**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учебно-методическое объединение по образованию

в области информатики и радиоэлектроники

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования

Республики Беларусь

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.А. Старовойтова

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Регистрационный № ТД-\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/тип.

**Физические основы проектирования**

**радиоэлектронных средств**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине**

**для специальности:**

**1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование**

**радиоэлектронных средств**

|  |  |
| --- | --- |
| **СОГЛАСОВАНО**  Председатель Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.А. Богуш  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | **СОГЛАСОВАНО**  Начальник Главного управления профессионального образования Министерства образования  Республики Беларусь  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_С.А. Касперович  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | **СОГЛАСОВАНО**  Проректор по научно-методической работе Государственного учреждения образования «Республиканский  институт высшей школы»  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.В. Титович  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | Эксперт-нормоконтролер  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

Минск 2022

**СОСТАВИТЕЛИ:**

В.Ф. Алексеев, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент;

В.Е. Матюшков, начальник центра научно-технических программ и научной работы открытого акционерного общества «Планар», доктор технических наук, профессор;

Г.А. Пискун, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Кафедра программного обеспечения информационных систем и технологий Белорусского национального технического университета (протокол № 3 от 12.10.2022);

С.А.Ефименко, главный конструктор открытого акционерного общества «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», кандидат технических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ** **В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ**:

Кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 2 от 10.10.2022);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
(протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_);

Научно-методическим советом по электронным системам и технологиям Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 3 от 14.11.2022)

Ответственный за редакцию: С.С. Шишпаронок

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования первой ступени и типового учебного плана вышеуказанной специальности.

Учебная дисциплина «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» необходима для обеспечения понимания последующих специальных учебных дисциплин в рамках специальности   
1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств. Освоение содержания данной учебной дисциплины позволит приобрести необходимые инженеру по радиоэлектронике навыки оценки процесса проектирования и моделирования конструкторских и технологических решений с точки зрения физических процессов, протекающих в элементах и конструкциях радиоэлектронных средств (РЭС) при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

В рамках образовательного процесса по данной учебной дисциплине студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: освоение теоретических знаний по основным понятиям, законам, физическим явлениям и моделям теплообмена, а также влиянию влажности, радиации, механических и электромагнитных воздействий на аппаратуру с последующим приобретением практических навыков применения полученных знаний при проектировании современных радиоэлектронных средств.

Задачи учебной дисциплины:

приобретение знаний об условиях эксплуатации конструкций РЭС с учетом анализа протекающих тепловых процессов;

изучение физических процессов, протекающих в элементах и конструкциях РЭС при воздействии дестабилизирующих факторов, при высокой влажности, низком и высоком атмосферном давлении, при действии механических нагрузок, а также способов защиты элементов и конструкций РЭС от механических нагрузок;

приобретение навыков моделирования воздействия механических нагрузок и расчета эффективности защиты конструкций РЭС;

изучение действия радиации на конструкционные материалы изделий электронной техники, полупроводниковые приборы, интегральные схемы, радиодетали и компоненты, а также методов повышения радиационной стойкости элементов и конструкций РЭС;

анализ источников возникновения электромагнитных помех и их влияния на работоспособность РЭС;

освоение способов защиты конструкций РЭС от действия паразитных связей и наводок и приобретение навыков моделирования их влияния на конструкцию РЭС;

выработка навыков использования моделей для анализа и расчета эффективности защиты от электромагнитных полей и паразитных связей.

Базовыми учебными дисциплинами по курсу «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» являются «Математический анализ» и «Физика». В свою очередь учебная дисциплина «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» является базой для таких учебных дисциплин, как «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов», «Имитационное моделирование электронных систем» и «Проектирование электронных средств» (учебная дисциплина компонента учреждения высшего образования).

