

УДК 621.391.825

Модифицированная микрополосковая линия, защищающая от сверхкороткого импульса

Самойличенко М. А., Газизов Т. Р.

Актуальность работы: обеспечение стабильной работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в условиях воздействия электромагнитных помех актуально в связи с тем, что радиосистемы становятся более сложными, область применения РЭА расширяется, увеличивается плотность монтажных плат. Имеется большой выбор устройств защиты, но они имеют сложные конструктивные особенности, которые приводят к недостаточному быстрдействию и паразитным параметрам, затрудняя защиту от мощного сверхкороткого импульса (СКИ). Разработка современных устройств защиты требует упрощения и удешевления их реализации, поэтому актуально их совершенствование. Среди них активно исследуются модальные фильтры (МФ), но для каждого из них требуется пассивный проводник, который занимает место и имеет массу. Поэтому актуально совершенствование МФ. **Цель работы** – разработать новое устройство защиты РЭА от СКИ на основе модифицированной микрополосковой линии. **Результат:** достигнуто выравнивание амплитуд импульсов разложения, оказавшихся в 3 раза меньше уровня входного сигнала. **Используемые методы:** при обосновании технических решений и моделировании их функционирования использовался квазистатический анализ. **Практическая значимость:** данное решение позволит организовать простую и дешевую защиту от СКИ в широко используемых двухсторонних печатных платах.

Ключевые слова: микрополосковая линия, модальный фильтр, сверхкороткий импульс.

Введение

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) все больше оснащается электронными системами управления и микропроцессорными устройствами, чувствительными к электромагнитным помехам. Повышение степени интеграции элементной базы электроники приводит к снижению электрической прочности отдельных компонентов аппаратуры, а также повышению уязвимости элементов РЭА к воздействию электромагнитных помех различного происхождения, особенно преднамеренных [1]. В частности, сверхкороткие импульсы (СКИ) могут привести к сбою или выводу из строя РЭА [2]. Большое внимание исследованиям СКИ и его влияния уделили Акбашев Б. Б. [3, 4], Мырова Л. О. [5, 6], Гизатуллин З. М. [7], Гайнутдинов Р. Р. [8], Сидоров А. В., [9]. Эффективная защита от излучаемых СКИ возможна с помощью экранирования [10]. Однако остается канал распространения по проводникам, в т.ч. от наводок ослабленного поля на проводники внутри экрана.

Библиографическая ссылка на статью:

Самойличенко М. А., Газизов Т. Р. Модифицированная микрополосковая линия, защищающая от сверхкороткого импульса // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 203-214. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10210.

Reference for citation:

Samoylichenko M. A., Gazizov T. R. Modified microstrip line which can protect against ultrashort pulse. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 2, pp. 203-214. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10210 (in Russian).

Для повышения защищенности РЭА от кондуктивных помех предлагаются такие устройства защиты, как ограничители, фильтры и т.д. Рассмотрим некоторые из них.

Известно устройство для защиты радиотехнической аппаратуры от импульсных перенапряжений [11]. Оно состоит из разрядников и дополнительных компонентов и позволяет улучшенную защиту от разнополярного импульса. Известно устройство для защиты средств связи от импульсных перенапряжений [12]. В устройство введен блок запуска, включенный между шунтирующим блоком и антенно-фидерным трактом. Известно устройство защиты приемного тракта радиолокационных станций от мощного электромагнитного излучения [13]. Оно состоит из датчика, линии задержки и двух разрядников (итерационного и быстродействующего). Недостатком устройств является сложность конструкции и малый ресурс.

Известно устройство защиты потребителей от превышения напряжения по сети электропитания [14]. Устройство обладает повышенной устойчивостью к воздействию высокочастотных единичных импульсов в сети питания и обеспечивает обесточивание потребителя при превышении напряжения в сети выше уровня настройки. Недостатком устройства является не всегда приемлемое обесточивание устройства и довольно сложная схемотехника.

Известно устройство защиты входа радиоприемника от электромагнитного импульса ядерного взрыва [15]. Устройство содержит штыревую антенну, соединенную кабельной линией с приемником, трехсекционный автотрансформатор, две емкости и запирающую катушку. Известно устройство защиты электроприемников от воздействия разрядов молнии и электромагнитных импульсов, наводимых от разрядов в магистральных кабельных линиях электропередачи [16]. Устройство состоит из ряда электромеханических компонентов. Недостатком устройств является сложность схемы.

