

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

XIV Международная научно-практическая конференция

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

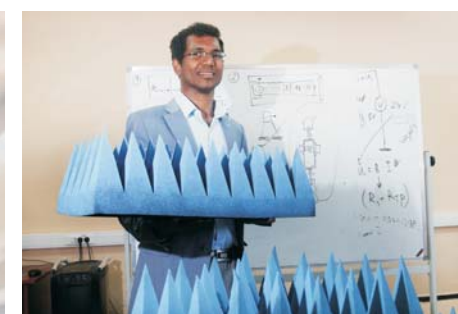
Материалы докладов

г. Томск

28–30 ноября 2018 г.

В двух частях

ЧАСТЬ 1



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XIV Международная научно-практическая конференция

28–30 ноября 2018 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
Томск – 2018

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 **Электронные средства и системы управления:** материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2018. – 348 с.
ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)
ISBN 978-5-91191-403-5 (Ч. 2)

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XIV Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 28–30 ноября 2018 г.), по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; наноэлектроника СВЧ; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства СВЧ; нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; плазменная электроника; биомедицинская электроника; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; интеллектуальные системы проектирования, автоматизация проектирования электронных устройств и систем; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; инновации в сфере электроники и управления; оптоэлектроника и фотоника; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение.

Для студентов, преподавателей и специалистов, интересующихся проблемами систем управления.

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965

*Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).
Проект № 18-07-20094*

*Часть статей секций 2–22 направлена для публикации
в журнале «Доклады ТУСУРа»*

ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)

© ТУСУР, 2018
© Коллектив авторов, 2018

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «КЕЙСАЙТ ТЕКНОЛОДЖИЗ»



ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3.

Тел.: 495 797 39 00
Факс: 495 797 39 02
www.keysight.ru

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

Как самостоятельная компания Keysight Technologies была образована в 2014 г. в результате стратегического разделения компании Agilent Technologies, которая, в свою очередь, до 1999 г. входила в корпорацию Hewlett-Packard. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен более 75 лет назад.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр лабораторных, модульных и портативных контрольно-измерительных приборов, в том числе оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, источники питания, генераторы импульсов, системы сбора данных, логические анализаторы, ручные приборы), решения для тестирования телекоммуникаций, а также системы автоматизированного проектирования и моделирования электронных устройств.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard / Agilent, используются уже более 45 лет и по праву считаются наиболее точным и надежным контрольно-измерительным оборудованием на рынке.

Российский офис компании Keysight Technologies предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов Keysight Technologies.

Среди крупнейших заказчиков Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

В 2012 г. компания Keysight Technologies открыла два дополнительных региональных офиса в России – в Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2013 г. дополнительный офис открыт в Ростове-на-Дону, в 2014 г. – в Санкт-Петербурге.

Информация о компании Keysight Technologies доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru

*Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Смирнова Галина Владимировна*

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «ЛЕКРОЙ РУС»



ООО «ЛеКрой РУС»
119071, г. Москва, 2-й Донской
проезд, д. 10, стр. 4, 2-й этаж

Тел.: 495 777-5591
Факс: 495 640-3023
<https://prist.ru/>

Компания «ПриСТ» основана в 1994 г. Сегодня АО «ПриСТ» один из крупнейших российских поставщиков приборов для электроизмерений, радиоизмерений и измерений параметров окружающей среды (<https://prist.ru/>).

В компании работает более 80 высококвалифицированных сотрудников, открыты представительства в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге, имеется дилерская сеть по всей территории России, дилеры в Белоруссии и Казахстане.

Основные виды деятельности:

- Поставки измерительного оборудования.
- Технические консультации по подбору средств измерения и вариантам замен приборов, снятых с производства или морально устаревших.
- Услуги по поверке и калибровке СИ.
- Услуги по техническому обслуживанию СИ, включая закрытую калибровку.
- Услуги автоматизации процессов поверки и калибровки.
- Испытания для целей утверждения типа СИ.
- Сервисная поддержка, гарантийное и послегарантийное обслуживание.
- Предоставление СИ в арендное пользование.

Компания «ПриСТ» является эксклюзивным поставщиком на территории России и СНГ продукции таких компаний, как APPA, Center, Good Will Instrument, SEW, Tabor Electronics, Teledyne LeCroy и Wayne Kerr Electronics. Дистрибьюторские и партнерские соглашения связывают компанию со всемирно известными производителями: Anritsu, Fluke, Keysight, National Instruments, Rohde&Schwarz, Pendulum, Spectracom, TDK-Lambda, Pico Technology.

