***На правах рукописи***

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«Оренбургский государственный университет»**

Кафедра автоматизированного электропривода,

электромеханики и электротехники

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

*«Б1.Д.Б.23 Электроника»*

*Уровень высшего образования*

*БАКАЛАВРИАТ*

*Направление подготовки*

*13.03.02 Электроэнергетика и электротехника*

*(код и наименование направления подготовки)*

*Электропривод и автоматика*

*(наименование направленности (профиля) образовательной программы)*

*Квалификация*

*Бакалавр*

*Форма обучения*

*Заочная*

Оренбург 2025

Методические указания предназначены для самостоятельного изучения разделов и тем дисциплины «Электроника» для обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиля) «Электропривод и автоматика»

Составитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.А. Сорокин

Составитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.И. Гирфанов

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники

И.о. заведующего кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.С. Безгин

Методические указания являются приложением к рабочей программе по дисциплине «Электроника», зарегистрированной в ЦИТ под учетным номером \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Методические указания к лекционным занятиям . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 4 |
| 2. Методические указания к лабораторным занятиям . . . . . . . . . . . . . . . . . | 5 |
| 3. Методические указания к практическим занятиям . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| 4. Методические указания по рубежному и итоговому контролю . . . . . . . . | 25 |

**1. Методические указания по лекционным занятиям**

Данные рекомендации призваны помочь студентам организовать самостоятельную работу при изучении курса.

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться источниками. Прежде чем приступить к освоению научной литературы, рекомендуется чтение учебников и учебных пособий.

Существует несколько методов работы с литературой.

Один из них – самый известный – метод повторения: прочитанный текст можно за учить наизусть. Простое повторение воздействует на память механически и поверхностно. Полученные таким путем сведения легко забываются.

Наиболее эффективный метод – метод кодирования: прочитанный текст нужно подвергнуть большей, чем простое заучивание, обработке. Чтобы основательно обработать информацию и закодировать ее для хранения, важно произвести целый ряд мыслительных операций: прокомментировать новые данные; оценить их значение; поставить вопросы; сопоставить полученные сведения с ранее известными.

Для улучшения обработки информации очень важно устанавливать осмысленные связи, структурировать новые сведения.

Изучение научной, учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей.

Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект.

План – первооснова, каркас какой-либо письменной работы, определяющие последовательность изложения материала.

План является наиболее краткой и потому самой доступной и распространенной формой записей содержания исходного источника информации. По существу, это перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть простым и развернутым.

Выписки – небольшие фрагменты текста (неполные и полные предложения, отдельные абзацы, а также дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в нем фактах), содержащие в себе квинтэссенцию содержания прочитанного.

Выписки представляют собой более сложную форму записей содержания исходного источника информации. По сути, выписки – не что иное, как цитаты, заимствованные из текста. Выписки позволяют в концентрированной форме и с максимальной точностью воспроизвести в произвольном (чаще последовательном) порядке наиболее важные мысли автора, статистические и даталогические сведения.

Тезисы – сжатое изложение содержания изученного материала в утвердительной (реже опровергающей) форме.

Исходя из сказанного, нетрудно выявить основное преимущество тезисов: они незаменимы для подготовки глубокой и всесторонней аргументации письменной работы любой сложности.

Аннотация – краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление.

К написанию аннотаций прибегают в тех случаях, когда подлинная ценность и пригодность исходного источника информации исполнителю письменной работы окончательно неясна, но в то же время о нем необходимо оставить краткую запись с обобщающей характеристикой. Для указанной цели и используется аннотация. Характерной особенностью аннотации наряду с краткостью и обобщенностью ее содержания является и то, что пишется аннотация всегда после того, как (хотя бы в предварительном порядке) завершено ознакомление с содержанием исходного источника информации. Кроме того, пишется аннотация почти исключительно своими словами и лишь в крайне редких случаях содержит в себе небольшие выдержки оригинального текста.

Резюме – краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов.

Резюме весьма сходно по своей сути с аннотацией. Однако, в отличие от последней, текст резюме концентрирует в себе данные не из основного содержания исходного источника информации, а из его заключительной части, прежде всего выводов.

Конспект – сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя заимствования (цитаты) наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему.

Для работы над конспектом следует:

* определить структуру конспектируемого материала, чему в значительной мере способствует письменное ведение плана по ходу изучения оригинального текста;
* в соответствии со структурой конспекта произвести отбор и последующую запись;
* наиболее существенного содержания оригинального текста – в форме цитат или в изложении, близком к оригиналу;
* выполнить анализ записей и на его основе – дополнение записей собственными замечаниями, соображениями, «фактурой», заимствованной из других источников и т. п. (располагать все это следует на полях тетради для записей или на отдельных листах-вкладках);
* завершить формулирование и запись выводов по каждой из частей оригинального текста, а также общих выводов.

Систематизация изученных источников позволяет повысить эффективность их анализа и обобщения. Итогом этой работы должна стать логически выстроенная система сведений по существу исследуемого вопроса.

Необходимо из всего материала выделить существующие точки зрения на проблему, проанализировать их, сравнить, дать им оценку.

Кстати, этой процедуре должны подвергаться и материалы из Интернета во избежание механического скачивания готовых текстов. В записях и конспектах студенту очень важно указывать названия источников, авторов, год издания. Это организует его, а главное, пригодится в последующем обучении.

***Для самоподготовки по 1 и 2 разделам рекомендуется использовать лекции, видео лекции, примеры решения типовых задач в системе электронного обучения (электронный курс «Электроника» в Moodle).***

**2. Методические указания к лабораторным работам**

**Задание № 1**

**Исследование полупроводниковых диодов и однофазных неуправляемых выпрямителей.**

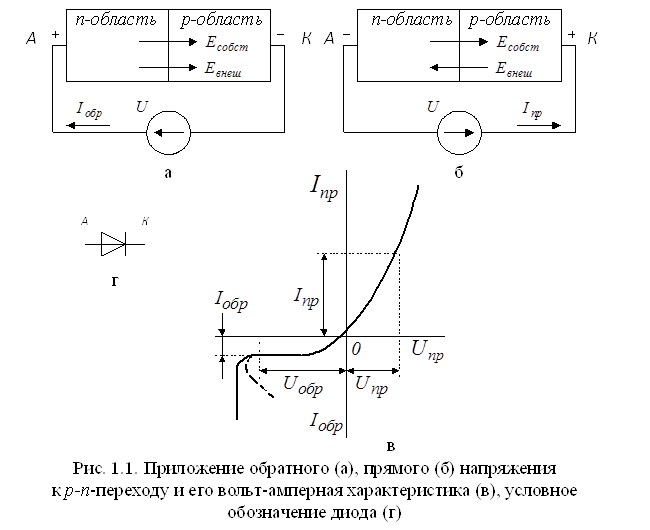
*Цель работы:* Изучить вентильные свойства, вольт-амперные характеристики *p-n*-перехода на основе простейшего диода, специального диода – стабилитрона, а также наиболее распространенные электрические схемы выпрямителей и сглаживающих фильтров однофазного переменного тока.

**1. Общие сведения**

*P-n*-переход, обладает свойством изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от направления протекающего через него тока. Это свойство *называется вентильным*, а прибор, обладающий таким свойством, называется *электрическим вентилем,* самым наглядным примером таких устройствявляется *диод*.

Если к *р-n*-переходу приложить внешнее напряжение, которое создает в запирающем слое электрическое поле напряженностью , совпадающее по направлению с собственным полем напряженностью  (рис. 1.1,а), то это приведет лишь к расширению запирающего слоя и увеличению напряженности собственного поля , так как отведет от контактной зоны и положительные и отрицательные носители заряда. При этом сопротивление *р-n*-перехода останется большим, а ток через него будет равен обратному току  (рис. 1.1,в). В этом случае *р-n*-перехода находится в закрытом состоянии.

