МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Отделение ядерной физики и технологий

Одобрено на заседании
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для преподавателя

по дисциплине

Электроника

название дисциплины

для направления подготовки

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

образовательная программа

«Плазменные и лазерные технологии материалов»

Форма обучения: очная

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для преподавателей по дисциплине «Электроника» – представляют собой комплекс рекомендаций и разъяснений, позволяющих преподавателю оптимальным образом организовать процесс обучения по данной дисциплине.

Цель дисциплины – усвоение базовых знаний по основным разделам электроники, необходимые для подготовки в соответствии с выбранной специальностью;

Задачи дисциплины:

- развитие навыков организации и проведения измерений в электронных цепях с учетом их особенностей;
- совершенствование практики анализа параметров цепей с использованием основополагающих методов решения задач на основе законов Ома и Кирхгофа, а также эквивалентных преобразований;
- изучение основ физики полупроводников, их структуры и сферы применения;
- получение сложившихся представлений об элементной базе электронных схем и устройств, применяемых в составе средств электронной техники.
- обретение компетентности в функционировании основных электронных устройств (усилители, источники вторичного электропитания, генераторы);

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части и относится к общепрофессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика», «Линейная алгебра», «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения»,»Электротехника».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: выполнение всех видов практики и выпускной квалификационной работы.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 семестре.

Основными видами учебной работы по данной дисциплине являются лекции, практические и лабораторные занятия, самостоятельная работа обучающихся. Для успешного освоения дисциплины студенты необходимо изучить лекционный материал и рекомендуемую литературу, отработать изученный материал на практических и лабораторных занятиях, выполнить задания для самостоятельной работы.

1 Лекции

Лекция – это важный источник информации по каждой учебной дисциплине. Главной задачей каждой лекции является раскрытие сущности темы и анализ ее основных положений. Рекомендуется на первой лекции довести до внимания студентов структуру дисциплины и его

разделы, а в дальнейшем указывать начало каждого раздела (модуля), суть и его задачи, а, закончив изложение, подводить итог по этому разделу, чтобы связать его со следующим.

Содержание лекций определяется рабочей программой дисциплины и представлено в таблице

Неделя	№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-8.	1	Элементная база современных электронных устройств	Представление о зонной теории полупроводников. Электронная и дырочная проводимость. Идеальный p-n переход и его ВАХ. Пробой p-n перехода. Емкость p-n перехода. Полупроводниковые диоды. Классификация и система обозначений полупроводниковых диодов. Выпрямительные, универсальные, импульсные, туннельные диоды, стабилитроны, варикапы. Назначение, ВАХ, параметры и область применения диодов. Условие графического обозначения диодов на схемах. Биполярные транзисторы. Устройство и разновидность транзисторов. Физические процессы в транзисторах. Эффект модуляции толщины базы. Схемы включения транзисторов. Входные и выходные ВАХ. Схемы замещения транзистора. Классификация и система обозначений биполярных транзисторов. Условное графическое изображение транзисторов на схемах. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом и МДП (МОП) структурой. Устройство, принцип действия, ВАХ, параметры, область применения. Классификация и система обозначений полевых транзисторов. Условное графическое обозначение на схемах. Оптоэлектронные приборы. Источники оптического излучения. Приемники оптического излучения. Оптроны. Устройства отображения информации.
9-12	2	Усилители электрических сигналов.	Назначение, классификация, основные характеристики и параметры. Режимы работы усилителей. Обратная связь в усилителях и стабилизация режимов работы. Однокаскадные усилители на транзисторах. Многокаскадные усилители, особенности выходных каскадов усилителей. Дифференциальный каскад. Источники тока для дифференциального каскада. Операционные усилители (ОУ). Идеальный и реальный ОУ. Параметры реальных ОУ.

			Основные схемы включения ОУ. Примеры применения.
13-14	3	Источники вторичного питания	Назначение и классификация. Первичные источники питания. Структура, параметры и характеристики вторичных источников питания. Выпрямители: однополупериодные, двухполупериодные и выпрямители с умножением напряжения. Сглаживающие фильтры. Стабилизация напряжения (параметрические, компенсационные и импульсные стабилизаторы). Интегральные стабилизаторы напряжения.
15-16	4	Импульсные и автогенераторные устройства.	Преимущества передачи информации в виде импульсов. Ключевой режим работы транзистора. Нелинейный режим работы операционного усилителя. Компараторы. Мультивибратор на операционном усилителе. Генераторы линейно изменяющихся напряжений. Генераторы гармонических колебаний

Для эффективного проведения лекционного занятия рекомендуется соблюдать последовательность ее основных этапов:

1) формулировку темы лекции;

2) указание основных изучаемых разделов или вопросов и предполагаемых затрат времени на их изложение;

3) изложение вводной части;

4) изложение основной части лекции;

5) краткие выводы по каждому из вопросов;

6) заключение;

7) рекомендации литературных источников по излагаемым вопросам.

Дадим краткую характеристику каждого из лекционных этапов.

Начальный этап каждого лекционного занятия – оглашение основной темы лекции с краткой аннотацией предлагаемых для изучения вопросов. Преподаватель должен сообщить о примерном плане проведения лекции и предполагаемом распределении бюджета времени. Если очередное занятие является продолжением предыдущей лекции, необходимо кратко сформулировать полученные ранее результаты, необходимые для понимания и усвоения изучаемых вопросов.

Во вводной части достаточно кратко характеризуется место и значение данной темы в курсе, дается обзор важнейших источников и формулируются основные вопросы или задачи, решение которых необходимо для создания стройной системы знаний в данной предметной области. В этой части лекции демонстрируются основные педагогические методы, которые будут использоваться при изложении материала и устанавливается контакт с аудиторией.

Основная часть лекции имеет своей целью раскрытие содержания основных вопросов или разделов и определяется логической структурой плана лекции. При этом используются основные педагогические способы изложения материала: описание-характеристика, повествование,

объяснение и др. Преподаватель должен также умело использовать эффективные методические приемы изложения материала – анализ, обобщение, индукцию, дедукцию, противопоставления, сравнения и т.д., обеспечивающие достаточно высокий уровень качества учебного процесса.

В заключительной части лекции проводят обобщение наиболее важных и существенных вопросов, делаются выводы, формулируются задачи для самостоятельной работы слушателей и указывается рекомендуемая литература. Оставшееся время используют для ответов на вопросы, задаваемые слушателями, и для возможной дискуссии о содержании лекции.

Содержание лекционного материала должно строго соответствовать содержательной части утвержденной рабочей учебной программы дисциплины и соответствовать основным дидактическим принципам, которые обеспечивают соответствие излагаемого материала научно-методическим основам экономической деятельности. Основными из них являются целостность, научность, доступность, систематичность и наглядность.

Целостность лекции обеспечивается созданием единой ее структуры, основанной на взаимосвязи задач занятия и содержания материала, предназначенного для усвоения студентами.

Научность лекции предполагает соответствие материала основным положениям современной науки, абсолютное преобладание объективного фактора и доказательность выдвигаемых положений. Для научно обоснованной лекции характерны ясность, логичность, аргументированность, точность и сжатость.

Принцип доступности лекции предполагает, что содержание учебного материала должно быть понятным, а объем этого материала посильным для всех студентов. Это означает, что степень сложности лекционного материала должна соответствовать уровню развития и имеющемуся запасу знаний и представлений студентов.

Систематичность лекционного материала определяется взаимосвязью изучаемого материала с ранее изученным, постепенным повышением сложности рассматриваемых вопросов, взаимосвязью частей изучаемого материала, обобщением изученного материала, стройностью изложения материала по содержанию и внешней форме его подачи, рубрикацией курса, темы, вопроса и единообразием структуры построения материала.

Принцип наглядности содержания лекции требует использования при чтении лекции визуальных носителей информации в виде презентаций, поскольку основной поток информации в учебном процессе воспринимается обучаемым зрительно. Демонстрационный материал во всех случаях должен играть подчиненную роль и не подменять содержания лекции. В каждый момент лекции необходимо демонстрировать только тот наглядный материал, который иллюстрирует излагаемые положения.

При проведении лекционных занятий по дисциплине используются следующие виды лекций: информационные, проблемные, лекции-визуализа-ции, лекции с опорным конспектированием.

Основным признаком информационной лекции является простой способ передачи готовых знаний учащимся через монологическую форму общения.

В отличие от информационной лекции, в проблемной лекции, лекции-визуализации происходит активное освоение содержание обучения с включением механизмов творческого осмысления. В этом процессе учащиеся проявляют собственную активность в контексте диалогического взаимодействия и общения в ходе лекции.

Лекции проблемного характера отличает то, что процесс познания студентов приближается к поисковой, исследовательской деятельности. При этом обеспечивается

достижение трех основных целей: усвоение студентами теоретических знаний, развитие теоретического мышления и формирование познавательного интереса к содержанию учебного предмета и профессиональной мотивации будущего специалиста. На такой лекции новое знание вводится через проблемность вопроса, задачи или ситуации. При этом процесс познания студентов в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к исследовательской деятельности. Содержание проблемы раскрывается путем организации поиска ее решения или суммирования и анализа традиционных и современных точек зрения.

Другая форма лекции – лекция-визуализация – является результатом поиска новых возможностей реализации известного в дидактике принципа наглядности, содержание которого меняется под влиянием данных психолого-педагогической науки, форм и методов активного обучения. Лекция-визуализация представляет собой визуальную форму подачи лекционного материала средствами компьютерной техники или аудио- и видеотехники (видео-лекция). Чтение такой лекции сводится к развернутому или краткому комментированию просматриваемых визуальных материалов.

Лучше использовать разные виды наглядности – натуральной, изобразительной, символической. При переходе от текста к зрительной форме или от одного вида наглядности к другому теряется некоторое количество информации. Однако это может быть преимуществом, поскольку позволяет сконцентрировать внимание на наиболее важных аспектах и особенностях содержания лекции, способствовать его пониманию и усвоению.

2. **Практические занятия.**

Практические занятия являются важной частью учебного процесса в вузе. Они проводятся с целью закрепления лекционного материала, овладения понятийным аппаратом предмета, методами и приёмами исследования, изучаемыми в рамках учебной дисциплины. Главной целью такого рода занятий является научиться применению теоретических знаний на практике.

Содержание практических занятий по дисциплине «Электроника» представлено в таблице.

Неделя	№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-6	1	Элементная база современных электронных устройств	Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы.
7-12	2	Усилители электрических сигналов	Усилительные устройства
13-16	3	Источники вторичного питания	Источника вторичного питания

Практические занятия — метод обучения, обеспечивающий связь теории и практики, содействующий выработке у студентов умений и навыков применения знаний, полученных на лекции и в ходе самостоятельной работы.

Практические занятия представляют собой занятия по решению различных прикладных задач, образцы которых были даны на лекциях. В итоге у каждого обучающегося должен быть выработан определенный профессиональный подход к решению каждой задачи.

Практические занятия по курсу могут проводиться в различных формах. Рекомендуются активные формы занятий, такие как дискуссия, деловая игра, тренинг. Преподавателю важно давать задания в соответствии с возможностями обучающихся на данной стадии обучения, чтобы обеспечить им уверенность в своих силах.

Практическое занятие должно опираться на известный теоретический материал, который изложен или на который дана соответствующая ссылка в лекции.

Практическое занятие должно быть нацеленным на формирование определенных умений и закрепления определенных навыков, поэтому цель занятия должна быть заранее известна и понятна преподавателю и обучающимся. Лучше иметь сформулированные в письменном виде цель, задачи, содержание и последовательность занятия, ожидаемый результат.

Обучающиеся должны всегда видеть ведущую идею курса и ее связь с практикой. Это придает учебной работе актуальность, утверждает необходимость овладения опытом профессиональной деятельности, связывает её с практикой жизни. В таких условиях задача преподавателя состоит в том, чтобы больше показывать обучающимся практическую значимость ведущих научных идей и принципиальных научных концепций и положений.

Примерные цели практических занятий:

1) помочь обучающимся систематизировать, закрепить и углубить знания теоретического характера;

2) научить студентов приемам решения практических задач, способствовать овладению навыками;

3) формировать умение учиться самостоятельно, т.е. овладевать методами, способами и приемами самообучения, саморазвития и самоконтроля.

Содержание практических занятий и методика их проведения должны обеспечивать развитие творческой активности личности. Они развивают научное мышление и речь обучающихся, позволяют проверить их знания, выступают важным средством оперативной обратной связи. Поэтому практические занятия должны выполнять не только познавательную и воспитательную функции, но и способствовать росту их креативности.

Практические занятия проводятся в двух формах: выполняются индивидуально и в групповой форме. При разработке практических занятий должна быть учтена форма их проведения и возможности интерактивного обучения. Групповая форма предполагает обсуждение слушателями конкретной проблемы в группе по каждому этапу изучения дисциплины.

Прежде чем приступить к изучению темы, необходимо прокомментировать основные вопросы плана лекции. Такой подход преподавателя помогает студентам быстро находить нужный материал к каждому из вопросов, не задерживаясь на второстепенном.

Важно развивать у студентов умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал.

Большое значение имеет совершенствование навыков конспектирования у студентов.

Преподаватель может рекомендовать студентам следующие основные формы записи: план (простой и развернутый), выписки, тезисы.

Преподаватель может предложить студентам подумать над постановкой таких вопросов по теме лекции, которые вызовут интерес своей неоднозначностью, противоречивостью, разделят

участников семинара на оппонирующие группы. А это как раз то, что нужно для дискуссии, для активизации, для поиска студентами истины, которая, как известно, рождается в споре. Само собой разумеется, что и в арсенале преподавателя должны быть заготовлены вопросы для создания проблемных ситуаций, если они не будут созданы выступлениями студентов.

В процессе подготовки, прорабатывая предложенные вопросы, студент определяет для себя один-два из них (можно, конечно и больше), в которых он чувствует себя наиболее уверенно и в качестве консультанта или оппонента намерен задать тон на семинаре.

Практические занятия предполагают не просто обсуждение студентами учебного материала, а выполнение ими определенных практических заданий. Систему таких заданий часто называют практикумом.

Функции практических занятий:

1) закрепление теоретических знаний на практике;

2) усвоение умений исследовательской работы;

3) усвоение умений практической работы;

4) применение теоретических знаний для решения практических задач;

5) самопознание;

6) саморазвитие.

Соответствующие задачи ставятся преподавателем при планировании каждой работы. Те или иные функции могут выдвигаться на первый план в зависимости от того, в рамках каких образовательных программ проводятся занятия.

Практическое занятие (семинар) – один из наиболее сложных и в то же время плодотворных видов (форм) вузовского обучения и воспитания. В условиях высшей школы семинар – один из видов практических занятий, проводимых под руководством преподавателя.

Целью практических занятий (семинаров) является:

1) закрепление методов анализа;

2) проверка уровня понимания студентами вопросов, рассмотренных на лекциях и по учебной литературе, степени и качества усвоения материала студентами;

3) обучение навыкам решения поставленных задач и умение подобрать необходимый метод решения;

4) восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказание помощи в его усвоении.

При условии соблюдения требований методики их проведения семинары выполняют многогранную роль:

1) стимулируют регулярное изучение студентами первоисточников и другой литературы, а также внимательное отношение к лекционному курсу;

2) закрепляют знания, полученные студентами при прослушивании лекции и самостоятельной работе над литературой;

3) расширяют круг знаний благодаря выступлениям товарищей и преподавателя на занятии;

4)позволяют студентам проверить правильность ранее полученных знаний, вычленить в них наиболее важное, существенное;

5) способствуют превращению знаний в твердые личные убеждения, рассеивают сомнения, которые могли возникнуть на лекциях и при изучении литературы, что особенно хорошо достигается в результате столкновения мнений, дискуссии;

6) прививают навыки самостоятельного мышления, устного выступления по теоретическим вопросам, оттачивают мысль, приучают студентов свободно оперировать терминологией, экономическими понятиями и категориями;

7) предоставляют возможность преподавателю систематически контролировать уровень самостоятельной работы студентов над первоисточниками, другим учебным материалом, степень их внимательности на лекциях;

8) позволяют изучить мнения, интересы студентов, служат средством контроля преподавателя не только за работой студентов, но и за своей собственной как лектора и руководителя семинара, консультанта и т. д.

При разработке методики семинарских занятий важное место занимает вопрос о взаимосвязи между семинаром и лекцией, семинаром и самостоятельной работой студентов, о характере и способах такой взаимосвязи. Семинар не должен повторять лекцию, и, вместе с тем, его руководителю необходимо сохранить связь принципиальных положений лекции с содержанием семинарского занятия.

При подготовке к семинару студентами осуществляется весьма объемная работа по углубленному проникновению в суть вынесенной для обсуждения проблемы. В ходе семинара студент учится публично выступать, видеть реакцию слушателей, логично, ясно, четко, грамотным литературным языком излагать свои мысли, проводить доводы, формулировать аргументы в защиту своей позиции.

На семинаре каждый студент имеет возможность критически оценить свои знания, сравнить со знаниями и умениями их излагать других студентов, сделать выводы о необходимости более углубленной и ответственной работы над обсуждаемыми проблемами.

В ходе семинара каждый студент опирается на свои конспекты, сделанные на лекции, собственные выписки из учебников, первоисточников, статей, другой специальной литературы, на словарь по данной теме. Семинар стимулирует стремление к совершенствованию конспекта, желание сделать его более информативным, качественным.

От семинара к семинару, на всех его этапах и их коррекции студент поднимается на более высокую ступеньку собственной зрелости, своего мнения более эффективно работать над проблемами, непосредственно относящимися к его будущей профессии.

Семинар – эффективная форма закрепления полученных по обсуждаемой проблеме знаний, видения этой проблемы в целом, осознания ее соотнесенности с другими темами в рамках целостной концепции.

С точки зрения методики проведения семинар представляет собой комбинированную, интегративную форму учебного занятия. Он предполагает возможность использования рефератов, фрагментов первоисточников, устных и письменных понятийных диктантов, тестов, заданий типа «закончите предложение» и др.

Для стимулирования самостоятельного мышления на занятиях используются различные активные методы обучения: проблемные ситуации, игры, педагогические задачи, тесты, интерактивный опрос.

В практике семинарских занятий используется следующий ряд форм: развернутая беседа, семинар-диспут, комментированное чтение, упражнения на самостоятельность мышления, письменная (контрольная) работа, семинар-коллоквиум и другие.

1. Развернутая беседа – наиболее распространенная форма семинарских занятий. Она предполагает подготовку всех студентов по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы; выступления студентов (по их желанию или по вызову преподавателя) и их обсуждение; вступление и заключение преподавателя. Развернутая беседа позволяет вовлечь в обсуждение изучаемой проблематики наибольшее число студентов, разумеется, при использовании всех средств их активизации: постановки хорошо продуманных, четко сформулированных дополнительных вопросов к выступающему и всей группе, умелой концентрации внимания студентов на сильных и слабых сторонах выступлений студентов, своевременном акцентировании внимания и интереса студентов на новых моментах, вскрывающихся в процессе работы и т. д.

Развернутая беседа не исключает, а предполагает и заранее запланированные выступления отдельных студентов по некоторым дополнительным вопросам. Но подобные сообщения выступают здесь в качестве не основы для обсуждения, а лишь дополнения к уже состоявшимся выступлениям.

2. Семинар-диспут имеет ряд достоинств. Кроме других задач, обычно реализуемых на семинаре, эта форма наиболее удобна для выработки у студентов навыков полемиста. Диспут может быть и самостоятельной формой семинара, и элементом других форм практических занятий. В первом случае наиболее интересно проходят такие занятия при объединении двух или нескольких семинарских групп, когда с докладами выступают студенты одной группы, а оппонентами – другой, о чем договариваются заранее. Вопросы, выносимые на подобные семинары, должны всегда иметь теоретическую и практическую значимость.

Диспут как элемент обычного семинара может быть вызван преподавателем в ходе занятия или же заранее планируется им. Полемика возникает подчас и стихийно. В ходе полемики студенты формируют у себя находчивость, быстроту мыслительной реакции и, главное, отстаиваемое в споре мировоззрение складывается у них как глубоко личное.

3. Комментированное чтение первоисточников на семинаре преследует цель содействовать более осмысленной и тщательной работе студентов над рекомендуемой специальной литературой. Чаще всего оно составляет лишь элемент обычного семинара в виде развернутой беседы и длится всего 15-20 минут. Комментированное чтение позволяет приучать студентов лучше разбираться в специальных источниках. Комментирование может быть выделено в качестве самостоятельного пункта плана семинара.

4. Упражнения на самостоятельность мышления обычно входят в качестве одного из элементов семинарского занятия. Преподаватель подбирает задания, практические задачи, мини-кейсы, выполнение и решение которых требует от студентов самостоятельной мыслительной активности, проявление способности применять полученные знания в конкретной практико-ориентированной ситуации. Решение задач на самостоятельность мышления содействует формированию у студентов способности более глубоко вникать в профессиональные проблемы.

5. Контрольные (письменные) работы / тесты также практикуются на семинарах. На них может быть отведено от 15 минут до целой пары. Тема работы может быть сообщена студентам

заранее, а иногда и без предупреждения по одному из пунктов плана текущего семинара. Такая работа носит характер фронтальной проверки знаний всех студентов по определенному разделу курса. Содержание работ анализируется преподавателем на очередном занятии, что вызывает всегда обостренный интерес студентов и активизирует их последующую подготовку к семинарским занятиям. Если на контрольную работу отводится 15-45 минут, то после ее написания работа семинара продолжается обычным порядком. В течение семинарского курса целесообразно провести несколько контрольных работ различных типов.

6. Коллоквиумы-собеседования преподавателя со студентами проводятся в конце изучаемого курса с целью выяснения знаний по обобщенным темам дисциплины, их углубленного изучения.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению как со стороны преподавателей, так и обучающихся. Преподаватель в начале семестра (учебного года) должен обеспечить обучающихся методическими материалами для своевременной подготовки их к активным формам занятий, в том числе и к семинарам. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обратить внимание обучающихся на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т. д.).

Планы семинарских занятий, их тематика, рекомендуемая литература, цель и задачи ее изучения сообщаются преподавателем на вводных занятиях или в методических указаниях по данной дисциплине.

Начиная подготовку к семинарскому занятию, необходимо, прежде всего, указать студентам страницы в конспекте лекций, разделы учебников и учебных пособий, чтобы они получили общее представление о месте и значении темы в изучаемом курсе. Затем следует рекомендовать им поработать с дополнительной литературой, сделать записи по рекомендованным источникам.

Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемой книги, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора.

Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.

Нередко среди начинающих преподавателей можно встретить людей, полагающих, будто записи – дело простое, требующее, в основном, усилий рук, а не головы. Это сугубо ошибочное представление. Полноценные записи отражают не только содержание прочитанного, но и результат мыслительной деятельности студента.

Важно развивать у студентов умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал. Поэтому написание конспектов по рассматриваемым вопросам является обязательным элементом подготовки студентов к аудиторным занятиям.

Желательно, чтобы на занятии студент излагал материал свободно. Прикованность к конспекту объясняется обычно следующими причинами:

а) плохо продумана структура изложения, вопрос не осмыслен во всей его полноте, студент боится потерять нить мыслей, нарушить логическую последовательность высказываемых положений, скомкать выступление;

б) недостаточно развита культура устной речи, опасение говорить «коряво» и неубедительно;

в) материал списан из учебных пособий механически, без достаточного осмысливания его;

г) как исключение, материал списан у товарища или же используется чужой конспект.

Любая из перечисленных причин, за исключением второй, говорит о поверхностной или же просто недобросовестной подготовке студента к занятию.

Важно научить студентов во время выступления поддерживать постоянную – связь с аудиторией, быстро, не теряясь, реагировать на реплики, вопросы, замечания, что дается обычно не сразу, требует постоянной работы над собой. Выступающий обращается к аудитории, а не к преподавателю, как школьник на уроке. Контакт со слушателями – товарищами по группе – помогает студенту лучше выразить свою мысль, реакция аудитории позволит ему почувствовать сильные и слабые стороны своего выступления. Без «обратной связи» со слушателями выступление студента – это разговор с самим собой, обращение в пустоту; ему одиноко и неуютно за кафедрой, Поэтому на семинаре неплохо ввести в традицию анализ не только содержания выступлений, но и их формы – речи, дикции, поведения за кафедрой, характера общения с аудиторией

На практическом занятии обсуждаются теоретические положения изучаемого материала, уточняются позиции авторов научных концепций, ведется работа по осознанию студентами категориального аппарата изучаемой дисциплины, определяется и формулируется отношение учащихся к теоретическим проблемам науки, оформляется собственная позиция будущего специалиста. Форма работы – диалог: и студенты, и преподаватель вправе: задавать друг другу вопросы, которые возникли и могут возникнуть у них в процессе изучения и обсуждения материала, делиться своими сомнениями, наблюдениями, приводить доводы «за» и «против» той или иной позиции, обосновывать возможность применения на практике тех или иных теоретических положений.

Для подготовки к практическому занятию студентам рекомендуется:

- изучить вопросы, которые будут обсуждаться на занятии;

- изучить список основной и дополнительной литературы, где студенты могут найти ответы на вопросы, обратить внимание на категории, которыми оперирует автор, выписать основные понятия и систематизировать их;

- разработать блок-схему, в которой найдут отражение все изучаемые вопросы темы;

- составить развернутый план изучаемого материала, который может быть использован для ответа на занятии.

