

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ***

по дисциплинам  
«Элементная база средств медицинской электроники»  
и «Электрорадиоэлементы и устройства  
функциональной электроники»

для студентов специальностей  
«Медицинская электроника»  
и «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»  
заочной формы обучения

Минск 2005

УДК 61+621.38 (075.8)

ББК 5+32.85 я 73

М 54

Составители:

Л.И. Гурский, С.К. Дик, В.В. Баранов, А.А. Костюкевич

**М 54** **Методические** указания и контрольные задания по дисциплинам «Элементная база средств медицинской электроники» и «Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники» для студентов специальностей «Медицинская электроника» и «Проектирование и производство радиоэлектронных средств» заочной формы обучения /Сост. Л.И.Гурский, С.К.Дик, В.В.Баранов, А.А.Костюкевич. – Мн.: БГУИР, 2005. – 19 с.  
ISBN 985-444-790-1

Приведены содержание дисциплин «Элементная база средств медицинской электроники» и «Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники», методические указания к их изучению и варианты контрольной работы.

**УДК 61+621.38 (075.8)**

**ББК 5+32.85 я 73**

**ISBN 985-444-790-1**

© Коллектив авторов, составление, 2005

© БГУИР, 2005

## **1. ПРЕДМЕТ ДИСЦИПЛИНЫ И ЦЕЛЬ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ**

Предмет дисциплины – конструкция и технология электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники (ЭРЭ и УФЭ), составляющих элементную базу радиоэлектронных средств (РЭС) и средств медицинской электроники (СМЭ).

Цель дисциплины – изучение научных подходов к выбору и использованию элементной базы радиоэлектронных средств и средств медицинской электроники, овладение знанием принципов работы и конструктивно-технологических особенностей электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники, составляющих наряду с полупроводниковыми приборами и устройствами интегральной электроники современную элементную базу РЭС и СМЭ, освоение методов их расчета и моделирования.

## **2. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ЕЕ СТРУКТУРА**

Поставленная цель достигается путем изучения:

- принципов действия ЭРЭ и УФЭ, составляющих элементную базу радиоэлектронных средств и средств медицинской электроники;
- основных тенденций в развитии электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники, составляющих элементную базу радиоэлектронных средств и средств медицинской электроники;
- конструктивно-технологических особенностей развития электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать основные свойства, электрические и вероятностно-статистические характеристики, принципы действия ЭРЭ и УФЭ, составляющих элементную базу радиоэлектронных средств и средств медицинской электроники;
- знать эксплуатационные и электрические параметры электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники, составляющих элементную базу РЭС и СМЭ;
- уметь использовать электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники, составляющие элементную базу РЭС и СМЭ;
- уметь анализировать работу различных видов ЭРЭ и УФЭ, составляющих элементную базу РЭС и СМЭ, возможности функционального применения электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники в РЭС и СМЭ;
- уметь обоснованно выбирать элементную базу для радиоэлектронных средств и приборов медицинской электроники заданного класса;
- приобрести навыки оптимального выбора и использования элементной базы в радиоэлектронных средствах и приборах медицинской электроники исходя

из соответствия их характеристик электрическим параметрам и условиям эксплуатации, требованиям экономичности производства и материалоемкости конструкций.

Изучение дисциплины основано на использовании знаний, полученных студентами по следующим дисциплинам: "Физика", "Химия", "Высшая математика"

### **3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дисциплина является системной в конструкторско-технологической подготовке студентов специальностей «Проектирование и производство радиоэлектронных средств» и «Медицинская электроника». Изучение дисциплины основано на использовании знаний, полученных студентами по дисциплинам «Физика», «Высшая математика», «Химия» и другим в соответствии с Образовательными стандартами РД РБ 02100.5.107–98 и РД РБ 02 100.5.105–98 по данным специальностям.

Изучение дисциплины предусматривает систематическую самостоятельную работу студентов над специальной литературой по элементной базе радиоэлектронных средств и средств медицинской электроники, патентной информацией, последними достижениями и основными тенденциями в развитии электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники, составляющих элементную базу радиоэлектронных средств и средств медицинской электроники, отраженными в специализированных журналах, а также использование технических средств обучения и компьютерных технологий при выполнении практических и лабораторных работ.

