



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 ТУСУР!**

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 ТУСУР-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.;

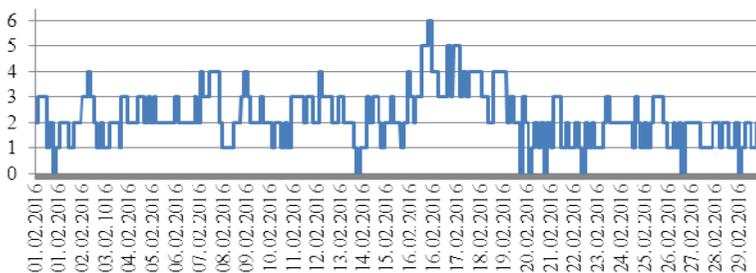


Рис. 1. Значения  $k$ -индекса в феврале 2016 г.

На основании вышеизложенного, учитывая практику других регионов РФ и других стран, необходимо исследовать влияние геомагнитных штормов на надёжность функционирования электроэнергетических систем. Один из вариантов – использовать для анализа значения  $k$ -индекса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk Power System: 2012 Special Reliability Assessment Interim Report. – //www.nerc.com
2. Чистяков Г.Н. Влияние возмущений геомагнитного поля на надёжность работы устройств релейной защиты и автоматики / Г.Н. Чистяков, Е.В. Платонова, Т.Ю. Зарубина, В.И. Пантелеев // Технологии ЭМС. – 2017. – №2(61). – С. 25–35.
3. Загурская Т.Ю., Пантелеев В.И., Чистяков Г.Н. Исследование влияния геомагнитных бурь на отказы в электроэнергетических системах // Физико-математические и технические науки как постиндустриальный фундамент эволюции информационного общества: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 15 декабря 2017 г., г. Уфа. – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 83–87.
4. Гершенгорн А.И. Воздействия геомагнитных токов на электрооборудование энергосистем // Электрические станции. – 1993. – №3. – С. 54–63.

УДК 621.391.825

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

**З.М. Кенжегулова, М.В. Рыжова, магистранты каф. ТУ**  
*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.*  
*г. Томск, ТУСУР, zarina.kenzhegulova@mail.ru*

Выполнен анализ коэффициентов отражения мод связанной линии. Получено, что при использовании П- и Т-схем коэффициенты равны нулю. Для подтверждения результатов анализа выполнено компьютерное моделирование.

**Ключевые слова:** связанная линия, коэффициент отражения, метод модального разложения.

В настоящее время для передачи сигнала в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) используют связанные линии передачи, например, дифференциальные пары. При их использовании увеличивается быстродействие элементов РЭА. Однако в данных линиях сигнал может искажаться из-за влияния помех отражения [1]. Для уменьшения влияния этих помех используются различные способы согласования: псевдосогласование, П- и Т-образные схемы [2].

Цель работы – выполнить анализ коэффициентов отражения мод при согласовании по выходу связанной линии.

Для выполнения анализа коэффициента отражения для каждой четной и нечетной мод используются аналитические выражения, представленные в [3]. Анализ коэффициентов отражения для каждой моды выполняется на основе выражения (1):

$$\Gamma_m = (\mathbf{R}_m \mathbf{Z}_{cm}^{-1} + \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{R}_m \mathbf{Z}_{cm}^{-1} - \mathbf{E}), \quad (1)$$

где  $\mathbf{E}$  – единичная матрица,  $\mathbf{R}_m$  – матрицы модальных импедансов,  $\mathbf{Z}_{cm}$  – модальный характеристический импеданс.

Рассматриваемые схемы представлены на рис. 1, где значения сопротивлений на концах линии при псевдосогласовании –  $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = 96 \text{ Ом}$ ; П-схемы –  $R_3 = R_4 = 146 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 210 \text{ Ом}$ ; Т-схемы –  $R_3 = R_4 = 146 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 42 \text{ Ом}$ .

