

Лемехова И.И.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Электронное текстовое издание

Лабораторный практикум

Рекомендовано Учебно-методическим советом Нижнетагильского технологического института (филиала) УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в качестве лабораторного практикума для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения

Нижний Тагил
2017

Физические основы электроники [Электронный ресурс] :
Лабораторный практикум / сост. И.И. Лемехова; Нижнетагил. технол. ин-т.
(филиал) УрФУ. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 67 с.

Лабораторный практикум по курсу ФОЭ реализован в программе схемотехнического моделирования Multisim 10. Содержит рекомендации по работе с программным пакетом и учебными оценочными компонентами схем, методические рекомендации по выполнению 6 лабораторных работ и примеры оформления отчетов к ним.

Предназначен для студентов очного и очно-заочного обучения направления «Электроэнергетика и электротехника», квалификация (степень) выпускника - бакалавр

Разработан кафедрой «Мехатроники, автоматики и электроники»

Оглавление

Введение.....	4
Методические рекомендации по работе в программе Multisim 10	12
Лабораторная работа № 1. Исследование полупроводникового диода.....	20
Лабораторная работа № 2. Исследование стабилитрона	26
Лабораторная работа № 3. Исследование биполярного транзистора	30
Лабораторная работа № 4. Транзисторные ключи	35
Лабораторная работа № 5. Исследование полевого транзистора	42
Лабораторная работа № 6. Исследование логических элементов и схем	45
Бланки отчетов к лабораторным работам.....	55

Введение

Скажи мне – и я забуду;
Покажи мне – и я, может быть, вспомню;
Дай мне сделать самому – и я пойму!
(Из книги Г.С. Чеурина
«Самоспасение без снаряжения»)

Лабораторный практикум является неотъемлемой составной частью процесса изучения общетехнических и специальных дисциплин, а также важнейшим методом освоения инженерных приемов и методов работы, организации исследования различных процессов, обработки и осмысления результатов эксперимента

Разработанный комплекс виртуальных лабораторных работ по моделированию электронных схем предназначен для студентов, изучающих различные разделы электроники: как на уровне ознакомительного курса для машиностроительных специальностей, так и для специальных дисциплин у студентов, обучающихся по направлению «Электротехника». Выбор пакета моделирования обусловлен простотой и наглядностью процессов создания схем в программе Multisim10 и наличием достаточно мощного приборного обеспечения для их исследования.

Для неэлектротехнических специальностей основной акцент делается не на расчет схем и принципы их построения, а на наглядное представление о работе и возможностях применения устройств электронной техники

Одним из достоинств Multisim10 является возможность смоделировать ситуации, возникающие при самых различных уровнях приборной оснащенности исследователя, и освоить методики измерения, соответствующие этим уровням.

Введение в Multisim 10.

Кроме традиционного анализа, Multisim позволяет пользователям подключать к схеме *виртуальные приборы*. Концепция виртуальных инструментов — это простой и быстрый способ увидеть результат с помощью имитации реальных событий.

Также в Multisim есть специальные компоненты под названием *"интерактивные элементы"* (interactive parts), вы можете изменять их во время эмуляции. К интерактивным элементам относятся переключатели, потенциометры, малейшие изменения элемента сразу отражаются в имитации. В Multisim входит Grapher — мощное средство просмотра и анализа данных эмуляции.

В Multisim есть базы данных нескольких уровней:

- из Главной базы данных (Master Database) можно только считывать информацию, в ней находятся компоненты Electronics Workbench.
- Пользовательская база данных (User Database) соответствует текущему пользователю компьютера. Она предназначена для хранения компонентов, которые нежелательно предоставлять в общий доступ.

Если изменить компонент в базе данных, то уже существующие копии компонентов останутся такими же, как и были. Изменения затронут новые компоненты этого типа. При сохранении схемы вся информация о компонентах хранится в файле Multisim. При загрузке пользователь может оставить загруженные элементы в том виде, как они есть, или обновить компоненты данными из базы с аналогичными именами.

На заметку: чтобы открыть проводник баз данных, выберите Инструменты/Базы данных/Проводник баз данных (Tools/Database/Database Manager), чтобы редактировать элементы проводника, скопируйте их в пользовательскую или корпоративную базу данных.

Проводник компонентов (Component Browser) — это место, где вы выбираете компоненты, чтобы разместить их на схеме. Горячая клавиша по умолчанию для размещения компонента — **Ctrl-W** или двойной щелчок мышью. Курсор мыши примет форму компонента, пока вы не выберете место на схеме для компонента.

Для поиска просто начните набирать название компонента, и проводник автоматически подберет подходящие элементы. Кнопка Поиск (Search) открывает расширенный поиск.

В Проводнике компонентов отображается текущая база данных, в которой хранятся отображаемые элементы. В Multisim они организованы в группы (groups) и семейства (families). Также в проводнике отображается описание компонента (поле Назначение Function), модель и печатная плата или производитель.

Символ звездочки ("*") заменяет любой набор символов. Например, среди результатов запроса "LM*AD" будут "LM101AD" и "LM108AD".

На заметку: Любому компоненту соответствует множество моделей. Каждая модель может ссылаться на различные физические характеристики компонента. Например, у операционного усилителя LM358M снаружи 5 контактов, но в этой модели из них используется только 3, контакты питания не задействованы. Более подробную информацию о моделях можно найти, выбрав модель в поле производитель/идентификатор (Model Manuf.\ID) и кликнув по кнопке Модель (Model).

После выбора компонентов из базы данных они размещаются на схеме и соединяются между собой. Двойной щелчок по компоненту в проводнике прикрепит его к курсору. После этого можно поместить элемент на схему, просто кликнув в желаемом месте.

Чтобы выбрать компонент, просто щелкните по нему мышью. Для выбора нескольких компонентов прижмите кнопку мыши и перемещайте ее, рисуя прямоугольник выбора вокруг нужных компонентов. Выбранные компоненты обозначаются пунктирной линией. Можно выбрать отдельные элементы, например значение или метку компонента. Выбор осуществляется одинарным щелчком мыши по нужному элементу.

Клавиша Shift позволяет добавлять или снимать выделение с нескольких компонентов.

***На заметку:* В случае необходимости копирования схемы или отдельных её компонентов, убедитесь в том, что процесс эмуляции прекращён.**

Чтобы повернуть компонент нажмите Ctrl-R или выберите в контекстном пункте пункт «Повернуть на 90°» по или против часовой стрелки.

Компоненты можно заменять на другие с помощью их контекстного меню, пункта Заменить компонент (Replace Component). Новые компоненты выбираются в открывшемся дополнительном окне проводника компонентов. Соединения компонентов после замены Multisim восстановит.

В Multisim используется безрежимный принцип работы: действие мышью зависит от положения курсора, нет необходимости выбирать инструмент или режим при работе в Multisim. Курсор изменяет свой вид в зависимости от того, на какой объект он наведен. Когда курсор расположен над разъемом или терминалом компонента, левым щелчком мыши можно его соединить. Когда курсор расположен над существующим проводом и рядом с разъемом или терминалом, соединение можно легко изменить.

После появления проводника Multisim автоматически присвоит ему номер в сети. Номера увеличиваются последовательно, начиная с 1. Заземляющие провода всегда имеют номер 0 — это требование связано с работой скрытого эмулятора SPICE. В Multisim есть функция автоматического соединения разъемов между собой и с проводниками. Чтобы добавить компонент в существующую сеть соединений, просто обеспечьте, чтобы его разъемы касались существующей сети.

В Multisim есть возможность вставить компонент внутрь существующей сети соединений. Для этого просто поместите элемент параллельно проводнику.

В Multisim можно сделать несколько различных отчетов: Список материалов (Bill of Materials BOM), Подробный отчет о компонентах (Component Detail Report), Отчет о соединениях (Netlist Report), Статистика схемы (Schematic Statistics), Недействующие элементы (Spare Gates) и Отчет перекрестных ссылок (Cross Reference Report). В списке материалов приведены все реальные компоненты схемы, таким образом, это список тех элементов,

которые нужны для производства схемы. Отчет о незадействованных элементах (Spare Gates Report) — это список неиспользуемых вентилях (gates) или многосекционных компонентов.

В Multisim есть средства для графического оформления вашей схемы. На панели графических аннотаций (Graphic Annotation) есть следующие элементы: текст, линии, полилинии, прямоугольники, эллипсы, дуги, многоугольники, картинки и комментарии. Чтобы добавить графический элемент, не используя панель инструментов, в контекстном меню выберите пункт Добавить графический объект (Place Graphic).

Вы можете добавить текст не только в определенное место схемы, но и создать описание для всей схемы с помощью Окна описания схемы (Circuit Description Box). В это окно вы также можете добавлять картинки, звуковые и видео элементы.

В то время как хорошая конструкция — следствие хорошей схемы, по настоящему отличные конструкции получаются, только если у вас есть возможность их эмулировать. В Multisim есть множество функций и средств эмуляции, недоступных в других пакетах проектирования электроники.

Эмуляция прибора позволяет снизить количество циклов разработки и ошибок при создании прототипа. Если схема проверяется эмулированием прямо во время ее разработки, количество циклов проектирования заметно снижается.

В Multisim встроен не только эмулятор мирового уровня SPICE, но и XSPICE, предназначенный для эффективного эмулирования цифровых компонентов.

В Multisim входит средство создания моделей "Конструктор моделей" (Model Makers), который автоматически сгенерирует модель на основании данных databook. Начальные настройки Конструктора моделей соответствуют определенной модели. Они не фиксированы, с помощью данных databook можно выбрать компоненты и численные значения, соответствующие определенному компоненту.

Начало работы:

Перед началом эмуляции внимательно все проверьте. У всех схем должен быть источник и заземление. Когда все готово, нажмите кнопку запуска эмулятора  или F5. Запустится интерактивная эмуляция.

Настройки интерактивной эмуляции можно изменять в меню Эмуляция/Настройки интерактивной эмуляции (Simulate/Interactive Simulation Settings). Чтобы посмотреть результаты, воспользуйтесь динамическим пробником . Просто нажмите иконку пробника, и курсор мыши будет выполнять его роль: при наведении на любой сегмент сети отобразятся следующие данные:

- напряжение (мгновенное, амплитуда, среднеквадратичное и постоянный сдвиг).
- частота.

Результаты эмуляции также отображаются на виртуальных приборах.

При появлении сообщения об ошибке, запустите Советника и воспользуйтесь полученной информацией.

В результате проверки правил электротехники (Electrical Rules Check) генерируется отчет с подробной информации об ошибках (например, выходной разъем соединен с разъемом питания), и несоединенных разъемах. После соединения всех элементов проверьте схему на основании правил в диалоговом окне ERC.

В зависимости от схемы вам могут потребоваться предупреждения об определенных типах соединений, ошибки в случае наличия других и ОК для всех остальных. Тип соединений и сообщений устанавливается на закладке Правила ERC (ERC Rules) в диалоговом окне Electrical Rules Check.

Можно выполнить Проверку всей схемы или определенного участка. Во время проверки все некорректности отображаются в панели результатов в нижней части экрана, а на схеме отображаются маркеры. При щелчке по ошибке экран центрируется на ней и увеличивается масштаб.

Закладки Опции проверки (ERC Options) и Правила проверки (ERC Rules) предназначены для настроек.

Для начала самостоятельно проверки:

1. Выберите пункт Инструменты/Проверка правил электротехники (Tools/Electrical Rules Check), откроется окно Проверки (Electrical Rules Check).
2. Настройте параметры отчета на закладке Опции проверки (ERC Options).
3. Установите параметры проверки на закладке Правила проверки (ERC Options).
4. Нажмите ОК. Формат отображения результатов устанавливается в разделе Результаты (Output) на закладке ERC Options.

***Виртуальные приборы* — это модельные компоненты Multisim, которые соответствуют реальным приборам. Например, среди виртуальных приборов в Multisim есть осциллографы, генераторы сигналов, сетевые анализаторы и плоттеры бode.**

Виртуальные приборы — это простой и понятный метод взаимодействия со схемой, почти не отличающийся от традиционного при тестировании или создании прототипа.

Виртуальные приборы Lab VIEW могут регистрировать реальные данные, пользоваться ими во время эмуляции, отправлять данные на вывод аналоговых приборов. Таким образом, эмулированные данные могут управлять реальными приборами. Для создания виртуальных приборов среда разработки Lab VIEW необходима, а для использования уже созданных — нет.

Чтобы добавить виртуальный прибор, выберите его с панели Приборов (Instruments). Чтобы посмотреть лицевую панель прибора, дважды кликните на иконку прибора. Терминалы прибора соединяются с элементами схемы так же, как и для других компонентов.

В Multisim также есть эмулированные реально-существующие приборы. К таким приборам относится Tektronix TDS 2024 Oscilloscope. Они выглядят и действуют точно в соответствии с техническим описанием производителя.

В каждой схеме может быть много приборов, включая и копии одного прибора. Кроме того, у каждого окна схемы может быть свой набор приборов. Каждая копия прибора настраивается и соединяется отдельно.

Более подробная информация о каждом приборе есть в руководстве пользователя Multisim (User Guide) и в файле справки (helpfile).

Желаем удачи! И будьте внимательны!

Методические рекомендации по работе в программе

Multisim 10

- Как измерить силушку богатырскую?
- Надо умножить массушку на ускореньице!

Подключение анализатора вольтамперных характеристик.

Подключите исследуемый компонент к гнездам, расположенным в рядах 3-WIRE (3-х проводная схема подключения), CURRENT HI (Ток – высокий потенциал) и CURRENT LO (Ток – низкий потенциал). Ниже показано, как подключаются различные электронные компоненты.

Подключение амперметра

Соедините проводниками гнезда CURRENT HI и CURRENT LO с точками схемы, в которых необходимо произвести измерение. CURRENT HI соответствует входу амперметра "+" - высокий потенциал. CURRENT LO соответствует входу "-" амперметра – низкий потенциал.

Запуск активного прибора

Дважды щелкните по надписи "DMM" (*по верхней части обозначения*). Откроется панель управления мультиметром в режиме анализатора вольтамперных характеристик, если был активизирован анализатор, или панель управления мультиметром в режиме измерения тока, если активизирован амперметр (см. выше).

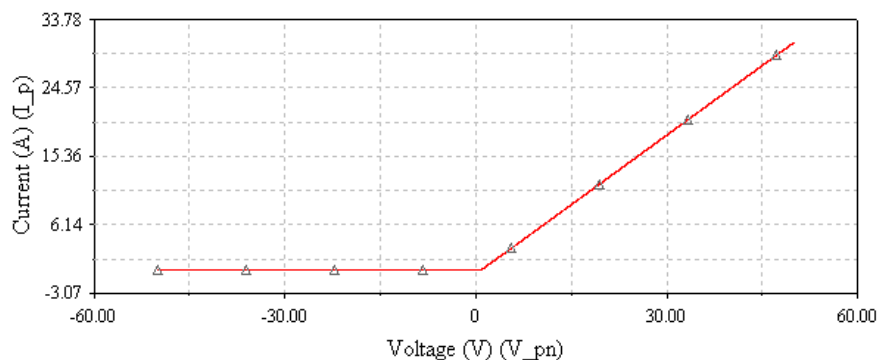
Подробно работа с мультиметром в этих режимах описана в документе *Guide* ("Руководство пользователя Multisim 9").

