

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Организация автомобильных перевозок
и дорожного движения»

ЭЛЕКТРОННАЯ АВТОМАТИКА И ТЕХНИКА

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальностей

1-44 01 01 «Организация перевозок и управление
на автомобильном и городском транспорте»
и 1-44 01 02 «Организация дорожного движения»

В 2 частях

Часть 1

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ АВТОМАТИКИ
И ТЕХНИКИ

Минск 2004

УДК 681.5.001.63:378.244

Практикум содержит методические указания по практическому выполнению лабораторных работ, основные и дополнительные теоретические сведения, закрепляющие усвоение материала студентами неэлектротехнических специальностей. Организация лабораторных работ предусматривает кроме выполнения экспериментальных исследований, проведение компьютерной обработки полученных результатов. В каждой работе приводятся теоретические сведения, задания, вопросы для самопроверки и список рекомендуемой литературы.

Лабораторные работы выполняются в специализированной лаборатории кафедры на базе микропроцессорного комплекса, включающего элементы реальных систем автоматизированного управления дорожным движением и диспетчерского управления, элементы полупроводниковой интегральной, аналоговой и цифровой, в том числе микропроцессорной техники.

Первая часть практикума содержит работы по изучению основных элементов электронной автоматики и техники: полупроводниковых диодов, транзисторов, операционных усилителей, микропроцессоров и типовых устройств с их использованием, а также измерительных приборов и оборудования.

Практикум может быть использован студентами как дневной, так и заочной формы обучения.

Составитель В.В. Мочалов

Рецензенты:

Ю.В. Кравцов, Е.Н. Кот

© Мочалов В.В.,
составление, 2004

Введение

Правила работы в лаборатории и техника безопасности. До начала работы с аппаратурой студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и строго выполнять изученные положения.

В соответствии с п. 30 ГОСТ 12.1.009-76 малым является электрическое напряжение не более 42 В, поэтому студентам запрещается вскрывать какие-либо приборы, так как в них могут оказаться неизолированные участки с напряжением более 42 В. Для избежания поражения электрическим током, учитывая, что к каждому рабочему столу подведено электрическое сетевое напряжение, следует стараться выполнять работы одной рукой, избегая одновременного касания двух приборов, и ни в коем случае не касаться одновременно измерительного прибора и отопительного радиатора, имеющего нулевой потенциал.

Категорически запрещается включать аппаратуру без разрешения преподавателя, а также выполнять работы при наличии в лаборатории менее двух человек.

При возникновении опасности следует прежде всего отключить сетевое напряжение общим тумблером, сообщить о случившемся преподавателю или лаборанту, при необходимости оказать первую помощь.

Прежде чем включить источники питания, необходимо получить на это разрешение преподавателя. Перед включением источников питания и генераторов все регуляторы должны быть установлены в нулевое положение, чтобы выходное напряжение отсутствовало.

После завершения работы необходимо установить все регуляторы и тумблеры в исходное положение и выключить источники питания, привести рабочее место в порядок.

Общие правила составления отчетов по лабораторным работам. Отчеты выполняются в одной ученической тетради из 12 – 24 страниц (или сшиваются из отдельных машинописных листов формата А4). На общем титульном листе указываются наименования министерства, ниже – вуза, кафедры, номер и тема лабораторной работы, фамилия и инициалы исполнителя и проверяющего преподавателя, город и год выполнения работ. Отчет по каждой лабораторной работе начинается с номера и названия лабораторной работы, задания. Требуемые графические материалы можно выполнять на миллиметровой бумаге. В отчете указывается цель работы, при-

водятся краткие теоретические сведения, расчетные формулы, схемы измерений, результаты выполнения указанных этапов работы, в частности, таблицы с рассчитанными и измеренными величинами, их графики. Проводится анализ полученных результатов. В конце отчета даются ответы на контрольные вопросы и задания. В отчете рекомендуется указывать наиболее сложные этапы выполнения работ и давать рекомендации по выполнению этапов работ, дополнительные контрольные вопросы, приводить программы расчета на ЭВМ. Объем отчета составляет 3 – 4 листа.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

Цель работы. Ознакомиться с типичными контрольно-измерительными приборами и пассивными элементами электроники. Изучить их основные характеристики, научиться пользоваться ими.

Общие сведения

Наиболее широко распространенными приборами для измерения электрических величин являются универсальные ампервольтметры. Эти приборы могут быть либо со стрелочной индикацией измеряемой величины, либо с цифровой. В стрелочных ампервольтметрах производится аналоговая обработка измеряемых сигналов, а в цифровых – цифровая. Измерение величин происходит, как правило, с некоторой погрешностью. Различают *абсолютную погрешность* ΔN – разность между показанием прибора X и действительным значением X_d измеряемой величины:

$$\Delta N = X - X_d,$$

и *относительную погрешность* N – выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$N = \frac{X - X_{\text{д}}}{X_{\text{д}}} \cdot 100\% .$$

Приведенной погрешностью называют процентное отношение абсолютной погрешности к верхнему пределу измерения прибора X_{max}

$$N_{\text{прив}} = \frac{X - X_{\text{д}}}{X_{\text{max}}} \cdot 100\% .$$

Класс точности прибора – наибольшее значение приведенной относительной погрешности в процентах. На шкале прибора число, указывающее точность, обводят кружком. Имеется семь классов точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 4. Приборы всех классов имеют определенное нормальное *рабочее положение*, в котором минимальна погрешность измерений. Рабочее положение обозначается соответствующим знаком на шкале прибора. Электронные устройства содержат кроме *активных* (с дополнительным источником энергии) полупроводниковых и электровакуумных приборов значительное количество *пассивных* вспомогательных элементов. Наиболее широко применяются *резисторы* (специально изготавливаемые элементы, обладающие электрическим сопротивлением требуемой величины) и *конденсаторы* (специально изготавливаемые элементы с определенной электрической емкостью). Все они могут быть постоянными и переменными. Система обозначения резисторов и конденсаторов определяется ГОСТ 2.728-74. Номинальное значение резисторов указывается с использованием букв Е, К, М, для обозначения единиц в омах, килоомах и мегаомах (например 4К7 означает 4,7 кОм; М1 – означает 0,1 МОм и т.п.). Для обозначения единиц емкости на конденсаторах используют буквы М (микрофарады), Н (нанофарады) и П (пикофарады). Основные сокращения в обозначениях единиц измерения и соотношения между ними приведены в прил. 1.

Использование универсальных приборов в качестве амперметра и вольтметра для измерения токов и напряжений показано на рис. 1.1. Сопротивления измеряют либо непосредственно с использованием омметра (рис. 1.2, а), либо косвенным методом, рассчитывая результирующее сопротивление R_X по показаниям амперметра и вольтметра (рис. 1.2, б).

$$R_X = \frac{U_R}{I_R}$$

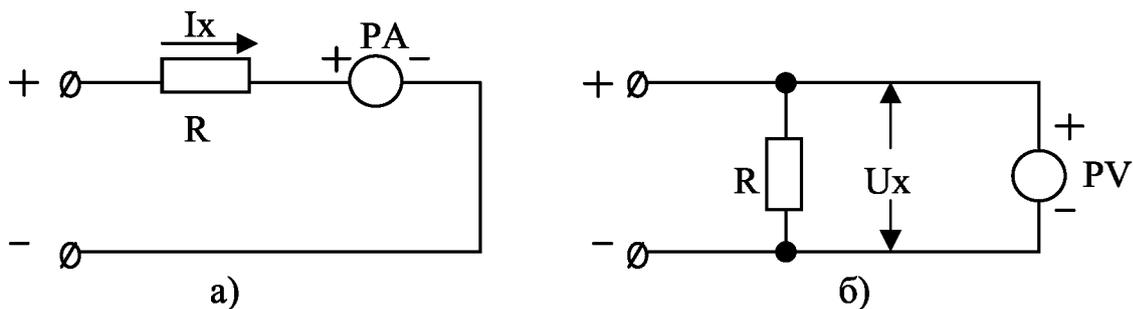


Рис. 1.1. Схема измерения: а) тока; б) напряжения

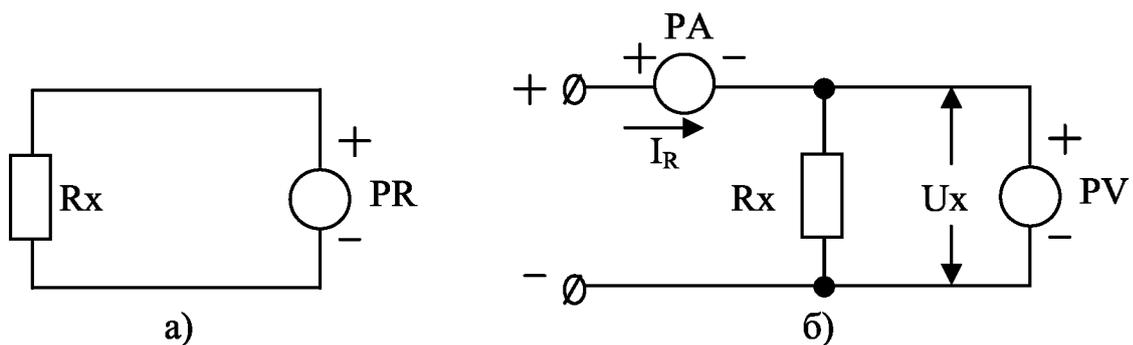


Рис. 1.2. Схема измерения сопротивления:
а) непосредственно; б) косвенным методом

СТРЕЛОЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ТЛ-4М представляет собой ампервольтметр-испытатель транзисторов, предназначенный для измерения постоянного тока (пределы шкал 0,1 – 3000 мА) и напряжения (0,1 – 1000 В), переменного синусоидального тока промышленной частоты 50 Гц (3 – 3000 мА), переменного синусоидального напряжения частотой 40-15000 Гц (1 – 1000 В), сопротивления постоянному току (0,3 кОм – 3 мОм) и параметров транзисторов малой мощности. Прибор рассчитан на работу при температуре от минус 10°С до плюс 50°С. Рабочее положение прибора – горизонтальное. Погрешность прибора не превышает 4%. Входное сопротивление прибора постоянному напряжению 10 кОм/В, переменному – 2,5 кОм/В.

Порядок работы: перед измерением стрелка горизонтально расположенного прибора устанавливается на "0" при помощи механического корректора. Перед подключением прибора сначала устанавливают требуемый предел измерений, причем, если он не известен, *рекомендуется начинать измерение с максимального предела*, постепенно переходя на наиболее подходящий. Для измерения напряжений и тока переключатель рода работ установить в положение "TUR"; переключатель "-", "~" – в положение соответствующее измерению постоянного ("-") или переменного ("~") значения тока, напряжения. Переключатель пределов измерения установить соответствующим измеряемой величине тока или напряжения. Прибор включают в измерительную цепь зажимами "+", "-" и считывают показания по линейным шкалам, соответствующим выбранному пределу измерения. На пределе измерения указано максимальное значение измеряемого тока или напряжения. Для измерения сопротивления постоянному току переключатель работ установить в положение "TUR". Переключатель рода тока установить в положение "-" (постоянный ток), дисковый переключатель – на требуемый предел измерения сопротивления. Положение переключателей в правой части прибора безразлично (используются для измерения параметров транзисторов). Перед измерением необходимо установить "0 шкалы", для этого: 1) замкнуть общие клеммы "+" и "-" 2) отрегулировать положение стрелки при помощи ручки "уст. 0" на 0 по шкале омметра (не путать с 0 по шкале токов и напряжений), разомкнуть клеммы "+", "-". Измерения сопротивлений производить в обесточенных цепях, подключая измеряемое сопротивление к клеммам «+», «-». Показание стрелки по шкале омметра (в омах) необходимо умножить на множитель переменного предела измерения, обозначенный на дисковом переключателе.

Примечание. Для измерения сопротивления на пределе $\times 10000$ требуется внешний источник питания 24...30 В. После измерения сопротивлений дисковый переключатель установить в положение "0" для исключения разрядки встроенных источников питания прибора.

ЦИФРОВОЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИБОР Ц4313 предназначен для измерения постоянного тока (от 0 до 2000 мА) и напряжения (0 – 1000 В); переменного тока синусоидальной формы (20 мкА – 2000 мА) и напряжения (20 мВ – 1000 В); сопротивления постоянному току (0 – 20 МОм). Прибор рассчитан на работу при

температуре от 10 – 35°C. Положение прибора любое. После восьмичасовой непрерывной работы требуется не менее чем пятиминутный перерыв. Входное сопротивление прибора – не менее 1 МОм.

Порядок работы: при использовании сетевого питания подключите шнур питания к сети 220 В, 50 Гц. Включите прибор нажатием кнопки “ПИТ” (питание), должна включиться индикация. Нажмите кнопку переключателя рода работ, соответствующую требуемому диапазону измерений. Подключите соединительные шнуры к гнездам прибора и к исследуемой цепи. Отсчет показаний – непосредственно по индикаторному табло. Появление “1” является признаком переполнения – необходимо переключить прибор на больший диапазон измерений.

Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с описанием и техническими характеристиками прибора ТЛ-4М и блока питания прибора “СУРА”. Измерить с помощью прибора ТЛ-4М значения двух данных резисторов R_1 и R_2 , а также общую величину сопротивления при их параллельном и последовательном соединении. Измерить максимальные значения напряжения двух источников питания E_1 и E_2 прибора “СУРА”. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

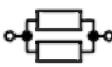
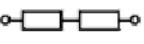
2. Познакомиться с описанием и техническими характеристиками прибора Щ4313, провести им те же измерения, что в п. 1. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

3. Расшифровать маркировку используемых резисторов и занести их номинальные значения сопротивлений в табл. 1.1. Рассчитать по этим номинальным значениям сопротивления при параллельном и последовательном соединении и также занести в табл. 1.1.

4. Считая значения, измеренные цифровым прибором, эталонными, рассчитать абсолютные ΔN и относительные N погрешности стрелочного прибора (максимальные значения занести в табл. 1.1), а также оценить класс точности изготовления резисторов.

5. Расшифровать маркировку прилагаемых к работе конденсаторов.

Таблица 1.1

Измеряемая величина \ Способ измерения	R_1 	R_2 	R_1 и R_2 параллел. 	R_1 и R_2 последоват. 	E_1 	E_2 	ΔN	N
ТЛ-4М								
Щ4313							–	–
Номинальное значение								

Содержание отчета

В отчете приводятся краткие технические данные приборов, результаты выполнения работы и даются ответы на контрольные вопросы и задания.

Контрольные вопросы и задания

1. Как маркируются резисторы и конденсаторы?
2. Записать выражение для расчета значения измеряемого параметра по отклонению стрелки на K делений, максимальному количеству делений шкалы K_{\max} и пределу измерения P .
3. Привести вольт-амперные характеристики резисторов (зависимость тока через резистор от напряжения) при различных их соединениях.
4. Как изменяется сопротивление неполупроводникового резистора при его нагревании?

Вопросы для самопроверки

1. Что означают обозначения на шкалах приборов ТЛ-4М и Щ4313?
2. Какие подготовительные операции необходимо провести со стрелочными омметрами перед измерением сопротивлений и почему?
3. Какие требования к внутреннему сопротивлению приборов должны быть при измерении токов, напряжений и сопротивлений?

