

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Сборник научных трудов

Электронное издание

Научный редактор А. И. Громыко

Красноярск
СФУ
2017

УДК 621.37/.39(066)
ББК 32я43
С568

Редакционная коллегия:

А. И. Громыко – д-р техн. наук, проф. (науч. ред.); А. А. Левицкий – канд. физ.-мат. наук, доц. (отв. за вып.); В. В. Воног – канд. культурологии, доц.; А. В. Гребенников – канд. техн. наук; Ф. В. Зандер – канд. техн. наук, доц.; Ф. Г. Зограф – канд. техн. наук; Е. В. Кузьмин – канд. техн. наук, доц.; К. В. Лемберг – канд. физ.-мат. наук; В. В. Сухотин – канд. техн. наук, доц.; С. И. Трегубов – доц.; П. П. Турчин – канд. физ.-мат. наук, доц.; С. А. Рябушкин; Д. Ю. Черников – канд. техн. наук, доц.

Ответственный за выпуск: Левицкий Алексей Александрович

С568 Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. [Электронный ресурс] / науч. ред. А. И. Громыко ; отв. за вып. А. А. Левицкий. – Электрон. дан. (31,5 Мб). – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 1 электрон. опт. диск. – Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I ; 128 Mb Ram ; Windows 98/XP/7 ; Adobe Reader v 8.0 и выше. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7638-3646-2

Представлены научные труды участников ежегодной Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 122-й годовщине Дня радио, состоявшейся в г. Красноярске 4–5 мая 2017 г.

Отражены разработки в области радиотехники и радиоэлектроники по направлениям: радиотехнические системы; радионавигация; СВЧ-технологии, антенны и устройства; информационные спутниковые системы и технологии; полупроводниковая электроника и наноэлектроника; конструирование и технология электронных средств; приборостроение; телекоммуникации и интеллектуальные сети; функциональные материалы микро- и наноэлектроники.

Предназначен для научных работников, аспирантов и студентов, обучающихся по направлениям и специальностям радиотехнического профиля.

УДК 621.37/.39(066)
ББК 32я43

© Институт инженерной физики
и радиоэлектроники СФУ, 2017

© Сибирский федеральный
университет, 2017

ISBN 978-5-7638-3646-2

Электронное научное издание

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка *Т. М. Бовкун*

Подписано в свет 10.04.2017. Объем: 31,5 Мб. Заказ 974
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Библиотечно-издательский комплекс Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а. Тел/факс (391) 206-26-67.
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru; <http://bik.sfu-kras.ru>

ВЫЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ НАПРЯЖЕНИЯ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА ВДОЛЬ МИКРОПОЛОСКОВОЙ С-СЕКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Р. Р. Газизов, Т. Т. Газизов

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, ул. Ленина, 40
E-mail: ruslangazizow@gmail.com*

Показана актуальность исследования особенностей распространения сверхкоротких импульсов (СКИ) и локализации максимумов сигнала вдоль связанных линий. Проведено моделирование СКИ в форме трапеции, распространяющегося в микрополосковой С-секции, при изменении его длительности с использованием оптимизации генетическими алгоритмами. Выполнены вычисления для 12 различных комбинаций количества особей и поколений. Выявлен и локализован наибольший максимум напряжения, в 1,55 раза превышающий амплитуду сигнала на входе.

Связанные линии достаточно хорошо изучены и исследованы [1, 2]. Однако особенности явлений, происходящих при значительном увеличении взаимной связи между проводниками, изучены недостаточно. Выявление и локализация максимумов сигнала в связанных линиях важны, поскольку могут быть полезны для выявления и локализации мест возможных паразитных взаимовлияний, излучений и восприимчивости, чтобы своевременно принять меры по их устранению для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Другим применением может быть определение мест установки датчиков контроля полезных сигналов или мониторинга помеховых сигналов, обеспечивающих требуемую чувствительность, что также важно для повышения помехозащищенности и надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [3].

Для таких исследований целесообразно использовать компьютерное моделирование вместо измерений. Это связано с необходимостью вычисления форм сигнала в большом числе точек вдоль каждого проводника сложных структур. Другой причиной является искажение сигнала входным импедансом измерителя.

Для анализа межсоединений печатных плат широко используют квазистатический подход, так как схемотехнический анализ не всегда позволяет получить результаты достаточной точности, а электродинамический требует значительных вычислительных затрат. Теоретические основы квазистатического вычисления отклика для произвольной схемы из отрезков многопроводных линий передачи (МПЛП) описаны в работах [4, 5]. На основе данной теории разработаны алгоритмы вычисления временного отклика [6], которые позволяют выполнить вычисления значений токов и напряжений только в узлах схемы.