Известно устройство защиты «Электрическая розетка с защитой от помех» [17]. Решение достигается тем, что в исходную электрическую розетку введен высокочастотный сетевой фильтр и дополнительная клемма земли. Данные элементы установлены во внутренней полости основания. Реализованы специальные подвижные узлы, которые установлены на основании и позволяют коммутировать контакты для электрического соединения фазы и нуля элементов защиты с проводами первичной электрической сети только при установке штырей вилки кабеля электропитания вычислительной техники в отверстиях. Недостатком устройства является сложность конструкции.

Гораздо проще по схемотехнике, конструкции и изготовлению устройство защиты от СКИ, называемое модальным фильтром (МФ) [18], в котором происходит разложение помехового импульса в отрезке связанной линии на моды, каждая из которых распространяется со своей задержкой, так что на выход МФ приходят импульсы с меньшей амплитудой. Но у любого МФ есть пассивный проводник, который занимает место и имеет массу. Одним из таких является устройство защиты от импульсных сигналов с выравниванием амплитуд разложенных импульсов, недостатком которого является наличие пассивного проводника на одном слое с активным [19]. Однако в некоторых актуальных

приложениях, например в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов, желательно минимизировать массу и иметь почти неограниченный ресурс. Поэтому актуален поиск новых устройств защиты свободных от этих недостатков. Цель работы – представить новое устройство защиты от СКИ, на которое авторами оформляется патент. Для этого рассмотрены наиболее близкие аналоги предлагаемого устройства, приведена его конструкция и показана возможность защиты от СКИ с его помощью.

Подход к реализации МФ с пассивным проводником в опорной плоскости

Известна микрополосковая линия передачи (МПЛ) с поперечным сечением, показанным на рис. 1 [20]. Хорошо исследованы её волновое сопротивление, структура электромагнитного поля, потери в проводниках и диэлектриках. Недостатком МПЛ является отсутствие у нее защиты от СКИ.

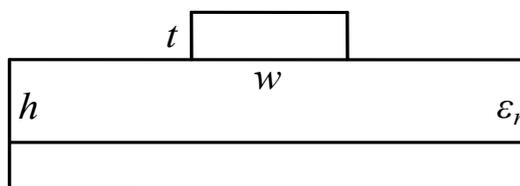


Рис. 1. Поперечное сечение микрополосковой линии

Известны связанные микрополосковая (на одной стороне подложки) и копланарно–желобковая (на обратной стороне подложки) линии [21]. Поперечное сечение линии показано на рис. 2. Для неё получены аналитические выражения для вычисления погонных емкостей и индуктивностей, выявлена приемлемая для практики погрешность анализа. Но эта линия не рассматривалась как устройство защиты от СКИ и имеет довольно сложную конструкцию, в частности, из-за необходимости сплошного экрана (желоба), соединяющего между собой крайние проводники.

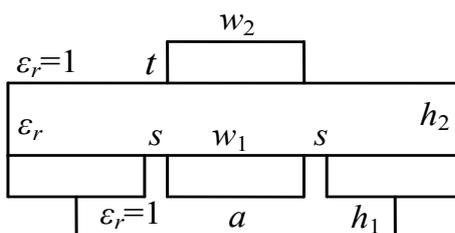


Рис. 2. Поперечное сечение связанных микрополосковой и копланарно–желобковой линий

Известно устройство защиты от импульсных сигналов с выравниванием амплитуд разложенных импульсов [19]. На рис. 3 приведено поперечное сечение устройства защиты. Достигнуто разложение воздействующего СКИ на 2 импульса с выравниванием их амплитуд в 2 раза относительно амплитуды напряжения в начале активного проводника равной половине ЭДС. Недостатками устройства являются слабая связь и необходимость расположения пассивного проводника на одном слое с активным.

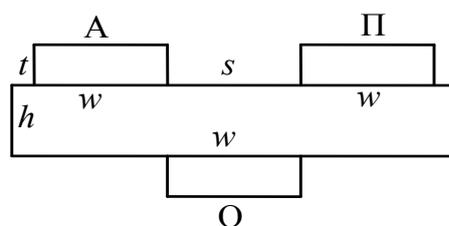


Рис. 3. Поперечное сечение устройства защиты от импульсных сигналов с выравниванием амплитуд разложенных импульсов.
Проводники: А – активный, П – пассивный, О – опорный

Предлагается устройство, состоящее из проводящей пластины с подложкой, на которой параллельно ей располагается проводник прямоугольного поперечного сечения, в проводящей пластине есть два выреза, которые параллельны и равны по длине проводнику, при этом умноженное на длину линии значение разности максимальной погонной задержки мод линии и наибольшей из остальных не меньше суммы длительностей фронта, плоской вершины и спада импульса, подающегося между проводником и проводящей пластиной, проводник на одном конце устройства электрически соединен с цепью источника импульсных сигналов, а на другом – с защищаемой цепью, добавлены два резистора, электрически соединенных с концами проводника, образованного в проводящей пластине между двумя вырезами, а выбором параметров резисторов обеспечивается минимизация амплитуды сигнала на выходе.

