

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Припутнева Павла Владимировича «Формирование мощных наносекундных высокочастотных импульсов в частично заполненных ферритом коаксиальных линиях с различными дисперсионными свойствами» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 1.3.5 – физическая электроника

Актуальность тематики исследования

Развитие технологии генерации высокочастотных импульсов с использованием нелинейных передающих линий (НПЛ) с ферритом отсчитывается с первых работ R.V. Pound (1959), Г.И. Фрейдмана (1960), В.Л. Elliott (1960) и др. Фундаментальные основы этого направления развивались при решении задач обострения видеоимпульсов в нелинейных линиях передачи (в волноводах, коаксиальных линиях), создания устройств генерации высокочастотных импульсов, моделирования процессов в системах с пространственной дисперсией. Перспектива получения высокочастотных импульсов большой мощности, наряду с другими факторами, определяет выбранную тему диссертации весьма актуальной. Особую важность создание источников высокочастотных импульсов имеет для развития электронных средств испытания аппаратуры связи, радиолокации при решении задач обеспечения электромагнитной совместимости и устойчивости к внешним воздействиям.

Ранее на основе линий с ферритом были созданы генераторы, одноканальные и многоканальные источники высокочастотного излучения. В них для предварительного насыщения ферритового заполнения и фазировки многоканальных источников используются соленоиды. Основные закономерности и результаты работ были получены экспериментально. В диссертации решается актуальная задача развития более детального представления о физических закономерностях и процессах, происходящих в линиях с насыщенным ферритом.

Структура диссертации

Структура и содержания диссертации соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. В диссертационной работе представлены результаты исследований генерации высокочастотных импульсов в линиях с частичным ферритовым заполнением коаксиальной конфигурации. Во **введении** сформулирована цель и поставлено три логически связанных задачи. Охарактеризована **научная новизна**, состоящая в следующем:

1. В численном эксперименте определены характеристики нелинейной передающей линии с однородным ферритовым заполнением, при которых достигается максимальная эффективность преобразования энергии высоковольтного импульса в высокочастотные колебания (импеданс линии, коэффициент поперечного заполнения, диэлектрическая проницаемость феррита и др.)

2. Построена физическая модель возбуждения высокочастотных колебаний в линии с однородным ферритовым заполнением, позволяющая объяснить характер зависимости частоты возбуждаемых колебаний от поперечных размеров линии и диэлектрической проницаемости ферритового заполнения.

3. Для коаксиальной линии с гофрированным внутренним проводником и периодическим расположением колец из постоянных магнитов и ферритов показано, что при распространении в ней высоковольтного импульса с субнаносекундным фронтом происходит возбуждение высокочастотных колебаний и нарастание их мощности с увеличением длины линии передачи.

4. Показано, что при увеличении амплитуды падающего импульса (и азимутальной компоненты магнитного поля в линии передачи) наблюдается рост частоты возбуждаемых колебаний в гофрированной конфигурации линии с ферритом.

5. Показано, что коаксиальная линия с гофрированным внутренним проводником и периодически расположенными кольцами из постоянных магнитов и ферритов по дисперсионным свойствам подобна линии с сосредоточенными параметрами, в которой присутствует емкостная связь между соседними ячейками

Далее сделана оценка теоретической и практической значимости, охарактеризованы методы исследования, достоверность и обоснованность результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлены апробация результатов, публикации по результатам работы, отмечен личный вклад автора.