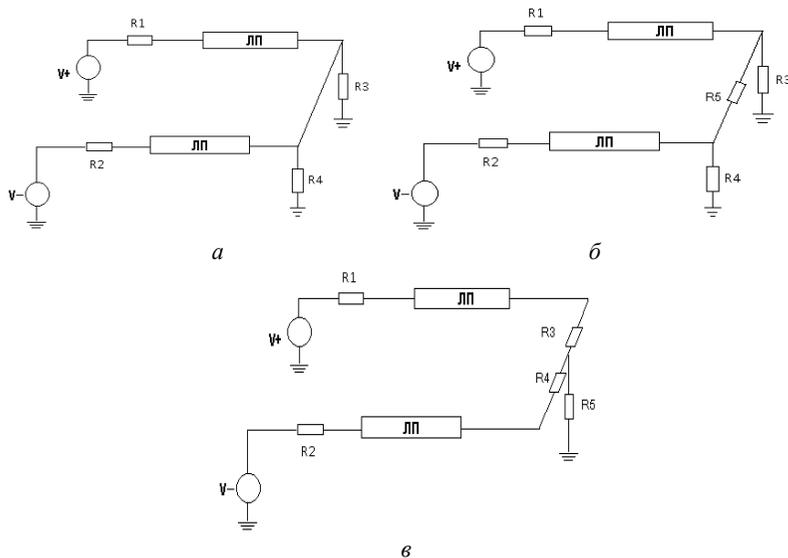


Рис. 1. Принципиальные схемы связанных линий: при псевдосогласовании (а); П- (б) и Т-схем (в)

Матрицы импедансов на дальнем конце связанной линии  $\mathbf{R}_L$  при использовании П- и Т-схем согласования [4]:

$$\mathbf{R}_{Lm} = \begin{bmatrix} \frac{Y+Y_3}{3Y^2} & \frac{Y_3}{3Y^2} \\ \frac{Y_3}{3Y^2} & \frac{Y+Y_3}{3Y^2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_{Lm} = \begin{bmatrix} Z_{oe} + R_5 & R_5 \\ R_5 & Z_{oe} + R_5 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $Y_1=Y_2=Y=\frac{1}{Z_{oe}}$ ,  $Y_3=\frac{1}{R_5}$ .

При вычислении значений сопротивлений используются выражения из [5]. Для П-схемы:

$$R_3 = R_4 = Z_{oe}, \quad (3)$$

$$R_5 = 2 \frac{Z_{oe} Z_{oo}}{Z_{oe} - Z_{oo}}. \quad (4)$$

Для Т-схемы:

$$R_3 = R_4 = Z_{oo}, \quad (5)$$

$$R_5 = \frac{1}{2}(Z_{oe} - Z_{oo}). \quad (6)$$

При анализе коэффициентов отражения для каждой моды необходимо вычислить матрицы модальных импедансов [3]:

$$\mathbf{R}_m = \mathbf{T}_V^{-1} \mathbf{R}_V \mathbf{T}_I, \quad (7)$$

где  $\mathbf{T}_V$  – матрица преобразования мод по напряжению,  $\mathbf{T}_I$  – матрица преобразования мод по току.

Вычисленные матрицы модальных импедансов на ближних концах ( $\mathbf{R}_{Sm}$ ) для всех схем и дальних концах при псевдосогласовании ( $\mathbf{R}'_{Lm}$ ) и П- и Т-схем ( $\mathbf{R}''_{Lm}$ ) соответственно:

$$\mathbf{R}_{Sm} = \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}'_{Lm} = \begin{bmatrix} 48 & 0 \\ 0 & 192 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}''_{Lm} = \begin{bmatrix} 72 & 0 \\ 0 & 122 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Далее на основе выражения (1) были вычислены значения коэффициентов отражения мод на ближнем концах ( $S$ ) для общего случая, на дальнем концах ( $L$ ) при псевдосогласовании, а также для П- и Т-схем (9). Из полученных результатов видно, что при использовании П- и Т-схем коэффициенты отражения мод близки к нулю.