Основные выражения и алгоритм, позволяющие вычислить значения тока и напряжения в заданной координате вдоль каждого проводника отрезка МПЛП для произвольной схемы, на основе которых усовершенствовано вычисление временного отклика в системе TALGAT, приведены в [3]. В этой же работе выполнено исследование двухвитковой микрополосковой меандровой линии, показавшее необходимость более тщательного исследования. Поэтому был рассмотрен один виток, называемый С-секцией [7], в диапазоне параметров [8]. Однако в этой работе изменялись лишь геометрические параметры исследуемой линии, и исследование локализации максимумов сверхкороткого импульса (СКИ) вдоль этой С-секции при изменении его длительности не проводилось. Между тем оно актуально для повышения быстродействия и помехоустойчивости РЭА. Так, для повышения быстродействия уменьшаются длительности полезных сигналов, тогда как длительности помеховых сигналов также становятся все более короткими. Так как вычисление максимумов СКИ может оказаться затратным по времени, а вариантов длительности СКИ может быть весьма большое количество, то целесо-

образно использование эволюционных алгоритмов, а именно генетических алгоритмов (ГА). Известно, что использование ГА в задачах электродинамики и распространения радиоволн получило большое распространение среди исследователей [9].

Цель данной работы – исследовать влияние длительности СКИ на его локализацию вдоль микрополосковой С-секции на основе ГА.

В качестве исследуемой структуры выбрана микрополосковая С-секция, включенная в тракт 50 Ом, с длиной полулитков (l) по 27 мм (рис. 1). Ширина проводника (w) – 0,489 мм, толщина проводника (t) – 0,1 мм, толщина диэлектрика (h) – 0,3 мм, расстояние между проводниками (s) – 0,2445 мм, $d=2*w$, диэлектрическая проницаемость (ϵ_r) – 4.

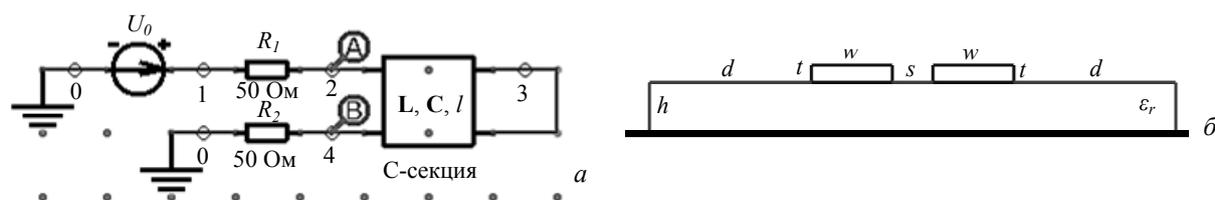


Рис. 1. Схема включения (а) и поперечное сечение (б) микрополосковой С-секции

В данной работе в качестве воздействия выбран СКИ в форме трапеции амплитудой Э.Д.С. 1 В. Оптимизировались длительности фронта, плоской вершины и спада СКИ, изменяемые в диапазоне от 1 нс до 10 нс, чтобы найти такие параметры длительности СКИ, при которых его локализованный максимум будет наибольшим. Таким образом, максимальная общая длительность импульса была 3 нс (U_1), а минимальная – 0,03 нс (U_3). Для наглядности формы импульсов из границ диапазона, а также одного (U_2), с общей длительностью 0,3 нс (при условии, что длительности фронта, вершины и спада по 0,1 нс), представлены на рис. 2. Выбор именно таких границ диапазона обусловлен тем, что таким образом рассматриваются не только полезные сигналы, но и помеховые.

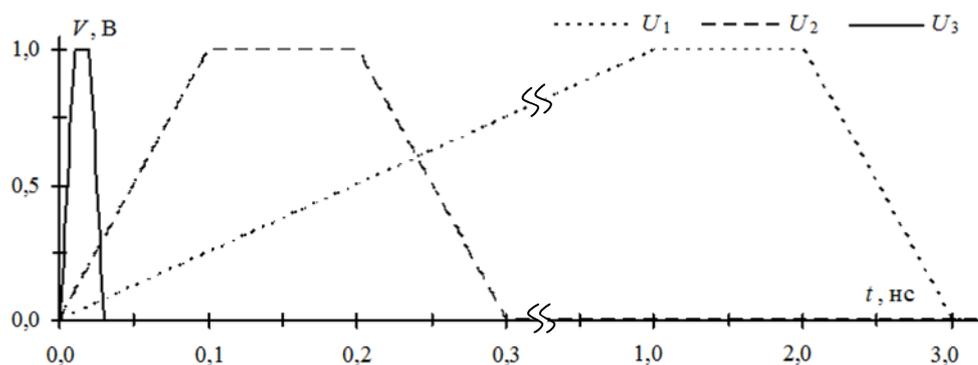


Рис. 2. Формы граничных (U_1 и U_3) импульсов воздействий и одного внутри диапазона (U_2)