Подключение Вольтметра/Омметра

Соедините проводниками гнезда VOLTAGE HI (Напряжение – высокий потенциал) и VOLTAGE LO (Напряжение – низкий потенциал) с точками схемы, в которых необходимо произвести измерение. VOLTAGE HI соответствует входу "+", VOLTAGE LOW - входу "-" прибора.

Запуск вольтметра и омметра.

Дважды щелкните по надписи "DMM" (*по нижней части обозначения*). Откроется панель управления мультиметром в режиме омметра и вольтметра.



Для сохранения полученной характеристики воспользуйтесь командами View/Grapher, а затем Copy, после чего вставьте картинку в отчет. Анализатор вольтамперных характеристик и амперметр не могут использоваться одновременно. Когда открывается новый проект Virtual ELVIS Schematic, разрешена работа только с амперметром, а работа с анализатором вольтамперных характеристик запрещена, информация об этом отображается над левой нижней группой гнезд.

Чтобы воспользоваться анализатором и отключить амперметр щелкните дважды левой кнопкой мышки по надписи о состоянии этих приборов. Активизируется анализатор вольтамперных характеристик.

Повторный двойной щелчок по надписи возвращает анализатор и амперметр в исходное состояние.

***Примечание.** Если активен анализатор вольтамперных характеристик, то при включении моделирования возникает незначительная задержка из-за установки режима по постоянному току. При работе с амперметром таких задержек не возникает.*

Компоненты учебной версии

Оценочные виртуальные компоненты

Приводятся описания компонент, специфичных для учебной версии Multisim 10. Оценочные виртуальные компоненты расположены в подразделе **Basic Group** (Основная группа) раздела **Rated Virtual** (Оценочные виртуальные).

В состав этой группы компонентов входят виртуальные компоненты, которые могут быть выведены из строя, если в процессе моделирования схемы на них подаются сигналы спараметрами, не соответствующими

допустимым. Значения допусков устанавливаются в окне свойств каждого компонента на закладке **Values** (Значения).

***Подсказка.** "Номинальные" значения, задаваемые на закладке **Value**, определяют характеристики и поведение компонента в ходе моделирования. "Максимальные" значения устанавливают пределы, выход за которые приводит к выходу из строя ("сгоранию") компонента.*

Оценочные биполярные транзисторы (Rated BJTs)

Биполярный транзистор (Bipolar Junction Transistor) – полупроводниковый прибор, управляемый током. Биполярный транзистор работает в трех режимах, определяемых тем, какой элемент является общим для входа и выхода: общая база, общий эмиттер или общий коллектор. Эти режимы отличаются входным и выходным импедансами и коэффициентами усиления, предоставляя различные преимущества для разработчика электронных схем.

***Примечание** Подробнее биполярный транзистор рассмотрен в *Component Reference Guide* (Справочник по компонентам).*

Ввод установок для биполярного транзистора:

1. Щелкните дважды по установленному в схему компоненту, а затем по закладке **Value**.

2. Измените, если необходимо, значения следующих параметров:

- **Maximum Forward Beta** - максимально возможное значение коэффициента при прямом включении транзистора, превышение которого приводит к тому, что транзистор "сгорит".

- **Animation Delay Factor** – множитель задержки для анимации - увеличение этого параметра приводит к уменьшению скорости "сгорания" транзистора. Параметр не имеет отношения к процессам реального времени

- **Maximum Collector-Emitter Voltage** – максимально допустимое напряжение коллектор- эмиттер. Если в процессе моделирования схемы это напряжение превышено, то транзистор "сгорит".

- **Maximum Collector-Base Voltage** – максимально допустимое напряжение коллектор база. Если в процессе моделирования схемы это напряжение

превышено, то транзистор "сгорит".

- **Maximum Emitter-Base Voltage** – максимально допустимое напряжение эмиттер-база. Если в процессе моделирования схемы это напряжение превышено, то транзистор "сгорит".

- **Maximum Collector Current** – максимально допустимое значение тока коллектора. Если в процессе моделирования схемы ток коллектора превысит это значение, то транзистор "сгорит".

- **Saturation Current** - максимально допустимое значение тока насыщения. Если в процессе моделирования схемы ток насыщения превысит это значение, то транзистор "сгорит".

3. Щелкните по кнопке **ОК**

Оценочные конденсаторы (Rated Capacitors)

Конденсатор – компонент, способный накапливать электрическую энергию. Широко применяется для фильтрации или для удаления постоянной составляющей напряжения в различных схемах переменного тока. В цепях постоянного тока конденсатор может быть использован для блокировки прохождения переменных составляющих, которые возникают при изменении сигналов.

Величина, определяющая значение накопленной конденсатором энергии, называется емкостью, C , и измеряется в фарадах. Как правило, значения емкости находятся в интервале от пкФ до мФ.

Конденсатор переменной емкости моделируется как разомкнутая цепь, параллельно которой протекает ток, стремящийся к нулю из-за большого значения импеданса.

Поляризованный конденсатор необходимо правильно подключать с учетом его полярности. В противном случае возникает сообщение об ошибке. Емкость поляризованного конденсатора измеряется в фарадах, и ее значение находится в диапазоне от пкФ до Ф.

Примечание. Подробнее конденсаторы рассмотрены в *Component Reference Guide* (Справочник по компонентам).

Настройки конденсатора

1. Щелкните дважды по установленному в схему компоненту, а затем по закладке **Value**.

2. Измените, если необходимо, значения следующих параметров:

- **Animation Delay Factor** – множитель задержки для анимации - увеличение этого параметра приводит к уменьшению скорости "сгорания" конденсатора.

Параметр не имеет отношения к процессам реального времени

- **Capacitance** – введите требуемое значение емкости.

- **Voltage Rating (Pk)** – максимально допустимое пиковое значение напряжения на конденсаторе. Если в процессе моделирования схемы напряжение превысит введенное значение, то конденсатор "сгорит".

- **Initial Conditions** – начальные условия - определяют начальный уровень заряда конденсатора перед запуском процесса моделирования

3. Щелкните по кнопке **OK**.

Оценочные диоды (Rated Diodes)

Диоды пропускают ток только в одном направлении и поэтому могут быть использованы как простые твердотельные ключи в цепях переменного тока. Такой ключ находится в разомкнутом (непроводящем) состоянии, либо в замкнутом (проводящем) состоянии. У диода есть два вывода – вывод А, называемый анодом, и вывод К - катод.

***Примечание.** Подробнее диоды рассмотрены в *Component Reference Guide* (Справочник по компонентам).*

Настройки диода:

1. Щелкните дважды по установленному в схему компоненту, а затем по закладке **Value**.

2. Измените, если необходимо, значения следующих параметров:

- **Animation Delay Factor** – множитель задержки для анимации - увеличение этого параметра приводит к уменьшению скорости "сгорания" диода.

Параметр не имеет отношения к процессам реального времени.

- **Reverse Breakdown Voltage** - обратное напряжение пробоя.

- **Current Breakdown Voltage** - ток при напряжении пробоя.
- **Saturation Current** • - максимально допустимый прямой ток. Если в процессе моделирования схемы значение тока превысит введенную уставку, то диод "сгорит".
- **Transit Time** – длительность переходного процесса (сек) - используется для моделирования накопления заряда – относится к времени жизни электронов или дырок p-n перехода.

3. Щелкните по кнопке **OK**

Оценочные предохранители (Rated Fuses)

Предохранитель – это резистивный элемент, обеспечивающий защиту от перегрузок по мощности и току. Предохранитель сгорает (разрушается), если ток цепи превысит максимальное значение I_{max} . Интервал значений I_{max} - мА.кА.

***Примечание.** Подробные предохранители рассмотрены в *Component Reference Guide* (Справочник по компонентам).*

Настройки предохранителя:

1. Щелкните дважды по установленному в схему компоненту, а затем по закладке **Value**.

2. Измените, если необходимо, значения следующих параметров:

- **Animation Delay Factor** – множитель задержки для анимации - увеличение этого параметра приводит к уменьшению скорости "сгорания" предохранителя. Параметр не имеет отношения к процессам реального времени.

- **Maximum Current (I_{max})** - максимально допустимое значение тока, протекающего через предохранитель. Если в процессе моделирования значение тока превысит заданное значение, то предохранитель "сгорит".

3. Щелкните по кнопке **OK**.

Оценочный операционный усилитель (Rated Opamp)

Идеальный операционный усилитель – это усилитель с бесконечным коэффициентом усиления, бесконечным входным импедансом и нулевым

выходным импедансом. В схемах с отрицательной обратной связью операционный усилитель может быть использован для выполнения таких функций, как сложение, вычитание, дифференцирование, интегрирование, усреднение и усиление.

Операционный усилитель может иметь несимметричные вход и выход, дифференциальный вход и несимметричный выход, дифференциальный вход и дифференциальный выход.

Примечание. Подробнее операционные усилители рассмотрены в *Component Reference Guide (Справочник по компонентам)*.

Настройка операционного усилителя:

1. Щелкните дважды по установленному в схему компоненту, а затем по закладке **Value**.

2. Измените, если необходимо, значения следующих параметров:

- **Animation Delay Factor** – множитель задержки для анимации - увеличение этого параметра приводит к уменьшению скорости "сгорания" операционного усилителя. Параметр не имеет отношения к процессам реального времени.
- **Maximum Supply Voltage (+/-)** – максимально допустимые значения напряжений питания усилителя. Если в процессе моделирования напряжение питания превысит допустимое значение – усилитель "сгорит".
- **Maximum Input Voltage (+/-)** – максимально допустимое напряжение на входе усилителя. Если в процессе моделирования напряжение на входе превысит допустимое значение – усилитель "сгорит".
- **Maximum Differential Input Voltage** – максимально допустимое значение разности напряжений на входах схемы. Если в процессе моделирования напряжение превысит допустимое значение – усилитель "сгорит".
- **Maximum Sink/Source Output Current** – максимально допустимый ток нагрузки выходного каскада усилителя (втекающий/вытекающий ток). Если в процессе моделирования ток нагрузки превысит допустимое значение – усилитель "сгорит".

3. Щелкните по кнопке **ОК**.

Оценочный таймер 555 (Rated Timer 555)

Таймер 555 – это интегральная схема, обычно используемая как автоколебательный мультивибратор, мультивибратор с одним устойчивым состоянием или генератор, управляемый напряжением. Таймер 555 построен на базе двух компараторов, резистивного делителя напряжения, триггера и транзистора разряда емкости. Этот компонент обладает двумя устойчивыми состояниями, которые отличаются "низким" и "высоким" уровнем выходного напряжения. Состояние таймера определяется входными сигналами, а также элементами внешней времязадающей цепочки.

***Примечание.** Подробнее таймер 555 рассмотрен в *Component Reference Guide* (Справочник по компонентам)*

Ввод установок для таймера

1. Щелкните дважды по установленному в схему компоненту, а затем по закладке **Value**.

2. Измените, если необходимо, значения следующих параметров:

- **Animation Delay Factor** – множитель задержки для анимации - увеличение этого параметра приводит к уменьшению скорости "сгорания" таймера. Параметр не имеет отношения к процессам реального времени.
- **Maximum Supply Voltage** – максимально допустимое значение напряжения питания, подаваемое на схему. Если в процессе моделирования схемы питание превысило это значение, то вывод VCC таймера "сгорает".
- **Maximum Output Current** – максимально допустимое значение выходного тока. Если в процессе моделирования схемы выходной ток превысил это значение, то вывод OUT таймера "сгорает".

3. Щелкните по кнопке **ОК**.

Лабораторная работа № 1.

Исследование полупроводникового диода

Цель:

1. Исследование статического сопротивления диода.
2. Исследование вольтамперной характеристики (ВАХ) полупроводникового диода.
3. Анализ сопротивления диода на переменном и постоянном токе.

Приборы и элементы:

- Функциональный генератор,
- Мультиметр,
- Характериограф
- Источник постоянного напряжения,
- Резисторы,
- Диод (выбрать свой тип диода из таблицы согласно варианту).

Таблица 1.1

Вариант	Тип прибора
1	1N5621GP
2	1N5398GP
3	1N5397GP
4	1N4886GP

В таблице указан вариант и соответствующий ему тип прибора. Прибор можно найти: программа «Multisim»→Выбор компонента→Раздел «Diodes»→DIODE и в правом окне (Компонент) найти и выбрать свой тип прибора. В подразделе DIODES_VIRTUAL находится модель идеального прибора DIODE_VIRTUAL.

Теоретическая часть

Одним из достоинств *Multisim* является возможность смоделировать ситуации, возникающие при самых различных уровнях приборной оснащённости исследователя, и освоить методики измерения, соответствующие этим уровням. Рассмотрим эти ситуации на примере измерения вольтамперной характеристики полупроводникового диода.

Проще всего в этом случае измерять напряжение и статические сопротивления на диоде в схеме *рис. 1.1*, подсоединяя к диоду через резистор источники напряжения различной величины.

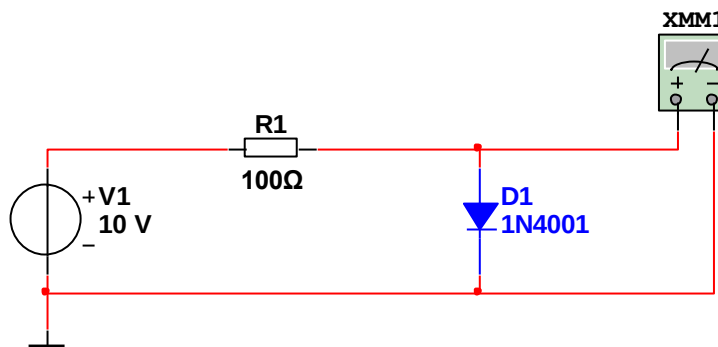


Рис. 1.1. Схема измерения напряжения на диоде

Ток диода при этом можно вычислять из выражения:

$$I_{\text{пр}} = (E - U_{\text{пр}})/K, \quad (1.1)$$

где $I_{\text{пр}}$ - ток диода в прямом направлении,

E - напряжение источника питания,

$U_{\text{пр}}$ - напряжение на диоде в прямом направлении.

Изменив полярность включения диода в той же схеме *рис. 1.1*, можно снять ВАХ диода по той же методике и в обратном направлении

$$I_{\text{об}} = (E - U_{\text{об}})/R, \quad (1.2)$$

где $I_{\text{об}}$ - ток диода в обратном направлении,

$U_{\text{об}}$ - напряжение на диоде в обратном направлении.

Точность при таких измерениях невысока из-за разброса сопротивлений у резисторов одного номинала. И если Вы хотите получить более точную характеристику, используя только один мультиметр, необходимо сначала измерить напряжение в схеме *рис. 1.1*, а затем ток в схеме *рис. 1.2*. При этом можно пользоваться по-прежнему только мультиметром, подключая его сначала как вольтметр, потом как амперметр.