В начале занятия студенты под руководством преподавателя более глубоко осмысливают теоретические положения по теме занятия, раскрывают и объясняют основные положения публичного выступления. В процессе творческого обсуждения и дискуссии вырабатываются умения и навыки использовать приобретенные знания для различного рода ораторской деятельности.

Ввиду трудоемкости подготовки к практическому занятию преподаватель может предложить студентам алгоритм действий, рекомендовать еще раз внимательно прочитать

записи лекций и уже готовый конспект по теме семинара, тщательно продумать свое устное выступление.

На практическом занятии каждый его участник должен быть готовым к выступлению по всем поставленным в плане вопросам, проявлять максимальную активность при их рассмотрении. Выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументировано. Преподаватель следит, чтобы выступление не сводилось к репродуктивному уровню (простому воспроизведению текста), не допускается и простое чтение конспекта. Необходимо, чтобы выступающий проявлял собственное отношение к тому, о чем он говорит, высказывал свое личное мнение, понимание, обосновывал его и мог сделать правильные выводы из сказанного. При этом студент может обращаться к записям конспекта и лекций, непосредственно к первоисточникам, использовать знание художественной литературы и искусства, факты и наблюдения современной жизни и т. д. Вокруг такого выступления могут разгореться споры, дискуссии, к участию в которых должен стремиться каждый.

В заключение преподаватель подводит итоги практического занятия. Он может (выборочно) проверить конспекты студентов и, если потребуется, внести в них исправления и дополнения.

Примеры задач с решениями для практических занятий по курсу «Электроника»

1. Выпрямительные диоды

Задача 1.1. В однополупериодном выпрямителе (рис. 1.1) на нагрузочном резисторе сопротивлением $R_н$ = 2кОм среднее значение выпрямленного напряжения $U_н$ =150В. Напряжение сети U_1 =220В. Определить максимальное значение прямого тока $I_{пр.м}$, коэффициент трансформации трансформатора n и необходимые параметры выпрямительного полупроводникового диода, выбрать соответствующий тип диода из таблицы 1. Сопротивление открытого диода и ток закрытого диода считать равными нулю.

Решение. В однополупериодном выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения $U_н = U_{2\,м} / \pi$, где $U_{2\,м}$ –амплитудное значение выходного напряжения трансформатора. Откуда $U_{2\,м} = \pi \cdot U_н$ =3,14·150 = 471В. Действующее значение напряжения $U_2 = U_{2\,м} / \sqrt{2}$ = 334В.

Средние значения прямого тока диода и тока нагрузки одинаковы $I_{пр.\,ср.} = I_н = U_н / R_н$ =75мА.

$I_{пр.\,ср.} = I_н = I_{пр.\,м} / \pi$, где $I_{2\,м}$ –максимальное значение (амплитуда) прямого тока.

Откуда $I_{пр.\,м} = \pi \cdot I_н$ =3,14·75 = 236мА.

Коэффициент трансформации трансформатора $n = U_1 / U_2$ = 220 / 334 = 0,66.

При выборе выпрямительных диодов в качестве основных необходимых параметров выступают значения среднего прямого тока $I_{пр.\,ср.}$ и обратного максимального напряжения на диоде $U_{обр\,м} = U_{2\,м}$. В нашем примере $I_{пр.\,ср.}$ = 75мА, $U_{обр\,м}$ = 471В. Из таблицы выбираем диод марки Д237

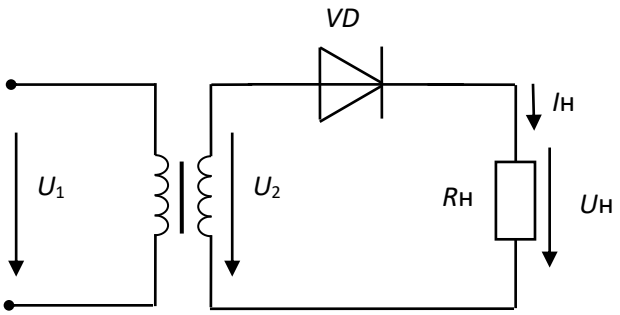


Рис.1.1

.

Задача 1.2. В мостовом выпрямителе (рис. 1.2) на нагрузочном резисторе сопротивлением $R_н$ = 1кОм среднее значение выпрямленного напряжения $U_н$ =100В. Напряжение сети U_1 =220В. Определить коэффициент трансформации трансформатора n и необходимые параметры выпрямительных полупроводниковых диодов, выбрать соответствующий тип диода из таблицы 1. Сопротивление открытого диода и ток закрытого диода считать равными нулю.

Решение. В мостовом выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения $U_н = 2 \cdot U_{2\,м} / \pi$, где $U_{2\,м}$ – амплитудное значение выходного напряжения трансформатора. Откуда $U_{2\,м} = \pi \cdot U_н / 2 = 3{,}14 \cdot 100 / 2 = 157$В. Действующее значение напряжения $U_2 = U_{2\,м} / \sqrt{2} = 111$В.

Среднее значение тока нагрузки $I_н = U_н / R_н$ =100 мА.

Среднее значение прямого тока диода $I_{д\,пр\,ср} = I_н / 2$ =50 мА.

Коэффициент трансформации трансформатора $n = U_1 / U_2 = 220 / 111 = 1{,}98$.

При выборе выпрямительных диодов в качестве основных необходимых параметров выступают значения среднего прямого тока диода $I_{д\,пр.\,ср.}$ и обратного максимального напряжения на диоде $U_{обр\,м} = U_{2\,м}$. В нашем примере $I_{д\,пр.\,ср.}$ = 50мА, $U_{обр\,м}$ = 157В. Из таблицы выбираем диод марки Д207

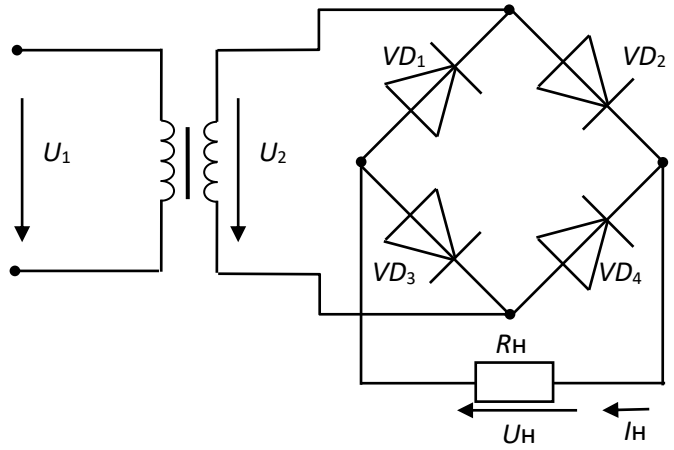


Рис. 1.2

Таблица 1

Марка	Д202	Д207	Д217	Д226	Д237	Д242	Д248	Д302	КД102	КД202	КД210

диода											
$I_{пр.ср.}$, мА	400	100	100	300	100	5000	5000	1000	100	1000	5000
$U_{обр. макс.}$, В	100	200	800	300	600	100	600	200	250	100	800

2. Стабилитроны

Задача 2.1. Кремневый стабилитрон КС156 подключен по схеме рис.2.1, где $R_н$ = 2 кОм. Параметры стабилитрона: напряжение стабилизации $U_{ст}$ = 5,6 В, минимальный ток стабилизации $I_{ст. мин}$ =3 мА, максимальный ток стабилизации $I_{ст. макс}$ =55 мА. Определить сопротивление резистора $R_Б$, если $U_{вх}$ изменяется от $U_{вх. мин}$ =10В до $U_{вх. макс}$ =20В.

Решение. Балластное сопротивление $R_Б$ определим для средних значений входного напряжения $U_{вх. ср.}$ и тока стабилизации $I_{ст. ср.}$

$$R_Б = (U_{вх. ср.} - U_{ст}) / (I_{ст. ср.} + I_н),$$

где

$$U_{вх. ср} = (U_{вх. мин.} + U_{вх. макс}) / 2 =(10+20)/2=15В,$$

$$I_{ст. ср} = (I_{ст. мин.} + I_{ст.. макс}) / 2 =(3+55)/2=29мА,$$

$$I_н = U_{ст} / R_н. =5,5/2000= 2,75мА.$$

В результата получаем, что $R_Б$ = (15 – 5,6) / ((29 + 2,75)$*10^{-3}$) = 296 Ом.

Выбираем $R_Б$ = 300Ом.

Задача 2.2. Для схемы и условий задачи 2.1 определить, будет ли при выбранном значении $R_Б$ обеспечена стабилизация во всем диапазоне изменения $U_{вх}$.

Решение. Найдем минимальное и максимальное входные напряжения, при которых в стабилитроне текут соответственно минимальный и максимальный токи стабилизации

$$U_{вх. мин} = U_{ст} + R_Б (I_н + I_{ст.. мин}) =5,6 + 300 (2,75 + 3) *10^{-3} ≈ 23В,$$

$$U_{вх. макс} = U_{ст} + R_Б (I_н + I_{ст.. макс}) =5,6 + 300 (2,75 + 55) *10^{-3} ≈ 7,3В.$$

Из результатов следует, что в данной схеме стабилизация обеспечивается при изменении $U_{вх}$ от 7,3 до 23 В.

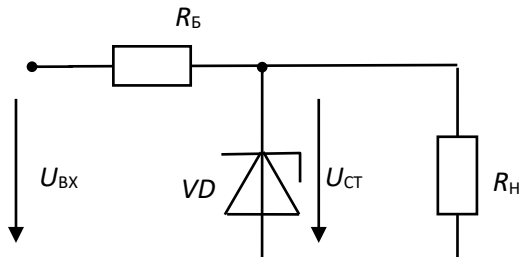


Рис. 2.1

3.Биполярные транзисторы

Задача 3.1. Найти *h*-параметры транзистора КТ312Б по его характеристикам (рис. 3.1,а,б), соответствующим схеме с общим эмиттером, для $U_{КЭ}$ =5В, $I_Б$ = 0,4 мА. Нарисовать схему замещения транзистора.

Решение. Система уравнений, показывающая связь напряжений и токов транзистора с *h*-параметрами для схемы с общим эмиттером, имеет вид:

$$U_{БЭ} = h_{11Э} I_Б + h_{12Э} U_{КЭ}$$

$$I_К = h_{21Э} I_Б + h_{22Э} U_{КЭ}.$$

По входным характеристикам (Рис.3.2.а) для $U_{КЭ}$ =5В, $I_Б$ = 0,4 мА (точек А, Е и D) находим входное сопротивление транзистора

$$h_{11Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_Б = (U_{БЭ\,Е} - U_{БЭ\,А}) / (I_{Б\,Е} - I_{Б\,А}) = 0{,}06/(0{,}2 \cdot 10^{-3}) = 150 \text{ Ом}$$

и коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta U_{КЭ} = (U_{БЭ\,А} - U_{БЭ\,D}) / (U_{КЭ\,А} - U_{КЭ\,D}) = 0{,}18/5 = 0{,}036.$$

По выходным характеристикам(Рис.3.2.б) (точки А, В и С) находим коэффициент передачи тока

$$h_{21Э} = \Delta I_К / \Delta I_Б = (I_{К\,В} - I_{К\,А}) / (I_{Б\,В} - I_{Б\,А}) = 4 / 0{,}1 = 40$$

и выходную проводимость транзистора

$$h_{22Э} = \Delta I_К / \Delta U_{КЭ} = (I_{КС} - I_{К\,А}) / (U_{КЭ\,С} - U_{КЭ\,А}) = 2 \cdot 10^{-3} / 5 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ См}.$$

Схема замещения транзистора приведена на рис.3.1.

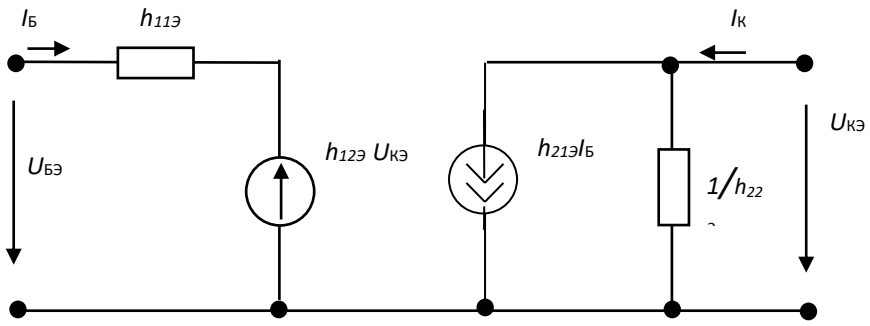
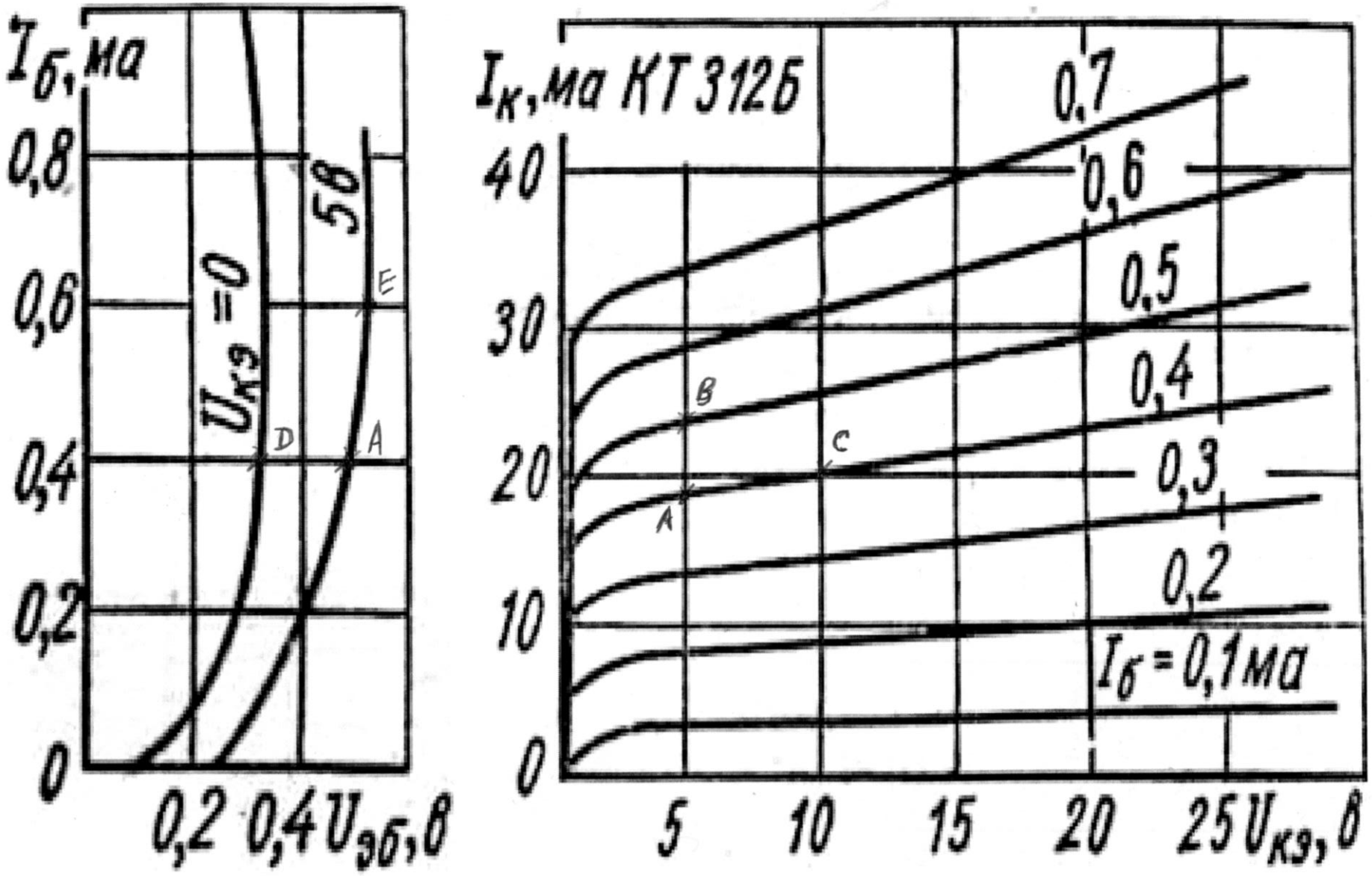


Рис 3.1



а) б)

Рис 3.2. Входные а) и выходные б) характеристики транзисторов КТ312Б в схеме с общим эмиттером

Задача 3.2. Найти *h*-параметры транзистора типа ГТ322А, включенного по схеме с общей базой, если известны значения этих параметров транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером: $h_{11Э}$ = 330 Ом, $h_{12Э}$ = 1,6· 10^{-4} , $h_{21Э}$ = 56, $h_{22Э}$ = 62,5· 10^{-6} См.

Решение. Входное сопротивление транзистора при включении его по схеме с общей базой

$$h_{11Б} = h_{11Э} / (1 + h_{21Э}) = 330 /(1+56) = 5{,}79 \text{ Ом}.$$

Коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12Б} = h_{11Э}\, h_{22Э} / (1 + h_{21Э}) - h_{12Э} = 330 \cdot 62{,}5 \cdot 10^{-6} /(1+ 56) - 1{,}6 \cdot 10^{-4} = 0{,}202 \cdot 10^{-3} .$$

Коэффициент передачи тока

$$h_{21Б} = h_{21Э} / (1 + h_{21Э}) = 56 /(1+56) = 0{,}9825.$$

Выходная проводимость транзистора

$$h_{22Б} = h_{22Э} / (1 + h_{21Э}) = 62{,}5 \cdot 10^{-6} /(1+ 56) = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Задача 3.3. Для транзистора, включенного по схеме с общей базой найти параметры α, $r_Э$, $r_Б$, $r_К$ Т-образной физической схемы замещения, если известны значения *h*-параметров транзистора для соответствующей схемы включения: $h_{11Б}$ = 25 Ом, $h_{12Б}$ = 2· 10^{-4} , $h_{21Б}$ = 0,98, $h_{22Б}$ = 1· 10^{-6} См.

Решение. Определим необходимые параметры Т-образной физической схемы замещения: α ≈ $h_{21Б}$ = 0,98;

$r_Б \approx h_{12Б} / h_{22Б} = 2 \cdot 10^{-4} / 10^{-6}$ = 200 Ом;

$r_Э \approx h_{11Б} - h_{12Б}(1 - h_{21Б}) / h_{22Б} = 25 - 2 \cdot 10^{-4}(1 - 0{,}98) / 10^{-6}$ = 21 Ом;

$r_К \approx 1 / h_{22Б} = 10^6$ Ом.

Задача 3.4 На низких частотах коэффициент передачи тока эмиттера транзистора $h_{21Б0}$ = 0,98, его предельная частота $f_{h21Б}$ =5 МГц. Определить модуль коэффициента передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ этого транзистора на частоте 10 МГц и частоту, на которой модуль коэффициента передачи тока эмиттера уменьшится до значения 0,6.

Решение. Известно, что коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ изменяется с частотой согласно выражению $h_{21Б} = h_{21Б0}\left[\frac{1}{1+j(f/f_{h21Б})}\right]$, где $h_{21Б0}$ - коэффициент передачи тока на низкой частоте, $f_{h21Б}$ = - предельная частота, т.е. частота , на которой $|h_{21Б}| = |h_{21Б0}| / \sqrt{2}$. Следовательно, при $|h_{21Б0}|$ = 0,98, $f_{h21Б}$ =5 МГц и f = 10 МГц

$$|h_{21Б}| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{10}{5}\right)^2}} = 0{,}44.$$

При $h_{21Б0}$ = 0,98, $|h_{21Б}|$ = 0,6 и $f_{h21Б}$ = 5 МГц имеем

$$f = f_{h21Б}\sqrt{(h_{21Б0}/h_{21Б})^2 - 1} = 5\sqrt{(0{,}96/0{,}6)^2 - 1} = 6{,}24 \text{ МГц}.$$

4. Полевые транзисторы

Задача 4.1. Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом имеет начальный ток канала $I_{С\ НАЧ}$ = 1 мА и напряжение отсечки $U_{ОТС}$ = 4 В. Какой ток будет протекать в канале при напряжении затвор-исток, равном 2 В? Чему равны крутизна и максимальная крутизна в этом случае?

Решение. Ток стока найдем из выражения

$$I_С = I_{С\ НАЧ} (1. – |U_{ЗИ}| / | U_{ОТС}|)^2 = 1·10^{-3} \ (1-2/4)^2 = 0,25мА.$$

Крутизна характеристики полевого транзистора

$$S = Δ\ I_С / Δ\ U_{ЗИ} = 2 ·I_{С\ НАЧ} / U_{ОТС} · (1. – |U_{ЗИ}| / |U_{ОТС}|) = 2·10^{-3} / 4· \ (1-2/4)= 0,25мА/В.$$

Максимальная крутизна $S_{MAX} = 2 ·I_{С\ НАЧ} / U_{ОТС} = 2·10^{-3} / 4 = 0,5мА/В.$

Задача 4.2. Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом, имеющий начальный ток канала $I_{С\ НАЧ}$ = 2 мА и максимальную крутизну S_{MAX} = 2мА / В, включен в усилительный каскад по схеме с общим истоком. Сопротивление резистора нагрузки $R_Н$ = 10 кОм. Определить коэффициент усиления напряжения, если: а) $U_{ЗИ}$ =1В; б) $U_{ЗИ}$ =0,5В; В) $U_{ЗИ}$ =0 В.

Решение. Найдем напряжение отсечки

$$U_{ОТС} = 2 ·I_{С\ НАЧ} / S_{MAX} = 2·2·10^{-3} / (2·10^{-3}) = 2 В.$$

а) Определим крутизну характеристики транзистора при $U_{ЗИ}$ =1В

$$S = S_{MAX} (1. – |U_{ЗИ}| / |U_{ОТС}|) = 2·10^{-3} (1-1/2) = 1 мА/В.$$

Коэффициент усиления напряжения при $U_{ЗИ}$ =1В

$$|K_U| = S R_Н = 1·10^{-3} ·10·10^3 =10.$$

б) При напряжении $U_{ЗИ}$ =0,5 В

$$S = S_{MAX} (1. – |U_{ЗИ}| / |U_{ОТС}|) = 2·10^{-3} (1-0,5 /2) = 1,5 мА/В.$$

$$|K_U| = S R_Н = 1,5·10^{-3} ·10·10^3 =15.$$

в) При напряжении $U_{ЗИ}$ =0 В

$$S = S_{MAX} (1. – |U_{ЗИ}| / U_{ОТС}) = 2·10^{-3} (1-0/2) = 2 мА/В.$$

$$|K_U| = S R_Н = 2·10^{-3} ·10·10^3 =20.$$

5. Усилители

Задача 5.1. В усилительном каскаде с общим эмиттером (Рис. 5.1) используется биполярный транзистор, имеющий следующие значения параметров $h_{11Э}$ = 800 Ом, $h_{12Э}$ = 0, $h_{21Э}$ = 50, $h_{22Э}$ = 10^{-4} См. Определить выходное напряжение и выходное сопротивление этого каскада, если ЭДС источника входного сигнала $E_{ВХ}$ =10 мВ, его внутреннее сопротивление $R_{ВИ}$ = 200 Ом, сопротивление $R_К$ = 3кОм, $R_Б >> h_{11}$.

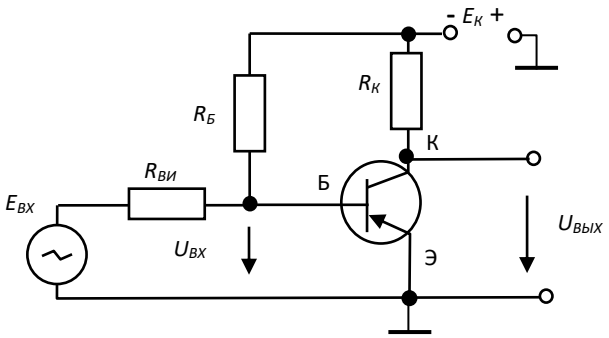


Рис.5.1

Решение. Входное напряжение $U_{ВХ} = E_{ВХ} \cdot h_{11} / (R_{ВИ} + h_{11}) = 10 \cdot 800 / (200 + 800) = 8$мВ.

Выходное сопротивление $R_{ВЫХ} = \dfrac{R_К / h_{22}}{R_К + 1/h_{22}} = \dfrac{R_К}{1 + R_К h_{22}} = \dfrac{3 \cdot 10^3}{1 + 3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4}} = 2{,}3$ кОм.

Выходное напряжение $U_{ВЫХ} = K_U \cdot U_{ВХ} = \dfrac{h_{21} R_К U_{ВХ}}{h_{11}(1 + R_К h_{22})} = \dfrac{50 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{800(1 + 3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4})} = 1{,}15$ В

Задача 5.2. Для инвертирующего сумматора на операционном усилителе (рис 5.2.) рассчитать значения сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4, $R_{ОС}$ так, чтобы обеспечить следующую зависимость выходного напряжения

$$U_{Вых} = -(U_{ВХ1} + 2 \cdot U_{ВХ2} + 5 \cdot U_{ВХ3}).$$

Решение. Выходное напряжение инвертирующего сумматора

$$U_{Вых} = - R_{ОС} (U_{ВХ1} / R_1 + U_{ВХ2} / R_2 + U_{ВХ3} / R_3).$$

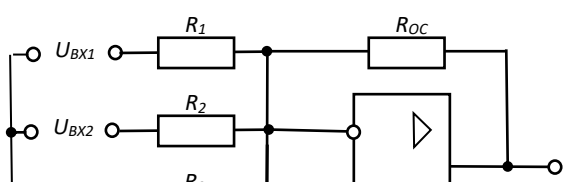
Выберем величину сопротивления $R_{ОС}$ = 100кОм.

