



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
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: magistrant.tusur.ru

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2019»

г. Томск, 22–24 мая 2019 г.

(в двух частях)

ЧАСТЬ 1

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

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа

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

22–24 мая 2019 г., г. Томск

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
2019

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 1. – 320 с.

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

Сборник включает избранные статьи по итогам Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Конференция посвящена 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 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2019

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
2. Dehkhoda P. An efficient and reliable shielding effectiveness evaluation of a rectangular enclosure with numerous apertures / P. Dehkhoda, A. Tavakoli, R. Moini // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2008. – Vol. 50, № 1. – P. 208–212.
3. A fast calculation approach for the shielding effectiveness of an enclosure with numerous small apertures / D. Ren, P.A. Du, Y. He et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, № 4. – P. 1033–1041.
4. Nie B.L. An improved circuitual method for the prediction of shielding effectiveness of an enclosure with apertures excited by a plane wave / B.L. Nie, P.A. Du, P. Xiao // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2018. – Vol. 60, № 5. – PP. 1376–1383.
5. Utility Communications. Multi-service multiplexer FOX515 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com/network-management/ru/sistemy-svyazi/volonkonno-opticheskiye-seti/multiservisnaya-sistema-dostupa-fox515> (дата обращения: 12.02.2019).
6. Устройства СВЧ и антенны. – Ч. 1: Устройства СВЧ: учеб. пособие / В.А. Замотринский, Л.И. Шангина. – Томск: ТУСУР, 2012. – 222 с.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЯНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ

*С.Х. Карри, магистрант; Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, salim96@list.ru*

Представлены результаты оценки влияния относительной диэлектрической проницаемости подложки на рассеяние мощности сверхкороткого импульса в начале и конце витка меандровой линии. Для этого выполнено квазистатическое моделирование линии, в рамках которого рассмотрены два случая согласования линии с генератором и нагрузкой. Сделаны выводы о влиянии ϵ_r на мощность и предложены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: меандровая линия, сверхкороткий импульс, рассеяние мощности.

В настоящее время во многих сферах жизни человека применяется радиоэлектронная аппаратура (РЭА). На фоне тенденции её развития (уменьшение габаритов, рост тактовых частот используемых сигналов и увеличение плотности монтажа печатных плат) всё острее становится задача обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА. Неучет требований ЭМС может привести к нестабильной

работе и даже к выходу РЭА из строя. Одной из важнейших задач ЭМС является защита от электромагнитных воздействий (ЭМВ). К наиболее опасным видам ЭМВ можно отнести сверхкороткие импульсы (СКИ) из-за их высокой амплитуды и малого времени нарастания, из-за чего СКИ, минуя средства защиты (из-за их недостаточной мощности и быстродействия), могут проникать внутрь РЭА и выводить из строя чувствительные цепи [1].

Традиционные средства защиты от СКИ не могут обеспечить эффективную защиту устройства, сохранив при этом малые габариты и простоту исполнения. Примечателен предложенный простой подход к защите, основанный на разложении СКИ на последовательность импульсов меньшей амплитуды в меандровой линии задержки [2]. Применимость такого подхода подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями [3]. Применение меандровых линий требует детального анализа и понимания того, какое влияние оказывают параметры поперечного сечения на разложение СКИ и распределение мощности в линии. Например, проведенный анализ рассеяния мощности в витке меандровой микрополосковой линии с учетом и без учета потерь показал, что в линии без потерь мощность в начале и в конце линии различны, что может быть вызвано влиянием относительной диэлектрической проницаемости материала подложки [4]. Поэтому целесообразно выполнить детальный анализ влияния этого параметра линии на рассеяние мощности в микрополосковой меандровой линии.

Цель данной работы – выполнить анализ влияния относительной диэлектрической проницаемости материала подложки на рассеяние мощности СКИ в витке меандровой микрополосковой линии. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выполнить квазистатическое моделирование прохождения СКИ по меандровой линии задержки при разных значениях относительной диэлектрической проницаемости материала подложки; вычислить значение мощности в начале и конце витка; выполнить анализ результатов.

Для моделирования выбрана микрополосковая линия задержки (рис. 1, *a*). Параметры поперечного сечения линии выбраны так, чтобы обеспечить разложение СКИ: $w = 300$ мкм, $t = 105$ мкм, $s = 23$ мкм, $h = 510$ мкм. Значение относительной диэлектрической проницаемости подложки (ϵ_r) для моделирования приняты равными 1,1; 2; 4,5; и 6. Исследуемая линия представляет собой два сигнальных проводника, закороченных на одном конце, второй конец первого проводника соединён с источником ЭДС, имеющим внутреннее сопротивление

$R1$, а конец второго проводника соединён с приёмным устройством, представленным сопротивлением $R2$ (рис. 1, б).

