

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

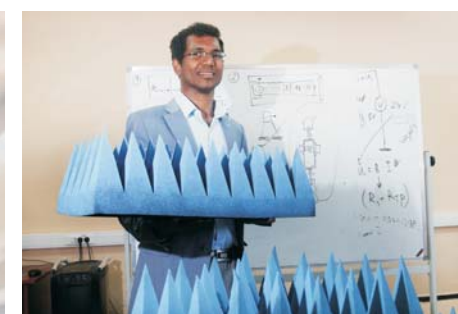
Материалы докладов

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/>).



Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 8, №6. – С. 70–76.

9. Aoyagi T. Effects of incident directions on reflection coefficients of pyramidal electromagnetic wave absorber / T. Aoyagi, H. Kurihara, K. Takizawa, Y. Hirai // Proc. Int. Symp. Electromagn. Compat. (EMC). – 2014. – P. 278–281.

10. Li B.-W. Enhanced microwave absorption in nickel/hexagonal-ferrite/polymer composites / B.-W. Li, Y. Shen, Z.-X. Yue, C.-W. Nan // Applied Physics Letters. – 2006. – Vol. 89, №13.

11. Gupta N. Reinforced polymer matrix syntactic foams: effect of nano and micro-scale reinforcement / N. Gupta, D. Pinisetty, V.C. Shunmugasamy. – Berlin: Springer, 2013. – 80 p.

12. Xie X. Synthesis and characterization of multilayer core-shell structure hollow spheres with low density, favorable magnetic and conductive properties / X. Xie, Y. Wu, Y. Kong, Z. Zhang, X. Zhou // Colloids and surfaces. – 2012. – Vol. 408. – P. 104–113.

13. Zhang L. Effect of carbon nanofiber reinforcement on electromagnetic interference shielding effectiveness of syntactic foam / L. Zhang, L.B. Wang, K.Y. See, J. Ma // Journal of Material Science. – 2013. – Vol. 48, № 21. – P. 7757–7763.

14. Pegel S. Dispersion, agglomeration, and network formation of multiwalled carbon nano-tubes in polycarbonate melts / S. Pegel, P. Potschke, G. Petzold et al. // Polymer. – 2008. – Vol. 49, № 4. – P. 974–984.

15. Zhao H.-B. Excellent electromagnetic absorption capability of Ni/Carbon based conductive and magnetic foams synthesized via a green one pot route / H.-B. Zhao, Z.-B. Fu, H.B. Chen et al. // ACS Applied Materials and Interfaces. – 2016. – Vol. 8, № 2. – P. 1468–1477.

16. Farhan S. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon foam containing in situ grown silicon carbide nanowires / S. Farhan, R. Wang, K. Li // Ceramics International. – 2016. – Vol. 42, № 9. – P. 11330–11340.

17. Ababei G. Omni-directional selective shielding multilayered material for high frequency radiation / G. Ababei, V. David, V. Dafinescu et al. // IEEE Trans. on Magnetics. – 2012. – Vol. 48, № 11. – P. 4309–4312.

18. Jan R. Estimating EMI shielding effectiveness of graphene-polymer composites at elevated temperatures / R. Jan, A. Saboor, A.N. Khan, I. Ahmad // Material Research Express. – 2017. – Vol. 4, № 8. – P. 1–8.

**Демаков Александр Витальевич**

Инж. каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: vandervals@inbox.ru

**Зуева Мария Александровна**

Инж. НИЛ «БЭМС РЭС» ТУСУРа

Эл. почта: zueva\_ria@mail.ru

УДК 621.396.41

**Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков, Е.Б. Черникова**

## Моделирование модального фильтра для защиты входных цепей пикосекундного локатора

Предложено использование модальной фильтрации для защиты входных цепей пикосекундного локатора. Выполнена параметрическая оптимизация трех структур модальных фильтров (МФ) генетическими алгоритмами. Представлены структуры МФ с прямоугольным вырезом, обладающие увеличенным значением коэффициента передачи в полосе пропускания.

**Ключевые слова:** модальный фильтр, пикосекундный локатор, оптимизация, коэффициент передачи, резонансная частота.

В современной радиолокации одной из актуальных проблем является борьба с пассивными помехами, связанными с отражениями. Они могут привести к подавлению полезных сигналов и насыщению приемного тракта локатора. В настоящее время для защиты локаторов широко используется схема на основе диодов [1]. Недостаток ее в том, что с повышением уровня входного сигнала данная схема защиты входит в режим ограничения и информация о объектах вблизи теряется. Предлагаются устройства защиты на основе модальной фильтрации, которые не обладают этим недостатком [2]. Кроме того, модальные фильтры (МФ) обеспечивают защиту в пикосекундном диапазоне работы локатора.