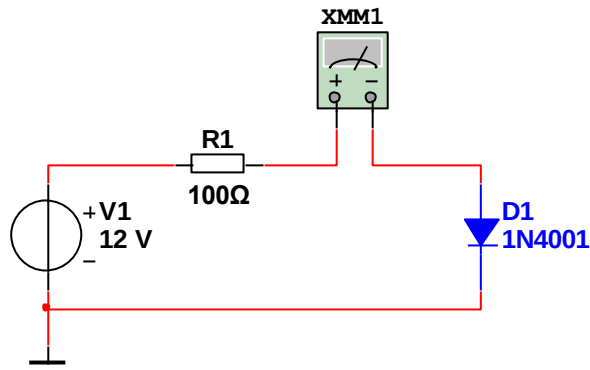


Рис. 1.2. Схема измерения тока через диод

Гораздо быстрее можно выполнить эту работу, если у Вас имеется и вольтметр и амперметр. Тогда, включив их по схеме *рис. 1.3*, можно сразу видеть ток и напряжение на табло этих приборов. Вольтамперная характеристика (ВАХ) может быть получена путем измерения напряжений на диоде при протекании различных токов за счет изменения напряжения источника питания E .

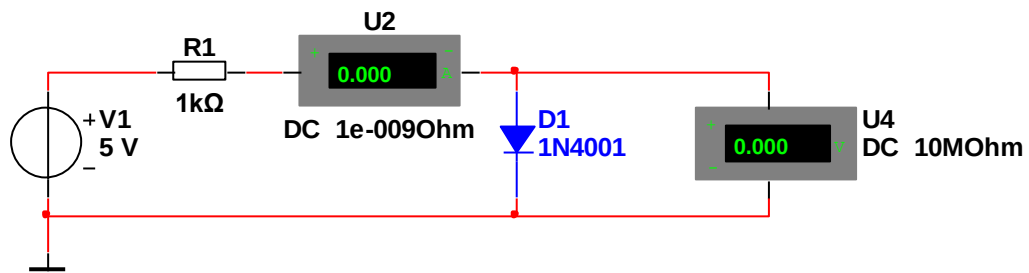


Рис. 1.3. Схема исследования ВАХ диода методом вольтметра-амперметра

И, наконец, наиболее быстро и удобно можно исследовать ВАХ, непосредственно наблюдая ее на экране характериографа *рис. 1.4*

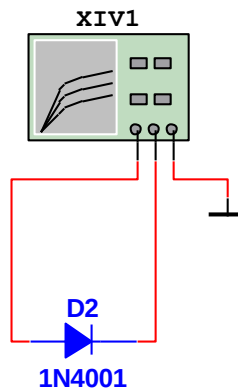


Рис. 1.4 Схема для наблюдения ВАХ диода.

Из-за нелинейности диода его нельзя характеризовать величиной сопротивления, как линейный резистор. Отношение напряжения на диоде к току через него U/I , называемое статическим сопротивлением, зависит от величины тока.

$$R_{\text{пр.ст}} = U_{\text{пр}} / I_{\text{пр}} \quad (1.3)$$

$$R_{\text{об.ст}} = U_{\text{об}} / I_{\text{об}} \quad (1.4)$$

В ряде применений на существенную постоянную составляющую тока диода накладывается небольшая переменная составляющая (обычно при этом говорят, что элемент работает в режиме малых сигналов). В этом случае интерес представляет дифференциальное (или динамическое) сопротивление dU/dI . Величина динамического сопротивления зависит от постоянной составляющей тока диода, определяющей рабочую точку на характеристике.

Порядок проведения экспериментов

Эксперимент 1. Измерение статического сопротивления диода

Соберите схему (рис. 1.1). Поставьте в схему свой тип диода. Измерьте сопротивление диода в прямом и обратном подключении, используя мультиметр в режиме омметра. Диод при этом должен быть отключен от измерительной цепи и подключен непосредственно к зажимам омметра. Малые значения сопротивления соответствуют прямому подключению. Изменив измерительный ток омметра, мы обнаружим, что показания прибора различны. Почему? Запишите показания в таблицу 1.1 раздела "Результаты экспериментов". Замените свой тип диода `DIODE_VIRTUAL`, повторите эксперимент. Сравните исследуемый диод с идеальным.

Эксперимент 2. Снятие вольтамперной характеристики диода.

а). Прямая ветвь ВАХ. Соберите схему (рис. 1.3). Поставьте свой тип прибора. Включите схему. Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 5 В, 4 В, 3 В, 2 В, 1 В, 0.5 В, 0 В запишите значения напряжения $U_{\text{пр}}$ и тока $I_{\text{пр}}$ диода в таблицу 1.2 раздела "Результаты экспериментов".

б). **Обратная ветвь ВАХ.** Переверните диод. Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 0 В, 10 В, 15 В, 30 В запишите значения тока $I_{об}$ и напряжения $U_{об}$ в таблицу 1.3 раздела "Результаты экспериментов".

в). По полученным данным постройте графики $I_{пр}(U_{пр})$ и $I_{об}(U_{об})$.

г). Постройте касательную к графику прямой ветви ВАХ при $I_{пр} = 4$ мА и оцените дифференциальное сопротивление диода по наклону касательной. Прodelайте ту же процедуру для $I_{пр} = 0.4$ мА и $I_{пр} = 0.2$ мА. Ответы запишите в раздел "Результаты экспериментов".

д). Аналогично предыдущему пункту оцените дифференциальное сопротивление диода при обратном напряжении 5 В и запишите экспериментальные данные в раздел "Результаты экспериментов".

е). Вычислите статическое сопротивление диода на постоянном токе $I_{пр} = 4$ мА по формуле 1.3 и занесите результат в раздел "Результаты экспериментов".

ж). Определите напряжение изгиба. Результаты занесите в раздел "Результаты экспериментов". Напряжение изгиба определяется из вольтамперной характеристики диода, смещенного в прямом направлении, для точки, где характеристика претерпевает резкий излом.

Замените свой тип диода DIODE_VIRTUAL, повторите эксперимент. Сравните исследуемый диод с идеальным.

Эксперимент 3. Получение ВАХ на экране характериографа.

Соберите схему (рис. 1.4). Поставьте свой тип прибора. Включите схему. На ВАХ, появившейся на экране характериографа, по горизонтальной оси считывается напряжение на диоде, а по вертикальной - ток в миллиамперах. Настройте масштабы по осям характериографа так. Чтобы увидеть плавный изгиб ВАХ. С помощью движка на экране измерьте токи и напряжения в нескольких характерных точках. Обратите внимание на изгиб ВАХ. Измерьте и запишите в раздел "Результаты экспериментов" величину напряжения изгиба.

Замените свой тип диода DIODE_VIRTUAL, повторите эксперимент.
Сравните исследуемый диод с идеальным.

Лабораторная работа № 2.

Исследование стабилитрона

Цель:

1. Построение обратной ветви вольтамперной характеристики стабилитрона и определение напряжения стабилизации.
2. Вычисление тока и мощности, рассеиваемой стабилитроном, дифференциального сопротивления стабилитрона по вольтамперной характеристике.
3. Исследование схемы параметрического стабилизатора.
 - при изменении входного напряжения
 - при изменении сопротивления нагрузки.

Приборы и элементы:

- Функциональный генератор
- Мультиметр
- Осциллограф
- Источник постоянного напряжения
- Резисторы
- Стабилитрон (выбрать из таблицы тип прибора, согласно варианту)

Таблица 2.1

Вариант	Тип прибора (зарубежный/отечественный аналоги)(подраздел)
1	1N4732
2	1N4678 / KC147A
3	1N4742
4	1N5986
5	1N5990

В таблице указан вариант и соответствующий ему тип прибора. Прибор можно найти: программа «Multisim»→Выбор компонента→Раздел «Diodes» →ZENER и в правом окне (Компонент) найти и выбрать свой тип прибора. В подразделе DIODES_VIRTUAL находится модель идеального (виртуального) стабилитрона ZENER_VIRTUAL.

Теоретическая часть

При подключении стабилитрона к источнику постоянного напряжения через резистор получается простейшая схема параметрического стабилизатора *рис. 2.1*.

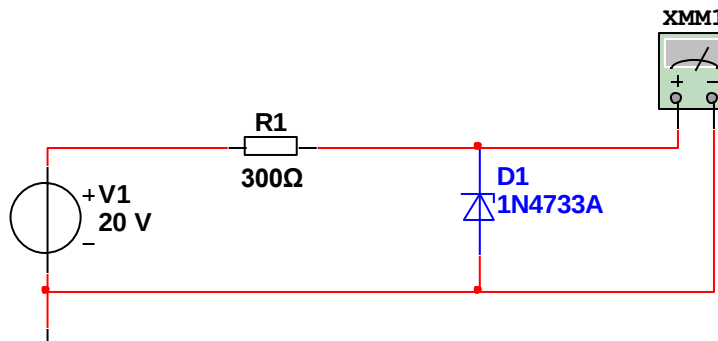


Рис. 2.1. Схема исследования ВАХ стабилитрона

Ток $I_{ст}$ стабилитрона может быть определен вычислением падения напряжения на резисторе R:

$$I_{ст} = (E - U_{ст})/R \quad (2.1)$$

Напряжение стабилизации $U_{ст}$ стабилитрона определяется точкой на вольтамперной характеристике, в которой ток стабилитрона резко увеличивается. Мощность рассеивания стабилитрона $P_{ст}$ вычисляется как произведение тока $I_{ст}$ на напряжение $U_{ст}$:

$$P_{ст} = I_{ст} * U_{ст} \quad (2.2)$$

Дифференциальное сопротивление стабилитрона вычисляется так же, как для диода, по наклону вольтамперной характеристики.

Параметрическим стабилизатором называется стабилизатор, в котором стабилизация напряжения (тока) осуществляется за счет включения нелинейного элемента, имеющего соответствующую ВАХ. Параметры нелинейных элементов (стабилитронов) изменяются с изменением напряжения (тока) таким образом, что напряжение (ток) на нагрузке остается почти неизменным по величине. В стабилизаторах напряжения нелинейный

элемент включают параллельно нагрузке, в стабилизаторах тока последовательно.

Коэффициент стабилизации - это отношение относительного изменения напряжения на входе стабилизатора к соответствующему относительному изменению напряжения на его выходе (при этом R_n считаем постоянным). Чем больше коэффициент стабилизации, тем меньше изменяется выходное напряжение при изменении входного.

Для параметрического стабилизатора коэффициент стабилизации можно рассчитать по формуле

$$K_{ст} = \frac{U_{ст} \cdot R}{U_{вх} \cdot R_{диф}} \quad (2.3)$$

Порядок проведения экспериментов

Эксперимент 1. Измерение напряжения и вычисление тока через стабилитрон.

а). Соберите схему (рис. 2.1). Поставьте в схему тип своего прибора. Измерьте значение напряжения $U_{ст}$ на стабилитроне при значениях ЭДС источника, приведенных в таблице раздела "Результаты экспериментов", и занесите результаты измерений в ту же таблицу.

б). Вычислите ток $I_{ст}$ стабилитрона по формуле (2.1) для каждого значения напряжения $U_{ст}$. Результаты вычислений занесите в таблицу.

в). По данным таблицы постройте вольтамперную характеристику стабилитрона.

г). Оцените по вольтамперной характеристике стабилитрона напряжение стабилизации.

д). Вычислите мощность $P_{ст}$, рассеиваемую на стабилитроне, при напряжении $E = 20$ В по формуле (2.2).

е). Измерьте наклон ВАХ в области стабилизации напряжения и оцените дифференциальное сопротивление стабилитрона в этой области.

ж). Вычислите коэффициент стабилизации по формуле (2.3).

Эксперимент 2. Получение нагрузочной характеристики параметрического стабилизатора.

а). Подключите резистор $R_L=75\ \text{Ом}$ параллельно стабилитрону. Значение источника ЭДС установите равным 20В. Включите схему. Запишите значение напряжения $U_{\text{ст}}$ на стабилитроне в раздел "Результаты экспериментов".

б). Повторите пункт а) при коротком замыкании и при сопротивлениях резистора R_L , равных 100 Ом, 200 Ом, 300 Ом, 600 Ом, 1 кОм.

в). Рассчитайте ток I_1 через резистор R , включенный последовательно с источником, ток I_L через резистор R_L и ток стабилитрона $I_{\text{ст}}$ (применив известные законы Ома и Кирхгофа) для каждого значения R_L из таблицы, приведенной в разделе "Результаты экспериментов". Результаты занесите в таблицу.

Эксперимент 3. Схема двухстороннего ограничителя напряжения на стабилитронах.

а). Соберите схему (рис. 2.2). Поставьте в схему свой тип прибора. Подайте на вход схемы синусоидальный сигнал частотой 100 Гц и амплитудой, равной $2U_{\text{ст}}$ вашего стабилитрона. Зарисуйте осциллограмму, соблюдая масштаб. Объясните наблюдаемое преобразование сигнала.

б). Уменьшайте амплитуду сигнала до исчезновения эффекта ограничения. Объясните наблюдаемое явление.

в). Проверьте работоспособность ограничителя на высокой частоте, для чего увеличивайте частоту в 10, 100 и более раз до исчезновения эффекта ограничения. Объясните наблюдаемое явление.

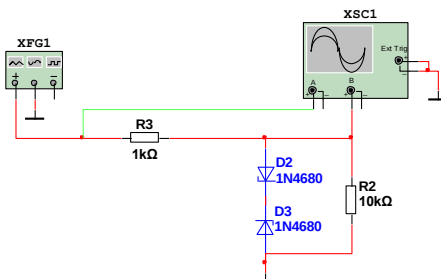


Рис. 2.2. Схема двухстороннего ограничителя напряжения на стабилитронах

Лабораторная работа № 3.

Исследование биполярного транзистора

Цель:

1. Исследование зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения коллектор-эмиттер.
2. Анализ зависимости коэффициента усиления по постоянному току от тока коллектора.
3. Исследование работы биполярного транзистора в режиме отсечки.
4. Получение входных и выходных характеристик транзистора.
5. Определение коэффициента передачи по переменному току.
6. Исследование динамического входного сопротивления транзистора.

Приборы и элементы:

- Источники постоянной ЭДС
- Источники переменной ЭДС
- Амперметры
- Вольтметры
- Осциллограф
- Резисторы
- Биполярный транзистор (выбирается по заданному варианту)

Таблица 3.1

Вариант	Тип прибора (зарубежный/отечественный аналоги)
1	2N2222 / KT3117A
2	2N3904 / KT375A
3	2N2712 / KT315Б
4	2N3390 / KT373B
5	2N3707 / KT3102Г

В таблице указан вариант и соответствующий ему тип прибора. Прибор можно найти: программа «Multisim»→Выбор компонента «Транзисторы»→Раздел «Transistors»→BJT_NPB и в правом окне (Компонент) найти и выбрать свой тип прибора.