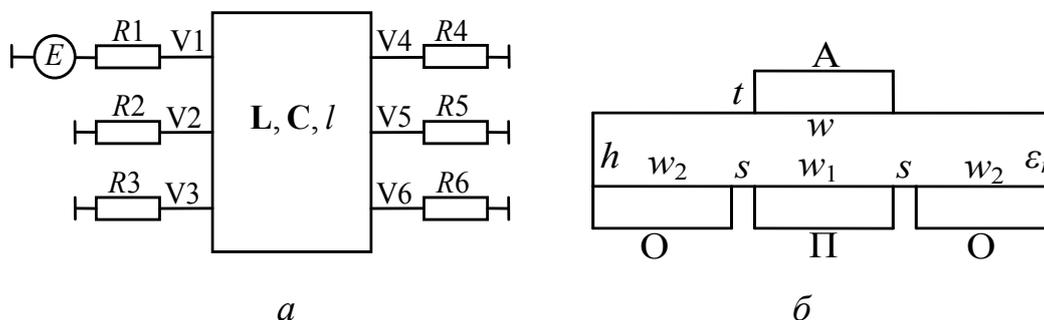


Рис. 4. Схема включения (а) и поперечное сечение МФ (б).
Проводники: А – активный, П – пассивный, О – опорный

На рис. 4а приведена схема включения МФ [22]. Она состоит из трех параллельных проводников длиной $l=1$ м каждый. Первый проводник на одном конце соединен с источником импульсных сигналов, представленным на схеме идеальным источником э.д.с. E и внутренним сопротивлением $R1$, а на другом – с $R4$. Значения сопротивлений $R1, R2, R4, R5$ приняты одинаковыми (R) и равными 50 Ом, а для соединения крайних проводников – $R3=R6=0,001$ Ом. Воздействующий СКИ имеет форму трапеции с параметрами: амплитуда ЭДС – 2 В, время нарастания – 150 пс, плоская вершина импульса – 200 пс, спад – 150 пс.

На рис. 4б приведено поперечное сечение МФ. Таким образом, на активный проводник подается СКИ, пассивный проводник имеет сопротивления 50 Ом на концах, а опорные соединены между собой. Параметры поперечного

сечения: ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость, w , w_1 , w_2 и t – ширины и толщина проводников соответственно, h – толщина подложки. Значения параметров: $\epsilon_r=5$, $w=w_1=w_2=0,5$ мм, $s=0,4$ мм, $h=0,1$ мм, $t=0,105$ мм.

Технический результат

Для демонстрации достижения технического результата выполнено моделирование в системе TALGAT [23]. Вычисление погонных задержек мод линии показало близкие значения для первых двух мод (4,11 нс/м и 4,28 нс/м) и более высокое значение для третьей моды (6,72 нс/м), так что разность погонных задержек третьей и второй мод линии составила 2,44 нс/м. Кроме того, выполнено моделирование временного отклика на воздействие СКИ при изменении значения R , на рис. 5 приведены соответствующие формы напряжения в начале (V1) и конце (V4) предлагаемой структуры.

