

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

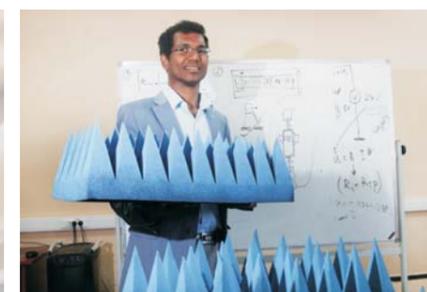
Материалы докладов

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/>).



Литература

1. Газизов Р.Р. Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – №4. – С. 1–14.

2. Gazizov R.R. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system / R.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov, A.O. Belousov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, Erlagol, Altai. 30 June–4 July 2017. – P. 69–74.

3. Газизов Р.Р. Исследование локализации пиковых значений сигнала в печатной плате системы автономной навигации / Р.Р. Газизов, Т.Т. Газизов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 2. – С. 170–178.

4. Gazizov R.R. Influence of ultrashort pulse duration on localization of crosstalk peak values in PCB of spacecraft autonomous navigation system / R.R. Gazizov, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // International Siberian Conference on Control and Communications. – Astana, 29–30 June 2017. – P. 1–5.

5. Gazizov R.R. Simulation of ESD effects on PCB bus of spacecraft autonomous navigation system // Proc. of IEEE 2017. International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, Novosibirsk, 18–24 September 2017. – P. 1–5.

6. Квасников А.А. Разработка подсистем графического интерфейса системы TALGAT / А.А. Квасников, С.П. Куксенко, Е.В. Лежнин // Матер. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления» (ЭССУ), 29 ноября – 1 декабря 2017. – Т. 2. – С. 15–18.

7. Mora N. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System Design and Assessment Notes. – 8 July 2014. – No. 41. – P. 1–48.

8. Газизов Р.Р. Локализация максимумов напряжения в шине печатной платы системы автономной навигации космического аппарата / Р.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, А.О. Белоусов, Т.Р. Газизов // Труды МАИ. – 2016. – № 89. – С. 1–9.

Хомушку Чайна Леонидовна
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: khchl@mail.ru

Газизов Руслан Рифатович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: ruslangazizow@gmail.com

УДК 621.396.41

М.В. Храпцов, А.М. Заболоцкий

Моделирование схем защиты для цепей электропитания на основе модальных фильтров и варисторов

Разработаны схемы защиты, состоящие из варисторов и трехпроводных структур модального фильтра (МФ). Выполнены моделирование и анализ предложенных схем защиты. Получены временные характеристики. Проанализированы дифференциальное и синфазное включение варистора совместно с МФ, с помощью воздействия кондуктивных помех.

Ключевые слова: модальный фильтр, варистор, помехозащита.

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) восприимчива к влиянию кондуктивных помех. Особо опасными в настоящее время являются помехи в виде сверхкоротких импульсов (СКИ). Влияние СКИ может привести к тому, что нарушается работоспособность РЭА, выходят из строя отдельные её части, что может привести к нежелательным последствиям. Поэтому необходимо уделять большое внимание проблеме помехозащиты современной РЭА. Одним из направлений электромагнитной совместимости (ЭМС) является защита от кондуктивных воздействий. Существуют различные методы и способы, а также устройства помехозащиты. Одним из существующих устройств защиты от СКИ является модальный фильтр (МФ) [1], где СКИ раскладывается на импульсы мод с разной задержкой. Другим надежным средством защиты для подавления скачков напряжения в цепях электропитания является варистор. Преимуществами варисторов являются такие особенности, как быстрая реак-

ция на перенапряжение, высокая надежность, отличные пиковые электрические характеристики в широком диапазоне рабочей температуры [2].

Цель работы – выполнить моделирование схем защиты цепей электропитания РЭА, состоящих из варисторов и МФ.

Исходные данные для моделирования

Синфазная и дифференциальная схемы включения варисторов показаны на рис. 1, 2.