Для нормального функционирования в системах радиолокации МФ должен соответствовать следующим требованиям: иметь волновое сопротивление

50 Ом, плоскую характеристику в полосе пропускания, чтобы снизить влияние на полезный сигнал, и значение резонансной частоты должно быть небольшим для приемлемой разности задержек мод. Таким образом, целью данной работы является исследование структур МФ для защиты входных цепей пикосекундного локатора.

### Квазистатическое моделирование

Исследовались поперечные сечения структур МФ (рис. 1, а–в), которые могут быть пригодны для защиты в пикосекундном диапазоне [3]. Однако для нормального функционирования, МФ в системах радиолокации должен соответствовать следующим требованиям: иметь волновое сопротивление 50 Ом для согласования входных цепей локаторов и МФ, плоскую характеристику в полосе пропускания, чтобы снизить влияние МФ на полезный сигнал ПЛ,

и резонансная частота должна оставаться неизменной для сохранения значения разности задержек мод. Выполнялась многокритериальная оптимизация с помощью генетического алгоритма для улучшения характеристик МФ по двум критериям:

1. Сохранение резонансной частоты  $f_p = 1$  ГГц.
2. Обеспечение волнового сопротивления 50 Ом.

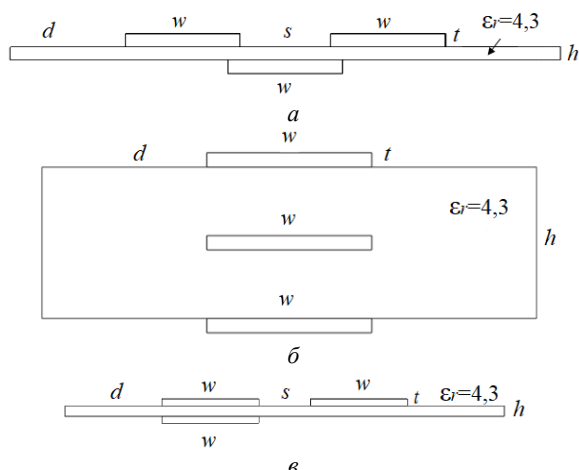


Рис. 1. Поперечные сечения двухпроводных МФ: с боковой связью (а), зеркально-симметричного (б), асимметричного (в)

Оптимизировались параметры: ширина проводников  $w$ , расстояние между проводниками  $s$ , толщина подложки  $h$  в диапазоне 100–2000 мкм. Толщина проводника  $t = 105$  мкм, также, как и значение диэлектрической проницаемости диэлектрика  $\epsilon_r = 4,3$  не менялось при оптимизации. Для достижения первого критерия необходимо соблюдение разности временных задержек импульсов разложения равной 0,5 нс. Данное значение получилось исходя из формулы зависимости  $f_p$  и  $\Delta\tau$  в МФ (1). При такой формулировке критерия нет необходимости вычислять затратный по времени частотный отклик:

$$f = \frac{1}{l \cdot 2\Delta\tau}, \quad (1)$$

где  $f_p$  – частота первого нуля;  $l$  – длина линии;  $\Delta\tau$  – разность между импульсами разложения.

Формулировка многокритериальной целевой функции ( $F$ ) подразумевает приведение отдельных критериев к одной задаче минимизации или максимизации [4], поэтому целевая функция по первому критерию имеет вид

$$F_1 = |\Delta\tau - 0,5 \cdot 10^{-9}| \rightarrow \min, \quad (2)$$

Второй критерий сводится к минимизации разности волнового сопротивления линии и значения 50 Ом:

$$F_2 = |Z_c - 50| \rightarrow \min. \quad (3)$$

Формулировка общей целевой функции для оптимизации по нескольким критериям представлена как

$$F = F_1 + F_2. \quad (4)$$

Параметры ГА выбирались следующими: число особей – 50, количество поколений – 100; коэффициент мутации – 0,1, коэффициент кроссовера – 0,5.