Теоретическая часть

Статический коэффициент передачи тока определяется как отношение тока коллектора I_k к току базы $I_б$:

$$\beta_{DC} = I_k / I_б \quad (3.1)$$

Коэффициент передачи тока β_{AC} определяется отношением приращения ΔI_k коллекторного тока к вызывающему его приращению $\Delta I_б$ базового тока:

$$\beta_{AC} = \Delta I_k / \Delta I_б \quad (3.2)$$

Дифференциальное входное сопротивление $r_{вх}$ транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ) определяется при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер к вызванному им приращению $\Delta I_б$ тока базы:

$$r_{BX} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_б = (U_{бэ2} - U_{бэ1}) / (I_{б2} - I_{б1}) \quad (3.3)$$

Дифференциальное входное сопротивление $r_{вх}$ транзистора в схеме с ОЭ через параметры транзистора определяется следующим выражением:

$$r_{BX} = r_б + \beta_{AC} * r_э \quad (3.4)$$

где $r_б$ - распределенное сопротивление базовой области полупроводника,

$r_э$ - дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер, Ом, определяемое из выражения:

$r_э = 25 / I_э$, где $I_э$ - постоянный ток эмиттера в миллиамперах.

Первое слагаемое $r_б$ в выражении много меньше второго, поэтому им можно пренебречь:

$$r_{BX} = \beta_{AC} * r_э, \quad (3.5)$$

Дифференциальное сопротивление $r_э$ перехода база-эмиттер для биполярного транзистора сравнимо с дифференциальным входным сопротивлением r_{BXOB} транзистора в схеме с общей базой, которое определяется при фиксированном значении напряжения база-коллектор. Оно

может быть найдено как отношение приращения $\Delta U_{бэ}$ к вызванному им приращению $\Delta I_э$ тока эмиттера:

$$r_{ВХОБ} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_э = (U_{бэ2} - U_{бэ1}) / (I_{э2} - I_{э1}) \quad (3.6)$$

Через параметры транзистора это сопротивление определяется выражением:

$$r_{ВХОБ} = r_B / \beta_{AC} + r_э \quad (3.7)$$

Первым слагаемым в выражении можно пренебречь, поэтому можно считать, что дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер приблизительно равно:

$$r_{ВХОБ} \approx r_э \quad (3.8)$$

Порядок проведения экспериментов

Эксперимент 1. Определение статического коэффициента передачи тока транзистора.

Соберите схему (рис. 3.1). Поставьте в схему свой тип прибора. Изменить номинал источника ЭДС Еб до 2.68 В. Записать результаты измерения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер в раздел "Результаты экспериментов". По полученным результатам подсчитать статический коэффициент передачи транзистора β_{DC} .

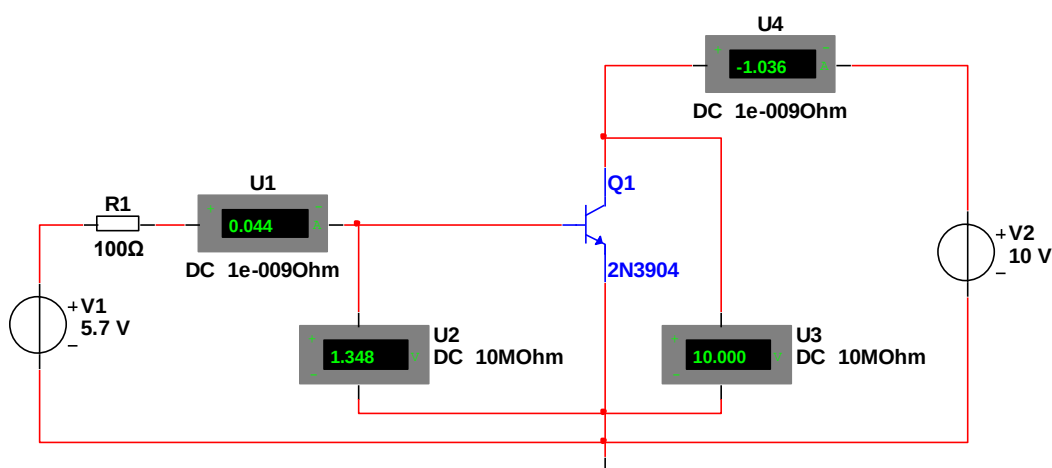


Рис. 3.1. Схема исследования биполярного транзистора

Эксперимент 2. Получение выходной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ).

а). В схеме (рис. 3.1) провести измерения тока коллектора I_K для каждого значения E_K и E_B и заполнить таблицу 3.1 в разделе "Результаты экспериментов". По данным таблицы построить график зависимости I_K от E_K .

б). Соберите схему (рис. 3.2). Поставьте в схему свой тип прибора. В данной схеме используется источник тока, управляемый напряжением - $I f(U)$.

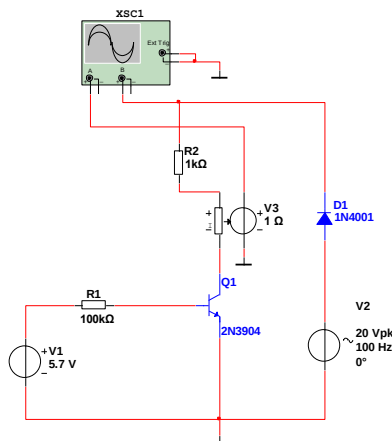


Рис. 3.2. Схема для снятия выходной ВАХ транзистора

Включить схему. Зарисовать осциллограмму выходной характеристики, соблюдая масштаб. Повторить измерения для каждого значения E_B из таблицы 3.1. Осциллограммы выходных характеристик для разных токов базы зарисовать в разделе "Результаты экспериментов" на одном графике.

в). По выходной характеристике найти коэффициент передачи тока β_{AC} при изменении базового тока с $10 \mu A$ до $30 \mu A$, $E_K = 10 V$.

Эксперимент 3. Получение входной характеристики транзистора в схеме с ОЭ.

а). Соберите схему (рис. 3.1). Поставьте в схему свой тип прибора. Установить значение напряжения источника E_K равным $10 V$ и провести измерения тока базы I_B , напряжения база-эмиттер $U_{BЭ}$, тока эмиттера I_E для различных значений напряжения источника E_B , в соответствии с таблицей 3.2. Обратите внимание, что коллекторный ток примерно равен току в цепи эмиттера. (3.1.ms10)

б). По данным таблицы 3.2 построить график зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер.

в). Соберите схему (рис. 3.3). Поставьте в схему свой тип прибора. Включите схему. Зарисовать входную характеристику транзистора, соблюдая масштаб, в отчет. (3.3.ms10)

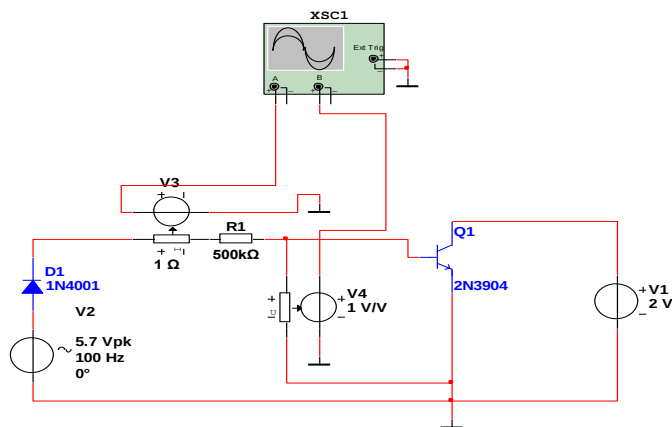


Рис. 3.3. Схема для снятия входной характеристики транзистора

г). По входной характеристике найти сопротивление $r_{вх}$ при изменении базового тока с $10 \mu\text{A}$ до $30 \mu\text{A}$.

Эксперимент 4. Измерение обратного тока коллектора

На схеме (рис 3.1) установите номинал источника ЭДС E_b равным нулю. Включите схему. Запишите результаты измерения тока коллектора для данных значений тока базы и напряжения коллектор-эмиттер в соответствующий раздел отчета.

Лабораторная работа № 4.

Транзисторные ключи

Цель: изучить принцип работы, схемотехнику и основные правила расчётов параметров транзисторных ключей.

Приборы и элементы:

- Резисторы, конденсатор, катушка индуктивности
- Лампа, диод
- Источник постоянного напряжения
- Источник прямоугольных импульсов
- Осциллограф
- Биполярный транзистор (выбирается по заданному варианту)

Вариант	Тип прибора (зарубежный/отечественный аналоги)
1	2N2222 / КТ3117А
2	2N3904 / КТ375А
3	2N2712 / КТ315Б
4	2N3390 / КТ373В
5	2N3707 / КТ3102Г

Теоретическая часть

Схема на биполярном транзисторе с ОЭ, на вход которой подаются прямоугольные импульсы управления, может с помощью небольшого управляющего тока создавать в главной цепи ток значительно большей величины. Такая схема называется транзисторным ключом. Ключевой режим работы характеризуется тем, что транзистор находится в одном из двух состояний: в полностью открытом (режим насыщения), или полностью закрытом (состояние отсечки).

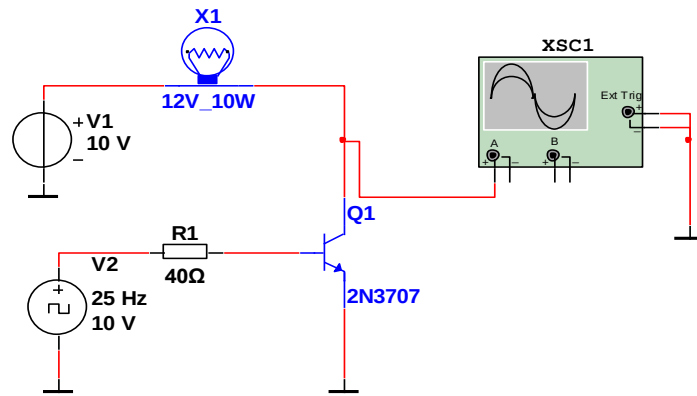


Рис. 4.1. Простейший транзисторный ключ

Рассмотрим схему, приведённую на рис. 4.1. Когда на входе устройства напряжение управления $U_y = 0$, ток базы отсутствует, значит, отсутствует и ток коллектора, лампа не горит. Когда на входе устройства напряжение управления $U_y = 10\text{В}$, напряжение на базе составляет $U_{\text{б}} = 0.6\text{В}$ (диод база - эмиттер открыт). Падение напряжения на резисторе R_1 составляет $U_{R1} = 9.4\text{В}$, следовательно, ток базы

$$I_{\text{б}} = \frac{U_{R1}}{R1} = \frac{9.4}{1} = 9.4\text{мА} \quad (4.1)$$

Когда потенциал коллектора приближается к потенциалу эмиттера, транзистор переходит в режим насыщения (типичные значения напряжения насыщения $U_{\text{ненас}} = 0.1 \div 0.25\text{В}$, этот параметр приводится в справочниках) и изменение потенциала коллектора прекращается.

Итак, мы выяснили, что существует два нормальных состояния транзистора в схеме ключа: первое, когда ток коллектора равен нулю, называется отсечкой, и второе, когда напряжение $U_{\text{кз}} = U_{\text{ненас}}$, называется насыщением.

Необходимый ток базы должен быть

$$I'_{\text{б}} = \frac{I_{\text{к}}}{\beta} \quad (4.2)$$

Отношение действующего тока базы к необходимому току (при неизменном значении коэффициента усиления по току) называют

коэффициентом насыщения. Этот коэффициент на практике принимается в пределах 5-10 и рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{нас}} = \frac{h_{21э} \cdot I_{\text{б}}}{I_{\text{к}}} \quad (4.3)$$

где $I_{\text{б}}$ и $I_{\text{к}}$ - действующие в схеме токи базы и коллектора.

Довольно часто в качестве нагрузки транзисторного ключа используется катушка электромагнитного реле. Такая нагрузка является индуктивной (рис. 4.2).

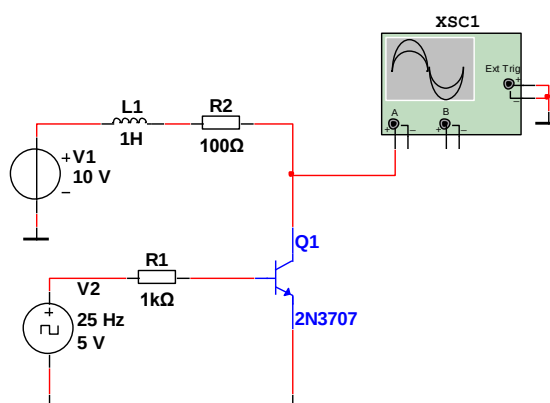


Рис. 4.2. Транзисторный ключ с индуктивной нагрузкой

В момент коммутации индуктивность стремится сохранить ток включённого состояния, в результате чего возникает ЭДС самоиндукции такой полярности, что эта ЭДС складывается с напряжением источника питания. Возникающие импульсы перенапряжения могут быть очень большой величины и, неизбежно, выведут транзистор из строя

Для защиты транзистора индуктивная нагрузка шунтируется диодом (рис. 4.3). Диод включается в обратной полярности для напряжения источника питания и в прямой полярности для ЭДС самоиндукции катушки реле.

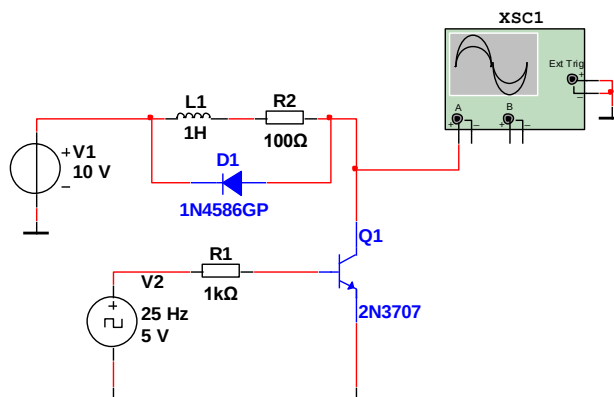


Рис. 4.3 Транзисторный ключ с индуктивной нагрузкой и защитным диодом

Транзистор, в отличие от электромагнитного реле, может коммутировать нагрузку очень быстро, время переключения измеряется обычно долями микросекунд. Следовательно, транзисторный ключ может работать с большой частотой управляющих импульсов. Однако при наблюдении работы ключа на частоте 1 МГц мы обнаружим, что сигнал перестал быть прямоугольным, длительности фронта и спада соизмеримы с длительностью самого импульса (рис. 4.4). Объяснить задержку времени при запираании и открывании транзистора можно, если предположить что параллельно переходам база - эмиттер и база - коллектор подключены конденсаторы.

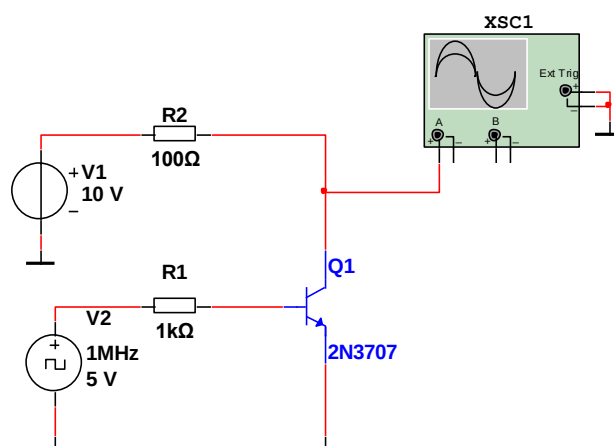


Рис. 4.4. Быстродействующий транзисторный ключ

Скорость нарастания (фронт) напряжения на коллекторе транзистора в этих условиях ограничивается следующими факторами:

1. после перехода входного сигнала в состояние нуля возникает задержка, обусловленная временем рассасывания неосновных носителей заряда, накопленных в базе в режиме насыщения;
2. сопротивление нагрузки в сочетании с проходной ёмкостью и эффектом Миллера дают постоянную времени, определяющую экспоненциальный рост напряжения;
3. если скорость нарастания напряжения достаточно высока, то ток, протекающий через конденсатор $C_{бк}$, создаёт на резисторе $R_б$ падение напряжения, которое вызывает прямое смещение перехода база - эмиттер и ток базы, препятствующий росту напряжения на коллекторе.

