

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

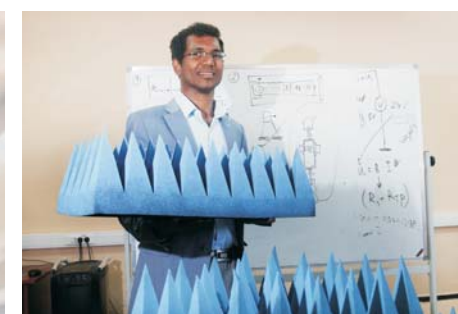
Материалы докладов

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](http://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](http://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/>).



максимумов напряжения уменьшается. На графиках видно, что формы напряжений с учетом потерь и без их учета практически совпадают для всех случаев.

#### Заключение

Таким образом, при таких геометрически малых размерах структуры влияние потерь при моделировании распространения импульса незначительно. Целесообразно исследовать структуры с более сложной геометрической формой, а также исследовать влияние изменения ширины между проводниками на локализацию и амплитуду максимума.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

#### Литература

1. Орлов П.Е. Новая концепция создания интегрированных датчиков для контроля электромагнитной обстановки в бортовой аппаратуре космического аппарата / П.Е. Орлов, Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2012. – № 5. – С. 20–23.
2. Achar R., Nakhla M.S. Simulation of high-speed interconnects // *Proc. IEEE*. – 2001. – Vol. 89, No. 5. – P. 693–728.
3. Заболоцкий А.М. Временной отклик многопроводных линий передач / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: ТУСУР, 2007. – 152 с.
4. Газизов Р.Р. Локализация максимумов сигнала в многопроводных линиях передачи печатных плат с помощью системы TALGAT / Р.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, П.Е. Орлов // *Доклады ТУСУР*. – 2015. – № 4(38). – С. 147–150.
5. Газизов Р.Р. Исследование распространения сверхкороткого импульса в микрополосковой С-секции при изменении зазора между связанными проводниками / Р.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, Т.Т. Газизов // *Доклады ТУСУР*. – 2016. – № 1(19). – С. 79–82.
6. 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.
7. Выявление и локализация экстремумов сигнала в двухвитковой меандровой линии с учетом потерь / Рустам Р. Газизов, Руслан Р. Газизов // *Сб. избр. ст. научной сессии ТУСУР: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2018»*. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 2. – С. 246–249.
8. 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.
9. Wideband frequency-domain characterization of FR-4 and time-domain causality / A.R. Djordjevic, R.M. Biljic, V.D. Likar-Smiljanic, T.K. Sarkar // *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*. – 2001. – Vol. 43, No. 4. – P. 662–666.

#### Газизов Рустам Рифтович

Студент каф. БИС ТУСУРа

Эл. почта: gazizovtsk@yandex.ru

#### Газизов Руслан Рифатович

Мл. науч. сотр. каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: ruslangazizow@gmail.com

УДК 621.396.41

Ч.Л. Хомушку, Р.Р. Газизов

## Локализация экстремумов сверхкоротких импульсов от источника преднамеренных воздействий в шине печатной платы космического аппарата

Рассматриваются выявление и локализация экстремумов сигнала в схемах из многопроводных линий передачи. Использован фрагмент шины печатной платы космического аппарата. С помощью компьютерного моделирования локализованы экстремумы напряжения при воздействии сверхкороткого импульса от источника преднамеренных воздействий, а также максимумы перекрестных наводок от него.

**Ключевые слова:** моделирование, сверхкороткий импульс, локализация экстремумов сигнала, квазистатистический анализ, электромагнитная совместимость.

С развитием радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) выявление и локализация экстремумов сигнала становятся все более актуальными, поскольку их результаты могут быть полезны для обеспечения электромагнитной совместимости, а также для совершенствования защиты от преднамеренных и непреднамеренных сверхкоротких импульсов (СКИ). Это особенно актуально в критичных системах, таких как космические аппараты или самолеты.

Разработаны алгоритмы и программный комплекс по выявлению и локализации экстремумов

сигнала в многопроводных линиях передачи (МПЛП) [1]. Выполнены исследования по выявлению и локализации экстремумов СКИ в шине печатной платы (ПП) системы автономной навигации (САН) космического аппарата (КА) [2–4]. Однако эти исследования выполнены только с применением сигналов в форме трапеции, и лишь в работе [5] использован электростатический разряд. Моделирование с применением формы сигнала от реальных источников преднамеренных воздействий выполнено не было.

