

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

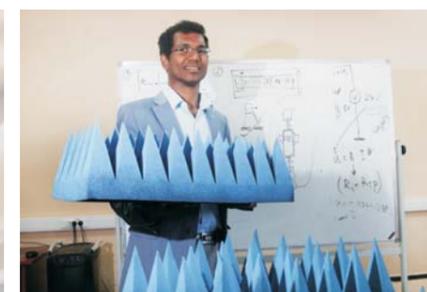
Материалы докладов

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/>).



5. Surovtsev R.S. Protection against ultrashort pulses based on a turn of meander microstrip line. X International IEEE Scientific and Technical Conference / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. – Omsk, Russian Federation, November 15–17, 2016. – P. 151–154.

6. Суровцев Р.С. Экспериментальное подтверждение возможности защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкороткого импульса за счет его разложения в С-секции с лицевой связью / Р.С. Суровцев, А.М. Заболоцкий, А.В. Носов // Доклады ТУСУР. – 2016. – № 3 (19). – С. 47–50.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611481. TALGAT 2017. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т., Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., и др. Всего 23 чел. – Заявка № 2017663209. – Дата поступления 13.12.2017 г. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02.02.2018 г.

8. Belousov A.O. Systematic approach to optimization for protection against intentional ultrashort pulses based on multiconductor modal filters / A.O. Belousov, T.R. Gazizov //

Complexity. – URL: <http://downloads.hindawi.com/journals/complexity/2018>. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–15.

Малыгин Константин Петрович

Магистрант ТУСУРа

Эл. почта: frizi2012@gmail.com

Козин Александр Витальевич

Магистрант ТУСУРа

Эл. почта: aleksandrkozin.7@gmail.com

Носов Александр Вячеславович

Инж., м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС» ТУСУРа

Эл. почта: alexns2094@gmail.com

Суровцев Роман Сергеевич

Канд. техн. наук, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС» ТУСУРа

Эл. почта: surovtssevr@gmail.com

УДК 621.391.825

М.А. Самойличенко

Моделирование модального фильтра с пассивным проводником в опорной плоскости при разной толщине подложки

Рассматривается структура, полученная за счет вырезания проводника в опорной плоскости микрополосковой линии. Выполнено моделирование распространения сверхкороткого импульса в такой структуре. Для разных значений толщин диэлектрика приведены зависимости амплитуд импульсов разложения от значения сопротивлений на концах активного и пассивного проводников. Получены оптимальные значения сопротивлений и толщины диэлектрика, при которых импульсы имеют минимальную амплитуду.

Ключевые слова: модальная фильтрация, кондуктивные помехи, сверхкороткий импульс.

С бурным развитием электроники обостряется проблема электромагнитной совместимости. Особо опасны подаваемые по проводникам кондуктивные помехи, в частности, сверхкороткие импульсы (СКИ) [1], которые могут проникать в оборудование и выводить его из строя. Все это вызывает необходимость соответствующей защиты.

Новым средством защиты от СКИ является модальный фильтр (МФ) [2, 3], в котором происходит разложение СКИ на импульсы меньшей амплитуды вследствие разных скоростей мод сигнала в связанной линии с неоднородным диэлектрическим заполнением. МФ обладают радиационной стойкостью, малой массой и дешевизной, а в случае кабеля [4] и массовым применением. Между тем любой МФ требует наличия пассивного проводника, который требует дополнительного места и имеет массу. Поэтому актуален поиск новых конструкций МФ, свободных от этих недостатков. Так, предложено сформировать пассивный проводник в вырезе опорной плоскости и найдено оптимальное значение сопротивлений, при котором выполняется разложение исходного сигнала на два импульса с одинаковой и минимальной амплитудой [5]. Однако это исследование выполнено

при одном и очень малом значении толщины подложки (0,1 мм).

Цель работы – исследовать данную структуру при больших толщинах диэлектрической подложки.

При многократных изменениях в диапазоне параметров целесообразно использовать моделирование. Для этого необходимо построить геометрическую модель поперечного сечения исследуемого МФ и составить его эквивалентную схему.

Вычисление параметров и форм сигнала выполнялось в программном продукте TALGAT [6]. Допускалось, что в рассматриваемой линии распространяются только квази-Т-волны. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались.

Поперечное сечение исследуемой структуры представлено на рис. 1, а: ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость, w , w_1 , w_2 и t – ширина и толщина проводников, h – толщина диэлектрика, s – расстояние между проводниками. Значения параметров: $w = w_1 = w_2 = 0,5$ мм, $s = 0,4$ мм, $t = 0,105$ мм, $h = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1; 1,5; 2$ мм. Диэлектрический материал стеклотекстолит ($\epsilon_r = 5$) выбран из-за его широкого применения. На рис. 1, б приведена эквивалентная схема МФ. Она состоит из

трех проводников длиной $l = 1$ м каждый. Первый проводник линии на одном конце соединен с источником импульсных сигналов, представленным на схеме идеальным источником ЭДС E и внутренним сопротивлением $R1$. На другом конце первый проводник линии соединен с $R4$. Значения сопротивлений $R1, R2, R4, R5$ приняты одинаковыми (R) и изменялись в диапазоне от 10 до 100 Ом с шагом 10, а для соединения крайних проводников – $R3 = R6 = 0,001$ Ом. Воздействующий импульс имеет форму трапеции с параметрами: амплитуда – 2 В; время нарастания – 150 пс; плоская вершина – 150 пс; спад – 150 пс.