При выполнении контрольных работ необходимо приводить расчетные формулы, расшифровывать условные обозначения величин, указывать единицы их измерения. Полученные результаты анализируются с целью получения оптимальных значений.

## **4. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ**

### **4.1. ВВЕДЕНИЕ**

Радиотехника и информация. Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) – основные функции. Понятия: элемент, компонент, аппаратура. Функции и иерархические уровни. Статические неоднородности. Понятие и функции. Примеры. Динамические неоднородности. Понятие и функции. Примеры. Сигналы и их виды, основные характеристики. Использование УФЭ совместно с ИС и ЭРЭ. Развитие элементной базы СМЭ. Поколения СМЭ и РЭА. Основные определения ЭРЭ и УФЭ. Конструкция. Конструирование. Технология. Особенности проектирования ЭРЭ и УФЭ. Методология. Техническая и экономическая эф-

эффективность применения ЭРЭ и УФЭ в РЭА. Способы обеспечения высокой эффективности проектирования и изготовления ЭРЭ и УФЭ. Структура интегрированной гибкой автоматизированной производственной системы (ГАПС). Стандартизация в ЭРЭ и УФЭ.

Основные виды и этапы автоматизированного проектирования ЭРЭ и УФЭ: системотехническое проектирование, схемотехническое (функциональное) проектирование, техническое (конструкторское) проектирование, проектирование технологических процессов, задачи, решаемые на этих этапах проектирования. Упрощенная схема и десять укрупненных этапов автоматизированного проектирования, от составления технического задания до методики испытания изделия. Требования к специалистам, осуществляющим проектирование. Общее и частные технические задания на автоматизированное проектирование ЭРЭ и УФЭ и основные требования к ним.

Литература: [1, с. 3–34]; [2, с. 11–15].

#### **4.2. СОСТАВ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Функциональная электроника как одна из составляющих частей РЭС и СМЭ. Радиоэлектронные дискретные элементы как одна из составляющих частей РЭС и СМЭ. Состав элементной базы РЭС и СМЭ. Что такое функциональная электроника. На каком принципе интеграции строятся устройства функциональной электроники. Классификация функциональных преобразований, выполняемых РЭА, взаимосвязи информационных, функциональных и электрических преобразований. Виды преобразования: аналоговые, импульсные, логические – и их основные характеристики. Спектральный подход в формировании сигналов. Основные теоремы о спектрах, их математические формулировки и примеры технического использования. Синтез электрической схемы: элементарные функциональные преобразователи (ЭФП) и их классификация. Специальные ЭФП и их классификация. Аналоговые элементарные функциональные преобразователи (АЭФП), их принципиальная схема и типы преобразований. Импульсные элементарные функциональные преобразователи (ИЭФП), их принципиальные схемы и типы преобразований. Логические и смешанные элементарные функциональные преобразователи (ЛЭФП и СЭФП), их принципиальные схемы и типы преобразований. Анализ и оптимизация электрических схем: понятие мелкомасштабной функциональной схемы (модели). Особенности синтеза логических функциональных схем: схема автоматического устройства, схема распределителя сигналов.

Этап электрического моделирования при автоматизированном проектировании микросхем и его основная задача. Принципиальные и эквивалентные схемы, натуральное (экспериментальное) расчетно-теоретическое, аналитическое и машинное моделирование. Классификация преобразовательных схемных элементов: число полюсов, знак внутреннего сопротивления, характер реактивности, нелинейности, режим работы, степень пространственного распре-

деления параметров. Логические микросхемы и их элементная база. Электрические схемы микросхем на биполярных транзисторах (ДТЛ-, ТТЛ-, ЛСПТ-, И<sup>2</sup>Л-схемы и схема триггера). Логические микросхемы и их элементная база. Электрические схемы микросхем на полевых транзисторах: двухвходовая схема совпадения И-НЕ, схема триггера. Электрическая принципиальная схема операционного усилителя на биполярных транзисторах. Микросхемы с перестраиваемой структурой. Методы осуществления перестройки микросхем. Особенности экспериментального моделирования при автоматизированном проектировании микросхем. Паразитные элементы в структуре микросхем. Математическое моделирование микросхем при автоматизированном проектировании. Анализ и основные этапы математического моделирования. Общая структура программы анализа электронных схем. Эквивалентная схема р-п-р-транзистора и соответствующая ей система дифференциальных уравнений. Оптимизация схемы (модели) интегральной микросхемы. Зона разброса передаточной характеристики логической микросхемы.

