

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 ПРИБОРЫ**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления  
210100 – Электроника и микроэлектроника  
(Специальность 210105 – Электронные приборы и устройства)

2012

## **Орликов Леонид Николаевич**

Твердотельные приборы: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 210100 – Электроника и микроэлектроника (Специальность 210105 – Электронные приборы и устройства)/ 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. – 15 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 210100 – Электроника и микроэлектроника (Специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по курсу «Твердотельные приборы».

© 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 ПРИБОРЫ**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления  
210100 – Электроника и микроэлектроника  
(Специальность 210105 – Электронные приборы и устройства)

Разработчик

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

## Содержание

Введение.....	5
1 Основы физики полупроводников .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2 Полупроводниковые диоды .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3 Биполярные транзисторы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4 Полевые транзисторы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5 Приборы с «S» - образной характеристикой.....	7
6 Аналоговые интегральные микросхемы....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7 Цифровые интегральные микросхемы.....	8
8 Лабораторные занятия .....	10
9 Темы для самостоятельного изучения .....	12
Заключение .....	12
Список литературы .....	14

## **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 приборы» является более глубокое изучение студентами основных физических принципов работы, устройство и применение твердотельных приборов, 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 приборов, обеспечивающих передачу, обработку и хранение информации.

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

В результате изучения дисциплины студент должен:

- *знать:*

- физические принципы работы твердотельных приборов;
- 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 прибора в схеме;

- *владеть:*

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

## **1 Основы физики полупроводников**

### **1.1 Содержание раздела**

История развития полупроводниковых приборов. Классификация и обозначение полупроводниковых приборов

Собственные и примесные полупроводники. Уровень Ферми. Электропроводность полупроводников, процессы генерации и рекомбинации. Диффузионный и дрейфовые токи в полупроводниках.

### **1.2 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое разрешенные и запрещенные зоны?

2. Что такое уровень Ферми?
3. Что такое собственный полупроводник?
4. Что такое диффузия и дрейф носителей заряда?
5. Что такое подвижность носителей заряда?
6. Как примеси влияют на характеристики полупроводника?
7. Что такое электронный и дырочный полупроводники?
8. Какова энергия Ферми в примесных полупроводниках?
9. Как объяснить температурную зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках?
10. Какими физическими факторами объясняется температурная зависимость подвижности носителей заряда?

## **2 Контактные явления в полупроводниках**

### **2.1 Содержание раздела**

Диффузионный и дрейфовые токи в полупроводниках.

Электронно-дырочный переход (р-п переход). Равновесное состояние р-п перехода, прямое и обратное включение перехода. Барьерная и диффузионная емкости р-п перехода

### **2.2 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое электронно-дырочный переход?
2. Как распределяются носители и электрические заряды в различных областях р-п-перехода?
3. От чего зависит контактная разность потенциалов в р-п-переходе?
4. От чего зависит ширина обедненного слоя р-п-перехода?
5. Как Вы понимаете условие равновесия в р-п-переходе?
6. Какие процессы происходят в р-п-переходе при прямом и обратном смещениях?
7. Что такое тепловой ток?
8. В чём состоят отличия ВАХ реального диода от ВАХ идеального р-п-перехода?
9. Что такое барьерная емкость р-п-перехода?

## **3 Полупроводниковые диоды**

### **3.1 Содержание раздела**

Основные характеристики и параметры диодов. Классификация диодов. Типы диодов по назначению. Типы диодов по частотному диапазону. Типы диодов по размеру перехода. Типы диодов по конструкции. Другие типы

### **3.2 Вопросы для самопроверки**

1. Какую область полупроводникового диода называют базой?
2. Как и по каким причинам изменяется прямая ветвь ВАХ диода с увеличением его температуры?
3. Как влияют процессы генерации и рекомбинации носителей заряда на ВАХ диода?
4. Что такое р-і-n-диод?
5. Как зависит пробивное напряжение диодов при лавинном пробое от концентрации примесей в базе и от её удельного сопротивления?
6. Объяснить различия в ВАХ германиевых и кремниевых диодов.
7. В чём проявляется инерционность процесса переключения в диодах и как она уменьшается в импульсных диодах?
8. Назвать основные параметры стабилитрона.
9. Как зависит напряжения пробоя от температуры?
10. Изобразить схему параметрического стабилизатора напряжения и объяснить его работу.