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ  
СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» формируются следующие компетенции:

*универсальные:*

владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

обладать навыками саморазвития и самосовершенствования в профессиональной деятельности;

проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

*базовые профессиональные:*

применять основные понятия и законы физики для изучения физических явлений и процессов;

проектировать электронные средства с учетом влияния физических явлений и процессов на заданные характеристики.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

*знать:*

характеристику воздействий, которым подвергаются РЭС при эксплуатации;

физические явления, происходящие в конструкциях РЭС при воздействии тепловых и механических нагрузок, электромагнитных помех и других факторов;

методы защиты РЭС от воздействия дестабилизирующих факторов;

*уметь:*

выбирать конструкторские способы, обеспечивающие защиту РЭС от дестабилизирующих факторов;

моделировать воздействие дестабилизирующих факторов на конструкцию РЭС;

выполнять расчеты по оценке эффективности защиты конструкции РЭС от дестабилизирующих факторов;

*владеть:*

навыками описания физических явлений и процессов, протекающих в элементах и конструкциях РЭС при воздействии дестабилизирующих факторов;

методами компьютерного моделирования физических процессов, протекающих в элементах и конструкциях РЭС

Типовая учебная программа рассчитана на 216 учебных часов, из них – 88 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 40 часов, лабораторные занятия – 32 час, практические занятия – 16 часов.

**ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

| Наименование раздела, темы | Всего аудиторных часов | Лекции | Лабораторные занятия | Практические занятия |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Раздел 1. Характеристика условий эксплуатации конструкций РЭС** | **2** | **2** | **–** | **–** |
| Тема 1. Факторы, определяющие конструкцию РЭС. Окружающая среда и ее воздействие на радиоэлектронные средства | 2 | 2 | – | – |
| **Раздел 2. Физико-математические основы конструирования РЭС** | **2** | **2** | **–** | **–** |
| Тема 2. Обобщающие физические модели конструкций РЭС. Математические методы анализа физических полей радиоэлектронных средств | 2 | 2 | – | – |
| **Раздел 3. Тепло- и массообмен в радиоэлектронных средствах** | **34** | **10** | **16** | **8** |
| Тема 3. Основы тепло- и массообмена. Перенос тепловой энергии конвекцией | 4 | 2 | – | 2 |
| Тема 4. Перенос тепловой энергии теплопроводностью. Перенос тепловой энергии излучением | 2 | 2 | – | – |
| Тема 5. Тепловая чувствительность элементов РЭС. Математические основы характерных тепловых расчетов | 8 | 2 | 4 | 2 |
| Тема 6. Моделирование тепловых режимов РЭС | 10 | 2 | 6 | 2 |
| Тема 7. Системы обеспечения тепловых режимов РЭС | 10 | 2 | 6 | 2 |
| **Раздел 4. Защита конструкций РЭС от атмосферных воздействий** | **2** | **2** | **–** | **–** |
| Тема 8. Механизмы влияния влаги на эффективность конструкций РЭС. Герметизация РЭС | 2 | 2 | – | – |
| **Раздел 5. Защита конструкций РЭС от динамических механических воздействий** | **18** | **6** | **8** | **4** |
| Тема 9. Особенности проектирования РЭС с учетом влияния механических факторов | 8 | 4 | 4 | – |
| Тема 10. Математические методы расчетов вибрационной прочности конструкции РЭС | 10 | 2 | 4 | 4 |
| **Раздел 6. Действие проникающей радиации на элементы РЭС** | **10** | **8** | **–** | **2** |
| Тема 11. Виды проникающей радиации и их основные характеристики | 2 | 2 | – | – |
| Тема 12. Действие радиации на конструкционные материалы | 2 | 2 | – | – |
| Тема 13. Действие радиации на полупроводниковые приборы и интегральные схемы | 4 | 2 | – | 2 |
| Тема 14. Действие радиации на пьезокварцевые материалы и изделия, электрорадиоизделия | 2 | 2 | – | – |
| **Раздел 7. Обеспечение электромагнитной совместимости при проектировании РЭС** | **20** | **10** | **8** | **2** |
| Тема 15. Виды паразитной связи | 4 | 4 | – | – |
| Тема 16. Физические процессы, протекающие в элементах и компонентах рэс, при воздействии электромагнитных помех | 8 | 4 | 4 | – |
| Тема 17. Математические методы расчета электромагнитных полей рэс и экранирование | 8 | 2 | 4 | 2 |
| **Итого:** | **88** | **40** | **32** | **16** |

**СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Раздел 1. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

Тема 1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КОНСТРУКЦИЮ РЭС. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ   
НА РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА

Виды классификаций. Классификация РЭС по назначению, объекту установки, условиям применения и конструктивным признакам. Области применения РЭС различного назначения.