Литература: [1, с. 3-34; 2, с.11-15, 367-374; 3, с. 3-4; 20, с. 4-8].

#### **4.3. КОНДЕНСАТОРЫ, РЕЗИСТОРЫ, КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ, ТРАНСФОРМАТОРЫ И LC-ФИЛЬТРЫ**

Резисторы, их классификация. Схема замещения резисторов. Основные параметры резисторов. Маркировка. Резисторы со специальными свойствами: терморезисторы, варисторы, фоторезисторы и др. Переменные резисторы. Особенности конструкции резисторов. Старение резисторов.

Классификация конденсаторов. Основные электрические параметры и характеристики конденсаторов, их маркировка. Основные факторы, определяющие изменение параметров конденсаторов и их отказы. Конденсаторы постоянной емкости. Электролитические конденсаторы. Конденсаторы переменной емкости.

Классификация катушек индуктивности. Схема замещения, основные и паразитные параметры. Катушки индуктивности с сердечниками. Катушки индуктивности без сердечников. Свойства катушек индуктивности при длительном функционировании. Конструкции катушек индуктивности. Перспективы применения катушек индуктивности в РЭА. Трансформаторы. Дроссели: особенности конструкции и применение. Классификация трансформаторов. Принцип действия, схема замещения трансформатора. Основные расчетные соотношения и параметры трансформаторов питания. Трансформаторы питания для статических преобразователей. Особенности конструкции трансформаторов питания. Импульсные трансформаторы.

Устройство, принцип действия и основные параметры LC-фильтров. Многоконтурные LC-фильтры. Сглаживающие фильтры. Особенности конструирования LC-фильтров. Активные RC-фильтры: классификация, схемы построения и основы проектирования.

Литература: [1, с.102–143, 151–158, 314–346].

#### 4.4. КОММУТАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СОЕДИНИТЕЛИ

Устройства коммутации и соединители. Функции соединителей и коммутационных устройств. Основы теории электрических разъемных контактов: поверхности контактных тел, переходное сопротивление. Физико-химические процессы в контактах. Нестабильность переходного сопротивления (статическая и динамическая). Методика оценки переходного сопротивления для плоского и точечного контакта. Особенности эксплуатации контактов. Электрическая эрозия при размыкании и замыкании контактов. Схема искрогашения. Механическая эрозия. Общий износ контактов при эксплуатации.

Базовые типоконструкции контактно-коммутационных устройств, включающие неразъемные, разъемные, скользящие и разрывные контакты. Реле, герконы и другие электромеханические коммутационные элементы. Параметры и требования. Оптоэлектронные бесконтактные коммутационные устройства. Полупроводниковые коммутаторы. Особенности конструирования и перспективы развития коммутационных устройств и соединителей.

Литература: [1, с. 56–101].

#### 4.5. УСТРОЙСТВА ПАМЯТИ

Запоминающие устройства: определения, классификация и параметры. Классификация ЗУ по физическим принципам, функциональному назначению, считыванию информации, по особенностям записи и хранения информации. Основные параметры и характеристики: объем памяти, количество разрядов, способ доступа к информации, время выборки, плотность упаковки, удельная потребляемая мощность, удельная стоимость, энергозависимость. Запоминающие устройства: физические явления, используемые в элементах запоминающих устройств.

Элементы запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД). Домен как динамическая неоднородность. Рабочее поле смещения и его пределы. Фиксация положения и ограничения перемещения домена. Аппликации. Вращение магнитного поля как способ перемещения доменов. Способы считывания информации. Конструкции ЗУ на ЦМД. Перспективы развития элементов памяти на ЦМД и их параметры. Основные характеристики ЗУ на ЦМД.