С 2004 г. АО «ПриСТ» представляет на российском рынке компанию LeCroy (с 2012 г. Teledyne LeCroy) – одного из мировых лидеров в разработке и производстве цифровых осциллографов. Осциллографы высочайшего класса помогают инженерам-конструкторам и учёным осуществлять наблюдение, измерение и анализ сигналов в электронных цепях и трактах различных устройств. Компания «Teledyne LeCroy» является одним из технологических лидеров на рынке цифровых осциллографов. Это подтверждают ее достижения, например, в 2013 г. компания представила многоканальную систему с полосой пропускания 100 ГГц в режиме реального времени. В том же 2013 г. были представлены осциллографы высокого разрешения (HDO) с 12-битным АЦП и полосой пропускания 1 ГГц. Семейство осциллографов HDO существенно изменило представление о точности измерений, доступной цифровым осциллографам. 2018 год ознаменовался выходом новой серии осциллографов высокого разрешения WavePro HDR, которая обеспечивает теперь высокоточные измерения в полосе до 8 ГГц. Кроме цифровых осциллографов, компания «Teledyne LeCroy» выпускает анализаторы протоколов. Это широкий класс приборов для тестирования устройств передачи данных как на физическом, так и на логическом уровне. В этой области «Teledyne LeCroy» также занимает лидирующие позиции и предоставляет решения для всех современных протоколов передачи последовательных данных (<http://lecroy-rus.ru/>).



2. Варисторы EPCOS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ferrite.ru/products/epcos-passive/varistors/> свободный (дата обращения: 24.08.2018).

3. Джанбаев К.Э. Исследование и моделирование схем защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов: дис. ... канд. техн. наук: 11.04.02. – Томск, 2017. – 102 с.

4. Кабель ВВГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kabel-vvg.ru> свободный (дата обращения: 24.08.2018).

Храмцов Максим Владимирович

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: maxxx-rgbk@mail.ru

Заболоцкий Александр Михайлович

Д-р техн. наук, проф. каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: zabolotsky_am@mail.ru

УДК 621.3

С.Х. Карри, Р.С. Суворцев

Анализ рассеяния мощности сверхкороткого импульса в витке меандровой линии задержки

Произведён анализ рассеяния мощности сигнала в витке меандровой линии задержки. Для этого выполнено квазистатическое и электродинамическое моделирование линии. На основе оценок результатов моделирования подтверждено значительное влияние потерь на форму сигнала в конце линии. Также количественно оценён вклад потерь в рассеяние мощности сигнала при его прохождении по витку меандровой линии.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, меандровая линия задержки, сверхкороткий импульс, потери на излучение, разложение импульса, рассеяние мощности.

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура (РЭА) все чаще применяется в различных сферах жизнедеятельности человека. Проектирование современной РЭА требует уменьшения габаритов печатных узлов устройств, увеличения плотности монтажа печатных плат и роста рабочих частот, что обостряет проблему обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) на уровне печатных плат. Несоблюдение требований ЭМС может повлечь за собой ряд серьёзных проблем, вплоть до полного выхода устройства из строя. Одной из актуальных задач ЭМС является защита РЭА от электромагнитных воздействий (ЭМВ), которые все чаще становятся причиной выхода РЭА из строя [1]. ЭМВ могут быть как преднамеренными (из-за действий злоумышленников), так и непреднамеренными (из-за внутренних сбоях РЭА или внешних природных воздействий). Серьезную опасность среди ЭМВ представляют импульсы наносекундного диапазона, которые также называют сверхкороткими импульсами (СКИ). Опасность СКИ обусловлена их высокой амплитудой, которая и приводит к выходу чувствительных цепей РЭА из строя, поскольку для таких цепей опасность уже представляют всплески от 50 В.

Для защиты от СКИ существуют различные подходы, однако зачастую они оказываются неэффективными из-за ряда недостатков, и тогда прибегают к сложным и многоступенчатым устройствам, что неизбежно ведет к росту массы, а также габаритов устройств. Примечателен предложенный для защиты РЭА от СКИ подход, основанный на разложении СКИ на последовательность импульсов меньшей амплитуды в витке меандровой линии задержки за счет модальных искажений сигнала [2].