Скорость спада (срез) напряжения на коллекторе транзистора ограничивается проходной ёмкостью и коэффициентом насыщения.

Известно несколько способов нейтрализовать влияние проходной ёмкости в ключевой транзисторной схеме. Проще всего параллельно резистору в цепи базы подключить ускоряющий конденсатор ёмкостью 5-100пФ (рис. 4.5).

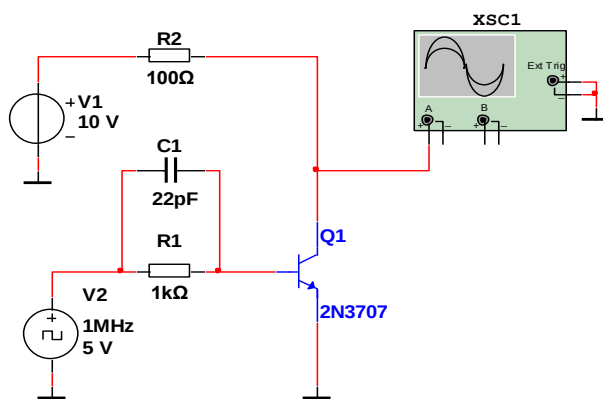


Рис. 4.5. Быстродействующий транзисторный ключ с ускоряющим конденсатором

Очевидно, что проектирование быстродействующих ключей на транзисторах – сложная задача, особенно при полном наборе эффектов, вызываемых емкостями. Наши упрощённые модели позволяют понять, как эти эффекты проявляют себя. Традиционная оптимизация схемы транзисторного ключа состоит из сочетания более сложного моделирования

(подкреплённого значительно более сложными расчётами) и большого количества макетных сборок схемы с измерением параметров в натуре. Гораздо удобней оптимизировать схему с помощью компьютерного моделирования. Здесь вы можете варьировать коэффициент насыщения и ёмкость ускоряющего конденсатора в заданных пределах до достижения наилучших характеристик схемы. Схема на рис 4.5 является примером описанного выше способа оптимизации.

Порядок проведения экспериментов

Эксперимент 1. Простейший ключ на биполярном транзисторе.

а) Соберите схему (рис. 4.1). Включите схему. Работа схемы транзисторного ключа отображается как миганием лампочки, так и изменением напряжения на коллекторе. Зарисуйте осциллограмму и определите значение выходного напряжения в режимах отсечки и насыщения. Измерьте длительность фронта импульса.

б) Соберите схему (рис. 4.6). Включите схему. Схема, приведённая на рис. 4.3, во всём подобна предыдущей, но лампа заменена резистором, сопротивление которого не зависит от температуры. Рассмотрев работу схемы, мы выясним, что транзистор не переходит в режим насыщения, то есть $U_{\text{кэ}} > U_{\text{кэ.нас}}$. Зарисуйте осциллограмму, определите напряжение на открытом транзисторе. Измерьте длительность фронта импульса.

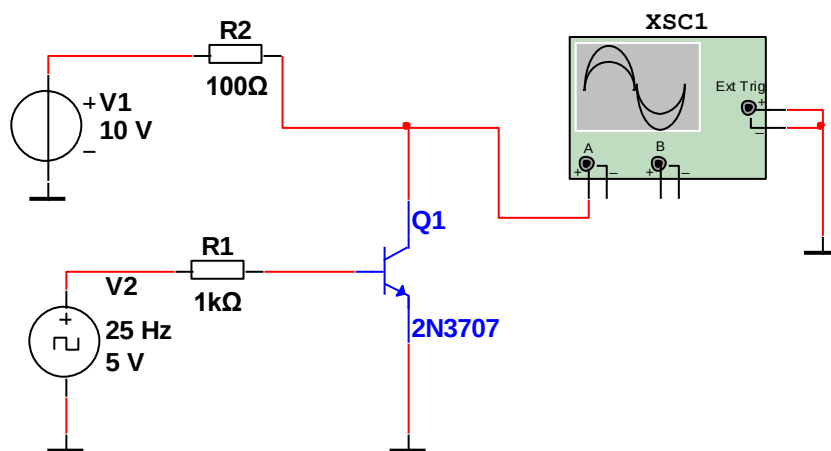


Рис. 4.6. Ненасыщенный транзисторный ключ

Эксперимент 2. Транзисторный ключ с индуктивной нагрузкой.

Соберите схему рис. 4.2. Включите схему. Наблюдайте на осциллографе импульсы перенапряжения на коллекторе в момент запираания транзистора. Зарисуйте осциллограмму. Измерьте установившуюся амплитуду выходного сигнала, величину и длительность перенапряжения, предварительно настроив масштаб по осциллографу.

Подключите диод параллельно нагрузке в обратном (относительно источника ЭДС) включении и включите схему (рис. 4.3). Наблюдайте и зарисуйте изменения на осциллограмме. Определите бросок напряжения. Выясните, что при наличии диода не наблюдаются опасные импульсы напряжения на коллекторе транзистора. Сделайте выводы.

Эксперимент 3. Быстродействующие транзисторные ключи на биполярных транзисторах.

а) Соберите схему рис. 4.4. Включите схему. Схема ключа от приведённых выше ничем не отличается, но на вход поданы управляющие импульсы частотой 1 МГц. Зарисуйте осциллограммы входного и выходного напряжений и измерьте длительность фронта импульса. Проверьте возможность нейтрализовать влияние проходной ёмкости в ключевой транзисторной схеме. б) Подключите параллельно резистору R_6 в цепи базы ускоряющий конденсатор ёмкостью 5-100 пФ (рис. 4.5). Вновь измерьте длительность фронта импульса и зарисуйте осциллограмму.

Выявите отличия на осциллограмме и запишите выводы. Попробуйте изменить в небольших пределах номиналы R_6 и C_y и посмотрите как они влияют на быстродействие схемы

Лабораторная работа № 5. Исследование полевого транзистора

Цель:

1. Получение управляющих и выходных характеристик транзистора различных типов и различных проводимостей канала.
2. Определение крутизны
3. Определение внутреннего сопротивления
4. Определение коэффициента усиления

Приборы и элементы:

- Вольтметр
- Амперметр
- Источники напряжения
- Полевой транзистор управляющим р-n переходом в соответствии варианту

Вариант	Тип прибора (зарубежный/)
1	2N4393
2	2N4391
3	2N4416

Теоретическая часть

Полевой транзистор характеризуется следующими параметрами. Основной параметр — крутизна S . Крутизна определяется по формуле:

$$S = \Delta I_c / \Delta U_{зи}, \text{ при } U_{си} = \text{const} \quad (5.1)$$

и может быть до нескольких миллиампер на вольт.

Крутизна характеризует управляющее действие затвора. Например, $S=3 \text{ мА/В}$ означает, что изменение напряжения затвора на 1 В создает изменение тока стока на 3 мА.

Второй параметр — внутреннее (выходное) сопротивление R_i . Этот параметр представляет собой сопротивление транзистора между стоком и истоком (сопротивление канала) для переменного тока и выражается формулой:

$$R_i = \Delta U_{си} / \Delta I_c, \text{ при } U_{зи} = \text{const} \quad (5.2)$$

На пологих участках выходных характеристик значение R_i достигает сотен килоом и оказывается во много раз больше сопротивления транзистора постоянному току R_o

Третий параметр — коэффициент усиления, который показывает, во сколько раз в сильнее действует на ток стока изменение напряжения затвора, нежели изменение напряжения стока. Коэффициент усиления определяется формулой:

$$\mu = - \Delta U_{си} / \Delta U_{зи}, \text{ при } I_c = \text{const} \quad (5.3)$$

т.е. выражается отношением таких изменений $\Delta U_{си}$ и $\Delta U_{зи}$, которые компенсируют друг друга по действию на ток I_c , в результате чего этот ток остается постоянным. Так как для подобной компенсации $\Delta U_{си}$ и $\Delta U_{зи}$ должны иметь разные знаки, то в правой части формулы стоит знак «минус». Иначе, можно вместо этого взять абсолютное значение правой части. Коэффициент усиления связан с параметрами S и R , простой зависимостью:

$$\mu = SR_i \quad (5.4)$$

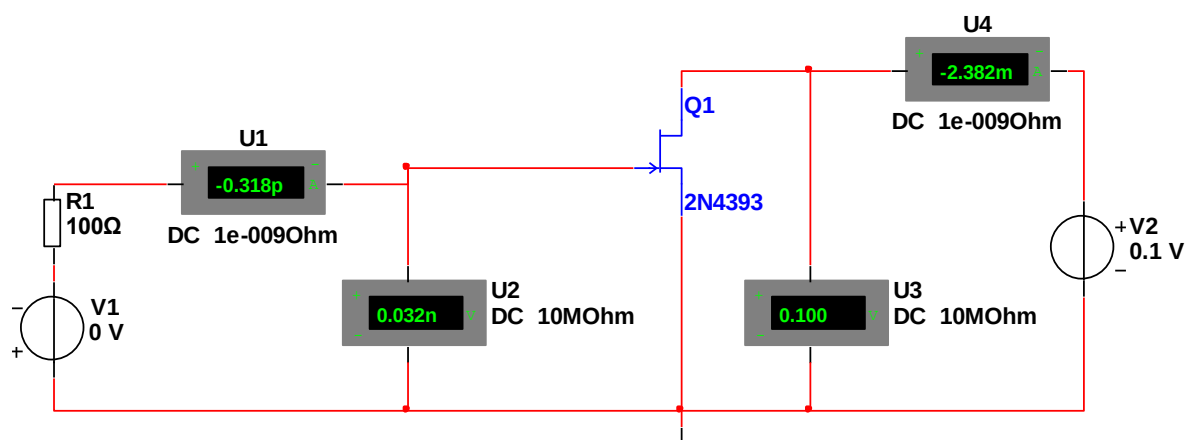


Рис. 5.1 Схема для исследования ВАХ

Порядок проведения экспериментов

Эксперимент 1. Снятие выходных характеристик полевого транзистора

Соберите схему рис. 5.1. В схеме по рис. 5.1 (4.ms10) проведите измерения тока стока I_c на одной из разновидностей полевых транзисторов для каждого значения $E_{зи}$ и $E_{си}$ и заполните табл. 1. По данным таблицы

постройте семейство выходных ВАХ. Заполните табл. 2. По данным таблицы постройте ВАХ управления. Вычислите внутреннее сопротивление R_i и коэффициент усиления μ , записать в раздел “Результаты экспериментов”.

Эксперимент 2. Исследование характеристики управления полевого транзистора методом вольтметра – амперметра

В схеме по рис. 5.1 проведите измерения тока стока I_c для каждого значения $E_{зи}$ при $E_{си} = 10$ В. Заполните табл. 2. По данным таблицы постройте ВАХ управления.

Вычислите внутреннее сопротивление R_i и коэффициент усиления μ .

Контрольные вопросы:

1. Какой прибор называется униполярным или полевым транзистором?
2. Поясните принцип работы полевого транзистора.
3. Поясните принцип управления сопротивлением канала в транзисторе с управляющим р-п переходом.
4. При каком смещении на затворе работает транзистор с управляющим р-п переходом и каналом п-типа?
5. Какой из МДП транзисторов может работать как в режиме обогащения, так и в режиме обеднения канала? Поясните особенности этих режимов по ВАХ.
6. В каком режиме работает транзистор со встроенным каналом р-типа при положительном потенциале на затворе?
7. Какие особенности МДП структуры обуславливают ее чувствительность к статическому электричеству?
8. Какой из рассмотренных полевых транзисторов имеет наибольшее входное сопротивление?

Лабораторная работа № 6.

Исследование логических элементов и схем

Цель работы

1. Исследование логических схем.
2. Реализация логических функций при помощи логических элементов.
3. Синтез логических схем, выполняющих заданные логические функции.

Приборы и элементы

Логический преобразователь, генератор слов, вольтметр, индикаторы, источник напряжения + 5 В, источник сигнала "логическая единица", двухпозиционные переключатели, двухвходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ

Краткие сведения из теории

1. Аксиомы алгебры логики.

Переменные, рассматриваемые в алгебре логики, могут принимать только два значения - 0 или 1. В алгебре логики определены: отношение эквивалентности (обозначается знаком $=$) и операции: сложения (дизъюнкции), обозначаемая знаком $\vee$, умножения (конъюнкции), обозначаемая знаком $\&$ или точкой, и отрицания (или инверсии), обозначаемая надчеркиванием или апострофом $'$. Алгебра логики определяется следующей системой аксиом:

$$\begin{cases} x = 0, \text{ если } x \neq 1; \\ x = 1, \text{ если } x \neq 0; \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{0} = 1, \\ \bar{1} = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 \vee 1 = 1, \\ 0 \vee 0 = 0, \\ 0 \vee 1 = 1 \vee 0 = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} 0 \cdot 0 = 0, \\ 1 \cdot 1 = 1, \\ 1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0 \end{cases}$$

2. Логические выражения.

Запись логических выражений обычно осуществляют в конъюнктивной или дизъюнктивной нормальных формах. В дизъюнктивной форме логические выражения записываются как логическая сумма логических

произведений, в конъюнктивной форме - как логическое произведение логических сумм. Порядок действий такой же, как и в обычных алгебраических выражениях.

Логические выражения связывают значение логической функции со значениями логических переменных.

3. Логические тождества.

При преобразованиях логических выражений используются логические тождества:

$$\bar{\bar{x}} = x; \quad x \vee 1 = 1; \quad x \vee 0 = x; \quad x \cdot 1 = x; \quad x \cdot 0 = 0; \quad x \vee x = x; \quad x \cdot x = x; \quad x \vee x \cdot y = x;$$

$$xy \vee \bar{x}y = x; \quad (x \vee y)(x \vee \bar{y}) = x; \quad x \vee \bar{x}y = x \vee y;$$

$$\overline{xy} = \bar{x} \vee \bar{y}; \quad \bar{x} \vee \bar{y} = \overline{xy}.$$

4. Логические функции.