Интегральные микросхемы запоминающих устройств. Основные виды полупроводниковых ЗУ: схема элемента ЗУ на МДП-транзисторах. Основные виды полупроводниковых ЗУ: схема элемента ЗУ на биполярных транзисторах. Особенности организации БИС памяти. Состав БИС памяти: регистр адреса, дешифратор строк, мультиплексоры. Основные типы входов и их обозначения. Статические и динамические ОЗУ, схемотехника БИС ОЗУ на биполярных транзисторах. Схемы запоминающих устройств статического и динамического

типа на МДП-транзисторах и их архитектура. Постоянные ЗУ – ПЗУ, ППЗУ, РПЗУ и схемотехника их элементов памяти. Микропроцессоры и микроЭВМ. Обобщенная структурная схема микропроцессора.

Литература: [1, с. 237–270; 2, с. 286–296; 9, с. 10-32; 10, с. 107-138].

#### **4.6. АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА**

Акустика как наука, ее основные направления. Акустоэлектроника. Основные принципы действия акустоэлектрических приборов. Акустоэлектрический эффект. Классификация акустоэлектрических приборов по физическим параметрам действия: пассивные и активные линейные устройства. Активные нелинейные устройства и выполняемые ими функции. Акустоэлектроника – основные виды взаимодействия акустических волн в твердых телах: акустоэлектронное взаимодействие, потенциал-деформационное взаимодействие, пьезоэлектрическое взаимодействие. Поверхностные акустические волны и их типы.

Акустоэлектроника: акустическая линия задержки (АЛЗ) (схема включения: «на проход», «на отражение», однопролетная, спиральная, дисперсионная). Полоса пропускания АЛЗ. Типы АЛЗ на объемных волнах и их характеристики. АЛЗ на поверхностных акустических волнах: структура продольной и сдвиговой волны в твердом теле. Дифракция и рефракция света на звуке. Модулятор света и его принцип действия. Дифракционный акустооптический дефлектор и его принцип действия. Акустический фильтр и его принципы действия: коллинеарная и неколлинеарная дифракция. Акустооптический процессор. Его параметры и выполняемые операции. Структурная схема. Акустоэлектронный генератор и осциллятор, их структурные схемы. Акустоэлектрический усилитель, разновидности усилителей на ПАВ и их конструктивное исполнение. Акустоэлектронный фазовращатель, разновидности фазовращателей на ПАВ и их конструктивное исполнение. Показатель акустооптического качества материалов. Основные требования к материалам. Наиболее распространенные материалы для устройств на объемных акустических волнах и на ПАВ.

Литература: [1, с. 143–151, 181–194; 3, с. 68–85; 4, с. 5–58, 64–155].

#### **4.7. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Оптоэлектроника как область науки и техники. Основные разделы оптоэлектроники. Основные элементы оптоэлектроники. Физические основы оптоэлектроники. Основные материалы оптоэлектроники. Оптоэлектронные устройства: источники когерентного и некогерентного излучения, оптические среды (активные и пассивные), приемники оптического излучения (фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы), оптические элементы (линзы, призмы, зеркала, поляризаторы), волоконно-оптические элементы, интегрально-оптические элементы (зеркала, фильтры). Классификация оптоэлектронных устройств по функциональному назначению: дефлекторы, модуляторы, индикаторы (полу-



проводниковые, газоразрядные, на жидких кристаллах, вакуумные, люминесцентные), дисплеи, кремниконы, сканисторы, оптрона, волоконно-оптические линии связи, волоконно-оптические датчики, оптические процессоры и выполняемые ими функции.

Дефлектор, принцип действия и разновидности. Схема электрооптического дефлектора. Оптические запоминающие устройства. Схема дискового запоминающего устройства, схема оптического запоминающего устройства на ленте, схема голографического запоминающего устройства. Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС). Основные характеристики ВОЛС: пропускная способность, максимальная длина, способ организации информационного обмена, волоконно-оптические элементы: кабели, ответвители, соединители, датчики. Интегрально-оптические элементы и их разновидности. Оптоэлектронная пара. Оптрон. Интегральная оптическая схема. Жидкие кристаллы. Жидкокристаллическая ориентированная структура. Приборы на жидких кристаллах. Излучающие полупроводниковые приборы. Оптическая запись информации. Модуляция света. Виды оптической модуляции и эффекты, лежащие в их основе. Оптическая запись и обработка информации, оптическая связь. Оптические запоминающие среды. Оптоэлектроника. Оптический диск. Оптически перестраиваемый фильтр. Оптический процессор. Оптический резонатор.