При противоположной полярности источника напряжения (рис. 1.1,б), когда внешнее электрическое поле направлено навстречу собственному полю, толщина запирающего слоя уменьшается. При этом сопротивление *р-n*-перехода резко снижается и при  возникает сравнительно большой ток. Ток при этом называется *прямым *, а переход – открытым (рис. 1.1,в).



Полупроводниковым диодом называется полупроводниковый прибор с одним р-n-переходом, условное обозначение представлено на рис. 1.1 г.

По своему назначению диоды подразделяются на две группы: выпрямительные и специальные. Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока в постоянный. К диодам специального типа относятся диоды, использующие различные свойства р-n-перехода - явление пробоя (стабилитроны), наличие участков с отрицательным сопротивлением (туннельные, обращенные), явление излучения или поглощения видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областей спектра (фото- и светодиоды).

Стабилитроны - полупроводниковые диоды, работающие в режиме лавинного пробоя. При обратном смещении р-n-перехода возникает электрический лавинный пробой р-n-перехода. При этом в широком диапазоне изменения тока через диод напряжение на нем меняется очень незначительно. На рис. 1.2 показано условное обозначение и вольт - амперные характеристики стабилитронов. Напряжение стабилизации стабилитронов зависит от температуры. На рис. 1.2,б штриховой линией показано перемещение вольт-амперных характеристик при увеличении температуры. Повышение температуры увеличивает напряжение лавинного пробоя при напряжении стабилизации  большем , и уменьшает его при  .Такой характер температурной зависимости (температурного коэффициента напряжения стабилизации) стабилитронов обусловлен различным видом пробоя в них.



Рис. 1.2. Условное обозначение (а) и вольт-амперные характеристики стабилитронов (б)

Выпрямителем называется устройство, предназначенное для преобразования переменного (двухполярного) напряжения в однополярное. Выпрямители классифицируются по нескольким признакам. Так, по количеству выпрямленных полуволн различают однополупериодные и двухполупериодные выпрямители. По числу фаз питающего напряжения различают однофазные, двухфазные, трехфазные и шестифазные выпрямители.

На рис. 1.3,а представлена схема простейшего однофазного однополупериодного выпрямителя. Такой выпрямитель пропускает на выход только одну полуволну питающего напряжения (рис. 1.3,б).

Рис. 1.3. Схема однополупериодного выпрямителя (а)

и его временные диаграммы (б)

Для сглаживания пульсаций напряжения применяют конденсатор, подключенный параллельно нагрузке (рис. 1.4, а). При работе конденсатор в течение времени положительной полуволны питающего напряжения заряжается практически до амплитудного значения переменного напряжения

При подключении нагрузки в течение всего времени, когда диод заперт, происходит разряд конденсатора через сопротивление нагрузки . В момент времени, когда напряжение на вторичной обмотке становится больше выходного напряжения, конденсатор вновь начинает заряжаться. Величина напряжения, до которого зарядится конденсатор, зависит от внутреннего сопротивления трансформатора.

Отношение коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра называется коэффициентом сглаживания, который определяется по зависимости:



где  - число импульсов тока в нагрузке за время одного периода,

 - угловая частота питающего напряжения.

В однофазной мостовой схеме выпрямления (рис. 1.4,а), ток в течение нечетных полупериодов протекает по цепи  -  - , а в течение четных полупериодов - по цепи  -  - . При этом через нагрузку ток проходит в одном направлении.



**Ход выполнения задания №1**

1. По заданию преподавателя выбрать из базы диод из серии 1N. выписать основные параметры выбранного диода (в скобках указано условное обозначение в среде Multisim):

– обратный ток  ();

– динамическое сопротивление прямого включения (RS);

– барьерная емкость при нулевом смещении на *p-n*-переходе  (CJO);

– допустимое время переключения  (TT);

– напряжение пробоя  (BV);

– начальный ток пробоя при напряжении пробоя  (IBV)

2. Собрать схему



Для снятия вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводникового диода необходимо задавать значение ЭДС источника  и фиксировать значения токов .

3. Снятие обратной ветви ВАХ полупроводникового диода.

Для снятия обратной ветви ВАХ диода следует изменять напряжение на его аноде в пределах от  до *0*. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1 Обратная ветвь ВАХ диода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | 0 | -0,1*Uобрmax* | -0,3*Uобрmax* | -0,5*Uобрmax* | -0,7*Uобрmax* | -0,9*Uобрmax* | -*Uобрmax* | -1,1*Uобрmax* |
| , мА | 0 |  |  |  |  |  |  |  |

4. Снятие прямой ветви ВАХ полупроводникового диода.

Для снятия прямой ветви ВАХ диода следует изменять напряжение на его аноде в пределах от *0* до *0,75* В. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2 Прямая ветвь ВАХ диода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,75 |
| , А | 0 |  |  |  |  |  |  |  |

5. По результатам эксперимента построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости прямую и обратную ветви ВАХ полупроводникового диода. Рекомендуется взять разные масштабы по осям прямого и обратного токов.

6. В среде моделирования Multisim снять ВАХ полупроводникового диода с помощью характериографа, схема подключения характериографа представлена на рис. 1.6. В меню «Выбор компонента» необходимо выбрать «диод», в меню «моделирование» для снятия прямой ветви ВАХ установить пределы моделирования от 0 до 1,5 В с шагом 10 мВ. Результат сохранить. Для снятия обратной ветви ВАХ необходимо задать пределы моделирования от 0 до  В. Результат сохранить и сверить полученной ВАХ в п.5.