Анализ содержания диссертации и ее завершенности

Основное содержание работы условно может быть поделено на две части: первая часть посвящена линиям с ферритом, использующим соленоид (главы 2, 3, 4), вторая часть посвящена коаксиальным линиям с гофрированным внутренним проводником и ферритовым заполнением, насыщаемым постоянными магнитами (главы 5 и 6). Во второй и третьей главах приводятся результаты моделирования и эксперимента, направленные на определение условий достижения максимальной эффективности преобразования энергии импульса напряжения в энергию высокочастотного импульса. В четвертой главе построена модель возбуждения высокочастотных колебаний в коаксиальной линии, однородно заполненной ферритом. В пятой главе представлена конфигурация коаксиальной линии, имеющей гофрированный внутренний проводник с чередующимися кольцами из ферритов и постоянных магнитов; представлены результаты моделирования подобных конфигураций линий. В шестой главе представлены результаты экспериментального исследования генераторов наносекундных импульсов высокочастотного излучения на основе линий с ферритом и гофрированным внутренним проводником, которые были разработаны и реализованы на основе результатов пятой главы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В первой главе содержится обстоятельный обзор исследований нелинейных передающих линий с ферритом с целью обострения фронта высокочастотных импульсов и генерации СВЧ-импульсов. Сделано 80 ссылок на работы предшественников и сопутствующих оценок, содержащихся в них результатов, что свидетельствует о высоком уровне компетентности автора диссертации в выбранной тематике. Однако по завершении главы не сделаны выводы, из которых, или в качестве которых, обычно формулируются задачи исследований либо пионерского характера, либо в развитие направления.

Во второй и третьей главах приводятся результаты моделирования и эксперимента, направленные на определение условий достижения максимальной эффективности преобразования энергии импульса напряжения в энергию высокочастотного импульса. **Вторая глава** посвящена преимущественно моделированию передающих линий с насыщенным ферритом. По существу, в ней решается первая из поставленных задач посредством численного моделирования и экспериментально определения основных физических факторов и механизмов, определяющих эффективность генерации высокочастотных импульсов и частоту возбуждаемых колебаний в нелинейных передающих линиях с однородным ферритовым заполнением. Сделаны выводы, обосновывающие научную новизну по п. 1 и доказывающие частично первое из защищаемых положений.

В третьей главе рассматривается влияние конфигурации нелинейной передающей линии с насыщенным ферритом на эффективность генерации высокочастотных импульсов. Материал главы – продолжение и углубление исследований при решении первой задачи влияния расположения ферритовых колец в поперечном сечении линии на эффективность генерации высокочастотных импульсов. Здесь также основным методом выбрано численное моделирование. Проведены эксперименты по возбуждению колебаний в нелинейной передающей линии импульсами напряжения разной полярности. Выводы данной главы подводят к доказательству новизны результатов, позволяющих объяснить характер зависимости частоты возбуждаемых колебаний от поперечных размеров линии и диэлектрической проницаемости ферритового заполнения. В главе содержится часть доказательства второго положения.

В четвертой главе с названием «Модель возбуждения высокочастотных колебаний импульсом напряжения с субнаносекундным фронтом в коаксиальной передающей линии с двухслойным заполнением диэлектриком» построена модель возбуждения высокочастотных колебаний в коаксиальной линии, однородно заполненной ферритом. Доказано, что в нелинейной линии существуют два конкурирующих процесса: обострение фронта импульса напряжения и его дисперсионное расплывание, формирующее за ним высокочастотные колебания напряжения в линии передачи. Материал главы дополняет доказательство первых двух положений.

Глава 5 «Нелинейные коаксиальные передающие линии с гофрированным внутренним проводником и насыщенным ферритовым заполнением» представлена конфигурация коаксиальной линии, имеющей гофрированный внутренний проводник с чередующимися кольцами из ферритов и постоянных магнитов; представлены результаты моделирования подобных конфигураций линий.

Глава 6 «Экспериментальное исследование генерирования наносекундных импульсов высокочастотных колебаний в гофрированных нелинейных передающих линиях с насыщенным ферритом» представлены результаты экспериментального исследования генераторов наносекундных импульсов высокочастотного излучения на основе линий с ферритом и гофрированным внутренним проводником, которые были разработаны и реализованы на основе результатов пятой главы.

Указанные главы содержат результаты моделирования и экспериментов, доказывающих исчерпывающим образом положения 3 и 4. Этот вывод сделан на основе полученной новизны результатов, сформулированной в пп. 3, 4 и 5 научной новизны.

Таким образом, в целом обоснованность научных положений, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Следует выделить наиболее значимый в теоретическом и практическом отношении результат, состоящий в том, что впервые продемонстрирована возможность эффективной генерации мощных высокочастотных импульсов в линии с гофрированным проводником и ферритом, насыщенным в поле колец из постоянных магнитов. Показана на основе шести конфигураций линий генерация импульсов СВЧ излучения в диапазоне частот от 0.7 до 3.6 ГГц с пиковой мощностью в сотни мегаватт. Максимальная мощность, полученная в эксперименте, составляет 800 МВт.

