

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Романченко Ильи Викторовича на тему «Генерирование мощных наносекундных импульсов электромагнитного излучения на основе линий с ферритом»,

по специальности 01.04.04 – физическая электроника, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Актуальность темы.

Диссертационная работа Романченко И.В. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию процессов генерации мощных высокочастотных электромагнитных колебаний в нелинейных передающих линиях, заполненных ферритом. Известно, что работа большинства приборов, генерирующих мощное СВЧ излучение, основана на преобразовании в резонансных волноводных структурах энергии электронных потоков в энергию электромагнитных колебаний. Сложные физические процессы, протекающие в таких приборах, оказывают большое влияние на их выходные параметры и потребительские характеристики. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования, направленные на получение новых знаний о процессах генерации импульсного СВЧ излучения, протекающих в нелинейных передающих линиях, а также разработка и создание мощных СВЧ приборов на их основе имеют большое значение для многих направлений науки и техники. В связи с этим актуальность темы диссертации Романченко И.В. не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации.

Работа, представляемая автором диссертации, выполнена на высоком научно-техническом уровне и является законченным трудом. В ней представлены результаты экспериментального исследования макетов генераторов, разработанных на основе теоретического анализа и численного моделирования.

При проведении экспериментов использовалось новейшее точное измерительное оборудование и современные надежные методы измерений мощности в передающих линиях и пространстве. Полученные результаты не противоречат полученным результатам в теории электромагнитных волн и техники СВЧ высокой мощности.

Достоверность и новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Автор диссертации впервые показал, что в однородной передающей линии с частичным заполнением ферритом может происходить эффективное возбуждение СВЧ-колебаний при распространении по ней монополярного высоковольтного импульса. При мощности такого импульса равной 3 ГВт пиковая мощность СВЧ-импульса достигала 0.7 ГВт при длительности импульса 3...5 нс. Экспериментально было установлено, что частота следования генерируемых СВЧ-импульсов в передающей линии с ферритом может достигать 1 кГц. Важным результатом явилось то, что фаза возбуждаемых колебаний жестко привязана к фронту высоковольтных импульсов. Это позволило впервые создать многоканальные генераторы СВЧ излучения.

Достоверность результатов исследований подтверждается не только полученными данными экспериментов, но и параметрами излучательных установок Института сильноточной электроники и установок, поставленных по контрактам в зарубежные лаборатории нескольких стран, в разработке и создании которых непосредственное участие принимал автор диссертации. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в научных журналах, доложены на Международных конференциях и симпозиумах.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Результаты исследований преобразования энергии видеоимпульсов в радиоимпульсы в коаксиальных линиях с ферритами создали основу для разработки и создания новых типов мощных импульсных СВЧ-устройств.

Экспериментально была показана возможность генерации мощных наносекундных СВЧ-импульсов в диапазоне частот от 0.6 до 2.5 ГГц.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Простота конструкции и большой ресурс работы источников СВЧ-излучения на основе нелинейных линий с насыщенным ферритом определяют их практическую востребованность. Такие приборы позволяют генерировать импульсы СВЧ-излучения в широком диапазоне длин волн. В диссертации отмечается, что особенно востребованы они будут при генерации электромагнитных импульсов в дециметровом диапазоне длин волн.

Содержание диссертации и ее завершенность.

Диссертация включает введение, 5 глав, заключение и приложение.

Во введении в целом представлено состояние уровня развития генерации радиоимпульсов в линиях, заполненных ферритом. Изложена история вопроса, приведен исчерпывающий список работ, относящийся к формированию ударной электромагнитной волны и сопутствующих волн. Проведено сравнение с характеристиками приборов релятивистской СВЧ электроники. Отмечается, что дальнейшее развитие требует целостного теоретического анализа метода генерации, решения проблемы электрической прочности для продвижения в область субгигаваттного уровня выходной мощности, что в свою очередь требует разработки новых конструкций и их исследования.