Характеристика климатических воздействий (климат, температура, влага, давление, пыль, песок, солнечная радиация). Макроклиматическое районирование. Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации и испытаниях. Основные требования к проектированию РЭС в части видов воздействующих климатических факторов внешней среды. Номинальные и эффективные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации.

Воздействие ветра и гололеда. Воздействие влаги, пыли, солнечной радиации, ионизирующих излучений и биологических факторов. Воздействие электромагнитных полей.

Особенности проектирование радиоэлектронных средств с учетом климатического исполнения и категории изделий.

Раздел 2. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЭС

Тема 2. ОБОБЩАЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИЙ РЭС.  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ  
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Графические и знаковые модели: общие положения, общие правила построения и использования. Методы теории подобия и моделирования. Анализ размерностей. П-теорема. Метод подобия.

Преобразование − определяющий физический эффект работы и конструкций РЭС. Обобщающая физическая модель РЭС. Принципы описания конструкций в обобщенных параметрах.

Методика обобщенного исследования преобразования потоков энергии в РЭС.

Физические эффекты, возникающие в конструкции РЭС при функционировании. Постановка краевых задач. Метод разделения переменных. Метод интегральных преобразований: преобразование Фурье, преобразование Лапласа. Операционный метод. Метод функции Грина. Метод конечных разностей.

Раздел 3. ТЕПЛО- И МАССОБМЕН В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

Тема 3. ОСНОВЫ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА.   
ПЕРЕНОС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ КОНВЕКЦИЕЙ

Основные понятия и определения. Общая характеристика механизмов тепло- и массообмена в РЭС. Тепло- и влагостойкость элементов РЭС. Типовые задачи тепло- и массообмена в РЭС.

Источники тепла в радиоэлектронных средствах. Нормальный тепловой режим РЭС.

Теплоотдача при свободном движении жидкости. Критериальные уравнения. Расчетные формулы теплоотдачи различных тел в неограниченном пространстве. Естественная конвекция в ограниченном пространстве. Вынужденная конвекция при внешнем обтекании тел. Вынужденная конвекция в трубах и каналах. Теплообмен при кипении. Теплообмен при конденсации.

Теплообмен конвекцией при давлениях, отличных от нормального.

Тема 4. ПЕРЕНОС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ.  
ПЕРЕНОС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Теплообмен теплопроводностью. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Теплопроводность плоской стенки. Теплопроводность цилиндрической стенки. Теплопроводность сферической поверхности. Теплопроводность плоской стенки с внутренним источником теплоты. Теплопроводность цилиндрической стенки с внутренним источником теплоты. Теплопроводность многослойной стенки. Теплопроводность в ребре постоянного сечения. Теплопроводность стержня. Тепловое сопротивление. Конвективный теплообмен. Основы теории подобия.

Теплообмен излучением. Закон Планка, закон Релея-Джинса, закон Вина. Закон Стефана-Больцмана. Закон Ламберта. Излучение черных тел, «серое» тело. Закон Кирхгофа для излучения. Теплообмен излучением между параллельными пластинами, разделенными прозрачной средой. Солнечное излучение.

Тема 5. ТЕПЛОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ РЭС.  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХАРАКТЕРНЫХ ТЕПЛОВЫХ РАСЧЕТОВ

Тепловая чувствительность: конструкционные материалы, пластические материалы, радиокерамические материалы, магнитные материалы, резисторы, конденсаторы, полупроводниковые материалы, интегральные схемы, средства индикации.