Результаты оптимизации сведены в табл. 1. Выполнено моделирование амплитудно-частотных характеристик, полученных на основе данных из табл. 1. При этом для каждой структуры были подобраны значения длины линии  $l$  м для обеспечения частоты первого нуля, равного 1 ГГц. Вычисление параметров линий и форм сигнала выполнялось в системе TALGAT [5]. Значения сопротивлений  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 50$  Ом. Потери в проводниках и диэлектриках учтены. Принципиальная электрическая схема МФ представлена на рис. 2.

Таблица 1

Результаты оптимизации								
Структура	$s$ , мкм	$w$ , мкм	$h$ , мкм	$l$ , м	$t$ , мкм	$\epsilon_r$	$\Delta\tau$ , нс/м	$Z_c$ , Ом
1	200	1000	290	0,45	105	4,3	1,1	52
2	–	1200	500	0,65	105	4,3	0,73	49,8
3	800	1500	160	0,18	105	4,3	2,77	51

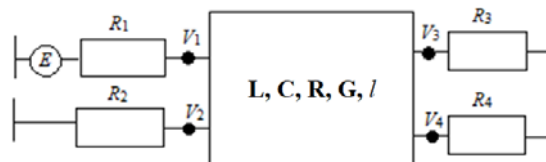


Рис. 2. Принципиальная схема МФ

Амплитудно-частотные характеристики исследуемых структур МФ приведены на рис. 3. Частотная характеристика всех исследуемых структур МФ имеет частоту первого нуля  $f_p = 1$  ГГц. Однако структуры МФ не обеспечивают плоскую характеристику в полосе пропускания.

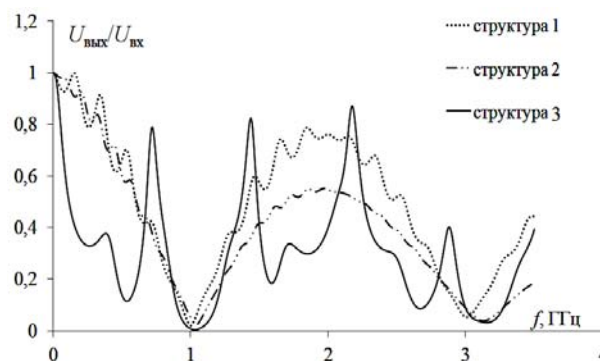


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики исследуемых структур МФ

### Электродинамическое моделирование МФ с прямоугольным вырезом

Оптимизация квазистатическим подходом не позволила получить более плоскую характеристику в полосе пропускания. Было предложено реализовать активный и пассивный проводник в виде плоского конденсатора [6]. Для реализации такой структуры добавлен прямоугольный вырез в центр проводника. Вырез выступает в роли дополнительного LC-звена, позволяющего увеличить коэффициент

передачи в полосе пропускания, а также увеличить крутизну спада частотной характеристики. Длина выреза выбрана равной 1/3 длины проводника, а ширина – как 2/3 ширины проводника.

Для моделирования таких структур выбран электродинамический подход. Для сравнения получены частотные зависимости  $|S_{21}|$  исследуемых структур без выреза (рис. 4) и с вырезом (рис. 5). Результаты моделирования структур сведены в табл. 2.