В первой главе проведен анализ процессов, приводящих к генерации СВЧ-колебаний в виде основной ТЕМ волны коаксиальной линии, частично заполненной ферритом, определены условия обострения фронта входного высоковольтного импульса и возбуждения СВЧ колебаний. Решение системы уравнений на данном этапе проведено аналитическими методами с некоторыми допущениями. Полученные расчетные осциллограммы выходных импульсов хорошо совпадают с осциллограммами, полученными

при экспериментальных исследованиях. Проведен анализ влияния величины внешнего магнитного поля и показана необходимость определения ее оптимального значения. Допущения, сделанные в начальной части расчетов, вполне оправданы, так как в принципе требовалось показать возможность процессов и условие нахождения решений в зависимости от различных внешних условий.

Во второй главе приводятся результаты экспериментальных исследований при определении параметров нелинейной линии с насыщенным ферритом, обеспечивающих эффективную генерацию СВЧ-колебаний. Определены длина линии формирования ударного фронта волны, и длина, требуемая для необходимого нарастания амплитуды колебаний. Подтверждено, что мгновенная пиковая мощность может достигать удвоенного значения мощности питающего высоковольтного импульса. Подтверждено также, что необходимым условием генерации СВЧ-колебаний является наличие ударного фронта электромагнитной волны.

В третьей главе экспериментально определены параметры, влияющие на частоту колебаний, и на этом основании представлены возможности управления частотой. Установлена зависимость частоты колебаний от внешнего продольного магнитного поля и азимутального магнитного поля питающего высоковольтного импульса. Полученные экспериментальные данные показывают, что наряду с рабочей волной ТЕМ возбуждаются высшие типы.

В четвертой главе приведены наиболее существенные результаты диссертации. В ней представлены конструкции разработанных генераторов на основе коаксиальных линий, частично заполненных ферритом с различными системами вывода излучений. Необходимо было решить ряд сложных задач, связанных с электрической прочностью, сроком службы источника, с конструкцией узла вывода СВЧ-мощности из коаксиальной линии. Генератор работал без изменения характеристик в процессе получения последовательных СВЧ выходных импульсов в количестве $3 \cdot 10^6$.

Электроизоляция позволяла работать с частотой повторения 200 Гц при максимальной напряженности в линии 300 кВ/см. Разработан выходной узел осуществляющий развязку по низкочастотной составляющей выходного импульса. В созданных генераторах с ферритовыми структурами с различными типами излучающих антенн получены рекордные значения мощности излучения для исследуемого генератора на линиях, заполненных ферритом. Приведен пример практического использования таких генераторов при исследовании воздействия СВЧ-излучения на живые организмы.

В пятой главе приведены результаты исследований синхронной работы нескольких мощных СВЧ-генераторов с регулированием фаз в отдельных каналах линий за счет изменения поля подмагничивания. В различных частотных диапазонах подтверждена работоспособность устройств для обеспечения синфазного сложения волн в пространстве.

Достоинства и недостатки.

Хотелось бы отметить следующее:

1) Диссертация является законченным исследовательским трудом. Ее изложение логично заканчивается описанием созданных установок и их использованием для решения практических задач. Глава 5 усиливает впечатление от объема проделанной работы, но воспринимается отдельно и, как будто бы, не соответствует теме диссертации, так как в ней рассматривается использование линии с ферритом в качестве, отличном от генерирующей структуры.

2) Автор в тексте диссертации постоянно определяет дисперсию, как временную. Это представляется излишним, так как физический сравнительный анализ пространственной и временной дисперсии выходит за рамки работы. На «макро-» уровне используется только зависимость волнового числа в структуре от частоты. Например, при описании откачиваемых замедляющих структур ЛОВ или линейных ускорителей в литературе дисперсия прилагательным «пространственная» не детализируется.

Эти замечания не оказывает существенного влияния на общую положительную оценку диссертации Романченко И.В. Она написана на достаточно высоком научном уровне, и является законченной научной работой, в которой автором разработаны теоретические положения, на основании которых изложены обоснованные технические решения конструкций СВЧ-генераторов на основе линий, заполненных ферритом. Работа вносит значительный вклад в развитие СВЧ-электроники больших мощностей, что соответствует требованиям п.9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени

Официальный оппонент Новиков Сергей Автономович,
д.ф.-м.н., профессор,
Томский политехнический университет
634050, Томск, пр. Ленина 30
(382) 2 417451
nsa@tpu.ru



Новиков С.А.

Подпись д.т.н., профессора Новикова С.А. удостоверяю

Ученый секретарь ТПУ



Ананьева О.А.