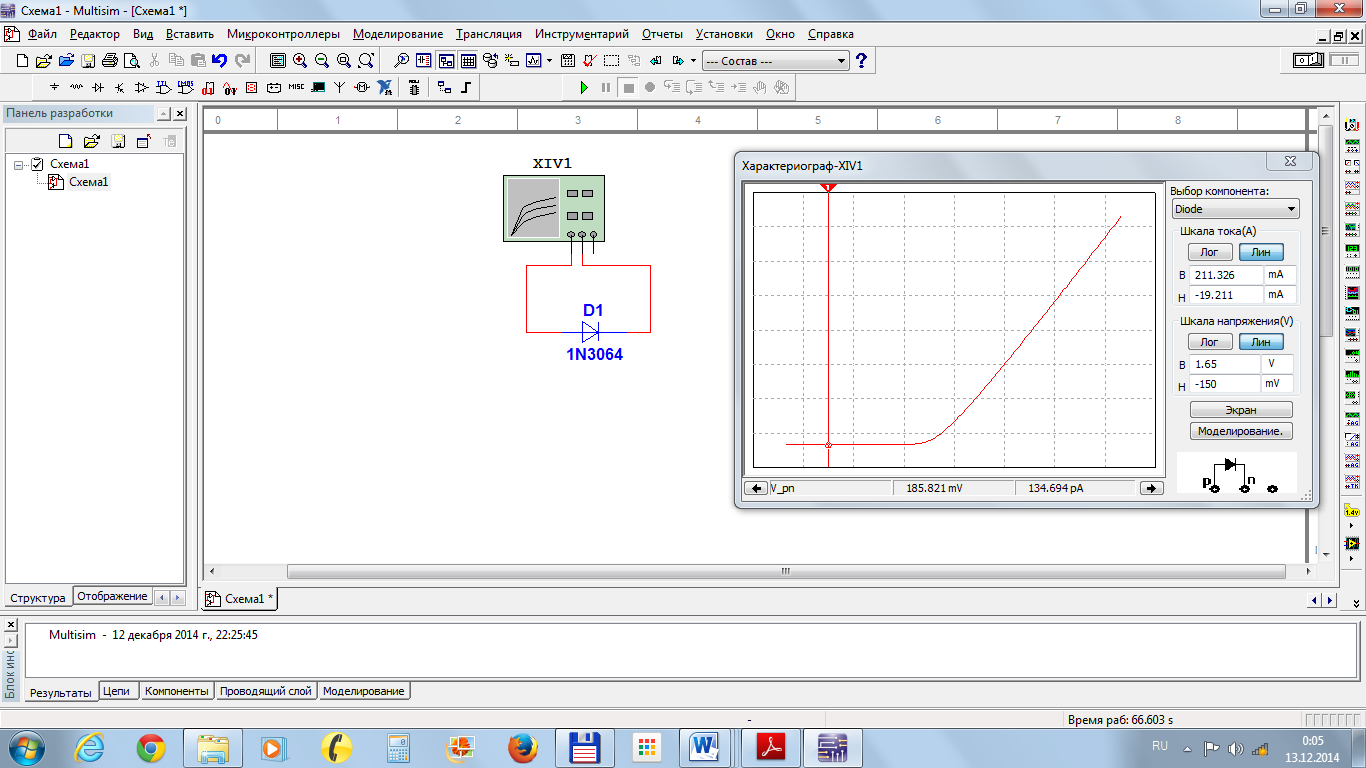
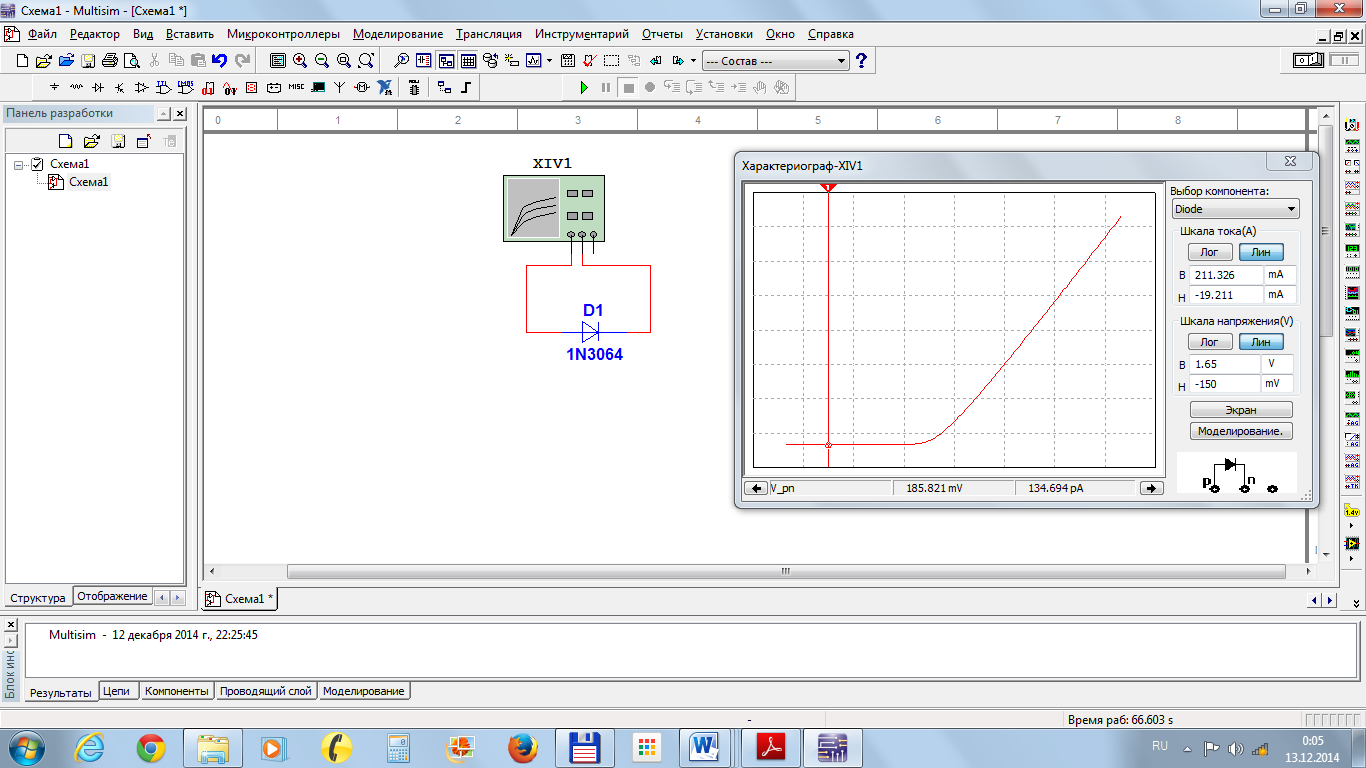


Рис. 1.6. Схема подключения характериографа и окно настройки.

7. Исследовать специального диода: стабилитрона, для этого выбрать в базе элементов виртуальный идеальный стабилитрон, установить напряжение стабилизации  В, ток стабилизации  мА.

8. Собрать схему для исследования стабилитрона (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Схема исследования стабилитрона

9. Снять обратную ветвь ВАХ стабилитрона. Рекомендуется установить входное напряжение  В, балластное сопротивление  Ом. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3. Обратная ветвь ВАХ стабилитрона

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Uвх*, В | 0 | 1 | 2 | 4 | 5 | 5,68 | 7 | 9 | 10 |
| *Iст*, мА | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |

10. Построить на миллиметровой бумаге экспериментальную ВАХ стабилитрона.

11. Исследовать однополупериодной схемы выпрямления на базе диода выбранного в п.1. Для этого необходимо собрать схему на рис. 1.8.



12. Значения амплитуды входной ЭДС задается индивидуально преподавателем, частота питающей сети принимается 50 Гц. Для снятия осциллограмм используем 2-х канальный осциллограф. Для снятия синусоиды входного напряжения подключаем щупы канала А к гнездам «1» и «3», для снятия выпрямленного напряжения подключаем щупы канала В к гнездам «2» и «3».



Осциллограф необходимо настроить таким образом, чтобы масштабы по каналу А и В были идентичными, а сами осциллограммы располагались таким образом как показано на рис. 1.3,б. Функция перемещения кривой по оси ординат реализуется уставкой в окне «позиция по Y». Полученные осциллограммы необходимо сохранить. Для данной схемы выпрямления посчитать коэффициент пульсации по напряжению.



13. Исследовать однополупериодной схемы выпрямления с фильтром. Для этого необходимо параллельно сопротивлению нагрузки  подключить электролитный конденсатор как это показано на рис. 1.9.



14. Рассчитать значение емкости конденсатора таким образом, чтобы коэффициент пульсации составил 0,5. Выбрать конденсатор ближайший больший по емкости к расчетной емкости из числа серийно выпускаемых промышленностью.



15. Снять осциллограммы подобно п.12. Рассчитать коэффициент пульсации и сравнить его с заданным.

16. Исследовать однофазную двухполупериодную мостовую схему выпрямления на базе диода выбранного в п.1. Собрать схему исследования (рис. 1.10).

17. Значения амплитуды входной ЭДС задается индивидуально преподавателем, частота питающей сети принимается 50 Гц. Для снятия осциллограмм используем 2-х канальный осциллограф. Для снятия синусоиды входного напряжения подключаем щупы канала А к гнездам «1» и «2», для снятия выпрямленного напряжения подключаем щупы канала В к гнездам «3» и «4».

Осциллограф необходимо настроить таким образом, чтобы масштабы по каналу А и В были идентичными, а сами осциллограммы располагались таким образом как показано на рис. 1.4,б. Полученные осциллограммы необходимо сохранить. Для данной схемы выпрямления посчитать коэффициент пульсации по напряжению.



18. Исследовать однополупериодной схемы выпрямления с фильтром. Для этого необходимо параллельно сопротивлению нагрузки  подключить электролитный конденсатор как это показано на рис. 1.11.



19. Рассчитать значение емкости конденсатора таким образом, чтобы коэффициент пульсации составил 0,1. Выбрать конденсатор ближайший больший по емкости к расчетной емкости из числа серийно выпускаемых промышленностью (Ряд Е12).



20. Снять осциллограммы подобно п.17. Рассчитать коэффициент пульсации и сравнить его с заданным.

21. Сделать выводы по работе.