## **4 Транзисторы**

### **4.1 Содержание раздела**

Классификация транзисторов по основному полупроводниковому материалу, по структуре, по мощности, по исполнению, по материалу и конструкции корпуса, прочие типы. Выделение по некоторым характеристикам. Применение транзисторов. Сравнение с электронными лампами: преимущества, недостатки (ограничения)

### **4.2 Вопросы для самопроверки**

1. Классификация транзисторов
2. Применение транзисторов

## **5 Биполярные транзисторы**

### **5.1 Содержание раздела**

Устройство и принцип действия. Режимы работы биполярного транзистора: нормальный активный режим, инверсный активный режим, режим насыщения, режим отсечки, барьерный режим. Схемы включения. Схема включения с общей базой. Схема включения с общим эмиттером. Схема с общим коллектором. Основные параметры. Технология изготовления транзисторов. Применение транзисторов

### **5.2 Вопросы для самопроверки**

1. В каких режимах может работать биполярный транзистор?

2. Какова полярность напряжений на электроде транзистора типа р-п-р в активном режиме в схеме с ОБ и ОЭ? У транзистора п-р-п?
3. Объяснить принцип работы транзистора в активном режиме.
4. Каковы уравнения токов, определяемые физическими процессами, протекающими в транзисторе?
5. Каким образом в транзисторе происходит усиление электрических колебаний по мощности?
6. В чём состоит явление модуляции ширины базы? Как оно влияет на токи транзистора?
7. Объяснить поведение входных и выходных характеристик транзистора в схеме ОБ.
8. Объяснить поведение входных и выходных характеристик транзистора в схеме ОЭ.
9. Почему в качестве малосигнальных параметров транзисторов используются  $h$ -параметры?
10. На семействе выходных характеристик транзистора указать область активного режима, режима насыщения, режима отсечки.
11. Какие факторы определяют инерционность транзистора при его работе на высоких частотах?
12. В чём особенность работы дрейфового транзистора?
13. Как влияет температура на характеристики и параметры транзисторов в схемах ОБ и ОЭ?

## **6 Полевые транзисторы**

### **6.1 Содержание раздела**

История создания полевых транзисторов. Схемы включения полевых транзисторов. Классификация полевых транзисторов. Транзисторы с управляющим р-п переходом. Транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы). МДП-транзисторы с индуцированным каналом. МДП-транзисторы со встроенным каналом. МДП-структуры специального назначения. Области применения полевых транзисторов

### **6.2 Вопросы для самопроверки**

1. Объяснить принцип работы полевого транзистора с р-п-переходом и его статистические характеристики.
2. Объяснить принцип работы полевого транзистора с изолированным затвором.
3. Какие разновидности МДП-транзисторов вы знаете? Поясните физические явления, на основе которых эти транзисторы работают.
4. Какой участок характеристик полевого транзистора используется в усилителях?
5. Какой участок характеристик транзистора используется в управляемых делителях напряжения?



6. Нарисуйте схему управляемого делителя напряжения.
7. Представьте схему генератора стабильного тока на полевом транзисторе.
8. Объясните эквивалентную схему полевого транзистора для малого сигнала.
9. Почему входное сопротивление полевых транзисторов очень большое?

## **7 Приборы с «S» - образной характеристикой**

### **7.1 Содержание раздела**

Четырехслойная p-n-p-n — структура. Физические процессы, приводящие к переключению

Однопереходный транзистор. Структура, принцип действия, параметры. Применение однопереходных транзисторов и диодов с S - образной характеристикой

### **7.2 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое однопереходный транзистор?
2. Какова структура и принцип действия однопереходного транзистора?
3. Применение диодов с S - образной характеристикой
4. Применение однопереходных транзисторов

## **8 Тиристоры**

### **8.1 Содержание раздела**

Устройство и основные виды тиристоров. Вольтамперная характеристика тиристора

Режимы работы триодного тиристора. Режим обратного запираания. Режим прямого запираания. Двухтранзисторная модель. Режим прямой проводимости

Динистор. Триодный тиристор. Симистор. Параметры и характеристики. Особенности применения

### **8.2 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое тиристор?
2. Почему коллекторный переход тиристора оказывается смещенным в прямом направлении при переключении тиристора из закрытого состояния в открытое?
3. Какие физические явления влияют на коэффициенты передачи тока транзисторных структур, составляющих тиристор?