Тогда $R_1 = R_{ОС}$ = 100кОм, $R_2 = R_{ОС} / 2$ = 50кОм, $R_3 = R_{ОС} / 5$ = 20кОм.

Сопротивление резистора R_4, необходимого для исключения влияния входных токов усилителя на величину выходного напряжения, выбирают из условия

$R_4 = R_1 \,||\, R_2 \,||\, R_3 \,||\, R_{ОС.}$

$1 / R_4 = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 + 1 / R_{ОС}$, откуда $R_4 = 11$кОм.



Примеры задач для контрольных работ по курсу «Электроника»

Задача 1

Выпрямитель подключен к сети с напряжением U_1 =220В. По заданным значениям сопротивления нагрузки $R_н$, и среднего тока нагрузки $I_н$ определить коэффициент трансформации трансформатора и необходимые параметры выпрямительных полупроводниковых диодов, выбрать соответствующий тип диода из таблицы 1.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема выпрямителя	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2
$R_н$, кОм	1	1	2	2	3	3	2	2	1	1
$I_н$, мА	80	80	100	100	120	120	140	140	160	160

Задача 2 .

Параметрический стабилизатор построен на полупроводниковом стабилитроне. По заданным значениям сопротивления нагрузки $R_н$, диапазона изменения входного напряжения $U_{вх.\ мин}$, $U_{вх.\ макс}$, рассчитать сопротивление балластного резистора $R_Б$ и определить, будет ли при выбранном значении $R_Б$ обеспечена стабилизация во всем диапазоне изменения $U_{вх}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка стабилитрона	КС139	КС147	КС156	КС168	КС191	КС139	КС147	КС156	КС168	КС191
$R_н$, кОм	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$U_{вх.\ мин}$, В	6	8	10	12	14	5	7	9	11	13
$U_{вх.\ макс}$, В	14	16	18	20	22	13	15	17	19	21

Задача 3 . Найти *h*-параметры транзисторов по их характеристикам, соответствующим схеме с общим эмиттером (рис. П1-П10), для заданных значений напряжения $U_{КЭ}$ и тока базы $I_Б$. Нарисовать схему замещения транзистора. По значениям *h*-параметров транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером найти *h*-параметры транзистора, включенного по схеме с общей базой. Для транзистора, включенного по схеме с общей базой найти параметры α, $r_э$, $r_Б$, $r_К$ Т-образной физической схемы замещения, если известны значения *h*-параметров транзистора для соответствующей схемы включения

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка транзистора	ГТ308А	КТ312А	КТ313А	КТ315А	КТ343В	КТ349А	КТ601А	КТ602А	КТ802А	КТ902А
$U_{КЭ}$, В	8	5	6	5	4	4	20	20	20	20
$I_Б$, мА	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,6	0,4	0,7	0,2	0,1

Задача 4. Заданы граничная частота биполярного транзистора $f_{h21Б}$ и коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21Б0}$. Найти значение коэффициента передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ этого транзистора на частоте *f.*

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{h21Б}$, МГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$h_{21Б0}$	0,97	0,975	0,98	0,985	0,9	0,95	0,955	0,96	0,965	0,97
f, кГц	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Задача 5

Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом характеризуется начальным током канала $I_{С\ НАЧ}$ = и напряжением отсечки $U_{ОТС}$. Определить ток стока и крутизну характеристики транзистора при нескольких напряжениях $U_{ЗИ}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{С\,НАЧ}$, мА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ОТС}$, В	3	2	3	2	3	-3	-2	-3	-2	-3
$U_{ЗИ1}$, В	3	2	3	2	3	-3	-2	-3	-2	-3
$U_{ЗИ2}$, В	2	1	2	1	2	-2	-1	-2	-1	-2
$U_{ЗИ3}$, В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Задача 6

В усилительном каскаде с общим эмиттером (Рис. 5.1) используется биполярный транзистор, имеющий следующие значения параметров $h_{11Э}$ = 500 Ом, $h_{12Э}$ = 0, $h_{21Э}$ = 60, $h_{22Э}$ = $3\cdot10^{-4}$ См. Определить выходное напряжение и выходное сопротивление этого каскада, если ЭДС источника входного сигнала $E_{ВХ}$, его внутреннее сопротивление $R_{ВИ}$, сопротивление $R_К$ = 2кОм, $R_Б >> h_{11}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_{ВХ}$, мВ	8	9	10	12	13	14	16	17	18	20
$R_{ВИ}$, Ом	80	90	100	120	130	140	150	160	170	180

Задача 7

Рассчитать схему двухвходового инвертирующего сумматора на операционном усилителе, обеспечивающего заданную зависимость выходного напряжения от значения входных сигналов. В схеме необходимо исключить влияние входных токов усилителя на величину выходного напряжения. Зависимость $U_{ВЫХ} = -(\alpha\cdot U_{ВХ1} + \beta\cdot U_{ВХ2})$, где коэффициент α равен предпоследней цифре в номере студбилета (зачетной книжки) студента, а коэффициент β равен последней цифре.

Литература

1. Головатенко-Абрамова М.П., ЛапидесА.М. Задачи по электронике. М.:Энергоатомиздат.1992.

2. Изюрова Г.И., КоролеваГ.В.и др. Расчет электронных схем. Примеры и задачи.М.: Высшая школа , 1987.

3. Герасимов В.Г. и др. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа , 1987.

4. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа , 2001.

3. Лабораторные занятия.

Одной из наиболее важных задач при изучении дисциплины «Электроника» является умение пользоваться электротехническим оборудованием, в том числе и измерительным. Обрабатывать результаты экспериментов. Проводить расчет электронных цепей различной сложности.

Для решения этих задач студенты работают с лабораторными стендами «Электротехника и основы электроники», установленные в лаборатории, решают задачи, , а также в достаточном объеме занимаются самостоятельно.

ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить цель лабораторной работы.
2) Изучить задание к лабораторной работе.
3) Изучить теоретические сведения, относящиеся к данной лабораторной работе.
4) Собрать электрическую цепь, снять показания измерительных приборов, провести обработку полученных данных.
5) Написать отчёт о проделанной работе.
6) Проверить свои знания по контрольным вопросам к лабораторной работе.

СТРУКТУРА ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчёте о выполненной лабораторной работе необходимо отразить следующие пункты:

- титульный лист ;
- цель лабораторной работы;
- задание на лабораторную работу;
- ход выполнения лабораторной работы;
- выводы.

Лабораторная работа 1

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Цель работы

Изучение свойств полупроводниковых диодов - выпрямительного диода и диода Шоттки.

Теоретические сведения

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор, имеющий один *p-n* - переход и снабженный двумя выводами (А-анод, К-катод), предназначенный для преобразования и коммутации электрических сигналов [1-3]. В зависимости от назначения и свойств различают выпрямительные диоды, диоды Шоттки, стабилитроны, высокочастотные диоды, импульсные диоды, варикапы, светодиоды, фотодиоды, диодные оптроны и т. п. Свойства полупроводникового диода определяются свойствами *p-n*—перехода.

В выпрямительных диодах используется свойство односторонней проводимости *p-n*—перехода: пропускать электрический ток при прямом напряжении (рис. 1.1) и практически не пропускать - при изменении полярности приложенного напряжения.

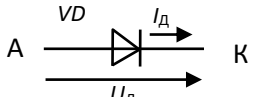


Рис. 1.1. Условное графическое обозначение и направ прямого гока и напряжения диода

Выпрямительный диод является существенно нелинейным элементом. ВАХ идеального диода (идеального p-n-перехода) описывается следующим уравнением [2]:

$$I_Д = I_0\left(\exp\left(\frac{U_Д}{m\varphi_T}\right)-1\right) \qquad (1)$$

где $I_Д$- ток через ПД; $U_Д$ - напряжение, приложенное к ПД; I_0 - обратный ток ПД (берется из справочника); $ф_т = kT/q$— температурный потенциал ($ф_т$ = 25мВ при комнатной температуре); m— коэффициент, учитывающий отклонение ВАХ от идеального закона (m =1÷4). Для идеального диода m = 1.

Как любой нелинейный элемент, ПД имеет различное сопротивление постоянному и переменному току.

На основе (1) могут быть найдены

$R_{СТ}$ - статическое сопротивление (сопротивление постоянному току)

$$R_{ст} = \frac{U_Д}{I_Д} = \frac{\varphi_т}{I_Д}\cdot \mathrm{Ln}\frac{I_Д + I_0}{I_0} + r_Б(I_Д); \qquad (2)$$

где $r_б$ - сопротивление базы диода (1÷30 Ом),

$r_{ДФ}$- дифференциальное сопротивление (сопротивление переменному току малой амплитуды)

$$r_{ДФ} = \frac{\partial U_Д}{\partial I_Д} = \frac{m\varphi_T}{I_Д + I_0} + r_Б(I_Д). \qquad (3)$$

Для прямых ветвей рассчитывают зависимости $r_б = f(I_Д)$, $R_{ст} = f(I_Д)$, $r_{ДФ} = f(I_Д)$, для обратных ветвей - $R_{ст} = f(U_Д)$, $r_{ДФ} = f(U_Д)$. При этом

$$r_{Б}(I_{д}) = \frac{U'' - U'}{I'}; \quad (4)$$

$$R_{ст} = \frac{U'}{I'}; \quad (5)$$

$$r_{дф} = \frac{u'}{i'}; \quad (6)$$

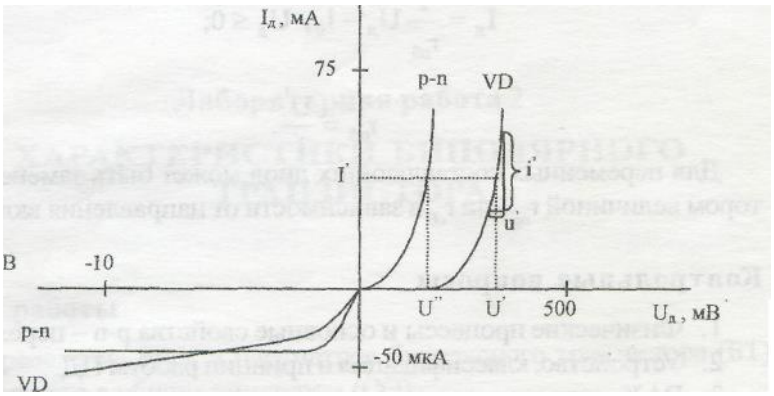


Рис. 1.5. Пояснения к выражениям (4-6)

С целью облегчения расчетов схем с диодами часто пользуются линейной аппроксимацией их ВАХ [2], как показано на рис. 1.6. При такой аппроксимации ВАХ заменяется линейными функциями. Для прямой ветви

$$I_{Д} = \frac{1}{r_{ПР}}\left(U_{Д} - U_{0}\right), U_{Д} \rangle U_{0}; r_{ПР} = \frac{u''}{i''} \quad (7)$$

Для обратной ветви

$$I_{Д} = \frac{1}{r_{обр}} U_{Д} - I_{0}; U_{Д} \le 0; r_{обр} = \frac{u'}{i'} \ . \quad (8)$$

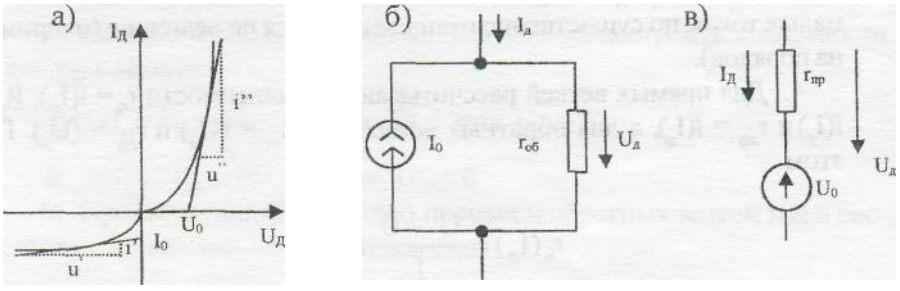


Рис. 1.6. а)-линейная аппроксимация ВАХ;б) - схема замещения по постоянному току обратно смещенного диода; в)-схема замещения диода в прямом включении

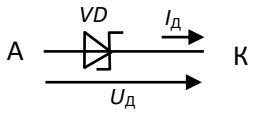


Рис. 1.7. Условное графическое обозначение диода Шоттки

Диоды Шоттки (Рис.1.7) — это полупроводниковые приборы, в которых используются свойства потенциального барьера (*барьера Шоттки*) на контакте металл — полупроводник. В рассматриваемых диодах из_за разной высоты потенциальных барьеров для электронов и дырок нет инжекции неосновных носителей заряда, нет и таких медленных процессов, как накопление и рассасывание неосновных носителей в базе. В результате инерционность диодов с выпрямлением на контакте металл-полупроводник определяется величиной барьерной ёмкости выпрямляющего контакта (*Сбар* =1 пФ). Кроме того, у этих диодов незначительные активные потери (прямое напряжение $U_{ПР}$= 0,4 В, что на 0,3 В меньше, чем у кремниевых диодов). В связи с тем, что барьерная ёмкость и последовательное активное сопротивление в таких диодах небольшие, соответственно мало и время перезарядки ёмкости; это даёт возможность использовать диоды Шоттки в качестве сверхскоростных импульсных диодов (f = 3÷15 ГГц), например, в некоторых схемах в качестве быстродействующих логарифмических элементов и в мощных высокочастотных выпрямителях, в которых диоды способны работать на частотах до 1 МГц при $U_{ОБР}$ = 50В и $I_{ПР}$ = 10А.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы/ Активная нагрузка», «Нелинейные элементы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить таблицы для записи измерений.
5. Ознакомиться с характеристиками выпрямительного диода 1N4007 и диода Шоттки 1N5822.

Рабочее задание

1. Собрать схему для исследования выпрямительного диода VD1 блока «Нелинейные элементы» на постоянном токе (рис. 1.3). В качестве R1 использовать сопротивление 100 Ом блока «Резисторы/ Активная нагрузка». Для измерения тока использовать один из мультиметров блока «Мультиметры», для измерения напряжения использовать один из приборов блока «Измерительные приборы», задав для них соответствующие режимы работы. В качестве источника питания использовать стабилизированный регулируемый источник Е1 блока «Источник питания». Ручку регулировки напряжения источника установить в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки до упора. Собирая схему особое внимание обратить на полярность подключения источника питания. Представить схему для проверки преподавателю.

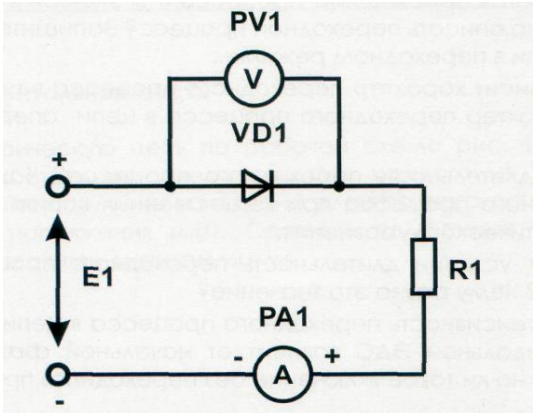


Рис. 1.3 Исследование полупроводниковых диодов

2. Включить электропитание модулей стенда. Снять прямую ветвь ВАХ выпрямительного диода *VD*1Для этого, регулируя напряжение источника питания *E*1, задавать прямой ток диода (1; 2; 3; 5; 7; 10; 15; 20;3 0 ;…; 70мА) и измерять прямое напряжение. Результаты измерений занести в таблицу. Выключить электропитание модулей стенда. Ручку регулировки напряжения источника E1установить в крайнее левое положение

3. Для снятия обратной ветви ВАХ выпрямительного диода полярность подключения источника питания E1 изменить на противоположную. Снять обратную ветвь ВАХ выпрямительного диода *VD*1. Для этого, регулируя напряжение источника питания E1, задавать обратное напряжение (1; 1,5; 2; 3 ; 5; 7; 10В) и измерять обратный ток диода. Результаты измерений занести в таблицу. Выключить электропитание модулей стенда. Ручку регулировки напряжения источника E1установить в крайнее левое положение.

4. Собрать схему для исследования выпрямительного диода Шоттки VD3 блока «Нелинейные элементы» на постоянном токе в соответствии с рис. 1.3, заменив в схеме выпрямительный диод VD1 на диод Шоттки VD3. Представить схему для проверки преподавателю.

5. Снять прямую и обратную ветви диода Шоттки, выполнив пункты 2,3 для этого диода.

6. В одной системе координат построить графики ВАХ для обоих диодов. Там же следует для каждого диода построить ВАХ идеального *p.-n* - перехода и по формуле (1) при I_0 - усредненном обратном токе соответствующего диода. Необходимый для расчетов параметр $m\cdot \phi_т$ можно определить по формуле

$$m\cdot\varphi_T=\frac{U_2-U_1}{\mathrm{Ln}\frac{I_2}{I_1}},\ \text{где}\ U_1, I_1, U_2, I_2 -$$

координаты двух экспериментальных точек ВАХ диода в области малых токов, но существенно отличающихся по величине (например, на порядок).

7. На основе экспериментальных данных построить зависимости для двух диодов:

$r_Б = f(I_Д)$; $R_{ст} = f(I_д)$; $r_{дф} = f(I_д)$ при $U_д \geq 0$;

$R_{ст}(U_д)$; $r_{дф} = (U_д)$ при $U_д < 0$

8. Провести линеаризацию прямых и обратных ветвей ВАХ исследуемых диодов и рассчитать параметры схем замещения. Построить схемы замещения диодов с указанием полущенных параметров.

Контрольные вопросы

1. Физические процессы и основные свойства *р-п* — перехода.
2. Устройство, классификация и принцип работы полупроводниковых диодов.
3. ВАХ, статические и дифференциальные параметры полупроводниковых диодов. Зависимость ВАХ от температуры. Почему зависимость тока от напряжения сильнее линейной (экспоненциальная) при прямом включении диода и слабее (практически не зависит от напряжения) - при обратном включении?
4. Емкость диода, и его влияние на частотные свойства и переходные процессы.
5. Линеаризация ВАХ и схемы замещения.

Литература

1. Марченко А.Л. Основы Электроники: Учеб. пособие для вузов -М: ДМК Пресс,2008. –С.19-26

2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие- Ростов н/Д:Феникс, 2001.-С. 28-52.

3. Прянишников В.А. Электроника Полный курс лекций. -Санкт-Петербург.: Корона принт, 2003. –С20-28.

Лабораторная работа

Исследование биполярного транзистора

Цель работы: Экспериментальное получение вольтамперных характеристик (ВАХ) и параметров биполярного транзистора, изучение его усилительных свойств.

Краткие теоретические сведения.

Биполярный транзистор — это полупроводниковый прибор, имеющий два влияющих друг на друга p-n-перехода, и три вывода, предназначенный для усиления и коммутации электрических сигналов.

БТ имеет три вывода, которые называются эмиттером, базой и коллектором (рис. 2.1).

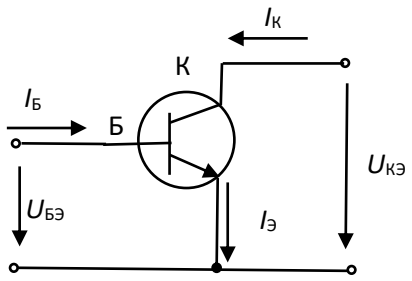


Рис. 2.1. Условное графическое обозначение БТ типа *n-p-n* и его включение по схеме с общим эмиттером (ОЭ)

Для использования транзисторов необходимо представление сведений о них в виде характеристик и параметров, которые позволяют правильно выбрать транзистор и определить режимы его работы. Транзистор описывается семействами выходных и входных характеристик. Рассмотрим в качестве примера семейства ВАХ транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

Выходной или коллекторной *ВАХ* транзистора называется зависимость коллекторного тока от напряжения между коллектором и эмиттером $I_К = F(U_{КЭ})$, снятая при неизменном токе базы $I_Б$ = const. Семейство выходных ВАХ транзистора приведено на рис.2.2,а. Зависимость $I_К (U_{КЭ})$, как видно из рисунка, является нелинейной и может быть разбита на ряд участков.

На большей части характеристик при $U_{КЭ} > U_{КЭ.Н}$ ток коллектора почти не зависит от напряжения $U_{КЭ}$ (пологий участок характеристик). На этом участке транзистор работает в режиме, когда на эмиттерном переходе действует прямое, а на коллекторном – обратное напряжение. Транзистор в этом случае может характеризоваться как прибор со свойствами управляемого источника тока, т. е. источника тока $I_К$, значение которого можно изменять путем изменения тока $I_Б$.

Для изменения входного тока базы, например его увеличения, увеличивают прямое напряжение на эмиттерном переходе, и инжекция носителей из эмиттера в базу и ток эмиттера увеличивается. Увеличение тока базы обусловлено увеличением рекомбинации части дырок (транзистор p-n-p-типа) в тонкой базе.

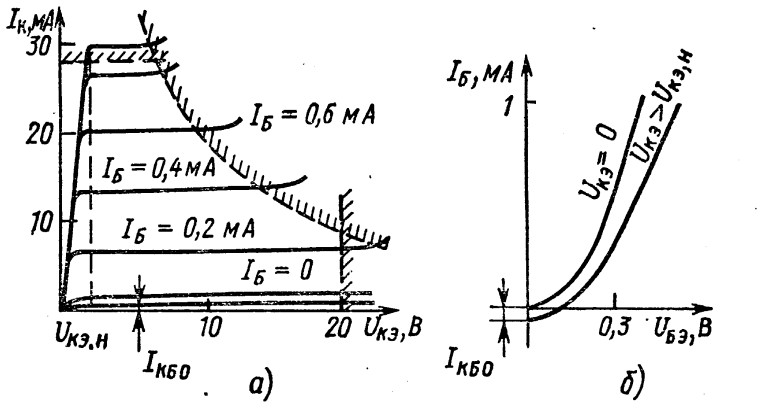


Рис. 2.2. Выходные *(а)* и входные *(б)* характеристики биполярного транзистора

Основная часть приращения тока эмиттера вызывает приращение тока коллектора. Небольшой наклон пологого участка выходной характеристики обусловлен тем, что при увеличении напряжения $U_{КЭ}$ увеличивается напряжение на коллекторном переходе и расширяется слой коллекторного перехода, что приводит к уменьшению толщины базы. В более тонкой базе меньше вероятность рекомбинации носителей, поэтому растет коллекторный ток.

При уменьшении $U_{КЭ}$ (крутой участок выходной характеристики) уменьшается напряжение на коллекторном переходе $U_{КБ}$, и при $U_{КЭ} = U_{КЭ.Н} = U_{БЭ}$ напряжение $U_{КБ}$ =

$U_{КЭ}$ - $U_{БЭ}$ изменяет свой знак. При дальнейшем уменьшении $U_{КЭ}$ до нуля к коллекторному переходу приложено прямое напряжение. Навстречу току дырок из эмиттера в коллектор начинается противоположное движение основных носителей из коллектора в базу. В результате коллекторный ток резко падает. Крутой участок выходных характеристик транзистора характеризуется потерей транзистором усилительных свойств, эта часть характеристик используется в импульсной технике при реализации ключевого режима работы транзистора. Напряжение, отсекающее крутой участок на выходных характеристиках, $U_{КЭ.Н}$ =0,2-1В.

Для предотвращения необратимого пробоя транзистора ограничиваются напряжение на коллекторе и мощность, рассеиваемая на коллектором переходе (на рис.2.2,а показаны ограничения рабочего участка характеристик).

Обратимся к рассмотрению входных характеристик транзистора - зависимостей тока базы от напряжения между базой и эмиттером: $I_Б = F(U_{БЭ})$, при постоянном напряжении $U_{КЭ}$. При $U_{КЭ}$ = 0 оба перехода в транзисторе работают при прямом напряжении, токи коллектора и эмиттера суммируются в базе. Входная характеристика в этом режиме представляет собой ВАХ двух *p-n* переходов, включенных параллельно (рис. 2.2,б).

При $U_{КЭ} > U_{КЭ,Н}$, на коллекторном переходе появляется обратное напряжение, на эмиттерном — сохраняется прямое. Ток базы в этом режиме, обусловленный процессом рекомбинации неосновных носителей в базе, равен разности эмиттерного и коллекторного токов. Входная характеристика транзистора рис. 2.2,б в этом режиме строится по прямой ветви ВАХ эмиттерного перехода, но значения тока уменьшаются, поскольку ток базы — это лишь рекомбинационная составляющая эмиттерного тока.

При любой схеме включения транзистор может быть представлен в виде активного четырехполюсника (рис. 2.3), на входе которого действует напряжение u_1 и протекает ток i_1, а на выходе — напряжение u_2 и ток i_2.