Элементы индикации устройств отображения информации. Классификация элементов индикации: характеристики, параметры. Конструктивно-технологические разновидности и основные характеристики индикаторов: на лампах накаливания, полупроводниковые, газоразрядные, катодолюминесцентные, электролюминесцентные индикаторы. Физические основы функционирования жидкокристаллических индикаторов, используемые физические эффекты. Технические и эксплуатационные характеристики. Основные типы жидкокристаллических индикаторов: буквенно-цифровые, аналоговые, мозаичные. Конструкция, технология, технические и эксплуатационные характеристики жидкокристаллических индикаторов с динамическим рассеянием и на твист-эффекте.

Литература: [1, с. 272–313; 2, с. 374–380; 6, с. 176-178; 7, с. 9-151, 239-270; 8, с. 7-18].

#### **4.8. УСТРОЙСТВА НА ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ (ПЗС)**

Принципы функционирования, основные характеристики и параметры ПЗС. Классификация ПЗС. Построение ПЗС. Методы ввода и детектирования заряда. Конструктивные варианты линеек ПЗС: однонаправленные, ПЗС с объемным каналом и др. Технология изготовления ПЗС. Схемы электронного обрамления ПЗС.

Линии задержки на ПЗС. Дискретные фильтры на ПЗС: структура, типы, характеристики. Сравнение основных параметров устройств обработки сигналов на ПЗС и ПАВ. Принципы работы и основные параметры линейных и матричных формирователей видеосигнала на ПЗС.

Литература: [1, с. 194–270; 2, с. 286–296; 5, с. 11–217, 222–367].

#### 4.9. КРИОТРОНЫ, ХЕМОТРОНЫ

Криоэлектроника как раздел микроэлектроники. Область криогенных температур. Криотрон, принцип функционирования. Квантовые усилители, параметрические усилители, сверхпроводниковые усилители, принципы функционирования. Параэлектрический усилитель, криоэлектронные резонаторы, фильтры и линии задержки, принципы функционирования. Эффект Джозефсона.

Хемотроника как раздел микроэлектроники. Принципы функционирования электрических выпрямителей, интеграторов, усилителей. Структура электрохимического управляемого сопротивления. Электрическая ячейка памяти. Ионистор, его конструкция и принцип функционирования.

Литература: [2, с. 9–13, 395–403].

#### Перечень лабораторных работ

№ п.п.	Наименование лабораторной работы	Объем, ч
1	Исследование характеристик слаботочных электрических реле	4
2	Исследование фильтров и линий задержки на ПАВ	4
3	Катушки индуктивности	4
4	Исследование характеристик пьезоэлектрических трансформаторов	4

## 5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989.
2. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. – М.: Высш. шк., 1987.
3. Свитенко В.И. Электрорадиоэлементы. – М.: Высш. шк., 1987.
4. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты. •М.: Радио и связь, 1987.
5. Приборы с зарядовой связью / Под ред. М.Хоуза, Д.Моргана. – М.: Энергоиздат, 1987.
6. Верещагин И.К., Косяченко Л.К., Кокин С.М. Введение в оптоэлектронику. – М.: Высш. шк., 1991.
7. Основы оптоэлектроники / Под ред. К.М.Ролант. – М.: Мир, 1988.
8. Быстров Ю.А., Литвак И.И., Персианов Г.М. Электронные приборы для отображения информации. – М.: Радио и связь, 1985.
9. Алексеенко А. Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. –М.: Радио и связь, 1990.
10. Боборыкин А.В. и др. Однокристалльные микроЭВМ. – М.: МИКАП, 1994.