Литература

1. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш. школа, 1986. – С. 318-322.
2. Ампервольтметр-испытатель транзисторов ТЛ-4М: Руководство по эксплуатации. – Таллинн, 1985. – С. 1-15.
3. Прибор комбинированный "СУРА". Руководство по эксплуатации. – Пенза, 1984. – С. 6, 7, 20.
4. Прибор комбинированный цифровой Щ4313: Паспорт. – Житомир, 1986. – С. 1-4.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Цель работы. Ознакомиться с устройством, принципом действия и методикой измерения с помощью осциллографа.

Общие сведения

Электронный (электронно-лучевой) осциллограф предназначен для визуального наблюдения или фотографирования на экране электронно-лучевой трубки электрических сигналов, а также измерения их временных и амплитудных характеристик. С помощью осциллографа, в частности, можно осуществлять контроль и измерения электрических сигналов детекторов транспорта и дорожных контроллеров в системе организации дорожного движения. Любой осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), канала вертикального отклонения Y луча и канала горизонтального отклонения X луча (рис. 2.1). Исследуемые электрические сигналы через вход " Y " подаются в канал вертикального отклонения. Входной аттенюатор (делитель напряжения) позволяет регулировать чувствительность канала Y . В осциллографе комбинированного прибора "СУРА", применяемом в лабораторной работе, аттенюатор имеет выведенный наружу переключатель "ВОЛЬТ/ДЕЛЕН." для ступенчатого переключения усиления канала вертикального отклонения. Следующие за аттенюатором усилители обеспечивают усиление сигнала до требуемой для подачи на пластины электронно-

лучевой трубки величины. Усилители имеют выведенный наружу регулятор “УСИЛ. Y ” для плавной регулировки усиления канала Y . На выходе канала Y создается напряжение, пропорциональное выходному сигналу. Это напряжение подается на пластины вертикального отклонения ЭЛТ и вызывает вертикальное отклонение луча. В калибровочном положении регулятора плавного усиления “УСИЛ. Y ” (вправо до щелчка для осциллографа “СУРА”) вертикальные отклонения на размеченной шкале ЭЛТ соответствуют оцифрованным значениям переключателя “ВОЛЬТ/ДЕЛЕН.”. Канал горизонтального отклонения X луча состоит из так называемого синхронизатора, который подключается переключателем П 1 либо в положение для внешней синхронизации, либо, как показано на рис. 2.1, для внутренней синхронизации от исследуемого сигнала. Генератор развертки вырабатывает линейно изменяющееся пилообразное напряжение, которое через усилитель X поступает на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. Длительность сигналов генератора развертки регулируется грубо внешним переключателем “ВРЕМЯ/ДЕЛЕН.” и плавно внешним регулятором “РАЗВЕРТКА”. Работой регулятора настройки также управляет синхронизатор.

Электронно-лучевая трубка представляет собой стеклянный баллон, в котором расположены электроды, предназначенные для формирования и отклонения электронного луча: подогревной катод K , модулятор M , первый A_1 и второй A_2 аноды, отклоняющие пластины Y и X и экран \mathcal{E} . Электроны эмиттируются (выделяются) подогревным катодом K и разгоняются с помощью анодов A_1 и A_2 для попадания на экран \mathcal{E} . Модулятор M , на который подан отрицательный потенциал по отношению к катоду K с делителя напряжения высоковольтного источника питания, служит для ослабления потока электронов, а в результате для управления яркостью изображения на экране. Это осуществляется с помощью выведенного наружу регулятора “ЯРКОСТЬ”. Первый анод A_1 , благодаря своей конструкции, действует на электронный поток, как линза, фокусируя поток в точку на экране. Управление осуществляется выведенным регулятором “ФОКУС”. Воздействие пар пластин Y и X заключается в отклонении электронного луча в вертикальном и горизонтальном направлении, пропорционально поданному на пластины напряжению. Поток электронов, попавших на экран, покрытый люминофором, вызывает его свечение и создает видимый след движения

луча. Вследствие малой массы электронов скорость перемещения луча может быть очень большой. Это позволяет наблюдать на экране процессы, длительность которых составляет доли микросекунд. Внутренняя поверхность баллона ЭЛТ покрывается проводящим слоем A , чтобы устранить влияние на электронный поток вторичных электронов, выбиваемых из экрана. Такие электроны отводятся проводящим слоем, имеющим потенциал второго анода.

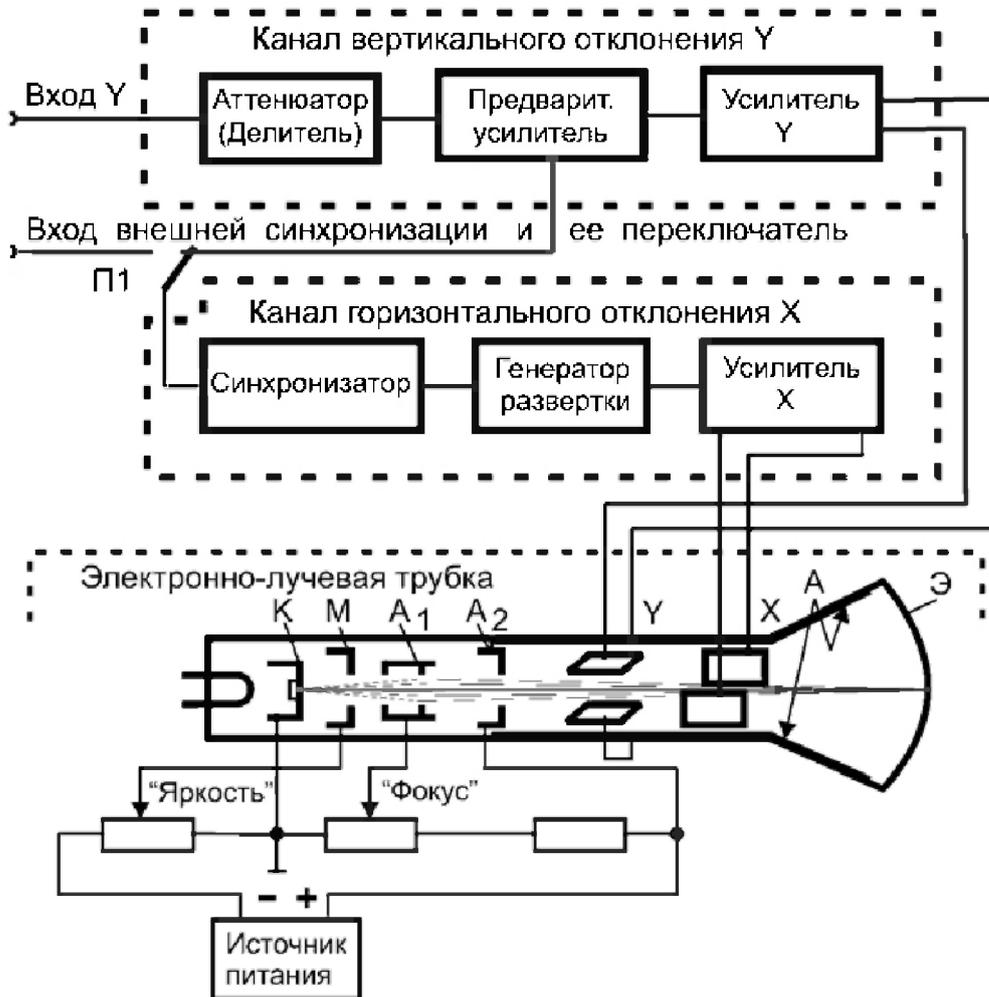


Рис. 2.1. Структурная схема осциллографа

Получение неподвижного изображения на экране ЭЛТ осуществляется путем установки периода генератора развертки кратным периоду исследуемого сигнала. Поясним это с помощью рис. 2.2. Пилообразный сигнал генератора развертки U_X , подаваемый на пластины горизонтального отклонения, вызывает равномерное дви-

жение луча слева направо в горизонтальном направлении и быстрое возвращение его в исходную точку. При нулевом исследуемом сигнале на экране прочерчивалась бы прямая горизонтальная линия. Подавая на пластины вертикального отклонения исследуемый сигнал U_y одновременно с движением в горизонтальном направлении луч будет двигаться в вертикальном, повторяя форму исследуемого сигнала. В результате на экране появится развернутое во времени изображение. Если период генератора развертки строго равен периоду исследуемого сигнала, то после возвращения луча в исходное положение по горизонтали он попадает и в исходное положение по вертикали. Новое изображение наложится на старое – получится неподвижное изображение одного периода исследуемого сигнала. При соотношении

$$T_P = n \cdot T_C$$

между периодом генератора развертки T_P и периодом исследуемого сигнала T_C , где n – целое число, на экране будет n периодов исследуемого сигнала. Так как это соотношение строго выполнить сложно, схемы синхронизации принудительно корректируют период генератора развертки (в небольших пределах) до требуемого.

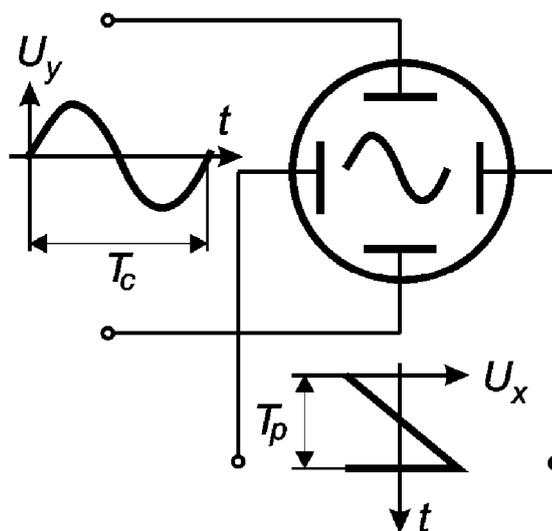


Рис. 2.2. Получение развернутого изображения на ЭЛТ

Порядок выполнения работы

Внимание. В осциллографе имеется опасное для жизни напряжение. Категорически запрещается разбирать его корпус.

1. Ознакомьтесь с техническими данными и назначением органов управления осциллографа комбинированного прибора "СУРА", приведенными в приложении. Далее приводится методика подготовки и измерения с помощью осциллографа, общая для всех последующих лабораторных работ.

2. Установите органы управления прибора "СУРА" в исходное состояние:

у осциллографа 1) "ЯРКОСТЬ" – вправо (по часовой стрелке) до упора; 2) "ФОКУС" – в среднее положение; 3) "УРОВЕНЬ" – влево до упора; 4) "СТАБ." – вправо до упора; 5) " \sim/\sim " – в положение " \sim "; 6) "ВНУТР. – ВНЕШ." – в положение "ВНУТР. "; 7) "+/-" – в положение "-"; 8) "ВОЛЬТ./ДЕЛЕН." – в положение "Т"; 9) "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН." – в положение "0,1мс"; 10) "СМЕЩ.Х" – в среднее положение; 11) "РАЗВЕРТКА" – вправо до упора; 12) "УСИЛ.У" – вправо до упора;

у генераторов сигналов прибора "СУРА" 1) "ЧАСТОТА ГРУБО" – в положение 1; 2) "ЧАСТОТА ПЛАВНО" – в произвольное положение; 3) "АМПЛИТУДА" – влево до фиксации (до щелчка);

у блока питания 1) "ПЛАВНО" – влево до упора; 2) "ГРУБО" – влево до упора; 3) "ОСЦИЛЛОГРАФ" – отжатое положение (выкл.); 4) "СЕТЬ" – отжатое положение (выкл.).

3. Включить прибор нажатием кнопок "СЕТЬ" и "ОСЦИЛЛОГРАФ", на блоке питания прибора должна загореться лампа "СЕТЬ". Через 2-3 минуты: 1) ручками "СМЕЩ. У", "СМЕЩ. Х", "УРОВЕНЬ" и "СТАБ." установить линию развертки на середине экрана ЭЛТ; 2) ручкой "ЯРКОСТЬ" установить требуемую (желательно минимальную) яркость луча; 3) ручкой "ФОКУС" при необходимости сфокусировать луч (до минимальной толщины). Осциллограф готов к измерению.

4. Для проведения измерений осциллографом сигналов генератора соедините его вход "У" с выходом " \sim " генератора. Их клеммы " \perp " также соедините между собой. Включите генератор поворотом соответствующей данному входу генератора ручки "АМПЛИТУДА" вправо. Установите переключателем "ЧАСТОТА ГРУБО" и ручкой "ЧАСТОТА ПЛАВНО" генератора произвольное значение частоты.

Таким образом, на осциллограф подается сигнал от генератора, амплитуду и частоту которого нужно измерить. Для этого получите устойчивое неподвижное изображение на экране осциллографа, разделенное на 6 делений по вертикали и 8 делений по горизонтали. Каждое деление разделено на пять равных частей.

Порядок получения устойчивого изображения: 1) установите ручку "УСИЛ. Y" осциллографа в правое (по часовой стрелке) крайнее положение – калибровочное положение для измерения амплитуды сигнала; 2) переключателем "ВОЛЬТ/ДЕЛЕН." выберите диапазон измерения, когда размер картинки по вертикали занимает около 2/3 экрана (картинка может быть пока неустойчивой); переключателем "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН." грубо и ручкой "РАЗВЕРТКА" осциллографа плавно добейтесь неподвижного устойчивого изображения с числом периодов исследуемого сигнала 1 – 6. Иногда целесообразно пользоваться также ручками "СТАБ." (крайнее правое ее положение дает появление линии развертки на экране) и "УРОВЕНЬ" синхронизации. Определите амплитуду сигнала, умножив оцифрованное значение диапазона переключателя "ВОЛЬТ/ДЕЛЕН." на количество делений (1 деление – 5 мм) занимаемых изображениями на экране осциллографа. Для измерений временных интервалов ручку "РАЗВЕРТКА" установите в крайнее правое положение, которому соответствует градуировка переключателя "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН.". Измеряемый временной интервал определяется произведением длины измеряемого по экрану интервалу времени в делениях шкалы на значения, указанные у переключателя "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН." в данном положении. Определите значение частоты f исследуемого сигнала, определив длительность его N периодов, установив их на экране осциллографа:

$$f = \frac{N}{L \cdot T},$$

где L – длина в делениях шкалы;

T – длительность развертки, указанная переключателем "ВРЕМЯ/ДЕЛЕН.".

5. Подключить осциллограф к контрольным точкам дорожного контроллера, выведенным к специальным клеммам на его передней панели (рис. 2.3). Подключить контроллер к сети. Получить осциллограмму выходного сигнала контроллера и зарисовать ее, опреде-

лить с помощью осциллографа амплитуду и частоту сигнала контроллера и записать их.

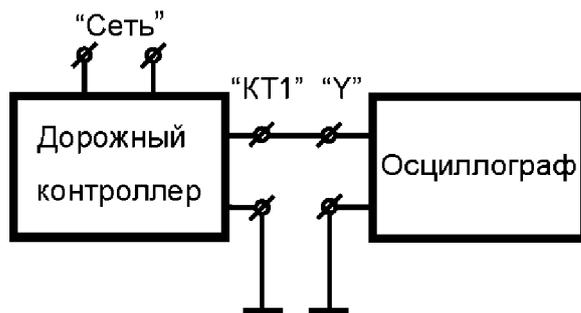


Рис. 2.3. Схема измерения с помощью осциллографа

Содержание отчета

В соответствии с общими указаниями по оформлению отчета включает схемы и результаты выполнения этапов работы и контрольных заданий.