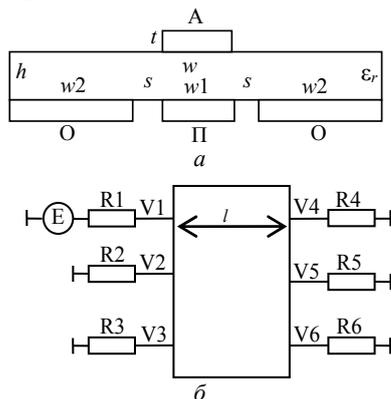


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схема включения (б). Проводники: О – опорный, П – пассивный, А – активный

На рис. 2 приведены зависимости амплитуд импульсов разложения (первого – $U1$ и третьего – $U3$) от R при $h = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ мм. Из рис. 2 видно, что зависимости для $h = 0,1$ представляют более детально результаты работы [5], когда с ростом R значение $U1$ монотонно увеличивалось, а $U3$ – уменьшалось, так что в точке их пересечения при $R \approx 50$ Ом эти значения выравнивались и амплитуда общего сигнала оказалась минимальной. С ростом значения h точка пересечения зависимостей смещается вправо и вверх.

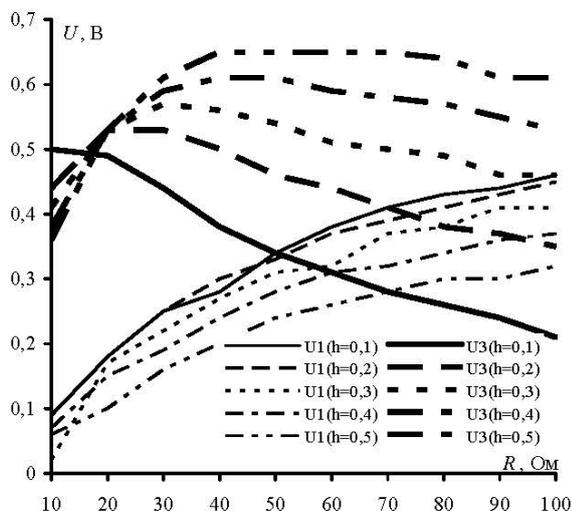


Рис. 2. Зависимости $U1$ и $U3$ от R при разных h

Однако у зависимости $U3$ появляется максимум за счет все большего уменьшения, с ростом значения

h , значения $U3$, при малых значениях R . Примечательна также точка ($R \approx 20$ Ом) минимальной чувствительности $U3$ к изменению h . На рис. 4 более детально показана нулевая чувствительность в диапазоне R от 10 до 30 Ом.

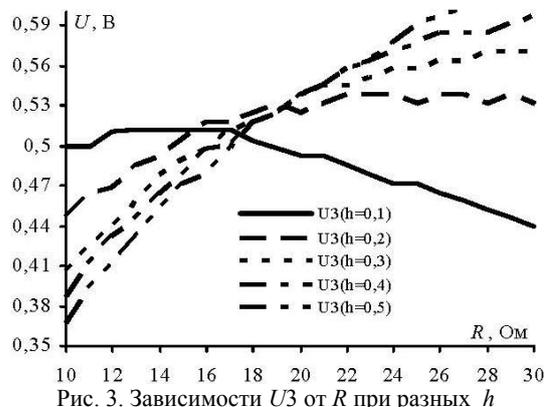


Рис. 3. Зависимости $U3$ от R при разных h

На рис. 4 приведены зависимости погонных задержек от h . Видно, что при увеличении h уменьшается максимальная разность задержек мод: если для $h = 0,1$ мм составляет 2,16 нс/м, то для $h = 2$ мм – 0,57 нс/м.

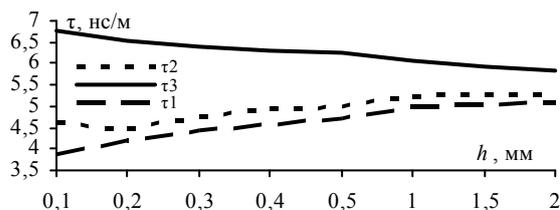


Рис. 4. Зависимость $\tau1, \tau2, \tau3$ от h

Таким образом, выполнено исследование данного МФ при больших значениях h . Показано, что выравнивание и минимизация амплитуд импульсов разложения и большая разность задержек мод достигаются при малых значениях h . Это вызвано увеличением связи между активным и пассивным проводниками МФ. Данный факт делает актуальным аналогичное исследование по увеличению связи за счет других параметров МФ, например роста относительной диэлектрической проницаемости подложки.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД 365.2018.8.