Любое логическое выражение, составленное из n переменных $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ с помощью конечного числа операций алгебры логики, можно рассматривать как некоторую функцию n переменных. Такую функцию называют логической. В соответствии с аксиомами алгебры логики функция может принимать в зависимости от значения переменных значение 0 или 1. Функция n логических переменных может быть определена для 2^n значений переменных, соответствующих всем возможным значениям n -разрядных двоичных чисел. Основным интерес представляют следующие

$f1(x, y) = x \cdot y$ - логическое умножение (конъюнкция),

$f2(x, y) = x \vee y$ - логическое сложение (дизъюнкция),

$f3(x, y) = \overline{x \cdot y}$ - логическое умножение с инверсией,

$f4(x, y) = \overline{x \vee y}$ - логическое сложение с инверсией,

$f5(x, y) = x \oplus y = x\bar{y} \vee \bar{x}y$ - суммирование по модулю 2,

$f6(x, y) = \overline{x \oplus y} = xy \vee \bar{x}\bar{y}$ - равнозначность.

5. Логические схемы.

Физическое устройство, реализующее одну из операций алгебры логики или простейшую логическую функцию, называется логическим элементом. Схема, составленная из конечного числа логических элементов по определенным правилам, называется логической схемой.

Основным логическим функциям соответствуют выполняющие их схемные элементы.

6. Таблица истинности.

Так как область определения любой функции n переменных конечна (2^n значений), такая функция может быть задана таблицей значений $f(v_i)$, которые она принимает в точках v_i , где $i = 0, 1 \dots 2^n - 1$. Такие таблицы называют таблицами истинности. В таблице представлены таблицы истинности, задающие указанные выше функции.

i	Значения переменных		Функции					
	x	y	f1	f2	f3	f4	f5	f6
0	0	0	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	0	1	0
2	1	0	0	1	1	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	0	1

$i = 2x + y$ — число, образованное значениями переменных.

Порядок проведения экспериментов

Эксперимент 1. Исследование логической функции И.

а). Задание уровней логических сигналов.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.1. В этой схеме два двухпозиционных переключателя J1 и J2 подают на входы логической схемы И уровни 0 (контакт переключателя в нижнем положении) или 1 (контакт переключателя в верхнем положении). Включите схему. Установите переключатель J2 в нижнее положение. Измерьте вольтметром напряжение на входе J2 и определите с помощью индикатора уровень логического сигнала.

Установите переключатель J2 в верхнее положение. Определите уровень логического сигнала и запишите показания вольтметра; укажите, какой логический сигнал формируется на выходе Y. Результаты занесите в раздел "Результаты экспериментов".

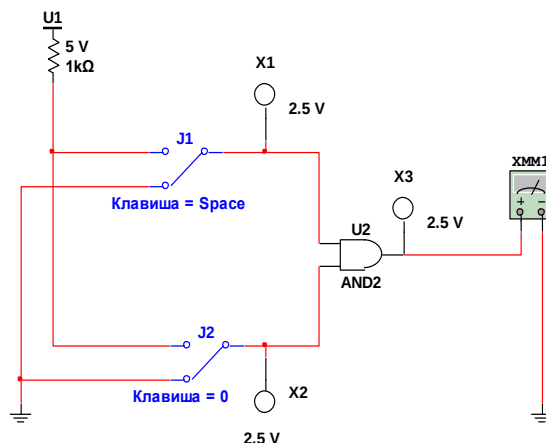


Рис. 6.1. Схема исследования логического элемента И

б). Экспериментальное получение таблицы истинности элемента И.

Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней сигналов А и В и для каждой комбинации зафиксируйте уровень выходного сигнала Y. Заполните таблицу истинности логической схемы И (табл. 6.1 в разделе "Результаты экспериментов").

в). Получение аналитического выражения для функции.

По таблице 6.1 составьте аналитическое выражение функции элемента И и занесите его в раздел "Результаты экспериментов".

Эксперимент 2. Исследование логической функции 2И-НЕ.

а). Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2И-НЕ, составленного из элементов 2И и НЕ.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.2. Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью индикаторов, заполните таблицу истинности логической схемы 2И-НЕ (табл. 1.2 в разделе "Результаты экспериментов").

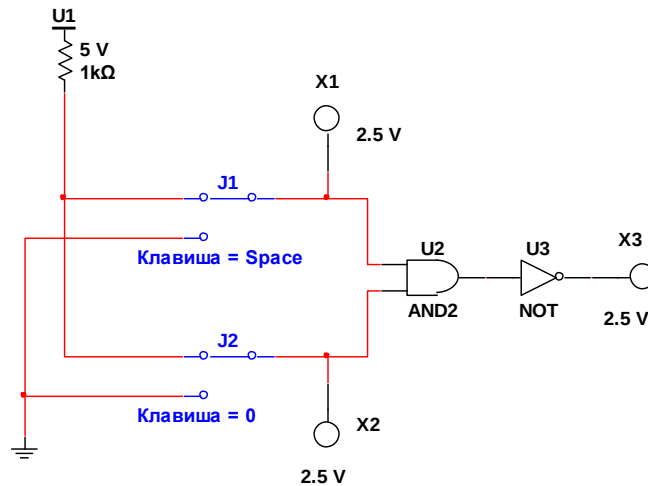


Рис. 6.2. Схема исследования логического элемента 2И-НЕ, составленного из элементов 2И и НЕ

б). Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2И-НЕ.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.3. Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью индикаторов, заполните таблицу истинности логической схемы 2И-НЕ (табл. 6.3 в разделе "Результаты экспериментов"). Сравните таблицы 6.2 и 6.3 между собой.

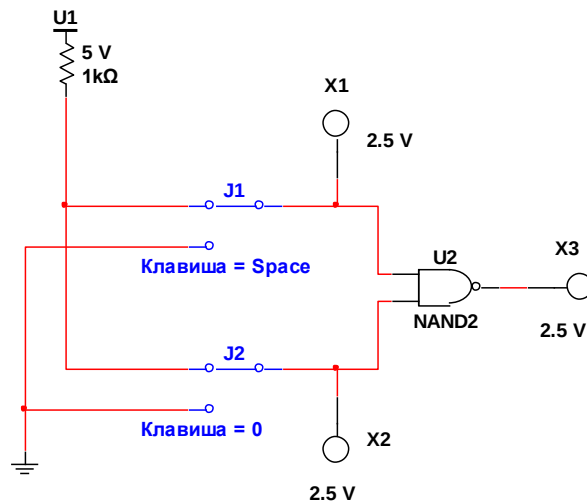


Рис. 6.3. Схема исследования логического элемента 2И-НЕ

Эксперимент 3. Исследование логической функции ИЛИ.

а). Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента ИЛИ.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.4. Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью индикаторов, заполните таблицу истинности логической схемы ИЛИ (табл. 6.4 в разделе "Результаты экспериментов").

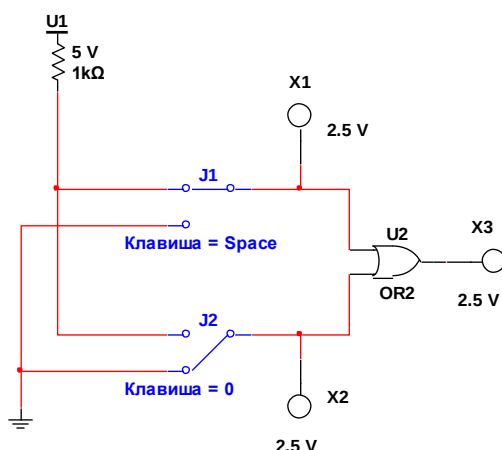


Рис. 6.4. Схема исследования логического элемента ИЛИ

б). Получение аналитического выражения для функции. По таблице 6.4 составьте аналитическое выражение функции и занесите его в раздел "Результаты экспериментов".

Эксперимент 4. Исследование логической функции ИЛИ-НЕ.

а). Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2ИЛИ-НЕ, составленного из элементов 2ИЛИ и НЕ.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.5. Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью индикаторов, заполните таблицу истинности логической схемы 2ИЛИ-НЕ (табл. 6.5 в разделе "Результаты экспериментов").

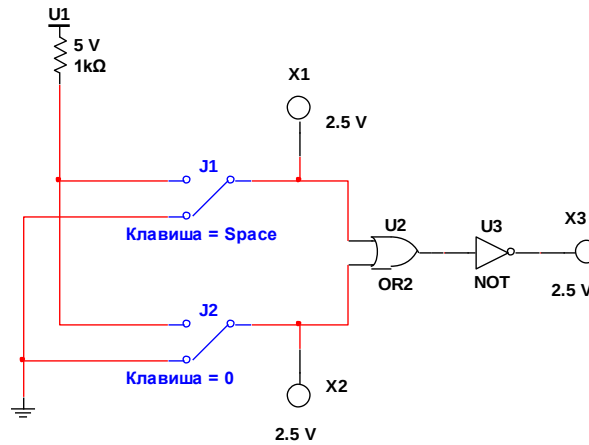


Рис. 6.5. Схема исследования логического элемента 2ИЛИ-НЕ, составленного из элементов 2ИЛИ и НЕ

б). Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2ИЛИ-НЕ.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.6. Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью индикаторов, заполните таблицу истинности логической схемы 2ИЛИ-НЕ (табл. 1.6 в разделе "Результаты экспериментов"). Сравните таблицы 1.5 и 1.6 между собой.

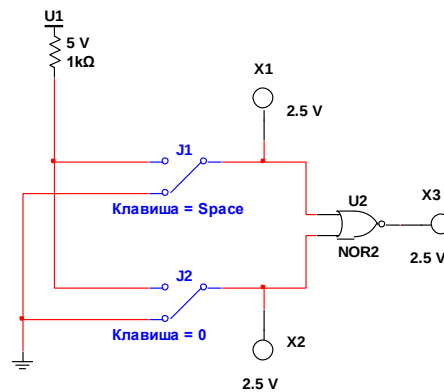


Рис. 6.6. Схема исследования логического элемента 2ИЛИ-НЕ

Эксперимент 5. Реализация логической функции 3-х переменных.

а). Синтез схемы, реализующей функцию, заданную логическим выражением.

Реализуйте функцию $f = ab \vee bc$ на элементах 2И-НЕ.

Указание. Представьте выражение функции через операции логического умножения и инверсии.

Соберите в Multisim схему на элементах 2И-НЕ, соответствующую полученному выражению. Подключите к входам схемы генератор слов, к выходу – индикатор. Генератор слов запрограммируйте на формирование последовательности из восьми слов, соответствующих числам от 0 до 7: 0=000; 1=001; 2=010; 3=011; 4=100; 5=101; 6=110; 7=111

В пошаговом режиме, последовательно подавая на вход полученной схемы все слова последовательности, определите при помощи индикатора уровень сигнала на выходе

По полученным результатам заполните таблицу 6.7 в отчете.

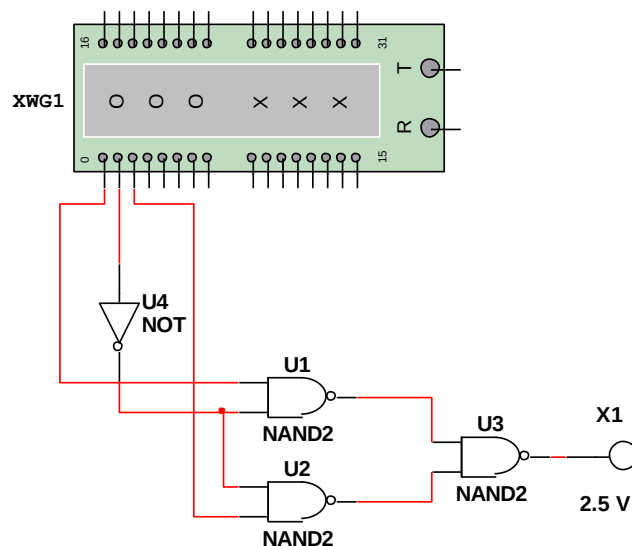
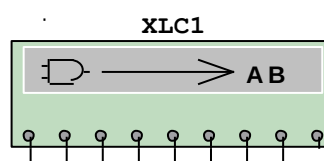


Рис. 6.7. Схема на элементах 2И-НЕ с генератором слов

б). Синтез схемы, реализующей заданную функцию при помощи логического преобразователя.

Для получения схемы, реализующей функцию, описываемую логическим выражением $f = ab \vee \bar{b}c$, можно воспользоваться логическим преобразователем. Для этого сделайте следующее:

- вызовите логический преобразователь;



- кликните по нему два раза;

- введите в нижнее окно панели преобразователя логическое выражение $ab \vee \bar{b}c$ с клавиатуры (**операции ИЛИ соответствует знак +, инверсии соответствует апостроф ';**
- для реализации схемы на элементах И-НЕ нажмите клавишу $A|B \rightarrow \text{NAND}$ на панели логического преобразователя.

Логический преобразователь выводит на рабочее поле схему, реализующую функцию, описываемую введенным логическим выражением. Полученная схема приведена на рис. 1.8. К схеме подключите генератор слов, запрограммированный на формирование восьми слов соответствующих числам от 0 до 7: 0=000; 1=001; 2=010; 3=011; 4=100; 5=101; 6=110; 7=111:

Переведите генератор слов в пошаговый режим. Включите схему. Последовательно подавая на входы схемы указанные слова и, определяя уровень сигнала на выходе схемы логическим пробником, заполните таблицу истинности (табл. 6.8 в разделе "Результаты экспериментов"),

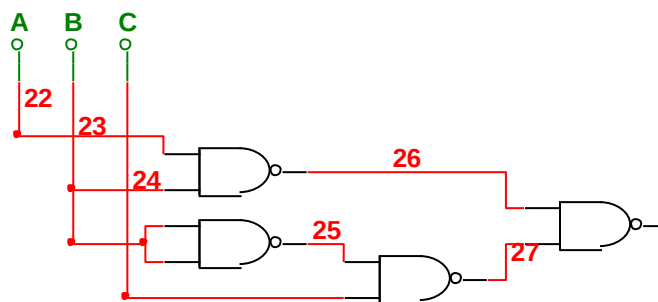


Рис. 6.8. Схема на элементах 2И-НЕ на логическом преобразователе

Элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, НЕ находятся в Mics Digital.

Индикатор в Indicators→PROBE.

Двухпозиционные переключатели в Basic→SWITCH→SPDT.

Источник напряжения + 5 В в Basic→BASIC VIRTUAL→VARIABLE PULLUP VIRTUAL.

Заземление в Sources → POWER SOURCES→GROUND.

На панели справа находятся: мультиметр (переведите его в режим вольтметра постоянного напряжения), генератор слов и логический преобразователь.

Для того, чтобы генератор слов работал, необходимо его настроить. Для этого вытащите его на поле и кликните по нему два раза. Установите: управление – пошагово; отображение – десятичное; нажимая на каждую строчку на панели с нулями, запрограммируйте генератор на восемь слов цифрами от 0 до 7. Затем на строчке с цифрами 0000000007 щелкните правой кнопкой мыши и установите конечный шаг. Генератор готов для работы.