Контрольные задания

1. Изобразите принципиальную схему измерений, соответствующую этапу 4 выполнения работы.
2. Приведите блок-схему осциллографа, кратко указав назначение его блоков.
3. Проиллюстрируйте графически, как получить неподвижное изображение на экране осциллографа двух периодов входного периодического сигнала.

Вопросы для самопроверки

1. Как работает осциллограф?
2. Какой вид имеет сигнал генератора развертки и почему?
3. Как обеспечивается неподвижность изображения на экране осциллографа?
4. В чем суть внутренней и внешней синхронизации?
5. Для чего используются в дорожном контроллере сигналы, наблюдаемые с помощью осциллографа, на этапе 5 работы?

Л и т е р а т у р а

1. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш. школа, 1986. – С. 275-280.
2. Тиняков Н.А., Скачко К.Г. Основы промышленной электроники. – Мн.: Высш. школа, 1969. – С. 42-50.
3. Прибор комбинированный “СУРА”. Руководство по эксплуатации. – Пенза, 1985. – С. 5-19.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Цель работы. Изучить конструкцию, принцип работы и методику получения вольт-амперной характеристики полупроводниковых диодов.

Общие сведения

К полупроводниковым относятся материалы с удельным электрическим сопротивлением ρ от 10^{-3} до 10^{10} Ом·м, находящимся в диапазоне между значениями, характерными для проводников металлов (ρ около 10^{-8} Ом·м) и изоляторов (ρ около 10^{12} Ом·м). При этом сопротивление полупроводников в отличие от металлов уменьшается с увеличением температуры (по экспоненциальному закону).

Электропроводность химически чистого полупроводника называется *собственной проводимостью*. Она определяется числом свободных носителей заряда:

$$n = p = A \cdot e^{-\Delta W / (K \cdot T)},$$

где n – количество свободных электронов;

p – количество свободных дырок;

A – физическая константа, зависящая от рода кристалла;

ΔW – ширина запрещенной энергетической зоны;

K – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура (в градусах Кельвина).

Наиболее широко из полупроводников применяются германий и кремний.

Примесной проводимостью полупроводников называется их электропроводность, обусловленная наличием примесных центров (зарядов). Примеси, которые служат дополнительными источниками электронов в кристалле, называются *донорными* и образуют полупроводники электронного типа проводимости или *полупроводники n-типа проводимости*. Например, при замещении одного четырехвалентного атома кремния пятивалентным атомом сурьмы, или фосфора, или мышьяка один электрон не может образовать ковалентной связи и является “лишним”. Может быть другой случай, когда четырехвалентный атом кремния (или германия) замещен в кристаллической решетке атомом с тремя валентными электронами (бор, алюминий, индий). Тогда возникает недостаток одного электрона для образования ковалентных связей. Недостающий электрон может быть заимствован у соседнего атома кремния в решетке (рис. 3.1), у которого появится положительная “дырка”. Полупроводники с такой проводимостью называются дырочными или *полупроводниками p-типа*.

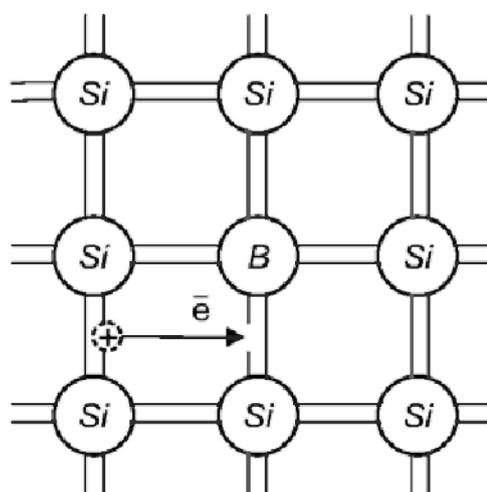


Рис. 3.1. Возникновение дырки в полупроводнике p-типа

Количество примесных носителей заряда, как правило, больше, чем собственных, поэтому примесные носители заряда называют *основными*, а собственные свободные носители – *неосновными*.

Область на границе двух полупроводников различного типа проводимости называется *p-n-переходом*. На практике *p-n-переход* обра-

зуют химическим путем, а не просто механическим соприкосновением, чтобы обеспечить взаимное проникновение носителей заряда из различных областей проводимости. В процессе такого проникновения в пограничном слое происходит рекомбинация электронов и дырок: электроны из полупроводника n -типа занимают свободные уровни, или более простыми словами, занимают места дырок в полупроводнике p -типа и наоборот. В результате вблизи границы раздела образуется слой, лишенный подвижных носителей заряда и поэтому обладающий высоким электрическим сопротивлением, так называемый *запирающий слой*. Толщина запирающего слоя – единицы микрон. Неподвижные ионы, образовавшиеся при рекомбинациях в запирающем слое подвижных носителей заряда (электронов и дырок), создают электрическое поле с разностью потенциалов в несколько десятых долей вольта (рис. 3.2). Это поле запирающего слоя p - n -перехода препятствует движению основных носителей заряда, но не препятствует движению неосновных носителей заряда.

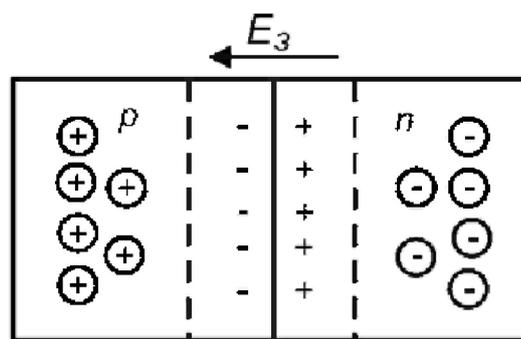


Рис. 3.2. Образование запирающего слоя p - n -перехода

Если к p - n -переходу приложить внешнее напряжение $E_{ВН}$, совпадающее по направлению с полем запирающего слоя, то оно приведет к расширению запирающего слоя – так называемое *обратное включение* p - n -перехода (рис. 3.3). В этом случае ток через переход очень мал и обусловлен лишь движением неосновных носителей заряда. Такой ток называют *обратным*. Говорят, что переход в этом направлении *закрит*.

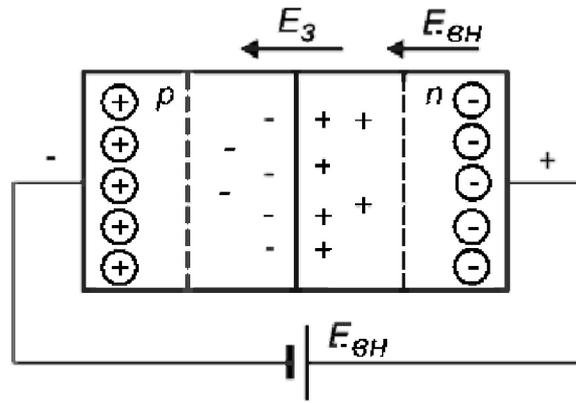


Рис. 3.3. Обратное включение p - n -перехода

При другом включении внешнее электрическое поле направлено противоположно полю запирающего слоя. Электроны и положительные дырки перемещаются под действием внешнего поля к границе p - n -перехода навстречу друг другу, толщина запирающего слоя и его сопротивление уменьшаются. Такое включение называют *прямым* включением p - n -перехода (рис. 3.4). В этом направлении через p - n -переход уже может проходить значительный по величине ток. Ток в этом случае называют *прямым*, а переход – *открытым*.

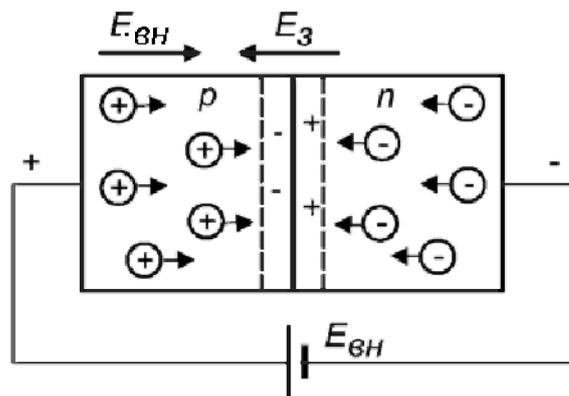


Рис. 3.4. Прямое включение p - n -перехода

Действие p - n -перехода, обладающего односторонней проводимостью, аналогично выпрямляющему действию двухэлектродной лампы – диода. Поэтому полупроводник с одним p - n -переходом называется *полупроводниковым диодом*. Один из электродов называют *анодом*, другой – *катодом* (аналогично лампе – диоду) (рис. 3.5).

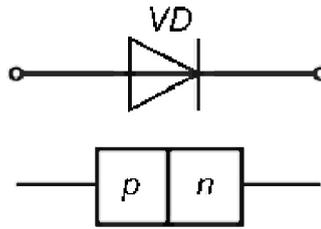


Рис. 3.5. Условное обозначение полупроводникового диода

Зависимость тока через диод от приложенного к нему напряжения называется *вольт-амперной характеристикой (ВАХ)*. В первом квадранте обычно строят прямую ВАХ, т.е. ВАХ для прямого включения диода, а в третьем – обратную. Для удобства прямую и обратную ВАХ изображают в различных масштабах: для обратной ВАХ масштаб по оси напряжений выбирают в десятки...сотни раз большим, а по оси токов – в десятки...сотни раз меньшим, чем для прямой ВАХ (рис. 3.6).

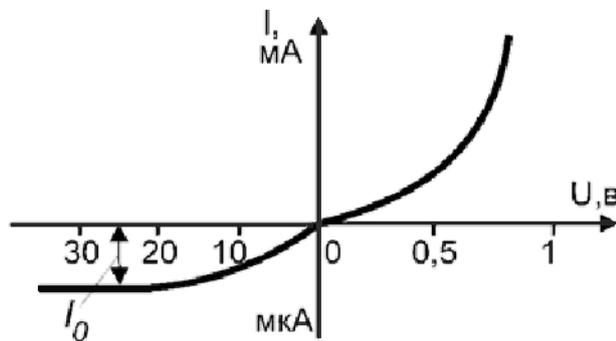


Рис. 3.6. Типичная ВАХ диода

ВАХ диода описывается приблизительно следующим выражением:

$$I = I_0(e^{U/\varphi_T} - 1), \quad (3.1)$$

где I , U – ток и напряжение на диоде;

I_0 – обратный (тепловой) ток через диод;

φ_T – так называемый тепловой потенциал.

Опыт показывает, что обратный ток диода не остается постоянным и равным I_0 , как следует из выражения (3.1). Он всегда больше, чем рассчитанный тепловой ток, и растет с увеличением обратного

напряжения (для кремниевых диодов обратный ток больше теплового на 2-3 порядка). Главные причины отклонения реальной характеристики заключаются в дополнительных эффектах, например, в поверхностных утечках, термогенерации и т.д.

Реальная прямая ветвь ВАХ диода также отличается от идеализированной. В основном это объясняется наличием сопротивления базы (реальные ВАХ сдвигаются правее идеализированных), а для кремниевых диодов существенен еще не рассматриваемый нами ток рекомбинации.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием, предназначенными для выполнения работы: измерителями тока и напряжения (цифровым и стрелочным), источниками питания, входящими в комплекс “СУРА”, макетом с полупроводниковыми диодами. Зарисовать и собрать схему для снятия прямой ВАХ диода (рис. 3.7), соблюдая указанную полярность подключения. Источник питания E_n выбирается любой из двух, входящих в комплекс “СУРА”. Для повышения точности цифровой измеритель подключается как миллиамперметр, а стрелочный – как вольтметр (до 1 В).

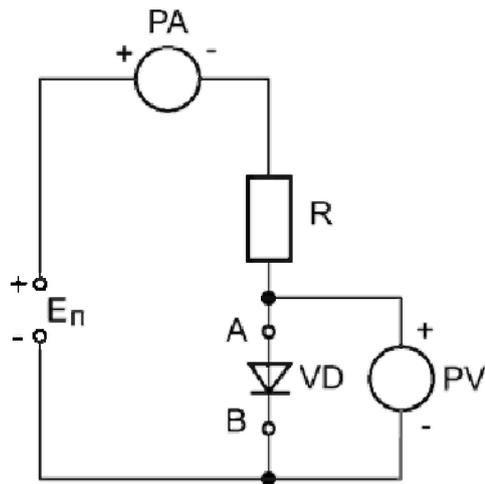


Рис. 3.7. Схема получения ВАХ

2. Для получения прямой ветви ВАХ германиевого диода определить по маркировке германиевый диод и подключить его к участку AB схемы в указанной полярности. Исходя из максимально воз-

возможного значения напряжения источника питания E_{nm} и величины ограничительного сопротивления R рассчитать максимально-возможный ток через диод:

$$I_{\max} = E_{nm} / R. \quad (3.2)$$

Установить соответствующий диапазон измерений миллиамперметра. Показать преподавателю схему для проверки.

3. После разрешения и включения преподавателем сетевого напряжения в лаборатории, включить питание приборов “СУРА” и цифрового измерителя тумблерами “СЕТЬ”. Пользуясь регулятором блока питания “СУРА”, изменять последовательно от меньшего к большему значение напряжения E_n источника питания во всем возможном диапазоне (0...15 В). Снять показания не менее чем в 8 точках измерения и записать их в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Напряжение на диоде	$U, \text{В}$	0
Ток через диод	$I, \text{мА}$

Примечание. Данные нужно снимать достаточно быстро, так как при нагревании диода из-за протекания через него большого тока (десятки миллиампер) изменяются параметры диода и форма ВАХ.

Убрать напряжение с диода, установив регулятором нулевое напряжение источника питания E_n . По данным табл. 3.1 построить экспериментальную ВАХ прямой ветви графически. Масштаб координат выбрать таким, чтобы приблизительно обеспечить квадратную форму графического поля. При необходимости, исходя из графически построенной кривой, уточнить недостаточно подробно определенные участки ВАХ, повторяя действия по пункту 3.

4. Снять обратную ветвь ВАХ диода. Для этого, выключив питание приборов, поменять полярность подключения диода в точках A и B или полярность источника питания E_n . Повторить пункт 3, заносить данные в табл. 3.1 для обратной ВАХ германиевого диода. При этом установить пределы измерения тока до 2 миллиампер (цифровой прибор), а напряжения – до 15 В (стрелочный прибор). График

обратной ВАХ после предварительного построения построить в первом квадранте той же системы координат, где построена прямая ветвь. При этом масштаб по оси абсцисс для обратного напряжения и по оси ординат для обратного тока можно выбрать другим для более удобного нанесения кривой обратной ветви.

5. Повторить все измерения для построения ВАХ другого данного диода.

