

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Припутнева Павла Владимировича «Формирование мощных наносекундных высокочастотных импульсов в частично заполненных ферритом коаксиальных линиях с различными дисперсионными свойствами»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. (01.04.04) – физическая электроника

Актуальность тематики исследования

Диссертационная работа Припутнева П.В. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию процессов генерации мощных высокочастотных электромагнитных импульсов в нелинейных передающих линиях, заполненных ферритом.

Важной положительной с точки зрения потребителя особенностью таких устройств является отсутствие вакуумных систем и электронных пучков и, как следствие, отсутствие сопутствующего рентгеновского излучения, а также проблем, связанных с ограниченным ресурсом взрывоэмиссионных катодов.

Уровни достигаемой мощности в сотни мегаватт при частоте высокочастотного (ВЧ) заполнения единицы гигагерц, длительности импульсов несколько наносекунд и возможность работы с частотой повторения до единиц килогерц в совокупности с умеренными массогабаритными характеристиками делают эти источники особенно привлекательными для таких приложений как радиоэлектронное противодействие, воздействие на электронную аппаратуру и биологические объекты, радиолокация и ряд других.

Ранее, на основе линий с непрерывным заполнением ферритом были разработаны практические устройства для обострения фронта импульса напряжения, а также источники ВЧ импульсов, в том числе фазированные многоканальные. Однако и в настоящее время остается достаточно много нерешенных проблем и направлений совершенствования этих приборов.

В частности, до недавнего времени отсутствовал т.н. полноволновой 3-мерный компьютерный код, позволяющий моделировать такие системы с максимальным приближением к реальности, т.е. выполнять т.н. численные эксперименты. В практическом плане серьезным недостатком таких систем являлось использование достаточно габаритных и энергозатратных соленоидов на постоянном токе.

Данная диссертационная работа в основном сфокусирована на решении этих двух задач, что и определяет актуальность ее тематики.

Научная новизна

Представленные в диссертации исследования и результаты, несомненно, соответствуют критериям научной новизны.

В первую очередь следует отметить то, что автором, совместно с В.П. Таракановым, был успешно модифицирован компьютерный код КАРАТ путем добавления модуля,

соответствующего электромагнитному моделированию процессов, происходящих в ферритовом заполнении в т.ч. и коаксиальной линии передачи. На основе этого кода автором был выполнен большой объем расчетов, которые, во-первых, позволили верифицировать данную модель на основе сравнения с имеющимися экспериментальными данными, и, во-вторых, позволили выявить определенные неточности теоретических моделей, использовавшихся до этого, а также обозначить ряд не очевидных зависимостей и эффектов, которым ранее уделялось не так много внимания: в частности, зависимость параметров генерируемого ВЧ сигнала от геометрического заполнения ферритом пространства коаксиальной линии, а также зависимость от полярности падающего на линию импульса напряжения. Несколько можно понять из анализа предшествующих работ, данные эффекты были не только впервые обнаружены теоретически, но и верифицированы в специально поставленных автором экспериментах.

Также впервые была систематически (теоретически и экспериментально) исследована конфигурация коаксиальной линии с гофрированным внутренним проводником и чередующимися кольцами из ферритов и постоянных неодимовых магнитов, в которой феррит насыщается в поле магнитных колец. Такое техническое решение позволяет избежать использования соленоидов для насыщения ферритового заполнения линий, что положительно отражается на массо-габаритных характеристиках устройства и его энергопотреблении.

Впервые продемонстрировано эффективное возбуждение высокочастотных колебаний при распространении высоковольтного импульса по коаксиальной линии с гофрированным внутренним проводником и чередующимися кольцами из ферритов и магнитов. Достигнутая в экспериментах высокая пиковая мощность (до 800 МВт) ВЧ колебаний с несущей частотой гигагерцового диапазона и длительностью импульса порядка 10 нс свидетельствует о высокой перспективности данной модификации устройства.