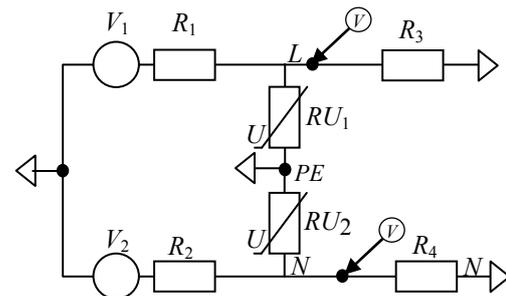


Рис. 1. Схема синфазного включения варисторов

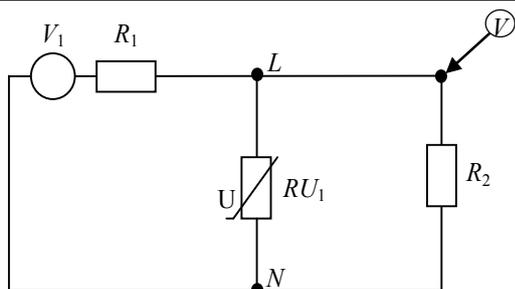


Рис. 2. Схема дифференциального включения варистора

В качестве источника воздействия используется генератор импульсов в форме трапеции (с равными временами фронта, плоской вершины и спада) с амплитудой напряжения 1000 В. Длительность исходного импульса по уровню 0,5 изменялась – 100, 500 пс. Сопротивление резисторов R_x равно 1 МОм, сопротивление остальных резисторов равно 50 Ом.

Для защиты от импульсных помех используется варистор S05K250. Напряжение срабатывания при переменном токе 250 В, при постоянном токе 320 В. Рабочая температура от -40 до $+85$ °С.

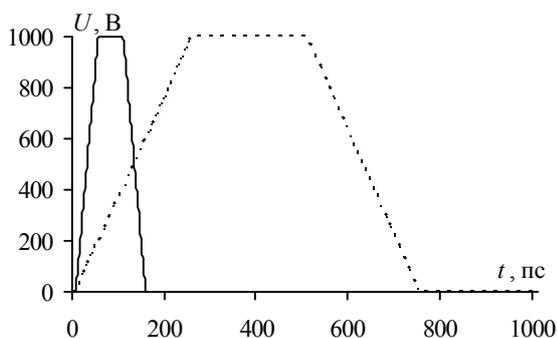


Рис. 3. Исходные импульсы ЭДС длительностью 100 пс (—) и 500 пс (---)

В качестве МФ рассмотрен кабель длиной 1 м марки ВВГ с сечением жил 4 мм^2 [3]. Кабель марки ВВГ предназначен для передачи и распределения электроэнергии. Напряжение, с которым он может работать, 220/380 или 660/1000 В при номинальной частоте 50 Гц. Сфера применения данного электропровода крайне обширна [4]. Поперечное сечение ВВГ 3×4 показано на рис. 4, где проводники L , N и PE – фаза, нейтраль и защитное заземление. В скобках указано назначение проводников МФ, где A , O и $П$ – активный, опорный и пассивный проводники.

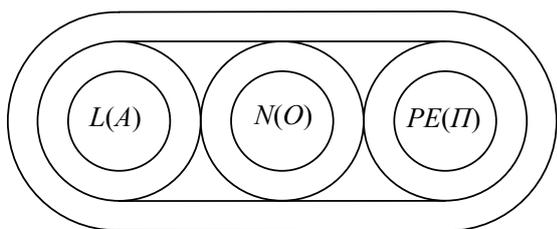


Рис. 4. Поперечное сечение плоского кабеля ВВГ

Погонные параметры матриц взяты из работы [3] и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры кабеля					
L , нГн/м		C , пФ/м		Длина, м	
422,48	96,73	58,64	-9,56	1	
96,73	422,48	-9,56	58,64		

Схемы включения варисторов и МФ представлены на рис. 5, 6.

