



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.;

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-365.2018.8.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gazizov T.R., Orlov P.E., Zabolotsky A.M., Kuksenko S.P. New concept of critical infrastructure strengthening // Proc. of the 13th Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics. – 2015. – P. 1–3.
2. Kuksenko S.P., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. et al. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments // Advances in Intelligent Systems Research (ISSN 1951-6851), proc. of the 2015 Int. Conf. on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM–2015). – 2015. – P. 293–301.
3. Orlov P.E., Medvedev A.V., Sharafutdinov V.R. Quasistatic Simulation of Ultrashort Pulse Propagation in the Spacecraft Autonomous Navigation System Power Circuit with Modal Reservation // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – 2018. – P. 244–249.

УДК 51-47

### **ВЫЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ $N$ -НОРМ ВДОЛЬ АКТИВНОГО ПРОВОДНИКА ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

***Б.С. Мухамбетжанова, магистрант***

*Научный руководитель Р.Р. Газизов, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»,  
ассистент каф. ТУ*

*г. Томск, TVCYP, mukhambetzhanova.95@gmail.com*

С помощью  $N$ -норм исследуется шина печатной платы. Показано изменение значений норм вдоль активного проводника. 195, 162, 171, 181-й сегменты выявлены максимальными значениями узлов в  $N$ -нормах. Определены возможные сбои.

**Ключевые слова:**  $N$ -нормы, моделирование, электромагнитная совместимость, печатная плата.

С развитием радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) повышается плотность монтажа ее внутренних конструкций, а также наблюдается рост частот полезных и помеховых сигналов [1]. В этой связи важна диагностика возможных сбоев или отказов разрабатываемой РЭА с помощью имитационного моделирования еще на стадии проектирования [2]. Это особенно актуально для печатных плат (ПП), поскольку их проводники в общем случае расположены произвольно [3]. Важны выявление и локализация экстремумов сигналов, так как их результаты могут быть полезны для определения мест возможных паразитных взаимовлияний и излучений, чтобы принять необходимые меры по их

устранению. Одним из критериев такой диагностики могут быть  $N$ -нормы [3]. Ранее были разработаны методика и алгоритмы выявления и локализации экстремумов сигнала [4], реализованные в системе компьютерного моделирования TALGAT [5], и выполнен ряд исследований с использованием реализованной функциональности. Не так давно в данной системе была разработана новая возможность вычисления амплитудных критериев во временной области, а именно выявления специальных  $N$ -норм.

$N$ -нормы являются параметрами, которые используются для характеристики сигнала во временной области, и исторически были предложены, чтобы определить пределы восприимчивости оборудования [3]. Особый интерес к использованию норм обусловлен тем, что их можно использовать для указания влияния данного поля на системы [5, 6]. Расчет  $N$ -норм основан на применении математических операторов ко всей форме сигнала. Краткое изложение определения норм  $N_1$ – $N_5$  вместе с указанием на то, почему норма представляет особый интерес, представлено в таблице, воспроизведенной из [6]. Таким образом, вычисление максимума сигнала является вычислением  $N_1$ .

**Формулы  $N$ -норм, их название и применение**

| Норма  | Название                             | Применение   |
|--|--------------------------------------|--|
| $N_1 =  R(t) _{\max}$  | Пиковое (абсолютное) значение        | Сбой схемы / электрический пробой / дуговые эффекты    |
| $N_2 = \left  \frac{\partial R(t)}{\partial t} \right _{\max}$     | Пиковая (абсолютная) производная     | Искрение компонента / сбой схемы                       |
| $N_3 = \left  \int_0^t R(t) dt \right _{\max}$                     | Пиковый (абсолютный) импульс         | Диэлектрический пробой (если $R$ обозначает поле $E$ ) |
| $N_4 = \int_0^t  R(t)  dt$   | Выпрямленный общий импульс           | Повреждение оборудования                               |
| $N_5 = \left\{ \int_0^{\infty}  R(t) ^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$ | Квадратный корень интервала действия | Выгорание компонента                                   |

Ранее были разработаны методика и алгоритмы выявления и локализации экстремумов сигнала [5], реализованные в системе компьютерного моделирования TALGAT [6], и выполнен ряд исследований с использованием реализованной функциональности.

Цель работы – выявить максимумы  $N$ -норм для оценки работоспособности шины ПП.

В качестве исследуемой схемы выбрана шина ПП радиоприемного устройства системы автономной навигации космического аппарата. Принципиальная схема шины показана на рис. 1. Рассмотрен случай с длительностью воздействия в форме трапеции 159,3 пс. Выбор именно такого параметра воздействия основан на необходимости рассмотрения самой малой специфической длительности, полученной при использовании оптимизации генетическим алгоритмом по критерию максимизации пикового напряжения в этой же шине.

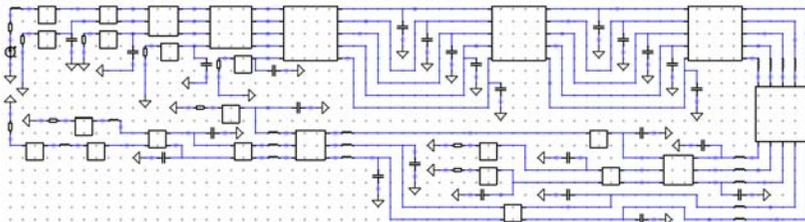


Рис. 1. Принципиальная схема шины ПП РПУ САН КА

Формы каждой нормы ( $N_2$ – $N_5$ ) вычислены вдоль активного проводника, которые представлены на рис. 2–5, где  $n$  – номер сегмента. Каждый отрезок проводной линии передачи разделен на 282 сегмента, в каждом из которых вычислены форма сигнала, а затем  $N$ -норма.

