

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра биомедицинской инженерии

ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям

Составители:
Л. Т. СУШКОВА
Е. В. СОРОКИН



Владимир 2013

УДК 621.38
ББК 32.85
Э46

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирского государственного университета
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
П. А. Полушин

Кандидат технических наук, доцент
кафедры биомедицинской инженерии
Владимирского государственного университета
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
Р. В. Исаков

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Электроника и микропроцессорная техника : метод. указания к лаб.-практ. занятиям / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых ; сост.: Л. Т. Сушкова, Е. В. Сорокин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 35 с.

Рассмотрены вопросы функционирования базовых электронных полупроводниковых устройств, а также элементов цифровой электроники. Проведение лабораторно-практических занятий подразумевает использование систем автоматизированного проектирования, а также лабораторных стендов и контрольно-измерительной аппаратуры.

Предназначены для студентов 3-го курса, обучающихся по направлению 201000 – Биотехнические системы и технологии (бакалавриат) всех форм обучения. Могут быть полезны студентам и специалистам, занимающимся вопросами проектирования и разработки электронных устройств.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 21. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.38
ББК 32.85

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Электроника и микропроцессорная техника» разработан в соответствии с ФГОС-3 и является базовым в цикле общепрофессиональных дисциплин для студентов, обучающихся по направлению 201000 «Биотехнические системы и технологии». В результате изучения этой дисциплины студенты получают теоретические и практические знания, необходимые для освоения последующих дисциплин, в том числе «Медицинские приборы, аппараты, системы, комплексы», «Оптоэлектронные приборы и устройства отображения информации» и др., а также выполнения учебных и научно-исследовательских задач. Учебным планом направления 201000 предусмотрено изучение данной дисциплины в 5 и 6-м семестрах. При этом регламентируется проведение лекционных и лабораторно-практических занятий, а также выполнение курсового проекта.

Цель преподавания дисциплины – ознакомление студентов с современной элементной базой электроники, аналоговыми электронными устройствами, источниками питания электронных устройств и цифровыми электронными устройствами, а также с тенденциями развития современной биомедицинской техники и медицинских электронных приборов.

В результате изучения курса студенты должны:

- знать элементную базу, используемую в современных электронных медицинских аппаратах и устройствах, основные направления микроминиатюризации медицинских приборов и технические характеристики электронных приборов и интегральных схем;
- уметь правильно выбрать по основным параметрам требуемый полупроводниковый прибор;
- знать область применения и основные особенности и принципы построения аналоговых и цифровых электронных устройств;
- уметь рассчитать простые аналоговые и цифровые электронные схемы.

Лабораторно-практические занятия позволяют студентам закрепить лекционный материал, получить практические знания по соот-

ветствующим темам, научиться работать с измерительными приборами и методиками снятия характеристик электронных устройств. Кроме того, студенты получают возможность наглядно оценить возможности современных систем автоматизированного проектирования и сравнить результаты, получаемые в ходе моделирования и натурального эксперимента.

ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

1. Лабораторно-практические занятия проводятся в часы, предусмотренные расписанием, в строгом соответствии с графиком работы лаборатории.

2. Все лабораторно-практические занятия выполняются фронтально. Студенты группы разбиваются на рабочие бригады, в составе которых они выполняют все полученные задания.

3. Студенты обязаны бережно обращаться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми при выполнении лабораторно-практических занятий, и несут ответственность за порчу или выход из строя приборов и оборудования, произошедших по их вине.

4. Включение измерительной техники, компьютеров и электрических схем осуществляется только с разрешения преподавателя. Включение неправильно собранной схемы может привести к несчастному случаю или порче дорогостоящих измерительных приборов.

5. Обо всех неисправностях схемы и приборов студенты обязаны немедленно сообщить преподавателю, предварительно отключив схему.

6. Во время выполнения лабораторно-практических занятий необходимо соблюдать тишину, не покидать рабочего места без разрешения преподавателя.

7. Студенты обязаны после окончания работы выключить аппаратуру, привести рабочее место в порядок.

8. Студенты обязаны строго соблюдать указания по технике безопасности для данной лаборатории.

Указания по технике безопасности

К проведению лабораторно-практических занятий допускаются студенты, ознакомленные с данными методическими указаниями и проинструктированные преподавателем по технике безопасности обращения с приборами и компьютерами, используемыми в ходе занятий. Установка рабочего макета и подключение измерительных приборов, а также сборка электрических схем производится при отключенном питании лабораторного стола.

Электрические схемы собирают с использованием проводов с хорошим и проверенным изоляционным покрытием.

Включение собранной электрической схемы и работа с ней допускается только после осмотра ее преподавателем и получения от него разрешения на продолжение работы. При включенной электрической схеме нельзя подключать к ней различные приборы и проводники. Для этого необходимо выключить питание лабораторного стола.

Во время работы студент обязан помнить, что прикасаться руками к открытым токоведущим клеммам и зажимам запрещается. При обнаружении ошибки в собранной им схеме выключается общий рубильник лабораторного стола.

Первая помощь при поражении током

Необходимо очень быстро освободить пострадавшего от токоведущих элементов, выключить источник питания. При этом (во избежание поражения электрическим током) ни в коем случае не следует брать за тело пострадавшего без резиновых диэлектрических перчаток. Если нельзя выключить ток привычным способом, нужно разрезать (перерубить) провод или, заземлив его, отвести ток от пострадавшего. Инструмент, используемый для перерезания провода, должен иметь изолированные ручки. Предмет, набрасываемый на провод, предварительно заземляется. При отсутствии резиновых перчаток и обуви для изоляции может быть использована сухая доска, сухая одежда и т. п.

Если пораженный электрическим током находится высоко над поверхностью пола, необходимо позаботиться о том, чтобы после освобождения от действия тока он не упал и не получил повреждений.

Если пострадавший потерял сознание, нужно срочно вызвать скорую помощь и попытаться самим привести его в чувство (побрызгать в лицо водой, растереть и согреть тело). При отсутствии дыхания нужно немедленно сделать искусственное дыхание и массаж сердца, вплоть до прибытия врача. Следует твердо помнить, что первые секунды и минуты являются решающими для возможности вернуть человека к жизни, поэтому искусственное дыхание должны уметь делать все работники лаборатории.

Прежде чем начать делать искусственное дыхание, нужно обеспечить доступ свежего воздуха, освободить пострадавшего от стесняющей одежды, затем положить на спину или живот (в зависимости от выбранного способа искусственного дыхания) и принять меры к тому, чтобы обеспечить прохождение воздуха в легкие. Для того чтобы язык не западал в дыхательное горло и не закрывал доступ воздуха в легкие, его вытягивают и придерживают с помощью платка или марли.

Существует несколько способов искусственного дыхания:

1. Пострадавшего положить на живот таким образом, чтобы обеспечить доступ воздуха к его дыхательным путям, встать на колени над его бедрами и попеременно сдавливать ладонями и опускать грудную клетку. Сдавливать грудную клетку нужно в течение 3 с (по счету «раз, два, три»), постепенно усиливая нажим, подавшись для этого всем туловищем вперед. Затем быстро отнять руку, выждать около 3 с и снова нажать.