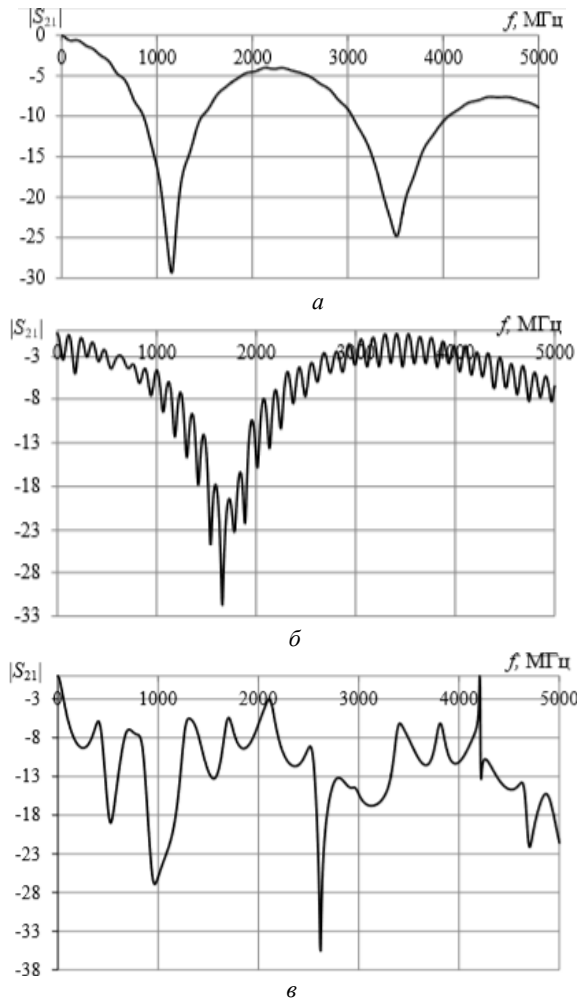


Рис. 4.  $|S_{21}|$  МФ с боковой связью (а); зеркально-симметричного (б); асимметричного (в) без вырезов в проводниках

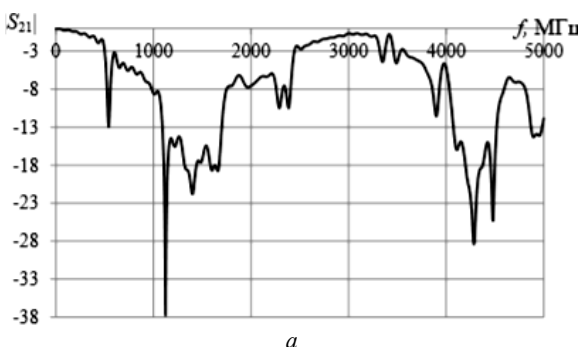
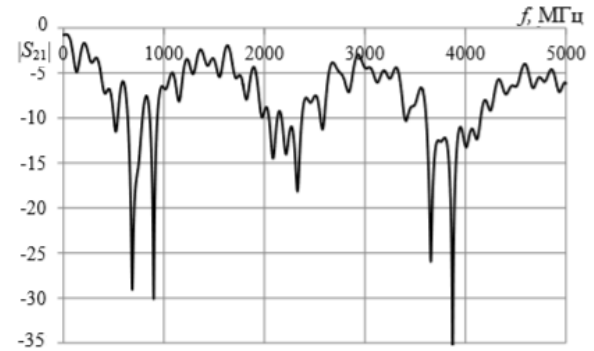
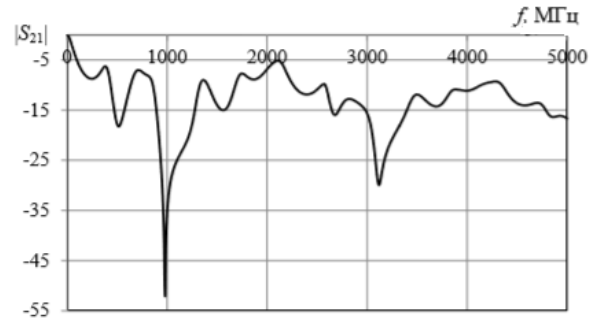


Рис. 5 (начало)



б



в

Рис. 5 (окончание).  $|S_{21}|$  МФ МФ с боковой связью (а), зеркально-симметричного (б), асимметричного (в) с вырезом в проводниках

Таблица 2

#### Результаты оптимизации

Структура	Без выреза			С вырезом		
	Уровень $-1$ дБ $S_{21}$ , МГц	$f_p$ , МГц	Полоса пропускания, МГц	Уровень $-1$ дБ $S_{21}$ , МГц	$f_p$ , МГц	Полоса пропускания, МГц
1	225	755	476	314	670	651
2	215	930	201	225	839	352
3	40	70	65	45	79	75

#### Заключение

Для защиты входных цепей пикосекундного локатора предложены структуры МФ. Выполненная оптимизация трех структур МФ генетическим алгоритмом не позволила увеличить коэффициент передачи в полосе пропускания при неизменной резонансной частоте. Было показано, что решение данной задачи возможно путем добавления прямоугольного выреза в активный и пассивный проводники. Однако для получения требуемой характеристики требуются дополнительные исследования.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации MD-365.2018.8.

#### Литература

1. Куулар Ш.В. Моделирование модального фильтра для защиты входных цепей пикосекундного локатора.: выпускная квалификационная работа. – Томск, 2018. – 58 с.
2. Заблоцкий А.М. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов / Т.Р. Газизов, А.М. Заблоцкий // Технологии электромагнитной совместимости. – 2006. – №4. – С. 40–44.