**3. Контрольные вопросы к заданию №1**

1. Что называется полупроводниковым диодом?
2. Какие физические процессы протекают в диоде при его смещении в прямом направлении?
3. Какие физические процессы протекают в диоде при его смещении в обратном направлении?
4. Напишите уравнение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода?
5. Как влияет повышение температуры на прямую ветвь вольт-амперной характеристики полупроводникового диода?
6. Что такое стабилитрон?
7. Что такое туннельный диод?
8. Что такое обращенный диод?
9. Почему в варикапах используется только барьерная ёмкость и не используется диффузионная ёмкость?
10. Что такое выпрямитель?
11. Поясните принцип действия однофазного однополупериодного выпрямителя.
12. Поясните принцип действия однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.
13. Поясните принцип действия однофазного мостового выпрямителя.
14. Что такое стабилизатор напряжения?

**Задание № 2**

**Исследование характеристик биполярного транзистора включенного по схеме с общим эмиттером.**

*Цель работы:* Снятие и анализ статических характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером и определение по ним его *h*-параметров.

**1. Общие сведения**

Биполярным транзистором называется полупроводниковый прибор, состоящий из трех областей с чередующимися типами электропроводности.

Структура биполярных транзисторов представлена на рис. 2.1. Средняя часть рассматриваемых структур называется базой, одна крайняя - коллектором, а другая - эмиттером. Реально структуры являются несимметричными: электрод базы располагается ближе к эмиттеру, а ширина базы зависит от частотного диапазона транзистора и с повышением диапазона рабочих частот выполняется тоньше.

Рис. 2.1. Устройство и схема включения *n-р-n*-транзистора (а),

*р-n-р*-транзистора (б), их условные обозначения (в, г) и

диодные схемы замещения (д, е)

При работе транзистора к его электродам прикладываются напряжения от внешних источников питания. В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам транзистора, каждый из *p–n*-переходов может быть смещен в прямом или в обратном направлении, исходя из этого, возможны четыре режима работы транзистора:

– Если на эмиттерном переходе напряжение прямое, и он инжектирует носители в базу, а на коллекторном переходе напряжение обратное, и он собирает носители из базы, то такое включение транзистора называют *нормальным*, а транзистор работает в *активном (усилительном)* или *линейном* режиме.

– В режиме *насыщения* оба *p–n-*перехода включены в прямом направлении, переходы насыщены подвижными носителями заряда, их сопротивления малы.

– В режиме *отсечки* оба *p–n*-перехода включены в обратном направлении. В электродах транзистора протекают тепловые токи обратновключенных переходов.

– Если же на коллекторном переходе напряжение прямое, и он инжектирует носители в базу, а на эмиттерном переходе напряжение обратное, и он осуществляет экстракцию носителей из базы, то такое включение транзистора называют *инверсным*, а транзистор работает в *инверсном* режиме.

Статическими характеристиками называются зависимости между входными и выходными токами и напряжениями транзистора при отсутствии нагрузки. Каждая из схем включения транзистора характеризуется четырьмя семействами статических характеристик:

1) Входные характеристики – это зависимость входного тока от входного напряжения при постоянстве напряжения на выходе:



2) Выходные характеристики – это зависимость выходного тока от выходного напряжения при фиксированном значении входного тока:



3) Характеристики обратной связи по напряжению:



4) Характеристики передачи по току:



В схеме с общим эмиттером (рис. 2.2) источник входного сигнала *E1* включен в прямом направлении по отношению к эмиттерному переходу, а источник питания *E2* включен в обратном направлении по отношению к коллекторному переходу и в прямом по отношению к эмиттерному. Под действием источника входного сигнала *E1* в базовой цепи протекает ток *Iб*; происходит инжекция носителей из эмиттерной области в базовую; часть из них под действием поля коллекторного перехода перебрасывается в коллекторную область, образуя, таким образом, ток в цепи коллектора *Iк*, который протекает под действием источника питания *E2* через эмиттер и базу.

Входным током является ток базы *Iб* , а выходным – ток коллектора *Iк*. Выходным напряжением является падение напряжения на сопротивлении нагрузки *Rк* .



Рис. 2.2. Подключение транзистора по схеме с общим эмиттером

Семейство входных статических характеристик транзистора включенного по схеме с общим эмиттером представляет собой зависимость



Вид этих характеристик показан на рис. 2.3.

При *Uкэ* = 0 эта характеристика представляет собой прямую ветвь вольт-амперной характеристики эмиттерного перехода. При этом коллекторный переход оказывается включенным в прямом направлении на напряжение источника *E1.*



Рис. 2.3 Входные характеристики транзистора включенного по схеме с общим эмиттером

При включении источника *E2* (*Uкэ* < 0) характеристика пойдет несколько ниже предыдущей, т.к. в случае *Uбэ* = 0 источник *E1* отсутствует и через коллекторный переход протекает маленький обратный ток *Iк0* под действием источника *E2* , направление которого в базе противоположно тому, когда включен источник *E1*. При включении *E1* (*Uбэ* > 0) этот ток будет уменьшаться, т. к. в цепи его протекания *E1* и *E2* будут включены встречно, а затем он перейдет через ноль и будет возрастать в положительном направлении под действием *E1*.

Выходные статические характеристики (рис. 2.4) представляют собой зависимости



При *Iб* = 0 эта характеристика представляет собой обратную ветвь вольт-амперной характеристики коллекторного перехода. При *Iб* > 0 характеристики имеют большую крутизну в области малых значений *Uкэ* , т.к. при условии *E2* < *E1*, коллекторный переход включен в прямом направлении; поэтому сопротивление его незначительно и достаточно небольшого изменения напряжения на нем, чтобы ток *Iк* изменился значительно. Более того, при *Uкэ* = 0 все характеристики кроме начальной (*Iб* = 0), исходят не из начала координат, а ниже, так как ток коллекторного перехода в этом случае является прямым и имеет направление противоположное по отношению к обычному току коллектора.



Рис. 2.4 Выходные характеристики транзистора включенного по схеме с общим эмиттером

**Ход выполнения задания №2**

1. По заданию преподавателя выбрать из базы биполярный транзистор серии 2N. Выписать основные параметры выбранного транзистора (в скобках указано условное обозначение в среде Multisim):

– обратный ток коллекторного перехода *IКобр* (IS);

– максимальный коэффициент усиления по току в схеме с ОЭ  (BF);

– максимальное напряжение коллектора  (VAF);

– обратный ток эмиттерного перехода (ISE);

– максимальный ток коллектора  (IKF);

– объемное сопротивление базы  (RB);

– объемное сопротивление эмиттера  (RE);

– объемное сопротивление коллектора  (RC);

2. Собрать схему рис. 2.4. На рисунке приведена схема исследования для *n-p-n* транзистора. В дальнейшей работе предполагается, что исследуется *n-p-n* транзистор. При исследовании *p-n-p* транзистора следует изменить полярности источников напряжения, тока и измерительных приборов.



Рис. 2.4. Схема исследования статических характеристик биполярного транзистора

3. Снимите семейство входных характеристик биполярного транзистора. Изменяя ток базы, за счет изменения тока источника тока *J1*, и регистрируя его величину амперметром А1 измерять напряжение *Uэб*, с помощью вольтметра V1. Снимите 3 входные характеристики при  В,  В и  В. Данные занести в табл.2.1.

Таблица 2.1. Семейство входных характеристик

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (мА), А1 | | 0 | 0,01 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 1 | 2 |
| В, V2 | *Uэб* (В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |
| В, V2 | *Uэб* (В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |
| В, V2 | *Uэб* (В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |

4. По результатам эксперимента построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости семейство входных характеристик транзистора включенного по схеме с ОЭ.

5. Снимите семейство выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с ОЭ, для различных фиксированных токов базы. Предварительно определите экспериментально максимальный ток базы *Iб max*при котором ток выходной характеристики не выходит за пределы IКmax мА. Ток базы задается источником *J1* и контролируется по A1. Устанавливая фиксированные значения тока базы в диапазоне 0 .. *Iб max*, с равным шагом получите пять выходных характеристик. Выходная характеристика получается путем регулирования *E2* от 0 до 20 В. Данные занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. Семейство выходных характеристик

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Uкэ* (В), V2 | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |

6. По результатам эксперимента построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости семейство выходных характеристик транзистора включенного по схеме с ОЭ.