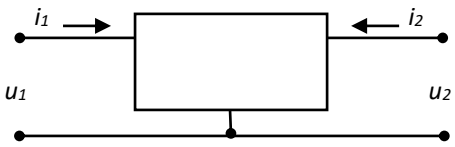


Рис.2.3. Схема транзистора, представленного в виде активного четырехполюсника

Для транзисторов чаще всего используются *h*-параметры, так как они наиболее удобны для измерений. Система уравнений, показывающая связь напряжений и токов с *h*-параметрами, имеет вид:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2 .$$

Физический смысл соответствующих коэффициентов следующий:

$h_{11} = i_1 / u_1$ - входное сопротивление при коротком замыкании на выходе (u_2=0);

$h_{12} = i_1 / u_2$ - коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе на входе (i_1=0);

$h_{21} = i_2 / i_1$ - коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе (u_2=0);

$h_{22} = i_2 / u_2$ - выходная проводимость при холостом ходе на входе (i_1=0).

Знание *h*-параметров позволяет построить эквивалентную линейную схему замещения транзистора, изображенную на рис.2.4.

Подобные схемы замещения используются при аналитическом расчете транзисторных схем, позволяют получить простые расчетные соотношения и произвести количественную оценку параметров схем.

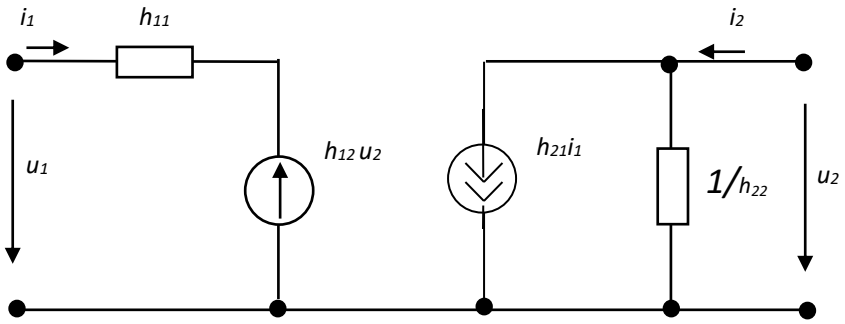


Рис2.4. Эквивалентная схема замещения транзистора в

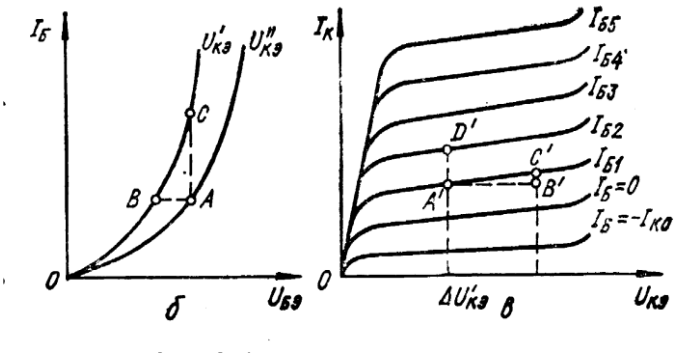
h-параметрах

Значения *h*-параметров зависят от выбора рабочей точки, температуры, частоты и схемы включения транзистора. Для определенной схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК) добавляются соответствующие индексы (Э, Б, К) при обозначении параметров, например $h_{11Э}$; $h_{22\,К}$ и т. д.

Приближенные значения *h*-параметров можно определить графоаналитическим способом по статическим входным и выходным характеристикам. Для определения всех *h*-параметров необходимо иметь не менее двух характеристик каждого семейства (входных и выходных). Параметры рассчитываются по величинам конечных приращений токов и напряжений вблизи рабочей точки транзистора.

Для схемы с ОЭ на семействе входных характеристик в рабочей точке *A* строят треугольник, из *A* проводят прямые, параллельные оси абсцисс и оси ординат до пересечения со второй характеристикой в точках B и C (рис. 2.5, а). Из характеристического треугольника ABC получают все необходимые величины для определения $h_{11Э}$ и $h_{12Э}$:

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{AB}{AC}; \qquad h_{12Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{AB}{U''_{КЭ} - U'_{КЭ}}. \quad (2.1)$$



а) б)

Рис.2.5. Определение *h*-параметров по ВАХ транзистора

В рабочей точке *A'* по выходным характеристикам (рис.2.5,б) определяют параметры $h_{22Э}$ и $h_{21Э}$:

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_К}{\Delta I_Б} = \frac{A'D'}{I_{Б2} - I_{Б1}}; \quad h_{22Э} = \frac{\Delta I_К}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{B'C'}{A'B'} \qquad (2.2)$$

Аналогично можно определить *h*-параметры для любой схемы включения транзистора.

Кроме эквивалентных схем замещения в h-параметрах, находят применение Т-образные физические схемы замещения (рис. 2.6). Параметры для таких схемы вычисляют в соответствии со следующими выражениями [1]:

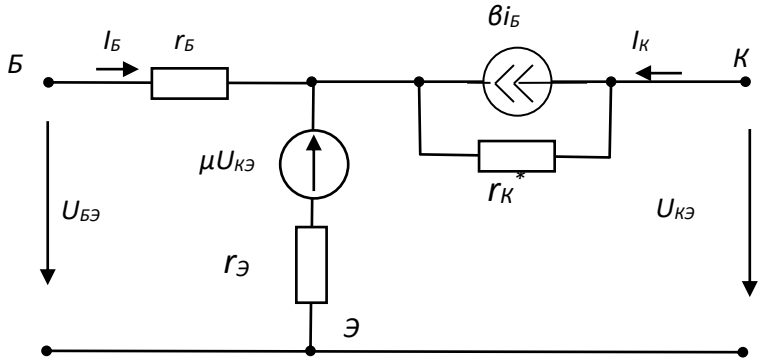


Рис 2.6. Т-образная физическая схема замещения транзистора

$$h_{11} = r_{Б} + (1+\beta)\cdot r_{Э} \ ; \qquad (2.3)$$

$$h_{12} = r_{Э} / r_{K}^{*} - \mu = r_{Э} /(2r_{K}^{*}) \ ; \qquad (2.4)$$

$h_{21} = \beta$; (2.5)

$$h_{22} = 1/ r_{K}^{*} . \qquad (2.6)$$

Подготовка к работе

6. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.

7. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

8. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Транзисторы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».

9. В соответствии с рабочим заданием подготовить таблицы для записи измерений.

10. Ознакомиться с характеристиками биполярного транзистора BC639.

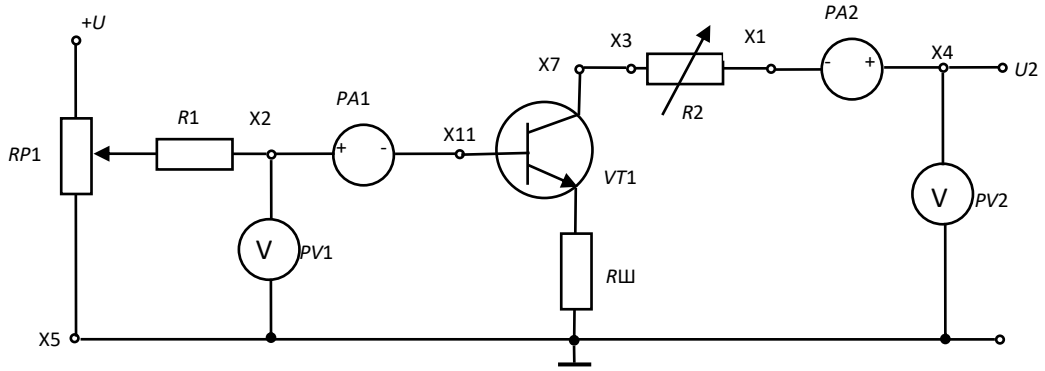


Рис.2.7

Рабочее задание

7. Соберите схему для исследования биполярного транзистора *VT*1 блока «транзисторы» (рис. 2.7). Для измерения тока базы (миллиамперметр *PA*1) используйте один из мультиметров и для измерения напряжений и тока коллектора (миллиамперметр *PA*2) используйте приборы блока «Измерительные приборы», задав для них соответствующие режимы работы. Тумблер *SA*2 в блоке «транзисторы» установите в верхнее положение, ручки потенциометров *RP*1 и *RP*2 (блок транзисторов) установите в крайние левые положения. Представьте схему для проверки преподавателю.

8. Снимите характеристики транзистора при $U_{КЭ}$= 12В и R_2= 0 Ом. Для этого:

а) Установите перемычку между гнездами *X*1 и *X*3;

б) включите измерительные приборы и электропитание модуля «Транзисторы»;

в) с помощью потенциометра *RP*2 (блок транзисторов) установите $U_{КЭ}$ =12 В (показания вольтметра *PV*2)

г) при помощи потенциометра *RP*1 задавайте в соответствии с таблицей 1 ток $I_Б$ (показания миллиамперметра *PA*1). Для каждого значения тока базы занесите в таблицу 1 соответствующие значения напряжения $U_{БЭ}$ (показания вольтметра *PV*1) и тока коллектора $I_К$ (показания миллиамперметра *PA*2). При этом $U_{КЭ}$ не должно меняться в процессе изменения $I_Б$, т.е. посредством *RP*2 необходимо поддерживать $U_{КЭ}$ = const = 12 В;

д) выключите питание модуля «Транзисторы». Ручку потенциометра *RP*1 (блок транзисторов) установите в крайнее левое положение.

Таблица 1.Характеристики транзистора при $U_{КЭ}$ =12 В и R_2 = 0 Ом

$I_Б$, мкА	5	10	20	30	40	50	55	60	65
$U_{БЭ}$,В									
$I_К$, мА									

9. Снимите передаточную характеристику транзистора по току $I_К = f(I_Б)$ при R_2 = 1КОм и $E_К$=12В. Для этого:

а) уберите перемычку, соединяющую *X*1 и *X*3;

б) переключатель *SA*1(*R*2) блока транзисторов установите в положение 1,что соответствует сопротивлению R_2=1 КОм.

в) включите электропитание модуля «Транзисторы»;

г) с помощью потенциометра *RP*2 (блок транзисторов) установите $U_{КЭ}$ =12 В (показания вольтметра *PV*2)

д) при помощи потенциометра *RP*1 задавайте ток $I_Б$ в соответствии с таблицей 2. Для каждого значения тока базы занесите в таблицу 2 соответствующее значение тока коллектора $I_К$. При этом

$U_{КЭ}$ не должно меняться в процессе изменения $I_Б$, т.е. посредством *RP*2 необходимо поддерживать $U_{КЭ}$ = const = 12 В;

е)выключите питание модуля «Транзисторы». Ручки потенциометров *RP*1 и *RP*2 (блок транзисторов) установите в крайние левые положения.

Таблица 2. Характеристики транзистора при $U_{КЭ}$ =12 В и R_2 = 1 КОм

$I_Б$, мкА	5	10	20	30	40	50	55	60	65
$I_К$, мА									

10. Снимите семейство выходных ВАХ $I_К = f(U_{КЭ})$. Для этого:

а) Установите перемычку между гнездами *X*1 и *X*3;

б) включите электропитание модуля «Транзисторы»;

в) при помощи потенциометра *RP*2 задайте напряжение $U_{КЭ}$ = 6В, при помощи потенциометра *RP*1 установите $I_Б$ =25 мкА, занесите в таблицу 3 значение $I_К$;

г) при помощи потенциометра *RP*2 задавайте напряжение $U_{КЭ}$ от 6 до значения 16 В (табл. 3). Для каждого значения $U_{КЭ}$ занесите в таблицу 3 значения $I_К$. При этом $I_Б$ не должен меняться в процессе изменения $U_{КЭ}$, т.е. посредством *RP*1 необходимо поддерживать $I_Б$ = const = 25 мкА ;

д) после снятия первой кривой $I_К = F(U_{КЭ})$ установите $I_Б$= 50 мкА, и снимают еще одну кривую выходных ВАХ при тех же значениях $U_{КЭ}$;

е) выключите электропитание модуля «Транзисторы», уберите перемычку, соединяющую *X*1 и *X*3;.

Таблица 3. Выходные характеристики транзистора

$U_{КЭ}$, В	6	8	10	12	14	16
$I_К$, мА *при* $I_{Б,}$ = 25 мкА						
$I_К$, мА *при* $I_{Б,}$ = 50 мкА						

11. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в режиме класса А:

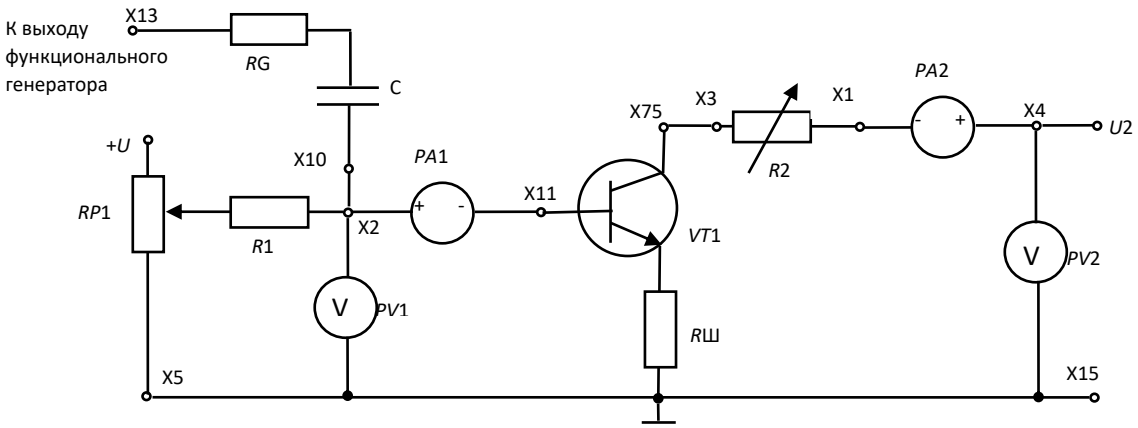


Рис.2.8

а) Соберите схему в соответствии с рис. 2.8. К гнезду X13 подключите выход функционального генератора, землю генератора соедините с гнездом X15. Покажите схему преподавателю.

б) подключите осциллограф к выходу усилителя(гнезда X7, X15), включите его;

в) ручку регулировки амплитуды сигнала функционального генератора установите в крайнее левое положение, включите питание функционального генератора. Проведите настройку генератора, задав форму выходного сигнала «Синусоида» и установив частоту 1КГц;

г) включите электропитание модуля «Транзисторы», при помощи потенциометра *RP*2 задайте напряжение $U_{КЭ}$ = 12В, при помощи потенциометра *RP*1 установите $I_Б$ =20 мкА. Напряжение $U_{КЭ}$ = 12В не меняйте на протяжении всех последующих экспериментов;

д) плавно увеличивайте амплитуду синусоидального сигнала функционального генератора до появления видимого искажения синусоиды выходного напряжения, получите на экране осциллографа изображение неискаженного выходного синусоидального сигнала усилителя максимальной амплитуды. Зафиксируйте полученное изображение, определите по осциллограмме амплитуду выходного сигнала усилителя;

е) не изменяя входной сигнал, подключите осциллограф ко входу усилителя (гнезда X2, X15), зафиксируйте изображение входного сигнала, определите по осциллограмме его амплитуду;

ж) определите коэффициент усиления каскада по напряжению, сформулируйте выводы.

12. Исследуйте влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного сигнала усилителя:

а) подключите осциллограф к выходу усилителя(гнезда X7, X15);

б) не изменяя входной сигнал установите при помощи потенциометра *RP*1 $I_Б$ =10 мкА, получите на экране осциллографа изображение выходного сигнала усилителя, зафиксируйте полученное изображение;

в) не изменяя входной сигнал повторите опыт для тока базы $I_Б$ =50 мкА;

г) сформулируйте выводы.

13. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в режиме класса B:

а) установите при помощи потенциометра *RP*1 $I_Б$ =0 мкА;

б) плавно увеличивайте амплитуду синусоидального сигнала функционального генератора до появления видимого искажения полуволны выходного напряжения, получите на экране осциллографа изображение неискаженной полуволны выходного сигнала усилителя максимальной амплитуды. Зафиксируйте полученное изображение, определите по осциллограмме амплитуду выходного сигнала усилителя;

в) сформулируйте выводы.

14. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в режиме класса D:

а) установите при помощи потенциометра *RP*1 $I_Б$ =0 мкА;

б) плавно увеличивайте амплитуду синусоидального сигнала функционального генератора до перехода транзистора в ключевой режим, получите изображение выходного сигнала в виде последовательности импульсов прямоугольной формы, зафиксируйте полученное изображение, определите по осциллограмме амплитуду выходного сигнала усилителя;

в) е) подключите осциллограф ко входу усилителя (гнезда X2, X15), зафиксируйте изображение входного сигнала, определите по осциллограмме его амплитуду;

г) сформулируйте выводы.

15. По полученным данным постройте графики входной характеристики $I_Б = f(U_{БЭ})$, выходных характеристик $I_К = f(U_{КЭ})$ и передаточных характеристик по току $I_К = f(I_Б)$ исследуемого транзистора.

10. Определите значения параметров h_{11}, h_{21}, h_{22}. Значение параметра h_{12} примите равным нулю. Постройте схему замещения транзистора в *h*-параметрах с указанием на схеме их значений.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве, принципах работы и основных параметрах биполярных транзисторов.
2. Что такое входные и выходные вольтамперные характеристики транзистора?
3. Что такое передаточные характеристики транзистора?
4. Режимы работы биполярного транзисторы, области их применения.
5. Схемы включения биполярного транзистора и их основные свойства.
6. Как задается в усилителе режим работы транзистора по постоянному току?
7. Какими параметрами характеризуется положение рабочей точки транзистора в режиме покоя?
8. Каков смысл *h*-параметров транзистора?
9. Как определить *h*-параметры по ВАХ транзистора?

8. Как строятся и для чего используются эквивалентные схемы замещения транзистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ»

1. Цель работы: Изучение основных характеристик и параметров операционного усилителя. Знакомство с электронными устройствами на базе операционного усилителя.

2. *Порядок выполнения работы*:

1. Изучить главу «Описание лабораторного стенда».

2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

3. Убедиться, что выключатели модулей стенда находится в положении «ВЫКЛ»

4. По указанию преподавателя, выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.

Провести эксперимент.

Выключить питание стенда.

Составить отчет по лабораторной работе.

3. *Порядок проведения эксперимента*:

3.1. Исследование компаратора

3.1.1. Собрать схему компаратора согласно рис. 1. К инвертирующему входу (гнездо X9) подключить функциональный генератор, используя у него выход «СИНУС» или «ТРЕУГОЛЬНИК». Гнездо X12 подключить к гнезду X3 для возможности формирование различных опорных напряжений в диапазоне -8В...0...+8В. Вольтметр PV1 подключить к гнезду X12 в режиме измерения постоянного напряжения для контроля опорного напряжения. Сопротивления резисторов: R2=20кОм, R3=10кОм, Rн=2кОм

Установить заданную частоту переменного напряжения и заданное значение опорного напряжения.

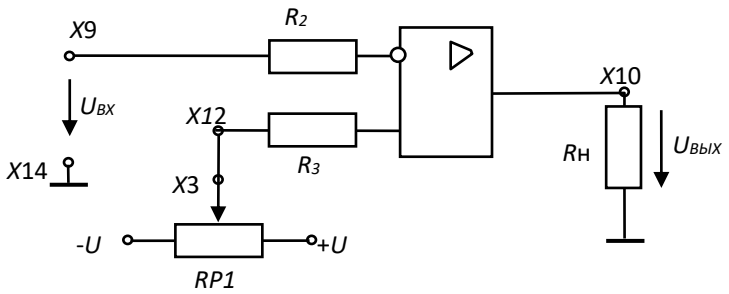


Рис. 1 Исследование компаратора на операционном усилителе

3.1.2. Снять осциллограммы входных и выходных напряжений компаратора для двух значений опорного напряжения .

3.1.3. Исследовать скорость срабатывания компаратора при увеличении частоты входного сигнала в диапазоне 10000Гц... 100000Гц.

3.2. Исследование инвертирующего усилителя

3.2.1. Собрать схему инвертирующего усилителя, установив перемычки согласно рис. 2. Подключить к входу (гнезда X9 и X15) и выходу (гнезда X10 и X15(X14)) операционного усилителя и измерительные приборы PV1 (подключается к Uвх) и PV2 (подключается к Uвых) в режиме измерения постоянного напряжения. Установить переключатель SA1 в положение 1, что соответствует сопротивлению R4=20кОм.

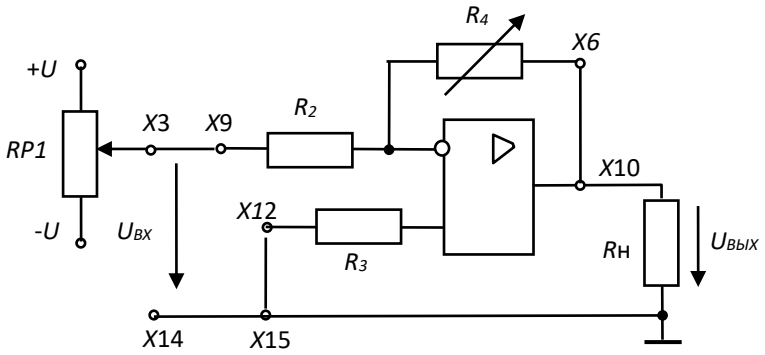


Рис. 2 Исследование инвертирующего усилителя на операционном

усилителе

3.2.2. Снять и построить передаточную характеристику Uвых= f(Uвх) на постоянном токе при двух полярностях входного сигнала. В качестве источника входного сигнала использовать выходное напряжение потенциометра RP1. Для этого установить перемычку между гнездами X3 и X9. Включить электропитание модулей стенда. Изменяя входное постоянное напряжение в пределах от -Uвхm до +Uвхm, снять передаточную характеристику. Результаты измерений занести в табл.

3.1.2. По передаточной характеристике определить коэффициент усиления усилителя по напряжению. Построить передаточную характеристику усилителя и определить по ней линейный диапазон работы усилителя. Выключить электропитание модулей стенда.

3.2.3. Установить переключатель SA1 в положение 3, что соответствует сопротивлению R4=100кОм. Снять и построить передаточную характеристику Uвых= f(Uвх) в соответствии с пунктом 3.2.2 при новом значении сопротивления R4. Сформулировать выводы.

Таблица 3.1.2

U вх, В							
Uвых, В							
Ки = Uвых/Uвх							

3.1.3. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику Ku=Ku(f) усилителя при Uвх = const для заданного значения сопротивления резистора R4. Для этого убрать перемычку между гнездами X3 и X9, отсоединить измерительные приборы, к входу усилителя (гнезда X9 и X14) подключить выход функционального генератора (рис. 3.5.1). Установить форму выходного сигнала генератора «Синусоида». Включить электропитание модулей стенда. Подготовить к работе осциллограф. Вход осциллографа подключить к точке X10. При снятии характеристики установить амплитуду входного сигнала на линейном участке амплитудной характеристики усилителя (т.е синусоида не должна иметь ограничений амплитуды на верхней и нижней полуволне), при этом сначала частота выходного сигнала устанавливается в диапазоне 10...100 Гц. Далее, не изменяя амплитуды входного сигнала, последовательно переключаем диапазоны ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА по возрастающей (т.е. 100…1000Гц, 1000...10000Гц, 10000... 100000гц) и в каждом поддиапазоне исследуем изменение амплитуды выходного сигнала с увеличением частоты. Амплитудные значения входного Uвх (X9) и выходного Uвых (X10) сигналов измерять осциллографом. Результаты опыта занести в табл. 3.2.3.

Таблица 3.2.3

f, Гц										
Uвх, В										
Uвых, В										
Ku= Uвых / Uвх										

3.2.4. По данным опыта вычислить коэффициенты усиления по напряжению и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя, откладывая частоту в логарифмическом масштабе. Определить значения граничных частот полосы пропускания усилителя. Сформулировать выводы.

3.3. Исследование неинвертирующего усилителя

3.3.1. Собрать схему неинвертирующего усилителя, установив перемычки согласно рис. 3.. Подключить к входу (гнезда X12 и X15) и выходу (гнезда X10 и X15(или X14)) операционного усилителя измерительные приборы PV1 (подключается к Uвх) и PV2 (подключается к Uвых) в режиме измерения постоянного напряжения. Установить переключатель SA1 в положение 1, что соответствует сопротивлению R4=20кОм

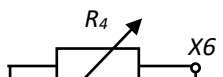


Рис. 3. Исследование неинвертирующего усилителя на операционном усилителе

3.3.2. Снять и построить передаточную характеристику Uвых=f(Uвх)) на постоянном токе при двух полярностях входного сигнала. В качестве источника входного сигнала использовать выходное напряжение потенциометра RP1. Для этого установить перемычку между гнездами X3 и X12. Включить электропитание модулей стенда. Затем, изменяя входное постоянное напряжение в пределах от -Uвх m до +Uвх m, снять передаточную характеристику. Результаты измерений занести в табл. 3.2.2. По передаточной характеристике определить коэффициент усиления усилителя по напряжению. Построить передаточную характеристику усилителя и определить по ней линейный диапазон работы усилителя. Выключить электропитание стенда. Сформулировать выводы.