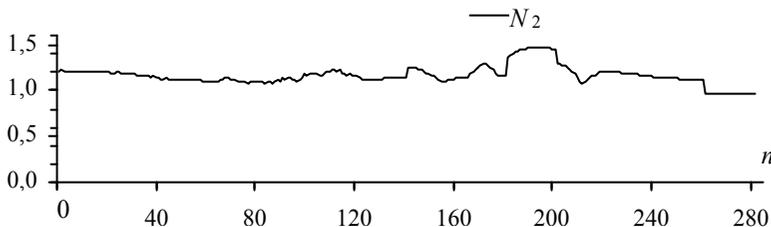


Рис. 2. Значения нормы  $N_2$  вдоль активного проводника

Пиковое значение  $N_2 = 1,47 \cdot 10^{10}$  наблюдается в 195-м сегменте. Это значит, что в этом сегменте увеличивается вероятность сбоя схемы.

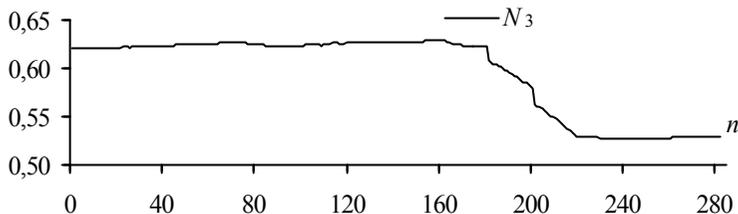


Рис. 3. Значения нормы  $N_3$  вдоль активного проводника

Пиковое значение  $N_3 = 6,30 \cdot 10^{-11}$  наблюдается в 162-м сегменте. Это значит, что в этом сегменте увеличивается вероятность диэлектрического пробоя.

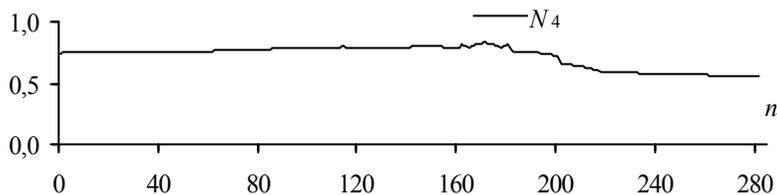


Рис. 4. Значения нормы  $N_4$  вдоль активного проводника

Пиковое значение  $N_4 = 8,29 \cdot 10^{-11}$  наблюдается в 171-м сегменте. Это значит, что в этом сегменте увеличивается вероятность повреждения оборудования.

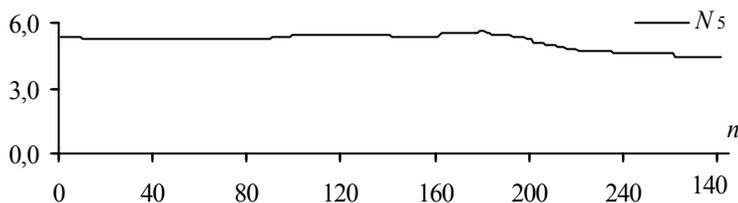


Рис. 5. Значения нормы  $N_5$  вдоль активного проводника

Пиковое значение  $N_5 = 5,59 \cdot 10^{-6}$  наблюдается в 181-м сегменте. Это значит, что в этом сегменте увеличивается вероятность выгорания фрагмента.

На рис. 4–5 изменения значений норм небольшие, поэтому вероятность повреждения оборудования практически не изменяется.

Таким образом, в работе выполнено вычисление форм  $N$  норм максимумов вдоль активного проводника в шине ПП. Выявлены сегменты узлов, где возможны сбои в схеме. Далее представляет интерес провести исследования значений норм вдоль пассивных проводников этой же шины.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Khan Z.A. A novel transmission line structure for high-speed high-density copper interconnects // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Tech. – June 09, 2016. – Vol. 6. – P. 1077–1086.

2. Roy S., Dounavis A. Efficient modeling of power/ground planes using delay-extraction-based transmission lines // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – April 21, 2011. – Vol. 1. – P. 761–771.

3. Tan X., Li X.C., Mao J. Time-domain analysis of noise coupling between package and PCB power/ground planes based on WLPFDTD // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – January 10, 2017. – Vol. 7. – P. 269–275.

4. Baum C. Norms and Eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – Vol. 63.

5. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях и влияний преднамеренных силовых электромагнитных воздействий: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2010. – 357 с.

6. 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. – Режим доступа: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/01-Gazizov.pdf>

УДК 621.3.038

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УЗЛА УПРАВЛЕНИЯ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ**

*А.В. Жечева, инженер НИЛ «БЭМС РЭС»*

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, zhecheva.av@gmail.com*

Разработан узел управления и вычисления в устройстве для измерения эффективности экранирования, отличающийся наличием узла устройства управления и вычисления с использованием быстродействующего микропроцессора с малым энергопотреблением и позволяющий выполнять вычисления ЭЭ на основе S-параметров.

**Ключевые слова:** эффективность экранирования, печатная плата, электромагнитная совместимость.

Экранирование узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) позволяет повысить их помехоустойчивость к воздействию внешних и внутренних излучаемых электромагнитных помех. При измерениях эффективности экранирования (ЭЭ) металлических корпусов возникает необходимость в наличии большого количества контрольно-измерительных приборов и безэховой камеры, что является достаточно дорогостоящими средствами измерения. В работе [1] предложено устройство портативного анализатора ЭЭ, основой которого является измерительная линия (ИЛ) с волновым сопротивлением 50 Ом, которая возбуждает корпус сигналом от генератора в диапазоне частот от 100 МГц до 8 ГГц. Данное устройство содержит микро-

## 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. Ерёмина, 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