



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ


 ФАКУЛЬТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ


 ФАКУЛЬТЕТ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
БЕЗОПАСНОСТИ

 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

 ЮРИДИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ДИСТАНЦИОННОГО  
ОБУЧЕНИЯ

**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,  
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: [onir@main.tusur.ru](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [magistrant.tusur.ru](http://magistrant.tusur.ru)

## НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR-2019



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
22–24 мая 2019 г. (в четырех частях)**

**Часть 2**

**г. Томск**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

# **НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2019**

**Материалы**  
**Международной научно-технической конференции**  
**студентов, аспирантов и молодых ученых**  
**«Научная сессия ТУСУР–2019»**

**22–24 мая 2019 г., г. Томск**

**В 4 частях**

Часть 2

В-Спектр  
2019

**УДК 621.37/.39+681.518 (063)**

**ББК 32.84я431+32.988я431**

**Н 34**

**Н 34 Научная сессия ТУСУР–2019:** материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–24 мая 2019 г.: в 4 частях. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – 376 с.

ISBN 978-5-91191-413-4

ISBN 978-5-91191-414-1 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-415-8 (Ч. 2)

ISBN 978-5-91191-416-5 (Ч. 3)

ISBN 978-5-91191-417-2 (Ч. 4)

Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанофотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

**ISBN 978-5-91191-413-4**

**ISBN 978-5-91191-415-8 (Ч. 2)**

**Международная  
научно-техническая конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2019»,  
22–24 мая 2019 г.**

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

- Шелупанов А.А. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, д.т.н., проф.;
- Рулевский В.М. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, к.т.н.;
- Абдрахманова М.В., директор библиотеки ТУСУРа;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента ТУСУРа, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник каф. TOP ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики ТУСУРа, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУРа, к.т.н.;
- Грик Н.А., зав. каф. ИСР ТУСУРа, д.и.н., проф.;
- Давыдова Е.М., декан ФБ, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа, к.т.н.;
- Демидов А.Я., проф. каф. TOP ТУСУРа, к.ф.-м.н., доцент;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Дробот П.Н., доцент каф. УИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н., доцент;
- Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ ТУСУРа, к.т.н.;
- Карателли Д., PhD (Sapienza University of Rome), технический директор компании «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.б.н.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП ТУСУРа, к.т.н.;
- Красинский С.Л., декан ЮФ ТУСУРа, к.и.н.;
- Лошилов А.Г., зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУРа, к.т.н.;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, Почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., профессор, г. Томск;
- Малюк А.А., проф. каф. «Кибербезопасность» НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., гл.н.с. НИИ систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;

## **СЕКЦИЯ 2**

### **ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

#### **ПОДСЕКЦИЯ 2.6**

#### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

*Председатель – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

УДК 51-74

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ЭКСТРЕМУМОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ОДИНОЧНОМ ОТРЕЗКЕ МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ**

*М.А. Ембергенов, Л.Т. Таалайбек, магистранты*  
*Научный руководитель Р.Р. Газизов, ассистент каф. ТУ*  
*г. Томск, ТУСУР, magzhan\_qwe@mail.ru*

Исследована сходимость результатов оптимизации посредством генетического алгоритма в тестовой схеме при вычислении максимумов сигнала. С помощью генетического алгоритма оптимизировалась длительность воздействия (время нарастания, спада и плоской вершины по отдельности) по критерию максимизации пикового напряжения в заданных критичных узлах. Сходимость достигается уже после 60 вычислений. Найдены максимумы напряжения: 0,6 В в узле 3 и 0,3 В в узле 5 (рис. 1). После оптимизации формы сигналов уменьшились по длительности. Однако их амплитуды практически не изменились.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, оптимизация, локализация максимумов сигнала, генетический алгоритм.

В настоящее время для решения сложных задач часто прибегают к оптимизации, поскольку она позволяет сократить вычислительные и временные затраты. Особое место занимают эволюционные алгоритмы (ЭА), а именно генетические алгоритмы (ГА). Они являются наиболее популярными среди всех ЭА [1] и довольно хорошо исследованы. Однако представляет интерес проверить, как влияет на результат оптимизации выбор набора данных. Например, в каком случае сходимость будет достигнута быстрее: при вычислении максимума напряжения в активном или пассивном проводнике. Ранее была предложена

методика выявления и локализации экстремумов сигнала, а также выполнен ряд исследований с применением ГА [1]. Однако подобного сравнения выполнено не было.

Цель работы – исследование сходимости ГА при вычислении максимумов сигнала на тестовом примере.