Задачи теплового режима РЭС, приводящие к уравнениям параболиче­ского и эллиптического типов. Постановка краевых задач. Метод разделения переменных в приложении к тепловым расчетам интегральных схем. Операционные методы для расчета нестационарных тепловых режимов. Метод конечных интегральных преобразований при расчетах температуры элементов интегральных схем.

Тема 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЭС

Тепловые модели конструкций радиоэлектронных средств. Методы перехода от реальных конструкций к их тепловым моделям. Принцип местного влияния, принцип суперпозиции тепловых полей.

Тема 7. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЭС

Классификация систем охлаждения. Системы обеспечения тепловых режимов РЭС. Элементы и устройства систем обеспечения тепловых режимов. Особенности проектирования РЭС с учетом тепло- и массообмена.

Раздел 4. ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ РЭС ОТ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Тема 8. МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ВЛАГИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
КОНСТРУКЦИЙ РЭС. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ РЭС

Механизмы проникновения влаги. Влияние влаги на эффективность и качество конструкций РЭС. Влияние биологической среды и пыли.

Виды герметизации. Пропитка. Назначение, особенности конструкций пропитываемых изделий. Основные свойства пропиточных материалов. Обволакивание и заливка. Расчет внутренних напряжений в компаундах при заливке. Методы снижения внутренних напряжений в компаундах. Основные свойства компаундов и рекомендации по их применению.

Разъемная герметизация. Особенности проектирования металлических уплотнителей. Особенности проектирования резиновых уплотнителей. Кор­пуса, крышки и их соединения. Расчет качества герметизации.

Неразъемная герметизация. Неразъемная герметизация сваркой и пайкой. Проходные изоляторы для герметизированных корпусов. Расчеты герметичности. Расчет усилия обжатия, расчет утечки с помощью алгоритмов автоматизированного проектирования.

Защита покрытиями. Методы определения степени влагозащиты РЭС. Оценочные расчеты степени герметичности блока РЭС.

Раздел 5. ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ РЭС  
ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Тема 9. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС  
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Классификация механических воздействий. Параметры гармонических и случайных вибраций. Параметры ударных нагрузок и акустических шумов. Методы измерения параметров механических воздействий.

Методы воспроизведения механических воздействий на испытательных стендах. Методы воспроизведения ударных нагрузок и линейных ускорений.

Виды реакций РЭС на механические воздействия. Реакция резисторов и конденсаторов на механические воздействия. Реакция катушек индуктивности, жгутовых и кабельных соединений на механические воздействия.

Реакция разъемных и контактных соединений на механические воздействия. Производственные механические воздействия.

Тема 10. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ ВИБРАЦИОННОЙ  
ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ РЭС

Динамические характеристики конструкций и элементов РЭС. Основные динамические характеристики блоков РЭС. Определение собственных частот блоков РЭС.

Определение собственных частот электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Расчет собственных частот печатных плат.

Определение вынужденных колебаний элементов в конструкциях РЭС. Методы оценки прочностных свойств элементов конструкций. Экспериментальные методы определения напряженного состояния элементов конструкции.

Способы виброзащиты конструкций РЭС. Виброзащита полупроводниковых приборов и ЭРЭ. Использование заливки и вибропоглощающих покрытий.

Схемы монтажа блоков на виброизоляторах. Разновидности конструкций виброизоляторов. Статический расчет системы виброизоляции.

Динамический расчет системы виброизоляции. Реакция РЭС на ударные нагрузки. Динамический расчет системы изоляции ударных нагрузок.

Методика расчета вибропрочности несущих конструкций. Методы расчета конструкций с использованием персонального компьютера (метод конечных элементов). Метод расчета конструкций с использованием персонального компьютера (метод конечных разностей).

Раздел 6. ДЕЙСТВИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕМЕНТЫ РЭС

Тема 11. ВИДЫ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ  
И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Общие сведения о радиационной обстановке. Радиационная обстановка при ядерном взрыве. Радиационная обстановка на объектах с ядерными энергетическими установками. Радиационная обстановка на космических объектах.

Источники радиации, применяемые при экспериментальных исследованиях.