6. По окончании замеров выключить питание приборов и приступить к построению расчетной ВАХ для германиевого диода. Для этого из табл. 3.1 для прямой ВАХ германиевого диода выбираем произвольную пару точек с соответствующими значениями тока и напряжения (например, I_1, I_2, U_1, U_2). Для этих точек, исходя из выражения (3.2) (где пренебрегаем единицей), определяем тепловой потенциал φ_T по выражению (3.3). Далее, подставляя найденное значение φ_T в выражение (3.4), находим тепловой ток I_0 и заносим результаты в табл. 3.2. Усредняем полученные значения теплового потенциала φ_T и тока I_0 , рассчитывая средние арифметические значения φ_{TCP} и I_{0CP} для них по выражению (3.5).

$$\varphi_T \approx (U_2 - U_1) / (\ln I_2 - \ln I_1). \quad (3.3)$$

$$I_0 \approx I_2 \cdot e^{-U_2 / \varphi_T}. \quad (3.4)$$

$$\varphi_{TCP} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{Ti}; \quad I_{0CP} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n I_{0i}. \quad (3.5)$$

Таблица 3.2

№ п/п	I_1	U_1	I_2	U_2	φ_T	I_0	φ_{TCP}	I_{0CP}
	мА	В	мА	В	В	мА		
1								
2								
...
8								

Примечание. Для повышения точности перед усреднением рекомендуется производить отбраковку, исключая из рассчитанных значений φ_{Ti} и I_{0i} , явно выделяющиеся в большую или меньшую сторону (исключаются одновременно значения теплового потенциала и тока для одного и того же i -го измерения).

Подставляя вычисленные средние значения теплового потенциала и тока в выражение (3.1) для ВАХ, построить график расчетной ВАХ и нанести его на экспериментальные ВАХ, выделив для отличия штриховой линией.

7. Ввести в ЭВМ экспериментальные данные ВАХ (прил. 2). Нанести на график рассчитанные на ЭВМ результаты, написав их “Расчет на ЭВМ“. Сопоставить полученные результаты.

Содержание отчета

В отчете приводятся схемы для снятия ВАХ диодов с пояснением назначения каждого элемента, результаты выполнения указанных выше этапов работы, даются ответы на контрольные вопросы и задания. Рекомендуется в отчете указать наиболее сложные моменты выполнения работы или рекомендации по выполнению этапов работы, привести дополнительные контрольные вопросы, программы расчета на ЭВМ (или на микрокалькуляторе).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое полупроводниковый диод, как он устроен? Объяснить принцип действия p - n -перехода.
2. Расшифровать маркировки используемых в работе диодов.
3. Чем отличается реальная ВАХ от идеальной ВАХ диода?
4. Построить, используя экспериментальные данные ВАХ, зависимость прямого и обратного сопротивления диода от напряжения на диоде. Величину сопротивления определять по закону Ома. Является ли сопротивление диода постоянным по величине?

Вопросы для самопроверки

1. Что называется прямой и обратной ВАХ диода?
2. Какие основные параметры плоскостных и точечных диодов?

3. Почему значения тока через диод всегда незначительно отличаются от показаний миллиамперметра в схеме на рис. 3.7?

4. Как изменяется ВАХ при параллельном и последовательном соединении диода?

Л и т е р а т у р а

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. школа, 1982. – С. 20-34.

2. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1973. – С. 22, 84-87, 112-114 (или издание 1977 г.).

3. Тиняков Н.А., Скачко К.Г. Основы промышленной электроники. – Мн.: Выш. школа, 1969. – С. 79-82.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 4

ИЗМЕРЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Цель работы. Изучение устройства и принципа работы биполярного транзистора, получение его основных статических характеристик.

Общие сведения

Транзистор представляет собой устройство с двумя *p-n*-переходами. У биполярного транзистора *p-n*-переходы находятся на пути прохождения выходного тока, у полевого транзистора выходной ток не проходит через *p-n*-переходы, они используются для изменения ширины канала прохождения тока. Таким образом, биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру с чередующимися типами электропроводности полупроводников. В зависимости от чередования слоев существуют транзисторы *p-n-p* и *n-p-n* типов. При использовании транзистора в качестве усилительного элемента один из его переходов смещается в прямом направлении, он называется эмиттерным, а электрод транзистора – *эмиттером*, а другой – в обратном. Этот электрод называется *коллектором*. Средний электрод – *база*. Внешнее напряже-

ние подключают к транзистору так, чтобы обеспечить указанные смещения переходов. Для обозначения токов и напряжений транзистора используют сокращенные обозначения электродов (рис. 4.1).

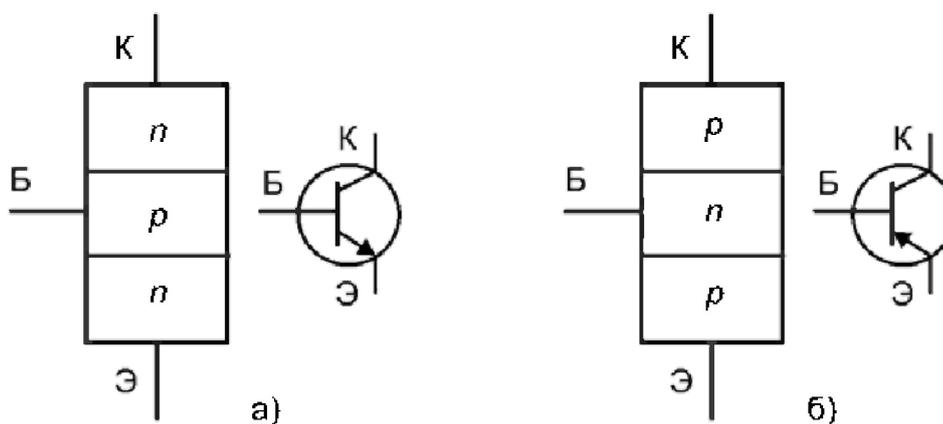


Рис. 4.1. Структура и обозначение $n-p-n$ (а) и $p-n-p$ (б) биполярных транзисторов

Принцип работы транзистора проиллюстрирован диаграммой движения носителей заряда на рис. 4.2. Взаимодействие между эмиттерным и коллекторным переходами обеспечивается малой шириной базы, а также ее низкой легированностью (насыщенностью примесями). У современных транзисторов толщина базы не превышает 1 мкм (тогда как диффузионная длина для зарядов лежит в пределах 5...10 мкм). Благодаря указанной особенности, основные носители заряда из эмиттерной области (электроны для $n-p-n$ -транзистора), переходящие в область базы, так как эмиттерно-базовый переход является прямосмещенным (подключен как диод в предыдущей работе в прямом направлении), рекомбинируют в базовой области лишь в 10 % и менее (до 0,5 %) от общего количества, участвуя в образовании тока базы I_B . Остальная же часть носителей заряда, т.е. 90 – 99,5 %, проникает в коллекторную область и уносится внешним полем источника E_K , образуя ток коллектора I_K . Соотношение между составляющими токов I_K и I_B примерно постоянно и характеризует усилительные свойства транзистора. Изменяя с помощью внешних элементов базовый ток, изменяют, причём с усилением по величине, эмиттерный и коллекторный токи. На этом основан в упрощённом объяснении принцип работы транзистора.

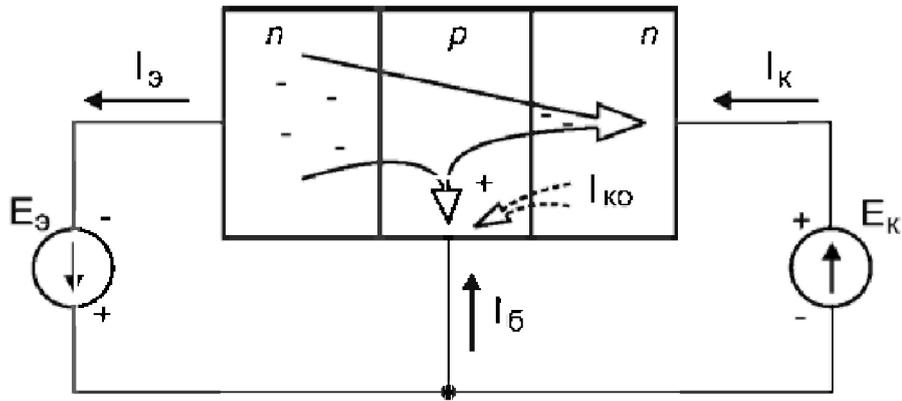


Рис. 4.2. Диаграмма движения зарядов и токов *n-p-n* транзистора

Следует отменить также наличие в коллекторном переходе обратного теплового тока I_{K0} (0,1 – 100 мкА), вызванного неосновными носителями заряда (аналогично обратному току через диод при его обратном включении). Очевидны соотношения между точками транзистора: $I_{\text{Э}} \cong I_{\text{К}} + I_{\text{Б}}$.

В зависимости от того, какой электрод транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают схемы включения с общей базой (ОБ) (см. рис. 4.2), с общим эмиттером (ЭО) и общим коллектором (ОК). Наиболее распространена схема ОЭ, дающая усиление по току, напряжению и мощности.

Транзистор при любой схеме включения можно представить в виде некоторого элемента-многополюсника, показанного на рис. 4.3. Из существующих шести вариантов, функциональных зависимостей между входными током I_1 и напряжением U_1 , выходным током I_2 , напряжением U_2 наибольшее распространение получила система *h*-параметров, так называемая гибридная, где зависимости между токами и напряжениями представляются в виде

$$\begin{cases} U_1 = f_1(I_1, U_2); \\ I_2 = f_2(I_1, U_2). \end{cases}$$

Для этих зависимостей полные дифференциалы имеют вид

$$\begin{cases} dU_1 = \frac{\partial f_1}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial f_1}{\partial U_2} dU_2; \\ dI_2 = \frac{\partial f_2}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial f_2}{\partial U_2} dU_2 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} dU_1 = h_{11} \cdot dI_1 + h_{12} \cdot dU_2; \\ dI_2 = h_{21} \cdot dI_1 + h_{22} \cdot dU_2, \end{cases}$$

где введены обозначения

$$h_{11} = \frac{\partial f_1}{\partial I_1}; \quad h_{12} = \frac{\partial f_1}{\partial U_2}; \quad h_{21} = \frac{\partial f_2}{\partial I_1}; \quad h_{22} = \frac{\partial f_2}{\partial U_2}.$$

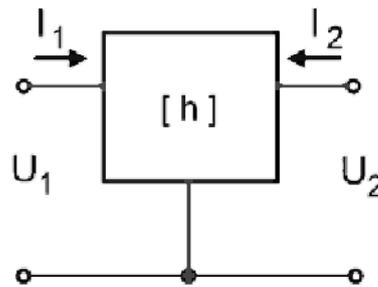


Рис. 4.3. Транзистор в виде четырехполюсника

Переходя от дифференциалов к приращениям, что справедливо при небольших приращениях сигналов, получим связь между составляющими напряжений и токов транзистора:

$$\begin{cases} \Delta U_1 = h_{11} \cdot \Delta I_1 + h_{12} \cdot \Delta U_2; \\ \Delta I_2 = h_{21} \cdot \Delta I_1 + h_{22} \cdot \Delta U_2. \end{cases}$$

Коэффициенты h , называемые h -параметрами, имеют определенный физический смысл: $h_{11} \cong \Delta U_1 / \Delta I_1$ при $\Delta U_2 = 0$ или $U_2 = \text{const}$ – входное сопротивление транзистора при коротком замыкании по переменному току на его выходе; $h_{12} \cong \Delta U_1 / \Delta U_2$ при $\Delta I_1 = 0$ или $I_1 = \text{const}$ – коэффициент обратной передачи по напряжению (при разомкнутом по переменному току входе); $h_{21} \cong \Delta I_2 / \Delta I_1$ при $\Delta U_2 = 0$ или $U_2 = \text{const}$ – коэффициент передачи тока (при коротком замыкании по переменному напряжению

его выхода) $h_{22} \cong \Delta I_2 / \Delta U_2$ при $\Delta I_1 = 0$ или $I_1 = \text{const}$ – выходная проводимость транзистора (при разомкнутом по переменному току входе).

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) транзистора – зависимости между напряжением и током. Различают входную и выходную ВАХ, соответственно для входной и выходной цепи транзистора. Как правило, строят семейство ВАХ: для входных – зависимости тока базы I_E от напряжения между базой и эмиттером $U_{БЭ}$ при различных фиксированных значениях напряжения между коллектором и эмиттером $U_{КЭ}$ (для схемы с ОЭ); для выходных характеристик – зависимости коллекторного тока I_K от напряжения $U_{КЭ}$ при различных фиксированных значениях тока базы I_E . Снимать статические ВАХ транзистора без нагрузки в выходной цепи (без нагрузочного резистора, который ограничивает максимальный ток) необходимо осторожно, чтобы не превысить максимально допустимые значения тока $I_{K \text{ max}}$, напряжения $U_{КЭ \text{ max}}$ и мощности $P_{K \text{ max}}$ транзистора (рис. 4.4).

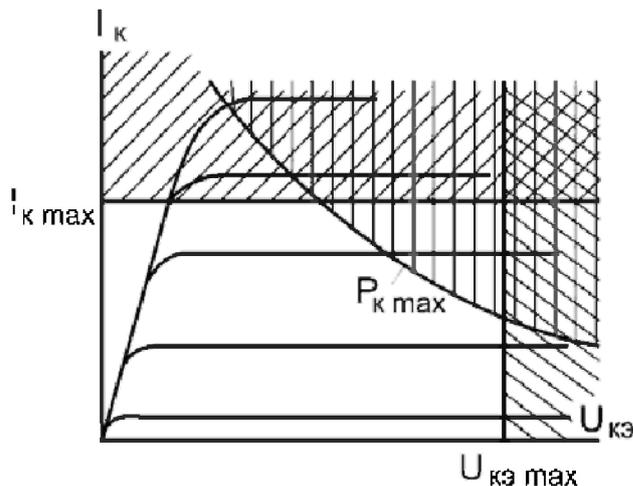


Рис. 4.4. Области ограничения максимальных параметров при измерении ВАХ транзистора

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием для выполнения работы, аналогичными, используемым в работе № 2, прочитать ин-

струкцию по выполнению работы. Зарисовать и собрать схему для снятия характеристик транзистора (рис. 4.5). Рекомендуется для повышения точности при измерении тока базы использовать цифровой прибор Щ4313. Предъявить схему для проверки преподавателю.

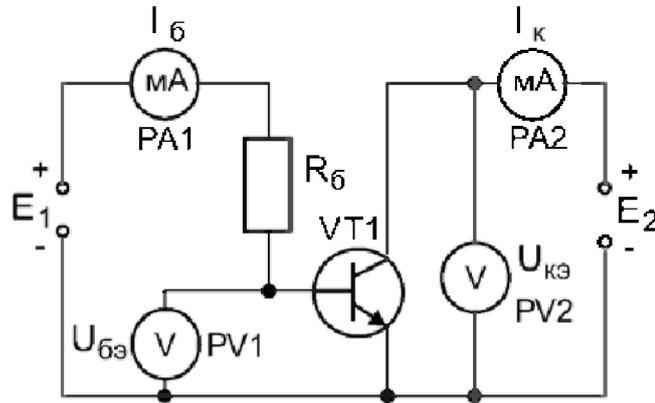


Рис. 4.5. Схема измерения статических вольт-амперных характеристик транзистора

2. Для получения выходных (коллекторных) статических характеристик изменяют напряжение между коллектором и эмиттером транзистора $U_{КЭ}$ с помощью регулятора источника питания E_2 при постоянном токе базы $I_E = \text{const}$. Ток базы контролируют микроамперметром PA_I . Измеренные значения тока коллектора I_K и соответствующее напряжение между коллектором и эмиттером $U_{КЭ}$ транзистора заносят в табл. 4.1. Измерения повторяют для четырех различных фиксированных значений тока базы I_E : 25, 50, 75 и 0 мкА, которые устанавливают регулятором источника питания E_1 . Измерение рекомендуется проводить на одном выбранном диапазоне измерения прибора, т.е. без его переключения в процессе измерения. *Предостережение:* не превышайте предельного значения тока и мощности транзистора (для КТ315 – 150 мВт). Измерения следует производить по возможности быстро, а после измерений регуляторами источников питания E_1 и E_2 установить нулевые значения и выключить приборы.