Обоснованность и достоверность результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Результаты компьютерного моделирования, представленные в работе, в большинстве случаев находятся в достаточно убедительном соответствии с экспериментами. Следует особо положительно отметить постановку и проведение специальных экспериментов, направленных на верификацию не очевидных физических эффектов, впервые обнаруженных при детальном компьютерном моделировании.

Научные положения, выводы и рекомендации четко сформулированы и в большинстве случаев адекватно обоснованы в тексте диссертации. Достоверность результатов экспериментов подтверждается их воспроизводимостью, сопоставлением с результатами, получаемыми другими научными группами, использованием общепринятых методик проведения измерений. Полученные результаты опубликованы в авторитетных российских и международных журналах, были представлены на различных российских и международных конференциях.

Работа достаточно хорошо логически выстроена и изложена. Ее материал соответствует специальности 1.3.5 – физическая электроника. Диссертация и автореферат дают полное представление о проведенных автором исследованиях. Автореферат соответствует структуре и содержанию диссертационной работы.

Практическая значимость

В ходе выполнения работы был создан существенный задел для разработки и создания востребованных для практических приложений генераторов мощных наносекундных импульсов высокочастотного электромагнитного излучения на основе коаксиальных гофрированных линий с чередующимися кольцами из ферритов и постоянных магнитов. Данные генераторы могут быть использованы в конструкции источников излучениях с эффективным потенциалом несколько сотен киловольт в дециметровом диапазоне длин волн. Частотный диапазон генераторов 0,7–3,6 ГГц, пиковая мощность 20–800 МВт, энергетическая эффективность до 6%, длительность ВЧ импульса 3–12 нс.

Замечания

Работа в целом оставляет весьма благоприятное впечатление. Тем не менее, к материалу диссертации и его представлению имеется ряд критических замечаний:

- 1) Повсеместно в тексте диссертации для обозначения как теоретических, так и экспериментальных временных зависимостей используется термин «осциллограммы», что представляется не совсем корректным для расчетных зависимостей, и зачастую, вводит читателя в заблуждение (по крайней мере, заставляет его отыскивать соответствующие комментарии в тексте).
- 2) В диссертации отмечено, что: «Параметр феноменологического затухания был равен $\alpha=0.15$ во всех представленных в работе расчетах». При этом не представлено какого-либо обоснования выбора этого параметра, тем более, что в предшествующих теоретических работах других авторов величина этого параметра, как правило, рассматривалась в 2-3 раза меньшей.
- 3) Диэлектрические потери в ферритах и вакуумном масле, по-видимому, могут быть легко заданы в качестве параметров в коде КАРАТ. Однако в расчетах, представленных в диссертации, эти потери не учитывались (или оппоненту не удалось найти соответствующей информации). По моему мнению, информация и комментарии по данному поводу были бы весьма уместными.
- 4) В работе встречается ряд неоправданно категоричных и недостаточно обоснованных утверждений, например:
 - а) «Ранее, в отсутствие возможностей численного моделирования, разработка и оптимизация генераторов высокочастотных импульсов на основе НПЛ с насыщенным ферритом проводились эмпирически.» - Таким высказыванием фактически обнуляются все предшествующие теоретические работы в данном направлении;
 - б) «...можно сделать вывод, что создание магнитной системы, внутрь которой помещается нелинейная передающая линия с ферритом, не может являться альтернативой соленоиду для насыщения заполнения линии.» (имеется в виду создание магнитной системы «трубчатой формы» на постоянных магнитах);
 - в) «Реализация коаксиальной линии передачи, в которой между проводниками в продольном направлении чередуются ферритовые кольца и постоянные магниты является невозможной.»

5) Не указан ряд важных геометрических размеров гофрированных линий, в частности, периода гофрировки, а также параметров l_f , l_g и R_0 , обозначенных на Рис. 5.7.

Кроме того, основные выходные параметры импульсов, полученных в экспериментах с шестью ГНПЛ, полезно было бы свести в одну итоговую таблицу, что, впрочем, сделано в автореферате, но явно не хватает в самой диссертации. Кроме параметров, приведенных в Таблице 3 и 4 автореферата, полезно было бы привести и эффективность.

