

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2012

## **Орликов Леонид Николаевич**

Твердотельные устройства: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Л.Н. Орликов. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 13 с.

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведен перечень вопросов для самостоятельного изучения.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Твердотельные устройства».

© Орликов Леонид Николаевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

## ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

\_\_\_\_\_ Л.Н. Орликов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

## Содержание

Введение.....	5
1 Введение в твердотельные устройства .....	5
2 Р-n переход и твердотельные устройства .....	5
3 Биполярный транзистор.....	6
4 Транзисторные ключи.....	6
5 Твердотельные реле .....	6
6 Цепи смещения транзисторных усилителей.....	6
7 Транзисторный усилитель с общим эмиттером .....	6
8 Транзисторный регулятор напряжения.....	6
9 Транзисторный инвертор.....	6
10 Транзисторные преобразователи постоянного напряжения .....	6
11 Диагностирование схем с биполярными транзисторами .....	7
12 Другие твердотельные устройства .....	7
13 Интегральные микросхемы .....	7
14 Аналоговые интегральные микросхемы .....	7
15 Цифровые интегральные микросхемы .....	7
16 Операционные усилители.....	7
17 Твердотельные устройства хранения данных .....	8
18 Лабораторные занятия .....	8
19 Темы для самостоятельного изучения .....	9
20 Заключение.....	10
Список литературы .....	11

## **Введение**

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведен перечень вопросов для самостоятельного изучения.

Целью преподавания дисциплины «Твердотельные устройства» является более глубокое изучение студентами основных физических принципов работы, устройство и применение твердотельных устройств, составляющих основу современной электроники и микроэлектроники.

Данная дисциплина должна сформировать у студентов знания, навыки и умения, позволяющие осуществлять схемотехнический анализ и грамотную эксплуатацию аналоговых и цифровых электронных устройств, обеспечивающих передачу, обработку и хранение информации.

Основная задача дисциплины - привить студентам навык к решению проблемных задач использования твердотельных устройств.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- *знать:*

- физические принципы работы твердотельных устройств;
- основные приемы построения схем электроники и

наноэлектроники;

- *уметь:*

– ориентироваться в многообразии современных устройств электроники и наноэлектроники;

– разрабатывать принципиальные схемы взаимодействия приборов и устройств электроники различных типов;

– определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы работы устройств в схеме;

- *владеть:*

– представлениями о перспективах и тенденциях развития изделий электроники и наноэлектроники.

### **1 Введение в твердотельные устройства**

#### **Содержание раздела**

Общие понятия. Соотношение удельных сопротивлений для различных материалов. Проводимость

### **2 P-n переход и твердотельные устройства**

#### **Содержание раздела**

Концепция диода. Прямое и обратное смещение. Выпрямительные диоды. Сигнальные диоды. Стабилитроны. Светоизлучающие диоды.

### **3 Биполярный транзистор**

#### **Содержание раздела**

Описание. Изготовление. Принцип действия. Параметры.

### **4 Транзисторные ключи**

#### **Содержание раздела**

Работа в режиме отсечки. Работа в режиме насыщения. Работа в активном режиме цикл переключения. Схема Дарлингтона.

### **5 Твердотельные реле**

#### **Содержание раздела**

Внутреннее устройство. Наружный дизайн. Применение

### **6 Цепи смещения транзисторных усилителей**

#### **Содержание раздела**

Общие понятия. Двухрезисторная схема смещения. Четырехрезисторная схема смещения

### **7 Транзисторный усилитель с общим эмиттером**

#### **Содержание раздела**

Общие понятия. Проектирование и анализ усилителей

### **8 Транзисторный регулятор напряжения**

#### **Содержание раздела**

Общие понятия. Последовательный регулятор. Шунтирующий регулятор

### **9 Транзисторный инвертор**

#### **Содержание раздела**

Общие понятия. Инвертор с двумя транзисторами инвертор с двумя парами транзисторов. Трехфазный инвертор. Инвертор с синусоидальным выходным напряжением.

### **10 Транзисторные преобразователи постоянного напряжения**

#### **Содержание раздела**

Повышающий преобразователь. Понижающий преобразователь. Инвертирующий преобразователь. Прямоходовой преобразователь.

Двухтактный преобразователь. Мостовой двухтактный преобразователь. Полумостовой двухтактный преобразователь.

## **11 Диагностирование схем с биполярными транзисторами**

### **Содержание раздела**

Проверка транзисторов с помощью омметра. Характериограф

## **12 Другие твердотельные устройства**

### **Содержание раздела**

Тиристоры. Полевой транзистор. Полевые транзисторы с управляющим переходом (jfet). Металл-оксидные полевые транзисторы (mosfet). Комплементарные металл-оксидные полупроводниковые приборы.

## **13 Интегральные микросхемы**

### **Содержание раздела**

Уровни проектирования. Классификация: степень интеграции, технология изготовления, вид обрабатываемого сигнала.

Технологии изготовления: типы логики, технологический процесс, контроль качества

Назначение: аналоговые схемы, цифровые схемы, аналогово-цифровые схемы

Серии микросхем: корпуса микросхем, специфические названия микросхем

## **14 Аналоговые интегральные микросхемы**

### **Содержание раздела**

Общие понятия. Назначение. Производство

## **15 Цифровые интегральные микросхемы**

### **Содержание раздела**

Логические элементы на биполярных транзисторах. Классификация логических элементов. Основные характеристики логических элементов. Элементы транзисторно-транзисторной логики. Логические элементы на полевых транзисторах. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Логические элементы динамического типа

## **16 Операционные усилители**

### **Содержание раздела**

Параметры операционных усилителей. Пояснение к справочным данным операционных усилителей. Инвертирующие усилители. Неинвертирующие усилители. Суммирующие усилители. Дифференциальные усилители. Преобразователи напряжения в ток. Преобразование тока в напряжение. Интеграторы на операционных усилителях. Дифференциаторы на операционных усилителях. Компаратор на ОУ. Датчики окна

## **17 Твердотельные устройства хранения данных**

### **Содержание раздела**

Твердотельные накопители, твердотельные карты памяти или твердотельные модули.