Таблица 3.2.2

Uвх, В							
Uвых, В							
Ku= Uвых/Uвх							

3.3.3. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику Ku=Ku(f) усилителя при Uвх=const- для заданного значения сопротивления резистора R4. Для этого убрать перемычку между гнездами X3 и X12. Отсоединить измерительные приборы. На вход усилителя (гнезда X12 и X14) подключить выход функционального генератора (рис. 3.). Установить форму выходного сигнала генератора «Синусоида». Включить электропитание модулей стенда. Подготовить к работе осциллограф. Вход осциллографа подключить к точке XI0. При снятии характеристики установить амплитуду входного сигнала на линейном участке амплитудной характеристики усилителя (т.е синусоида не должна иметь ограничений амплитуды на верхней и нижней полуволне), при этом

сначала частота выходного сигнала устанавливается в диапазоне 10...100 Гц. Далее, не изменяя амплитуды входного сигнала, последовательно переключаем диапазоны ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА по возрастающей (т.е. 100…1000Гц,1000...10000Гц, 10000...100000Гц) и в каждом поддиапазоне исследуем изменение амплитуды выходного сигнала с увеличением частоты. Амплитудные значения входного Uвх (X12) и выходного Uвых (X10) сигналов измерять осциллографом. Результаты опыта занести в табл. 3.2.3.

3.3.4. По данным опыта вычислить коэффициенты усиления по напряжению и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя, откладывая частоту в логарифмическом масштабе. Определить значения граничных частот полосы пропускания усилителя. Сформулировать выводы.

Таблица 3.2.3

f, Гц										
Uвх, В										
Uвых, В										
Ku= Uвых / Uвх										

3.4. Исследование активного фильтра нижних частот

3.4.1. Собрать схему активного фильтра нижних частот согласно рис. 4. Напряжение на входе и выходе фильтра контролировать при помощи осциллографа. Значение резистора R4 и величину емкости конденсатора C2 установить в соответствии номером варианта .

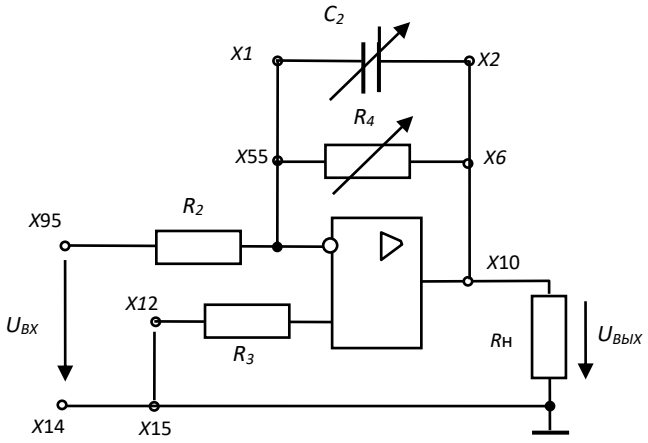


Рис 4 Исследование активного фильтра нижних частот на операционном усилителе

3.4.2. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику фильтра при заданных параметрах элементов фильтра. Для этого:

На вход усилителя (гнезда X9 и X14) подключить выход функционального генератора (рис. 4). Установить форму выходного сигнала генератора «Синусоида». Включить электропитание модулей стенда. Подготовить к работе

осциллограф. Вход осциллографа подключить к точке XI0. При снятии характеристики установить амплитуду входного сигнала на линейном участке амплитудной характеристики усилителя (т.е синусоида не должна иметь ограничений амплитуды на верхней и нижней полуволне), при этом сначала частота выходного сигнала устанавливается в диапазоне 10..100 Гц. Далее, не изменяя амплитуды входного сигнала, последовательно переключаем диапазоны ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА по возрастающей (т.е. 100..1000Гц,1000...10000Гц, 10000... 100000гц)и в каждом поддиапазоне исследуем изменение амплитуды выходного сигнала с увеличением частоты. Амплитудные значения входного 11вх (X9) и выходного Uвых (X10) сигналов измерять осциллографом. Результаты измерения занести в табл. 3.3.1. Сформулировать выводы

Таблица 3.3.1

f, Гц							
U вх, В							
Uвых, В							
Ku = Uвых/Uвх							

3.3.3. Изменить по указанию преподавателя параметры элементов фильтра. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику фильтра при новых параметрах элементов фильтра. Сформулировать выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

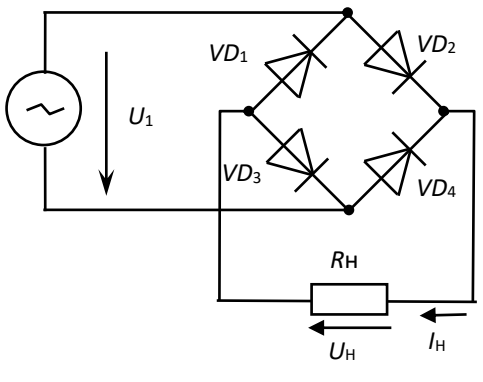
«ОДНОФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ И СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ»

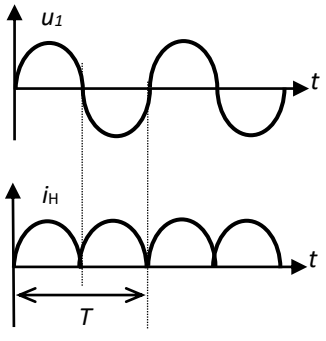
Цель работы: ознакомиться с принципом работы и основными свойствами однофазного двухполупериодного выпрямителя, изучить влияние сглаживающих фильтров на работу выпрямительного устройства.

Краткие теоретические сведения.

Схема двухполупериодного мостового выпрямителя представлена на рис. 1,а.

При напряжении питания $u_1(t) = U_{1m}\sin(\omega t)$ мостовая схема обеспечивает за каждый период *T* протекание в нагрузке *R*Н двух полуволн тока *i*н (рис. 1,б). При *u*1 >0 диоды *VD*2 и *VD*3 открыты, а *VD*1 и *VD*4 заперты, ток проходит через диод *VD*2,





а) б)

Рис. 1. Схема двухполупериодного мостового выпрямителя -а) и графики напряжения и тока -б)

сопротивление нагрузки и диод *VD*3. При *u*1 < 0 диоды *VD*1 и *VD*4 открыты, а *VD*2 и *VD*3 заперты, ток проходит через диод *VD*4, сопротивление нагрузки и диод *VD*1.

Постоянная составляющая *U*н напряжения на нагрузке при двухполупериодном выпрямлении равна

$$U_H = \frac{2U_{Hm}}{\pi}.$$

Коэффициент пульсаций q равен отношению амплитуды первой гармоники выпрямленного тока к его постоянной составляющей. Поскольку разложение в ряд Фурье двухполупериодного выпрямленного тока имеет вид

$i_H = \frac{2I_{Hm}}{\pi} + \frac{4I_{Hm}}{3\pi}\cos 2\omega t - \frac{4I_{Hm}}{15\pi}\cos 4\omega t + \ldots$, то $q = 2/3$.

Мостовой выпрямитель в сравнении с однополупериодным имеет большее значение среднего выпрямленного тока, меньший коэффициент пульсаций

На практике, при сложной форме пульсаций, наибольшую величину может иметь не первая гармоника, а гармоника с более высоким номером. В этом случае определяют общий размах пульсаций и абсолютный коэффициент пульсаций ($q_{абс}$), который может рассчитываться по разным формулам, например:

$$q_{абс} = \Delta U_н/(2U_н)=(U_{нмакс} - U_{нмин}) / (2U_н),$$

где $\Delta U_н$-размах колебаний напряжения нагрузки,

$U_н$ - постоянная составляющая напряжения нагрузки.

Для питания постоянным напряжением большинства устройств электроники коэффициент пульсаций не должен превышать 0,1. Ни одна из простых схем выпрямителей не обеспечивает такого коэффициента пульсаций. Поэтому для уменьшения пульсаций используют сглаживающий фильтр, который включают между выпрямителем и нагрузкой.

Назначение сглаживающего фильтра – выделить из выпрямленного напряжения постоянную составляющую и подавить высшие гармоники.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.

2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы / Активная нагрузка», «Реактивные элементы», «Диоды, резисторы, конденсаторы», «Измерительные приборы», «Осциллограф».

4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

<u>Внимание! Все изменения схемы исследуемой цепи поводить только при выключенном источнике питания</u>

1. Исследование работы однофазного выпрямителя в режиме холостого хода.

1.1. Собрать схему на рис. 2. В качестве источника сигнала (Выход вторичной обмотки Тр.1) использовать выход ~12В модуля «Источник питания». В качестве выпрямителя использовать диодный мост 1N4007 х 4 модуля «Диоды, резисторы, конденсаторы», в качестве фильтров – катушки и конденсаторы модуля «Реактивные элементы», в качестве нагрузки - один из резисторов модуля «Резисторы \ активная нагрузка». Для выполнения измерений использовать ампервольтметры модуля «Измерительные приборы», вольтметр *PV*1 в режиме «*AC*», вольтметр *PV*2 в режиме «*DC*». Представить цепь преподавателю для проверки.

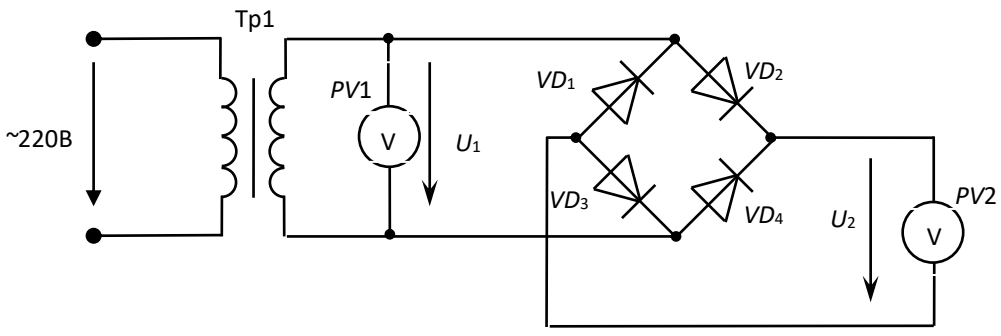


Рис. 2 Исследование однофазного выпрямителя в режиме холостого хода

1.2. Включить электропитание стенда, измерить вольтметром *PV*1 напряжение *U*1 на входе выпрямителя, вольтметром *PV*2 напряжение *U*2 на выходе выпрямителя в режиме холостого хода. Результат измерения записать в табл. 1.

1.3. Подготовить к работе осциллограф для наблюдения форм напряжений. Подключить вместо вольтметра (*PV*2) осциллограф. Получить на экране устойчивое изображение и определить по осциллограмме амплитудное значение выпрямляемого напряжения *U*2m. Зарисовать в масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения.

Таблица 1

*U*1, В	*U*2, В	*U*2m, В	*UD*m, В	*U*2 / *U*2m

1.4. Подключить осциллограф к одному из диодов, получить устойчивое изображение, измерить величину максимального обратного напряжения на диоде *UDm*. Зарисовать в том же масштабе осциллограмму напряжения на диоде.

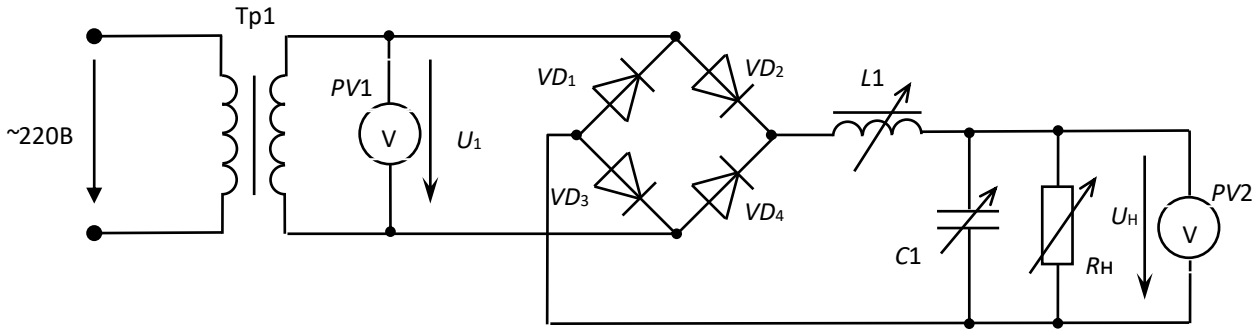


Рис.3. Исследование однофазного выпрямителя и сглаживающих фильтров

2. Исследование работы выпрямителя без сглаживающих фильтров.

2.1. Для этого подключить в качестве нагрузки один из резисторов модуля «Резисторы \ активная нагрузка». (рис. 3) и установить сопротивление нагрузки, равным 100 Ом. (***Сопротивление нагрузки менее 100 Ом не устанавливать***.) Элементы сглаживающих фильтров, конденсатор *С*1 и катушка индуктивности *L*1 при этом не подключаются. Подключить выводы осциллографа параллельно нагрузке, зарисовать в прежнем масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н при отсутствии сглаживающих фильтров. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н). Сформулировать выводы.

Таблица 2

Параметр	Тип фильтра					
	отключен	*С*Ф1=	*С*Ф2=	*L*Ф1=	*L*Ф2=	*L*Ф= ;*С*Ф=
Δ*U*						
*U*н						
q = Δ*U* / (2 *U*н)						

2.2. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы выпрямителя. Для этого изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) в соответствии с таблицей 3 и измерять напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

Таблица 3

Тип фильтра	Параметр	Сопротивление нагрузки *R*н, Ом						
		100	200	300	400	500	800	1200
Отключен	*U*н, В							
	*I*н, мА							
Емкостной	*U*н, В							
	*I*н, .мА							
Индуктивный	*U*н, В							
	*I*н, мА							
Индуктивно-емкостной	*U*н, В							
	*I*н, мА							

3. Исследование влияния сглаживающих фильтров (емкостного, индуктивного и индуктивно-емкостного) на выпрямленное напряжение.

3.1. Подключить в схему параллельно нагрузке (*R*н=100Ом) конденсатор *С*1 блока «Реактивные элементы». Подключить осциллограф. Зарисовать в прежнем масштабе

осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н).

Измерения и расчеты провести при двух различных значениях емкости конденсатора *C*1.

Сформулировать выводы.

3.2. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы емкостного фильтра. Для этого при некотором значении *C*1 изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) и измерить напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

3.3. Отключить из схемы конденсатор *C*1. Подключить в схему последовательно с нагрузкой (*R*1=100Ом) катушку индуктивности *L*1 блока «Реактивные элементы». Подключить осциллограф параллельно нагрузке.

Зарисовать в прежнем масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н).

Измерения и расчеты провести при двух различных значениях индуктивности катушки *L*1.

Сформулировать выводы.

3.4. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы индуктивного фильтра. Для этого при некотором значении *L*1 изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) и измерить напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

3.5. Подключить в схему параллельно нагрузке (*R*н=100Ом) конденсатор *C*1 блока «Реактивные элементы», оставив в схеме катушку индуктивности *L*1. Подключить осциллограф. Установить значение емкости конденсатора *C*1, равным одному из значений из п. 3.1, а значении индуктивности *L*1 - одному из значений из п.3.3.

Зарисовать в прежнем масштабе осциллограммы выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н).

3.6. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы *LC*-фильтра. Для этого при установленных значениях *C*1 и *L*1 изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) и измерить напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н

рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

3.7. Построить в одной системе координат графики внешних характеристик $U_н=f(I_н)$ выпрямителя при отсутствии фильтра, при емкостном, индуктивном и индуктивно-емкостном фильтре. Сформулировать выводы.

Типовой комплект учебного оборудования

«Электротехника и основы электроники»

Типовой комплект учебного оборудования «Электротехника и основы электроники» предназначен для проведения лабораторных занятий по курсам «Электротехника» и «Электроника» и обеспечивает изучение электрических цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей, полупроводниковых приборов, аналоговых электронных устройств, элементов цифровой техники и основ электромеханики.

Комплект оборудования имеет стендовое исполнение.

В комплект оборудования входят следующие лабораторные модули:

Автотрансформатор.

Функциональный генератор.

Измеритель мощности.

Источник питания.

Измерительные приборы.

Мультиметры.

Тиристоры.

Диоды, резисторы и конденсаторы.

Нелинейные элементы. Реактивные элементы. Резисторы/Активная нагрузка.

Операционный усилитель. Транзисторы.

Цифровая техника.

Трансформатор однофазный.

Миллиамперметры.

Осциллограф.

Модуль питания.

Модуль силовой/измерительный.

Активная нагрузка.

1 ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

1.1 АВТОТРАНСФОРМАТОР

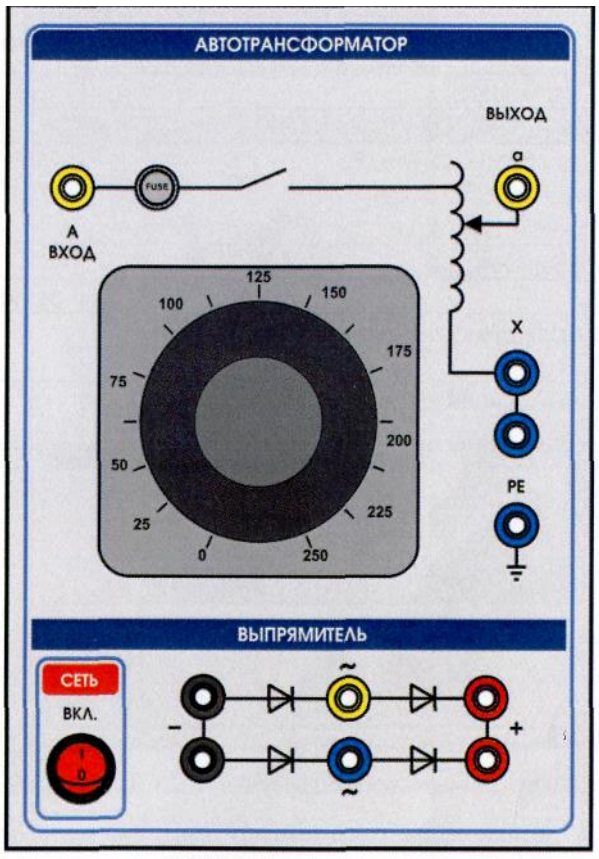


Рисунок.1.1 – Автотрансформатор

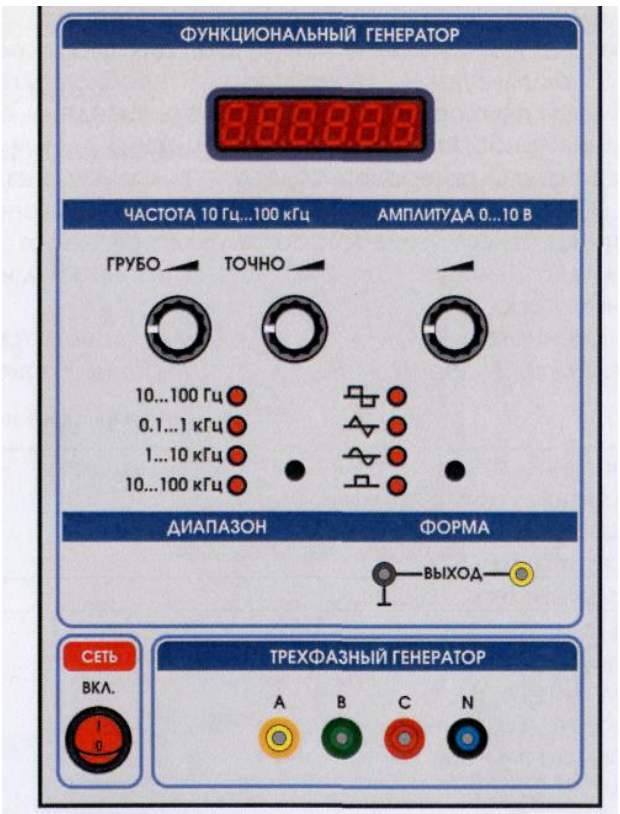
Модуль включает в себя: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) и мостовую схему выпрямления. Регулируемый автотрансформатор предназначен для преобразования однофазного нерегулируемого напряжения промышленной частоты 220В/50 Гц в однофазное регулируемое напряжение 0-250В той же частоты. ЛАТР имеет номинальное входное напряжение 230В. Входное напряжение подается на вход «А» и «Х» и включается в работу тумблером «Вкл». Выходное напряжение от 0 до 250В регулируется при помощи ручки ЛАТРа, выведенной на переднюю панель. Номинальная мощность нагрузки составляет 250Вт. Перед началом проведения лабораторных экспериментов необходимо ручку регулировки напряжения установить в положение «0 В».

Мостовая схема выпрямителя предназначена для преобразования переменного двуполярного напряжения в однополярное. Модуль не имеет цепей питания.

Технические характеристики

Число фаз, не менее	1
Номинальная мощность, В-А	250
Номинальное напряжение, В: - первичной обмотки - вторичной обмотки	220 0...250
Частота напряжения, Гц	50+0,5
Защита	от перегрузки по
Рабочее напряжение мостового выпрямителя не менее), В	600
Максимальный ток мостового выпрямителя (не менее), А	10

1.2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР



Модуль состоит из двух функциональных узлов: трехфазного генератора и, собственно, функционального генератора.

Функциональный генератор представляет собой генератор колебаний заданной формы, частоты и амплитуды. Частотный диапазон генератора составляет 10 Гц... 100 кГц и разбит на 4 поддиапазона: 10...100 Гц, 0,1...1 кГц, 1...10 кГц, 10...100 кГц. Переключение между поддиапазонами происходит путем нажатия на тактовую кнопку. Текущий диапазон индицируется включением соответствующего светодиода. Реализовано два режима регулировки частоты генератора - ручками

«Грубо» и «Точно». Текущее значение частоты в Гц отображается на цифровом индикаторе.

Выбор формы выходного сигнала генератора осуществляется тактовой кнопкой, при этом загорается соответствующий светодиод

прямоугольная двуполярная, синусоидальная, треугольная, прямоугольная однополярная положительная.

Амплитуда выходного сигнала генератора регулируется в диапазоне 0...11 В ручкой «Амплитуда». Для отображения текущего значения амплитуды генератора необходимо подключить измерительный прибор. На лицевую панель выведены клеммы «Выход» для включения прибора в измерительную цепь

Рисунок 1.2 - Функциональный генератор

Трехфазный генератор содержит выходные гнезда напряжений фаз А, В, С и нейтрального проводника N. Напряжения на выходных гнездах трехфазного генератора появляются через определённое время (порядка 30-40сек). Это связано с особенностями используемой схемы генератора.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником - напряжение, В - частота, Гц	 230±10% 50±0,5
Максимальный ток нагрузки, А	0,3
Выходное напряжение специальной формы: - синусоидальное - амплитуда, В - частота, Гц - прямоугольное, двуполярное - амплитуда, В - частота, Гц - скважность - треугольное - амплитуда, В - частота, Гц - прямоугольное, однополярное - амплитуда, В - частота, Гц - скважность	 0...± 11 10... 100000 0... ± 11 10... 100000 2 0...11 10... 100000 0... + 11 10... 100000 2
Индикация текущего значения частоты	цифровая
Погрешность измерения частоты, не более	0.1%

Выход трехфазного синусоидального напряжения с нулевым выводом:

- действующее значение напряжения, В 3х8 ±10%
- частота, Гц
- ток, А, не более 50 ±1%
-

1.3 ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

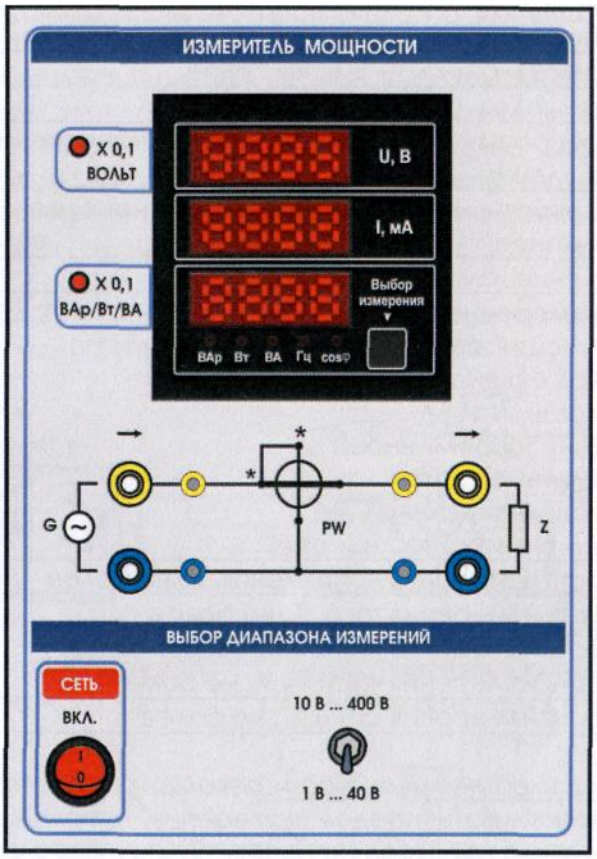


Рисунок .1.3 - Измеритель мощности

Модуль предназначен для измерения действующих значений переменного напряжения и тока; активной, реактивной и полной мощности, частоты и cos ф на нагрузке в цепях переменного тока. Модуль содержит цифровой 3-х строчный индикатор, на котором отображаются следующие параметры: 1) напряжение, 2) ток, 3) активная мощность, реактивная мощность, полная мощность, частота и cos ф. Входное измеряемое напряжение - до 400В (или 40В), максимальный измеряемый ток - 600мА.