6) В диссертации не дано четкого математического определения величины «эффективности преобразования энергии импульса напряжения в энергию высокочастотных колебаний», которая часто используется в качестве одного из основных выходных параметров, характеризующих НПЛ (или оппоненту не удалось найти соответствующей информации).

7) Комментарии по поводу влияния полярности падающего напряжения на форму выходного сигнала, такие как: «Простая аналитическая оценка, подкрепленная численным расчётом, указывает на то, что направление азимутальной компоненты магнитного поля, в отличии от аксиальной компоненты, влияет на вихревой ток в феррите и, следовательно, на формирование фронта ударной волны», представляются не совсем убедительными, т.к. они применимы и для случаев, когда влияния полярности быть не может в силу симметрии геометрии и исходной изотропности задаваемой физической среды, например, в случае плоской геометрии (полосковой линии) симметрично заполненной ферритом.

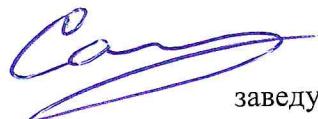
8) Несколько раз в тексте диссертации уменьшение центральной частоты импульса по мере его распространения в НПЛ объясняется «дисперсионным расплыванием импульса», что представляется не совсем корректным. Обычно под дисперсионным расплыванием понимается заметное увеличение длительности короткого (несколько периодов квазимохроматических колебаний) импульса при его распространении в линейной среде с дисперсией, где групповая скорость волны зависит от частоты. При этом изменения спектральных характеристик импульса, по крайней мере, модуля Фурье-преобразования, не происходит (в пренебрежении потерь), т.к. среда однородная и линейная. В разделах диссертации 4.1 и 4.2 при решении задачи о распространении импульса с коротким фронтом в НПЛ без феррита автор справедливо отмечает, что спектр импульса практически не меняется, тем не менее, осцилляции на переднем фронте (так же как и в НПЛ с ферритом) возникают, и временные промежутки между максимумами и минимумами этих осцилляций изменяются по мере увеличения длины линии. Но в линейной задаче никакой выделенной частоты нет, и поэтому не корректно говорить о ее изменении и «дисперсионном расплывании». Можно также заметить, что когда автор говорит о «дисперсионном разбеге гармоник фронта волны E00», то опять-таки сравнивает это с дисперсионным расплыванием коротких импульсов, ссылаясь на работы по оптике фемтосекундных импульсов. Более уместным в данном случае представляется сравнение тоже из области оптики, но не во времени, а в пространстве. В классических работах по оптике и многих учебниках можно найти картину дифракции плоской монохроматической волны на краю плоского непрозрачного экрана. Там также возникают осцилляции, очень похожие на многие «осцилограммы», приводимые в диссертации, но не во времени, а в пространстве. В связи с этим представляет интерес сравнение уравнений и их приближенных интегральных решений, описывающих данные эффекты в оптике и в рассматриваемых НПЛ, т.к. в оптике поведение таких дифракционных

максимумов и минимумов хорошо известно и может быть найдено на основе графоаналитических методов (спирали Корню).

Отмеченные замечания недостатки не снижают общей высокой оценки диссертационной работы Припутнева П.В.

Общее заключение.

Диссертационная работа П.В. Припутнева «Формирование мощных наносекундных высокочастотных импульсов в частично заполненных ферритом коаксиальных линиях с различными дисперсионными свойствами» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком профессиональном уровне. Работа соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени по специальности 1.3.5 - физическая электроника.



Самсонов Сергей Викторович
доктор физ.-мат. наук, профессор РАН
заведующий лабораторией широкополосных гироприборов
отдела электронных приборов

Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей.
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук
603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46,
тел. +7 (831) 416-46-21,
e-mail: samsonov@ipfran.ru.

Подпись Самсонова С.В. удостоверяю

Зам. директора ИПФ РАН по научной работе

Глявин М. Ю.