Достижение цели выполним на примере оптимизации по критерию максимизации пикового напряжения в заданных узлах тестовой схемы при изменении длительности воздействия. Для оптимизации в данной работе использован ГА (обоснование выбора метода оптимизации приведено в работе [2]).

В качестве тестовой схемы взята схема со связанными линиями передачи, исследованная в работе [3]. Использована система компьютерного моделирования электромагнитной совместимости TALGAT [4]. Принципиальная схема исследуемой структуры изображена на рис. 1. На концах активного проводника в начале (после источника воздействия) включено сопротивление 50 Ом, а в конце – 100 Ом. На концах пассивного проводника включены сопротивления 100 Ом. В качестве воздействия использован сверхкороткий импульс в форме трапеции с амплитудой ЭДС 1 В. С помощью ГА оптимизировалась длительность воздействия (время нарастания, спада и плоской вершины по отдельности) по критерию максимизации пикового напряжения в заданных критических узлах. В качестве критических полагаются узлы 3 и 5. На рис. 1 показаны принципиальная схема отрезка линии передачи и критические узлы.

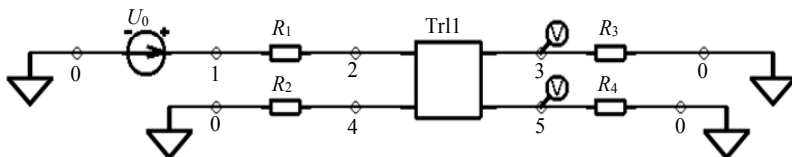


Рис. 1. Принципиальная схема отрезка линии передачи и критические узлы 3 и 5

Выполнено по 10 запусков ГА (с разным количеством вычислений ГА, благодаря изменению числа особей и поколений) с целью построения графиков сходимости, чтобы определить, в каком случае будет наблюдаться более быстрая сходимость: в активном или пассивном проводниках.

На рис. 2, *a* показан график сходимости результатов, вычисленных для узла 3 (активный проводник), а на рис. 2, *б* – для узла 5 (пассивный проводник), где  $n$  – число вычислений ГА при одном запуске. Из рис. 2, *a* видно, что прямая линия наблюдается только при 1000 вычислений, поскольку даже при 300 есть небольшие отклонения,

составляющие 0,2 мВ. Однако это значение очень мало, поэтому можно считать, что сходимость достигается уже при  $n = 60$ .

Из рис. 2, б видно, что прямая линия начинается при  $n = 60$  и последующее увеличение количества вычислений не влияет на сходимость. На рис. 3 детально представлены графики только при  $n = 60-1000$ .

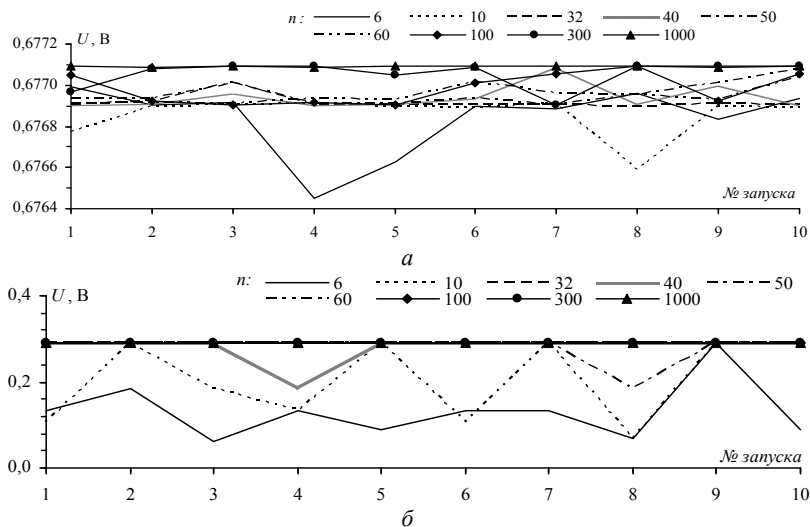


Рис. 2. Значения напряжения для 10 запусков при разных  $n$  для узлов 3 (а) и 5 (б)

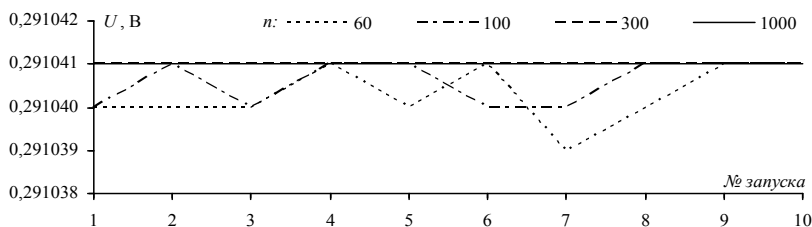


Рис. 3. Значения напряжения для 10 запусков при  $n = 60, 100, 300, 1000$

На рис. 4 показаны формы напряжений в критичных узлах до и после оптимизации, где  $U_3$  – форма напряжения до оптимизации, а  $U_{3opt}$  – после. Видно, что после оптимизации формы сигналов уменьшились по длительности. Однако их амплитуды практически не изменились.