Теоретические и экспериментальные исследования данного подхода во временной и частотной областях показали возможность применения на практике меандровых линий в качестве устройств защиты. В меандровой линии на печатной плате существуют потери, которые вносят существенный вклад в искажение формы сигнала. От понимания вклада каждого из видов потерь в искажения формы СКИ в меандре зависит успех практической реализации таких защитных устройств.

Такие оценки вклада потерь в искажение формы СКИ выполнены в [3], однако только на основе анализа изменения форм сигнала, причем полученных методом моментов в рамках квазистатического подхода. Между тем целесообразно более детальное исследование влияния потерь, поскольку в общем случае в линиях передачи есть три основных вида: в проводниках, в диэлектриках и на излучение. Первые два вида достаточно хорошо исследованы с помощью подходов и моделей для их учета при моделировании [4, 5].

Как показал обзор [6], на данный момент нет однозначных подходов и инструментов для оценки потерь на излучение в меандровых линиях. Для оценки вклада потерь на излучение могут быть использованы результаты комплексного моделирования с помощью квазистатического и электродинамического подходов, например за счет оценки мощности сверхкороткого импульса в начале и конце линии. Второй подход даст более точные оценки, поскольку позволяет учесть все типы волн, распространяющихся в меандре, а их сравнение с оценками, полученными на основе квазистатического подхода, позволят оценить вклад потерь на излучение.

Поэтому целесообразно выполнить такое исследование.

Цель данной работы – выполнить анализ влияния потерь на изменение мощности СКИ в конце витка меандровой линии задержки. Для достижения этой цели нужно решить следующие основные задачи: выполнить квазистатическое и электродинамическое моделирование формы сигнала в конце витка защитной меандровой линии без учета и с учетом потерь в проводниках и диэлектрике; оценить вклад потерь в проводниках и диэлектрике в изменение мощности; выполнить сравнение и анализ результатов.

Исходные данные для моделирования

Для моделирования выбран виток микрополосковой меандровой линии (рис. 1). Параметры поперечного сечения линии выбраны так, чтобы обеспечить разложение СКИ на последовательность импульсов: ширина (w) и толщина (t) сигнального проводника 300 и 105 мкм соответственно; расстояние (s) между ними 23 мкм; толщина (h) подложки 510 мкм; диэлектрическая проницаемость (ϵ_r) подложки 4,3. Исследуемая линия состоит из двух сигнальных проводников, соединенных на одном конце и лежащих на диэлектрической подложке, и опорного проводника, представленного в виде идеально проводящей плоскости. Ближний конец первого проводника соединен с источником сигналов, представленным на схеме идеальным источником ЭДС с внутренним сопротивлением $R1$, а второго – с приемным устройством, представленным на схеме сопротивлением $R2$ (рис. 2). Значения резисторов $R1$ и $R2$ для минимизации отражения сигнала от концов линии, приняты равными среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод. В качестве воздействия принят импульс в виде трапеции с ЭДС 1 В, длительностями фронта/спада по 50 нс, а плоской вершины – 100 пс.

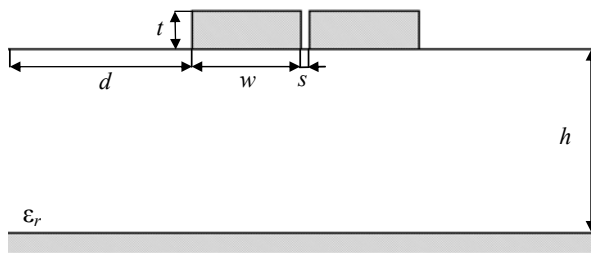


Рис. 1. Поперечное сечение исследуемой линии



Рис. 2. Схема соединений исследуемой линии

Подход к вычислению мощности сигнала

Для оценки влияния потерь на искажение СКИ предлагается вычисление мощности сигнала в начале и конце линии без учета и с учетом потерь в проводниках и диэлектрике. Поскольку квазистатический подход позволяет учесть только основной тип волны, распространяющейся в линии, то полезен

полноволновой анализ для получения более корректных оценок. Каждый из видов потерь будет вносить свое ослабление в общую мощность выходного сигнала. Сопоставление полученных результатов позволит сделать ряд предположений о наличии потерь на излучение в меандровой линии. Мощность сигнала на выходе генератора и на нагрузке может быть вычислена как

$$P = \int_0^{t_{\max}} \frac{U^2(t)}{R} dt = \frac{1}{R} \int_0^{t_{\max}} U^2(t) dt, \quad (1)$$

где $U(t)$ – форма напряжения; R – сопротивление генератора или нагрузки; t_{\max} – учитываемая длительность $U(t)$.