Бланки отчетов к лабораторным работам

Отчет по лабораторной работе № 1

студентов _____ группы _____

Исследование полупроводникового диода типа _____

Цель

работы: _____

В процессе работы проводится сравнение исследуемого диода с идеальным (переключайте тип прибора при каждом эксперименте). Перед проведением работы запишите параметры прибора из меню *Свойства* выбранного компонента:

Эксперимент 1. Измерение статического сопротивления диода, 1.1ms10

Таблица 1.1

I_z , мА	R_{np} , Ом	$R_{об}$, Ом
0,1		
1		
100		

Эксперимент 2. Снятие вольтамперной характеристики диода, 1.2ms10

1. Запишите значения тока и напряжения для прямой ветви ВАХ:

2. Запишите значения тока и напряжения для обратной ветви ВАХ

Таблица 1.2

Прямая ветвь ВАХ

E , В	$U_{пр}$, мВ	$I_{пр}$, мА
5		
4		
3		
2		
1		
0.5		
0		

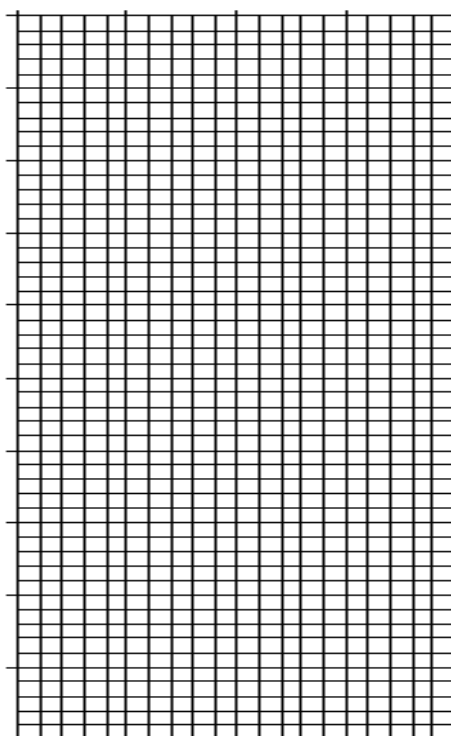
Таблица 1.3

Обратная ветвь ВАХ

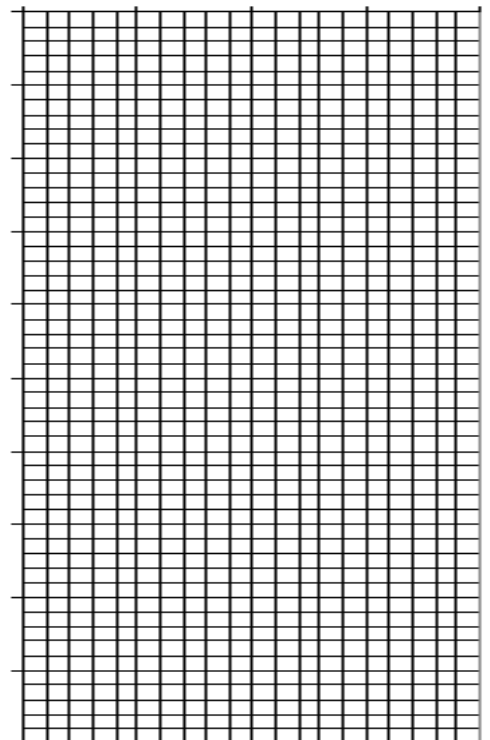
E , В	$U_{об}$, В	$I_{об}$, мА
0		
10		
20		
30		

3. Графики прямой и обратной ветвей ВАХ диода:

Прямая ветвь



Обратная ветвь ВАХ



4. Вычислите по ВАХ дифференциальное сопротивление диода при прямом смещении:

$R_{\text{диф}}$, при $I_{\text{пр}} = 4 \text{ мА}$ _____

$R_{\text{диф}}$, при $I_{\text{пр}} = 0.4 \text{ мА}$ _____

$R_{\text{диф}}$, при $I_{\text{пр}} = 0.2 \text{ мА}$ _____

5. Вычислите по ВАХ дифференциальное сопротивление диода при обратном смещении:

$R_{\text{диф}}$, при $U_{\text{обр}} = 5 \text{ В}$ _____

6. Вычислите и запишите статическое сопротивление диода $R_{\text{ст}}$ при прямом смещении:

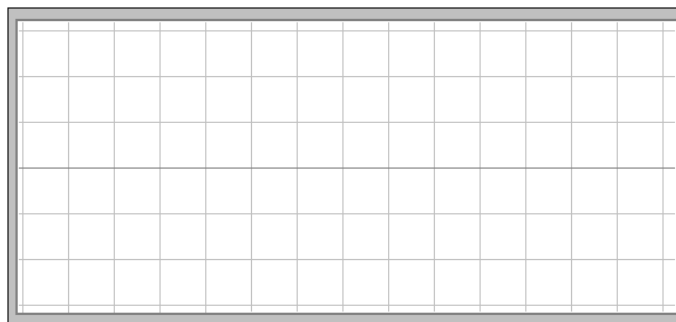
$R_{\text{ст}}$, при $I_{\text{пр}} = 4 \text{ мА}$ _____

7. Напряжение изгиба, полученное из вольтамперной характеристики:

$U_{\text{изг}}$ _____

Эксперимент 3. Получение ВАХ на экране характериографа, 1.3ms10

Зарисуйте ВАХ с экрана характериографа и отметьте масштабы по осям



Напряжение изгиба, определенное из ВАХ, полученной при помощи характериографа: $U_{\text{изг}}$ _____

Выводы из лабораторной работы: _____

Контрольные вопросы:

1. Намного ли отличаются прямое и обратное сопротивления диода при измерении их мультиметром в режиме омметра? Можно ли по этим измерениям судить об исправности диода?
2. Какой параметр характеризует качество диода в проводящем состоянии? Поясните его влияние на работу устройств.
3. Какие параметры определяют выбор выпрямительного диода для конкретного применения?
4. Какими физическими эффектами ограничиваются предельные параметры диодов?
5. В чем состоят основные отличия диодов Шоттки от диодов с p - n -переходом?

Отчет по лабораторной работе № 2

студентов _____ группы _____

Исследование стабилитрона типа _____

Цель работы: _____

В процессе работы проводится сравнение исследуемого стабилитрона с идеальным. Перед проведением работы запишите параметры прибора из меню *Свойства* выбранного компонента:

Эксперимент 1. Измерение напряжения и тока через стабилитрон, 2.1.ms10

Таблица 2.1.

1. Данные для построения ВАХ стабилитрона

	E , В	0	4	6	10	15	20	25	30	35
ZENER VIRTUAL	$U_{ст}$, мВ									
	$I_{ст}$, мА									
Стабилитрон типа _____	$U_{ст}$, мВ									
	$I_{ст}$, мА									

2. ВАХ стабилитрона постройте по точкам на сетке, самостоятельно выбрав масштаб (рис. 1)

3. Напряжение стабилизации по полученному графику: $U_{ст}$ _____

4. Мощность рассеивания стабилитрона $P_{ст}$ при $E = 20$ В $P_{ст}$ _____

5. Дифференциальное сопротивление стабилитрона, определенное по наклону графика в рабочей области $R_{диф}$ _____

6. Коэффициент стабилизации $K_{ст}$ _____

Эксперимент 2. Измерение точек нагрузочной характеристики параметрического стабилизатора, 2.1.ms10

Таблица 2.2.

1. Напряжение стабилитрона $U_{ст}$ и значения токов I_1 , измеряем по схеме 1 при $E = 20$ В, добавив в нее нагрузочный резистор R_L указанного номинала. Токи I_L , $I_{ст}$ рассчитываем, используя законы Ома и Кирхгофа

R_L , Ом	1000	500	250	100	50	25	10	2
$U_{ст}$, В								
I_1 , мА								
I_L , мА								
$I_{ст}$, мА								

2. Нагрузочная характеристика стабилизатора строится на сетке рис. 2.

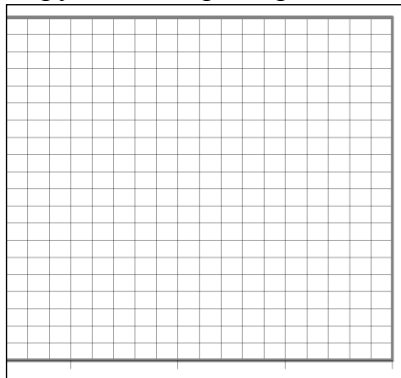


Рис. 1. ВАХ стабилитрона

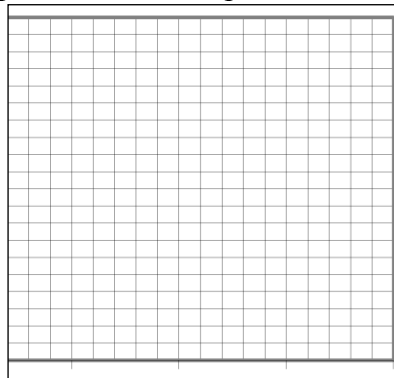
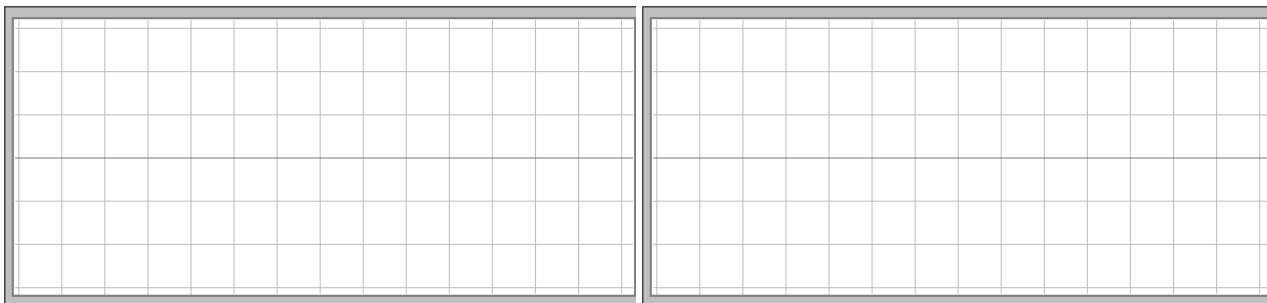


Рис. 2 Нагрузочная характеристика стабилизатора

Эксперимент 3. Откройте файл 2.3. Установите свой тип стабилизатора. Подайте на вход схемы от генератора синусоидальное напряжение с амплитудой, в 2 раза превышающей напряжение стабилизации и частотой 100 Гц. Наблюдайте на осциллографе форму входного и выходного сигналов.

Осциллограммы сигналов двухстороннего ограничителя напряжения на стабилизаторах



На низкой частоте при изменении амплитуды _____ При увеличении частоты до _____

Выводы из лабораторной работы: _____

Контрольные вопросы:

1. Какой физический эффект используется в стабилизаторах?
2. Как по параметрам стабилизатора можно определить разновидность этого эффекта?
3. Перечислите основные параметры, по которым производится выбор стабилизатора для конкретной схемы?
4. Сравните относительное изменение напряжения на стабилизаторе с относительным изменением питающего напряжения. Оцените коэффициент стабилизации.
5. Влияет ли значение сопротивления нагрузки на коэффициент стабилизации выходного напряжения стабилизатора?
6. Что такое нагрузочная характеристика параметрического стабилизатора?
7. Как изменяется напряжение стабилизатора $U_{ст}$, когда ток стабилизатора становится мал? Объясните эффект, используя график ВАХ и нагрузочную прямую.
8. Как изменяется напряжение $U_{ст}$ на выходе стабилизатора при уменьшении сопротивления R ? Поясните, используя ВАХ и нагрузочную прямую.
9. Принцип работы двухстороннего ограничителя напряжения на стабилизаторах. Для какой цели используются амплитудные ограничители?
10. Чем задаются пределы ограничения выходного напряжения встречно включенных стабилизаторов?

Отчет по лабораторной работе № 3

студентов _____ группы _____

Исследование биполярного транзистора типа _____

Эксперимент 1. Определение коэффициента передачи транзистора по постоянному току

При значении ЭДС источника E_k равном 5 В и значении ЭДС источника E_b равном 2.68 В:

Ток базы транзистора I_b _____

Ток коллектора транзистора I_k _____

Напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ _____

Статический коэффициент передачи β_{DC} _____

Эксперимент 2. Получение выходной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером

1. В таблицу заносятся значения тока коллектора при изменении напряжения коллекторного источника и заданном значении напряжения источника питания базы. В конце каждой серии измерений измерьте и запишите значение базового тока. Заполнение производится по строкам, каждая строка соответствует одной ВАХ из семейства выходных характеристик. Все семейство характеристик строится на одних осях, начиная с наибольших значений тока базы

$E_b = 1.66 \text{ В}$ $I_b =$ _____

$E_k, \text{ В}$	0.1	0.5	1	5	10	20
$I_k, \text{ мА}$						

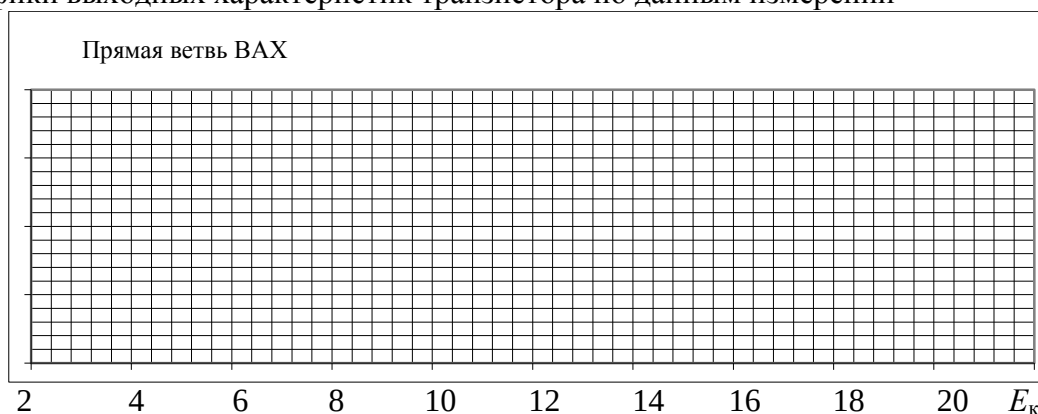
$E_b = 3.66 \text{ В}$ $I_b =$ _____

$E_k, \text{ В}$	0.1	0.5	1	5	10	20
$I_k, \text{ мА}$						

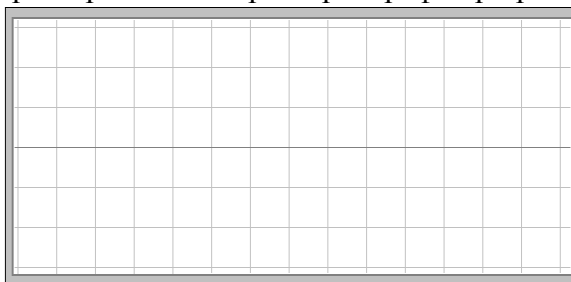
$E_b = 5.66 \text{ В}$ $I_b =$ _____

$E_k, \text{ В}$	0.1	0.5	1	5	10	20
$I_k, \text{ мА}$						

2. Графики выходных характеристик транзистора по данным измерений



3. Графики выходных характеристик с характерного при разных токах базы



4. Дифференциальный коэффициент передачи тока β_{AC}

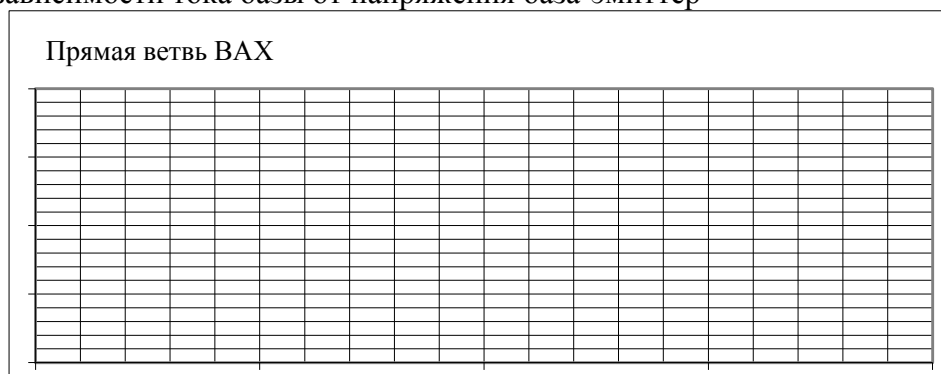
Эксперимент 3. Получение входной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером

1. Данные для построения графиков

Таблица 3.2

E_0 , В	I_0 , мкА	$U_{БЭ}$, мВ	$I_Э$, мА
1.66			
3.68			
5.7			

2. График зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер



4. Сопротивление $r_{вх}$ _____

Контрольные вопросы и ответы на них:

1. Какие параметры ограничивают область безопасной работы транзистора на выходных ВАХ?
2. Что такое токи утечки транзистора в режиме отсечки?
3. Что такое режим насыщения транзистора, какими параметрами он характеризуется?
4. Укажите полярности напряжений на выводах транзистора типа $p-n-p$ при работе в усилительном режиме в схеме с ОЭ.
5. Что можно сказать по выходным характеристикам о зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения коллектор-эмиттер на различных участках характеристики?
6. Одинаково ли значение $r_{вх}$ транзистора в любой точке входной характеристики?

