракоротких
микроволновых импульсов с пассивной синхронизацией мод»
на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.04.03—«Радиофизика»

Подход, основанный на поиске аналогий между явлениями, наблюдаемыми в системах квантовой электроники и в системах типа «электронный поток – электромагнитное поле», является плодотворным и часто приводит к оригинальным и фундаментальным научным результатам. Именно такой подход характерен для научной школы, к которой принадлежит соискатель. В данном случае речь идет об известной идее применения пассивной синхронизации мод для генерации периодической последовательности ультракоротких импульсов (УКИ). Диссертация посвящена реализации подобных режимов в кольцевых системах, содержащих электровакуумный усилитель и насыщающийся нелинейный поглотитель. Эта тематика безусловно является весьма актуальной и практически значимой для современной радиофизики и СВЧ электроники.

Основное содержание диссертации изложено в трех главах. В первой главе развита упрощенная модель генератора последовательности УКИ. Модель включает, во-первых, активный элемент в виде электронного усилителя, уравнения которого записаны в так называемом приближении преобладающей инерционной группировки. Данные уравнения имеют универсальный вид, пригодный для описания как черенковского, так и гирорезонансного механизма взаимодействия. Также система включает поглотитель, который описывается нелинейной передаточной характеристикой, не зависящей от частоты. Несмотря на определенную идеализацию, модель позволяет выделить наиболее характерные физические особенности процессов генерации УКИ. В частности, показано, что генерация последовательностей импульсов с высокой пиковой мощностью реализуется при тех значениях параметров, когда в системе без поглотителя имеет место широкополосный хаотический режим. Показано, что импульс можно интерпретировать как диссипативный солитон. Выявлены режимы мягкого и жесткого возбуждения. Развита методика учета неоднородного уширения (т.е. скоростного разброса электронов), показано, что неоднородное уширение не оказывает существенного влияния на параметры импульсов.

Во второй главе предложены и исследованы различные способы практической реализации насыщающегося поглотителя. Фактически рассматриваются два варианта: цикло-

тронный поглотитель на основе прямолинейного электронного пучка в постоянном магнитном поле и поглотители на основе ЛБВ (как О-типа, так и giro-ЛБВ) в режиме срыва Компфнера. Предложены методики синтеза поглотителей, обладающих требуемыми параметрами.

Наконец, в третьей главе представлены результаты исследований конкретных кольцевых генераторов с насыщающимися поглотителями. Здесь представлен большой объем материала, рассмотрены различные варианты построения генераторов: ЛБВ-усилитель и ЛБВ-поглотитель; ЛОВ-генератор и ЛБВ-поглотитель; релятивистская ЛБВ и циклотронный поглотитель; цепочка из двух giro-ЛБВ (усиливающей и поглощающей) с винтовым волноводом. В целом результаты хорошо согласуются с картиной, полученной в Главе 1 в рамках модели с идеализированным поглотителем. Однако в данном случае можно получить более реалистичные количественные значения выходных параметров. Наиболее глубоко проработаны проекты генераторов с активным элементом на основе giro-ЛБВ на 2-й циклотронной гармонике (разд. 3.4 и 3.5), в том числе, проведено сопоставление с результатами экспериментальных исследований компфнеровского поглощения. Предложен оригинальный сценарий включения генератора, позволяющий реализовать режим жесткого возбуждения без источника внешнего сигнала.

В основном в диссертации представлены результаты компьютерного моделирования на основе традиционных методов СВЧ электроники. Однако в работе также присутствует и теоретический анализ упрощенных моделей (например, клистронная модель, развитая в разд. 3.3).

Все перечисленные выше основные результаты диссертации являются новыми и представляют очевидный научный интерес.

Тем не менее, по тексту диссертации можно сделать ряд замечаний.

1) Как уже отмечалось выше, в диссертации рассмотрен достаточно широкий круг кольцевых генераторов, отличающихся как активным элементом, так и насыщающимся поглотителем. В связи с этим, желательно было бы видеть какие-либо обобщающие выводы, позволяющие судить о том, в каких условиях можно отдать предпочтение той или иной конструкции. Отчасти такие рассуждения присутствуют в конце 2-й главы, однако следовало бы развить их более подробно.