7. В среде моделирования Multisim снять семейство выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с ОЭ с помощью характериографа, подключая соответствующие выводы транзисторов к его входам (рис. 2.5). В меню «Выбор компонента» необходимо выбрать тип транзистора, в меню «моделирование» для снятия выходных ВАХ установить пределы моделирования напряжения на коллекторе *UK* (V\_ce) от 0 до 20 В с шагом 10 мВ, тока базы *IБ* (I\_b) от 0 до *Iб max* и числа фиксированных уровней тока базы равный 5. Результат сохранить. Каждую характеристику необходимо оформить, как это показано на рис. 2.5.

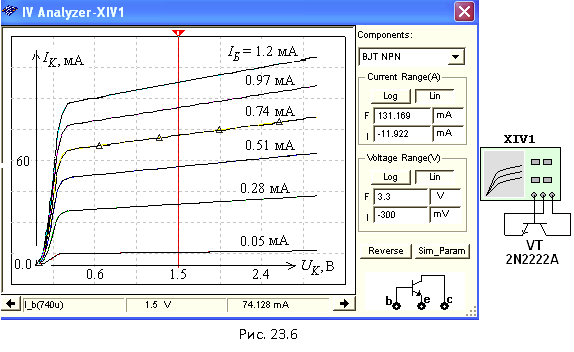


Рис. 2.5. Схема подключения характериографа и окно настройки

8. Сравнить полученные в ходе эксперимента выходные характеристики с характеристиками характериографа.

9. Снять передаточную характеристику, при *Uкэ = 5* В и *Uкэ = 10* В. Ток базы задается источником *J1* и контролируется по A1, устанавливая фиксированные значения тока базы в диапазоне 0 .. *Iб max*, с равным шагом, регистрируя ток коллектора *Ik* по А2. Выходное напряжение *Uкэ* устанавливается источником *E2*. Данные занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3. Семейство передаточных характеристик

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Uкэ* (В), V2 | | 5 | 10 |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |
| мА, А1 | *Ik* (мА), А2 |  |  |

10. По результатам эксперимента построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости семейство передаточных характеристик транзистора включенного по схеме с ОЭ.

11. По результатам проведенных ранее экспериментов построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости семейство из пяти характеристик обратной связи по напряжению.

Таблица 2.4. Семейство характеристик обратной связи по напряжению

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Uкэ* (В), V2 | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 |
| мА, А1 | *UБЭ* (В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |
| мА, А1 | *UБЭ* (В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |

12. По характеристикам транзистора определить его дифференциальные *h-*параметры для схемы с ОЭ, все точки указать на соответствующих характеристиках. Для схемы с общим эмиттером *h-*параметры определяются из соотношений:

– входное сопротивление транзистора составляет от сотен Ом до единиц кОм



– коэффициент внутренней обратной связи транзистора по напряжению, который составляет тысячные или десятитысячные доли выходного напряжения



– коэффициент передачи транзистора по току и составляет десятки – сотни единиц



– выходная проводимость транзистора и равна десятым – сотым долям мСм



13. Сделать выводы по работе.

**Контрольные вопросы к заданию №2**

1. Охарактеризуйте режимы работы биполярного транзистора.
2. Каким образом в транзисторе происходит усиление электрических колебаний по мощности?
3. Охарактеризуйте схемы включения биполярного транзистора.
4. Нарисуйте и объясните семейство выходных характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером.
5. Как влияет температура на характеристики транзистора?
6. Поясните, как определяются h-параметры по характеристикам транзистора?
7. Какие существуют эквивалентные схемы транзистора?
8. Нарисуйте и объясните временные диаграммы работы транзистора в ключевом режиме.
9. Чем ограничивается быстродействие транзистора при работе в ключевом режиме?
10. Что такое динамические потери при работе транзистора в ключевом режиме?
11. Что такое составной транзистор?

**Задание № 3**

**Исследование работы тиристора и его ВАХ.**

*Цель работы:* Снятие и анализ статических характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером и определение по ним его *h*-параметров.

**1. Общие сведения**

***Тиристорами*** называют полупроводниковые приборы на основе многослойных (четыре или более слоев) *p-n* структур, способные переходить из закрытого (непроводящего) состояния в открытое (проводящее) состояние. Тиристоры делятся на неуправляемые, или переключающие, — динисторы, и управляемые — тринисторы. Отдельную разновидность управляемых тиристоров составляют симисторы — многослойные переключающие приборы с вольтамперной характеристикой (ВАХ) для прямого и обратного напряжений.

Структура динистора представлена на рисунке 1.

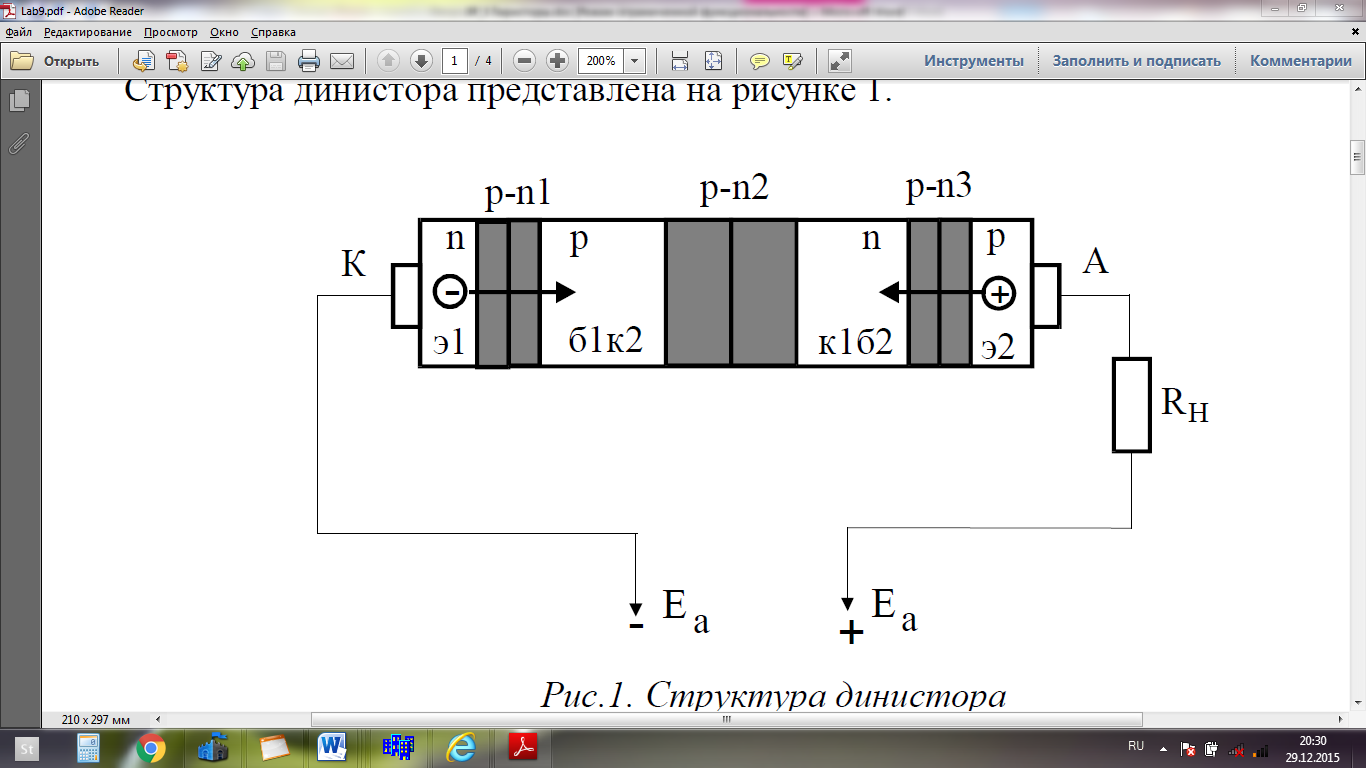


Рис. 1 – Структура динистора

Подобный прибор можно представить в виде модели, состоящей из двух транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n* (рис. 2), что довольно часто применяется на практике для получения аналога динистора.