4. Почему для изготовления целесообразно использовать полупроводники с большой шириной запрещенной зоны?
5. Какова структура и принцип действия симметричных тиристоров?

## **9 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
7. Исследование частотных свойств биполярного транзистора

## 10 Курсовая работа

Курсовая работа преследует следующие цели:

1. Закрепить и углубить теоретические знания, полученные студентами при изучении дисциплины.

2. Научить студентов применять полученные теоретические знания для решения поставленных перед ними практических задач.

Курсовая работа выполняется по индивидуальному заданию преподавателя, содержащему исходную информацию для выполнения расчетов

### Содержание и часовая нагрузка для аудиторных занятий

№ п/п	Содержание работ	Трудоемкость, час
1	Подбор и изучение литературы. Составление обзора по литературным источникам.	2
2	Обоснование технических параметров	6
3	Конструирование	4
4	Расчет простых электронных схем	4
5	Сдача работы на проверку и защита	2
	Итого	18

Примерная тематика курсовых работ

Курсовая работа по дисциплинам "Твердотельные приборы" выполняется по двум направлениям (по выбору).

Первое направление включает в себя конструирование и расчет простых электронных схем:

- 1) усилитель низкой частоты (УНЧ);
- 2) импульсные устройства (мультивибратор, триггер, блокинг-генератор);
- 3) стабилизатор напряжения;
- 4) другие виды наиболее часто встречающихся простых электронных схем.

Второе направление включает в себя разработку и расчет электронных схем, необходимых для учебных лабораторий кафедры, для НИР студентов и для работ, проводимых кафедрой совместно с другими организациями.

Возможные темы работ:

1. Устройство регистрации мощности ОКГ.
2. Источник питания полупроводникового ОКГ с системой стабилизации мощности излучения и температуры излучателя.
3. Генератор импульсов для питания светодиодов и ОКГ.
4. Блоки питания ЭОП.
5. Блоки питания газоразрядных ионно-электронных устройств.
6. Блоки питания и управления ФОС технологических электронно-лучевых установок.

## 11 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 тиристорных на индуктивную и емкостную нагрузку.
  13. Фазо-импульсный метод управления тиристорами.
- По одной выбранной теме студент пишет реферат

## 12 Заключение

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

1. Объясните смысл электронной и дырочной проводимости.
2. Чем обусловлена контактная разность потенциалов?

3. Каково влияние внутреннего электрического поля р-п – перехода на движение основных и неосновных носителей тока?
4. Объясните вольт-амперную характеристику диода?
5. Что такое емкость р-п-перехода? Объясните зависимость емкости от напряжения на переходе.
6. Как изменяется сопротивление диода от полярности приложенного напряжения?
7. Чем объясняется сильное влияние температуры на характеристики диода?
8. Назовите основные параметры диода.
9. Нарисуйте устройство плоскостного диода.
10. Нарисуйте устройство точечного диода.
11. Нарисуйте устройство плоскостного транзистора.
12. Как обозначается на схемах биполярный транзистор р-п-р и п-р-п типа.
13. Назовите основные технологические способы изготовления плоскостных транзисторов.
14. Объяснить работу транзистора.
15. Назовите механизм переноса носителей в базе.
16. Нарисуйте три схемы включения транзистора.
17. Нарисуйте основные характеристики транзистора при включении с общей базой.
18. Нарисуйте основные характеристики транзистора при включении с общим эмиттером.
19. Нарисуйте и объясните зависимость коэффициента передачи транзистора от тока эмиттера.
20. Каков физический смысл  $h$  – параметров.
21. Как обозначается на схемах полевые транзисторы с каналами п и р типа.
22. Нарисуйте схему включения полевого транзистора.
23. Расскажите о принципе работы полевого транзистора.
24. Как устроен полевой транзистор с управляющим р-п – переходом.
25. МДП транзисторы
26. Что такое напряжение насыщения.
27. Что такое напряжение отсечки.
28. Нарисуйте эквивалентную схему полевого транзистора.
29. Расскажите о преимуществах полевого транзистора по сравнению с биполярным.
30. Однопереходной транзистор, устройство и принцип его работы.
31. Расскажите принцип работы тиристора.
32. Устройство тиристора и обозначение его на схеме.
33. Вольт амперная характеристика тиристора.
34. Основные параметры тиристора.
35. Динистор, устройство и принцип его работы.

36. Симистор, устройство и принцип его работы.

### 13 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 приборы

Методические указания по самостоятельной работе

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