2. Скатать из одежды валик и положить под спину пострадавшего, затем встать на колени около его головы, захватить обе его руки ниже локтей и крепко прижать их на 3 с к бокам. Затем поднять руки пострадавшего и вытянуть их вдоль головы. Такие движения нужно повторять 12 – 15 раз в минуту.

3. Положить пострадавшего на спину, предварительно расстегнув стесняющую его одежду, запрокинуть его голову назад. При таком положении головы воздух свободно проходит в легкие. Надавив на подбородок, раскрыть рот пострадавшего, зажав ему нос рукой. Сделать глубокий вдох и, плотно обхватив своими губами открытый рот пострадавшего, с силой выдохнуть воздух ему в рот. После того как грудная клетка пострадавшего расширится, отстраниться от него. Выдох у него произойдет произвольно. Повторять вдувание воздуха таким образом 16 – 20 раз в минуту, что соответствует нормальной частоте.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

При подготовке к занятиям студент должен:

- 1) ознакомиться с содержанием занятия и изучить теоретические положения, на которых данная работа базируется;
- 2) изучить возможности специализированного программного обеспечения, используемого для компьютерного моделирования электрических схем;
- 3) разработать план проведения эксперимента и реализации методики снятия зависимостей. Следует внимательно проследить по схеме, каким образом будет изменяться исходная величина, как она регулируется и каким образом будет отсчитываться исследуемая величина;
- 4) ознакомиться с исследуемым полупроводниковым прибором, его паспортными данными.

При выполнении лабораторно-практических занятий студент обязан:

- 1) ознакомиться с рабочим местом; установить наличие необходимой аппаратуры, соединительных проводов, источников питания, вспомогательных приборов и компьютерного программного обеспечения;
- 2) выбрать соответствующую измерительную аппаратуру, определить пределы измерения, используя справочные данные и задание на исследование;
- 3) самостоятельно определить число отсчетов, необходимых для правильного воспроизведения исследуемой зависимости. На тех участках, где исследуемая величина резко изменяется или ее изменениям соответствуют особые точки (максимум, минимум, перегиб и т.п.), надо брать точки отсчета чаще, чем на тех участках, где исследуемая величина изменяется мало;
- 4) собрать электрическую схему исследования в пакете схемотехнического моделирования. В ходе лабораторно-практического занятия необходимо произвести записи, проанализировать их и представить на проверку преподавателю;
- 5) используя лабораторный стенд, собрать электрическую схему исследования, соответствующую схеме компьютерного моделирования.

б) к следующей лабораторной работе необходимо представить аккуратно оформленный отчет по предыдущей работе. Схемы вычерчиваются в соответствии с требованиями ЕСКД, графики выполняются с использованием специализированного программного обеспечения или на миллиметровой бумаге. На графики наносятся экспериментальные точки, по ним проводится плавная кривая;

7) полученные зависимости необходимо сравнить со справочными, также нужно сравнить результаты компьютерного моделирования и натурального эксперимента и сделать необходимые выводы и расчеты по проделанной работе.

Содержание отчета по лабораторно-практическим занятиям

1. Наименование и цель занятия.
2. Электрические схемы исследования.
3. Результаты измерений (в виде таблиц).
4. Графические зависимости и осциллограммы на миллиметровой бумаге.
5. Сопутствующие измерениям расчеты.
6. Краткие выводы по проделанной работе.

Часть I

АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Лабораторно-практическое занятие № 1

Исследование полупроводникового диода

Цель работы – исследовать вольт-амперные и частотные характеристики работы полупроводниковых диодов и стабилитронов, а также общие принципы их использования в электронных цепях.

В результате проведения работы студенты должны знать основные параметры выпрямительных диодов и стабилитронов, уметь рассчитывать элементы схемы параметрического стабилизатора, приобрести навыки экспериментального исследования полупроводниковых диодов.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служат схемы для снятия вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода и стабилитрона, а также схема параметрического стабилизатора напряжения.

В работе используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования.

На лабораторном стенде находится источник переменного напряжения 24 В, включаемый тумблером, который расположен на панели стенда.

Токи и напряжения измеряются амперметрами и вольтметрами, расположенными непосредственно на стенде, дополнительно в работе используются мультиметр, генератор низкочастотных сигналов и осциллограф.

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с методикой снятия ВАХ диода и принципом действия параметрического стабилизатора.

2.2. Из базы компонентов пакета компьютерного моделирования выбрать диод и стабилитрон, параметры которых более всего соответствуют параметрам диода и стабилитрона лабораторного стенда.

3. Рабочее задание

3.1. Составить схему для снятия ВАХ диода (рис. 1). Измерить напряжение на выходе схемы $U_{\text{вых}}$ и токи во всех ветвях при различных сопротивлениях нагрузки $R_{\text{н}}$. Результаты измерений занести в таблицу.

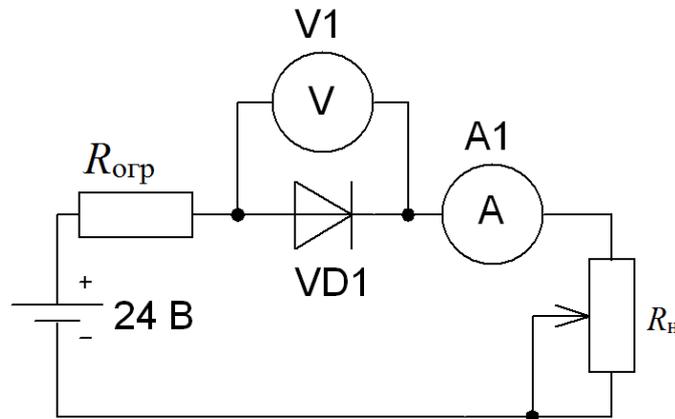


Рис. 1. Схема исследования полупроводникового диода

3.2. Заменить в схеме постоянный источник на переменный с амплитудой выходного сигнала 5 В и частотой 100 Гц.

- зарисовать осциллограммы сигналов на диоде;
- увеличить частоту источника до значения, при котором диод начинает терять выпрямительные свойства и снова зарисовать осциллограммы;
- определить частоту, при которой диод теряет выпрямительные свойства.

3.3. Собрать схему для исследования параметрического стабилизатора напряжения (рис. 2).

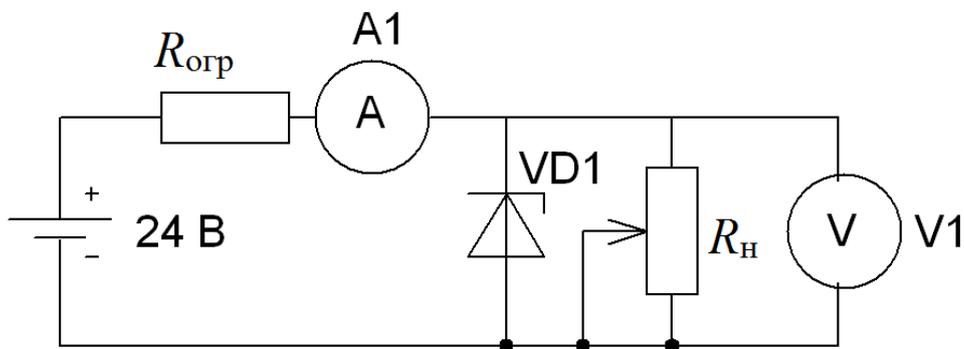


Рис. 2. Схема исследования параметрического стабилизатора

3.4. Измерить напряжение на выходе схемы $U_{\text{вых}}$ и токи во всех ветвях при различных сопротивлениях нагрузки $R_{\text{н}}$. Результаты измерений занести в таблицу.