Цель данной работы – выполнить исследование по выявлению и локализации экстремумов СКИ от реального источника преднамеренных воздействий в шине ПП.

Для исследования использовалась система TALGAT, в которой реализована база данных [6] с реальными формами СКИ от источников преднамеренных воздействий [7]. На рис. 1 представлена форма ЭДС используемого импульса воздействия. В качестве исследуемой взята шина ПП из работы [8], принципиальная схема которой изображена на рис. 2. Первый проводник шины ПП моделировался как активный, а остальные проводники были пассивными.

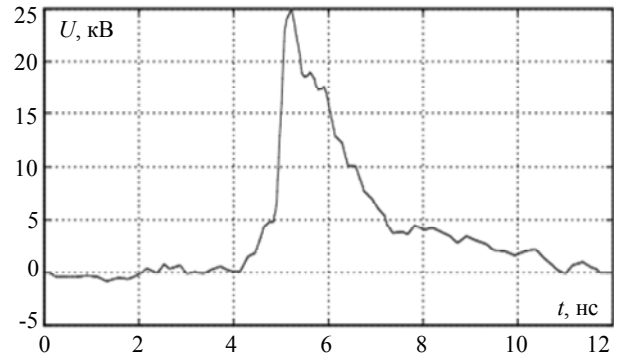


Рис. 1. Форма импульса воздействия

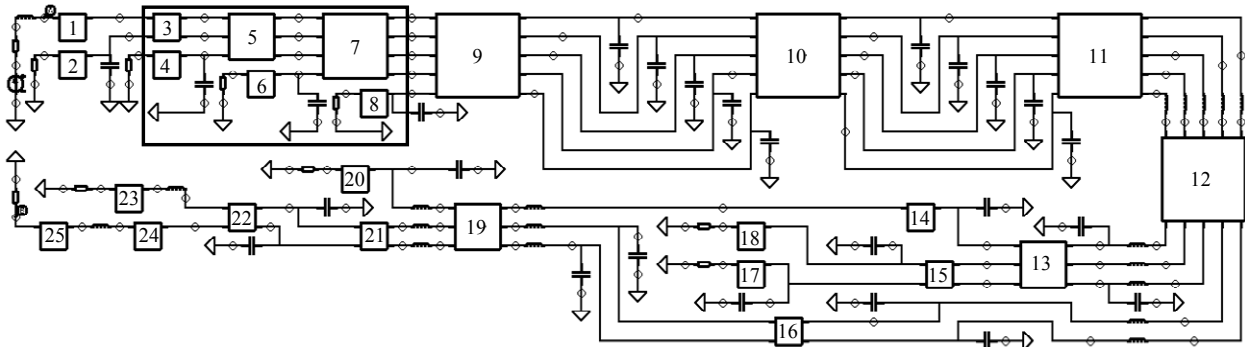


Рис. 2. Принципиальная схема шины ПП

В таблице приведены результаты моделирования распространения СКИ вдоль проводников шины. В процентах указано в проводнике 1 превышение амплитуды максимума сигнала над амплитудой сигнала на входе, а в проводниках 2–5 – амплитуды перекрестной помехи над амплитудой сигнала в активном проводнике. Отметим, что возможность пробоя высоким напряжением при моделировании не учитывалась.

Далее приведены наиболее наглядные результаты, а именно формы напряжения и перекрестных наводок с максимальными значениями и их локализация для тех случаев, где выявлены экстремумы.

#### Результаты моделирования

| Номер проводника | $U_{\max}$ , В | $U_{\text{вх}}$ , В | %    | Линия (сегмент) |
|------------------|----------------|---------------------|------|-----------------|
| 1                | 13978,2        | 13918,6             | 0,43 | 7(20)           |
| 2                | 1115,79        | 1092,92             | 7,98 | 7(8)            |
| 3                | 212,38         | 212,21              | 1,52 | 4(9)            |
| 4                | 82,46          | 81,92               | 0,59 | 6(9)            |
| 5                | 75,17          | 70,24               | 0,54 | 8(9)            |

Формы напряжений в проводнике 1 (активном) показаны на рис. 3, а: в начале и конце проводника, а также с экстремумом. Локализация экстремума приведена на рис. 3, б (указана стрелкой). Выявлен максимум напряжения, на 0,43% превышающий амплитуду сигнала на входе. Максимум выявлен в сегменте 20 (из 20) в отрезке МПП.