### Дополнительная

11. Кундас С.П., Достанко А.П., Ануфриев А.П. и др. Технология поверхностного монтажа. – Мн.: Армита – Маркетинг, Менеджмент, 2000. – 350 с.
12. Интегральные пьезоэлектрические устройства фильтрации и обработки сигналов: Справ. пособие / Под ред. Б.Ф.Высоцкого, В.В.Дмитриева. – М.: Радио и связь, 1985.
13. Зелёнка И. Резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах. – М.: Сов. радио, 1980.
14. Орлов В.С., Бондаренко В.С. Фильтры на ПАВ. – М.: Радио и связь, 1986.
15. Индикаторные устройства на жидких кристаллах / Под ред. З.Ю.Готра. – М.: Сов. радио, 1980.
16. Яблонский Ф.М., Троицкий Ю.В. Средства отображения информации. – М.: Высш. шк., 1985.
17. Ронда С., Сэко Д. Оптоэлектроника. – Л.: Энергоатомиздат, 1989.
18. Аксененко М.Д., Баранчиков М.Л., Смолин О.В. Микроэлектронные фотоприемные устройства. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
19. Вуколев Н.И., Михайлов А.Н. Знакосинтезирующие индикаторы. – М.: Радио и связь, 1987.
20. Кузнецов Ю.А., Шилин В.А. Микросхемотехника БИС на приборах

с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1988.

21. Гурский Л.И., Степанец В.Я. Проектирование микросхем. – Мн.: Навука і тэхніка, 1991. – 295 с.

22. Гурский Л.И., Зеленин В.А., Жебин А.П., Вахрин Г.Л. Структура, топология и свойства пленочных резисторов. – Мн.: Навука і тэхніка, 1987. – 250 с.

23. Гурский Л.И., Румак Н.В., Куксо В.В. Зарядовые свойства МОП-структур. – Мн.: Навука і тэхніка, 1980. – 200 с.

24. Мищенко В.А., Городецкий Л.М., Гурский Л.И. и др. Интеллектуальные системы автоматизированного проектирования БИС и СБИС. – М.: Радио и связь, 1988. – 450 с.

## 6. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

### Задача № 1

#### Конструирование проволочного резистора переменного сопротивления

Произвести конструктивный расчет проволочного резистора переменного сопротивления. Вычертить зависимость сопротивления от угла поворота ( $\alpha$ ) и эскиз каркаса с намоткой в развернутом виде в выбранном масштабе.

#### Указания

1. Исходные данные по вариантам задания приведены в табл.1.

Таблица 1

Параметры	№ варианта задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Закон изменения сопротивления	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Значение параметра <b>B</b>	5	1,5	10	3	0,5	4	6	2	8	7
Диаметр каркаса ( <b>D</b> ), мм	30	40	35	25	30	40	25	45	30	40
Максимальное сопротивление, Ом	200	800	400	1000	100	500	700	250	450	300
Параметры	№ варианта задания									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Закон изменения сопротивления	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Значение параметра <b>B</b>	5	1,5	10	3	0,5	4	6	2	8	7
Диаметр каркаса ( <b>D</b> ), мм	35	45	25	40	30	40	30	25	35	45
Максимальное	500	700	250	450	300	200	800	400	1000	100

сопротивление, Ом										
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Окончание табл. 1

Параметры	№ варианта задания									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Закон изменения сопротивления	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Значение параметра <b>B</b>	5	1,5	10	3	0,5	4	6	2	8	7
Диаметр каркаса ( <b>D</b> ), мм	40	25	45	30	40	40	45	25	40	30
Максимальное сопротивление, Ом	700	400	450	250	300	200	800	400	1000	100

2. Закон изменения сопротивления резисторов соответствует одной из двух следующих формул:

$$R = A \ln [ (B\alpha / \alpha_{\max}) + 1 ], \quad (a)$$

$$R = A \ln [ (\alpha / \alpha_{\max}) + B^2 ] - B^2. \quad (б)$$

3. Коэффициент А следует вычислить при  $R = R_{\max}$  и  $\frac{\alpha}{\alpha_{\max}} = 1$ .

4. Графическая зависимость сопротивления от нормированного значения угла поворота планки на оси ротора  $\left( \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \right)$  разбивается на  $n$  равных участков (секций), число которых рекомендуется брать в пределах от 10–20.

5. Каркас для первой секции обычно проектируют прямоугольным, т.е. сопротивление на данном участке при повороте ротора изменяется по линейному закону. Ширина секции ( $W$ ) вычисляется по формуле

$$W = \pi D [ (\alpha_{\max} / 360) / n ]$$

где  $\alpha_{\max}$  составляет обычно 320–330°.