3.5. Построить нагрузочную характеристику $U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$. Определить интервал значений сопротивлений $R_{\text{н}}$, при которых схема успешно стабилизирует выходное напряжение.

3.6 Сравнить ВАХ, полученные при компьютерном моделировании и в ходе реальных измерений.

4. Методические указания

Вольт-амперная характеристика p - n -перехода описывается выражением

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{\Phi_T}} - 1 \right),$$

где I_0 – тепловой ток; U – приложенное внешнее напряжение; Φ_T – тепловой потенциал (26 мВ).

Полупроводниковый диод (рис. 3) представляет объединение p - n -перехода и омического сопротивления p - и n -областей (рис. 4). Поэтому ВАХ собственно диода (рис. 5) характеризуется экспоненциальной зависимостью на прямой ветви только на начальном участке. При достижении порогового напряжения $U_{\text{пор}}$ p - n -переход исчезает и зависимость между током и напряжением определяется величиной омического сопротивления $r_0 = r_p + r_n$.

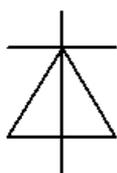


Рис. 3. Обозначение полупроводникового диода

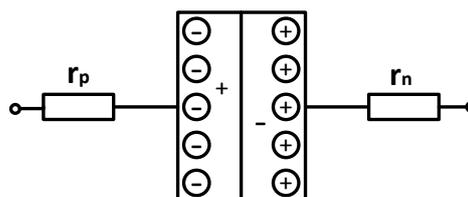


Рис. 4. Области p - n -перехода и омического сопротивления

На обратном участке ВАХ превышение некоторого напряжения $U_{\text{проб}}$ создает состояние пробоя – необратимого неконтролируемого увеличения обратного тока, приводящего к выходу диода из строя. Известно несколько механизмов пробоя: туннельный, тепловой, лавинный и др.

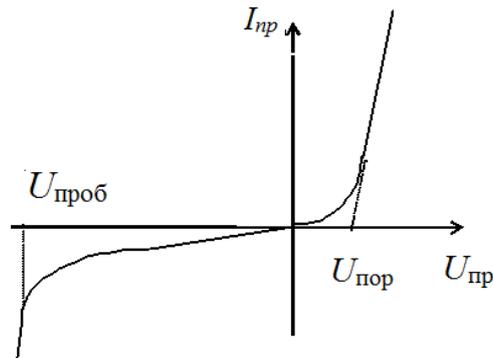


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика диода

Выпрямительные диоды применяют для выпрямления переменных токов частотой 50 Гц – 100 кГц. В них используется главное свойство *p-n*-перехода – односторонняя проводимость. Важная особенность выпрямительных диодов – большие площади *p-n*-перехода, поскольку они рассчитаны на выпрямление больших по величине токов. Основные параметры выпрямительных диодов даются применительно к их работе в однополупериодном выпрямителе с активной нагрузкой (без конденсатора, сглаживающего пульсации).

Среднее прямое напряжение $U_{пр\ ср}$ – среднее за период прямое напряжение на диоде при протекании через него максимально допустимого выпрямленного тока.

Средний обратный ток $I_{обр. ср}$ – средний за период обратный ток, измеряемый при максимальном обратном напряжении.

Максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр. max}$ ($U_{обр. и max}$) – наибольшее постоянное (или импульсное) обратное напряжение, при котором диод может длительно и надежно работать.

Максимально допустимый выпрямленный ток $I_{вп. ср. max}$ – средний за период ток через диод (постоянная составляющая), при котором обеспечивается его надежная длительная работа.

Превышение максимально допустимых величин ведет к резкому сокращению срока службы или пробоем диода.

Максимальная частота f_{max} – наибольшая частота подводимого напряжения, при которой выпрямитель на данном диоде работает достаточно эффективно, а нагрев диода не превышает допустимой величины.

В выпрямительном устройстве энергия переменного тока преобразуется в энергию постоянного тока за счет односторонней проводимости диодов.

Стабилитроны (рис. 6) предназначены для стабилизации напряжения на нагрузке при изменении питающего напряжения или сопротивления нагрузки, для фиксации уровня напряжения и т. д.

Для стабилитронов рабочим является участок электрического пробоя ВАХ (рис. 7) в области обратных напряжений. На этом участке напряжение на диоде остается практически постоянным при изменении тока через диод.

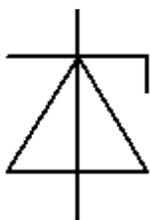


Рис. 6. Обозначение стабилитрона

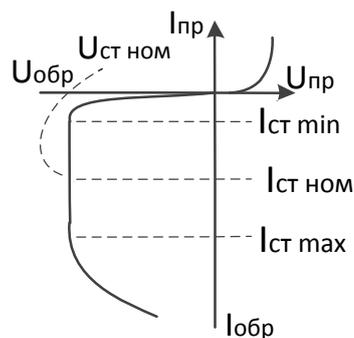


Рис. 7. Вольт-амперная характеристика стабилитрона

Основные параметры стабилитрона:

Номинальное напряжение стабилизации $U_{ст. ном}$ – напряжение на стабилитроне в рабочем режиме (при заданном токе стабилизации).

Минимальный ток стабилизации $I_{ст. min}$ – наименьшее значение тока стабилизации, при котором режим пробоя устойчив.

Максимально допустимый ток стабилизации $I_{ст. max}$ – наибольший ток стабилизации, при котором нагрев стабилитронов не выходит за допустимые пределы.

Дифференциальное сопротивление $R_{ст}$ – отношение приращения напряжения стабилизации к вызывающему его приращению тока стабилизации: $R_{ст} = \Delta U_{ст} / \Delta I_{ст}$.

К параметрам стабилитронов также относят *максимально допустимый прямой ток I_{max}* , *максимально допустимый импульсный ток $I_{пр.и max}$* , *максимально допустимую рассеиваемую мощность P_{max}* .

Обозначение параметрического стабилитрона показано на рис. 6. Нагрузка (потребитель) включена параллельно стабилитрону. В режиме стабилизации, когда напряжение на стабилитроне почти постоянно, такое же напряжение будет и на нагрузке. Токоограничительное сопротивление $R_{огр}$ служит для установления и поддержания правильного режима стабилизации. Обычно $R_{огр}$ рассчитывают для средней точки ВАХ стабилитрона (рис. 7):

$$R_{огр} = (E_{num} - U_{ст.ном}) / (I_{ст.ном} - I_n),$$

где E_{num} – среднее напряжение источника, $E_{num} = 0,5 (E_{min} + E_{max})$; $I_{ст.ном}$ – средний ток стабилизации; I_n – ток нагрузки, $I_n = U_{ст.ном} / R_n$.