$$\mathbf{\Gamma}_{Sm} = \begin{bmatrix} -0,871 & 0 \\ 0 & -0,718 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{\Gamma}_{Lm} = \begin{bmatrix} -0,20538 & 0 \\ 0 & 0,22273 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{\Gamma}_{Lm} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Затем было выполнено вычисление форм сигналов в начале и в конце дифференциальной пары на основе алгоритма, представленного в [5]. При этом длина линии 0,5 м, амплитуда дифференциального сигнала 1 В, длительность вершины импульса 5 нс, фронт 1,5 нс, спад

1,5 нс. Результаты моделирования представлены на рис. 2. Из полученного результата видно, что при псевдосогласовании наблюдаются искажения сигналов на входе и выходе, а при использовании П- и Т-схем искажений нет. Однако амплитуда импульса на входе и выходе отличается на 0,4.

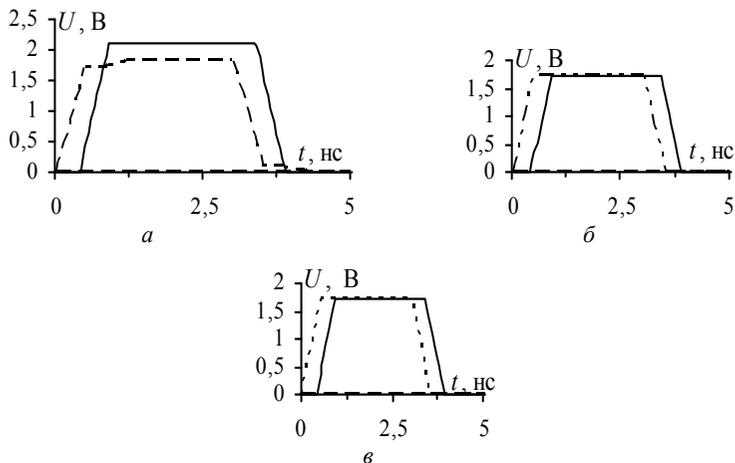


Рис. 2. Формы сигнала при псевдосогласовании (а), П-схем (б) и Т-схем (в)

В ходе работы был выполнен анализ коэффициентов отражения мод связанной линии. Получено, что при использовании П- и Т-схем коэффициенты равны нулю. Следовательно, это приводит к искажению сигнала, как это показано на рис. 2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Князев А.Д., Кечиев Л.Н., Петров Б.В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. – М.: Радио и связь, 1989. – 154 с.
2. Bogatin E. Signal integrity-simplified. – Pearson Education, Inc. – 2004. – 521 p.
3. Park S.W., Xiao F., Kami Y. Analytical approach for crosstalk characterization of multiconductor transmission lines using mode decomposition technique in the time domain // IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility. – 2010. – Vol. 52. – P. 436–446.
4. Grebennikov A. RF- and microwave power amplifier design // The McGraw-Hill Companies, Inc. – 2005. – 18 p.
5. Рыжова М.В. Алгоритм вычисления форм сигнала на концах отрезка двухпроводной линии передачи, основанный на методе модального разложения во временной области // Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР–2018», 16–18 мая 2018 г. Томск. – С. 274–277.

## 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.*

<i>М.А. Ембергенов, Л.Т. Таалайбек</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ЭКСТРЕМУМОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ОДИНОЧНОМ ОТРЕЗКЕ МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ....	11
<i>К.С. Ерёмкина, Т.Ю. Загурская</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ШТОРМОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ .....	15
<i>З.М. Кенжегулова, М.В. Рыжова</i> АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ МОД ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ПО ВЫХОДУ СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ П- И Т-ОБРАЗНЫХ СХЕМ.....	17
<i>А.В. Медведев, А.О. Губин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ.....	21
<i>Б.С. Мухамбетжанова</i> ВЫЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ N-НОРМ ВДОЛЬ АКТИВНОГО ПРОВОДНИКА ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.....	24
<i>А.В. Жечева</i> 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.*

<i>И.В. Попов, В.В. Долгова, К.А. Герасимов</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	31
---	----