Формы перекрестных наводок с экстремумом в проводнике 2 (пассивном) представлены на рис. 4, а, а локализация экстремума – на рис. 4, б. Выявлен

максимум перекрестной наводки, локализованный в сегменте 8 линии передачи 7, составляющий 7,98% от амплитуды сигнала в активном проводнике.

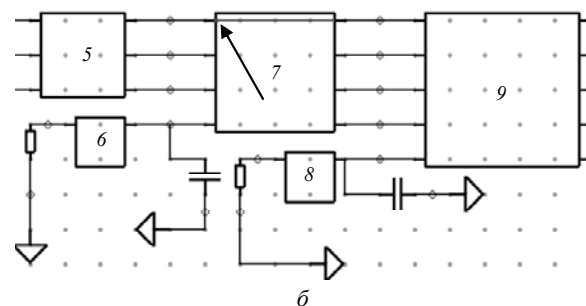
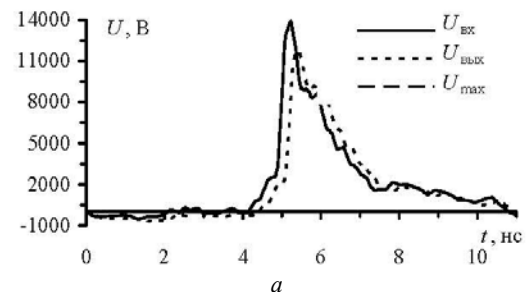


Рис. 3. Формы напряжений (а) и локализация экстремума (б) в активном проводнике

Формы перекрестных наводок с экстремумом в проводнике 3 (пассивном) представлены на рис. 5, а, а локализация экстремума – на рис. 5, б. В сегменте 9 линии передачи 4 выявлен максимум перекрестной наводки, составляющий 1,52% от амплитуды сигнала в активном проводнике.

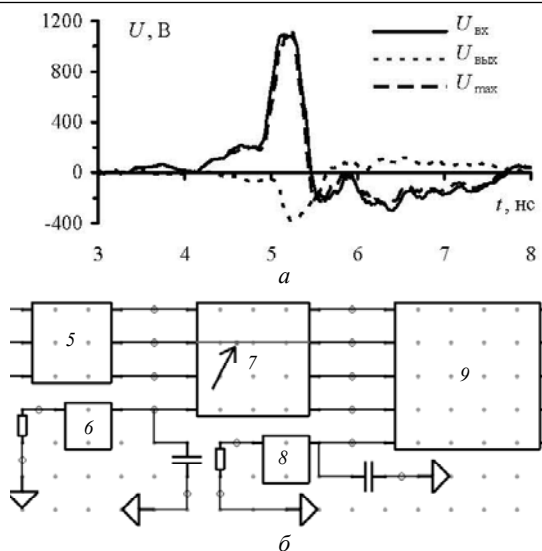


Рис. 4. Формы перекрестных наводок (а) и локализация экстремума (б) в проводнике 2

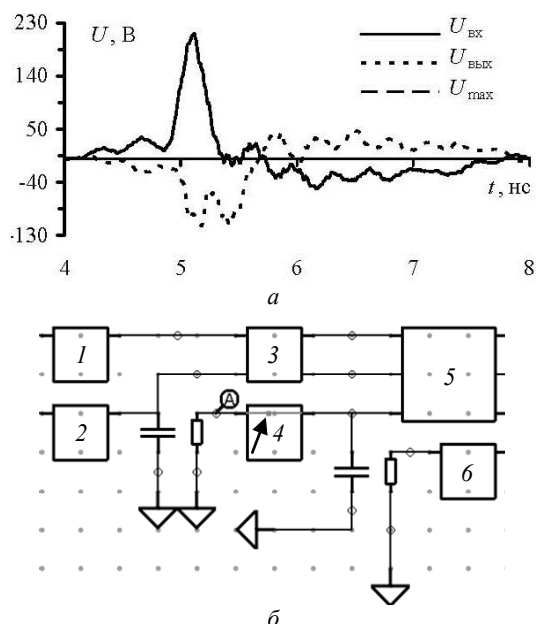


Рис. 5. Формы перекрестных наводок (а) и локализация экстремума (б) в проводнике 3

Формы перекрестных наводок с экстремумом в проводнике 4 (пассивном) представлены на рис. 6, а, а локализация экстремума – на рис. 6, б. Выявлен максимум перекрестной наводки, локализованный в сегменте 9 линии передачи 6, составляющий 0,59% от амплитуды сигнала в активном проводнике.