Эффективность стабилизации напряжения характеризуется коэффициентом стабилизации.

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{num} / U_{num}}{\Delta U_{ст.ном} / U_{ст.ном}},$$

где ΔU – изменение напряжения на входе стабилизатора; $\Delta U_{ст}$ – изменение напряжения на выходе стабилизатора.

Практически $K_{ст}$ равен нескольким десяткам.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему и объясните способ снятия ВАХ диодов с помощью амперметра и вольтметра.
2. Дайте определение дифференциального сопротивления диода и объясните графически способ его определения.
3. Нарисуйте ВАХ стабилитрона и определите рабочий участок ВАХ при стабилизации напряжения.
4. Перечислите основные параметры диодов.
5. Объясните работу параметрического стабилизатора постоянного напряжения.

Лабораторно-практическое занятие № 2

Исследование режимов работы выпрямителей

Цель работы – ознакомиться с методами измерения параметров выпрямителей с полупроводниковыми диодами, с различными видами сглаживающих фильтров.

В результате проведения работы студенты должны знать основные схемы выпрямителей и основные аналитические соотношения для оценки их параметров; уметь рассчитывать схему выпрямителя; приобрести навыки экспериментальных исследований параметров выпрямителей.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служат схемы однополупериодного и двухполупериодного выпрямления, образуемые из полупроводнико-

вых диодов VD1 – VD4, конденсаторов C1, C2, резисторов R, R1, R2, индуктивности L и элементов коммутации SA1 – SA4, расположенных на стенде.

В работе используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования, а также источник переменного напряжения 24 В, включаемый тумблером, который расположен на панели лабораторного стенда.

Токи и напряжения измеряются амперметрами и вольтметрами, расположенными непосредственно на стенде, дополнительно в работе используются мультиметр и осциллограф.

2. Подготовка к работе

2.1. Изучить принцип действия, схемы замещения выпрямителей и их основные расчетные и измеряемые параметры.

2.2. Ознакомиться с принципом действия измерительных приборов (амперметров, вольтметров) и методами определения погрешности измерения.

2.3. Рассчитать выпрямитель с выводом нулевой точки трансформатора и LC-фильтром (данные для расчета получить у преподавателя).

2.4. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе с полностью выполненным заданием пп. 2.1 – 2.3, схемами и таблицами.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя (рис. 8).

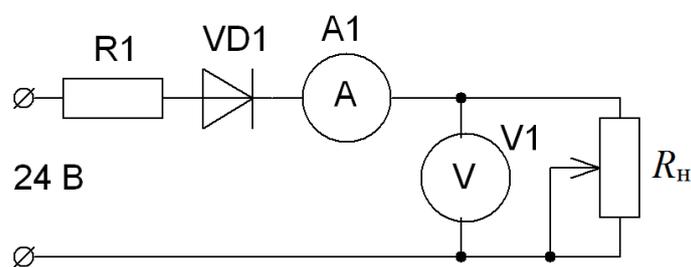


Рис. 8. Однополупериодный выпрямитель

3.2. Включить общее питание стенда с помощью тумблера.

3.3. Снять характеристику $U_{\alpha} = f(I_{\alpha})$ по схеме рис. 1. Зарисовать осциллограммы выпрямленного тока и напряжения на диоде $U_{\alpha k}$.

3.4. Собрать схему по рис. 9. Снять внешнюю характеристику $U_\alpha = f(I_\alpha)$ выпрямителя с RC-фильтром. Зарисовать осциллограммы напряжения U_α и тока I_α .

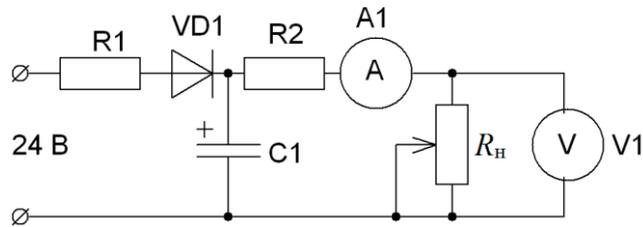


Рис. 9. Выпрямитель с RC-фильтром

3.5. Собрать схему по рис. 10. Снять внешнюю характеристику $U_\alpha = f(I_\alpha)$ выпрямителя с LC-фильтром. Зарисовать осциллограммы напряжений U_α , $U_{\alpha k}$ и тока I_k .

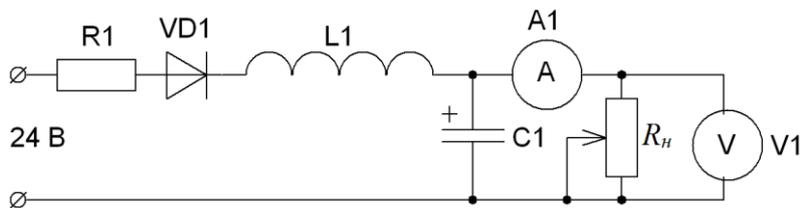


Рис. 10. Выпрямитель с LC-фильтром

3.6. Собрать схему мостового выпрямителя (рис. 11) с RC-фильтром и снять характеристику $U_\alpha = f(I_\alpha)$. Зарисовать осциллограммы напряжений U_α , $U_{\alpha k}$ и тока I_k .

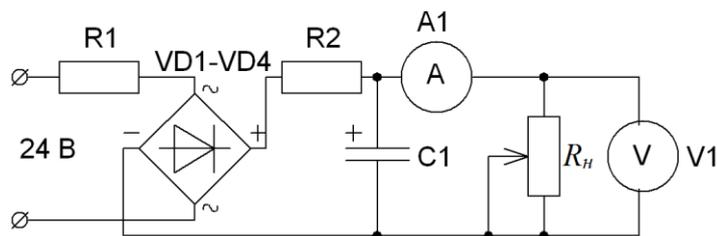


Рис. 11. Мостовой выпрямитель

4. Обработка результатов измерений

4.1. Построить внешние характеристики выпрямителей по пп. 3.3. – 3.6.

4.2. Рассчитать коэффициенты пульсаций на выходе схем выпрямления по пп. 3.3. – 3.6 и на нагрузке.

4.3. Сравнить коэффициенты пульсаций, полученные при компьютерном моделировании и в ходе реальных измерений.

5. Методические указания

5.1. При снятии внешних характеристик ток в цепи нагрузки изменять от минимального, получающегося при размыкании цепи нагрузки, до 100 мА.

5.2. Все осциллограммы напряжений U_α для данной схемы снимать при одинаковом усилении осциллографа.

5.3. Осциллограммы тока снимать при одинаковом значении среднего тока I_α .

5.4. Коэффициенты пульсаций на выходе выпрямителя и на нагрузке определяются по формулам

$$q_1 = U_{n1} / U_{\alpha 2}; \quad q_2 = U_{n2} / U_{\alpha 2},$$

где U_{n1} , U_{n2} , $U_{\alpha 2}$ – соответственно амплитуды гармоники напряжения и постоянные составляющие выпрямленного напряжения на входе сглаживающего фильтра и на выходе фильтра (на нагрузке). Обычно амплитуды гармоник определяются из ряда Фурье для симметричного относительно начала отсчета участка кривой выпрямленного напряжения. В частном случае для двухполупериодного выпрямителя

$$U_n = m/\pi \int \sqrt{2} U_2 \cos \omega t \, dt = 2 U_\alpha / n^2 - 1,$$

где m – число отрезков кривой напряжения U_α , повторяющихся за период частоты сети, т.е. $m = km$, где $k = 1, 2, 3 \dots$. Приведенная выше формула справедлива при $k > 2$.