Литература

- Сахаров К.Ю. Исследование функционирования локальной вычислительной сети в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов / К.Ю. Сахаров, А.А. Соколов, О.В. Михеев и др. // Технологии ЭМС. – 2006. – № 3 (18). – С. 36–45.
- Газизов Т.Р. Исследование модальных искажений импульсного сигнала в многопроводных линиях с неоднородным диэлектрическим заполнением / Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, О.М. Кузнецова-Таджибаева // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2004. – Т. 11, № 11. – С. 18–22.
- Заболоцкий А.М. Теоретические основы модальной фильтрации / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов // Техника радиосвязи. – 2014. – № 3. – С. 79–83.

4. Gazizov T.R. Experimental results on ultra wide band pulse propagation in three-conductor power cables of flat and circular cross sections / T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky, I.E. Samotin // Proc. of Int. Siberian conf. on control and communications (SIBCON-2009). Russia, Tomsk. March 27–28, 2009. – 2009. – P. 264–269.

5. Самойличенко М.А. Разложение сверхкороткого импульса в модальном фильтре с пассивным проводником в опорной плоскости / М.А. Самойличенко, Т.Т. Газизов // Матер. XII Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск, Россия, 16–18 ноября, 2016. – Ч. 1. – С. 222–224.

6. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.

Самойличенко Мария Александровна
Аспирантка каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: 1933mary2011@mail.ru

УДК 621.389

А.А. Собко

Обзор пассивных устройств подавления кондуктивных электромагнитных помех

Проведен обзор пассивных устройств подавления кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в цепях питания, управления и коммутации РЭА. Представлен обзор конструкций традиционных и современных помехоподавляющих устройств. Уделено внимание плоскостным фильтрам и конструкциям так называемых мультитрактных проводников, и их применению в области фильтрации кондуктивных ЭМП.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электромагнитные помехи, кондуктивные помехи, фильтры, LC-звенья, проходные конденсаторы, мультитрактные проводники.

Одной из важных задач в современной электронике является защита электрооборудования от внешних и внутренних электромагнитных помех (ЭМП). Увеличение количества радиоэлектронных средств (РЭС), усложнение их функций, рост мощности излучения приводят к усложнению электромагнитной обстановки и созданию ЭМП, что значительно снижает надежность передачи, приема и обработки информации. Борьба с ЭМП всегда была одной из серьезных проблем при создании и эксплуатации РЭС. Наиболее опасными являются кондуктивные помехи, распространяющиеся в цепях питания, управления, коммутации и т.д. Появление таких помех, как правило, вызвано недостаточным сглаживанием напряжения источника питания, паразитными связями элементов устройства с цепью питания и неэквипотенциальностью точек заземления отдельных элементов РЭС. Для борьбы с такими помехами широко используются фильтры ЭМП, обеспечивающие электрическую развязку источников помех и защищаемого оборудования, не нарушая работоспособности системы.

Известны различные оценки электромагнитных помех [1, 2], снижение шумов с помощью конкретных схемотехнических решений [3–6] или создания специальных фильтров для ослабления помеховых выбросов [7–11]. Защита от ЭМП обычно осуществляется с помощью пассивных компонентов. Например, чтобы уменьшить помехи во входных и выходных цепях импульсных источников вторичного электропитания, используются встроенные и внешние фильтры ЭМП [12]. При этом пассивные фильтры состоят из крупных компонентов, которые увеличи-

вают объем и массу до 33% от устройства. К сожалению, в отечественных источниках данный вопрос раскрыт слабо, в особенности в освещении новых разработок. Например, в последние годы вызывает большой интерес идея плоскостных фильтров на базе мультитрактных проводников. Наиболее актуальной областью применения этой технологии является авионика, в которой экономия объема и массы имеет первостепенное значение. Фильтры ЭМП на базе мультитрактных проводников компактнее, имеют хорошие высокочастотные характеристики, а также низкие паразитные эффекты [13], что отличает их от традиционных.

Цель работы – представить обзор пассивных устройств подавления кондуктивных электромагнитных помех.

Традиционно фильтры ЭМП характеризуются такими параметрами, как вносимое затухание, частота среза, рабочий ток, рабочее напряжение и рабочий диапазон температур. Из них стоит выделить важность вносимого затухания и частоты среза. Вносимое затухание рассчитывают в децибелах как отношение напряжений помехи на нагрузке без фильтра к напряжению с включенным фильтром. Согласно ГОСТ 13661-92, вносимое затухание измеряется при сопротивлении 50 Ом на входе и выходе фильтра. На частоте среза вносимое затухание фильтра равно 3 дБ.

Фильтры на основе проходного конденсатора

Конструктивно помехоподавляющие фильтры представляют собой сочетание емкостных и индук-