Формы перекрестных наводок с экстремумом в проводнике 5 (пассивном) представлены на рис. 7, а, а локализация экстремума – на рис. 7, б. Максимум перекрестной наводки выявлен в сегменте 9 линии передачи 8. Он составил 0,54% от амплитуды сигнала в активном проводнике.

Из полученных результатов видно, что значительных превышений напряжения вдоль проводников этой шины нет. Наибольший максимум превышает амплитуду сигнала на входе на 0,43%.

мум перекрестной наводки 1115,79 В составляет менее 10% от амплитуды сигнала в активном проводнике. Локализация экстремумов находится примерно в одной области, отмеченной на рис. 2.

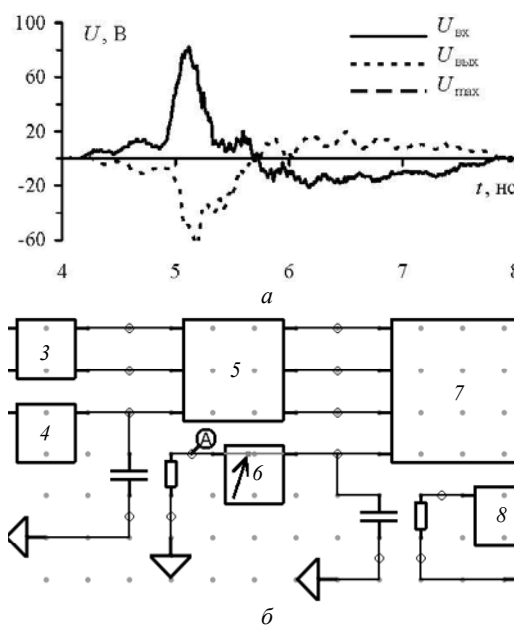


Рис. 6. Формы перекрестных наводок (а) и локализация экстремума (б) в проводнике 4

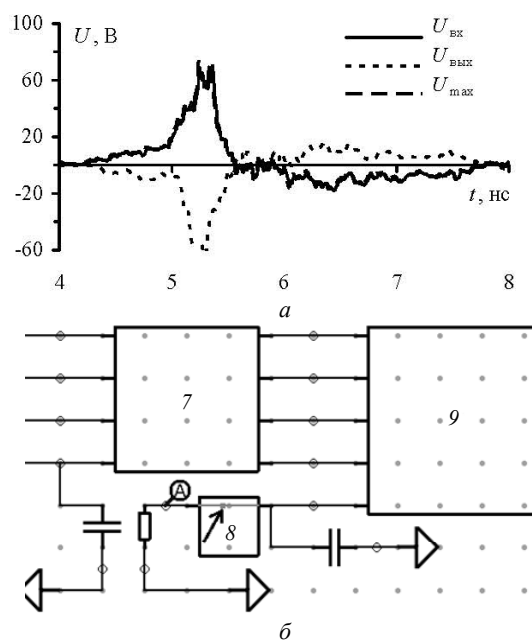


Рис. 7. Формы перекрестных наводок (а) и локализация экстремума (б) в проводнике 5

Таким образом, в результате работы исследования на шинах ПП при использовании формы СКИ от реального источника преднамеренных воздействий. Показано, что в данной шине при таком СКИ существенных превышений напряжения и перекрестных наводок не наблюдается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.



## 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.

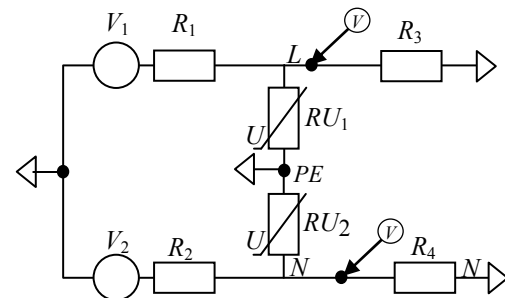


Рис. 1. Схема синфазного включения варисторов