В результате проведенной работы выявлено, что сходимость достигается уже при  $n = 60$ . Найдены максимумы напряжения: 0,6 В в узле 3 и 0,3 В в узле 5. Видно, что после оптимизации формы сигналов уменьшились по длительности.

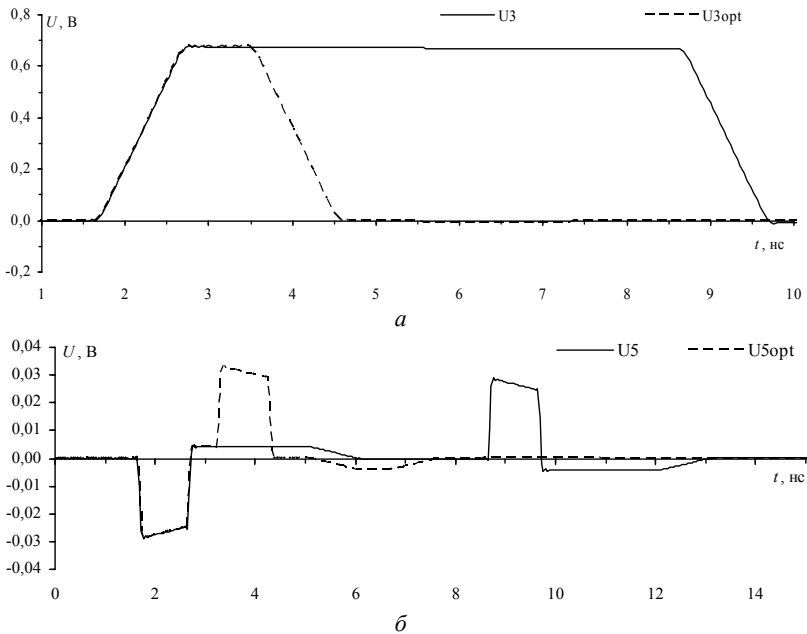


Рис. 4. Формы напряжений в критических узлах до и после оптимизации для узлов 3 (а) и 5 (б)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI 57417X0172.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Р.Р. Математическая модель, численный метод и комплекс программ для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Томск, 2018. – 224 с.
2. Газизов Т.Т. Методология, алгоритмы и программное обеспечение для комплексной оптимизации элементов радиоэлектронных устройств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.18. – Томск, 2017. – 314 с.
3. Djordjevic A.R. Analysis of time response of lossy multiconductor transmission line networks / A.R. Djordjevic, T.K. Sarkar // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1987. – Vol. MTT-35. – P. 898–908.
4. Система TALGAT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org/talgat-software/>, свободный (дата обращения: 02.02.2019).



# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 2

### ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

#### ПОДСЕКЦИЯ 2.6

##### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;*

*зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*М.А. Ембергенов, Л.Т. Таалайбек*

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ОПТИМИЗАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА  
ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ЭКСТРЕМУМОВ НАПРЯЖЕНИЯ  
В ОДИНОЧНОМ ОТРЕЗКЕ МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ.... 11

*К.С. Ерёмкина, Т.Ю. Загурская*

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ШТОРМОВ  
НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ..... 15

*З.М. Кенжегулова, М.В. Рыжова*

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ МОД  
ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ПО ВЫХОДУ СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ  
С ПОМОЩЬЮ П- И Т-ОБРАЗНЫХ СХЕМ..... 17

*А.В. Медведев, А.О. Губин*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ  
С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ..... 21

*Б.С. Мухамбетжанова*

ВЫЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ N-НОРМ ВДОЛЬ АКТИВНОГО  
ПРОВОДНИКА ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ..... 24

*А.В. Жечева*

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УЗЛА УПРАВЛЕНИЯ  
И ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ..... 28

#### ПОДСЕКЦИЯ 2.7

##### СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

*Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;*

*зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.*

*И.В. Попов, В.В. Долгова, К.А. Герасимов*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО  
НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ..... 31