Тема 12. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ

НА КОНСТРУКЦИОННЫЕМАТЕРИАЛЫ

Характеристика основных типов радиационных дефектов в твердых телах. Взаимодействие излучений с веществом. Влияние радиации на электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Влияние радиации на электрофизические свойства неорганических материалов. Влияние радиации на электрофизические свойства органических материалов.

Тема 13. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
ПРИБОРЫ И ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Биполярные транзисторы. Униполярные транзисторы. Полупроводниковые диоды. Туннельные диоды. Полупроводниковые фотопреобразователи. Интегральные схемы.

Тема 14. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ПЬЕЗОКВАРЦЕВЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ, ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯ

Действие радиации на кристаллический кварц. Действие радиации на пьезокварцевые изделия.

Действие радиации на конденсаторы, резисторы, радиокомпоненты.

Раздел 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭС

Тема 15. ВИДЫ ПАРАЗИТНОЙ СВЯЗИ

Общая характеристика электромагнитных связей. Источники возникновения помех в РЭС. Электромагнитная обстановка. Паразитная емкостная связь. Паразитная индуктивная связь. Паразитная емкостная и индуктивная связи с участием посторонних проводов. Паразитная связь через электромагнитное поле и волноводная связь. Паразитная связь через общее полное сопротивление.

Тема 16. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕВ ЭЛЕМЕНТАХ  
И КОМПОНЕНТАХ РЭС, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ПОМЕХ

Оценка работы конденсаторов и резисторов при воздействии помех. Физические процессы в активных компонентах при воздействии помех. Влияние помех на цифровые схемы. Влияние помех на аналоговые схемы. Схемы сопряжения при воздействии помех. Помехи в источниках питания.

Тема 17. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РЭС И ЭКРАНИРОВАНИЕ

Уравнения электромагнитного поля и основные электродинамические задачи РЭС. Основные принципы экранирования. Методы расчета потенциальных полей РЭС.

**ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Молодечкина, Т. В. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС». В 2 ч. Ч. 1 / Т. В. Молодечкина, В. Ф. Алексеев, М. О. Молодечкин. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – 204 с.
2. Молодечкина, Т. В. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС». В 2 ч. Ч. 2 / Т. В. Молодечкина, В. Ф. Алексеев, М. О. Молодечкин. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – 224 с.
3. The Impact of ESD on Microcontrollers / Gennady A. Piskun, Viktor F. Alexeev, Sergey M. Avakov, Vladimir E. Matyushkov, Dmitry S. Titko ; Edited by PhD, Aassociate professor Viktor F. Alexeev. – Minsk : Kolorgrad, 2018. – 184 p.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Voldman, H. ESD: Design and Synthesis / Steven H. Voldman. – John Wiley & Sons, Ltd., 2011. – 290 p.
2. Белоус, А. И. Основы проектирования и применения микроэлектронных устройств силовой электроники / А. И. Белоус, А. С. Турцевич, С.А. Ефименко. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 264 с.
3. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебник для вузов / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – Москва : МЭИ, 2011. – 562 с.
4. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учебник / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. – Москва : Инфра-М, 2017. – 464 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ  
И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

изучение печатных источников по теме учебной дисциплины;

изучение профессиональных электронных ресурсов по теме учебной дисциплины;

выполнение практических и лабораторных заданий для закрепления знаний и навыков.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовым учебным планом специальности 1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств в качестве формы промежуточной аттестации по учебной дисциплине «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» предусмотрены зачет, экзамен и курсовой проект. Оценка учебных достижений студента производится по системе «зачтено/не зачтено» и десятибалльной шкале.