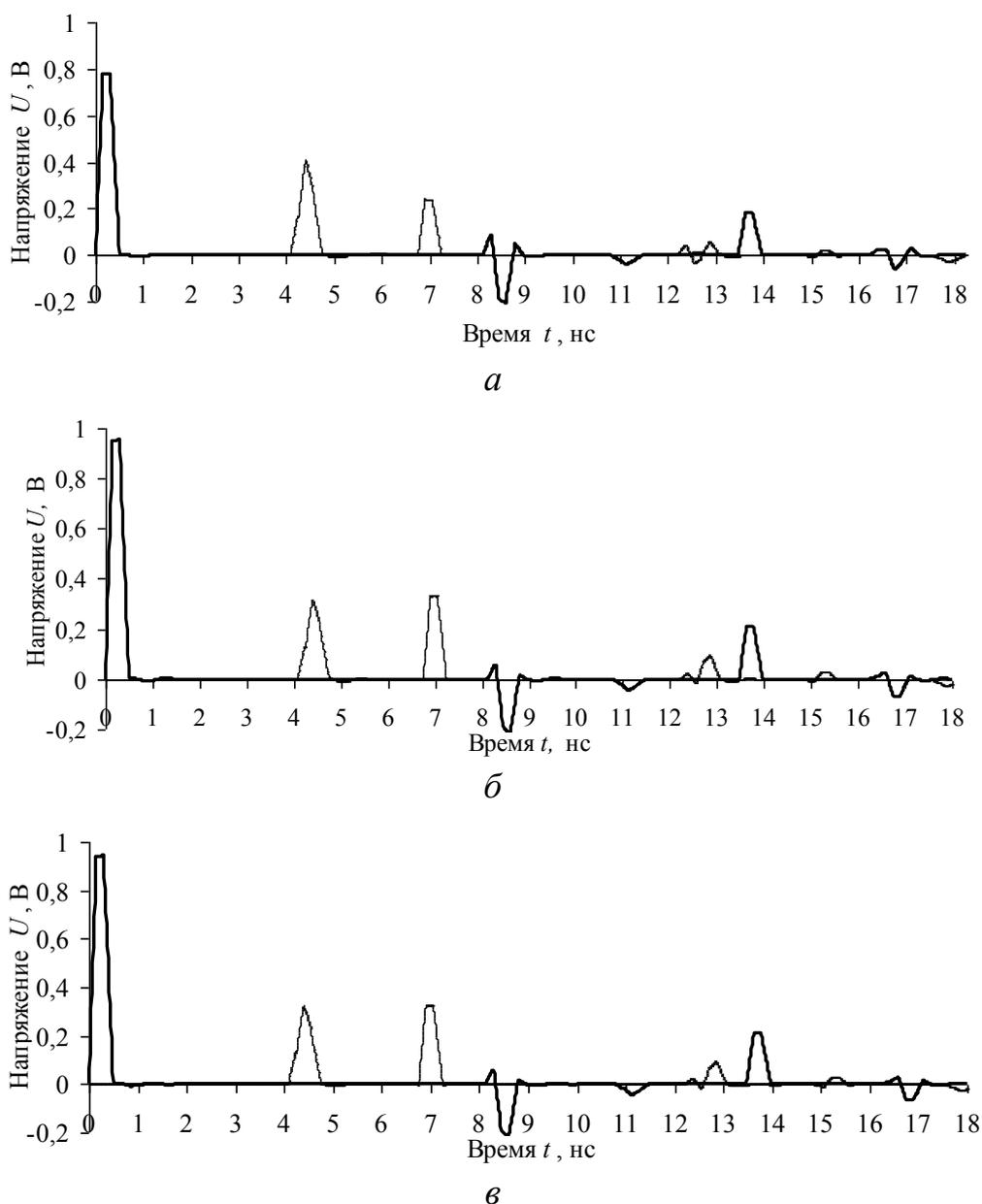


Рис. 5. Формы напряжения в начале (—) и конце (---) активного проводника предлагаемой структуры при $R=100$ (а), 59 (б), 61 (в) Ом

Для $R=100$ Ом амплитуда первого импульса 0,42 В, а второго – 0,26 В (рис. 5а). Для $R=59$ Ом амплитуда первого импульса равна 0,33 В, а второго – 0,35 В (рис. 5б). Видно, что с уменьшением R амплитуда первого импульса уменьшается, а второго – увеличивается. Значит, существует оптимальное значение R , при котором импульсы имеют одинаковую амплитуду, являющуюся минимальной амплитудой результирующего сигнала. В итоге, при $R=61$ Ом выполняется разложение исходного сигнала на два импульса одинаковой и минимальной амплитуды 0,34 В (рис. 5в). Это соответствует ослаблению в 3 раза по отношению к половине ЭДС. Таким образом, показана реализуемость технического результата.

Заключение

Предложен МФ на основе МПЛ. В отличие от известных способов защиты на основе ограничителей, он не содержит большого количества радиоэлектронных компонентов, а значит, имеет высокую надежность. В отличие от ранее известных МФ, он отличается компактностью, так как пассивный проводник не занимает дополнительного места, поскольку вырезан в опорной плоскости. Предложенный МФ имеет довольно простую конструкцию, сопоставимую с обычной МПЛ, но обладает свойствами защиты от СКИ: на рассмотренном примере показано ослабление СКИ в 3 раза. В отличие от связанных микрополосковой и копланарно–желобковой линий, он гораздо проще из-за отсутствия желоба. Важна и простота его изготовления: обычная технология двухсторонних печатных плат.