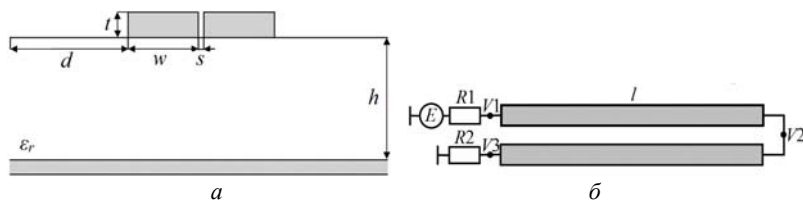


Рис. 1. Поперечное сечение исследуемой линии (а) и её схема соединений (б)

В ранних работах предложено для минимизации отражения сигнала от концов линии обеспечивать значения $R1$ и $R2$ равными среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод линии ($\sqrt{Z_c Z_o}$) [2]. Однако в данной работе для получения более корректных результатов целесообразно дополнительно рассмотреть псевдосогласование линии ($R1 = R2 = 50$ Ом). В качестве воздействующего сигнала принят импульс в виде трапеции с ЭДС 1 В, длительностями фронта/спада по 50 пс, а плоской вершины – 100 пс.

Поскольку результатом моделирования формы сигнала в начале и конце линии является набор отчётов напряжения и соответствующих им отсчётов времени, которые в совокупности описывают форму сигнала во временной области, то мощность может быть легко вычислена по следующему выражению, вывод и обоснование которого приведено в [4]:

$$P = \frac{1}{R} \sum_{i=0}^{t_{\max}} U^2(t), \quad (1)$$

где $U(t)$ – отсчёт напряжения, R – сопротивление генератора или нагрузки, t_{\max} – учитываемая длительность $U(t)$.

На рис. 2 в качестве примера приведены формы сигнала в конце витка меандра при разных ϵ_r и $R1 = R2 = \sqrt{Z_c Z_o}$. Результаты вычисления мощности в начале линии (P_{in}), в конце линии (P_{out}) при значениях $R1 = R2 = \sqrt{Z_c Z_o}$ и $R1 = R2 = 50$ Ом сведены в таблицу.

Из рис. 2 наблюдается ожидаемое увеличение разности погонных задержек четной (τ_c) и нечетной (τ_o) мод линии при увеличении ϵ_r : импульсы четной и нечетной мод разнесаются по времени, что дает два импульса, приходящих последовательно друг за другом. Также и из таблицы видно закономерное уменьшение $\sqrt{Z_c Z_o}$ при увеличении ϵ_r . Увеличение ϵ_r при $R1 = R2 = \sqrt{Z_c Z_o}$ приводит к увеличению мощности сигнала на входе из-за уменьшения $R1$ от 483 до 1085 мВт. При этом изменение значения P_{out} неоднозначно: сначала увеличивается, а по-

сле уменьшается при увеличении ϵ_r . При $\epsilon_r = 4,3 \sqrt{Z_c Z_0}$ близко к значению 50 Ом, а значения P_{in} и P_{out} близки к значениям для случая при $R1 = R2 = 50$ Ом. При $R1 = R2 = 50$ Ом наблюдается обратная по характеру ситуация: значение P_{in} изменяется неоднозначно: сначала увеличивается, а после уменьшается; значение мощности на выходе P_{out} последовательно уменьшается при увеличении ϵ_r .

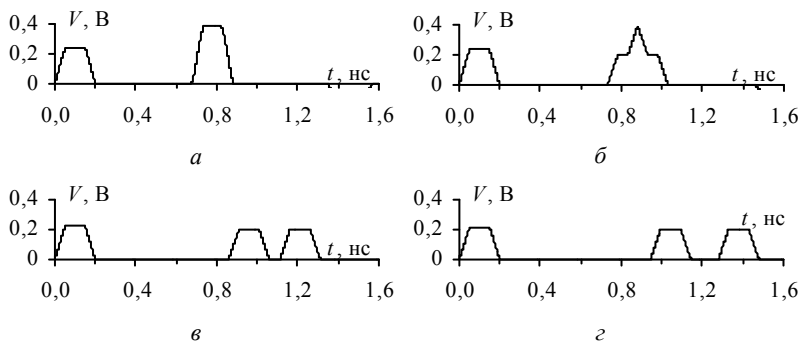


Рис. 2. Результаты моделирования формы сигнала в конце линии без учёта потерь: при $\epsilon_r = 1,1; 2; 4,3$ и 6 (а-г)