Таблица 4.1

	$U_{кэ}, В$	0	0,1	0,2	0,5	1	5	8	10
$I_B = 25 \text{ мкА}$	$I_K, \text{мА}$								
	$U_{кэ}, В$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	6
$I_B = 50 \text{ мкА}$	$I_K, \text{мА}$								
	$U_{кэ}, В$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4
$I_B = 75 \text{ мкА}$	$I_K, \text{мА}$								
	$U_{кэ}, В$	0	5	10					
$I_B = 0 \text{ мкА}$	$I_K, \text{мА}$								

По результатам измерений построить семейство выходных характеристик (в одинаковых координатах): $I_K = f(U_{кэ})$ при $I_B = \text{const}$.

3. Для получения входных характеристик изменяют напряжение $U_{БЭ}$ между базой и эмиттером транзистора с помощью регулятора источника питания E_I при постоянном напряжении $U_{кэ}$ на коллекторе (контроль по вольтметру PV_2) и измеряют ток базы I_B . Измерения выполняются для двух случаев: 1) $U_{кэ} = 0$, 2) $U_{кэ} = 15 \text{ В}$. Результаты заносят в табл. 4.2. По результатам строится семейство входных характеристик: $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{кэ} = \text{const}$. При необходимости графики уточняются экспериментально, повторяя измерения по пп. 2 или 3.

4. Требуется из статических характеристик определить h -параметры (по отношению соответствующих приращений на линейных участках ВАХ).

Таблица 4.2

$U_{кэ} = 0$	$U_{БЭ}, В$	0	0,05	0,1	0,5	0,6	0,7	0,8
	$I_B, \text{мкА}$							
$U_{кэ} = 15 \text{ В}$	$U_{БЭ}, В$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5
	$I_B, \text{мкА}$							

Содержание отчета

Отчет содержит результаты выполнения этапов работы, ответы на контрольные вопросы и задания.

Контрольные вопросы и задания

1. Изобразить конструкцию биполярного и полевого (униполярного) транзистора. В чем особенности принципа работы полевого транзистора по сравнению с биполярным?
2. Расшифровать маркировку используемого в работе транзистора и привести его основные технические характеристики.
3. Изобразить схемы включения транзистора с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором.
4. Что такое гипербола предельной мощности?
5. Введите одну из ВАХ в ЭВМ – программа “VAHSTAT” (аналогично описанной в прил. 2), сравните полученные результаты с машинными расчетами.

Вопросы для самопроверки

1. В чем особенности работы транзистора в схеме с ОЭ по сравнению с работой в схеме с ОБ?
2. Чем определяется сквозной тепловой ток I_{K0} в схеме с ОЭ? Сравните его с током I_{K0} в схеме с ОБ.
3. Как производится графоаналитический расчет усилительного каскада на транзисторе по его статическим характеристикам?
4. Какие транзисторы, германиевые или кремниевые, обладают лучшей термостабильностью параметров и почему?

Л и т е р а т у р а

1. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш. школа, 1986. – С. 28 – 32, 35, 36.
2. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам / Под ред. Н.Н.Горюнова. – М.: Энергия, 1976. – С. 288 – 290.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Цель работы. Изучить работу транзистора в динамическом режиме, приобрести навык по осциллографированию его сигналов.

Общие сведения

Для реализации усилительных свойств транзистора в схемах электронной автоматики его чаще всего включают с общим эмиттером (ОЭ) (рис. 5.1, а). Для выделения усиленного сигнала в цепь коллектора, как правило, включают резистор R_k . В этом случае напряжение между коллектором и эмиттером равно разности между напряжением источника питания E_n и падением напряжения $U_{кэ}$ на резисторе R_k , создаваемым током коллектора I_k :

$$U_{кэ} = E_n - I_k \cdot R_k \quad (5.1)$$

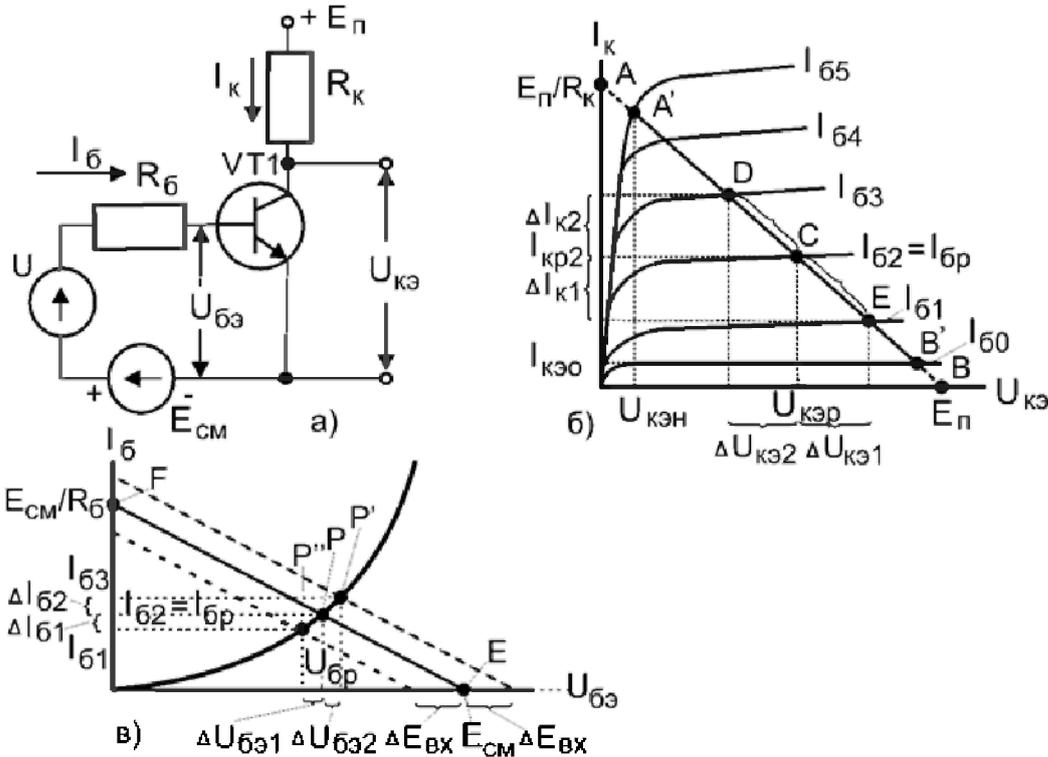


Рис. 5.1. Схема (а) и характеристики (б – выходная; в – входная) транзистора, работающего в режиме усиления

Ток коллектора I_k зависит не только от тока базы I_b , но и от напряжения $U_{кэ}$. Совместное действие этих факторов противоположно: с увеличением I_b растет I_k , но уменьшается $U_{кэ}$. Такой режим работы транзистора и соответствующие ему характеристики называются *динамическими*. На выходной ВАХ можно построить линию нагрузки (исходя из выражения (5.1)), которая пройдет через точки: точка A – для идеально открытого транзистора (на котором не происходит падение напряжения при протекании тока) с координатами ($I_k = E_n/R_k, U_{кэ} = 0$) и точка B – для идеально закрытого транзистора (сквозь который в этом случае ток не протекает) с координатами ($I_k = 0, U_{кэ} = E_n$) (рис. 5.1, б). Наклон прямой линии нагрузки определяется сопротивлением нагрузки R_k . Реальный транзистор в полностью открытом состоянии, так называемый *режим насыщения*, характеризуется определенным падением напряжения на нем – *напряжением насыщения* $U_{кэн}$, поэтому граничной точкой линии нагрузки будет точка A' , а не точка A . Реальный транзистор в полностью закрытом состоянии, так называемый *режим отсечки*, характеризуется протекающим через него сквозным током $I_{кэо}$, поэтому другой граничной точкой на линии нагрузки будет точка B' . Прямая $A'B'$ – геометрическое место всех рабочих точек транзистора. Анализ работы транзистора удобно производить по ВАХ, на которых кроме семейства статических зависимостей (см. работу № 4) наносятся линии нагрузки для динамического режима работы транзистора. Для обеспечения усиления сигналов без ограничения по амплитуде необходимо выбирать *начальную рабочую точку* на линии нагрузки AB выходной характеристики (на рис. 5.1, б точка C). Эта точка характеризуется некоторыми начальными значениями тока коллектора $I_{кр}$ и напряжения $U_{кэр}$. Соответствующее ей значение тока базы $I_{бр}$. При изменении базового тока от значения $I_{б3}$ до $I_{б1}$ возле начального значения (соответственно точки D и E на линии нагрузки, рис. 5.1, б), появятся изменения тока dI_{k1} и dI_{k2} и выходного напряжения $dU_{кэ1}$ и $dU_{кэ2}$. Задание начальной рабочей точки позволяет усиливать как возрастание, так и уменьшение входного сигнала от своего исходного уровня, причем без ограничения по амплитуде. Такой режим усиления называется *режимом усиления класса А*. Применяются также *режим усиления класса В* (начальная

рабочая точка – точка B' или, что применяется реже, точка A') и режим класса C , характеризующиеся искажением исходной формы входного сигнала, но более экономичными по сравнению с режимом класса A (КПД 50-90 вместо 20%).

Для установки начальной рабочей точки необходимо задать определенный ток базы $I_{бр}$. Это осуществляется подключением источника напряжения смещения $E_{см}$ к базе транзистора через резистор $R_б$ (см. рис. 5.1, а). При нулевом входном сигнале линия нагрузки FE на входной характеристике (рис. 5.1, в) пересекает входную ВАХ в точке P , показывая, что начальное состояние транзистора будет характеризоваться током $I_{бр}$ базы и напряжением $U_{бэp}$ между базой и эмиттером. При появлении входного сигнала с амплитудой $\Delta E_{вх}$ линия нагрузки будет смещаться параллельно самой себе на величину $\Delta E_{вх}$ по оси $U_{бэ}$ в обе стороны от исходного начального состояния. Точки P' и P'' покажут в таком случае изменение тока базы от значения $I_{б1}$ до $I_{б3}$ и изменение напряжения база-эмиттер от значения $U_{бэ1}$ до $U_{бэ3}$, т.е. от минимального до максимального значения. Указанными упрощенными графическими методами можно проанализировать работу транзисторов в динамическом режиме. Коэффициент усиления по напряжению всего каскада K_U оказывается равным

$$K_U = \frac{\Delta U_{кэ}}{\Delta E_{вх}} \approx h_{21э} \cdot \frac{R_K}{R_B + h_{11э}}, \quad (5.2)$$

если $R_B \gg h_{11э}$, то $K_U \approx h_{21э} \cdot R_K / R_B$.

Ключевой режим работы транзистора характеризуется пребыванием транзистора либо в режиме отсечки, либо в режиме насыщения с быстрым переключением из одного режима в другой. Ключевой режим используется при усилении импульсных, например прямоугольных сигналов, и является основным в цифровой технике.

Порядок выполнения работы

1. Для измерения динамических характеристик зарисовать и собрать схему, приведенную на рис. 5.2. Использовать те же элемен-

ты, что в работе № 4. В качестве измерителей тока рекомендуется использовать цифровые измерительные приборы Ц4313. После проверки преподавателем и включения напряжений питания переходят к построению ВАХ, аналогично тому, как это указано в работе № 4. ВАХ строят для двух значений напряжения источника питания $E_2 = 5\text{ В}$ и 10 В . Для этого, установив вначале значение $E_2 = 5\text{ В}$, ступенчато изменяют напряжение входного источника E_1 от 0 до максимального и записывают показания приборов в табл. 5.1.

Повторяют измерения для $E_2 = 10\text{ В}$. По результатам необходимо построить совместно в координатах, показанных на рис. 5.3, зависимости: $I_b = f(U_{бэ})$ – входная характеристика, $I_k = f(I_b)$, $U_{кэ} = f(U_{кб})$ – переходные характеристики и $I_k = f(U_{кэ})$ – выходная динамическая характеристика.

Таблица 5.1

Напряжение источника питания $E_2 = 5\text{ В}$				Напряжение источника питания $E_2 = 10\text{ В}$			
коллекторные		базовые		коллекторные		базовые	
ток I_k , мА	напря- жение $U_{кэ}$, В	ток I_b , мкА	напря- жение $U_{бэ}$, В	ток I_k , мА	напря- жение $U_{кэ}$, В	ток I_b , мкА	напря- жение $U_{бэ}$, В

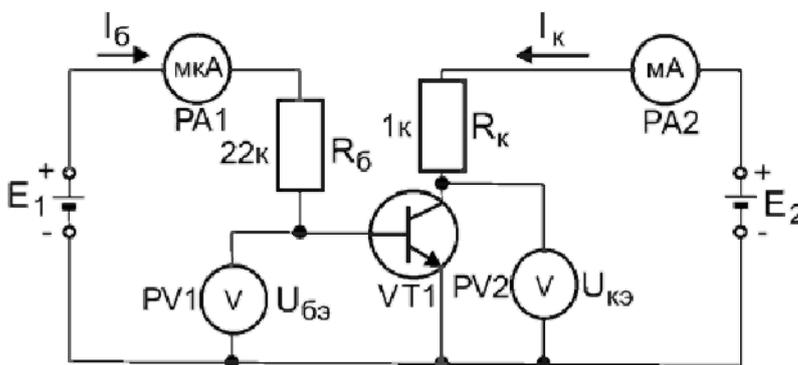


Рис. 5.2. Схема измерения динамических характеристик транзистора

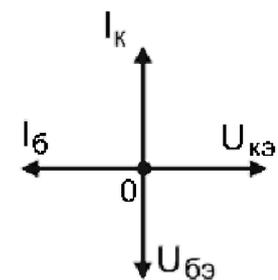


Рис. 5.3. Размещение координат ВАХ

2. По характеристикам выбрать начальную рабочую точку для работы транзистора в режиме усиления класса A и с помощью регулято-

ра напряжения источника питания E_1 установить эту точку, контролируя ее по измерительным приборам (при этом $E_2 = 5$ В или 10 В).

3. Не изменяя регуляторы напряжения, отключить источники питания от сети и подключить генератор синусоидального сигнала и осциллограф прибора «СУРА», как показано на рис. 5.4. Регуляторы выходного напряжения генератора сигналов и регуляторы «ЯРКОСТЬ» установить в нулевое начальное положение. Подключить все приборы к сети выключателями «СЕТЬ». Через 2-3 минуты регуляторами «ЯРКОСТЬ», а при необходимости «СМЕЩЕНИЕ ПО У» и «СТАБИЛИЗАЦИЯ», установить на экране осциллографа луч минимальной яркости. Увеличивая регулятором напряжения амплитуду сигнала генератора и регулируя размер изображения регулятором «УСИЛЕНИЕ ПО У» или более грубо переключателем «ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ» осциллографа, убедиться в функционировании схемы, а с помощью переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ» и регулятора «РАЗВЕРТКА» добиться неподвижного изображения. Полученную картинку зарисуйте. Определите амплитуду напряжения и укажите на рисунке. Перенесите щуп «У» осциллографа к базе транзистора и, повторив указанные операции, добейтесь неподвижного изображения (так как входной сигнал меньшей величины, то переключателем «ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ» потребуется перейти на другой диапазон измерения осциллографа). Картинку для входного сигнала также зарисуйте, указав амплитуду напряжения. Нулевой уровень определите с помощью подключения щупа «У» к общей шине питания схемы для правильного изображения осциллограмм.