Результатом вычисления формы напряжения в начале и конце витка меандра является набор дискретных отсчетов напряжения и соответствующих им отсчетов времени. Поэтому интеграл в (1) может быть заменен суммой квадратов отсчета напряжения, отнесенной к сопротивлению в точке вычисления мощности (узлы $V1$ и $V3$). Тогда выражение (1) примет вид

$$P = \frac{1}{R} \sum_{i=0}^{t_{\max}} U^2(t). \quad (2)$$

Результаты моделирования

Сначала выполнено последовательное моделирование формы сигнала в начале и конце витка меандровой линии задержки без учета потерь, с учетом потерь в проводниках, с учетом потерь в диэлектрике и с одновременным учетом потерь в проводниках и диэлектрике. Для учета потерь в проводниках вычислена матрица погонных сопротивлений \mathbf{R} с учетом скин-эффекта и эффекта близости на основе модели из [7]. Для вычисления матрицы погонных проводимостей \mathbf{G} использован тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta = 0,025$. Вычисленные на частоте 10 ГГц матрицы \mathbf{R} и \mathbf{G} имеют вид

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 57,96 & 6,95 \\ 6,95 & 57,96 \end{bmatrix}, \text{ Ом/м},$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 12,15 & -64,37 \\ -64,37 & 12,15 \end{bmatrix}, \text{ См/м}.$$

На рис. 3 в качестве примера приведены вычисленные формы первых трех основных импульсов в конце витка меандровой линии с учетом и без учета потерь, а в табл. 1 сведены результаты вычисления мощности в начале (P_{in} – в узле $V1$) и конце (P_{out} – в узле $V3$) линии и их относительные разности (ΔP). Перед вычислением мощности выполнена оценка сходимости значений мощностей в начале и конце линии при увеличении числа отсчетов напряжения, а дальнейшие вычисления выполнены только при оптимальном числе отсчетов. Кроме того, отметим, что мощность сигнала вычислена в диапазоне времени, соответствующем полному затуханию сигнала. Аналогичное моделирование форм сигнала в начале и конце линии выполнено с помощью электродинамического подхода. При этом параметры линии приняты такими же, как и при квазистатическом модели-

ровании. Полученные формы сигналов представлены на рис. 4, а вычисленные мощности – в табл. 2.

Таблица 1

Параметры выходного сигнала, вычисленные по результатам квазистатического моделирования

Вид потерь		P_{in} , мВт	P_{out} , мВт	ΔP_{in} , %	ΔP_{out} , %
Пров.	Диэл.				
–	–	962	408	–	–
+	–	924	374	3,95	8,3
–	+	900	355	6,44	12,99
+	+	877	329	8,84	19,36

Таблица 2

Параметры выходного сигнала, вычисленные по результатам электродинамического моделирования

Вид потерь		P_{in} , мВт	P_{out} , мВт	ΔP_{in} , %	ΔP_{out} , %
Пров.	Диэл.				
–	–	1043	428	–	–
+	–	956	377	8,34	11,91
–	+	986	370	5,46	13,55
+	+	917	336	12,08	21,49

Как видно из форм сигналов на рис. 3 и 4, качественно результаты хорошо согласуются: исходный СКИ в конце витка меандровой линии раскладывается на последовательность из трех основных импульсов (перекрестной наводки, импульсов нечетной и четной мод). Отметим, что, вне зависимости от

использованного подхода потери оказывают наименьшее влияние на импульс ближней перекрестной наводки. Это связано с характером ее возникновения: наведенный сигнал начинает распространяться одновременно с началом распространения основного сигнала по первому проводнику линии и влияние потерь на него незначительно.

Из результатов квазистатического моделирования видно, что потери в проводниках оказывают наибольшее влияние на импульс нечетной моды, а в диэлектрике, наоборот – на импульс четной моды. Из результатов электродинамического моделирования видно, что потери оказывают более существенное влияние на импульсы нечетной и четной мод: наблюдается характерное затягивание фронта и спада импульсов, из-за чего их форма становится более пологой, что характерно для реальных межсоединений печатных плат.