Коэффициент пульсаций выпрямителя без фильтра или на выходе фильтра, начинающегося с индуктивности, определяют из уравнения

$$q_1 = U_{n1} / U_{\alpha 2} = 2 / m^2 - 1.$$

Отношение $q_1 / q_2 = S$ характеризует степень сглаживания пульсаций фильтром и называется коэффициентом фильтрации, или коэффициентом сглаживания.

Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет внешняя характеристика выпрямителя без фильтра и как она снимается?
2. Объясните работу мостовой схемы выпрямителя при активной нагрузке.
3. Объясните осциллограммы выпрямленного напряжения U_{α} , тока диода I_{α} , напряжения на диоде $U_{\alpha k}$ при активной нагрузке.
4. Проведите сравнительную оценку исследованных схем выпрямителей.
5. С помощью какого коэффициента учитываются пульсации в кривых выпрямленного напряжения?
6. Какие данные являются исходными при расчете выпрямителя? Каков порядок расчета?

Лабораторно-практическое занятие № 3

Исследование характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером и определение параметров транзистора

Цель работы – ознакомиться с методами определения параметров и снятия характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером.

В результате проведения работы студенты должны знать принцип работы транзистора, функциональные зависимости входной и выходной статических характеристик, схемы замещения для исследования этих характеристик; уметь определять параметры транзистора по известным статическим характеристикам; приобрести навыки экспериментальных исследований транзистора в схеме с общим эмиттером и снятия его статических характеристик.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служит транзистор типа *p-n-p*, расположенный на лабораторном стенде.

В работе используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования, а также источник постоянного напряжения 24 В, включаемый тумблером, который расположен на панели лабораторного стенда.

Токи и напряжения измеряются амперметрами и вольтметрами, расположенными непосредственно на стенде.

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться со схемой измерения характеристик транзистора, которая показана на рис. 12. В схеме имеется два источника питания E_6 – напряжение смещения на базе и E_k – напряжение питания на коллекторе транзистора.

При исследовании маломощных кремниевых транзисторов для контроля токов используются магнитоэлектрические миллиамперметры с пределами $mA1 - 0,25 \text{ mA}$ и $mA2 - 10 \text{ mA}$. Для контроля напряжений используют магнитоэлектрические вольтметры $V1$ с пределом $0,5 \text{ V}$ и $V2$ с пределом 15 V .

2.2. Изучить принцип работы транзистора, его входные и выходные характеристики. Ознакомиться (по справочникам) с маркировкой и видом транзисторов.

2.3. Из базы компонентов пакета компьютерного моделирования выбрать транзистор, параметры которого больше всего соответствуют параметрам транзистора лабораторного стенда.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать схему снятия характеристик транзистора (см. рис. 12), для чего использовать элементы и приборы, расположенные на лабораторном стенде.

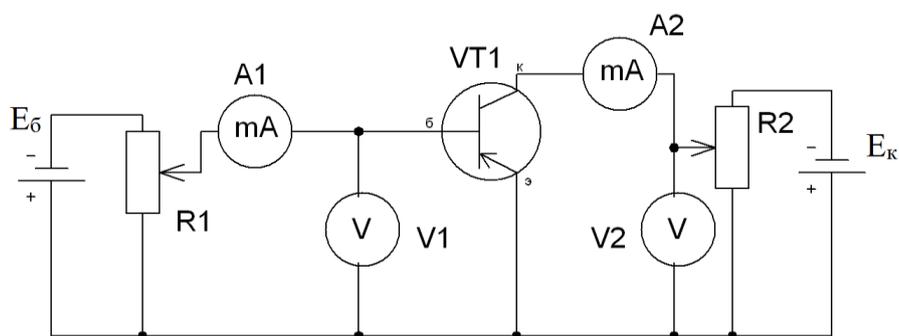


Рис. 12. Схема снятия ВАХ транзистора

3.2. Установить движки потенциометров в крайнее нижнее положение так, чтобы показания вольтметров $V1$ и $V2$ при включении напряжения источников питания оказались равными нулю.

3.3. Включить напряжение источника питания с помощью тумблера, расположенного на стенде. Убедиться в нулевых показаниях вольтметров.

3.4. Проверить действие схемы, правильность включения приборов и полярности источников. Для этого:

- при $U_k = 0$ увеличивать с помощью потенциометра R1 напряжение в цепи базы U_b . Ток I_b в этой цепи должен возрастать (это означает, что цепь открыта);

- установить $U_b = 0$ и увеличивать с помощью потенциометра R2 напряжение в цепи коллектора U_k . Тока I_k в этой цепи быть не должно (это означает, что цепь закрыта);

- установить $U_k = 5 - 10$ В. Увеличивая напряжение в цепи базы, наблюдать возрастание токов I_b и I_k в закрытой коллекторной цепи. Убедиться в том, что изменения тока базы вызывают соответствующие изменения тока I_k . Значительные изменения напряжения U_k мало влияют на изменение тока I_k .

3.5. Снять две входные статические характеристики $I_b = f(U_b)$, при $U_k = 10$ В. Напряжение в цепи базы при этом изменять потенциометром R1 через интервалы 0,025 В и измерять базовый ток I_b . Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

Входные характеристики транзистора

$U_b, \text{В}$		0	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25
$U_k, \text{В}$	0	$I_b, \text{В}$	0									
	10		0									

3.6. Снять пять выходных статических характеристик $I_k = f(U_k)$, при $I_b' : 0,8 I_b' ; 0,6 I_b' ; 0,4 I_b' ; 0,2 I_b'$, где I_b' – базовый ток, при котором коллекторный ток достигает допустимого значения (100 мА для маломощных транзисторов). Для этого, увеличивая с помощью потенциометра R2 напряжение U_k от нуля через интервалы 1 В измеряют соответствующие значения коллекторного тока I_k . В процессе измерений выбранный базовый ток следует поддерживать неизменным. Результаты измерений записать в табл. 2.

Таблица 2

Выходные характеристики транзистора

$U_{к}, В$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
при	$0,2 I_{б}$	$I_{к}, мА$	0											
	$0,4 I_{б}$		0											
	$0,6 I_{б}$		0											
	$0,8 I_{б}$		0											
	$I_{б}$		0											

4. Обработка результатов измерений

4.1. Построить семейство входных и выходных характеристик транзистора.

4.2. По выходным характеристикам рассчитать коэффициент усиления по току β , сравнить полученное значение с величиной β , указанной в справочнике на данный тип транзистора.

4.3. Сравнить входные и выходные характеристики транзистора, полученные в ходе моделирования и натурального эксперимента.