На лицевую панель выведены клеммы для включения прибора в измерительную цепь.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником: - напряжение, В - частота питающей сети, Гц	 230 50
Потребляемая мощность, В-А, не более	10
Количество входов (ток, напряжение)	2
Входное сопротивление при измерении напряжения до 400В, не менее	560 кОм
Входное сопротивление при измерении напряжения до 40В, не менее	56 кОм
Сопротивление измерительного шунта	0,05 Ом

Пределы измерения: - активная мощность, Вт - реактивная мощность, Вар - полная мощность, ВА - напряжение (переменное), В -ток (переменный),мА - частота тока/напряжения, Гц -коэффициент мощности (cos ф)	 0,02... 240 0,02... 240 0,02... 240 10...400./ 1...40 2…600 45... 65 0... 1,000
Погрешность измерения напряжения, %, не более	±1,0
Погрешность измерения тока, %, не более	±1,0
Погрешность измерения мощности, %, не более	±2,0
Погрешность измерения частоты, %, не более	±1,0
Погрешность измерения cos ф,% , не более	±2,5

При измерении мощности рекомендуется перед включением в схему устанавливать предел измерения напряжения в положение «10В...400В», если измеряемое напряжение имеет значение менее 10В, то необходимо переключиться на предел измерения «1...40В». В этом диапазоне необходимо учитывать множитель «0,1» для показаний напряжения и мощности. Это отображается на передней панели в виде светящихся светодиодов.

Необходимо иметь в виду, что большая точность обеспечивается при значениях которые находятся ближе к верхней шкале диапазона. (Например, при измерении напряжения от 10В до 39.99В лучше пользоваться диапазоном напряжений 1В...40В).

ВНИМАНИЕ!

1) *Запрещается* устанавливать тумблер диапазона измерений в положение «1...40В» при измерении напряжений более 40В, а также запрещается производить манипуляции с тумблером диапазона измерений при поданном напряжении более 40В.

2) *Запрещается* удерживать нажатую клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» более 5 сек, т.к. в этом случае может произойти сбой в настройках программы. Если это произошло, то для восстановления следует произвести следующие операции:

После нажатия и удержания кнопки «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» более 5 сек на верхнем индикаторе появляется надпись « n-tr », а на среднем появится число «100». Если это число не равно 100, то необходимо поочередно кратковременно нажимать клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ», до появления значения «100». После этого нажать клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» и удерживать её более 5 сек, до появления надписи «YES».

.1.4 ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Однофазный источник питания предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков учебных лабораторных комплексов.

Модуль содержит в своем составе:

- стабилизированный регулируемый в пределах 0...12 В, 0,5А источник постоянного тока с защитой от перегрузок по току Е1.Источник оборудован цифровым вольтметром;
- источник переменного тока 12В х 0,2А с внутренней защитой от перегрузок по току Е2;
- стабилизированный регулируемый в пределах 0...12 В., 0,5А источник постоянного тока с внутренней защитой от перегрузок по току Е3.
- Источник переменного тока 220В х16А.

Источники (Е1-Е3) имеют гальваническую развязку друг от друга и от питающей сети 220В/50Гц. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

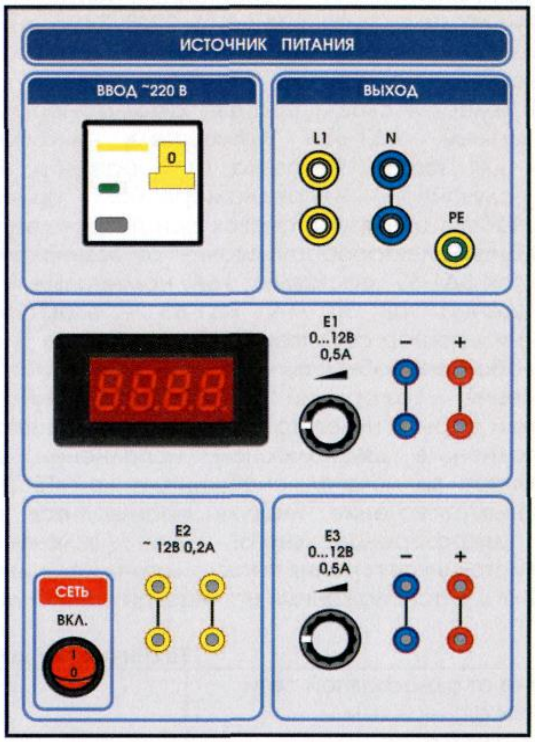


Рисунок .1.4 - Источник питания

Модуль имеет в своем составе автоматический выключатель дифференциальный ВД1-63. Выключатель дифференциальный предназначен для защиты человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждении изоляции, а также для защиты электрооборудования от возникновения пожара. Номинальный ток ВД1-63 составляет 16А, номинальный отключающий дифференциальный ток 30 мА. ВД1-63 - электромеханическое устройство, не имеющее собственного потребления электроэнергии, сохраняет работоспособность, т.е. осуществляет защиту от электропоражений и возгораний при любых колебаниях напряжения в сети и даже при обрыве нулевого рабочего проводника. Выключатель ВД1-63 выполнен в двухполюсном исполнении. Для контроля работоспособности выключатель снабжен кнопкой «ТЕСТ».

Включение/отключение модуля производится при помощи выключателя дифференциального. Для включения/выключения низковольтных источников питания предусмотрен отдельный клавишный выключатель «Вкл.», расположенный на лицевой панели модуля.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками:	230±10%
- напряжение, В	16
- ток, А, не более	50+0,5
Выходные:	220±10%
- напряжение, В	16
Устройства защиты	Выключатель
Номинальный ток нагрузки, А	16
Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	30
Параметры вторичных источников:	
Источник Е1:	
- регулируемое постоянное напряжение, В	0...+12
- ток нагрузки, А	0,5
- индикация	цифровая
Источник Е2:	
- переменное напряжение, В	~12
- ток нагрузки, А	0,2

Клеммы: - фазный провод L1	2

1.5 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

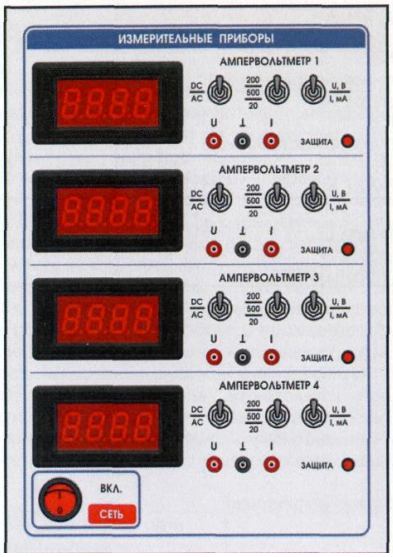


Рисунок 1.5 - Измерительные приборы

Модуль содержит цифровые измерительные приборы: четыре ампервольтметра постоянного/переменного тока с соответствующими гнездами для включения в измерительную цепь, выведенными на лицевую панель. Выбор функционального назначения прибора осуществляется с помощью микротумблеров «U,B/I,мА». В верхнем положении он выполняет функцию вольтметра, а в нижнем - амперметра. Выбор диапазона измерения ампервольтметров 20, 200 и 500 В/мА производится при помощи микротумблеров, имеющих три фиксированных положения (верхнее положение - 200, среднее - 500, нижнее - 20).

Род измеряемого тока прибора (переменный или постоянный) выбирается тумблерами DC/AC (верхнее положение (DC) -постоянный ток или напряжение, нижнее положение (AC) - переменный ток или напряжение). Погрешность измерения токов и напряжений - 2,5%. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл.», расположенным на лицевой панели.

Все миллиамперметры имеют встроенные схемы защиты шунтов от прямой подачи напряжения без последовательной нагрузки. В случае протекания повышенного тока через шунт (более 1А), он отключается от цепи путем размыкания на время около 4сек.

При измерении постоянного тока или напряжения гнездо красного цвета соответствует полярности «плюс». Гнездо черного цвета - полярности «минус».

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
Напряжение, В	230
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, ВА, не более	20
Количество цифровых вольтметров	4
Количество цифровых амперметров	4

1.6. МУЛЬТИМЕТРЫ

Примечание. В техническом описании и методических указаниях показано использование мультиметров типа MY61...MY64. В данном варианте стенда используются мультиметры типа MY63 .Изменение типа мультиметра не оказывает существенного влияния на понимание процессов, происходящих при проведении экспериментов и лабораторных работ.

Модуль представляет собой блок из двух мультиметров. Мультиметры имеют несъемную конструкцию и свои собственные, гальванически развязанные источники питания от сети 220В/50Гц. Мультиметр предназначен для измерения величины силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления и коэффициента усиления биполярных транзисторов. Высокое входное сопротивление не вносит погрешности при измерениях величин. Выбор пределов измерения величин производится вручную путем установки нужного положения многопозиционного переключателя.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл», расположенным на лицевой панели.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником: - напряжение, В	220 50
Режим выбора пределов измерения	ручной

Количество измерений в секунду	2-3
Постоянное напряжение U=	0,1мВ- 1000В
Переменное напряжение U~	1мВ-750В
Переменный ток I~	10 мкА - 1 0 А
Постоянный ток I=	0,1 мкА-10 А
Диапазон частот по переменному току	40- 1000Гц
Сопротивление Ω	0,1 Ом-20Мом
Входное сопротивление R	10МОм
Диод-тест	есть
Автовыключение	~ 15 мин
Режим «прозвонка»	<50Ом

Рисунок 1.6 - Мультиметры

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

Для измерения трех базовых электрических величин (тока, напряжения и омического сопротивления) используется мультиметр. Мультиметр является основным измерительным инструментом в слаботочных системах.

Мультиметр, в общем случае, имеет следующие режимы:

- Измерение переменного напряжения, пределы измерений до 600 В;
- Генератор прямоугольных импульсов;
- Измерение силы тока для постоянного напряжения;
- Измерение постоянного тока до 10 А;
- Проверка транзисторов;
- Прозвонка для определения целостности кабеля;
- Измерение сопротивления пределы измерений 200 Ом, 2000 Ом, 20 кОм,200 кОм, 2000 кОм, 200МОм;

- Измерение постоянного напряжения пределы измерений 200 мВ, 2000 мВ, 20В, 200 В, 1000 В.

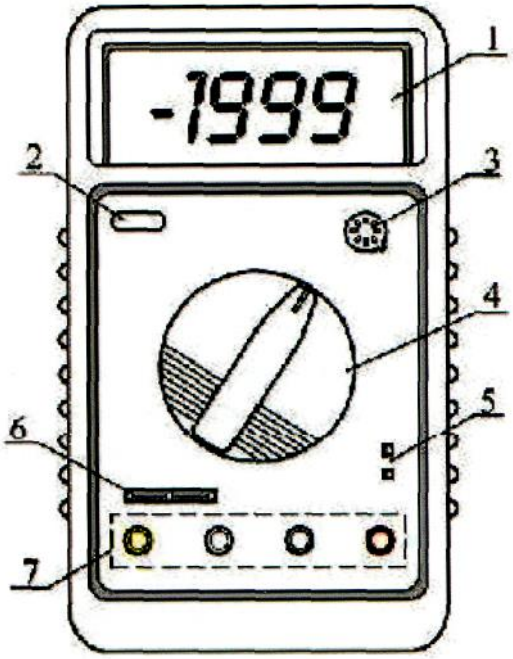


Рис. 1.6.1 Лицевая панель мультиметра:

1 -дисплей; 2 - выключатель питания; 3 - гнездо для проверки транзисторов; 4 -переключатель режимов; 5 - разъем для подключения термопары; 6 - разъем для подключения конденсатора; 7 - входы для измерения тока, напряжения, сопротивления

Рис. 1.6.2 Переключатель режимов мультиметра

Рис. 1.6.3 Измерительные входы мультиметра:

10 А - вход для измерения тока до 10 А; mA - вход для измерения тока до 200 мА; COM - общий вход (земля); VΩHz - вход для измерения напряжения и сопротивления

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Никогда не превышайте максимально допустимых значений входных сигналов, указанных в спецификации для каждого диапазона измерений.

Не касайтесь открытых гнезд мультиметра, когда он подключен к измеряемой схеме.

Если порядок измеряемой величины заранее не известен, установите переключатель диапазонов на максимальное значение.

Всегда отключайте щупы от измеряемой схемы при смене функции работы прибора.

При проведении измерений в телевизорах или импульсных блоках питания всегда помните, что там могут присутствовать высоковольтные импульсы напряжения, которые могут вывести прибор из строя.

Никогда не проводите измерение величины сопротивлений во включенных схемах.

Никогда не измеряйте емкость конденсаторов, не убедившись, что они полностью разряжены.

Будьте всегда осторожны при работе с напряжениями более =60В или -30 В. При проведении измерений держите пальцы за защитной кромкой щупов.

Общие принципы работы с мультиметром

1. Переключения между режимами работы мультиметра производятся с помощью поворотного переключателя (рис1.6.1). По окончанию измерений необходимо установить переключатель в положение OFF, для предотвращения разряда батареи.
2. Не касаться оголенной части щупов при работе с мультиметром, т.к.помимо возможности поражения электрическим током возрастает погрешность измерений.
3. Перед началом работы с мультиметром необходимо правильно выставлять пределы измерений. Чем ближе к измеряемому значению выставлен предел, тем точнее будет результат. Если же примерное значение измеряемой величины заранее не известно, то стоит начинать измерения с максимально возможного предела измерений. Появление на дисплее цифры «1» указывает на то, что следует увеличить диапазон измерений.

Внимание! Если положение переключателя режимов не изменяют в течение 10 минут, мультиметр автоматически выключается. Для продолжения работы необходимо дважды нажать кнопку 2 (рис.1.6.1).

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

До подключения мультиметра к измеряемой цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установить род тока (постоянный/переменный);
- выбрать диапазон измерений измеряемой величины;
- правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

Измерение силы тока с помощью мультиметра

Для измерения силы тока необходимо красный щуп подключить к входу «10А», черный - ко входу «COM». Если Вы уверены, что в цепи течет небольшая сила тока (до 200мА), то можно установить щуп во вход «mA». Подключение мультиметра в режиме амперметра в цепь необходимо производить последовательно (в разрыв цепи).

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «A=» или «A~» и подсоедините щупы последовательно с исследуемой нагрузкой.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного тока индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе.

Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение напряжения с помощью мультиметра

Для измерения напряжения необходимо красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный - ко входу «COM». Подключение мультиметра в режиме вольтметра в цепь необходимо производить параллельно.

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «V=» или «V~» и подсоедините щупы к источнику напряжения или исследуемой нагрузке.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного напряжения индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе. Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение сопротивления с помощью мультиметра

Для измерения электрического сопротивления участка цепи необходимо красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный - ко входу «COM». Установив переключатель в соответствующее положение произвести измерение, мультиметр при этом подключается параллельно участку цепи. Необходимо помнить, что в измеряемом участке цепи не должен протекать электрический ток, иначе мультиметр выйдет из строя.

Замечание:

- Если измеряемое сопротивление превышает максимальное значение выбранного предела измерения или вход не подсоединен к сопротивлению, дисплей покажет «1».
- При измерении величины сопротивления, находящегося в схеме, убедитесь, что схема выключена и конденсаторы полностью разряжены.
- При измерениях свыше 1 МОм прибор может устанавливать показания в течение

нескольких секунд. Это является нормальным при измерении больших сопротивлений.

- На диапазоне 200 МОм при замыкании щупов накоротко дисплей покажет 10 единиц. Это значение должно быть вычтено из полученного результата при измерении сопротивления на этом пределе. Например, при измерении сопротивления в 100 МОм дисплей покажет 101,0, и правильное значение будет 101,0-1,0= 100,0 МОм.

Измерение емкости конденсаторов

Установите поворотный переключатель на желаемый предел измерения емкости «F».

Перед установкой конденсатора в разъем для конденсаторов убедитесь, что конденсатор полностью разряжен.

При измерении емкости конденсатора с короткими выводами установите в разъем для конденсаторов переходной адаптер.

Проверка диодов

Соедините черный щуп с гнездом «COM», а красный с гнездом «VΩ Hz» прибора (полярность красного будет «+»).

Установите переключатель функций в положение «"▶|"» и соедините красный щуп с анодом, а черный щуп с катодом измеряемого диода. Дисплей покажет приблизительное прямое падение напряжения на диоде. При обратном подключении щупов к диоду дисплей покажет «1».

Проверка транзисторов

Установите поворотный переключатель в положение « h_{FE}».

Определите, какого типа проводимости - PNP или NPN - проверяемый транзистор и определите местоположение его эмиттера, коллектора и базы.

Установите выводы транзистора в соответствующие гнезда разъема на приборе.

Дисплей покажет приблизительный коэффициент h_{FE} транзистора при токе базы 10 мкА и напряжении коллектор-эмиттер 3,2 В.

«Прозвонка» с помощью мультиметра. Установить мультиметр в режим прозвонки, красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный - ко входу «COM». Для проверки работоспособности данного режима замкнуть два щупа между собой. При этом мультиметр издаст звуковой сигнал и покажет сопротивление близкое к нулю. Звуковой сигнал мультиметр издает при сопротивлении проверяемого участка цепи до 80 Ом. Для прозвонки необходимо подключить щупы к разным концам цепи, если обрыва нет, то мультиметр издаст звуковой сигнал или покажет сопротивление.

Измерение частоты

Соедините черный щуп с гнездом «COM», а красный с гнездом «VΩ Hz» прибора.

Установите поворотный переключатель в положение «кHz» и подсоедините щупы к источнику сигнала или исследуемой нагрузке.

Замечание:

- При входном сигнале свыше 10 В считывание возможно, но точность не гарантируется.
- При малых входных сигналах в условиях сильных внешних шумов предпочтительнее использовать экранированный кабель.

1.7 ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ. КОННЕКТОР/ БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА

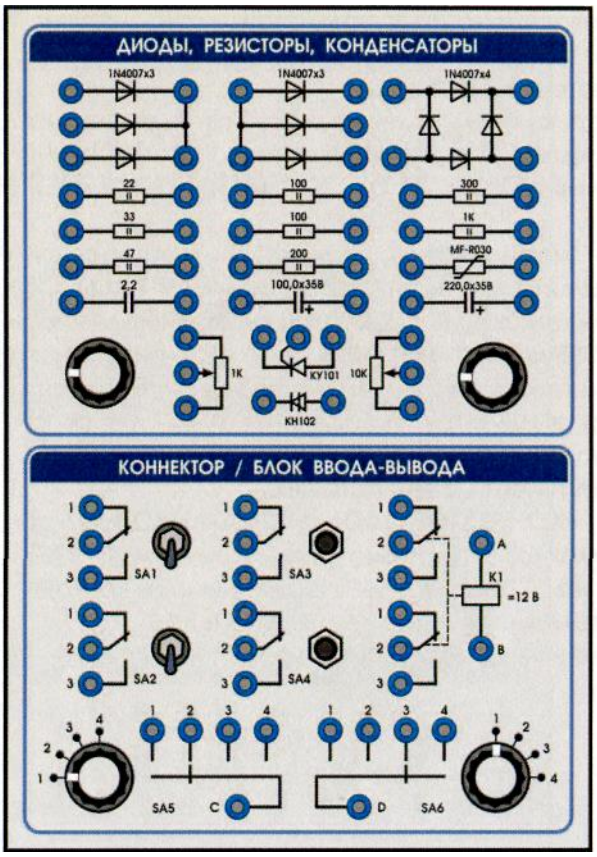


Рисунок .1.7 – Диоды, резисторы, конденсаторы

Блок «ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ» представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров выпрямительного диода, тиристора, динистора, различных типов выпрямителей, а также в качестве элементов для составления исследуемых схем

(постоянные и переменные резисторы, конденсаторы неполярные и полярные, самовосстанавливающийся предохранитель) и проведения лабораторных работ.

Модуль содержит:

-диоды для исследования трехфазных цепей:

- 1 N4007 x 3 (с общим катодом);
- 1 N4007 x 3 (с общим анодом);

- диоды для исследования однофазных цепей (диодный мост 1 N4007x4);

- самовосстанавливающийся предохранитель ЛЛР-РОЗО ;

-тиристор КУ101;

- динистор КН102;

- набор из 8-ми отдельных постоянных резисторов мощностью 2Вт каждый со следующими номинальными величинами сопротивлений: 22 Ом, 33 Ом, 47 Ом, 100 Ом (2 шт.), 200 Ом, 300 Ом, 1 кОм;

- два переменных резистора мощностью 0,5Вт каждый с номинальными величинами сопротивлений 1 кОм и 10 кОм;

- 3 конденсатора: 2,2 мкФ x 50В (керамический, неполярный), 100,ОмкФ x 35В и 220,0 мкФ x 35В (электролитические, полярные);

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Блок «КОННЕКТОР/БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА» представляет собой набор элементов : переключаемые тумблеры SA1, SA2. Кнопки SA3, SA4, реле на 12В с двумя перекидными контактами , 2 галетных переключателя на 4 положения SA5 и SA6.

Блок не имеет цепей питания.

1.8 РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. РЕЗИСТОРЫ/АКТИВНАЯ НАГРУЗКА. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

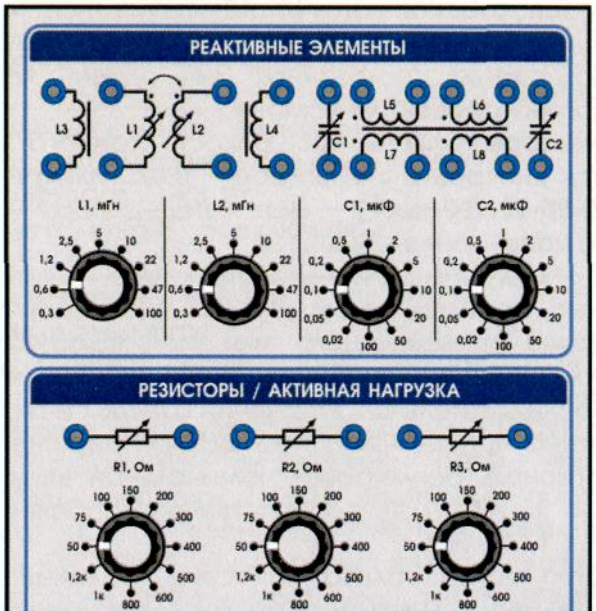


Рисунок 1.8 - Реактивные элементы. Резисторы/Активная нагрузка. Нелинейные элементы

Реактивные элементы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров реактивных элементов - катушек индуктивности, трансформаторов, конденсаторов. Также блок используется в качестве отдельных элементов для составления схем.

Блок содержит следующие реактивные элементы:

- взаимосвязанные катушки переменной индуктивности *L*1, *L*2 с диапазоном дискретных значений от 0,3мГн до 100мГн (0,3-0.6-1,2-2,5-5-10-22-47-100).

- катушки индуктивности *L*3 и *L*4, конструктивно выполненные на ферритовых сердечниках.

Индуктивность *L*3 = 10мГн, а *L*4 = 40мГн.

- трансформатор , выполненный на ферритовом сердечнике , состоит из 4-х одинаковых обмоток L5...L8 индуктивностью по 10мГн.

Ток максимальный для катушек *L*1...*L*8 - не более 500мА. Точка на схеме, показанная на одном конце катушки (*L*1, *L*2, *L*5...*L*8) обозначает начало обмотки.

- конденсаторы *C*1 и *C*2. Емкость каждого конденсатора устанавливается дискретно в диапазоне 0,02...100мкФ (0,02-0,05-0,1- 0,2-0,5-1-2-5-10-20-50-100 мкФ). Все конденсаторы - неполярные. Максимальное напряжение - 50В.

Катушки индуктивности конструктивно выполнены как взаимосвязанные, т.е. имеется возможность проводить эксперименты по исследованию повышающего или понижающего воздушного трансформатора, взаимосвязанных катушек, индуктивности с отводом при последовательном включении катушек и т.п.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Резисторы/Активная нагрузка

Блок представляет собой дискретно изменяемые при помощи галетных переключателей резисторы R1, R2, R3, предназначенные для использования в качестве добавочных сопротивлений в однофазных, трехфазных цепях переменного тока и цепях постоянного тока с регулированием вручную.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Технические характеристики блока «Резисторы/ Активная нагрузка»

Количество резисторов	3{R1,R2,R3]
Дискретность изменения номинальной величины сопротивления резисторов R1...R3, Ом	50/75/ 100/150/200 / 300 / 400 / 500 / 600/800/1000/1200
Номинальная мощность (при минимальном значении сопротивления равном 50 Ом) каждого из резисторов R1-R3, Вт	8
Ток коммутации галетного переключателя максимальный, мА	500

Блок не имеет цепей питания.

Нелинейные элементы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров следующих нелинейных элементов: полупроводникового диода (VD1), стабилитрона (VD2), диода Шоттки (VD3), диода защитного- супрессора (VD4), варикапа (VD5), фотодиода (VD6), светодиода (HL1), лампочки накаливания (HL2), фоторезистора (R1) , варистора (RU1), терморезистора с

отрицательным ТКС (РК1), терморезистора с положительным ТКС (РК2), а также в качестве отдельных элементов для составления различных исследуемых схем.