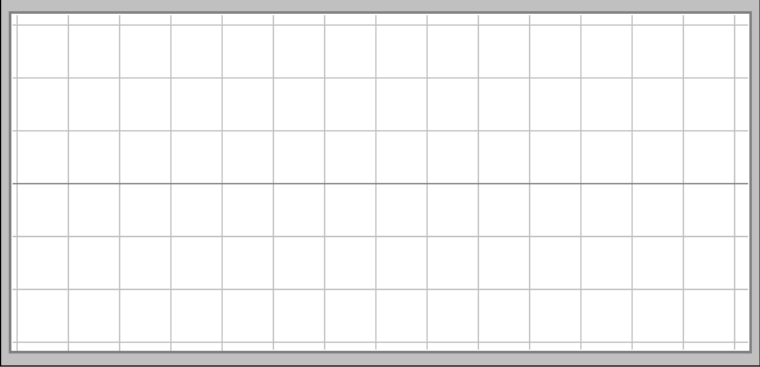
Отчет по лабораторной работе № 4

студентов _____ группы _____

Транзисторные ключи

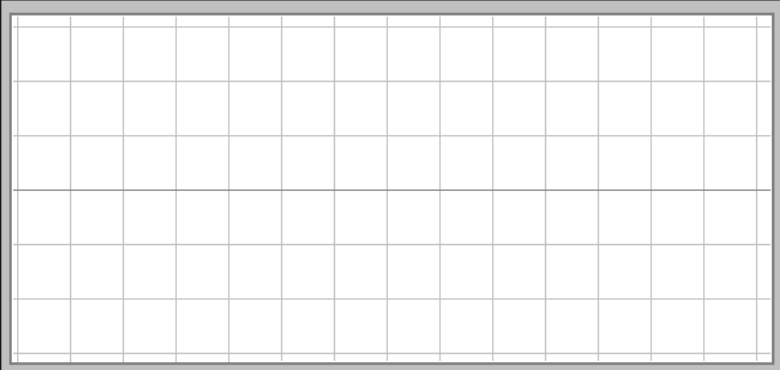
Цель: _____

Опыт 1. Простейший ключ на биполярном транзисторе, 6.1.ms10

	Насыщенный ключ: Напряжение насыщения _____
	Напряжение отсечки _____
	Длительность фронта _____
	Ненасыщенный ключ: Напряжение на открытом транзисторе _____
	Длительность фронта _____

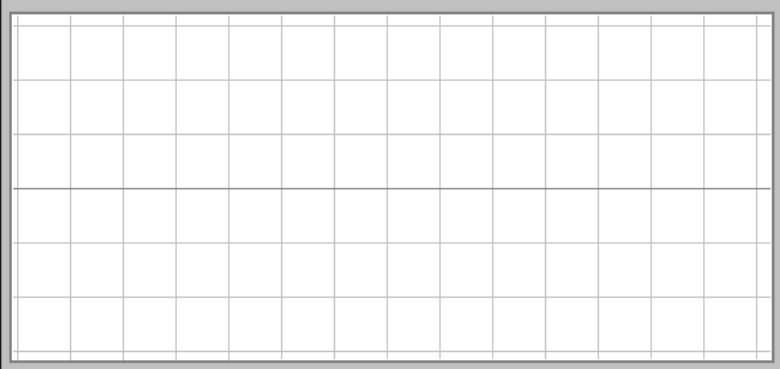
Осциллограммы входного и выходного напряжения для насыщенного и ненасыщенного ключа.

Опыт 2. Транзисторный ключ с индуктивной нагрузкой, 6.2.ms10

	Установившаяся амплитуда выходного сигнала _____
	Величина перенапряжения _____
	Длительность перенапряжения _____
	Бросок напряжения при наличии защитной цепи _____

Осциллограммы входного и выходного напряжения при индуктивной нагрузке без защитной цепи и при ее наличии.

Опыт 3. Быстродействующие ключи на биполярных транзисторах, 6.3.ms10

	Частота входного сигнала _____
	Длительность фронта импульса исходная _____
	Длительность фронта импульса после коррекции _____

Осциллограммы входного и выходного напряжения высокочастотного ключа.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 5.

1. Какие параметры характеризуют качество импульсного сигнала?
2. В каких состояниях может находиться биполярный транзистор, работающий в ключевом режиме?
3. Какими параметрами характеризуются состояния биполярного транзистора в режиме ключа?
4. Что такое степень насыщения транзистора и как она влияет на параметры ключа?
5. Какие проблемы возникают при работе ключа с индуктивной нагрузкой?
6. Какую функцию выполняет диод в схеме опыта 2,
7. Какие физические процессы происходят при размыкании биполярного ключа?
8. Какие параметры БТ определяют быстродействие ключа, и какие меры позволяют улучшить быстродействие.

Отчет по лабораторной работе № 5

студентов _____ группы _____

Исследование полевого транзистора типа _____

Эксперимент 1. Снятие выходных характеристик полевого транзистора методом вольтметра-амперметра, 4.ms10

В схеме по рис.1 проведите измерения тока стока I_c на одной из разновидностей полевых транзисторов для каждого значения $E_{зи}$ и $E_{си}$ и заполните табл. 1. По данным таблицы постройте семейство выходных ВАХ. Вычислите внутреннее сопротивление R_i в нескольких точках характеристики.

Таблица 1

$E_{зи} = 0B$							
$E_{си}, B$	0.1	0.2	0.5	1	5	10	20
I_{c}, mA							
R_i							

$E_{зи} = 1B$							
$E_{си}, B$	0.1	0.2	0.5	1	5	10	20
I_{c}, mA							
R_i							

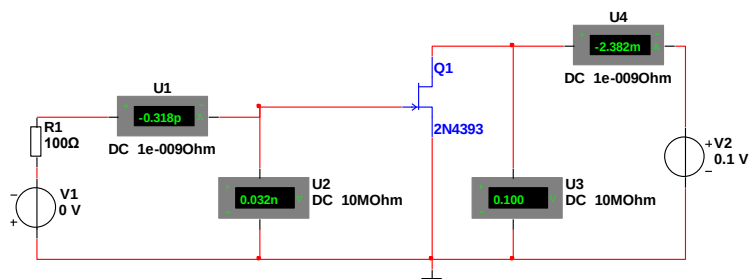


Рис.1 Схема для исследования ВАХ

Эксперимент 2. Исследование характеристики управления полевого транзистора методом вольтметра – амперметра

В схеме по рис.1 проведите измерения тока стока I_c для каждого значения $E_{зи}$ при $E_{си} = 10V$. Заполните табл. 2. По данным таблицы постройте ВАХ управления. Вычислите крутизну S и коэффициент усиления μ .

Таблица 2

$E_{си} = 10B$						
$E_{зи}, B$	0.1	0.2	0,3	0,5	0.7	1
$I_{c}, \mu A$						

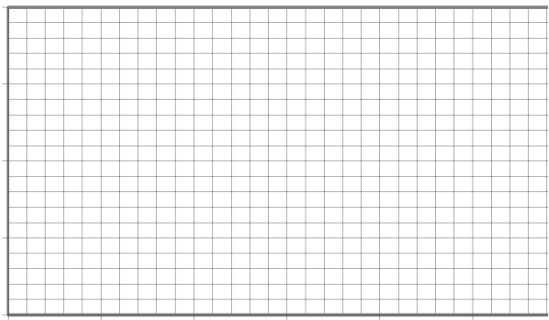


Рис. 2 Семейство выходных характеристик

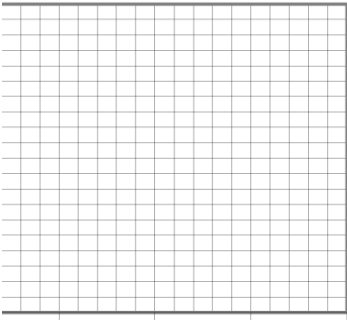


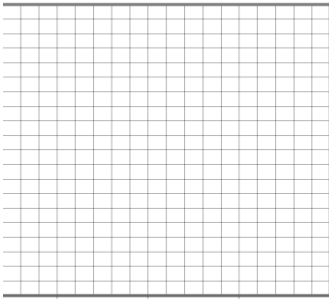
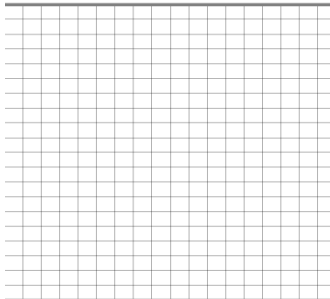
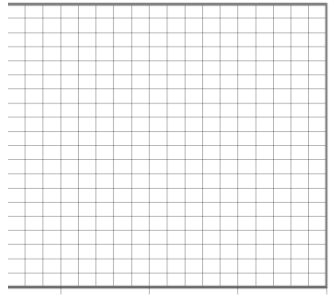
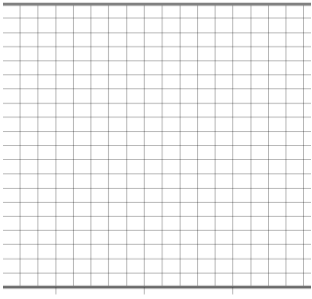
Рис. 3. ВАХ управления

Рассчитанные параметры:

Крутизна ВАХ управления S _____

Коэффициент усиления μ _____

Эксперимент 3. ВАХ управления других типов полевых транзисторов, полученные на характериографе

Контрольные вопросы:

1. Поясните принцип управления сопротивлением канала в транзисторе с управляющим р-п переходом.
2. Какой из МДП транзисторов может работать как в режиме обогащения, так и в режиме обеднения канала? Поясните особенности этих режимов по ВАХ.
3. Какие особенности МДП структуры обуславливают ее чувствительность к статическому электричеству?
4. Укажите область выходных характеристик, соответствующую использованию ПТ в режиме управляемого сопротивления и поясните принцип управления.
5. Укажите область выходных характеристик, соответствующую использованию ПТ в режиме управляемого стабилизатора тока и поясните принцип управления.

Отчет по лабораторной работе № 6

студентов _____ группы _____

Исследование логических элементов и схем

Цель работы: _____

Эксперимент 1. Исследование логической функции И»

а). Задание уровней логических сигналов.

Напряжение на входе В (ключ В в нижнем положении), В _____

Логический сигнал на входе В (ключ В в нижнем положении) _____

Напряжение на входе В (ключ В в верхнем положении), В _____

Логический сигнал на входе В (ключ В в верхнем положении) _____

Логический сигнал на выходе Y _____

б). Экспериментальное получение таблицы истинности элемента И,

Входы		Выход	Усл. обозн.
А	В	Y	
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

в). Получение аналитического выражения для функции. _____

Эксперимент 2. Исследование логической функции И-НЕ.				Эксперимент 3. Исследование логической функции ИЛИ			
Входы		Выход		Входы		Выход	
A	B	Y		A	B	Y	
0	0			0	0		
0	1			0	1		
1	0			1	0		
1	1			1	1		
Аналитическое выражение для функции				Аналитическое выражение для функции			

Эксперимент 4. Исследование логической функции ИЛИ-НЕ.

Входы		Выход
А	В	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Аналитическое выражение для функции _____

Эксперимент 5. Синтез схемы, реализующей заданную функцию, при помощи логического преобразователя

Аналитическое выражение для функции f в базисе И-НЕ _____

Таблица 1.5

Схемное решение

a	b	c	f
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Вопросы:

1. Что такое логическая переменная и логический сигнал? Какие значения они могут принимать? Может ли быть логическим сигналом уровень напряжения? Состояние контакта? Свечение светодиода?
2. Что такое логическая функция?
3. Какая логическая функция описывает поведение системы пуска трехфазного двигателя (двигатель может быть запущен, если три датчика подтверждают наличие фазных напряжений)?
4. Какой сигнал должен быть подан на неиспользуемые входы элемента 8И-НЕ, если требуется реализовать функцию 5И-НЕ?
5. В вашем распоряжении имеются логические элементы 2И-НЕ. Как на их основе сделать схему 3И? Достаточно ли 4-х элементов 2И-НЕ для выполнения этой задачи?
6. Какой сигнал должен быть подан на неиспользуемый вход элемента 4ИЛИ-НЕ при реализации функции 3ИЛИ-НЕ?
7. Как будет вести себя схема И, если на одном из входов вследствие внутренней неисправности будет постоянно присутствовать логическая единица? Логический ноль? Составьте таблицу истинности для неисправной схемы 3И. Определите поведение схемы И-НЕ при тех же условиях.
8. Как будет вести себя схема ИЛИ, если на одном из входов вследствие внутренней неисправности будет постоянно присутствовать логическая единица? Логический ноль? Составьте таблицу истинности для неисправностей схемы 3ИЛИ. Определите поведение схемы ИЛИ-НЕ при тех же условиях.

Учебное электронное текстовое издание

ЛЕМЕХОВА Ирина Ивановна

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Лабораторный практикум

Подготовка к публикации

Ю.Л. Шляпников

Рекомендовано Учебно-методическим советом НТИ (филиала) УрФУ

Разрешено к публикации 02.03.2017

Электронный формат – pdf

Объем – 2,0 уч.изд.л.

Лаборатория электронных изданий

Нижнетагильский технологический институт (филиал) УрФУ

622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59

Информационный сайт НТИ (филиала) УрФУ

<http://nti.urfu.ru>