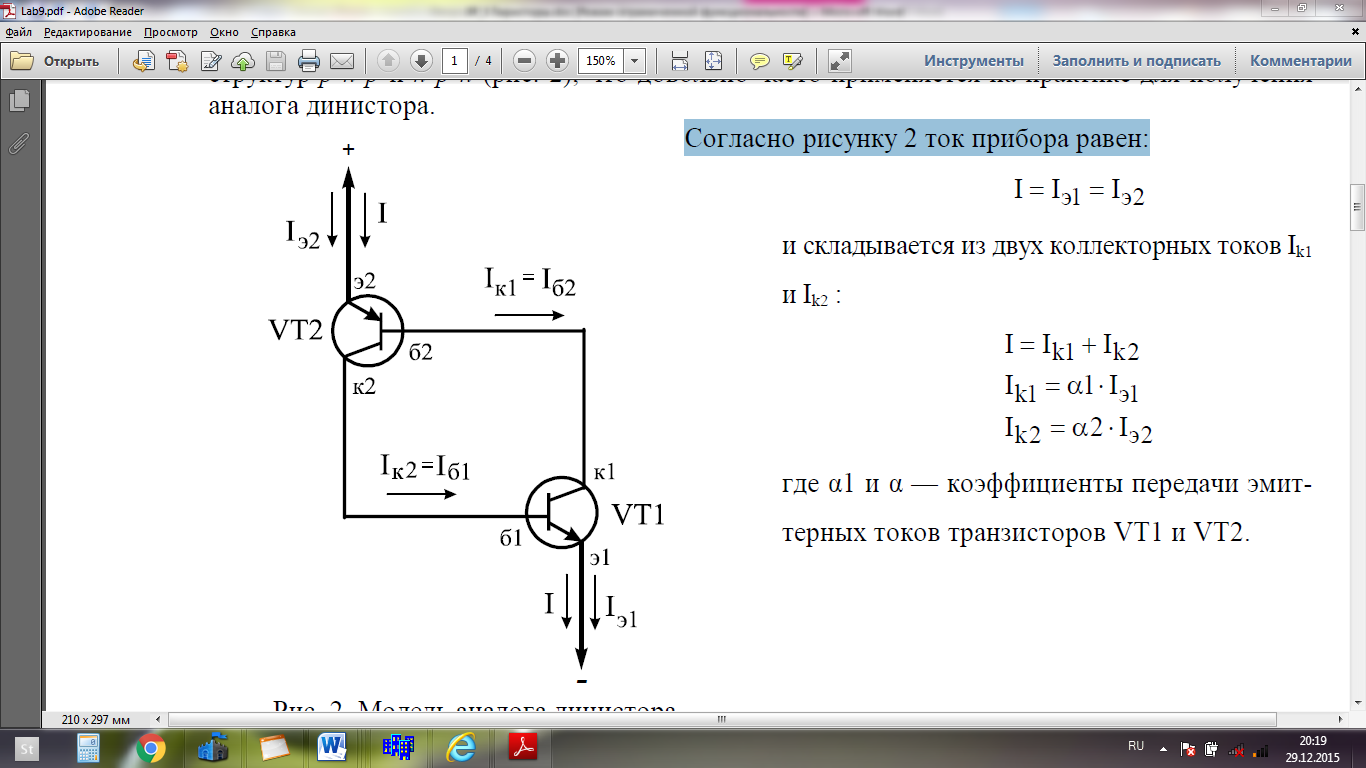
****

Рис. 2 – Структура динистора

Согласно рисунку 2 ток прибора равен: *I* = *I*Э1 = *I*Э2 и складывается из двух коллекторных токов *I*K1 и *I*K2:

*I* = *I*K1 + *I*K2

*I*K1 = α1∙*I*Э1

*I*K2 = α2∙*I*Э2,

где α1 и α2 – коэффициенты передачи эмиттерных токов транзисторов VT1 и VT2.

В состав тока *I* входит и начальный ток коллектора *I*К0’ – тепловая генерация носителей зарядов. Следовательно,

*I* = α1∙*I* + α2∙*I* *I*K0’,

.

Через переходы *p-n1* и *p-n3*, работающие в прямом направлении из эмиттеров *Э1* и *Э2* в базы *Б1* и *Б2*, инжектируют неосновные для баз носители, которые уменьшают сопротивление перехода *p-n2*, увеличивая ток в нем и уменьшая напряжение на нем. Процесс переключения удобно показать на вольтамперной характеристике (рис. 3).

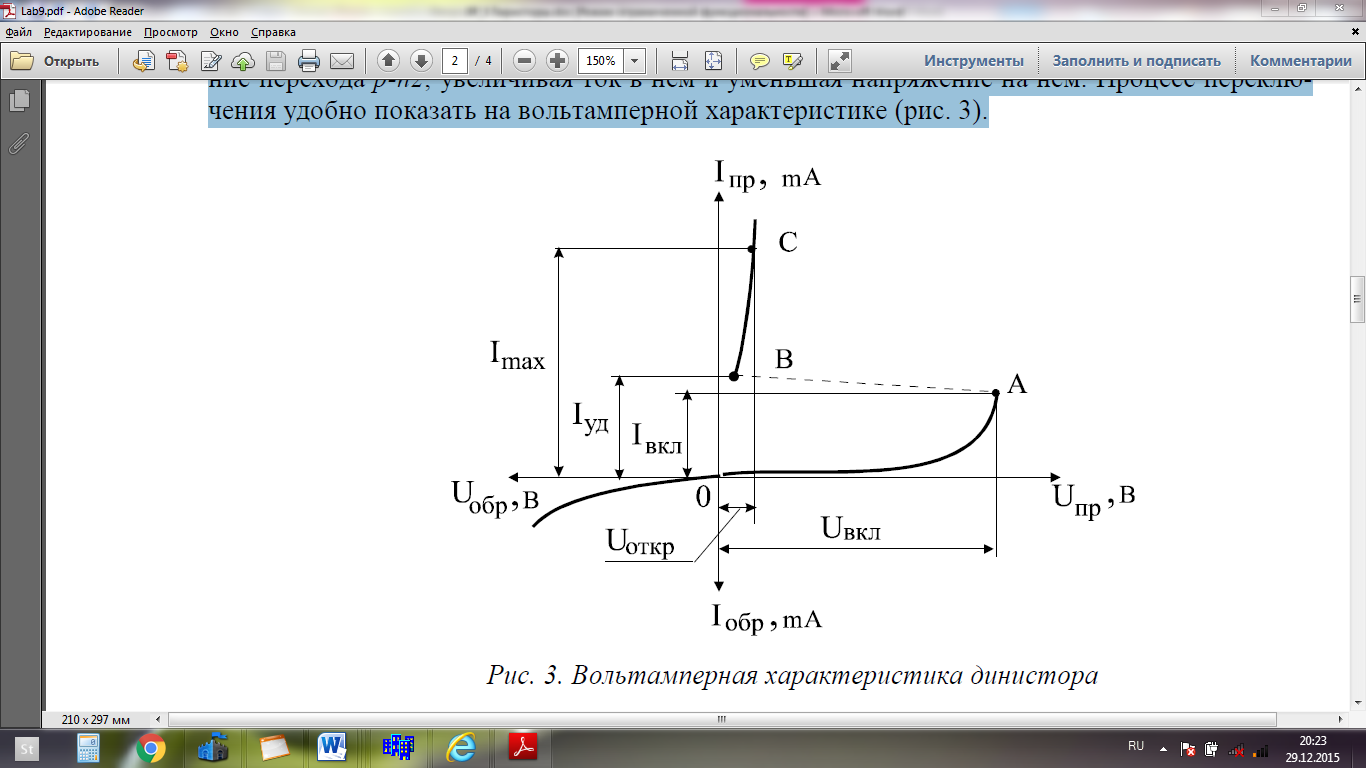


Рис. 3 – Вольтамперная характеристика динистора

При повышении анодного напряжения сначала ток растет медленно (участок ОА), прибор заперт, сопротивление перехода *p-n2* еще велико и все напряжение источника выделяется на нем. По мере увеличения инжекции сопротивление *p-n2* падает, что увеличивает ток.