Блок содержит следующие нелинейные элементы :

- полупроводниковый диод 1N4007 (VD1);

- стабилитрон КС168 (VD 2);

- диод Шоттки 1N5822 (VD 3);

- диод защитный (супрессор) 1,5КЕ6V8СА (VD 4);

-варикап КВ127(VD 5);

- фотодиод - (входит в состав диодной оптопары АОД101) -(VD6)

- светодиод - (входит в состав диодной оптопары АОД101) -(HL1);

- лампочку накаливания -(входит в состав оптопары ОЭП13) -(HL2),

- фоторезистор - (входит в состав оптопары ОЭП13)-(R1);

- варистор FNR07K180-(RU1);

- терморезистор с отрицательным ТКС (термистор NTS) B57153S0330M000

- терморезистор с положительным ТКС (термистор PTS) B59901D60A4

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь. Блок не имеет цепей питания.

1.9 ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ. ТРАНЗИСТОРЫ

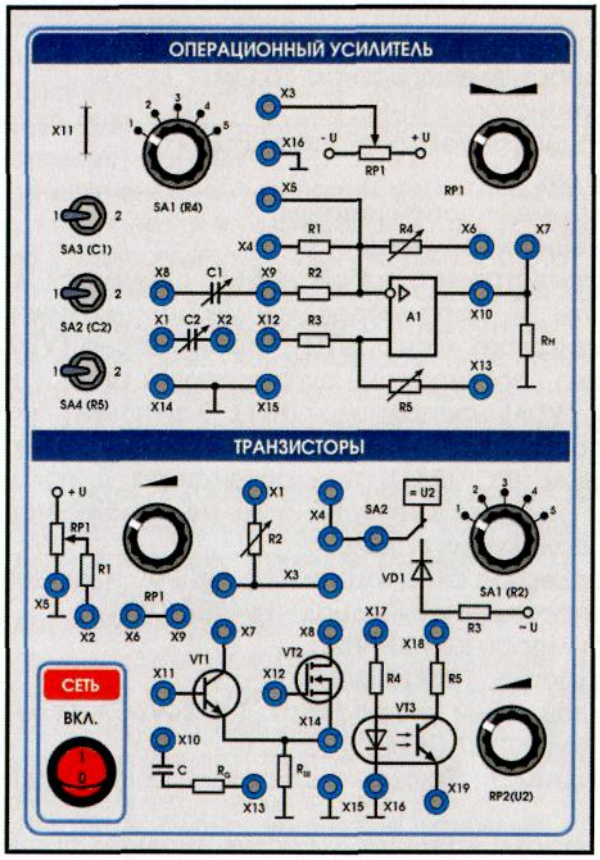


Рисунок 1.9 - Операционный усилитель. Транзисторы.

Операционный усилитель

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров аналоговых электронных устройств на операционных усилителях, таких как инвертирующий усилитель, активный фильтр нижних частот, интегратор, компаратор, симметричный мультивибратор, несимметричный мультивибратор.

Блок содержит:

-ОУ КР140УД608-А1;

- встроенный источник питания ±15В для питания ОУ;

- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP1, стабилизированный источник -5В...0...+5В, напряжение которого снимается с гнезда X3;

- постоянные резисторы: R1, R2 - 20кОм; R3 - 10кОм; Rн - 2кОм;

- резисторы дискретно изменяемые: SA1 (R4) имеет пять положений. Положения с 1 по 5 соответствуют сопротивлению: 20 кОм, 50 кОм, 100 кОм, 150 кОм, 200 кОм. Положение «1» SA4 (R5) соответствует сопротивлению 200кОм, положение «2» - 400кОм.

- конденсаторы дискретно переключаемые: положение «1» SA3 (C1) соответствует емкости 1500пФ, положение «2» - 10 нФ. Положение «1» SA2 (C2) соответствует емкости 6800пФ, положение «2» - 10 нФ. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

Транзисторы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик биполярных и полевых транзисторов, моделирования параметров каскадов на биполярном и полевом транзисторах, исследования характеристик диодно-транзисторной оптопары.

Блок содержит:

- транзистор биполярный VT1 - BC639;
- транзистор полевой VT2 - BS170;
- диодно-транзисторная оптопара VT3-AOT127A;

- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP1, источник тока базы и напряжения затвора транзисторов. Напряжение источника снимается с гнезда X2;
- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP2, стабилизированный источник U2. Напряжение снимается с гнезд X4 через переключатель SA2;
- встроенный нерегулируемый источник постоянного не сглаженного напряжения (положительная полуволна синусоиды 50Гц). Напряжение снимается с гнезд X4 через переключатель SA2;

- резистор R2, дискретно изменяемый, имеет пять положений. Положения с 1 по 5 соответствуют сопротивлению: 1 кОм, 1,2 кОм, 1,5 кОм, 1,8 кОм, 2,2 кОм.

- R1-300 Ом;R3-100 Ом; R4 -1 кОм; R5- 330 Ом.
- цепь RG (1кОм), C (4,7мкФ) представляют собой разделительный конденсатор и эквивалент выходного сопротивления источника сигнала;
- сопротивление шунта Rш составляет 10 Ом.

1.10 ЦИФРОВАЯ ТЕХНИКА

Модуль представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров базовых логических элементов (И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ), триггеров (RS и JK), двоичного четырехразрядного счетчика, регистра, дешифратора и мультиплексора. Модуль содержит:

- логические элементы И-НЕ (К155ЛА3), ИЛИ-НЕ (К155ЛЕ1), И (К155ЛИ1), ИЛИ (К155ЛЛ1), НЕ (К155ТЛ2), исключающее ИЛИ (К155ЛП5);
- D- триггеры (К155ТМ2), JK триггер (К155ТВ1);
- регистр (К155ИР1);
- мультиплексор (К155КП2);
- дешифратор (К155ИД4)
- генераторы прямоугольных импульсов ТТЛ уровня с фиксированными частотами: 0,1 кГц, 0,2кГц, 1,6кГц. Генераторы импульсов между собой не синхронизированы;
- формирователь постоянных логических ТТЛ уровней с устройством индикации. Формирование соответствующих уровней осуществляется при помощи переключателей SA1 и SA2;
- формирователь одиночных прямоугольных импульсов ТТЛ уровня с устройством индикации. Формирование соответствующих уровней осуществляется при помощи кнопок SB1 и SB2.

Рисунок 1.10 - Цифровая техника

Все входные и нагрузочные характеристики элементов блока соответствуют паспортным данным стандарта логики ТТЛ.

На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на лицевой панели.

3 Самостоятельная работа обучающихся

Подготовка современного специалиста предполагает, что в стенах института он овладеет методологией самообразования, самовоспитания, самосовершенствования. Это определяет важность активизации его самостоятельной работы. С целью организации данного вида учебных занятий необходимо в первую очередь использовать материал лекций и семинаров. Лекционный материал создает проблемный фон с обозначением ориентиров, наполнение которых содержанием производится студентами на семинарских занятиях после работы с учебными пособиями, монографиями и периодическими изданиями.

Самостоятельно изучается рекомендуемая литература, проводится работа с библиотечными фондами и электронными источниками информации, специальной литературой, статьями из профильных журналов. Реферируя и конспектируя наиболее важные вопросы, имеющие научно-практическую значимость, новизну, актуальность, делая выводы, заключения, высказывая практические замечания, выдвигая различные положения, студенты глубже понимают вопросы курса.

Подготовка к практическим занятиям, а также выполнение заданий для самостоятельной работы требует от студента навыков работы с литературными источниками:

- умение выделять главное в тексте;

- умение составлять опорную схему изученного материала, тезисный и развернутый план-конспект;

- свободное владение проработанным материалом;

- способность рассказать своими словами суть проблемы;

- умение объяснить и дать определение встречающимся в тексте новым научным терминам;

- умение находить в жизни ситуации, которые могут служить иллюстрацией теоретического материала, обсуждаемого на занятиях.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

Важной является готовность студента к восприятию в курсе сочетания философского, теоретического материала с конкретным практическим, направленным на освоение умений и навыков практической организации профессиональной деятельности в образовательном учреждении.

Подготовка к практическому занятию включает 2 этапа:

I - организационный;

II - закрепление и углубление теоретических знаний.

На первом этапе студент планирует свою самостоятельную работу, которая включает:

- уяснение задания на самостоятельную работу;

- подбор рекомендованной литературы;

- составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки. Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.

Второй этап включает непосредственную подготовку студента к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекции обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора.

Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.

Важно развивать умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал. Большое значение имеет совершенствование навыков конспектирования. Преподаватель может рекомендовать студентам следующие основные формы записи: план (простой и развернутый), выписки, тезисы. Результаты конспектирования могут быть представлены в различных формах.

План – это схема прочитанного материала, краткий (или подробный) перечень вопросов, отражающих структуру и последовательность материала. Подробно составленный план вполне заменяет конспект.

Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:

- план-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении;

- текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника;

- свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом;

- тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

Примеры вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Полупроводники. Основные положения теории электропроводности. Собственная и примесная проводимость полупроводника.
2. p-n переход. Электрические процессы в p-n переходе.
3. Вольтамперная характеристика p-n перехода. Диоды, классификация диодов.
4. Пробой p-n перехода. Стабилитроны. Их основные параметры, схемное обозначение. Параметрический стабилизатор напряжения.
5. Емкость p-n перехода. Варикапы.
6. Биполярные транзисторы. Устройство, основные параметры, схемное обозначение. Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора.
7. Электрические процессы в биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой.
8. Биполярный транзистор как четырехполюсник. Система Н-параметров, их смысл. Схема замещения биполярного транзистора.
9. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом. Устройство, принцип работы, вольтамперные характеристики, основные параметры, схемное обозначение.
10. МДП транзистор. Устройство, принцип работы, вольтамперные характеристики, основные параметры, схемное обозначение.
11. Усилители электрических сигналов. Основные понятия, определения , параметры и разновидности усилителей.
12. Обратная связь в усилителях.
13. Простейший усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Схема. Выбор и назначение элементов.
14. Операционные усилители и их основные характеристики.
15. Реализация типовых звеньев на операционном усилителе.
16. Вторичные источники электропитания. Назначение, принципы построения.
17. Вторичные источники электропитания. Выпрямители.
18. Вторичные источники электропитания. Стабилизаторы напряжения.
19. Импульсные устройства. Параметры импульсов. Представление непрерывных сигналов с помощью импульсов.
20. Логические элементы. Схемное обозначение. Таблицы истинности.
21. Особенности логических элементов различный серий (ДТЛ, ТТЛ, ТТЛШ, кМОП)
22. Комбинационные устройства . Дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры.
23. Последовательные устройства. Триггеры, регистры, счетчики.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

– Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем

качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
    - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
    - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	**Неделя**	**Балл**	
		Минимум*	Максимум
Текущая аттестация	**1-16**	**36**	**60**
Контрольная точка № 1	**7-8**	**18**	**30**
Контрольная работа		18	30
Контрольная точка № 2	**15-16**	**18**	**30**
Контрольная работа		18	30
Промежуточная аттестация	**-**	**24**	**40**
Зачет	-		
Зачетный билет	-	24	40
ИТОГО по дисциплине		**60**	**100**

* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

5. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

Сумма баллов	***Оценка по 4-х балльной шкале***	***Оценка ECTS***	***Требования к уровню освоения учебной дисциплины***
90-100	*5- «отлично»/ «зачтено»*	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	4 - *«хорошо»/ «зачтено»*	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
75-84		C	
70--74		D	
65-69	*3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»*		Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64		*E*	
0-59	2 - *«неудовлетворительно»/ «не зачтено»*	*F*	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная учебная литература:

1. Иванов И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — 11-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие- Ростов н/Д:Феникс, 2017. (30 экз.)
3. Марченко А.Л. Основы электроники: Учеб. пособие для вузов -М: ДМК Пресс,2020

б) дополнительная учебная литература:

1. Новожилов О. П**.** Электротехника и электроника : учеб. для студ. вузов / О. П. Новожилов. - М. : Гардарики, 2008. - 653 с. : ил. (100 экз.)
2. **Электротехника и электроника** : учеб. пособие для вузов / В. В. Кононенко [и др.] ; ред. В. В. Кононенко. - 4-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 778 с. : ил. - (Высшее образование) (1 экз.)
3. Прянишников В.А. Электроника Полный курс лекций. -Санкт-Петербург.: Корона принт, 2017

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

http://ibooks.ru/
http://e.lanbook.com/
http://www.biblio-online.ru/
http://kuperbook.biblioclub.ru
http://www.studentlibrary.ru
http://library.mephi.ru

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Отделение ядерной физики и технологий

Одобрено на заседании
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для студентов

по дисциплине

Электроника

название дисциплины

для направления подготовки

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

образовательная программа

Материалы фотоники

Форма обучения: очная

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины «Электроника»– комплекс рекомендаций и разъяснений, позволяющий обучающимся оптимальным образом организовать процесс изучения как теоретического учебного материала дисциплины, так и подготовки к практическим занятиям и/или лабораторным работам.

Цель дисциплины – усвоение базовых знаний по основным разделам электроники, необходимые для подготовки в соответствии с выбранной специальностью;

Задачи дисциплины:

- развитие навыков организации и проведения измерений в электронных цепях с учетом их особенностей;
- совершенствование практики анализа параметров цепей с использованием основополагающих методов решения задач на основе законов Ома и Кирхгофа, а также эквивалентных преобразований;
- изучение основ физики полупроводников, их структуры и сферы применения;
- получение сложившихся представлений об элементной базе электронных схем и устройств, применяемых в составе средств электронной техники.
- обретение компетентности в функционировании основных электронных устройств (усилители, источники вторичного электропитания, генераторы);

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части и относится к общепрофессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика», «Линейная алгебра», «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения»,»Электротехника».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: выполнение всех видов практики и выпускной квалификационной работы.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 семестре.

Основными видами учебной работы по данной дисциплине являются лекции, практические и лабораторные занятия, самостоятельная работа обучающихся. Для успешного освоения дисциплины студенты необходимо изучить лекционный материал и рекомендуемую литературу, отработать изученный материал на практических и лабораторных занятиях, выполнить задания для самостоятельной работы.

1 Лекции

Лекция – это важный источник информации по каждой учебной дисциплине. Она ориентирует студента в основных проблемах изучаемого курса, направляет самостоятельную работу над ним.

Содержание лекционного курса по дисциплине «Электроника» представлено в таблице

Неделя	№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-8.	1	Элементная база современных электронных устройств	Представление о зонной теории полупроводников. Электронная и дырочная проводимость. Идеальный p-n переход и его ВАХ. Пробой p-n перехода. Емкость p-n перехода. Полупроводниковые диоды. Классификация и система обозначений полупроводниковых диодов. Выпрямительные, универсальные, импульсные, туннельные диоды, стабилитроны, варикапы. Назначение, ВАХ, параметры и область применения диодов. Условие графического обозначения диодов на схемах. Биполярные транзисторы. Устройство и разновидность транзисторов. Физические процессы в транзисторах. Эффект модуляции толщины базы. Схемы включения транзисторов. Входные и выходные ВАХ. Схемы замещения транзистора. Классификация и система обозначений биполярных транзисторов. Условное графическое изображение транзисторов на схемах. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом и МДП (МОП) структурой. Устройство, принцип действия, ВАХ, параметры, область применения. Классификация и система обозначений полевых транзисторов. Условное графическое обозначение на схемах. Оптоэлектронные приборы. Источники оптического излучения. Приемники оптического излучения. Оптроны. Устройства отображения информации.
9-12	2	Усилители электрических сигналов.	Назначение, классификация, основные характеристики и параметры. Режимы работы усилителей. Обратная связь в усилителях и стабилизация режимов работы. Однокаскадные усилители на транзисторах. Многокаскадные усилители, особенности выходных каскадов усилителей. Дифференциальный каскад. Источники тока для дифференциального каскада. Операционные усилители (ОУ). Идеальный и реальный ОУ. Параметры реальных ОУ. Основные схемы включения ОУ. Примеры применения.

13-14	3	Источники вторичного питания	Назначение и классификация. Первичные источники питания. Структура, параметры и характеристики вторичных источников питания. Выпрямители: однополупериодные, двухполупериодные и выпрямители с умножением напряжения. Сглаживающие фильтры. Стабилизация напряжения (параметрические, компенсационные и импульсные стабилизаторы). Интегральные стабилизаторы напряжения.
15-16	4	Импульсные и автогенераторные устройства.	Преимущества передачи информации в виде импульсов. Ключевой режим работы транзистора. Нелинейный режим работы операционного усилителя. Компараторы. Мультивибратор на операционном усилителе. Генераторы линейно изменяющихся напряжений. Генераторы гармонических колебаний

Для лекций по каждому предмету должна быть отдельная тетрадь. Прежде всего, запишите имя, отчество и фамилию лектора, оставьте место для списка рекомендованной литературы, пособий, справочников.

Будьте внимательны, когда лектор объявляет тему лекции, объясняет Вам место, которое занимает новый предмет в Вашей подготовке и чему новому Вы сможете научиться. Опытный студент знает, что, как правило, на первой лекции преподаватель обосновывает свои требования, раскрывает особенности чтения курса и способы сдачи зачета или экзамена.

Отступите поля, которые понадобятся для различных пометок, замечаний и вопросов.

Запись содержания лекций очень индивидуальна, именно поэтому трудно пользоваться чужими конспектами.

Не стесняйтесь задавать вопросы преподавателю. Чем больше у Вас будет информации, тем свободнее и увереннее Вы будете себя чувствовать.

Базовые рекомендации:

- не старайтесь дословно конспектировать лекции, выделяйте основные положения, старайтесь понять логику лектора;

- точно записывайте определения, законы, понятия, формулы и т.д.;

- передавайте излагаемый материал лектором своими словами;

- наиболее важные положения лекции выделяйте подчеркиванием;

- создайте свою систему сокращения слов;

- привыкайте просматривать, перечитывать перед новой лекцией предыдущую информацию;

- дополняйте материал лекции информацией;

- задавайте вопросы лектору;

- обязательно вовремя пополняйте возникшие пробелы.

Правила тактичного поведения и эффективного слушания на лекциях:

- слушать (и слышать) другого человека – это настоящее искусство, которое очень пригодится в будущей профессиональной деятельности;.

- если преподаватель «скучный», но Вы чувствуете, что он действительно владеет материалом, то скука – это уже Ваша личная проблема (стоит вообще спросить себя, а настоящий ли Вы студент, если Вам не интересна лекция специалиста?).

Если Вы в чем-то не согласны (или не понимаете) с преподавателем, то совсем не обязательно тут же перебивать его и, тем более, высказывать свои представления, даже если они и кажутся Вам верными. Перебивание преподавателя на полуслове – это верный признак невоспитанности. А вопросы следует задавать либо после занятий (для этого их надо кратко записать, чтобы не забыть), либо выбрав момент, когда преподаватель сделал хотя бы небольшую паузу, и обязательно извинившись

2. **Практические занятия.**

Практические занятия являются важной частью учебного процесса в вузе. Они проводятся с целью закрепления лекционного материала, овладения понятийным аппаратом предмета, методами и приёмами исследования, изучаемыми в рамках учебной дисциплины. Главной целью такого рода занятий является научиться применению теоретических знаний на практике.

Содержание практических занятий по дисциплине «Электроника» представлено в таблице.

Неделя	№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-6	1	Элементная база современных электронных устройств	Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы.
7-12	2	Усилители электрических сигналов	Усилительные устройства
13-16	3	Источники вторичного питания	Источника вторичного питания

На практическом занятии обсуждаются теоретические положения изучаемого материала, уточняются позиции авторов научных концепций, ведется работа по осознанию студентами категориального аппарата изучаемой дисциплины, определяется и формулируется отношение учащихся к теоретическим проблемам науки, оформляется собственная позиция будущего специалиста. Форма работы – диалог: и студенты, и преподаватель вправе: задавать друг другу вопросы, которые возникли и могут возникнуть у них в процессе изучения и обсуждения материала, делиться своими сомнениями, наблюдениями, приводить доводы «за» и «против» той или иной позиции, обосновывать возможность применения на практике тех или иных теоретических положений.

Для подготовки к практическому занятию студентам рекомендуется:

- изучить вопросы, которые будут обсуждаться на занятии;

- изучить список основной и дополнительной литературы, где студенты могут найти ответы на вопросы, обратить внимание на категории, которыми оперирует автор, выписать основные понятия и систематизировать их;

- разработать блок-схему, в которой найдут отражение все изучаемые вопросы темы;

- составить развернутый план изучаемого материала, который может быть использован для ответа на занятии.

В начале занятия студенты под руководством преподавателя более глубоко осмысливают теоретические положения по теме занятия, раскрывают и объясняют основные положения публичного выступления. В процессе творческого обсуждения и дискуссии вырабатываются умения и навыки использовать приобретенные знания для различного рода ораторской деятельности.

Ввиду трудоемкости подготовки к практическому занятию преподаватель может предложить студентам алгоритм действий, рекомендовать еще раз внимательно прочитать записи лекций и уже готовый конспект по теме семинара, тщательно продумать свое устное выступление.

На практическом занятии каждый его участник должен быть готовым к выступлению по всем поставленным в плане вопросам, проявлять максимальную активность при их рассмотрении. Выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументировано. Преподаватель следит, чтобы выступление не сводилось к репродуктивному уровню (простому воспроизведению текста), не допускается и простое чтение конспекта. Необходимо, чтобы выступающий проявлял собственное отношение к тому, о чем он говорит, высказывал свое личное мнение, понимание, обосновывал его и мог сделать правильные выводы из сказанного. При этом студент может обращаться к записям конспекта и лекций, непосредственно к первоисточникам, использовать знание художественной литературы и искусства, факты и наблюдения современной жизни и т. д. Вокруг такого выступления могут разгореться споры, дискуссии, к участию в которых должен стремиться каждый.

В заключение преподаватель подводит итоги практического занятия. Он может (выборочно) проверить конспекты студентов и, если потребуется, внести в них исправления и дополнения.

Примеры задач с решениями для практических занятий по курсу «Электроника»

1. Выпрямительные диоды

Задача 1.1. В однополупериодном выпрямителе (рис. 1.1) на нагрузочном резисторе сопротивлением $R_н$ = 2кОм среднее значение выпрямленного напряжения $U_н$ =150В. Напряжение сети U_1 =220В. Определить максимальное значение прямого тока $I_{пр.м}$, коэффициент трансформации трансформатора n и необходимые параметры выпрямительного полупроводникового диода, выбрать соответствующий тип диода из таблицы 1. Сопротивление открытого диода и ток закрытого диода считать равными нулю.

Решение. В однополупериодном выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения $U_н = U_{2\,м} / \pi$, где $U_{2\,м}$ –амплитудное значение выходного напряжения трансформатора. Откуда $U_{2\,м} = \pi \cdot U_н$ =3,14·150 = 471В. Действующее значение напряжения $U_2 = U_{2\,м} / \sqrt{2}$ = 334В.

Средние значения прямого тока диода и тока нагрузки одинаковы $I_{пр.\,ср.} = I_н = U_н / R_н$ =75мА.

$I_{пр.\,ср.} = I_н = I_{пр.\,м} / \pi$, где $I_{2\,м}$ –максимальное значение (амплитуда) прямого тока.

Откуда $I_{пр.\,м} = \pi \cdot I_н$ =3,14·75 = 236мА.

Коэффициент трансформации трансформатора $n = U_1 / U_2$ = 220 / 334 = 0,66.

При выборе выпрямительных диодов в качестве основных необходимых параметров выступают значения среднего прямого тока $I_{пр.\,ср.}$ и обратного максимального напряжения на диоде $U_{обр\,м} = U_{2\,м}$. В нашем примере $I_{пр.\,ср.}$ = 75мА, $U_{обр\,м}$ = 471В. Из таблицы выбираем диод марки Д237

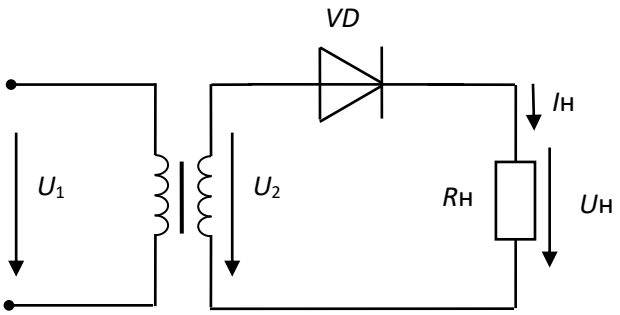


Рис.1.1

.

Задача 1.2. В мостовом выпрямителе (рис. 1.2) на нагрузочном резисторе сопротивлением $R_н$ = 1кОм среднее значение выпрямленного напряжения $U_н$ =100В. Напряжение сети U_1 =220В. Определить коэффициент трансформации трансформатора n и необходимые параметры выпрямительных полупроводниковых диодов, выбрать соответствующий тип диода из таблицы 1. Сопротивление открытого диода и ток закрытого диода считать равными нулю.

Решение. В мостовом выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения $U_н = 2 \cdot U_{2\,м} / \pi$, где $U_{2\,м}$ – амплитудное значение выходного напряжения трансформатора. Откуда $U_{2\,м} = \pi \cdot U_н / 2 = 3{,}14 \cdot 100 / 2 = 157$В. Действующее значение напряжения $U_2 = U_{2\,м} / \sqrt{2} = 111$В.