В заключение отметим, что в теории решения изобретательских задач используется удобное на практике понятие о повышении степени идеальности как о приближении технической системы к некоторой идеальной машине, которая определяется как машина, которой нет, а её функции выполняются [24]. Идеально, когда система выполняет полезные функции без всякой расплаты – не имеет веса, размеров, не затрачивает энергию, материалы и т.д. Разумеется, достижение этого в реальности невозможно, за исключением тех случаев, когда выполнение нужных функций берёт на себя (по совместительству) какая-то другая, уже имеющаяся система. В своих воспоминаниях конструктор А. Морозов, один из создателей танка Т-34, писал, что в работе руководимого им коллектива главным был принцип: «самой надёжной, непоражаемой, лёгкой и дешёвой является та деталь, которой нет в машине...». Идея предложенного МФ полностью соответствует этому...

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МД 365.2018.8, Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 8.9562.2017/8.9).

Литература

1. Сидоров А. В., Бокова О. И., Хохлов Н. С. Электромагнитный терроризм как источник угроз инфокоммуникационным системам связи и

управления // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. №13. С. 106-109.

2. Сахаров К. Ю., Соколов А. А., Михеев О. В., Туркин В. А., Корнев А. Н., Долбня С. Н., Певнев А. В. Исследование функционирования локальной вычислительной сети в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов // Технологии электромагнитной совместимости. 2006. № 3 (18). С. 36-40.

3. Акбашев Б. Б., Сахаров К. Ю., Михеев О. В., Туркин В. А., Алешко А. И., Катков Б. Г., Бердышев А. В. Исследование распространения сверхкоротких электромагнитных импульсов в помещениях // Технология электромагнитной совместимости. 2009. № 1 (28). С. 41-48.

4. Акбашев Б. Б., Еряшев Д. И., Корнев А. Н. Механизм деструктивного воздействия мощных сверхширокополосных импульсов на радиоэлектронные системы // Технология электромагнитной совместимости. 2011. №2 (37). С. 19-23.

5. Михайлов В. А., Мырова Л. О., Рязановский Т. Л., Солдатов И. Г., Фомина И. А., Сухов А. В. Анализ функционирования бортовых вычислительных комплексов при воздействии сверхкоротких электромагнитных полей // Электросвязь. 2013. №6. С. 31-33.

6. Пименов П. Н., Мырова Л. О. Эффективность воздействия сверхкороткого электромагнитного импульса на широкополосные системы радиосвязи // Технологии электромагнитной совместимости. 2015. №1 (52). С. 17-20.

7. Гизатуллин З. М., Набиев И. И., Нуриев М. Г. Помехоустойчивость электронных средств при воздействии наносекундных электромагнитных импульсов по сети питания // Техника и технология: Новые перспективы развития. 2014. №12. С. 107-110.

8. Гайнутдинов Р. Р. Прогнозирование электромагнитных помех в линии связи вычислительной техники при кратковременных электромагнитных воздействиях // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2012. №3. С. 132-137.

9. Сидоров А. В. Особенности воздействия сверхкороткоимпульсных помех на средства радиосвязи и управления ОВД // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем». – Воронеж, 2014. – С. 199-201.

10. Кечиев Л. Н., Акбашев Б. Б., Степанов П. В., Экранирование технических средств и экранирующие системы. Монография. – Москва: Библиотека «ЭМС», 2010. – 469 с.

11. Грищук В. И., Черноусов В. В. Устройство для защиты радиотехнической аппаратуры от импульсных перенапряжений // Патент на изобретение SU 1840225 A1, опубл. 20.08.2006, бюл. №23.

12. Грищук В. И., Черноусов В. В., Грибанов С. Н. Устройство для защиты средств связи от импульсных перенапряжений // Патент на изобретение SU 1840153 A1, опубл. 20.07.2006, бюл. №20.

13. Карельский И. Н., Нестеров А. А. Устройство защиты приемного тракта РЛС от мощного электромагнитного излучения // Патент на полезную модель № 98103128, опубл. 01.27.1999.

14. Борисов А.П., Гурлев В. А., Карпов Г. К., Павлов В. Н. Устройство защиты потребителей от превышения напряжения в сети питания // Патент на изобретение H02H3/20, № 2046485, опубл. 20.10.1995.

