

ОТЗЫВ

официального оппонента Аржанникова Андрея Васильевича 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

Диссертационная работа Вилкова Михаила Николаевича посвящена теоретическому исследованию генерации последовательности ультракоротких импульсов (УКИ) излучения на длине волны в области одного сантиметра на основе механизма пассивной синхронизации мод. Этот механизм широко используется в физике лазеров для генерации фемтосекундных импульсов, но относительно мало исследован применительно к вакуумной электронике. В качестве базовой схемы генератора УКИ автором исследована двухсекционная схема, в которой одна секция представляет собой электронный усилитель, а другая – нелинейный (насыщающийся) поглотитель. Анализ работы такого генератора проведён на основе решения самосогласованных моделей, включающих усредненные уравнения движения частиц и уравнения для медленноменяющихся амплитуд волны. При этом диссертантом рассматривается возможность генерации импульсов с пиковой мощностью масштаба киловатта и выше, что потребовало от него разработки насыщающегося поглотителя, способного функционировать при высоком уровне мощности входного сигнала. В работе предложено и исследовано несколько схем насыщающегося поглотителя, которые базируются на использовании электронно-волнового взаимодействия. Реализация рассмотренного автором механизма пассивной синхронизации мод в приборах сантиметрового диапазона длин волн может позволить существенно расширить прикладные возможности электронных генераторов, включая радиолокацию высокого разрешения, диагностику плазмы и др., что в полной мере подтверждает актуальность темы диссертационной работы.

Диссертационная работа Вилкова М.Н. состоит из трёх глав, в которых описано решение задач, направленных на достижение следующих принципиально важных целей.

1. Провести теоретическое исследование возможности генерации УКИ микроволнового излучения с помощью метода пассивной синхронизации мод на основе рассмотрения работы технического устройства, состоящего из электронного усилителя, нелинейного поглотителя, цепи обратной связи, образующей резонатор, и ответвителя, выводящего часть излучения в полезную нагрузку.

2. Выполнить теоретический анализ эффектов, позволяющих реализовать нелинейное поглощение микроволнового излучения, и на этой основе осуществить синтез насыщающихся поглотителей, которые необходимы для реализации метода пассивной синхронизации мод в этом частотном диапазоне электромагнитных волн.

3. Осуществить разработку макетов генераторов УКИ с пассивной синхронизацией мод в рамках двухсекционной схемы с усиливающим и поглощающим электронными пучками. В том числе, на базе моделей, учитывающих реальную дисперсионную характеристику электродинамических систем.

Все цели, стоявшие при проведении исследований в рамках диссертационной работы, были успешно достигнуты при её выполнении. Основные результаты работы, которые обладают несомненной новизной, можно сформулировать в следующем виде.

1. Найдены оптимальные условия для генерации УКИ в схеме с электронным усилителем и насыщающимся нелинейным поглотителем в цепи обратной связи. В усилителе благоприятна ситуация, когда имеет место различие между поступательной скоростью частиц электронного потока и групповой скоростью волны. В этом случае импульс высокочастотного поля смещается вдоль электронного потока, что способствует более эффективному его усилению. В поглотителе, напротив, оптимален режим группового синхронизма (равенство поступательной скорости частиц и групповой скорости волны). В этом случае минимизируется влияние смежных фрагментов электромагнитного импульса друг на друга через электронный поток и достигается максимальный контраст между подавлением малого сигнала шумового фона и практически полной прозрачностью для фрагментов импульса большой амплитуды. Показано, что в таких условиях пиковая амплитуда импульсов излучения может превосходить уровень стационарной генерации, а в ряде случаев и значение мощности электронного потока запитывающего усилитель в данный момент времени.

2. Показана возможность реализации насыщающегося поглотителя на основе резонансного циклотронного взаимодействия излучения с первоначально прямолинейным замагниченным пучком. Насыщение поглощения обусловлено релятивистской зависимостью гирочастоты от энергии частиц. В качестве альтернативного варианта показана возможность реализации насыщающегося поглотителя на основе черенковских ЛБВ и giro-ЛБВ с гладким или многозаходным винтовым волноводом, работающих в режиме компфнеровского подавления входного сигнала.

3. Проведено моделирование и разработан макет генератора УКИ 8-ми миллиметрового диапазона на основе винтовой giro-ЛБВ и циклотронно-резонансного насыщающегося поглотителя. Динамические модели усилителя и поглотителя учитывают реальную дисперсию электродинамических систем, конечность рабочих полос усиления и поглощения. Расчетная пиковая мощность импульсов достигает 400 кВт при длительности на полувысоте 200 пс и частоте повторения до 1 ГГц.