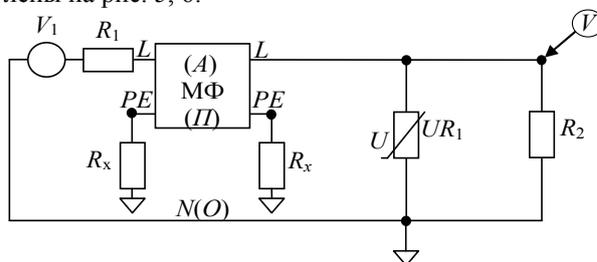


Рис. 5. Схема дифференциального включения МФ и варистора

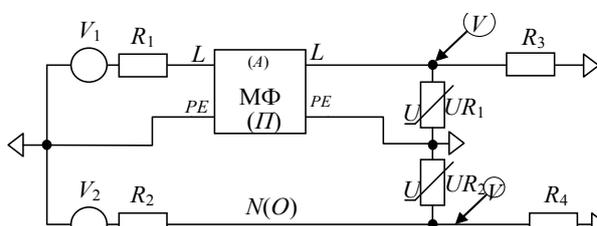


Рис. 6. Схема синфазного включения МФ и варисторов

Результаты моделирования

Вначале на рис. 7 представлены результаты моделирования дифференциальной и синфазной схем включения варисторов. Амплитуда импульса на выходе при различных включениях одинакова и ослабляется относительно исходного: при длительности 100 пс – в 2,16 раза; при длительности 500 пс – в 2,87 раза.

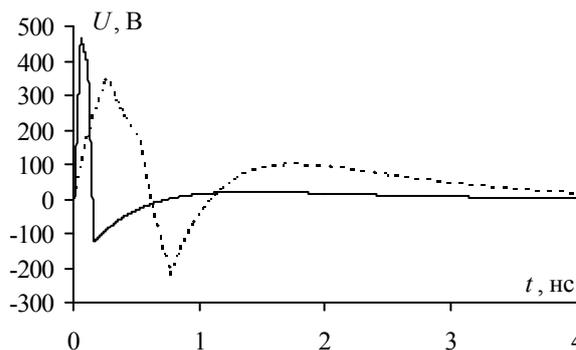


Рис. 7. Формы сигнала на выходе для дифференциальной и синфазной схем включения при исходном импульсе длительностью 100 пс (—) и 500 пс (---)

Далее будут представлены результаты моделирования схем включения МФ и варисторов в дифференциальном и синфазном включениях.

На рис. 8 показаны формы сигнала на выходе схемы включения МФ и варистора в дифференциальном виде. Видно, что исходный импульс длительностью 100 пс за счет МФ разложился на два импульса по 176 и 248 В с разностью задержек 490 пс. Исходный импульс длительностью 500 пс не разло-

жился полностью, но его форма искажилась, а амплитуда значительно снизилась до 124 В.

Формы сигнала на выходе схемы включения МФ и варисторов в синфазном включении для фазного проводника представлены на рис. 9. Видно, что исходный импульс длительностью 100 пс за счет МФ разложился на два импульса по 257 и 166 В с разностью задержек 490 пс. Исходный импульс длительностью 500 пс не разложился полностью, но его форма искажилась, а амплитуда значительно снизилась до 183 В.

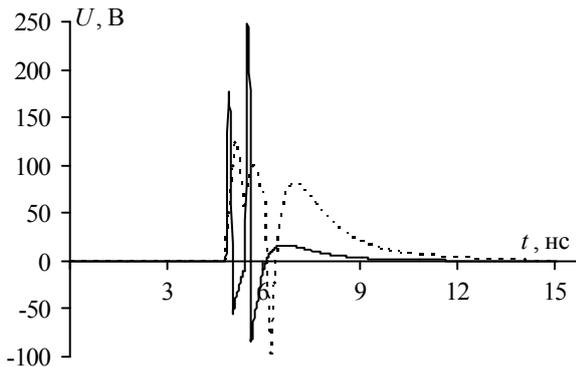


Рис. 8. Формы сигнала на выходе дифференциальной схемы включения МФ и варистора при исходном импульсе длительностью 100 пс (—) и 500 пс (---)