15. Веселов Д. А., Пониматкин В. Е., Сычугов В. А., Вихлянцев А. А., Шакиров П. А. Устройство защиты входа радиоприемника от электромагнитного импульса ядерного взрыва // Патент на полезную модель № 96106554, опубл. 27.07.1998.

16. Ханевич С. В., Скачков Ю. Н., Северин А. Е., Ханевич В. С. Устройство защиты электроприемников от воздействия разрядов молнии и электромагнитных импульсов, наводимых разрядов в магистральных кабельных линиях электропередачи // Патент на полезную модель № 2001126011, опубл. 10.07.2003.

17. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р. М. Электрическая розетка с защитой от помех // Патент на изобретение H01R 13/66, опубл. 10.04.2012.

18. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата. Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2013.– 151 с.

19. Заболоцкий А. М., Газизов Т. Р., Орлов П. Е. Устройство защиты от импульсных сигналов с выравниванием амплитуд разложенных импульсов // Патент на изобретение RU 2588603 C1, опубл. 10.07.2016, бюл. №19.

20. Бахарев С. И., Вольман В. И., Либ Ю. Н. и др. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / под ред. В.И. Вольмана – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.

21. Малютин Н. Д., Сычев А. Н., Семенов Э. В., Лоцилов А. Г. Регулярные и нерегулярные многосвязные полосковые структуры и устройства на их основе: расчет первичных параметров, импульсные измерения характеристик. Монография. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 217 с.

22. Самойличенко М. А. Моделирование модального фильтра с пассивным проводником в опорной плоскости при разной толщине подложки // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск, 2018. – С. 302-304.

23. Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Р. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2015. №2 (36). С. 45-50.

24. Альтшуллер Г. С., Злотин Б. Л., Зусман А. В., Филатов В. И. Поиск новых идей: от озарения к технологии. Теория и практика решения изобретательских задач. – Кишинёв: Картя Молдовенска, 1989. – 381 с.

References

1. Sidorov A. V., Bokova O. I., Khokhlov N. S. Elektromagnitnyy terrorizm kak istochnik ugroz infokommunikatsionnym sistemam svyazi i upravleniya [Electromagnetic terrorism as a source of threats to infocommunication communication and control systems]. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*, 2014, no. 13, pp. 106-109 (in Russian).

2. Sakharov K. Yu., Sokolov A. A., Mikheev O. V., Turkin V. A., Kornev A. N., Dolbnya S. N., Pevnev A. V. Issledovaniye funktsionirovaniya local'noi vychislitel'noi seti v usloviyakh vozdeystviya sverkhkorotkikh elektromagnitnykh impul'sov [Study of the functioning of a local computer network under the influence of ultrashort electromagnetic pulses]. *Technologies of electromagnetic compatibility*, 2006, vol. 18, no. 3, pp. 36-45 (in Russian).

3. Akbashev B. B., Sakharov K. Yu., Mikheyev O. V., Turkin V. A., Aleshko A. I., Katkov B. G., Berdyshev A. V. Issledovaniye rasprostraneniya sverkhkorotkikh elektromagnitnykh impul'sov v pomeshcheniyakh [Study of the propagation of ultrashort electromagnetic pulses in rooms]. *Technologies of electromagnetic compatibility*, 2009, vol. 28, no. 1, pp. 41-48 (in Russian).

4. Akbashev B. B., Eryashev D. I., Kornev A. N. Mekhanizm destruktivnogo vozdeystviya moshchnykh svershirokopolosnykh impul'sov na radioelektronnyye sistemy [The mechanism of the destructive effect of high-power ultra-wideband pulses on radio-electronic systems]. *Technologies of electromagnetic compatibility*, 2011, vol. 37, no. 2, pp. 19-23 (in Russian).

5. Mikhailov V. A., Myrova L. O., Ryazanovsky T. L., Soldatov I. G., Fomina I. A., Sukhov A. V. Analiz funktsionirovaniya bortovykh vychislitel'nykh kompleksov pri vozdeystvii sverkhkorotkikh elektromagnitnykh poley [Analysis of the functioning of on-board computer systems under the influence of ultrashort electromagnetic fields]. *Electrosvyaz*, 2013, no. 6, pp. 31-33 (in Russian).

6. Pimeno P. N., Myrova L. O. Effektivnost' vozdeystviya sverkhkorotkogo elektromagnitnogo impul'sa na shirokopolosnyye sistemy radiosvyazi [Efficiency of the impact of a ultrashort electromagnetic pulse on a broadband radio communication system]. *Technologies of electromagnetic compatibility*, 2015, vol. 52, no. 1, pp. 17-20 (in Russian).