Высота этой секции вычисляется по удельному сопротивлению выбранного провода и его диаметру (табл. 2) таким образом, чтобы при плотной намотке провода на рассчитанной ширине  $W$  получить заданное приращение сопротивления ( $\Delta R_1$ ).

Таблица 2

Диаметр провода, мм	Сопротивление 1 м проволоки, (среднее значение), Ом/м						Количество витков на 1 см плотной намотки
	Нихром (X12H80)	Фехраль (X13Ю4)	Константан ГОСТ 5307-77		Манганин ГОСТ 10155-75		
			мягк.	тverd.	мягк.	тverd.	
1	2	3	4	5	6	7	8
0,08	215			104,6	100,8	102,8	110

0,09				90,4	78,9	80,6	99
Окончание табл. 2							
1	2	3	4	5	6	7	8
0,10	138	153	76,4	81,1	70,6	72,0	90
0,12			50,5	53,5	47,5	48,6	75
0,15	62,2	67,2	30,8	32,6	29,6	30,2	60
0,18			20,7	22,9	21,2	21,7	51
0,20	34,4	38,2	16,6	17,5	17,0	17,3	46
0,25	22,0	24,4	10,4	10,9	10,3	10,8	37
0,30	15,3	17,8	7,1	7,5	7,2	7,4	30

6. Расчет последующих  $i$ -х секций шириной  $W_i$  проводится на основании величин приращений  $\Delta R_i$ .

7. Окончательная форма каркаса определяется путем проведения интерполяционной кривой через средние точки секций.

### Задача № 2

#### Расчет емкости керамического конденсатора с учетом эксплуатационных факторов

Произвести расчет емкости керамического конденсатора с учетом эксплуатационных факторов:

$$C = C_0 (1 + \alpha_T \Delta T + \beta_T t),$$

где  $C_0$  – начальная емкость конденсатора при номинальной температуре ( $20^\circ\text{C}$ );

$\alpha_T$  – температурный коэффициент емкости,  $\text{град}^{-1}$ ;

$\beta_T$  – коэффициент старения,  $\text{ч}^{-1}$ ;

$\Delta T$  – разность между рабочей и номинальной температурой;

$t$  – временной интервал.

#### Указания

- Исходные данные по вариантам задания приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры	№ варианта задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Начальная емкость, пФ	200	130	300	430	150	510	68	27	91	390
Температурный коэффициент емкости $\alpha_c \cdot 10^{-6}$ (группа ТКЕ), $\text{град}^{-1}$	120 (П120)	-330 (М330)	-470 (М470)	30 (МП0)	120 (П120)	-330 (М330)	-470 (М470)	30 (МП0)	-470 (М470)	30 (МП0)
Коэффициент старения $\beta_c \cdot 10^{-6}$ , $\text{ч}^{-1}$	-30	-40	-35	-25	30	40	25	-45	-30	-40
Рабочая температура, $^\circ\text{C}$	30	50	20	70	40	10	60	30	25	40

Временной интервал, ч	200	800	400	1000	100	500	700	250	450	300
-----------------------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Окончание табл. 3

Параметры	№ варианта задания									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Начальная емкость, пФ	33	51	220	270	47	910	680	330	220	390
Температурный коэффициент емкости $\alpha_c \cdot 10^{-6}$ (группа ТКЕ), град <sup>-1</sup>	120 (П120)	-330 (М330)	-470 (М470)	30 (МП0)	120 (П120)	-330 (М330)	-470 (М470)	30 (МП0)	-470 (М470)	30 (МП0)
Коэффициент старения $\beta_c \cdot 10^{-6}$ , ч <sup>-1</sup>	-35	45	25	40	-30	-40	30	-25	35	-45
Рабочая температура, °С	35	45	55	65	30	40	35	60	50	25
Временной интервал, ч	500	700	250	450	300	200	800	400	1000	100
Параметры	№ варианта задания									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Начальная емкость, пФ	220	470	680	2200	150	300	510	6800	1000	200
Температурный коэффициент емкости $\alpha_c \cdot 10^{-6}$ (группа ТКЕ), град <sup>-1</sup>	-330 (М330)	-470 (М470)	30 (МП0)	-470 (М470)	30 (МП0)	120 (П120)	-330 (М330)	-470 (М470)	30 (МП0)	120 (П120)
Коэффициент старения $\beta_c \cdot 10^{-6}$ , ч <sup>-1</sup>	40	25	45	-30	40	40	45	25	40	30
Рабочая температура, °С	25	50	60	40	70	55	45	35	70	45
Временной интервал, ч	700	400	450	250	300	200	800	400	1000	100

2. Влиянием влажности окружающей среды в процессе эксплуатации пренебречь.