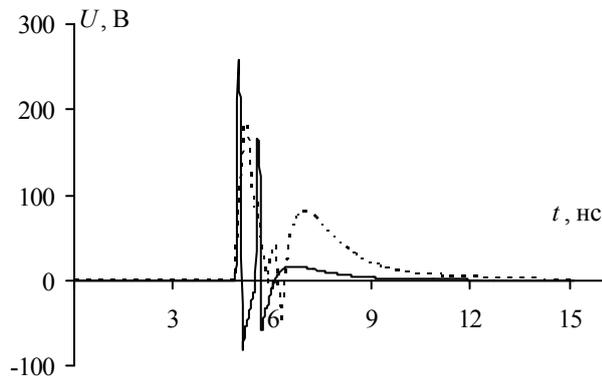


Рис. 9. Формы сигнала на выходе синфазной схемы включения МФ и варистора для фазного проводника при исходном импульсе длительностью 100 пс (—) и 500 пс (---)

Формы сигнала на выходе схемы включения МФ и варисторов в синфазном виде для нейтрального проводника представлены на рис. 1. Видно, что исходный импульс длительностью 100 пс ослабился до 462 В. Исходный импульс длительностью 500 пс ослабился до 348 В.

При добавлении МФ в схему защиты с варистором амплитуда помех снижается. Так, в схеме включения с одним варистором максимальная амплитуда, после схемы защиты при исходном импульсе длительностью 100 пс составляет 462 В, а при 500 пс – 348 В. Оптимальной схемой защиты среди рассматриваемых является дифференциальное включение МФ и варистора, так как эта схема показывает лучшие результаты ослабления по сравнению с други-

ми, а вносимое затухание при длительности исходного импульса 100 пс составляет 6,09 дБ, а при длительности исходного импульса 500 пс – 12,11 дБ. Это объясняется тем, что сначала исходный импульс подвергается воздействию МФ, т.е. раскладывается на два импульса меньшей амплитуды, а затем и воздействию варистора, в котором энергия помехи рассеивается в виде тепла.

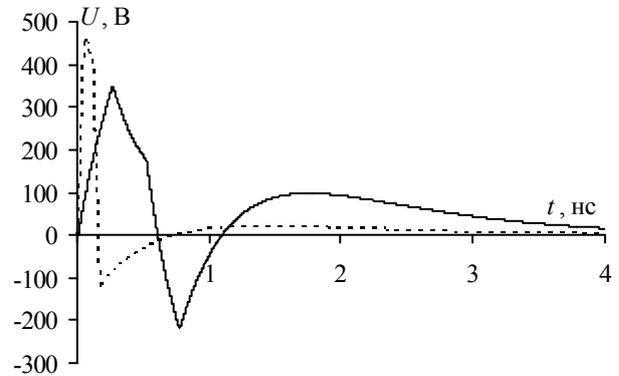


Рис. 4. Формы сигнала на выходе синфазной схемы включения МФ и варистора для нейтрального проводника при исходном импульсе длительностью 100 пс (—) и 500 пс (---)

Сравнение результатов моделирования

Краткие результаты моделирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варисторы	Результат моделирования	
	Вносимое затухание (исходный импульс 100 пс), дБ	Вносимое затухание (исходный импульс 500 пс), дБ
	0,69	3,14
МФ + варистор в дифференциальном виде	6,09	12,11
МФ + варистор в синфазном виде на фазном проводнике	5,78	8,73
МФ + варистор в синфазном виде на нейтральном проводнике	0,69	3,14

Заключение

Таким образом, исследована схема защиты с совместным включением МФ и варистора. Вычислены временные отклики на воздействие сверхкоротких импульсов разной длительности в различных видах включения. Предложены оптимальные схемы включения гибридных схем защиты.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД 365.2018.8.

Литература

1. Заболоцкий А.М. Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, И.Ф. Калимулин. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2016. – 288 с.

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.