5. Методические указания

Принцип работы транзистора в схеме с общим эмиттером заключается в том, что наличие тока в базовой цепи $I_{б}$ вызывает в закрытой коллекторной цепи появление большого коллекторного тока $I_{к} = \beta I_{б}$, где β – коэффициент усиления по току транзистора в схеме с общим эмиттером. Изменение тока в базовой цепи на $\pm I_{б}$ вызывает в β раз большее изменение коллекторного тока $\Delta I_{к} = \beta \Delta I_{б}$ или $\beta = \Delta I_{к} / \Delta I_{б}$.

Контрольные вопросы

1. Как изменятся полярности источников $E_{б}$ и $E_{к}$ при замене транзистора типа $p-n-p$ на транзистор типа $n-p-n$?
2. Перечислите основные схемы включения транзистора в схему.
3. Почему входное сопротивление транзистора возрастает, если уменьшить напряжение на базе?
4. Почему выходное сопротивление транзистора уменьшается, если увеличить ток в цепи базы и коллектора?
5. Назовите область применения транзисторов.

Лабораторно-практическое занятие № 4

Исследование резистивного транзисторного усилителя, включенного по схеме с общим эмиттером

Цель работы – исследовать основные характеристики резистивных усилителей по постоянному и переменному току.

В результате проведения работы студенты должны знать принцип работы усилителя; уметь определять основные параметры усилителя, такие как коэффициент усиления по напряжению (K_u), входное и выходное сопротивление усилителя, полосу пропускания; приобрести навыки экспериментального исследования и снятия амплитудных и частотных характеристик.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служит схема резистивного усилителя, расположенная на лабораторном стенде.

В работе используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования, а также источник постоянного напряжения 24 В.

Измерение токов и напряжений исследуемой схемы осуществляется мультиметром, также используются низкочастотный генератор и осциллограф.

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с принципом действия электронных усилителей на биполярных транзисторах.

2.2. Начертить схему усилителя с общим эмиттером (ОЭ), показав на ней необходимые измерительные приборы и низкочастотный генератор для снятия амплитудной и амплитудно-частотной характеристик.

2.3. Рассчитать коэффициент усиления по напряжению усилителя (K_u), его входное сопротивление ($R_{вх}$) и выходное сопротивление ($R_{вых}$) по следующим формулам:

$$K_u = (R_k || R_n) / (r_э + R_э), \text{ (выражение справедливо при отключенном конденсаторе } C_э),$$

где R_k – сопротивление резистора в коллекторной цепи; R_n – сопротивление нагрузки; $r_э$ – сопротивление прямого перехода

база-эмиттер (в первом приближении этой величиной можно пренебречь, так как $R_3 > r_3$); R_3 – сопротивление резистора в эмиттерной цепи;

$$R_{\text{вх}} = (R_1 \parallel R_2) \parallel ((\beta + 1)(r_3 + R_3)),$$

где $\beta = I_{\text{к}}/I_{\text{б}}$ – коэффициент передачи тока базы; $R_{\text{вых}} = R_{\text{к}} \parallel R_{\text{н}}$.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать схему (рис. 13).

3.2. Провести анализ схемы по постоянному току (без источника сигнала): измерить $I_{\text{б}}$ и $I_{\text{к}}$, определить $\beta = I_{\text{к}}/I_{\text{б}}$, измерить I_3 , определить $r_3 = I_3/25\text{мВ}$.

3.3. При частоте $f = 1$ кГц снять амплитудную характеристику усилителя. Определить коэффициент усиления. Снять осциллограммы при входном напряжении ($U_{\text{вх}}$), равном 10 и 100 мВ. Отключить конденсатор C_3 и снова определить коэффициент усиления. Сравнить полученное значение $K_{\text{и}}$ с расчетным в п. 2.3.

3.4. Определить входное и выходное сопротивление усилителя, для чего необходимо измерить входной (выходной) ток и входное (выходное) напряжение. Сравнить полученные значения $R_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вых}}$ с расчетными в п. 2.3.

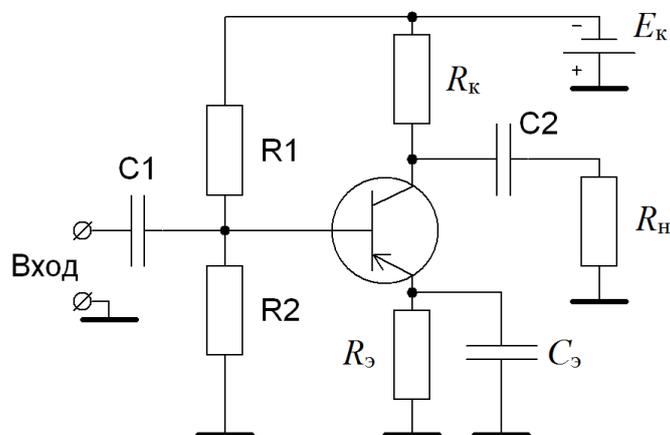


Рис.13. Усилитель на биполярном транзисторе

3.5. Снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя. Определить полосу пропускания усилителя.

3.6. Сравнить АЧХ усилителя, полученную при компьютерном моделировании и экспериментальных исследованиях.

4. Методические указания

Один из важных параметров, характеризующих свойства усиления, – коэффициент усиления, который в общем случае является комплексной величиной и определяется как отношение комплексного напряжения на выходе усилителя к комплексному напряжению на его входе:

$$K = U_{\text{ВЫХ}} e^{j\varphi_{\text{ВЫХ}}} / U_{\text{ВХ}} e^{j\varphi_{\text{ВХ}}} = K_u e^{j\varphi},$$

где $K = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$ – модуль коэффициента усиления усилителя; $\varphi = \varphi^{\text{ВЫХ}} - \varphi^{\text{ВХ}}$ – аргумент коэффициента усиления.

Зависимость модуля коэффициента усиления усилителя от частоты называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), а зависимость аргумента коэффициента усиления (фазы) от частоты – фазо-частотной характеристикой (ФЧХ). По АЧХ определяется полоса пропускания усилителя – это диапазон частот, в пределах которого АЧХ изменяется в заданном диапазоне. Принято считать, что граничные частоты полосы пропускания соответствуют уменьшению коэффициента усиления в $\sqrt{2}$ раза по сравнению с его максимальным значением.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение элементов в схеме?
2. Какой элемент создает в исследуемой схеме отрицательную обратную связь (ООС)?
3. Как по АЧХ усилителя определить его полосу пропускания?
4. От чего зависит нижняя и верхняя граничная частота?
5. Как влияет на работу усилителя отключение конденсаторов C_3 , C_1 и C_2 ?
6. От чего зависит коэффициент усиления схемы?
7. В каком режиме работает усилитель с ОЭ? Какие элементы схемы определяют положение рабочей точки усилителя?
8. Амплитудная характеристика усилителя: определение, типичный вид, назначение.
9. Линейные и нелинейные искажения: определение, причины их появления, способы устранения.
10. Требования к резистивному усилителю. Назначение ООС.

Часть II ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Лабораторно-практическое занятие № 1

Исследование простейших логических элементов ИЛИ, И, И-НЕ, ИЛИ-НЕ

Цель работы – исследовать простейшие логические элементы ИЛИ, И, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, опытным путем подтвердить соответствие таблиц истинности соответствующим элементам.