Оформление диссертации

Общий объем диссертации составляет 175 страниц, включая 103 рисунка и два приложения. Список литературы включает 106 наименований. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания

1. В тексте диссертации, кроме сведений о публикации, нет ссылки на патент № 2753420 «Способ генерации мощных импульсов СВЧ-излучения наносекундной длительности», авторы И.В. Романченко, В.Ю. Конев, П.В. Припутнев, хотя на один первых патентов R.V.Round по теме диссертации ссылка имеется. Реализация способа – важная составляющая новизны работы. Не ясно в связи этим какая именно часть формулы изобретения (варианты источника продольного, поперечного, радиального либо их комбинации магнитных полей) рассматривается в диссертации.

2. В главе 2 (п. 2.2) на рис. 2.2 приведена форма падающего импульса напряжения в относительных единицах, использованная в расчетах. Длительность импульса на этом рисунке 9 нс с растянутым задним фронтом около 6 нс, причем в показанном интервале времени 12 нс видно начало

второго импульса. На рисунке 2.3 осциллограммы, являющиеся откликом на импульс рис. 2.2 и полученные в результате эксперимента и расчетным путем, существенно отличаются друг от друга. Однако в диссертации не дано объяснение причин этому. Были разные условия воздействия, в процессе моделирования берется одиночный импульс?

3. В диссертации имеются погрешности изложения текста, даже изменяющие смысл выражений, например, на стр. 2, п. 2.3 и на стр. 35 сказано: «Зависимость частоты возбуждаемых колебаний поперечных (пропущено от?) размеров линии», на стр. 36 некорректно указано «с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2.2$ » (относительной диэлектрической проницаемостью?).

4. Представляется, что приведенные автором диссертации результаты получения наносекундных высокочастотных импульсов представляют большой интерес для применения на практике. В этой связи было бы полезно применить частотную фильтрацию выходного сигнала с выделением полосы частот колебаний с целью оценки параметров собственно высокочастотных импульсов.

Указанные замечания не затрагивают существа работы, поэтому скорее могут служить пожеланием более тщательного редактирования рукописи.

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения ВАК

Диссертационная работа представляет собой завершенное научное исследование. Полученные в работе результаты позволили создать макеты реальных генераторов на основе линий с ферритом с использованием постоянных неодимовых магнитов для насыщения ферритовых колец. Основной теоретической и практической значимостью результатов и выводов работы является создание нового способа и устройства генерации мощных импульсов СВЧ-излучения наносекундной длительности, улучшение их параметров по сравнению с полученными ранее характеристиками генераторов на основе нелинейных линий передачи с ферритами.


Соответствие указанной специальности

Генерирование высокочастотных импульсов электромагнитного излучения в линиях с ферритом и при использовании постоянных магнитов представляет собой решение задач твердотельной СВЧ-электроники (п. 2) и связано с возбуждением волн намагниченности в насыщенном феррите. Работа соответствует паспорту специальности 1.3.5 – физическая электроника.

Вышесказанное позволяет сделать **вывод** о наличии в диссертационной работе решения научной задачи, имеющей значение для развития твердотельной СВЧ-электроники. Считаю, что представленная работа «Формирование мощных наносекундных высокочастотных импульсов в частично заполненных ферритом коаксиальных линиях с различными дисперсионными свойствами» **удовлетворяет** требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук пункт 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней от 24.09.2013 г. № 842 , а её автор, Припутнев Павел Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 – физическая электроника.

Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор кафедры конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры (КУДР) радиоконструкторского факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» Малютин Николай Дмитриевич.
Адрес: Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел: 8 (382) 252 79 42. E-mail: ndm@main.tusur.ru.

 Малютин Николай Дмитриевич

Дата:

Подпись официального оппонента Малютина Николая Дмитриевича заверяю:

Подпись 
УДОСТОВЕРЯЮ
Ученый секретарь
Е.В. Прокопчук