7. Gizatullin Z. M., Nabiev I. I., Nuriev M. G. Pomekhoustoychivost' elektromagnitnykh sredstv pri vozdeystvii nanosekundnykh elektromagnitnykh impul'sov po seti pitaniya [Interference immunity of electromagnetic means when exposed to nanosecond electromagnetic pulses via a power network]. *Tekhnika i tekhnologiya: Novyye perspektivy razvitiya*, 2014, no. 12, pp. 107-110 (in Russian).

8. Gainutdinov R. R. Prognozirovaniye elektromagnitnykh pomekh v lini svyazi vychislitel'noy tekhniki pri kratkovremennykh elektromagnitnykh vozdeystviyakh [Prediction of electromagnetic interference in the communication line of computer technology during short-term electromagnetic effects]. *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva*, 2012, no. 3, pp. 132-137. (in Russian).

9. Sidorov A. V. Osobennosti vozdeystviya sverkhkorotkoimpul'snykh pomekh na sredstva radiosvyazi i upravleniya OVD [Features of the impact of ultrashort impulse noise on radio communications and ATS control]. *Sbornik materialov*

Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye voprosy ekspluatatsii sistem okhrany i zashchishchennykh telekommunikatsionnykh system, 2014, pp. 199-201.

10. Kechiev L. N., Akbashev B. B., Stepanov P. V. *Ekranirovaniye tekhnicheskikh sredstv i ekraniruyushchiye sistemy. Monografiya* [Screening of technical means and screening systems. Monography]. Moscow: EMC Library Publ., 2010. 469 p. (in Russian).

11. Grischuk V. I., Chernousov V. V. *Ustroystvo dlya zashchity radiotekhnicheskoy apparatury ot impul'snykh perenapryazheniy* [Device for protection of radio engineering equipment from impulse overvoltages]. Patent Russian, no. SU 1840225 A1. Publ. 20.08.2006, bul. №23.

12. Grischuk V. I., Chernousov V. V., Gribanov S. N. *Ustroystvo dlya zashchity sredstv svyazi ot impul'snykh perenapryazheniy* [Device for Protecting Communication Means from Impulse Overvoltages]. Patent Russian, no. SU 1840153 A1. Publ. 20.07.2006, bul. №20.

13. Karelsky I. N., Nesterov A. A. *Ustroystvo zashchity priyemnogo trakta RLS ot moshchnogo elektromagnitnogo izlucheniya* [The Device for Protecting the Receiving Path of the Radar Station from Powerful Electromagnetic Radiation]. Patent Russian, no. 98103128 Publ. 01.27.1999.

14. Borisov A. P., Gurlev V. A., Karpov G. K., Pavlov V. N. *Ustroystvo zashchity potrebiteley ot prevysheniya napryazheniya v seti pitaniya* [Device for protecting consumers against overvoltage in the power supply network]. Patent Russian, no. H02H3/20. Publ. 20.10.1995.

15. Veselov D. A., Ponimatkin V. Ye., Sychugov V. A., Vikhlyantsev A. A., Shakirov P. A. *Ustroystvo zashchity vkhoda radiopriyemnika ot elektromagnitnogo impul'sa yadernogo vzryva* [Device for protecting the input of a radio receiver from an electromagnetic pulse of a nuclear explosion]. Patent Russian, no. 96106554 Publ. 07.27.1998.

16. Khanevich S. V., Skachkov Yu. N., Severin A. E., Khanevich V. S. *Ustroystvo zashchity elektropriyemnikov ot vozdeystviya razryadov molnii i elektromagnitnykh impul'sov navodimyykh razryadov v magistral'nykh kabel'nykh liniyakh elektroperedachi* [Device for protection of electrical receivers from the effects of lightning discharges and electromagnetic pulses of induced discharges in the main cable transmission lines]. Patent Russian, no. 2001126011 Publ. 07.10.2003.

17. Gizatullin Z. M., Gizatullin R. M. *Elektricheskaya rozetka s zashchitoy ot pomekh* [Electric socket with protection against interference]. Patent Russian, no. H01R 13/66. Publ. 04.10.2012.

18. Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. *Modal'nyye fil'try dlya zashchity bortovoy radioelektronnoy apparatury kosmicheskogo apparata* [Modal filters for the protection of the onboard electronic equipment of the spacecraft]. Tomsk: Tomsk, State University of Control Systems and Radioelectronics Publ., 2013. – 151 p. (in Russian).