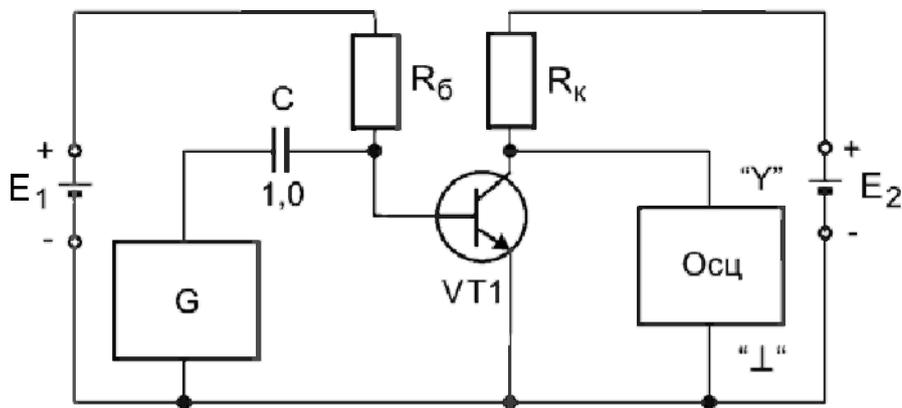


Рис. 5.4. Схема для исследования усилителя

4. Для исследования ключевого режима работы транзистора вместо синусоидального выхода подключить выход прямоугольного сигнала генератора «СУРА». Установить амплитуду сигнала генератора близкой к максимальной и повторить операции пункта 2. Зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов транзистора. С помощью переключателей «ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ» осциллографа определить значение напряжения насыщения транзистора $U_{КЭН}$ (рис. 5.5).

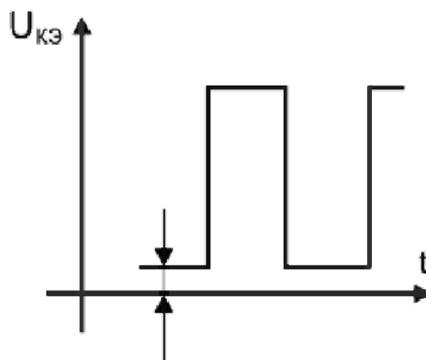


Рис. 5.5. Определение $U_{КЭН}$

Содержание отчета

Отчет включает схемы и результаты выполнения этапов работы, ответы на контрольные вопросы и задания. Осциллограммы следует изображать в одном масштабе по времени и амплитуде для входных и выходных сигналов друг под другом.

Контрольные вопросы и задания

1. Нанесите на построенные динамические ВАХ статические характеристики, полученные в лабораторной работе № 4.
2. Укажите на входной характеристике начальные рабочие точки для установки режимов усиления классов *A*, *B* и *C*.
3. Изобразите на входной характеристике нагрузочную линию для выбранного (в пункте 2 выполнения работы) режима усиления и покажите, как формируется входной сигнал, аналогично показанному на рис 5.1.
4. Каким коэффициентом усиления по напряжению обладает схема?

Вопросы для самопроверки

1. Что такое нагрузочная линия и как она строится на ВАХ транзистора?
2. Как по динамическим характеристикам показать работу транзистора в ключевом режиме?
3. Какими способами можно обеспечить напряжение смещения для установки начальной точки режимов работы транзистора?
4. В чем проявляется влияние температуры на работу усилительного каскада транзисторов?

Литература

1. Основы промышленной электроники / Под. ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш. школа, 1986. – С. 94-100.
2. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. – Мн.: Университетское, 1986. – С. 133-135.
3. Захаров В.К. Электронные элементы автоматики. – Л.: Энергия, 1967. – С. 52-55, 59.

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

Цель работы. Изучить принципы и схемы использования операционного усилителя в электронной автоматике.

Общие сведения

Название *операционный усилитель* (ОУ) относится к усилителю постоянного тока с большим коэффициентом усиления (обычно сотни тысяч). Современный ОУ изготавливается в виде единой интегральной микросхемы. Он имеет, как правило, два входа: *инвертирующий* (выходной сигнал изменяется в другом направлении по отношению к сигналу на этом входе) и *неинвертирующий* (рис. 6.1). Питание ОУ обычно осуществляется от двух источников положительного и отрицательного напряжения, чтобы обеспечить знакопеременный выходной сигнал. Цепи питания ОУ показаны на рис. 6.1 пунктиром, на последующих схемах эти цепи показываться не будут. Такой ОУ с двумя входами называется также *дифференциальным*.

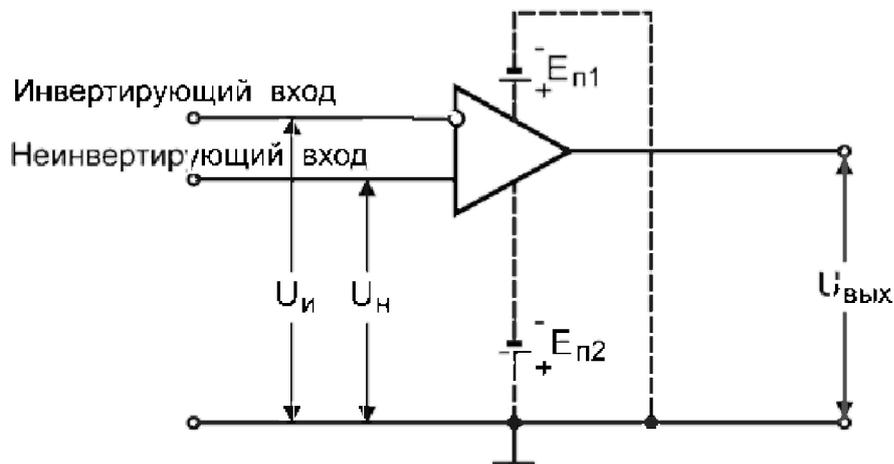


Рис. 6.1. Схема включения операционного усилителя (ОУ)

Суть работы ОУ заключается в том, что разность между напряжением сигналов на неинвертирующем U_n и инвертирующем U_i входах усиливается в K раз (K – собственный коэффициент усиления ОУ):

$$U_{\text{вых}} = K \cdot (U_n - U_i). \quad (6.1)$$

Такое включение ОУ используется непосредственно в так называемых “компараторах” – устройствах, сравнивающих входные сигналы и вырабатывающих выходной сигнал в зависимости от их рассогласования. При появлении уже незначительного рассогласования между сигналами на неинвертирующем и инвертирующем входах ОУ в соответствии с выражением (6.1) выходной сигнал становится максимально возможным по абсолютной величине (около значения напряжения питания). При изменении знака рассогласования выходной сигнал скачкообразно меняет знак. Если один из входных сигналов равен нулю, то такой компаратор имеет специальное название “нуль-орган”.

Часто неинвертирующий вход ОУ соединяют с общей шиной, т.е. сигнал на нем устанавливают равным нулю. В таком случае выходное напряжение равно $U_{\text{вых}} = -K \cdot U_i$. При выполнении упрощенных расчетов коэффициент усиления ОУ считают бесконечно большим, а входной ток и разность между напряжениями на неинвертирующем и инвертирующем входах – близкими к нулю. Исходя

из указанных допущений легко рассчитываются различные схемы на ОУ. На рис. 6.2 приведена схема *инвертирующего масштабного усилителя на ОУ*, а на рис. 6.3 – эквивалентная схема его цепей. При названных допущениях о пренебрежимо малых значениях входных тока и напряжения ОУ получаем, что ток I через резистор R_1 входной цепи и резистор R_0 цепи обратной связи является общим и одинаковым. При этом выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ и ток I устанавливаются такими, чтобы напряжение на инвертирующем входе $U_{\text{и}}$ стало равно напряжению на неинвертирующем входе $U_{\text{н}}$, т.е. в данном случае нулю. Тогда, исходя из закона Ома для участка цепи, определяем ток через резистор R_1 и ток через резистор R_0 и приравниваем их:

$$U_{\text{ВХ}} / R_1 = -U_{\text{ВЫХ}} / R_0.$$

Получаем выражение для выходного напряжения усилителя на базе ОУ:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R_0}{R_1} \cdot U_{\text{ВХ}}. \quad (6.2)$$

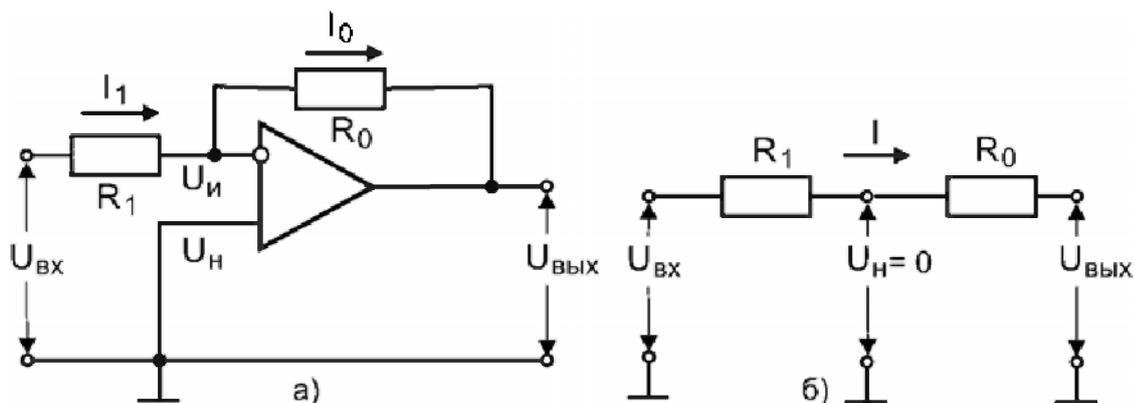


Рис. 6.2. Инвертирующий масштабный усилитель на ОУ:
а) принципиальная схема; б) эквивалентная схема цепей

Отношение резистора обратной связи R_0 к входному R_1 определяет *масштабный коэффициент усилителя*. Изменяя любое из этих сопротивлений, можно изменять коэффициент передачи схемы в широких пределах.

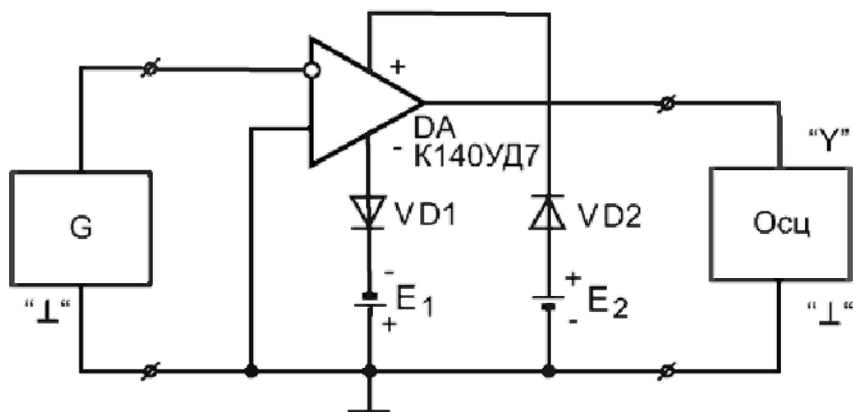


Рис. 6.3. Схема нуля-органа на ОУ

Таким образом, учитывая, что передаточные характеристики ОУ большим собственным коэффициентом усиления определяются характеристиками внешних цепей, подключаемых к ОУ, методика расчета большинства схем на базе ОУ заключается в определении такого значения выходного напряжения, которое приводит к уменьшению до нуля разницы между напряжениями на инвертирующем и неинвертирующем входах ОУ. Входным током ОУ при этом пренебрегают, считая суммарный ток во входной внешней цепи ОУ равным суммарному току в цепи внешней обратной связи (в общем случае это комплексные величины).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием: генератором синусоидального сигнала, осциллографом и источниками питания, входящими в измерительный комплекс «СУРА», операционным усилителем К140УД7, диодами и соединительными проводами. Зарисовать и собрать схему нуля-органа на ОУ. При сборке схемы внимательно следить за правильной полярностью подключения источников питания. Для защиты ОУ от выхода из строя при неправильном включении источников питания в схему введены диоды. Перед включением приборов в сеть установить регуляторы источников питания и генератора в нулевое положение, когда выходное напряжение отсутствует. Схему показать преподавателю для проверки. После получения разрешения включить питание приборов и установить напряжения источников питания одинаковыми (10...15 В). Генератор синусоидального сигнала установить на минимальный диапазон его выходного напряжения и медленно увеличивать его выходное напряжение

до получения на экране осциллографа изменяющегося сигнала. Если такого изменяющегося сигнала с выхода ОУ на экране осциллографа не наблюдается, выключить питание приборов и внимательно проверить схему, при необходимости обратиться к преподавателю или лаборанту. Если сигнал на экране осциллографа появился, регуляторами “ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ” и “РАЗВЕРТКА” выбрать удобные диапазоны и скорость развертки луча и для получения одного или нескольких (рекомендуется не более 4) периодов исследуемого сигнала. Регуляторами ”УРОВЕНЬ” и “СТАБИЛИЗАЦИЯ” подстроить изображение до получения неподвижного. Зарисовать осциллограммы напряжений входного и выходного сигналов с указанием их временных длительностей и амплитуд напряжений. При необходимости использовать переключатель “ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЯ” осциллографа для усиления изображения входного сигнала.

2. Собрать схему инвертирующего масштабного усилителя на ОУ (рис. 6.4). Получить на выходе усилителя неискаженный синусоидальный сигнал, изменяя от минимального и выше значение сигнала генератора. Измерить по осциллографу значение амплитуд напряжений входного и выходного сигналов, пользуясь переключателем ”ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ” осциллографа для выбора удобного масштаба осциллограмм. Зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов. Рассчитать коэффициент передачи по напряжению:

$$k_{\text{и}} = \frac{u_{\text{вых}}}{u_{\text{вх}}}.$$

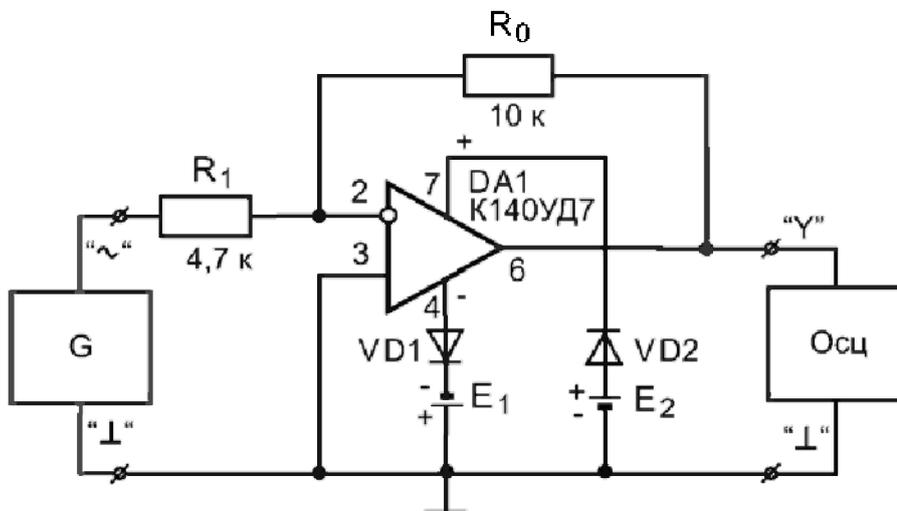


Рис. 6.4. Принципиальная схема инвертирующего усилителя на ОУ К140УД7

Сравнить полученное значение с рассчитанным по выражению (6.2) (значения резисторов определять, исходя из их маркировки).