Этот процесс развивается лавинообразно: ток скачком увеличивается, напряжение на переходах *p-n1* и *p-n2* несколько возрастает (участок BC). Величина тока ограничивается сопротивлением нагрузки *R*Н (точка C).

Если уменьшить ток через прибор, то при некотором его значении, называемым удерживающим током *I*УД (точка B), прибор переходит скачком в закрытое состояние. При обратном напряжении на динисторе ВАХ имеет вид, аналогичный для обратного тока обычных диодов, поскольку переходы *p-n1* и *p-n3* теперь будут находиться под обратным напряжением.

Если на одной из баз сделать вывод (чаще на базе вблизи катода), то мы получаем управляемый переключающий прибор — ***тринистор***.

В таких приборах база *Б2* значительно шире базы *Б1* и имеет более низкую концентрацию примесных атомов. Подавая через управляющий вывод прямое напряжение на переход *p-n1***,** можно включить прибор при значительно меньшем напряжении в анодной цепи, чем у динистора.

Ток, протекающий через прибор, равен:



Вольтамперная характеристика тринистора для различных токов управления представлена на рисунке 4.

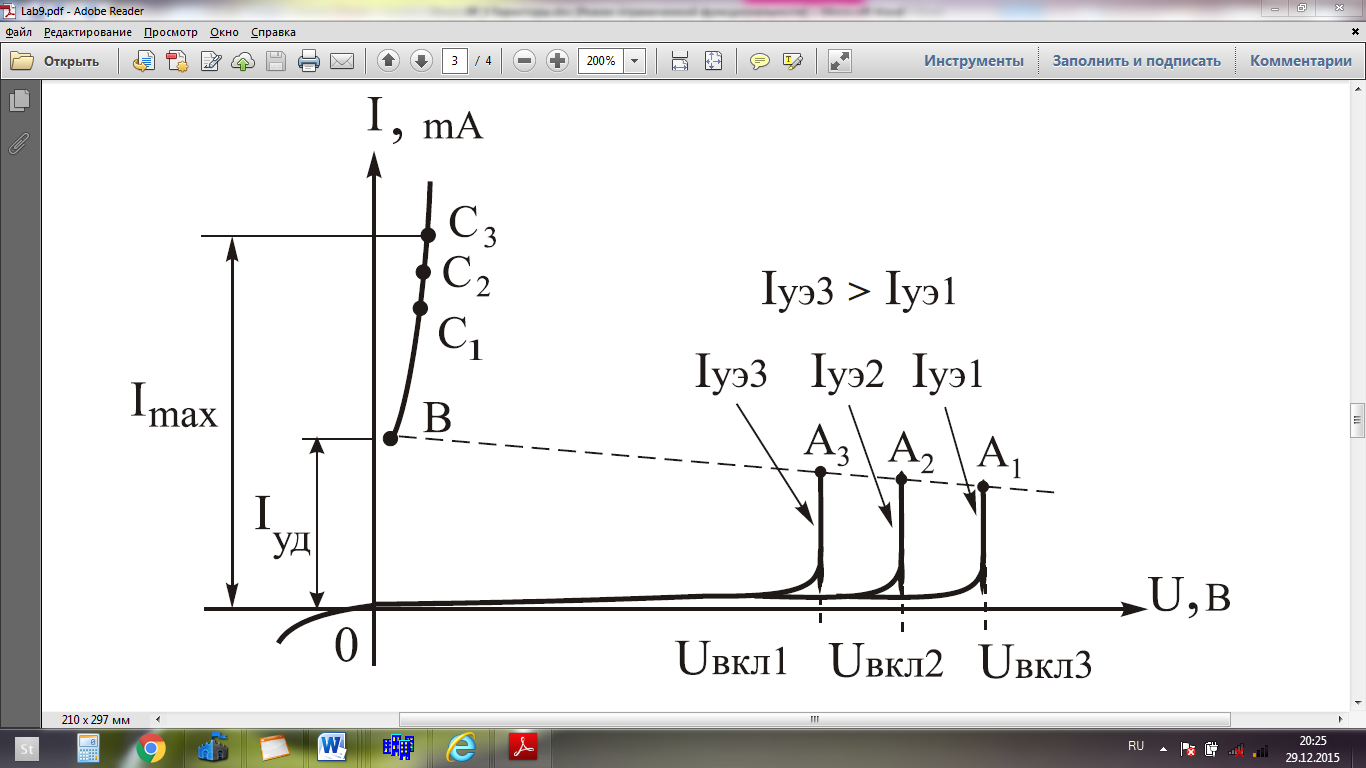


Рис. 4 – Вольтамперная характеристика тринистора для различных токов управления

**Ход выполнения задания №3**

1. По заданию преподавателя выбрать из базы тиристор серии 2N. Выписать основные параметры выбранного тиристора (в скобках указано условное обозначение в среде Multisim):

– напряжение отпирания, *Uот,* B (VDRM);

– обратный ток *I*0, мкА (IDRM);

– допустимый ток анода *Ia.max,*A (ITM);

– напряжение на открытом тиристоре *Uпр*, B (VTM);

– ток удержания *Iуд*, мА (IH);

– управляющее напряжение *Uу*, В на открытом тиристоре (VGT);

– ток управляющего электрода *Iу*, мА(IGT).

2. Собрать схему рис. 5. На рисунке приведена схема исследования прямой ветви вольтамперных характеристик тиристора.



Рис. 5 – Схема для исследования тиристоров

На рисунке 5.1 показаны следующие элементы:

– источник входного напряжения V1;

– источник напряжения управления V2;

– ограничительные резисторы R1, R2.

Измерение вольтамперной характеристики тиристора проводится при изменении V1 от нуля до +50 В при фиксированном значении Uy в нескольких точках 0,5*Uот*, *Uот* и l,5*Uот*, где *Uот* – пороговое напряжение переключения тиристора. Измеренные значения параметров необходимо занести в таблицу 1.

Таблица 1. Семейство прямых характеристик

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V1, (В) | | 0 | 1 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 45 | 50 |
| В, V2 | Ii (мА), А1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| В, V2 | Ii (мА), А1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| В, V2 | Ii (мА), А1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

4. По результатам эксперимента построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости семейство прямых характеристик тиристора.

5. Снимите семейство обратных характеристик тиристора для различных фиксированных напряжениях управления. При исследовании обратной ветви BАХ меняется только полярность V2. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2. Семейство обратных характеристик

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ui* (В), V1 | | 0 | 1 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 45 | 50 |
| В, V2 | Ii (мА), А1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| В, V2 | Ii (мА), А1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| В, V2 | Ii (мА), А1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

6. По результатам эксперимента построить на миллиметровой бумаге в одной координатной плоскости семейство обратных характеристик тиристора.

7. В среде моделирования Multisim снять семейство прямых и обратных характеристик тиристора с помощью характериографа, подключая соответствующие выводы тиристоров к его входам (рис. 6).