19. Zabolotsky A. M., Gazizov T. R., Orlov P. E. *Ustroystvo zashchity ot impul'snykh signalov s vyravnivaniem amplitude razlozhnykh impul'sov* [The device

of protection against pulse signals with alignment of amplitudes of the spread pulses]. Patent Russian, no. RU 2588603 C1. Publish. 10.07.2016. bul. no. 19.

20. Bakharev S. I., Volman V. I., Lib. Yu. N and etc. *Spravochnik po raschotu i konsruirovaniyu SVCH poloskovykh ustroystv* [Handbook for the calculation and design of microwave strip devices]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1982. 328 p. (in Russian).

21. Malyutin N. D., Sychev A. N., Semenov E. V., Loshchilov A. G. *Regulyarnyye i neregulyarnyye mnogosvyaznyye poloskovyye struktury i ustroystva na ikh osnove raschet pervichnykh parametrov, impulsnyye izmereniy kharakteristic. Monografija* [Regular and irregular multiply connected strip structures and devices based on them: calculation of primary parameters, impulse measurements of characteristics. Monography]. Tomsk, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics Publ., 2012. 109 p. (in Russian).

22. Samoylichenko M.A. Modelirovaniye modalnogo filtra s passivnym provodnikom v opornoy ploskosti pri raznoy tolshchine podlozki [Simulation of a modal filter with a passive conductor in the reference plane with a different thickness of the substrate]. *Materialy XIV mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii «Electronnyye sredstva i systemy upravleniya»*, 2018, pp. 302-304 (in Russian).

23. Kuksenko S. P., Zabolotsky A. M., Melkozerov A. O., Gazizov T. R. New features of electromagnetic compatibility in TALGAT simulation softwary. *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2015, vol. 36, no 2, pp. 45-50 (in Russian).

24. Altshuller G. S, Zlotin B. L, Zusman A. V, Filatov V. I. *Poisk novykh idey: ot ozareniya k tekhnologii. Teoriya i praktika resheniya izobretatel'skikh zadach* [The Search for New Ideas: From Illumination to Technology. Theory and practice of solving inventive problems]. Kishinev, Map of Moldovenskiy, Publ. 1989. 381 p. (in Russian).

Статья поступила 4 мая 2019 г.

Информация об авторах

Самойличенко Мария Александровна – аспирант кафедры телевидения и управления. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Область научных интересов: компьютерное моделирование распространения сигналов; электромагнитная совместимость. E-mail: 1993mary2011@mail.ru

Газизов Тальгат Рашитович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой телевидения и управления. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Область научных интересов: электромагнитная совместимость; численные методы. E-mail: talgat@tu.tusur.ru

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина 40.

Modified microstrip line which can protect against ultrashort pulse

M. A. Samoylichenko, T. R. Gazizov

The relevance of the work: ensuring the stable operation of electronic equipment (EE) under the influence of electromagnetic interference is important due to the fact that radio systems become more complex, the field of application of EE expands, the density of circuit boards increases. Nowadays there are many protection devices, but they have some complex design features. These features reduce the devices operation speed and lead to spurious parameters, and also they reduce the protection possibilities against a powerful ultrashort pulse (USP). The development of modern protection devices requires simplification and cheapening of their implementation, therefore, their improvement is important. Modal filters (MF) are being actively studied among these devices. But for each of them, a passive conductor is required, which takes up space and has mass. That's why, the improvement of the MF is necessary. The purpose of the paper is to develop a new device for protection against USP on the basis of a modified microstrip line (MSL). **Novelty:** implementation of a microstrip protection device, due to two cuts in its reference plane. **Result:** The materials were demonstrated to show the achievement of the alignment of the amplitudes of the decomposition pulses, which turned out to be 3 times less than the level of the input signal, was achieved. **Methods used:** To substantiate technical solution quasistatic analysis was used. It also was used during the simulation process. **Practical relevance:** the solution allows a simple and cheap implementation of protection against USP in widely used double-sided printed circuit boards.

Key words: microstrip line, modal filter, ultrashort pulses.

Information about Authors

Aleksandrovna Samoylichenko Maria – graduate student of the Department of Television and Control. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Field of research: computer simulation of signal propagation; electromagnetic compatibility. E-mail: 1993mary2011@mail.ru

Talgat Rashitovich Gazizov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Assistant Professor, head of the Department of Television and Control. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Field of research: electromagnetic compatibility; numerical methods. E-mail: talgat@tu.tusur.ru

Address: Russia, 634035, Tomsk, Lenina prospect, 40.