Эти результаты диссертации в полной мере достоверны. Проведенное в работе сравнение полученных результатов и выводов с уже известными результатами из физики лазеров показало, что механизм генерации УКИ импульсов в электронных генераторах в определенных приближениях аналогичен тому, что реализуется в лазерах, и может быть описан универсальным образом как формирование диссипативных солитонов. Вместе с тем, существует и значительная специфика, связанная с движением активной среды, которой является электронный пучок. В частности, показано, что при генерации микроволновых импульсов максимальной амплитуды в усилительной секции должен

реализоваться режим проскальзывания излучения относительно пучка, при котором групповая скорость импульса излучения отлична от поступательной скорости электронов. В таких условиях пиковая мощность генерируемых импульсов может значительно превышать мощность электронного потока для данного момента времени. Практическая реализация такого режима генерации представляется вполне достижимой, поскольку подобный эффект был ранее указан и экспериментально подтвержден в случае генерации одиночных импульсов сверхизлучения. В - диссертационной работе также продемонстрирована возможность генерации периодической последовательности импульсов излучения с мгновенным КПД, превышающем 100%, что характерно для процесса генерации импульсов сверхизлучения.

Тщательным анализом полученных решений и сопоставлением их с результатами исследований других авторов по данной тематике, диссертант показал достаточную обоснованность сформулированных в работе выводов и рекомендаций. Эти рекомендации, безусловно, представляют значительный интерес для инженеров, которые будут создавать приборы по схеме генератора УКИ, предложенной в диссертации. Это обстоятельство характеризует автора диссертации как высококвалифицированного исследователя, работы которого имеют несомненный интерес для инженерных решений в области радиофизики.

Несмотря на высокую оценку научной значимости диссертационной работы Вилкова М.Н., по её тексту можно сделать следующие замечания.

1. Не совсем ясно, чем определяются минимальная длительность УКИ импульсов. Возникает вопрос: «Можно ли на основании предложенного в диссертации метода генерировать последовательность импульсов с предельно малой длительностью, масштаба нескольких периодов высокочастотных колебаний?»

2. Автором совсем не упоминается возможность генерации ультракоротких импульсов при использовании всего лишь одного электронного пучка, которая, в принципе, возможна за счёт подходящего выбора структуры секций генератора. Например, сначала пучок движется прямолинейно в гофрированном волноводе и усиливает излучение, а затем на этом же пучке в регулярном волноводе реализуются условия циклотронно-резонансного поглощения за счёт выбора необходимой величины ведущего для электронов пучка магнитного поля.

3. В тексте нет достаточного объяснения расхождению между полученной в эксперименте зависимостью коэффициента поглощения излучения от частоты в винтовой гиро-ЛБВ в режиме компферновского подавления и кривой, полученной при численном моделировании для этого параметра в данном режиме, которые совместно представлены на Рис. 3.11 (стр. 88).

4. Отсутствует анализ ограничений на амплитуду импульсов, связанных с развитием высокочастотного пробоя в вакуумной камере и на окнах, через которые проходит поток излучения.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными для данной теоретической работы и носят скорее характер пожеланий на дальнейшее развитие исследований. Они ни в коей мере не снижают общей положительной оценки диссертации.

Диссертация написана грамотным языком, хорошо оформлена и проиллюстрирована, но не лишена опечаток. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. В то же время, в нём имеется небольшая оплошность: в подписи к Рис. 1 перепутана нумерация узлов, входящих в схему генератора. Следует отметить, что в тексте диссертации подпись к этому рисунку корректна.

Оценивая диссертацию Вилкова Михаила Николаевича в целом, могу утверждать, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную решению актуальной задачи радиофизики. Достоверность результатов диссертационной работы и высокий личный вклад автора не вызывают сомнений. Основные выводы и положения, выносимые автором на защиту, представляются достаточно обоснованными и достоверными. Результаты, представленные в диссертации, в значительной мере опубликованы, включая статьи в таких высокорейтинговых научных журналах IEEE Transactions on Electron Devices, Physics of Plasmas, Письма в ЖТФ, ЖТФ, Изв. Вузов Радиофизика и др. Эти результаты прошли широкую апробацию на ведущих всероссийских и международных конференциях по электронике и радиофизике. Содержание диссертации полностью отвечает 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 РФ № 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.

21.11.2019

Официальный оппонент:

Аржанников Андрей Васильевич

д.ф.-м.н. (специальность 01.04.08 - Физика плазмы), профессор,

главный научный сотрудник

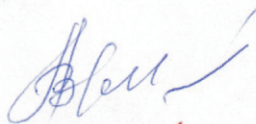
ФГБУН «ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН»

630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 11

тел.: 8 (383) 329-45-89

e-mail: arzhan1@ngs.ru

д.ф. - м.н., проф.



Аржанников А.В.

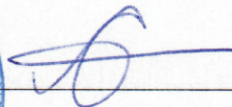
Я, Аржанников Андрей Васильевич, выражаю своё согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Подпись Аржанникова А.В. заверяю:

учёный секретарь

ФГБУН «ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН»

к. ф.-м. н.



Аракчеев А.С.