2) Как отмечено в разд. 1.2, может иметь место как мягкий, так и жесткий режим возбуждения генератора. Это иллюстрируется рисунком 1.3, на котором изображены две слегка отличающиеся передаточные характеристики поглотителя. Однако какие-либо конкретные количественные критерии не приведены, автор просто ограничивается замечанием «Если уровень подавления малого сигнала в поглощающей секции таков, что условия

самовозбуждения генератора выполнены ...» (с. 19). В то же время, линейная теория самовозбуждения электронного генератора с внешней обратной связью очень подробно развита. Методически правильно (и не слишком трудно) было бы получить и обсудить условия самовозбуждения для различных случаев, рассматриваемых в диссертации, однако этого сделано не было.

3) Приведенные в диссертации зависимости формы и параметров импульса от длины усилителя L (рис. 1.10) демонстрируют аналогию с автомодельными решениями (см., например: Ростунцова А.А., Рыскин Н.М. // ЖЭТФ **154**, 691 (2018)). В частности, из упомянутой работы следует, что пиковая амплитуда импульса должна расти пропорционально L , а ширина — сокращаться как $L^{-1/2}$. Судя по рисунку, это так, однако желательно было бы привести результаты количественного сопоставления.

4) В разделе 2.2 отмечается, что существует, вообще говоря, бесконечный набор параметров (относительный угол пролета и длина системы), при которых выполняются условия компфнеровского подавления в ЛБВ О-типа. При этом автор не объясняет, каким образом были получены соответствующие значения, а ограничивается фразой «Исследования показывают, что ...».

5) В разделе 3.3 рассматривается клистронная модель, когда считается, что взаимодействие пучка с полем происходит на коротких участках вблизи концов системы. Она позволяет получить достаточно простые аналитические выражения для электронной восприимчивости. Клистронная модель различных СВЧ приборов (ЛСЭ, гиротрон, ЛОВ) развивалась многими авторами: Н.С. Гинзбург и С.П. Кузнецов (1981), Г.С. Нусинович и Э.М. Шер (1983), Н.С. Гинзбург и М.И. Петелин (1985), Т.М. Antonsen and В. Levush (1989), В.Л. Братман и А.В. Савилов (1995), Э.Б. Абубакиров и А.П. Конюшков (2010) и др. Однако ссылки на предшествующие работы в диссертации отсутствуют.

6) Встречаются отдельные неудачные с моей точки зрения формулировки. Например, в качестве одной из целей работы декларируется «разработка макетов генераторов УКИ». Непонятно, какие же макеты были разработаны. Перечень основных результатов дублируется во Введении (с. 13) и в Заключение. Встречаются жаргонные выражения, например, «полочка распадётся на несколько импульсов ...» (с. 26). В тексте довольно много опечаток, например, «поглощение излучения» (с. 98).

Однако отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации, которая представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную решению актуальной задачи радиофизики. Материал, вошедший в диссертацию, ясно изложен и логично структурирован. Самостоятельность и оригинальность исследования (включая личный вклад автора), не вызывают

сомнений. Результаты диссертации обладают научной новизной и практической значимостью, а основные выводы и положения, выносимые на защиту, представляются обоснованными и достоверными. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации широко опубликованы, включая 9 статей в ведущих российских и зарубежных научных журналах, а также докладывались на многочисленных всероссийских и международных конференциях. Содержание диссертации полностью соответствует специальности 01.04.03—«Радиофизика».

Считаю, что диссертационная работа в полной мере удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Вилков Михаил Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03—«Радиофизика».

Официальный оппонент:

Рыскин Никита Михайлович

д.ф.-м.н. (спец. 01.04.03 и 01.04.04), профессор,

главный научный сотрудник, Саратовский филиал ФГБУН

«Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН»

410019, г. Саратов, ул. Зеленая, 38

e-mail: RyskinNM@info.sgu.ru

Тел. 8(8452)391225

Подпись Рыскина Н.М. заверяю:

Заместитель директора по научной работе СФ ИРЭ РАН,

д.ф.-м.н.



Е.П. Селезнев

20. 11. 2019 г.