В результате проведения работы студенты должны знать основные параметры логических элементов, уметь распознавать их на схеме электрической принципиальной, приобрести навыки экспериментального исследования отдельных логических элементов.

1. Объект и средства исследования

Объект исследования – логические элементы ИЛИ, И, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, расположенные на лабораторном стенде.

В работе используется лабораторный макет, который включает в себя различные логические элементы, панель, задающую логические состояния сигнала, и панель с набором светодиодных индикаторов, которые служат для определения логического состояния электронного прибора. Лабораторный макет включается с помощью тумблера, находящегося на тыльной стороне макета. Коммутация осуществляется при помощи специальных проводников. Также используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования.

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и определениями по теме лабораторной работы.

2.2. Выучить таблицы истинности исследуемых логических элементов.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать схему с логическим элементом ИЛИ. В лабораторном макете элемент ИЛИ выполнен на базе микросхемы К155ЛЛ1, обозначение на панели «1». Проверить экспериментально соответствие прибора таблице истинности.

3.2. Собрать схему с логическим элементом И. В лабораторном макете элемент И выполнен на базе микросхемы К155ЛИ1, обозначение на панели «&». Проверить экспериментально соответствие прибора таблице истинности.

3.3. Собрать схему с логическим элементом И-НЕ. Логический элемент И-НЕ выполнен на базе микросхемы К155ЛА3, обозначается на панели «&» со знаком инверсии на выходе. Проверить экспериментально соответствие прибора таблице истинности.

3.4. Собрать схему с логическим элементом ИЛИ-НЕ. Логический элемент ИЛИ-НЕ выполнен на основе микросхемы К155ЛЕ4, обозначается на панели «1» со знаком инверсии на выходе. Проверить экспериментально соответствие прибора таблице истинности.

3.5. Сопоставить результаты, полученные в ходе компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

4. Методические указания

Логический элемент ИЛИ имеет высокий уровень на выходе (единицу), если хотя бы на одном из его входов присутствует высокий уровень. В общем случае число входов не ограничено, однако в стандартном корпусе микросхемы обычно размещаются четыре двухходовых вентиля. Логический элемент ИЛИ выполняет функцию «дизъюнкции» входных переменных.

Логический элемент И имеет высокий уровень только в том случае, если на обоих его входах присутствует высокий уровень. Логический элемент И выполняет функцию «конъюнкции» входных переменных.

Таблицы истинности и иностранные обозначения элементов ИЛИ и И представлены на рис. 14.

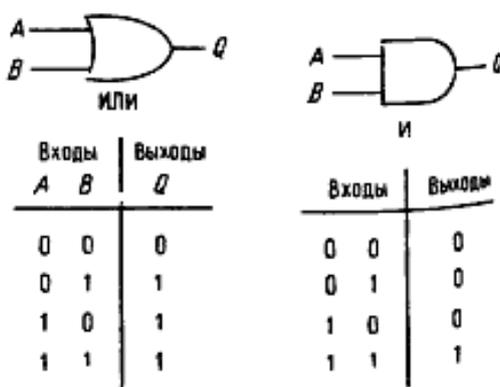


Рис. 14. Таблицы истинности и обозначения элементов ИЛИ и И

Для инверсии логического сигнала используют логический элемент НЕ (инвертор). Таблица истинности и иностранное обозначение элемента представлены на рис. 15.



Рис. 15. Таблица истинности и обозначение элемента НЕ

Вентили могут совмещать инвертирование и выполнение функций И и ИЛИ. Логический элемент ИЛИ-НЕ выполняет функцию «отрицание дизъюнкции». Таблицы истинности и обозначения элементов представлены на рис. 16.

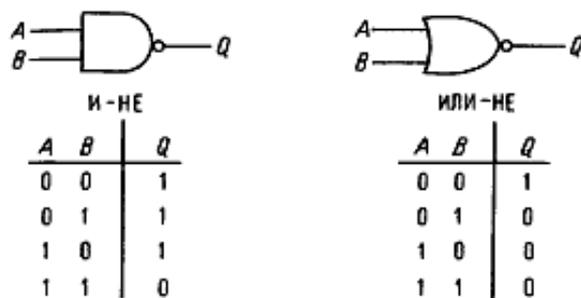


Рис. 16. Таблицы истинности и обозначения элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ

Контрольные вопросы

1. Что называют логической функцией?
2. Что называют логической переменной?
3. Что называют набором аргументов?
4. Что такое таблица истинности?
5. Что значит задать логическую функцию?
6. Составьте таблицу истинности для инвертора.
7. Составьте таблицу истинности для элемента ИЛИ.
8. Составьте таблицу истинности для элемента И.
9. Сколько наборов существует при числе аргументов функций, равном n ?

10. Как определить число существующих различных функций?
11. Что называют дизъюнкцией?
12. Что называют конъюнкцией?
13. Что называют базисом?
14. Как реализуется элемент НЕ в базисе ИЛИ-НЕ?
15. Как реализуется элемент ИЛИ в базисе И-НЕ?
16. Как реализуется элемент И в базисе И-НЕ?

Лабораторно-практическое занятие № 2

Исследование комбинационных схем на примере логического элемента «Исключающее ИЛИ»

Цель работы – убедиться в идентичности таблиц истинности элемента «Исключающее ИЛИ» и его схемозамещения, выполненного на логических элементах И, ИЛИ, И-НЕ, НЕ.

В результате проведения работы студенты должны знать принципы построения комбинационных устройств (КУ), уметь выполнять построение комбинационной схемы при заданной логической функции, приобрести навыки экспериментального исследования комбинационных схем.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служит логический элемент «Исключающее ИЛИ», расположенный на лабораторном стенде.

В работе используется лабораторный макет, который включает в себя различные логические элементы, панель, задающую логические состояния сигнала, и панель с набором светодиодных индикаторов, которые служат для определения логического состояния электронного прибора. Лабораторный макет включается посредством тумблера, находящегося на тыльной стороне макета. Коммутация осуществляется при помощи специальных проводников. В работе используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования.

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и определениями по теме лабораторной работы.

2.2. Изучить отечественные и зарубежные стандарты начертания логических элементов.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать схему КУ-1, изображенную на рис. 17.

Экспериментально вывести таблицу истинности КУ.

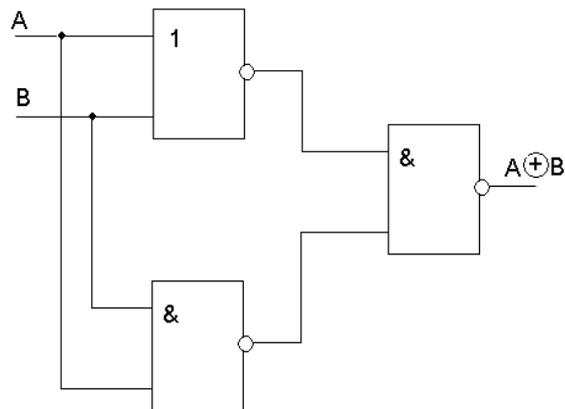


Рис. 17. Функциональная схема комбинационного устройства КУ-1

3.2. Собрать схему КУ-2, изображенную на рис. 18. Экспериментально вывести таблицу истинности КУ.