**Вычисленная мощность СКИ в начале и конце
витка меандровой линии при разном согласовании линии**

ϵ_r	1,1	2	4,3	6
$\sqrt{Z_c Z_0}$, Ом	70	61,1	48,7	43,3
$R1 = R2 = \sqrt{Z_c Z_0}$				
P_{in} , мВт	483	696	962	1085
P_{out} , мВт	469	396	408	454
$R1 = R2 = 50$ Ом				
P_{in} , мВт	873	956	922	864
P_{out} , мВт	631	479	397	392

Отметим, что изменение $\sqrt{Z_c Z_0}$ приводит к появлению отражений сигнала от концов линии, причем эти отражения будут различны для каждой из мод, что усложняет анализ сохранения баланса мощности в линии и анализ влияния ϵ_r на мощность сигнала на входе и выходе меандра при описанных режимах согласования. Для таких оценок целесообразно дополнительно оценить коэффициенты отражения от каждого из стыков линии (в том числе от закоротки между полувитками) каждой из мод при каждом режиме согласования, что не было предусмотрено в данной работе.

Таким образом, в работе представлен анализ влияния диэлектрической проницаемости подложки на рассеяние мощности СКИ в витке меандровой линии задержки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-37-00339.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петкау О. Защита объектов топливно-энергетического комплекса от угроз электромагнитного воздействия / О. Петкау, А. Тарабцев, А. Дерябин и др. // Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. – 2014. – № 2 (6). – С. 74–76.

2. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 58, No. 6. – P. 1864–1871.

3. Influence of losses on ultrashort pulse decomposition in a turn of meander microstrip line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, T.T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. June 30 – July 4, 2016. – P. 151–154.

4. Карри С.Х. Анализ рассеяния мощности сверхкороткого импульса в витке меандровой линии задержки // Матер. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 28–30 ноября, 2018. Томск: В-Спектр, 2018. – С. 283–286.

УДК 04.415.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ TALGAT

А.А. Квасников, магистрант

*Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, aleksejivasnikov@gmail.com*

Выполнено проектирование подсистемы принятия решений системы TALGAT с использованием возможностей языка UML. Разработаны диаграммы, описывающие моделируемую систему и протекающие в ней процессы.

Ключевые слова: TALGAT, UML, проектирование, ЭМС

Оценка уязвимости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) к электромагнитным помехам играет важную роль на ранних стадиях ее проектирования. Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС), в свою очередь, представляет собой сложную задачу, связанную с дорогостоящими и длительными испытаниями, для решения которой не существует универсальных подходов и приемов. Решение подобного рода задач требует не только знаний радиотехники, теории электрических цепей, но и знаний, основанных на многолетнем опыте.

А.А. Колегов, А.В. Черникова, Д.В. Сарасеко, К.А. Денисенко
СЛОЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ
ОПТОВОЛОКОННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНИТЕЛЕЙ.....216

М.Н. Гаппарова, Н.А. Иванченко, А.С. Перин
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
КОГЕРЕНТНЫХ СВЕТЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ
В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ
С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....219

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

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

А.М. Артюшкина, А.В. Демаков
РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....222

К.В. Симонова, Д.С. Бодажков
ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ
МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ.....225

Л.К. Болатова
АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ.....228

Е.Б. Черникова
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....232

Рустам Р. Газизов, М.Н. Калинина
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ
В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ.....236

Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА
ДЛЯ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....244

Ч.Л. Хомушку
ВЫЯВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА
В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....247

М.В. Храпцов ВЛИЯНИЕ КАСКАДИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	251
А.А. Иванов РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО КОРПУСА МЕТОДОМ МАТРИЦЫ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ.....	255
К.А. Бокова, А.А. Иванов ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА МУЛЬТИПЛЕКСОРА FOX-515	259
С.Х. Карри, Р.С. Суровцев АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЙАНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ.....	262
А.А. Квасников ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ TALGAT	266
И.И. Николаев ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЕЁ ПОГОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ	270
М.А. Самойличенко АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ НА АМПЛИТУДУ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛОЖЕНИЯ	273
Л.Т. Таалайбек, М.А. Ембергенов ПОИСК МАКСИМУМА НАПРЯЖЕНИЯ В СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ.....	275
Е.С. Жечев ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....	279

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;
зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

А.А. Максименко, Е.С. Ганская, М.В. Андреева ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПАСА СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА	282
Д.В. Кожокару, Е.С. Ганская, Е.С. Гайбович МЕТОДЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ	284