3. На рис. 6.5 приведена схема сумматора на ОУ. Второй суммирующий вход подключен через резистор R_2 к источнику питания. Рассчитайте, исходя из значения напряжения источника питания в соответствии с выражением (6.2), величину резистора R_2 , обеспечивающего смещение выходного сигнала приблизительно на 2 В. Подключите резистор с рассчитанным номинальным значением по схеме. Зарисуйте осциллограммы выходного и входного напряжения, определив по осциллографу и указав их величину и приблизительные временные характеристики. Определите полученное с помощью сумматора постоянное смещение выходного сигнала, сопоставьте с требуемым смещением.

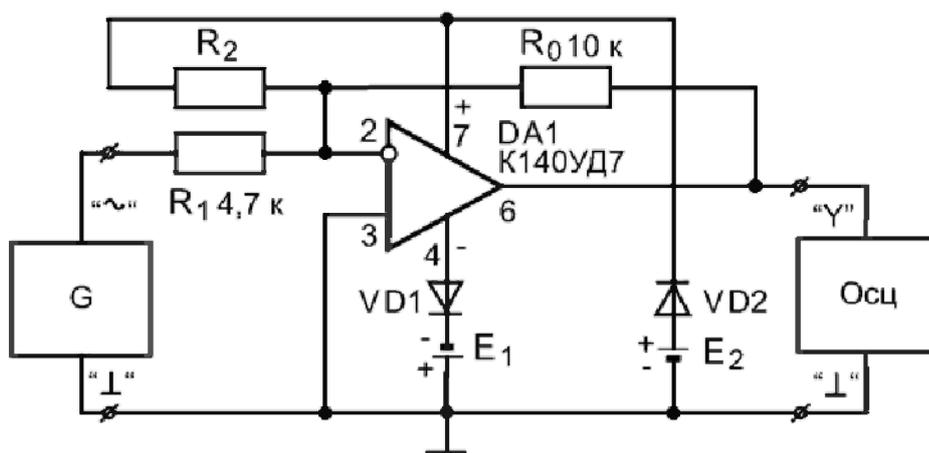


Рис. 6.5. Принципиальная схема сумматора на ОУ

4. Зарисуйте и соберите схему RC -автогенератора гармонических колебаний с мостом Вина в цепи обратной связи (рис. 6.6). Изменяя величину резистора в цепи обратной связи, получите на экране осциллографа неискаженный синусоидальный сигнал. Определите амплитуду выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$ и сравните ее с амплитудой входного сигнала $U_{\text{ВХ}}$ (например, на неинвертирующем входе ОУ). Рассчитайте величину резистора в цепи обратной связи R_0 , исходя из условия баланса амплитуд $K = 1$, где коэффициент передачи K при разомкнутой цепи обратной связи равен: $K = 1 + R/R_1$, а коэффициент передачи β моста Вина в цепи обратной связи: $\beta = 1/3$. Определите с помощью осциллографа ориентировочно период T гармонического сигнала и его частоту $f = 1/T$. Сравните с расчетным

значением частоты f . Осциллограммы входного и выходного сигналов зарисуйте в одинаковом масштабе.

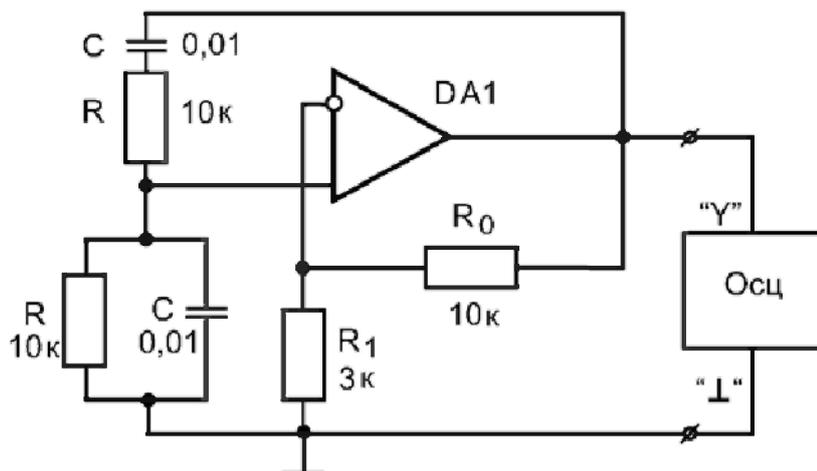


Рис. 6.6. Автогенератор гармонических колебаний

Содержание отчета

В отчете привести материалы, иллюстрирующие выполнение указанных этапов работы и задания. Осциллограммы входных и выходных напряжений изображать в одинаковом масштабе по времени друг под другом для сопоставления. При их изображении необходимо правильно размещать входной и выходной сигналы, чтобы выходной являлся инвертированным по отношению к входному.

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите основные параметры ОУ.
2. Расшифруйте маркировку используемого в работе ОУ.
3. Объясните кратко назначение каждого элемента на принципиальных схемах.
4. Поясните по осциллограммам, почему один из входов ОУ называется “инвертирующим”.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое интегральная микросхема и как определяется степень ее интеграции?

2. К чему приводит введение обратной связи в ОУ?
3. Как рассчитывается коэффициент передачи усилителя при наличии отрицательной обратной связи?
4. Можно ли на базе ОУ, имеющего собственный коэффициент усиления в сотни тысяч, построить усилитель с коэффициентом передачи по напряжению равным или меньшим единицы?
5. Принцип действия *RC*-автогенератора?

Л и т е р а т у р а

1. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш. школа, 1986. – С. 18-122, 131-138, 137-139, 164-167.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. школа, 1982. – С. 150-160.
3. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным микросхемам / Н.Н.Горюнов, А.Ю.Клейман, Н.Н.Комков и др.; Под ред. Н.Н.Горюнова. – М.: Энергия, 1988.

Л а б о р а т о р н ы е р а б о т ы № 7 и 8

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы. Изучить аппаратные и программные особенности построения и функционирования микропроцессорных систем автоматики и их элементов для преобразования входной информации.

Общие сведения

Научно-технический прогресс привел к появлению нового раздела электроники – микроэлектроники, связанного с созданием и применением интегральных микросхем. По количеству отдельных элементов, объединенных в единой интегральной схеме (ИС), различают: МИС – малые ИС (малой степени интеграции) – до 10 элементов, СИС – средние ИС (средней степени интеграции) – до 100, БИС – большие ИС (большой степени интеграции) – до 1000 и СБИС – сверхбольшие ИС (сверхбольшой степени интеграции) – до 10000 элементов и более в одном кристалле. Наиболее широко сре-

ди БИС и СБИС стали использовать устройства, позволяющие выполнить определенный набор арифметических и логических операций и преобразовать входную информацию под управлением хранимой в “памяти” программы. Эти устройства получили название *микропроцессоров*. По назначению они универсальны и могут применяться для построения вычислительных и управляющих устройств любого назначения.

Информация в микропроцессоре представляется в цифровом виде в двоичной системе счисления. Один двоичный разряд, имеющий значение двоичной цифры 0 и 1, называют *битом*. *Байт* – восемь битов. Последовательность битов, представляющая цифровую информацию, может быть преобразована в десятичное число умножением каждого бита на соответствующую степень числа 2, например:

$$00111011_2 = 0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + \\ + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 59_{10}.$$

Для более плотной записи информации широко используется шестнадцатеричная система счисления (основание – 16), каждый символ которой соответствует 4 битам (тетраде) соответствующего двоичного числа. Шестнадцатеричные цифры, соответствующие в десятичной системе счисления числам от 10 до 15, обозначаются символами *A, B, C, D, E* и *F*. Например, для приведенного выше примера закономерно следующее соотношение:

$$59_{10} = 00111011_2 = 3B_{16}.$$

При программировании шестнадцатеричные константы, как правило, обозначаются специальным символом, например \$ на языке Pascal (\$3B, для вышеуказанного примера).

На основе микропроцессора строятся различные системы автоматического регулирования. Кроме непосредственно процессора они содержат, как правило, устройства ввода и вывода информации и запоминающие устройства. На рис. 8.1 показана *архитектура* (организация) микропроцессорной системы на базе отечественного *микропроцессора КР580ИК80*. Процессор имеет следующие основные технические характеристики: разрядность адреса – 16 бит, разрядность данных – 8 бит (при необходимости увеличивается последователь-

ным использованием ячеек по 8 бит); время выполнения команд типа “регистр-регистр” – не более 2 мкс; количество адресуемых регистров ввода/вывода – по 256; производительность – 110000 операций в секунду в среднем. Микропроцессорная система содержит также (см. рис. 8.1) оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); комплекс технических средств и протоколы обмена, обеспечивающие обмен информацией между процессором и устройствами ввода-вывода, – так называемый *интерфейс ввода и вывода*. Задание тактов работы осуществляется с помощью генератора тактовых импульсов (ГТИ) (тактовая частота около 2 МГц). Процессор соединен со всеми устройствами через общие шины связи. Физически шины представляют собой печатные проводники или кабели, к которым подключаются все блоки системы. Однонаправленная (передающая информацию в одну сторону) *шина адреса* дает возможность устройству управления, входящему в микропроцессор, выбирать любую ячейку в памяти или любое устройство ввода или вывода соответствующей комбинацией единиц и нулей на шине. Двухнаправленная, т.е. действующая в любую сторону, *шина данных* позволяет передавать информацию от устройства ввода в память или в микропроцессор и точно так же – из памяти в процессор или на устройство вывода. *Шина управления* обеспечивает передачу всех управляющих сигналов, необходимых для работы системы. Вводимая от устройства ввода информация поступает через восьмиразрядный *порт ввода* по шине данных в микропроцессор. Выводимая на устройство вывода информация поступает по шине данных в восьмиразрядный *порт вывода*, а из порта вывода – на внешнее устройство вывода. В системах автоматического регулирования наиболее часто для ввода информации от датчиков аналоговых (непрерывных во времени) величин используют *аналогово-цифровые преобразователи (АЦП)*, в которых производится преобразование входной аналоговой информации от измерительных устройств – датчиков в цифровую форму (рис. 8.1)ю На рис. 8.2 показана функциональная схема подключения АЦП Ф7077 к источнику питания и другим устройствам, используемая в лабораторной работе. Устройством вывода, как правило, является внешнее устройство печати или хранения информации, например, накопитель на магнитных лентах, магнитных или оптических дисках, а также для осуществления регулирования различные исполнительные устройства. При регулирова-

нии температуры, информация от датчика температуры используется для включения или выключения нагревателя; при регулировании дорожного движения информация от детекторов транспорта используется для управления микропроцессорной системой исполнительным устройством – дорожным контролем с выбором рационального светового цикла.

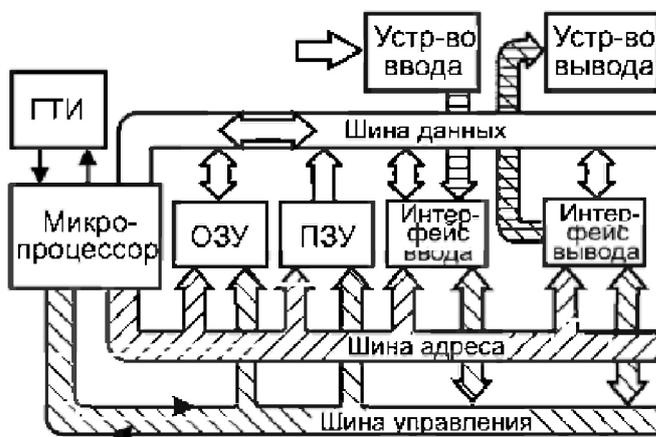


Рис. 8.1. Архитектура САР с микропроцессором КР580ИК80

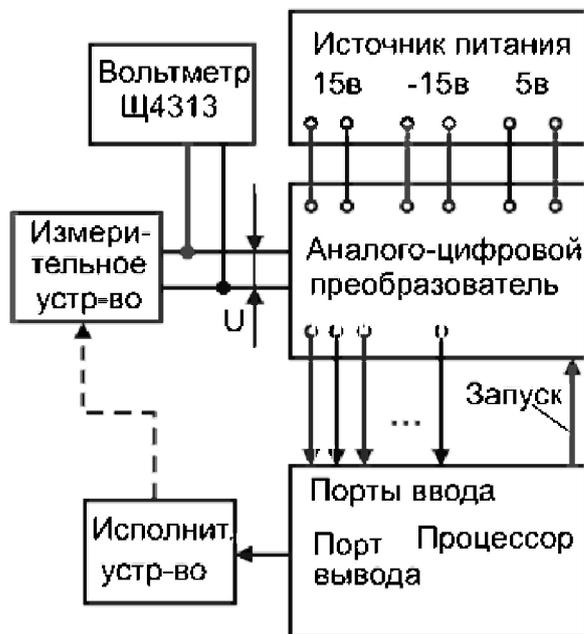


Рис. 8.2. Микропроцессорная САР аналоговых величин

Эффективность САР определяется эффективностью ее алгоритма. *Алгоритм* – последовательность выполнения операций, решающих поставленную задачу. Алгоритм микропроцессорной САР реализуется

преимущественно в виде программы, хранящейся в памяти. Для изменения алгоритма достаточно изменить программу. Последнее легко осуществляется в специально разработанных *перепрограммируемых запоминающих устройствах* (ППЗУ), в которых имеется возможность неоднократно стирать занесенную программу и записывать новую.

Для примера программной реализации на рис. 8.3 представлен алгоритм считывания показаний датчика технологического процесса. Пусть нужно периодически считывать значения одного из параметров, определять, сохранилось ли оно прежним или изменилось, и, если изменилось, обратиться к внутренней программе (т.е. подпрограмме) обработки этого параметра. Считывание информации от датчика производится через время T_C – так называемый шаг квантования по времени. Один из возможных вариантов программы обработки параметра показан на рис. 8.4 для простейшего случая допускового контроля входной величины. Если входная величина A превышает некоторое заданное максимальное значение верхнего предела AI , то необходимо включить исполнительное устройство. Если значение A становится меньше значения нижнего порога AI , то необходимо выключить исполнительное устройство.