Моделирование специально выполнено без учета потерь, чтобы они не ослабляли влияние факторов, увеличивающих амплитуду сигнала. Для визуального отображения изменения форм сигнала в доступной авторам системе TALGAT на принципиальной схеме указывались начальный узел А и конечный узел В (рис. 1, а). Каждый полулиток С-секции делился на 20 сегментов, в каждом из которых вычислялись формы напряжений.

Выполнены вычисления для 12 разных комбинаций числа особей и поколений, однако подробные результаты представлены лишь для наименьшего и наибольшего числа поколений. В табл. 1 указаны результаты оптимизации для 5 запусков, а в табл. 2 – для 50, в обоих случаях выполнялось по 5 попыток вычислений для каждой комбинации. Использовалась простая версия ГА, при которой коэффициент мутации – 0,1, а коэффициент кроссовера – 0,5.

Таблица 1

Результаты оптимизации для 5 поколений

Число особей	3				
	Запуск 1	Запуск 2	Запуск 3	Запуск 4	Запуск 5
Время вычисления, с	46,334	47,522	43,315	44,825	44,922
Длительность фронта, нс	0,397	0,7950	0,041	0,2510	0,292
Длительность спада, нс	0,545	0,0798	0,890	0,2490	0,280
Длительность вершины, нс	0,434	0,1320	0,610	0,0719	0,604
Максимум, В	0,533744	0,550227	0,567118	0,558223	0,544094
Число особей	5				
Время вычисления, с	74,580	75,277	77,004	88,994	78,820
Длительность фронта, нс	0,0207	0,0151	0,0586	0,0441	0,0667
Длительность спада, нс	0,8850	0,9420	0,4320	0,5610	0,0216
Длительность вершины, нс	0,5640	0,3910	0,2720	0,4490	0,6680
Максимум, В	0,568974	0,570994	0,562589	0,569056	0,651572
Число особей	10				
Время вычисления, с	161,960	171,855	155,718	157,996	157,624
Длительность фронта, нс	0,4750	0,0954	0,6710	0,5760	0,3120
Длительность спада, нс	0,0156	0,0661	0,0131	0,0225	0,0139
Длительность вершины, нс	0,0803	0,0193	0,4870	0,1810	0,0592
Максимум, В	0,73286	0,586532	0,723455	0,661289	0,752767

Таблица 2

Результаты оптимизации для 50 поколений

Число особей	3				
	Запуск 1	Запуск 2	Запуск 3	Запуск 4	Запуск 5
Время вычисления, с	330,146	325,305	536,512	317,127	324,700
Длительность фронта, нс	0,1590	0,1880	0,0934	0,1090	0,2890
Длительность спада, нс	0,0114	0,0124	0,0127	0,0134	0,0129
Длительность вершины, нс	0,0904	0,0808	0,2320	0,2080	0,0441
Максимум, В	0,77413	0,77469	0,774218	0,77998	0,768803
Число особей	5				
Время вычисления, с	834,93	533,43	712,71	528,13	534,81
Длительность фронта, нс	0,8680	0,1790	0,2790	0,1950	0,2160
Длительность спада, нс	0,0112	0,0126	0,0114	0,0148	0,0125
Длительность вершины, нс	0,9970	0,0864	0,0253	0,0789	0,0408
Максимум, В	0,718390	0,761616	0,762400	0,761450	0,761310
Число особей	10				
Время вычисления, с	1330,98	1387,59	1109,54	1063,09	1094,63
Длительность фронта, нс	0,219	0,0437	0,01860	0,1740	0,2000
Длительность спада, нс	0,010	0,0112	0,00101	0,0147	0,0161
Длительность вершины, нс	0,132	0,1970	0,01320	0,1520	0,1180
Максимум, В	0,76399	0,76576	0,767100	0,760506	0,760377

На рис. 3, а показана зависимость наибольших вычисленных максимумов, в пределах одной комбинации, от количества вычислений, а на рис. 3, б – зависимость времени вычислений от их количества.