Из полученных результатов электродинамического моделирования без учета потерь видно, что в отличие от квазистатического импульсы нечетной и четной мод искажены, что объяснимо спецификой такого моделирования: учетом распространения всех типов волн в межсоединении. Поэтому вероятной причиной таких искажений могут являться потери на излучение.

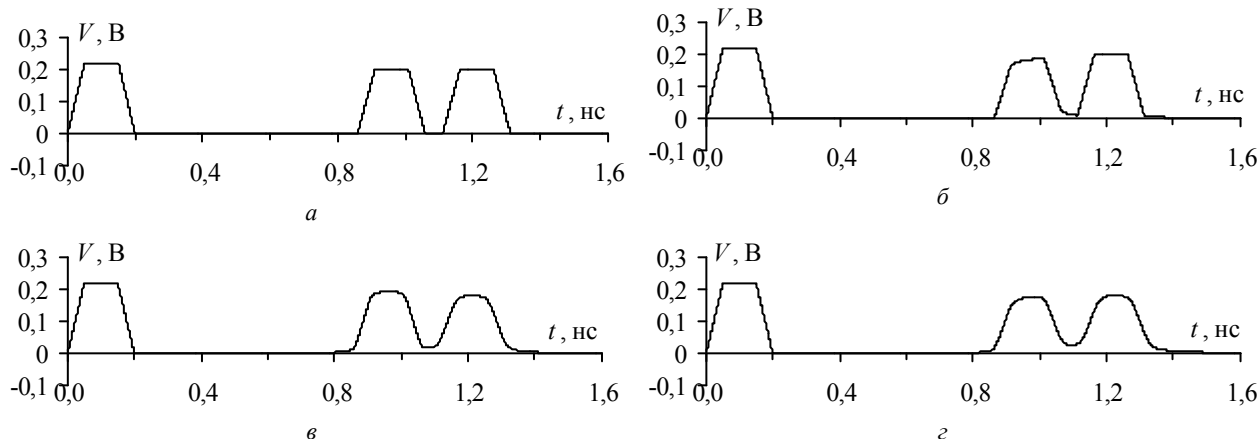


Рис. 3. Результаты квазистатического моделирования формы сигнала в конце линии: без учёта потерь (а), с учётом потерь в проводниках (б), с учётом потерь в диэлектрике (в), с учётом потерь в проводниках и диэлектрике (г)

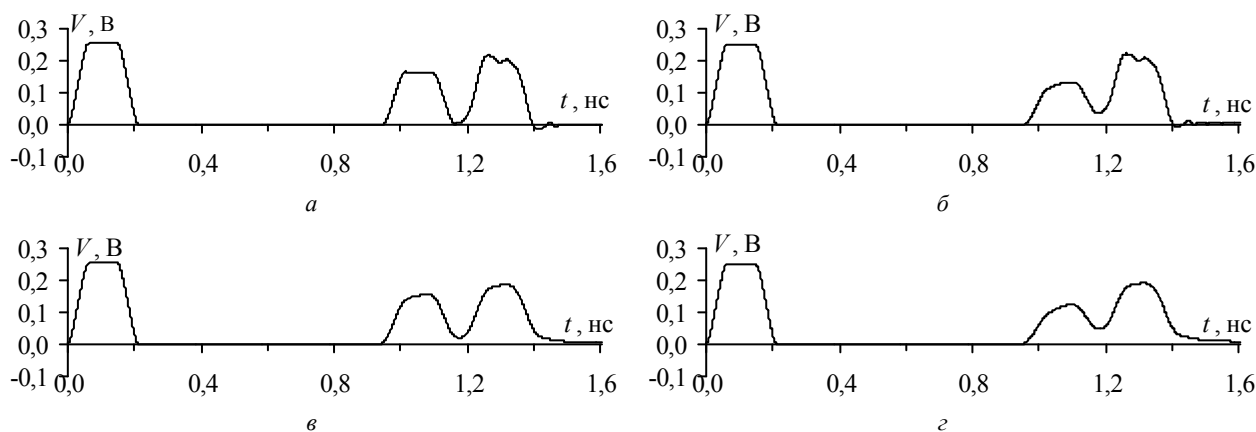


Рис. 4. Результаты электродинамического моделирования формы сигнала в конце линии: без учёта потерь (а), с учётом потерь в проводниках (б), с учётом потерь в диэлектрике (в), с учётом потерь в проводниках и диэлектрике (г)