### Задача № 3

#### Конструирование трансформатора питания

Произвести расчет трансформатора питания в предположении, что он применяется для электропитания цепей малой мощности, например выпрямителя.

Указания

1. Исходные данные по вариантам задания приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры	№ варианта задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота, Гц	40	50	60	400	45	40	50	60	400	45
Напряжение первичной обмотки $U_1$ , В	200	110	230	26	115	250	220	210	110	220
Магнитопровод	Ленточный наименьшего веса									
Направление вывода	а	б	в	б	в	а	в	б	а	б
Вторая обмотка: $U_2$ , В $I_2$ , мА	200	800	400	100	100	500	700	250	450	300
	150	50	80	30	300	100	120	350	200	250
Третья обмотка:	6,3	12,6	12,6	6,3	15	6,3	6,3	12,6	12,6	12,6

$U_3, В$	200	800	400	1000	100	500	700	250	450	300
$I_3, мА$										

Окончание табл. 4

Параметры	№ варианта задания									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Частота, Гц	40	50	60	400	45	40	50	60	400	45
Напряжение первичной обмотки $U_1, В$	220	127	115	30	127	220	220	230	40	110
Магнитопровод	Пластинчатый наименьшей стоимости									
Направление вывода	в	б	в	а	в	а	б	а	б	в
Вторая обмотка: $U_2, В$ $I_2, мА$	500	700	250	450	300	200	800	400	100	100
	150	50	80	30	300	100	120	350	200	250
Третья обмотка: $U_3, В$ $I_3, мА$	12,6	6,3	15	12,6	6,3	15	12,6	6,3	15	15
	200	800	400	1000	100	500	700	250	450	300
Параметры	№ варианта задания									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Частота, Гц	40	50	60	400	45	40	50	60	400	45
Напряжение первичной обмотки $U_1, В$	210	220	230	35	127	110	127	220	115	220
Магнитопровод	Ленточный наименьшего веса									
Направление вывода										
Вторая обмотка: $U_2, В$ $I_2, мА$	700	400	450	250	300	200	800	400	100	100
	50	200	250	600	350	200	50	350	200	250
Третья обмотка: $U_3, В$ $I_3, мА$	12,6	6,3	15	12,6	15	27	12,6	6,3	15	12,6
	500	700	250	450	300	200	800	400	1000	100

2. Пояснения к расчету следует дополнить электрической схемой трансформатора.

3. Данные магнитопроводов приведены в табл. П-28–П-34 [9]. См. также [10, с. 323–342].

4. Прочие данные, необходимые для расчета, выбираются из табл.5.



Таблица 5

Материал пластин магнитопровода и толщина, мм	Частота, Гц	Нормируемая величина*	Суммарная мощность вторичных обмоток, Вт			
			15–50	50–150	150–300	300–10000
Э-42	50	Индукция, Тл	14,0	14,0–13,5	13,5	13,5–12,0
0,35		Плотность тока, А/м	5,0–3,8	3,8–1,9	1,9–1,3	1,3–1,1
Э-44	400	Индукция, Тл	12,0	12,0–11,5	11,5–10,0	10,0–8,0
0,2		Плотность тока, А/м	5,5–5,0	5,0–4,04	4,0–2,8	2,8–1,6

\* Значение индукции и плотности тока на частотах 40-60 Гц выбирается таким же, как и на частоте 50 Гц.

Учебное издание

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

по дисциплинам

«Элементная база средств медицинской электроники»  
и «Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники»

для студентов специальностей «Медицинская электроника»  
и «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»  
заочной формы обучения

Составители:

Гурский Леонид Ильич,  
Дик Сергей Константинович,  
Баранов Валентин Владимирович,  
Костюкевич Анатолий Александрович

Редактор Т.А. Лейко  
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 3.09.2005.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 0,9.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,28.  
Заказ № 671.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.  
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6