## **18 Лабораторные занятия**

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с установкой, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для

проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование полупроводниковых диодов
2. Исследование полупроводниковых стабилитронов
3. Исследование статических характеристик транзистора
4. Исследование импульсных свойств биполярного транзистора
5. Исследование статических характеристик полевого транзистора
6. Исследование рабочих точек биполярного транзистора

## **19 Темы для самостоятельного изучения**

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать поставленные задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижепредложенных тем.

1. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и температуры полупроводника.

2. Инжекция не основных носителей, сохранение условия нейтральности при инжекции.

3. Зависимость параметров р-п — перехода от режима смещения.

4. Причины отклонения реальной ВАХ диодов от идеальной.

5. Влияние объемного сопротивления базы; последовательное и параллельное включение;

6. Распределение не основных носителей в базе для различных режимов работы транзистора.

7. Зависимость дифференциальных параметров от схемы включения транзистора, методы их определения по ВАХ транзистора.

8. Зависимость коэффициентов передачи тока эмиттера и базы от уровня инжекции.

9. Особенности конструкции мощных транзисторов.

10. Сравнительные параметры полевых и биполярных транзисторов.

11. Основные характеристики схем с полевыми приборами.

12. Особенность работы тиристоров на индуктивную и емкостную нагрузку.

13. Фазо-импульсный метод управления тиристорами.

По одной выбранной теме студент пишет реферат

## 20 Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Каково приблизительное значение удельного сопротивления в Ом·см в материале, используемом в твердотельных практических устройствах?
2. Сколько кристаллов используется в формировании  $p_n$  перехода?
3. Опишите прямое смещение применительно к диоду.
4. Опишите обратное смещение применительно к диоду.
5. Объясните эффект стабилитрона.
6. Опишите отношения между напряжением стабилитрона  $V_Z$  и его допустимым током  $I_{ZT}$ .
7. Сколько  $p_n$  переходов используется в формировании транзистора?
8. Назовите три вывода транзистора.
9. Каковы основные режимы работы транзистора?
10. Из каких материалов и в результате каких процессов сегодня изготавливается большинство транзисторов?
11. Каковы три основные схемы включения транзистора?
12. Каковы три ключевых терминала, используемых для описания транзисторного ключа?
13. Каковы обозначение и название тока, который течет через транзистор в режиме отсечки?
14. Произведением каких двух величин выражается коллекторный ток транзистора не в режиме насыщения (в активной области)?
15. Назовите и определите две составляющие процесса включения транзистора.
16. Назовите и определите две составляющие процесса выключения транзистора.
17. Какой фактор оказывает наибольшее влияние на время переключения транзистора?
18. Опишите, как связаны транзисторы в схеме Дарлингтона.
19. Назовите два достоинства и два недостатка твердотельного реле по сравнению с электромеханическим.
20. Опишите смещение транзистора.
21. Каковы три эмпирических правила вычисления сопротивлений в схеме смещения с четырьмя резисторами?
22. Опишите принцип действия транзисторного регулятора.
23. Опишите назначение стабилитрона в стабилизаторах последовательного и параллельного действия.
24. Опишите различие между стабилизаторами последовательного и параллельного действия.
25. Опишите принцип действия транзисторного инвертора.

26. Каково назначение преобразователя постоянного напряжения?
27. Каковы преимущества ключевого источника питания перед линейным?
28. Что происходит с переменным напряжением вторичной обмотки в мостовой схеме преобразователя постоянного напряжения?
29. Опишите, как область обеднения в полевом транзисторе с управляющим переходом (JFET) влияет на его работу.
30. Определите напряжение смыкания в полевом транзисторе JFET.
31. Сравните три вывода биполярного плоскостного транзистора и металл-оксидного полевого.
32. Опишите различия между режимом обеднения и обогащения MOSFET относительно степени легирования и режима смещения.
33. Каково преимущество CMOS перед биполярной технологией?

### Список литературы

1. Микросхемотехника и наноэлектроника / А.Н. Игнатов. – СПб, 2011 – 528 с. ISBN 978-5-8114-1161-0 [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2035](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2035)
2. Электротехника и электроника / Ермуратский П.В., Лычкина Г.П., Минкин Ю.Б. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 417 с ISBN 978-5-94074-688-1 [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=908](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=908)
3. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - 8-е изд., испр. - Спб. : Лань, 2006. - 478[2] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Предм. указ.: с. 468-474. - ISBN 5-8114-0368-2 Экз - 98
4. Основы микроэлектроники : Учебное пособие для вузов / И. П. Степаненко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 488 с. : ил. - (Технический университет). - Библиогр.: с. 419. - Предм. указ.: с. 488. - ISBN 5-93208-045-0 Экз – 212
5. Исследование полупроводниковых диодов: методические указания к лабораторным занятиям / А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2012. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
6. Исследование полупроводникового стабилитрона: методические указания к лабораторным занятиям / А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2012. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
7. Исследование статических характеристик транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2012. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
8. Исследование импульсных свойств биполярного транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2012. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
9. Исследование статических характеристик полевого транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2012. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

10. Исследование рабочих точек биполярного транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2012. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Твердотельные устройства

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л.                      Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40