Из табл. 1 видно, что для случая без учета потерь $P_{in} = 962$ мВт, а $P_{out} = 408$ мВт. Такое различие (более чем в 2 раза) трудно объяснить однозначно, однако, вероятнее всего, отличие вызвано отражениями из-за рассогласованности каждой из мод с внутренним сопротивлением генератора и нагрузки. Такое рассогласование вызывает большое количество отражений сигнала от концов линии, каждое из которых вносит существенный вклад в общую мощность сигнала на концах линии. Детальное выявление причин различия мощностей в начале и конце линии требует проведения дополнительных исследований и далее в работе рассматриваться не будет. Также из табл. 1 видно последовательное уменьшение мощности сигнала в начале и конце линии при учете потерь. Так, например, для случая одновременного учета потерь в проводниках и диэлектрике уменьшение мощности сигнала в начале и конце линии, относительно случая без потерь, составляет 8,84 и 19,36% соответственно. Из табл. 2 также видно уменьшение мощности сигнала при учете потерь. Однако влияние потерь в диэлектрике на мощность в начале линии выражено меньше (5,46%) по сравнению с результатами квазистатического моделирования (6,44%). Это может быть вызвано различием численных методов при моделировании и подходов к учету потерь в диэлектрике. Наконец, отметим, что полученные оценки мощности при квазистатическом и электродинамическом анализе хорошо согласуются качественно: потери в проводниках и диэлектрике оказывают существенное влияние на рассеяние мощности сигнала, а уменьшение мощности сигнала в конце линии из-за потерь может достигать 20% от случая без потерь. Количественные отличия оценок обусловлены разными подходами к моделированию.

Заключение

В работе произведён анализ рассеяния мощности СКИ в витке меандровой линии задержки. Для этого выполнено квазистатическое и электродинамическое моделирование линии. В результате оценок, произведённых на основе результатов моделирования, подтверждено значительное влияние потерь на форму сигнала в конце линии. Показано отличие результатов применённых видов моделирова-

ния при различных случаях учёта потерь. Предположены причины отличия результатов.

Программная реализация выполнена в рамках государственного задания № 8.9562.2017/БЧ Минобрнауки России. Моделирование выполнено за счет гранта РФФИ №18-37-00339 в ТУСУРе.

Литература

1. Петкау О. Защита объектов топливно-энергетического комплекса от угроз электромагнитного воздействия / О. Петкау, А. Тарабцев, А. Дерябин и др. // Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. – 2014. – № 2 (6). – С. 74–76.
2. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 58, No. 6. – P. 1864–1871.
3. Surovtsev R.S. Influence of losses on ultrashort pulse decomposition in a turn of meander microstrip line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, T.T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – June 30 – July 4, 2016. – P. 151–154.
4. Paleczny E. Comparison of full wave approaches for determination of microstrip conductor losses for MMIC applications / E. Paleczny, D. Kinowski, J.F. Legier et al. // Electronics Letters. – 1990. – Vol. 26, No. 25. – P. 2076–2077.
5. Simpson T.L. Dielectric Loss in Microstrip Lines (Short Papers) / T.L. Simpson, B. Tseng // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1976. – Vol. 24, No. 2. – P. 106–108.
6. Карри С.Х. Обзор методов и подходов к оценке потерь на излучение в полосковых линиях / С.Х. Карри, Р.С. Суровцев // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – Томск, 2018. – С. 123–126.
7. Matthaei G.L. Approximate calculation of the high-frequency resistance matrix for multiple coupled lines / G.L. Matthaei, G.C. Chinn // Microwave Symposium Digest. – 1992. – P. 1353–1354.

Карри Салим Хассанович

Магистрант ТУСУРа

Эл. почта: salim96g@gmail.com

Суровцев Роман Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: surovtsvrs@gmail.com

УДК 04.514

А.А. Квасников, Е.В. Лежнин, S. Raguin

Совершенствование программного модуля оценки эффективности экранирования корпусом

Усовершенствован программный модуль оценки эффективности экранирования корпусом. Добавлены новые методы оценки эффективности экранирования. Расширены возможности графического интерфейса.

Ключевые слова: программный модуль, компьютерное моделирование, эффективность экранирования, Qt, QML, C++.