Рис. 8.3. Алгоритм анализа показаний датчика

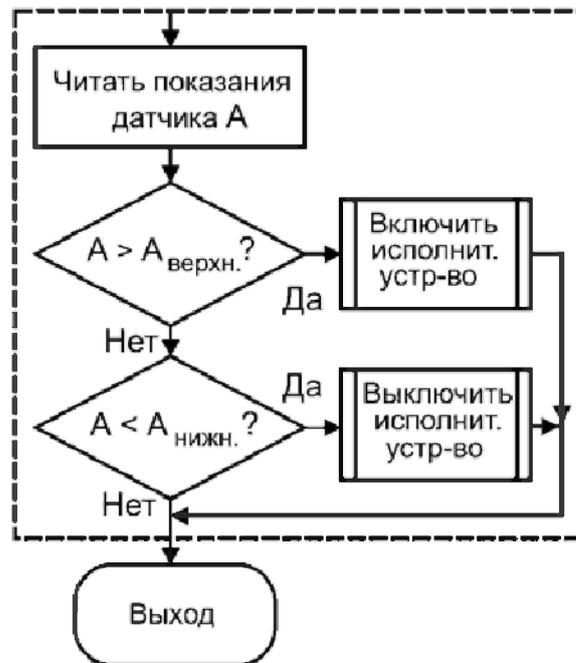


Рис. 8.4. Алгоритм допускового контроля показаний датчика

Ниже приведен участок указанной программы, реализованной на языке БЕЙСИК. Программа пояснена комментариями, выделяемыми в теле программы знаком «апостроф».

```

1 ' A – текущее значение показаний датчика, AP – предыдущее
2 ' A1 – минимальное, AU – максимальные значения зоны контроля
3 ' ПОРТ 16Н – для вывода управляющих сигналов
220 '
300 AR = A-AP: ' – вычесть предыдущее значение сигнала
310 IF AR = 0 THEN 140: ' – повторить ввод, если нет изменений
320 GO SUB 400: ' - к подпрограмме обработки сигнала
330 PRINT «A = A», »VA = «;: PRINT USING «##.##»; VA;:
PRINT «ВОЛЬТ»
340 AP = A: ' – сохранение для предыдущего значения
350 GO TO 140: ' – повторение ввода показаний датчика
360 '
400 IF A>AU THEN 500: ' – идти к включению исполнит. уст-
ройства
410 ': если A > максимального значения
420 IF A <A1 THEN 600 : ' – идти к выключению исполнит. уст-
ройства;

```

430 ‘: если $A <$ минимального значения
440 RETURN:’ – выход
500 ‘ включение исполнительного устройства:
510 OUT 016H, 020H:’ – выход 1 в 5-й бит порта 16H
520 PRINT CHR\$(7):’ – включение звонка
530 RETURN:’ – выход
600 ‘ выключение исполнительного устройства:
610 OUT 016H, 0:’ – вывод 0 в порт 16H
620 RETURN: ‘ – выход

Порядок выполнения лабораторной работы № 7

1. Зарисовать функциональную схему микропроцессорной САУ (см. рис. 8.1, 8.2) и пояснить назначение всех элементов.

2. Подключить к АЦП Ф7077 в качестве источника исследуемого сигнала блок питания "СУРА" в соответствии с рис. 8.2. Включить источник питания и измерительное устройство. Считать показания светодиодных индикаторов АЦП Ф7077 как двоичное 11-разрядное число. Перевести его в десятичную систему счисления и определить напряжение входного сигнала. Контроль вести по подключенному параллельно входному сигналу цифровому вольтметру Щ4313. Изменить напряжение блока "СУРА" (не выше 10 В) и повторить измерения по пункту 2.

3. Включить микроЭВМ "Электроника МС0401", содержащую микропроцессор КР580ИК80. Вызвать программу "АСР1", набрав на дисплее команду BASIC АСР1. Повторить измерения по пункту. Правильность двоично-десятичного преобразования контролировать по информации на дисплее микроЭВМ. Полученные результаты записать в протокол.

4. Вызвать программу "АСР2", набрав команду RUN "АСР2". В диалоговом режиме ответить на вопросы ЭВМ, определив значение верхнего и нижнего порога контролируемой входной величины (в пределах от 0 до 10 В). Изменяя значение входного напряжения регулятора определить с помощью вольтметра, а также путем визуальной индикации по светодиодам АЦП значения порогов включения и выключения исполнительного устройства. Момент включения исполнительного устройства сопровождается звуковым сигналом и загоранием соответствующего индикатора. Сопоставить полученные значения по отношению к заданным вначале пороговым значениям.

5. Повторите пункт 4 для других пороговых значений, выбрав директиву прерывания на дисплее ЭВМ, одновременно нажав клавиши "Управляющее" и "С" (латинская буква), а далее задать директиву повторного выполнения программы: RUN. Результаты записать и сопоставить.

6. Прервите выполнение программы, одновременно нажав клавиши "Управляющие" и "С" (латинское). Исправьте программу, приведенную на рис. 8.5, таким образом, чтобы выключение исполнительного устройства происходило тогда, когда значение А становится меньше чем $0,8 \cdot AI$. Для исправления программы директивой LIST вызовите текст программы на дисплей. Определите номер оператора, который необходимо заменить другим. Наберите новый оператор, начиная с его порядкового номера. Директивой проверьте, что исправления сделаны правильно, если необходимо повторите указанные действия. Проверьте работу САР с новым алгоритмом, выполнив указания по пункту 5.

Оформление отчета

Отчет должен быть оформлен в соответствии с общими требованиями.

Контрольные вопросы и задания

1. Расшифруйте значения ИС КР80ИК80.
2. Приведите основные технические характеристики процессора КР80ИК80, ЭВМ семейства IBM и АЦП Ф7077.
3. В чем заключаются преимущества микропроцессорных САР по сравнению с САР, не имеющими в цепи обратной связи микропроцессора (с аппаратной реализацией закона регулирования)?

Порядок выполнения лабораторной работы № 8

1. Подключите детектор транспорта (ДТ) к АЦП аналогично рис. 8.2. На вход ДТ подключите лабораторный макет индуктивной рамки и включите источники питания ДТ. Включите микропроцессорный комплекс и вызовите программу "ДТ" обработки сигналов детектора транспорта.

2. Перемещая над макетом рамки модели автомобилей, убедитесь в работоспособности комплекса. Наблюдая за количественными характеристиками и формой сигналов детектора, выводимых на экран дисплея, определите характер зависимостей сигнала от массы, скорости моделируемого автомобиля и высоты проезда над макетом рамки. Зарисуйте соответствующие сигналы и запишите характер установленных зависимостей. Результаты представьте для проверки преподавателю.

3. Выключив питание, подключите на вход детектора клеммы реальной индуктивной рамки, установленной на ул. Якуба Коласа. Включите детектор и прикладную телевизионную установку (ПТУ).

4. Наблюдая на экране телевизионного монитора ПТУ транспортное средство, проезжающее над рамкой, определите и запишите его тип и ориентировочную скорость движения. Перерисуйте характеристики и форму сигнала детектора для этого наблюдения, выводимые на экран дисплея микропроцессорного комплекса. Проверьте установленные по пункту 2 закономерности для реального дорожного движения.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите основные технические характеристики используемого в работе детектора транспорта.

2. Предложите способы определения по форме и характеристикам сигнала детектора транспорта скорости движения, длины и типа транспортного средства, вызывающего этот сигнал.

3. Составьте блок-схему программы для расчета суточного цикла движения транспорта на микроЭВМ.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Приставки для дольных и кратных единиц

Наименование приставки	Обозначение	Отношение к основной единице
пико	п	10^{-12}
нано	н	10^{-9}
микро	мк	10^{-6}
милли	м	10^{-3}
санти	с	10^{-2}
гекто	г	10^2
кило	к	10^3
мега	М	10^6
гига	Г	10^9

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчет и построение ВАХ полупроводниковых приборов по экспериментальным данным с помощью ЭВМ

Расчет выполняется в диалоговом режиме на ЭВМ семейства IBM. Ввод исходных данных осуществляется с клавиатуры, вывод – либо на монитор, либо на принтер в виде графиков и рассчитанных значений.

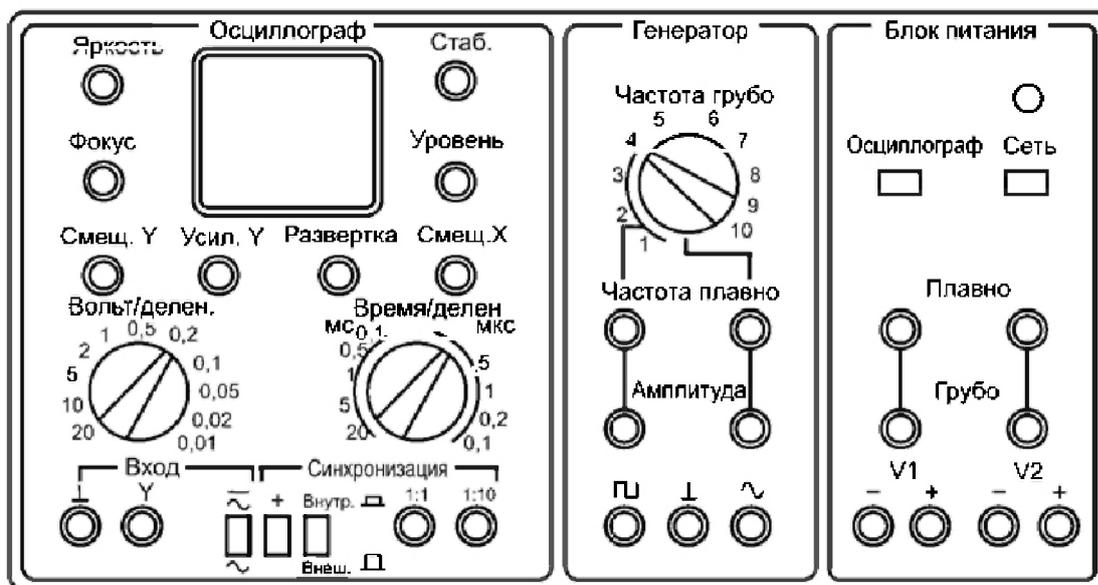
Для машинного расчета ВАХ подготовьте ЭВМ к работе. После вызова программы "VAN" на экране дисплея появится сообщение: "Лабораторная работа. Расчет и построение ВАХ". Далее следуют вопросы, на которые с клавиатуры вводят требуемые данные. Признаком конца ответа всегда является символ "BK" – возврат каретки (нажатие клавиши ENTER), т.е. переход на новую строку. Вначале выводится указание "Сообщите номер группы". После ввода номера своей учебной группы и "BK", выводится указание "Введите свою фамилию и инициалы". На клавиатуре фамилия и инициалы набираются произвольным образом. В конце необходимо снова нажать клавишу "BK" – возврат каретки. Ответом на вопрос "Укажите режим построения ВАХ :0 – для диодов, 1 – для стабилитронов, 2 – для транзисторов" должно быть последовательное нажатие двух

клавиш: либо "0" и "BK", либо "I" и "BK" (в зависимости от требуемого режима расчета ВАХ). Далее появится указание "Вводите попарно значение напряжение (в вольтах) и тока (в миллиамперах). "BK" – для завершения ввода, "И" – для исправления, "?" – для подсказки. После этого в новой строке появится порядковый номер точки и знак "?", подтверждающий ожидание ввода информации для указанной точки. Необходимо в произвольном порядке попарно вводить экспериментально снятые точки. После набора каждой пары данных напряжение-ток нажимается "BK" (пара данных набирается в одной строке). Для изменения неверно введенной информации нажимается клавиша "И" и затем "BK". ЭВМ возвращается к предыдущей точке для ввода правильных данных. Отсутствие вводимой информации и нажатие клавиши "BK", без численных значений перед этим, является признаком окончания ввода. Перед построением ВАХ ЭВМ уточняется устройство для вывода: "Вывод графиков на дисплей ("0") или на печатающее устройство ("1")?". После соответствующего ответа (в конце "BK") производится построение экспериментальной ВАХ, расчетной идеализированной, и вывод распечатанных параметров, h -параметров транзистора.

В процессе работы ЭВМ может задавать дополнительные вопросы, уточняющие режим построения ВАХ. Если при наборе данных потребуются подсказка об управляющих символах – нажмите последовательно клавиши "?", "BK". По окончании печати на дисплее появляется сообщение "Конец работы". "<фамилия>, будут ещё данные для построения ВАХ (0-да, 1-нет) ?" При положительном ответе повторяется работа с этапа ввода данных, иначе появляется вопрос "Будут ещё работать другие студенты (0-да, 1-нет)?" При положительном ответе работа повторяется с самого начала, иначе – завершается.

В любой момент времени работу ЭВМ можно прервать одновременным нажатием управляющей клавиши "УС" (CTRL) и клавиши латинской буквы "С".

Расположение и назначение органов управления прибора "СУРА"



Осциллограф

ЯРКОСТЬ – для установки необходимой яркости луча ЭЛТ; **ФОКУС** – для фокусирования луча ЭЛТ; **СМЕЩ. У** – для смещения луча по вертикали; **ВОЛЬТ/ДЕЛЕН.** – для ступенчатого переключения усиления канала вертикального отклонения ; **УСИЛ.У** – для плавной регулировки усиления канала вертикального отклонения; **ВХОД.У** – гнездо для подачи исследуемых сигналов; "⊥" – гнездо для соединения с цепью схемной земли в исследуемой схеме; для установки открытого или закрытого входа усилителя вертикального отклонения; **РАЗВЁРТКА** – для плавной регулировки деятельности развёртки; **ВРЕМЯ/СМЕЩ. X** – для ступенчатого переключения длительности развёртки; **СМЕЩ. X** – для смещения луча по горизонтали; "1:1" – гнездо для подачи внешних синхронизирующих сигналов, поступающих на схему синхронизации осциллографа без ослабления; "1:10" – гнездо для подачи внешних синхронизирующих сигналов, поступающих на схему синхронизации осциллографа с ослаблением в десять раз; **ВНУТР.-ВНЕШ.** – для установки внутренней (синхронизация исследуемым сигналом) или внешней син-

хронизации; "-" – "+" – для выбора полярности синхронизирующего сигнала; БАЛАНС – для устранения смещения луча ЭЛТ при переключении входного аттенюатора (выведен на нижнюю обшивку прибора для регулирования отвёрткой).

Генератор

ЧАСТОТА ГРУБО – для ступенчатого переключения поддиапазонов частоты генераторов синусоидальных и прямоугольных сигналов; ЧАСТОТА ПЛАВНО – для плавной регулировки частоты в каждом из поддиапазонов генераторов синусоидальных и прямоугольных сигналов; АМПЛИТУДА – для плавной регулировки амплитуды выходного сигнала генераторов; гнездо для снятия выходного сигнала генератора синусоидальных сигналов; гнездо для снятия выходного сигнала генератора прямоугольных сигналов.

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ.....	4
Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.....	10
Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ.....	17
Лабораторная работа № 4. ИЗМЕРЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА.....	26
Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ.....	34
Лабораторная работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ.....	40
Лабораторные работы № 7, 8. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	47
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	56

Учебное издание

ЭЛЕКТРОННАЯ АВТОМАТИКА И ТЕХНИКА

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальностей
1-44 01 01 «Организация перевозок и управление
на автомобильном и городском транспорте»
и 1-44 01 02 «Организация дорожного движения»

В 2 частях

Часть 1

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕХНИКИ

Составитель МОЧАЛОВ Валерий Вениаминович

Редактор А.М.Кондратович. Корректор М.П.Антонова
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 22.11.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 2,7. Тираж 150. Заказ 102.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.