Для текущего контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов используются следующие формы:

коллоквиумы;

доклады на конференциях;

контрольные работы;

письменные отчеты по лабораторным работам;

рефераты;

публикации статей, докладов;

оценивание на основе модульно-рейтинговой системы;

отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы и технологии обучения, отвечающие целям и задачам дисциплины:

элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;

элементы учебно-исследовательской деятельности, творческий подход, реализуемые на практических и лабораторных занятиях;

проектные и инновационные технологии, реализуемые при выполнении курсового проекта;

элементы дистанционного обучения с использованием электронных учебно-методических комплексов при подготовке к коллоквиуму, практическим и лабораторным занятиям, выполнении курсового проекта.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Цель курсового проектирования: систематизация и закрепление теоретических знаний студентов по основным разделам учебной дисциплины, углубленное изучение методик физических основ проектирования конструкции радиоэлектронных устройств и получение практических навыков работы с конструкторской документацией, системами государственных и отраслевых стандартов, нормативно-технической документацией, обобщения и анализа результатов, полученных другими разработчиками.

Тематика курсового проектирования должна быть актуальной, соответ­ствовать современному состоянию и перспективам развития науки, техники и образования. Темы курсовых проектов должны быть посвящены исследованию влияния дестабилизирующих воздействий на конструкции радиоэлектронных устройств изделий в целом или их отдельных частей, выполнению научно-исследовательских работ конструкторско-технологического характера по тематике госбюджетных, хоздоговорных научно-исследовательских работ, заказам предприятий и организаций.

При выполнении курсового проекта решаются задачи оптимального конструирования конструкции РЭС на базе типовых методик с применением САПР и другого прикладного программного обеспечения.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

1. Обеспечение тепловых режимов конструкций блоков РЭС.
2. Исследование основных принципов защиты РЭС от вибрационных воздействий.
3. Исследование средств защиты РЭС от воздействия ударных нагрузок.
4. Исследование усталостных характеристик выводов ЭРЭ РЭС.
5. Численные методы исследования эффективности конструкций теплоотводов при охлаждении полупроводниковых приборов.
6. Задачи по исследованию процесса теплопередачи.
7. Исследование влияния конструкций теплоотводов на тепловой режим полупроводниковых приборов.
8. Исследование эффективности средств охлаждения элементов и узлов РЭС.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Исследование влияния внешних факторов на характеристики РЭС.
2. Исследование тепловой чувствительности элементов и конструкций РЭС.
3. Тепловой анализ конструкций РЭС с применением прикладного программного обеспечения.
4. Исследование тепловых характеристик перфорированного блока при естественной конвекции.
5. Исследование тепловых характеристик герметичного блока при естественной конвекции.
6. Исследование тепловых характеристик перфорированного блока при принудительном воздушном охлаждении.
7. Исследование тепловых характеристик теплоотводов различной конфигурации.
8. Исследование процесса передачи вибрации в системе «корпус-узел- виброизоляторы».
9. Исследование собственных частот электрорадиоэлементов и монтажных плат при воздействии вибраций.
10. Моделирование и исследование реакции конструкций РЭС и их элементов на ударные нагрузки.
11. Изучение иерархического построения несущих конструкций РЭС.
12. Исследование эффективности экранирования.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Анализ физических полей радиоэлектронных средств.
2. Определение коэффициентов теплоотдачи тел различной конфигурации при конвективном теплообмене.
3. Стационарный тепловой поток через стержни и пластины.
4. Теплоотдача излучением.
5. Тепловая чувствительность элементов и компонентов РЭС.
6. Приближенные расчеты нестационарных температурных полей.
7. Расчет теплоотводов.
8. Методы моделирования тепловых процессов.
9. Методы расчета потенциальных полей РЭС.
10. Расчетные модели конструкций РЭС и их элементов.
11. Определение реакции конструкций РЭС на механические воздействия.
12. Анализ динамических процессов в конструкциях РЭС.
13. Защита аппаратуры от вибраций.
14. Защита конструкций РЭС от влияния влаги.
15. Влияние радиации на различные конструкционные материалы и элементы РЭС.
16. Расчет эффективности экранирования.
17. Расчет эффективности фильтрации.
18. Расчет эффективности заземления.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

(*необходимого оборудования, наглядных пособий и т. п.)*

1. MathCad.
2. MS Excel.
3. [SolidWorks](http://www.eltm.ru/index.sema?a=pages&id=412).
4. Comsol Multiphysics.