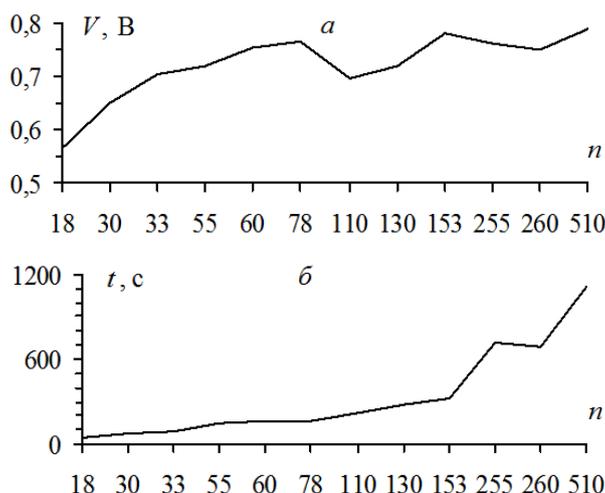


Рис. 3. Зависимость максимальных значений напряжения (а) и общего времени вычислений (б) от количества вычислений (n)

Из рис. 3, а видно, что при увеличении числа вычислений, значение максимума напряжения постепенно увеличивается. На рис. 3, б приведена зависимость общего времени вычислений от их количества. Проверим сходимость полученных значений. На рис. 4, а представлен график сходимости полученных максимумов напряжений при разном количестве вычислений. Из рис. 4, а видно, что наибольшее значение максимума напряжения появляется при $n = 153$ на запуске 4. Формы напряжений при оптимизированных параметрах приведены на рис. 4, б.

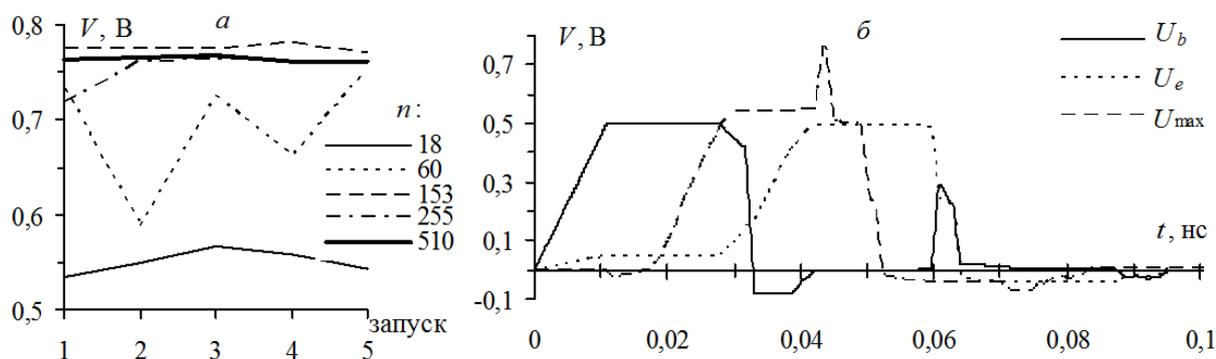


Рис. 4. График сходимости максимумов напряжения (а) при количестве вычислений (n) и формы напряжений (б), полученные при $n = 153$

Выявлен максимум напряжения 0,779 В, локализованный в сегменте 3 второго полувитка. Амплитуда локализованного максимума превышает максимальную амплитуду сигнала на входе в 1,55 раза. Неучет подобного рода превышений напряжения может негативно сказаться на корректной работе оборудования, в котором эта С-секция будет установлена. Использование оптимизации с помощью ГА позволило уйти от полного перебора и найти наиболее точные параметры СКИ для выявления наибольшего значения максимума напряжения вдоль витка С-секции.

Таким образом, в результате работы выявлены пиковые значения напряжения СКИ вдоль проводников микрополосковой С-секции и соответствующие параметры длительности СКИ. Выполнены вычисления для 12 различных комбинаций количества

особей и поколений и представлены их результаты. Локализован наибольший максимум напряжения СКИ, в 1,55 раза превышающий амплитуду СКИ на входе и выходе. Полученные результаты показывают актуальность вычислений форм напряжений и токов вдоль проводников связанных линии передачи, а также выявления и локализации максимумов амплитуд напряжений и токов. Можно предположить, что при наличии подобных структур в печатных платах больших размеров с высокой плотностью трассировки превышения напряжения вызовут значительные паразитные взаимовлияния или излучения.