3. Заболоцкий А.М. Модели, алгоритмы, методики, технологии и устройства для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата: дис. ... д-ра техн. наук: 05.12.04. – Томск, 2016. – С. 358.

4. Belousov A.O. Multicriteria optimization of four-conductor modal filter by genetic algorithms / A.O. Belousov, T.T. Gazizov, T.R. Gazizov // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Russia, Novosibirsk. Sep 18–22, 2017. – P. 445–448.

5. Куксенко С.П. 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.

6. Веселов Г.И. Микроэлектронные устройства СВЧ: учеб. пособие для радиотехнических специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1988. – 280 с.

**Куулар Шончалай Валерьевна**  
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа  
Эл. почта: kuular-1996.@inbox.ru

**Хажибеков Роман Русланович**  
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа  
Эл. почта: r300994@mail.ru

**Черникова Евгения Борисовна**  
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа  
Эл. почта: chiernikova96@mail.ru

УДК 621.316.93

**В.Н. Башкиров, Е.С. Волкова, В.А. Скворцов, В.С. Шабалов**

## Выбор испытательных параметров при оценке устройств АСУ по ЭМС

Рассмотрены методы защиты линий связи и самих устройств автоматизированных систем управления. Представлены основные параметры линий связи и интерфейсов RS-232 и RS-485. Предложены кабели для использования в линиях связи для АСУ. Рассмотрен ГОСТ, определяющий основные параметры типовых импульсных воздействий и методику испытаний. Предложены фильтр для защиты линий связи и устройств АСУ и методы защиты для длинных линий связи.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, интерфейс RS-232, фильтр, линии связи, помехи.

Исследования по электромагнитной совместимости (ЭМС) устройств проводятся не только для обеспечения минимальных помехоэмиссий от этих устройств, но и для обеспечения их стойкости к электромагнитным помехам и внешним воздействиям, особенно к помехам большой энергии по цепям питания и по линиям связи.

Разработка программ и методик проведения испытаний является сложной задачей. Как правило, требуется знать, какие конкретно методы и оборудование применяются для проведения тех или иных испытаний по ЭМС, при этом нужно иметь достаточно полное представление об объекте испытаний, знать его технические характеристики и режимы функционирования. Все это необходимо для правильного выбора испытательных значений воздействующих напряжений и обеспечения стойкости к ним, что и является целью этой работы.

К проблеме помехозащищенности систем промышленной автоматики следует относиться с особым вниманием, поскольку неправильный выбор схемы подключения или разводки кабелей, системы заземления и экранирования может обесценить достоинства интеллектуальной части системы.

Линия связи для объединения устройств в АСУ представляет собой распределенную длинную линию, которая, как линия передачи, обладает продольным размером. Но если ее физическая длина превышает длину волны сигнала, распространяюще-

гося в ней, а поперечные размеры (например, расстояние между проводниками, образующими линию) значительно меньше длины волны, то в этой линии могут возникнуть как стоячие, так и отраженные и поперечные волны, что может привести к потере информации. Сама по себе длинная линия является системой с распределенными параметрами, так как каждый элемент её длины обладает одновременно некоторыми значениями индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$  проводов, а также взаимной ёмкостью  $C$  и проводимостью  $G$  между проводниками [1].

Для согласования информационных потоков с линиями связи и для блокирования нежелательных процессов в линиях передачи данных разработаны стандарты и устройства передачи информационных потоков. В основном в системах передачи данных используются стандарты RS-485 и RS-232, а также соответствующие им соединительные кабели и интерфейсные блоки.

Основные характеристики интерфейса RS-485:

– максимальная длина одного сегмента сети 1200 м;

– выходной каскад должен выдерживать режим короткого замыкания и иметь максимальный выходной ток 250 мА;

– входной каскад представляет собой дифференциальный вход с высоким входным сопротивлением и пороговой характеристикой от  $-200$  мВ до  $+200$  мВ;

– допустимый диапазон входных напряжений относительно земли от  $-7$  до  $+12$  В [3].

Остальные параметры интерфейса также приведены в таблице.