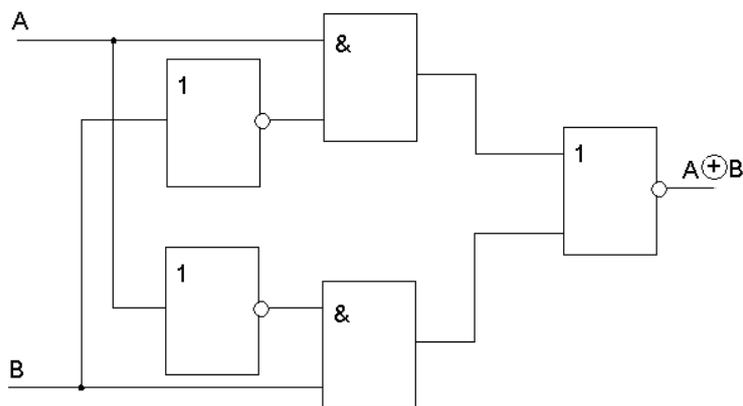


Рис. 18. Функциональная схема комбинационного устройства КУ-2

3.3. Экспериментально вывести таблицу истинности КУ элемента «Исключающее ИЛИ» (рис. 19).

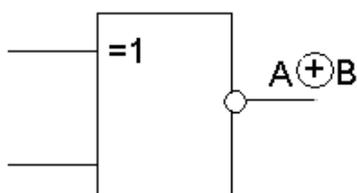


Рис. 19. Логический элемент
«Исключающее ИЛИ»

3.4. Выявить особенности функционирования зарубежных логических элементов, используемых в пакете моделирования, и отечественных элементов, применяемых в лабораторном стенде.

Контрольные вопросы

1. Составьте таблицу истинности для элемента «Исключающее ИЛИ».
2. Каким образом из трехвходового элемента можно сделать двухвходовый?
3. Что такое минимизация логической функции?
4. Какие критерии минимизации существуют?
5. Какие методы минимизации вы знаете?
6. Какова цель синтеза комбинационного устройства?
7. Что представляет собой программируемая логическая интегральная схема?
8. Что такое дизъюнктивная нормальная форма?
9. Что такое конъюнктивная нормальная форма?
10. Что такое совершенная дизъюнктивная (конъюнктивная) нормальная форма?

Лабораторно-практическое занятие № 3

Исследование асинхронного RS-триггера

Цель работы – ознакомиться с функционированием простейшего асинхронного RS-триггера.

В результате проведения работы студенты должны знать внутреннюю структуру триггера, уметь выполнять построение триггера на базе простейших логических элементов, приобрести навыки построения временных диаграмм функционирования триггера.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служит асинхронный RS-триггер, расположенный на лабораторном стенде.

В работе используется лабораторный макет, который включает в себя различные логические элементы, панель, задающую логические состояния сигнала, и панель с набором светодиодных индикаторов, которые служат для определения логического состояния электронного прибора. Лабораторный макет включается с помощью тумблера, находящегося на тыльной стороне макета. Коммутация осуществляется при помощи специальных проводников. Также используется специализированный программный пакет схемотехнического моделирования.

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с методами построения временных диаграмм.

2.2. Изучить принципы функционирования асинхронных и синхронных триггеров (RS-, D-, T- и JK-триггеров).

2.3. Составить краткий словарь иностранных терминов, касающихся функционирования цифровых электронных компонентов.

3. Рабочее задание

3.1. Экспериментально вывести таблицу переходов RS-триггера (рис. 20).

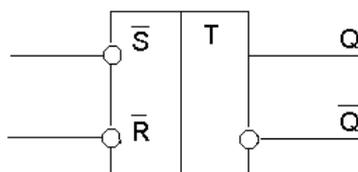


Рис. 20. Асинхронный RS-триггер

3.2. Собрать схему RS-триггера, изображенную на рис. 21. Экспериментально вывести таблицу переходов комбинационной схемы.

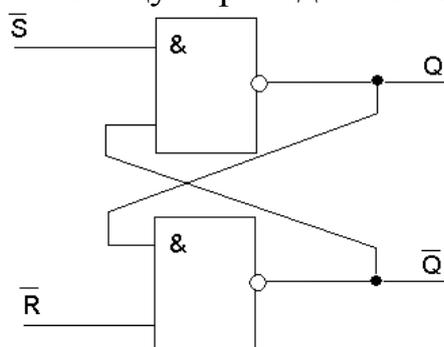


Рис. 21. Функциональная схема RS-триггера

3.3. Построить временные диаграммы работы асинхронного RS-триггера.

3.4. В пакете схемотехнического моделирования получить временные диаграммы работы асинхронного и синхронного RS-триггера. Отметить особенности функционирования триггеров обоих типов.

3.5. Сравнить результаты компьютерного моделирования и экспериментальных исследований работы асинхронного RS-триггера.

Контрольные вопросы

1. Что такое триггер?
2. Какова особенность триггера?
3. Что является основой триггера?
4. Триггеры со статическим и динамическим управлением.
5. Что такое RS-триггер и как они классифицируются? Как устроен асинхронный триггер?
6. Что такое D- триггер?
7. Что такое T-триггер?
8. Что такое JK-триггер?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев, В. Г.* Электроника и микропроцессорная техника / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – М. : Высш. шк., 2005. – 790 с. – ISBN 5-06-004271-5.

2. *Корневский, Н. А.* Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий / Н. А. Корневский, Е. П. Попечителей, С. А. Филист. – Курск : Курск. город. тип., 1999. – 537 с. – ISBN 5-7681-0021-0.

3. *Лачин, В. И.* Электроника / В. И. Лачин, Н. С. Савёлов. – Ростов н/Д. : Феникс, 2010. – 703 с. – ISBN 978-5-222-17655-9.

4. *Хоровиц, П.* Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Мир, 1998. – 704 с.

5. *Ямпурин, Н. П.* Электроника / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова, В. И. Обухов. – М. : Академия, 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-7695-4606-8.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ	4
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	7
Часть I. АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ.....	9
Лабораторно-практическое занятие № 1. Исследование полупроводникового диода.....	9
Лабораторно-практическое занятие № 2. Исследование режимов работы выпрямителей.....	14
Лабораторно-практическое занятие № 3. Исследование характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером и определение параметров транзистора	18
Лабораторно-практическое занятие № 4. Исследование резистивного транзисторного усилителя, включенного по схеме с общим эмиттером.....	22
Часть II. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....	25
Лабораторно-практическое занятие № 1. Исследование простейших логических элементов ИЛИ, И, И-НЕ, ИЛИ-НЕ	25
Лабораторно-практическое занятие № 2. Исследование комбинационных схем на примере логического элемента «Исключающее ИЛИ»	28
Лабораторно-практическое занятие № 3. Исследование асинхронного RS-триггера.....	30
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	33

ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям

Составители:

СУШКОВА Людмила Тихоновна
СОРОКИН Евгений Владимирович

Подписано в печать 02.12.13.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 60 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.