Математическое моделирование выполнено в рамках выполнения государственного задания №8.9562.2017/БЧ Минобрнауки России. Вычислительный эксперимент выполнен за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01232) в ТУСУРе.

Список литературы

1. Регулярные и нерегулярные многосвязные полосковые и проводные структуры и устройства на их основе: анализ, синтез, проектирование, экстракция первичных параметров: моногр. / Н.Д. Малютин [и др.]. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. 168 с. ISBN 978-5-86889-593-7.
2. Регулярные и нерегулярные многосвязные полосковые и проводные структуры и устройства на их основе: расчет первичных параметров, импульсные измерения характеристик: моногр. / Н.Д. Малютин [и др.]. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. 218 с. ISBN 978-5-86889-604-4.
3. Газизов Р.Р., Заболоцкий А.М., Орлов П.Е. Локализация максимумов сигнала в многопроводных линиях передачи печатных плат с помощью системы TALGAT // Докл. Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. 2015. № 4 (38). С. 147–150.
4. Achar R., Nakhla M.S. Simulation of high-speed interconnects // Proceedings of the IEEE. 2001. Vol. 89. № 5. P. 693–728.
5. Djordjevic A.R., Sarkar T.K. Analysis of time response of lossy multiconductor transmission line networks // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1987. Vol. 35. № 10. P. 898–907.
6. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Временной отклик многопроводных линий передачи. Томск: Томск. гос. ун-т, 2007. 152 с.
7. Zysman G.I., Jonson A.K. Coupled transmission line networks in an inhomogeneous dielectric medium // IEEE Trans, on MTT. 1969. Vol. MTT-17. № 10. P. 753–759.
8. Газизов Р.Р., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Т. Исследование максимума напряжения сверхкороткого импульса в микрополосковой меандровой линии при изменении ее геометрических параметров // Технологии электромагнитной совместимости. 2016. № 3 (58). С. 11–17.
9. Goudos K., Kalialakis C., Mittra R. Evolutionary Algorithms Applied to Antennas and Propagation: A Review of State of the Art // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume 2016, Article ID 1010459. 12 p.

Исследование помехоустойчивости при пространственно-частотном разделении с неортогональным разнесением несущих частот Чаплыгина А. А., Кологривов В. А.	623
Выявление максимумов напряжения сверхкороткого импульса вдоль микрополосковой С-секции с помощью генетических алгоритмов Газизов Р. Р., Газизов Т. Т.	626
Особенности реализации проектов строительства волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередач Михайленко Я. В.	631
Анализ режимов кластеризации ПКС-контроллера OpenDaylight Осетров С. П., Галич С. В.	636
Скремблирование аудиосигнала с использованием вейвлет-преобразования Тихонов В. А., Голиков А. М.	640
Исследование потребления аппаратных мощностей системами видеоконференц-связи Ткаченко Н. И., Галич С. В., Семенов Е. С.	645
Разработка математической модели распределения трафика в телекоммуникационной сети Гутковская О. Л.	650
Исследование процесса изучения сетевой топологии со стороны ПКС контроллера в программно-конфигурируемой сети Деогенов М. С., Семенов Е. С.	653
Модель сети связи с отказами, использующая протоколы маршрутизации на базе стека протоколов TCP/IP, с помощью программы RIVERBED Пузанов А. С., Батенков К. А.	656
Перспективы развития современных DCS-систем Романова Д. С.	661
Имитационное моделирование видео-конференц-связи на сетях МВД России Хабин А. О., Шершнев А. А., Батенков К. А.	664
Измерение фазового джиттера в системах приема и передачи сигналов цифрового телевидения Хафизов Т. Р., Леончиков Д. Н., Вяхирев В. А.	667
Предоставление услуг TriplePlay на основе технологий широкополосного радиодоступа NG-1 Туров А. В., Девлишов А. Г., Черников Д. Ю.	672
Формирование оценки качества радиопокрытия систем радиосвязи с использованием абонентского оборудования Хицунов Д. И., Черников Д. Ю.	676
Особенности использования абонентских радиостанций в сети широкополосного радиодоступа NG-1 Набирухина Л. Л., Тарбазанов К. В., Черников Д. Ю.	680
Квантовая криптография как метод современной защиты передачи данных Иванов А. В.	685
Повышение эффективности системы управления предприятием на основе применения технологии RFID-меток Ковалев К. Б., Ломанцова Ю. А., Строцев А. А.	689
Алгоритм коррекции координат, передаваемых бортовым ответчиком системы ADS-B, при применении разностно-дальномерных измерений Емельянов Р. В., Морозов А. П., Строцев А. А.	693