**Электрические параметры интерфейса RS-485**

Параметр	Условие	Мин.	Макс.	Единица измерения
Выходное напряжение передатчика с нагрузкой	$R_{\text{нагр}} = 54 \text{ Ом}$	1,5 –1,5	5–5	В
Ток КЗ передатчика	КЗ выхода на источник питания $+12$ В или на $-7$ В	–	$\pm 250$	мА
Длительность переднего фронта импульсов передатчика	$R_{\text{нагр}} = 54 \text{ Ом}$ $C_{\text{нагр}} = 50 \text{ пФ}$	–	30	% от ширины импульса
Синфазное напряжение на выходе передатчика	$R_{\text{нагр}} = 54 \text{ Ом}$	–1	3	В
Чувствительность приемника	При синфазном напряжении от $-7$ до $+12$ В	–	$\pm 200$	мВ
Синфазное напряжение на входе приемника		$-7$	$+12$	В
Входное сопротивление приемника		12	–	кОм
Максимальная скорость передачи	Кабель длиной: 12 м, 1200 м	10 100	–	Мбит/с Кбит/с

Длина кабеля влияет на максимальную скорость передачи информации. Более длинный кабель имеет большую емкость и соответственно для обеспечения надежной передачи в линии связи устанавливается более низкая скорость. Большая емкость приводит к тому, что изменение напряжения на одном сигнальном проводе может передаться на другой смежный сигнальный провод.

Интерфейс RS-232 обеспечивает передачу данных и некоторых специальных сигналов между терминалом и коммуникационным устройством на расстоянии до 15 м.

Для обеспечения связи элементов АСУ используют специальные кабели, а информация обрабатывается по стандартному алгоритму в соответствии с выбранным интерфейсом. Передатчик интерфейсного блока преобразует входной сигнал в сигнал для кабеля УТР категории 5 или выше (используемых для прокладки компьютерных сетей), а приёмник, на другом конце линии связи осуществляет обратное преобразование.

Уровни возможных импульсных воздействий на кабельные линии и устройства АСУ в основном определяются электромагнитной обстановкой и областью ее использования. Параметры испытательных воздействий регламентируются соответствующими стандартами. Требования по устойчивости к таким воздействиям установлены в настоящем стандарте

так, чтобы обеспечить приемлемый уровень работоспособности технических средств (ТС), применяемых в промышленных зонах. Установленные требования, однако, не касаются случаев, которые с малой вероятностью могут иметь место в условиях применения ТС. При проведении испытаний воздействия подаются на линии связи по двум схемам «провод – земля» и «провод – провод». Длительность фронта импульса/длительность импульса  $1,2/50$  мкс, амплитуда импульсов  $\pm 1$  кВ. Приведенные параметры импульсных воздействий применяют для входных портов, длина подключаемых кабелей которых, в соответствии с техническими документами на ТС конкретного типа, может превышать 30 м [2].

Из изложенного следует, что такому испытанию подлежат только те порты и линии связи, которые соответствуют указанным значениям, а интерфейсы и линии связи, которые не попадают под эти требования, могут использоваться без дополнительных защитных средств (это кабели УТР любой категории длиной менее 30 м и интерфейсы стандарта RS-232).

В системах, где длина кабеля превышает 30 м, предпочтительно использование кабелей категории 7. Они по своей конструкции содержат экранирующие оплетки, которые являются средством защиты линий связи от электрических полей высокой энергии. В отдельных случаях возможно использование кабелей 5-й и 6-й категорий при их размещении в экранирующих коробах.

В ТС, которые подвергаются импульсному воздействию высокой энергии, часто используют помехоподавляющие фильтры, которые позволяют снизить кондуктивные помехи как от внешних, так и от внутренних источников. Выбор необходимого типа фильтра зависит от электрических характеристик системы, в которую он устанавливается, требований по эффективности подавления помех, а также требований, определенных конструкцией, условиями эксплуатации и параметрами используемых компонентов.

Основной задачей этих фильтров является обеспечение предельно допустимых значений воздействий напряжений импульсных помех высокой энергии, которые могут воздействовать на систему в соответствии с областью ее использования. Основными местами таких воздействий являются линии связи и интерфейсные узлы, а их предельные параметры являются определяющими.

К основным параметрам следует отнести максимальное рабочее напряжение проводников информационного кабеля и предельный ток информационной жилы. В интерфейсных устройствах определяющими характеристиками являются их стойкость к импульсным воздействиям по входным и выходным цепям. Как правило, эти параметры обеспечиваются специальными защитными цепями, при этом следует иметь в виду, что энергия импульса может достигать значений от 10 до 400 Дж.

Импульсное воздействие может действовать как на приемник, так и на передатчик. В связи с этим защитные фильтры должны располагаться по линии связи: на выходе передатчика и на входе приемника.