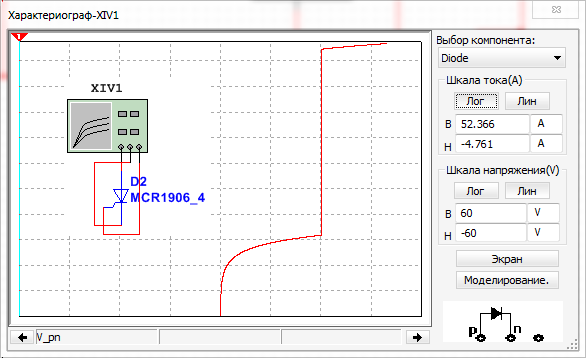


Рис. 6. Схема подключения характериографа и окно настройки

8. Сравнить полученные в ходе эксперимента выходные характеристики с характеристиками характериографа.

9. Сделать выводы по работе.

**Контрольные вопросы к заданию №3**

1. Что такое симистор и область его применения?

2. Укажите способы включения и выключения тиристора.

3. Чем динистор отличается от тиристора и может ли тиристор работать в режиме динистора?

4. Что будет происходить с тиристором при питании его анодной цепи от источника переменного тока?

5. Может ли тиристор использоваться, как ячейка памяти?

6. Какие преимущества дает тиристоры по отношению к электромагнитным реле?

**3. Методические указания к практическим занятиям**

Выполнение заданий практических занятий осуществляется по учебному пособию: Остриров В.Н. Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов: учебное пособие / В.Н. Остриров. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 72 с.

Исходными данными для практической работы является асинхронный двигатель серии 4А (таблица 1).

Таблица 1- Исходные данные к расчетно-графической работе

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Тип двигателя | Pном, кВт |
| 1 | 4А80А4У3 | 1,1 |
| 2 | 4А80В4У3 | 1,5 |
| 3 | 4А100S4У3 | 3,0 |
| 4 | 4А100L4У3 | 4,0 |
| 5 | 4А112M4У3 | 5,5 |
| 6 | 4А132S4У3 | 7,5 |
| 7 | 4А132M4У3 | 11 |
| 8 | 4А160S4У3 | 15 |
| 9 | 4А160M4У3 | 18,5 |
| 10 | 4А180S4У3 | 22 |
| 11 | 4А180M4У3 | 30 |
| 12 | 4А200M4У3 | 37 |
| 13 | 4А200L4У3 | 45 |
| 14 | 4А225M4У3 | 55 |
| 15 | 4А250S4У3 | 75 |
| 16 | 4А250M4У3 | 90 |
| 17 | 4А280S4У3 | 110 |
| 18 | 4А280M4У3 | 132 |
| 19 | 4А315S4У3 | 160 |
| 20 | 4А315M4У3 | 200 |
| 21 | 4А350S4У3 | 250 |
| 22 | 4А350M4У3 | 315 |

Содержание:

Введение

1 Выбор элементов силовой части преобразователя частоты

1.1 Расчет и выбор элементов силовой части автономного инвертора

1.2 Расчет потерь в силовой части автономного инвертора

1.3 Тепловой расчет автономного инвертора

1.4 Расчет и выбор элементов силовой части трехфазного мостового выпрямителя

1.5 Тепловой расчет выпрямителя

2 Расчет LC-фильтра

3 Расчет защитной цепи (снабберов)

4 Расчет охладителя

Заключение

Список использованных источников

**4. Методические указания по рубежному и итоговому контролю**

Рубежный контроль осуществляется только на дневной форме обучения по результатам выполнения самостоятельных заданий в процессе выполнения и защиты лабораторных работ.

Экзамены и зачеты позволяют выработать ответственность, трудолюбие, принципиальность. При подготовке к зачету, экзамену студент повторяет, как правило, ранее изученный материал. В этот период сыграют большую роль правильно подготовленные заранее записи и конспекты. Студенту останется лишь повторить пройденное, учесть, что было пропущено, восполнить пробелы при подготовке к семинарам, закрепить ранее изученный материал.

Зачет сдаётся автоматически при выполнении и защите индивидуального расчётного задания и лабораторных работ. Также учитываются результаты тестирования.

К экзамену предлагается следующий перечень вопросов по изученным разделам:

1. Что понимается под энергетическими уровнями и зонами в электронике? Закон Паули. Зонные диаграммы проводника, полупроводника и диэлектрика.

2. Какие примеси в полупроводниках называют донорными? Структура полупроводника с донорными примесями? Как происходит распределение электронов по энергетическим уровням в полупроводнике с донорными примесями? Зонная диаграмма.

3. Какие примеси в полупроводниках называют акцепторными? Структура полупроводника с акцепторными примесями?

4. Процессы переноса зарядов в полупроводниках. Дрейф носителей заряда и дрейфовый ток?

5. Электронно-дырочный переход. Баланс токов в равновесном состоянии и основные физические процессы. Вентильное свойство p-n перехода. Зонная диаграмма обратного смещения, иллюстрирующая баланс токов.

6. Вольтамперная характеристика p-n перехода и её основные области. Какие виды пробоев p-n перехода существуют?

7. Определение полупроводникового диода. Какие структуры полупроводниковых диодов существуют?

8. Структуры плоскостных и точечных диодов. Расположение базы и эмиттера.

9. Выпрямительный диод. Определение, конструкция и обозначение. Вольтамперная характеристика.

10. Выпрямительный диод. Основные рабочие характеристики.

11. Импульсные диоды. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения.

12. Туннельные диоды. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения.

13. Обращенные диоды. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения.

14. Диоды Шоттки. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения.

15. Варикапы. Определение, обозначение и основные рабочие характеристики.

16. Стабилитроны. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения. Вольтамперная характеристика и основные рабочие характеристики.

17. Стабисторы. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения.

18. Однофазная однополупериодная схема выпрямления. Принцип работы и область применения.

19. Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой. Принцип работы и область применения.

20. Однофазный мостовой выпрямитель. Электрическая схема, принцип работы и область применения.

21. Биполярные транзисторы. Определение, конструкция и обозначение. Особенности применения.

22. Режимы работы биполярного транзистора. Особенности, направления включения p-n перехода.

23. Физические процессы в биполярном транзисторе. Эффект Эрли.

24. Рабочие параметры и общие характеристики биполярного транзистора.

25. Схемы включения транзистора. Схема с общей базой, её основные параметры.

26. Схемы включения транзистора. Схема с общим эмиттером, её основные параметры.

27. Схемы включения транзистора. Схема с общим коллектором, её основные параметры.

28. Статические характеристики биполярного транзистора для включения с общей базой.

29. Статические характеристики биполярного транзистора для включения с общим эмиттером.

30. Статические характеристики биполярного транзистора для включения с общим коллектором.

31. Режимы работы биполярного транзистора. Линия нагрузки.

32. Предельные режимы работы биполярного транзистора. Гипербола допустимых мощностей.

33. Динамические характеристики биполярного транзистора.

34. Полевой транзистор. Определение, классификация и конструкции.

35. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом. Упрощенная структура и условные обозначения.

36. Схемы включения полевых транзисторов и их основные характеристики.

37. Статические характеристики полевых транзисторов с управляющим p-n переходом с каналом n-типа.

38. Основные параметры полевых транзисторов. Типовые значения для кремниевых полевых транзисторов с управляющим p-n переходом.

39. Условное обозначение и структура полевого транзистора с изолированным затвором со встроенным каналом.

40. Условное обозначение и структура полевого транзистора с индуцированным каналом.

41. IGBT транзистор. Выходные характеристики, исполнение и область применения.

42. Структура и эквивалентная схема IGBT транзистора.

43. Тиристор. Определение, классификация, конструкции и область применения.

44. Динистор. Определение, структура, обозначение и область применения.

45. Вольтамперная характеристика динистора.

46. Триодный тиристор. Определение, структура, обозначение и область применения.

47. Вольтамперная характеристика тринистора. Диаграмма вольтамперной характеристики управляющей цепи тринистора.

48. Способы запирания тиристоров. Схемы и их особенности.

49. Запираемые тиристоры. Структура, эквивалентная схема, вольтамперная характеристика и обозначение.

50. Симметричные тиристоры. Структура, эквивалентная схема, вольтамперная характеристика и обозначение.

51. Основные параметры тиристоров.

52. Управляемые выпрямители. Схема и временные диаграммы.