Среднее значение тока нагрузки $I_н = U_н / R_н$ =100 мА.

Среднее значение прямого тока диода $I_{д\,пр\,ср} = I_н / 2$ =50 мА.

Коэффициент трансформации трансформатора $n = U_1 / U_2 = 220 / 111 = 1{,}98$.

При выборе выпрямительных диодов в качестве основных необходимых параметров выступают значения среднего прямого тока диода $I_{д\,пр.\,ср.}$ и обратного максимального напряжения на диоде $U_{обр\,м} = U_{2\,м}$. В нашем примере $I_{д\,пр.\,ср.}$ = 50мА, $U_{обр\,м}$ = 157В. Из таблицы выбираем диод марки Д207

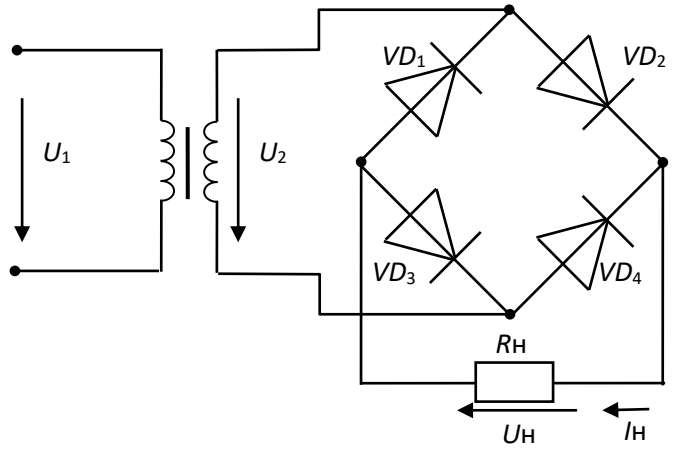


Рис. 1.2

Таблица 1

Марка	Д202	Д207	Д217	Д226	Д237	Д242	Д248	Д302	КД102	КД202	КД210

диода											
$I_{пр.ср.}$, мА	400	100	100	300	100	5000	5000	1000	100	1000	5000
$U_{обр. макс.}$, В	100	200	800	300	600	100	600	200	250	100	800

2. Стабилитроны

Задача 2.1. Кремневый стабилитрон КС156 подключен по схеме рис.2.1, где $R_н$ = 2 кОм. Параметры стабилитрона: напряжение стабилизации $U_{ст}$ = 5,6 В, минимальный ток стабилизации $I_{ст. мин}$ =3 мА, максимальный ток стабилизации $I_{ст. макс}$ =55 мА. Определить сопротивление резистора $R_Б$, если $U_{вх}$ изменяется от $U_{вх. мин}$ =10В до $U_{вх. макс}$ =20В.

Решение. Балластное сопротивление $R_Б$ определим для средних значений входного напряжения $U_{вх. ср.}$ и тока стабилизации $I_{ст. ср.}$

$$R_Б = (U_{вх. ср.} - U_{ст}) / (I_{ст. ср.} + I_н),$$

где

$$U_{вх. ср} = (U_{вх. мин.} + U_{вх. макс}) / 2 =(10+20)/2=15В,$$

$$I_{ст. ср} = (I_{ст. мин.} + I_{ст.. макс}) / 2 =(3+55)/2=29мА,$$

$$I_н = U_{ст} / R_н. =5,5/2000= 2,75мА.$$

В результата получаем, что $R_Б$ = (15 – 5,6) / ((29 + 2,75)$*10^{-3}$) = 296 Ом.

Выбираем $R_Б$ = 300Ом.

Задача 2.2. Для схемы и условий задачи 2.1 определить, будет ли при выбранном значении $R_Б$ обеспечена стабилизация во всем диапазоне изменения $U_{вх}$.

Решение. Найдем минимальное и максимальное входные напряжения, при которых в стабилитроне текут соответственно минимальный и максимальный токи стабилизации

$$U_{вх. мин} = U_{ст} + R_Б (I_н + I_{ст.. мин}) =5,6 + 300 (2,75 + 3) *10^{-3} ≈ 23В,$$

$$U_{вх. макс} = U_{ст} + R_Б (I_н + I_{ст.. макс}) =5,6 + 300 (2,75 + 55) *10^{-3} ≈ 7,3В.$$

Из результатов следует, что в данной схеме стабилизация обеспечивается при изменении $U_{вх}$ от 7,3 до 23 В.

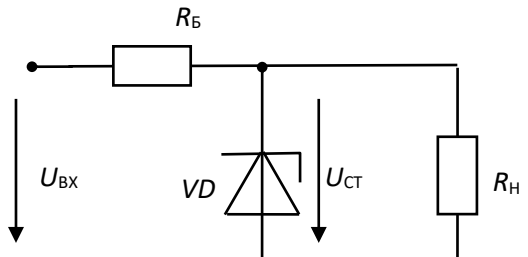


Рис. 2.1

3.Биполярные транзисторы

Задача 3.1. Найти *h*-параметры транзистора КТ312Б по его характеристикам (рис. 3.1,а,б), соответствующим схеме с общим эмиттером, для $U_{КЭ}$ =5В, $I_Б$ = 0,4 мА. Нарисовать схему замещения транзистора.

Решение. Система уравнений, показывающая связь напряжений и токов транзистора с *h*-параметрами для схемы с общим эмиттером, имеет вид:

$$U_{БЭ} = h_{11Э} I_Б + h_{12Э} U_{КЭ}$$

$$I_К = h_{21Э} I_Б + h_{22Э} U_{КЭ}.$$

По входным характеристикам (Рис.3.2.а) для $U_{КЭ}$ =5В, $I_Б$ = 0,4 мА (точек А, Е и D) находим входное сопротивление транзистора

$$h_{11Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_Б = (U_{БЭ\,Е} - U_{БЭ\,А}) / (I_{Б\,Е} - I_{Б\,А}) = 0{,}06/(0{,}2 \cdot 10^{-3}) = 150 \text{ Ом}$$

и коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta U_{КЭ} = (U_{БЭ\,А} - U_{БЭ\,D}) / (U_{КЭ\,А} - U_{КЭ\,D}) = 0{,}18/5 = 0{,}036.$$

По выходным характеристикам(Рис.3.2.б) (точки А, В и С) находим коэффициент передачи тока

$$h_{21Э} = \Delta I_К / \Delta I_Б = (I_{К\,В} - I_{К\,А}) / (I_{Б\,В} - I_{Б\,А}) = 4 / 0{,}1 = 40$$

и выходную проводимость транзистора

$$h_{22Э} = \Delta I_К / \Delta U_{КЭ} = (I_{КС} - I_{К\,А}) / (U_{КЭ\,С} - U_{КЭ\,А}) = 2 \cdot 10^{-3} / 5 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ См}.$$

Схема замещения транзистора приведена на рис.3.1.

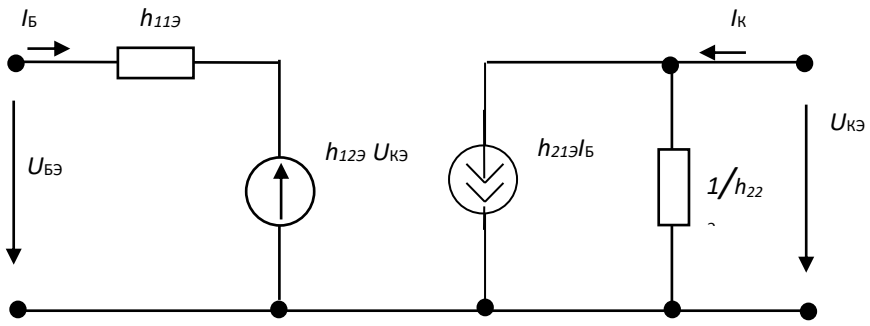
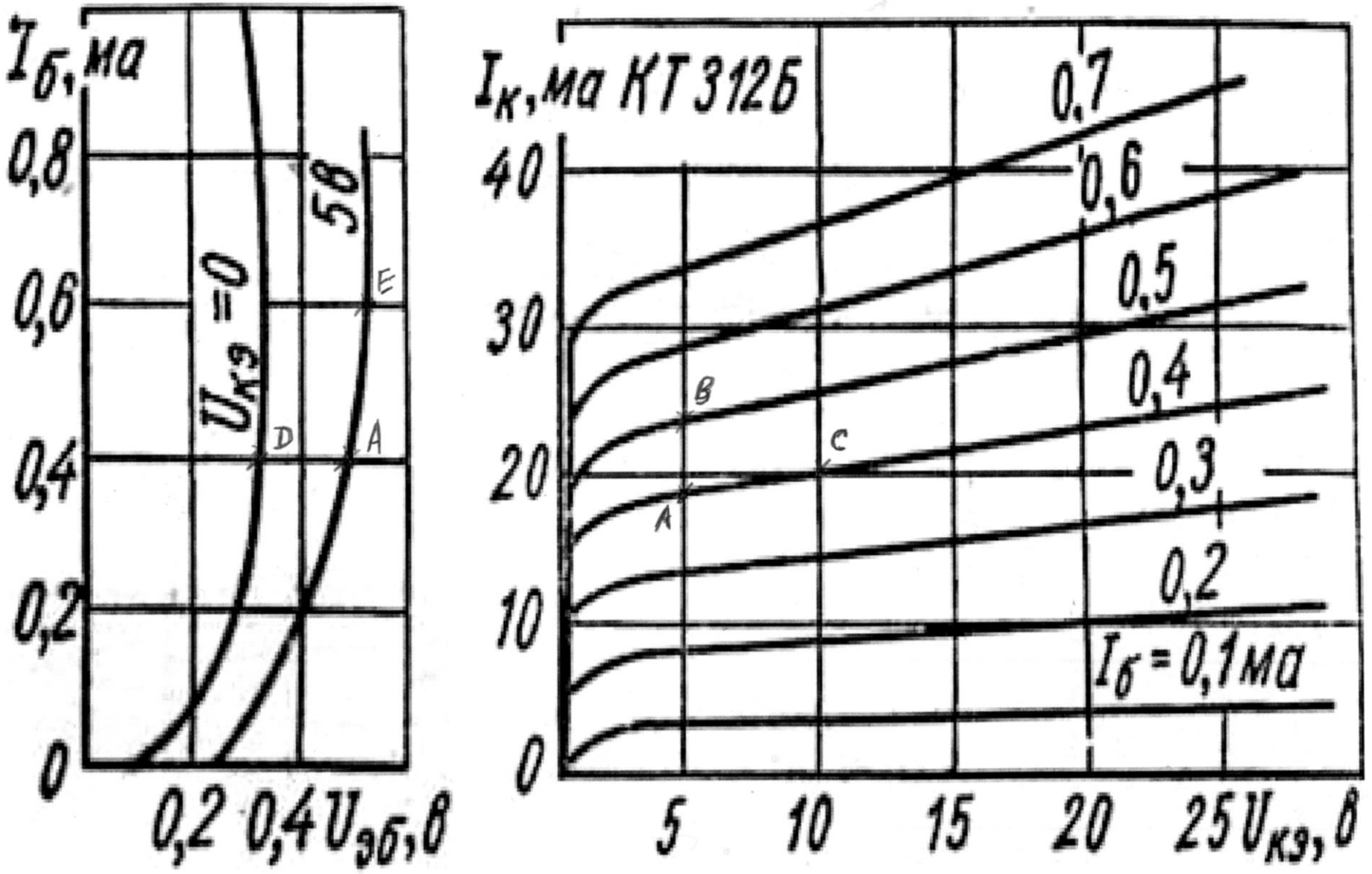


Рис 3.1



а) б)

Рис 3.2. Входные а) и выходные б) характеристики транзисторов КТ312Б в схеме с общим эмиттером

Задача 3.2. Найти *h*-параметры транзистора типа ГТ322А, включенного по схеме с общей базой, если известны значения этих параметров транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером: $h_{11Э}$ = 330 Ом, $h_{12Э}$ = 1,6· 10^{-4} , $h_{21Э}$ = 56, $h_{22Э}$ = 62,5· 10^{-6} См.

Решение. Входное сопротивление транзистора при включении его по схеме с общей базой

$$h_{11Б} = h_{11Э} / (1 + h_{21Э}) = 330 /(1+56) = 5{,}79 \text{ Ом}.$$

Коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12Б} = h_{11Э}\, h_{22Э} / (1 + h_{21Э}) - h_{12Э} = 330 \cdot 62{,}5 \cdot 10^{-6} /(1+ 56) - 1{,}6 \cdot 10^{-4} = 0{,}202 \cdot 10^{-3} .$$

Коэффициент передачи тока

$$h_{21Б} = h_{21Э} / (1 + h_{21Э}) = 56 /(1+56) = 0{,}9825.$$

Выходная проводимость транзистора

$$h_{22Б} = h_{22Э} / (1 + h_{21Э}) = 62{,}5 \cdot 10^{-6} /(1+ 56) = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Задача 3.3. Для транзистора, включенного по схеме с общей базой найти параметры α, $r_Э$, $r_Б$, $r_К$ Т-образной физической схемы замещения, если известны значения *h*-параметров транзистора для соответствующей схемы включения: $h_{11Б}$ = 25 Ом, $h_{12Б}$ = 2· 10^{-4} , $h_{21Б}$ = 0,98, $h_{22Б}$ = 1· 10^{-6} См.

Решение. Определим необходимые параметры Т-образной физической схемы замещения: α ≈ $h_{21Б}$ = 0,98;

$r_Б \approx h_{12Б} / h_{22Б} = 2 \cdot 10^{-4} / 10^{-6}$ = 200 Ом;

$r_Э \approx h_{11Б} - h_{12Б}(1 - h_{21Б}) / h_{22Б} = 25 - 2 \cdot 10^{-4}(1 - 0{,}98) / 10^{-6}$ = 21 Ом;

$r_К \approx 1 / h_{22Б} = 10^6$ Ом.

Задача 3.4 На низких частотах коэффициент передачи тока эмиттера транзистора $h_{21Б0}$ = 0,98, его предельная частота $f_{h21Б}$ =5 МГц. Определить модуль коэффициента передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ этого транзистора на частоте 10 МГц и частоту, на которой модуль коэффициента передачи тока эмиттера уменьшится до значения 0,6.

Решение. Известно, что коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ изменяется с частотой согласно выражению $h_{21Б} = h_{21Б0}\left[\frac{1}{1+j(f/f_{h21Б})}\right]$, где $h_{21Б0}$ - коэффициент передачи тока на низкой частоте, $f_{h21Б}$ = - предельная частота, т.е. частота , на которой $|h_{21Б}| = |h_{21Б0}| / \sqrt{2}$. Следовательно, при $|h_{21Б0}|$ = 0,98, $f_{h21Б}$ =5 МГц и f = 10 МГц

$$|h_{21Б}| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{10}{5}\right)^2}} = 0{,}44.$$

При $h_{21Б0}$ = 0,98, $|h_{21Б}|$ = 0,6 и $f_{h21Б}$ = 5 МГц имеем

$$f = f_{h21Б}\sqrt{(h_{21Б0}/h_{21Б})^2 - 1} = 5\sqrt{(0{,}96/0{,}6)^2 - 1} = 6{,}24 \text{ МГц}.$$

4. Полевые транзисторы

Задача 4.1. Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом имеет начальный ток канала $I_{С\ НАЧ}$ = 1 мА и напряжение отсечки $U_{ОТС}$ = 4 В. Какой ток будет протекать в канале при напряжении затвор-исток, равном 2 В? Чему равны крутизна и максимальная крутизна в этом случае?

Решение. Ток стока найдем из выражения

$$I_С = I_{С\ НАЧ} (1. – |U_{ЗИ}| / | U_{ОТС}|)^2 = 1·10^{-3} \ (1-2/4)^2 = 0,25мА.$$

Крутизна характеристики полевого транзистора

$$S = Δ\ I_С / Δ\ U_{ЗИ} = 2 ·I_{С\ НАЧ} / U_{ОТС} · (1. – |U_{ЗИ}| / |U_{ОТС}|) = 2·10^{-3} / 4· \ (1-2/4)= 0,25мА/В.$$

Максимальная крутизна $S_{MAX} = 2 ·I_{С\ НАЧ} / U_{ОТС} = 2·10^{-3} / 4 = 0,5мА/В.$

Задача 4.2. Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом, имеющий начальный ток канала $I_{С\ НАЧ}$ = 2 мА и максимальную крутизну S_{MAX} = 2мА / В, включен в усилительный каскад по схеме с общим истоком. Сопротивление резистора нагрузки $R_Н$ = 10 кОм. Определить коэффициент усиления напряжения, если: а) $U_{ЗИ}$ =1В; б) $U_{ЗИ}$ =0,5В; В) $U_{ЗИ}$ =0 В.

Решение. Найдем напряжение отсечки

$$U_{ОТС} = 2 ·I_{С\ НАЧ} / S_{MAX} = 2·2·10^{-3} / (2·10^{-3}) = 2 В.$$

а) Определим крутизну характеристики транзистора при $U_{ЗИ}$ =1В

$$S = S_{MAX} (1. – |U_{ЗИ}| / |U_{ОТС}|) = 2·10^{-3} (1-1/2) = 1 мА/В.$$

Коэффициент усиления напряжения при $U_{ЗИ}$ =1В

$$|K_U| = S R_Н = 1·10^{-3} ·10·10^3 =10.$$

б) При напряжении $U_{ЗИ}$ =0,5 В

$$S = S_{MAX} (1. – |U_{ЗИ}| / |U_{ОТС}|) = 2·10^{-3} (1-0,5 /2) = 1,5 мА/В.$$

$$|K_U| = S R_Н = 1,5·10^{-3} ·10·10^3 =15.$$

в) При напряжении $U_{ЗИ}$ =0 В

$$S = S_{MAX} (1. – |U_{ЗИ}| / U_{ОТС}) = 2·10^{-3} (1-0/2) = 2 мА/В.$$

$$|K_U| = S R_Н = 2·10^{-3} ·10·10^3 =20.$$

5. Усилители

Задача 5.1. В усилительном каскаде с общим эмиттером (Рис. 5.1) используется биполярный транзистор, имеющий следующие значения параметров $h_{11Э}$ = 800 Ом, $h_{12Э}$ = 0, $h_{21Э}$ = 50, $h_{22Э}$ = 10^{-4} См. Определить выходное напряжение и выходное сопротивление этого каскада, если ЭДС источника входного сигнала $E_{ВХ}$ =10 мВ, его внутреннее сопротивление $R_{ВИ}$ = 200 Ом, сопротивление $R_К$ = 3кОм, $R_Б >> h_{11}$.

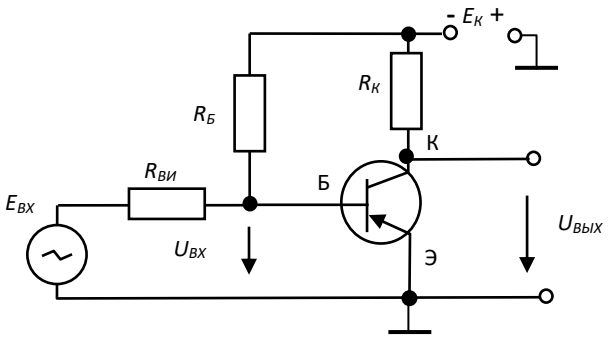


Рис.5.1

Решение. Входное напряжение $U_{ВХ} = E_{ВХ} \cdot h_{11} / (R_{ВИ} + h_{11}) = 10 \cdot 800 / (200 + 800) = 8$мВ.

Выходное сопротивление $R_{ВЫХ} = \dfrac{R_К / h_{22}}{R_К + 1/h_{22}} = \dfrac{R_К}{1 + R_К h_{22}} = \dfrac{3 \cdot 10^3}{1 + 3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4}} = 2{,}3$ кОм.

Выходное напряжение $U_{ВЫХ} = K_U \cdot U_{ВХ} = \dfrac{h_{21} R_К U_{ВХ}}{h_{11}(1 + R_К h_{22})} = \dfrac{50 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{800(1 + 3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4})} = 1{,}15$ В

Задача 5.2. Для инвертирующего сумматора на операционном усилителе (рис 5.2.) рассчитать значения сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4, $R_{ОС}$ так, чтобы обеспечить следующую зависимость выходного напряжения

$$U_{Вых} = -(U_{ВХ1} + 2 \cdot U_{ВХ2} + 5 \cdot U_{ВХ3}).$$

Решение. Выходное напряжение инвертирующего сумматора

$$U_{Вых} = - R_{ОС} (U_{ВХ1} / R_1 + U_{ВХ2} / R_2 + U_{ВХ3} / R_3).$$

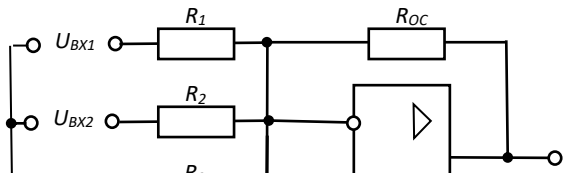
Выберем величину сопротивления $R_{ОС}$ = 100кОм.

Тогда $R_1 = R_{ОС}$ = 100кОм, $R_2 = R_{ОС} / 2$ = 50кОм, $R_3 = R_{ОС} / 5$ = 20кОм.

Сопротивление резистора R_4, необходимого для исключения влияния входных токов усилителя на величину выходного напряжения, выбирают из условия

$R_4 = R_1 \,||\, R_2 \,||\, R_3 \,||\, R_{ОС.}$

$$1 / R_4 = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 + 1 / R_{ОС}$$, откуда $R_4 = 11$кОм.



Примеры задач для контрольных работ по курсу «Электроника»

Задача 1

Выпрямитель подключен к сети с напряжением U_1 =220В. По заданным значениям сопротивления нагрузки $R_н$, и среднего тока нагрузки $I_н$ определить коэффициент трансформации трансформатора и необходимые параметры выпрямительных полупроводниковых диодов, выбрать соответствующий тип диода из таблицы 1.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема выпрямителя	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2
$R_н$, кОм	1	1	2	2	3	3	2	2	1	1
$I_н$, мА	80	80	100	100	120	120	140	140	160	160

Задача 2 .

Параметрический стабилизатор построен на полупроводниковом стабилитроне. По заданным значениям сопротивления нагрузки $R_н$, диапазона изменения входного напряжения $U_{вх.\ мин}$, $U_{вх.\ макс}$, рассчитать сопротивление балластного резистора $R_Б$ и определить, будет ли при выбранном значении $R_Б$ обеспечена стабилизация во всем диапазоне изменения $U_{вх}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка стабилитрона	КС139	КС147	КС156	КС168	КС191	КС139	КС147	КС156	КС168	КС191
$R_н$, кОм	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$U_{вх.\ мин}$, В	6	8	10	12	14	5	7	9	11	13
$U_{вх.\ макс}$, В	14	16	18	20	22	13	15	17	19	21

Задача 3 . Найти *h*-параметры транзисторов по их характеристикам, соответствующим схеме с общим эмиттером (рис. П1-П10), для заданных значений напряжения $U_{КЭ}$ и тока базы $I_Б$. Нарисовать схему замещения транзистора. По значениям *h*-параметров транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером найти *h*-параметры транзистора, включенного по схеме с общей базой. Для транзистора, включенного по схеме с общей базой найти параметры α, $r_э$, $r_Б$, $r_К$ Т-образной физической схемы замещения, если известны значения *h*-параметров транзистора для соответствующей схемы включения

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка транзистора	ГТ308А	КТ312А	КТ313А	КТ315А	КТ343В	КТ349А	КТ601А	КТ602А	КТ802А	КТ902А
$U_{КЭ}$, В	8	5	6	5	4	4	20	20	20	20
$I_Б$, мА	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,6	0,4	0,7	0,2	0,1

Задача 4. Заданы граничная частота биполярного транзистора $f_{h21Б}$ и коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21Б0}$. Найти значение коэффициента передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ этого транзистора на частоте *f.*

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{h21Б}$, МГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$h_{21Б0}$	0,97	0,975	0,98	0,985	0,9	0,95	0,955	0,96	0,965	0,97
f, кГц	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

Задача 5

Полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом характеризуется начальным током канала $I_{С\ НАЧ}$ = и напряжением отсечки $U_{ОТС}$. Определить ток стока и крутизну характеристики транзистора при нескольких напряжениях $U_{ЗИ}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{С\,НАЧ}$, мА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ОТС}$, В	3	2	3	2	3	-3	-2	-3	-2	-3
$U_{ЗИ1}$, В	3	2	3	2	3	-3	-2	-3	-2	-3
$U_{ЗИ2}$, В	2	1	2	1	2	-2	-1	-2	-1	-2
$U_{ЗИ3}$, В	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Задача 6

В усилительном каскаде с общим эмиттером (Рис. 5.1) используется биполярный транзистор, имеющий следующие значения параметров $h_{11Э}$ = 500 Ом, $h_{12Э}$ = 0, $h_{21Э}$ = 60, $h_{22Э}$ = $3\cdot10^{-4}$ См. Определить выходное напряжение и выходное сопротивление этого каскада, если ЭДС источника входного сигнала $E_{ВХ}$, его внутреннее сопротивление $R_{ВИ}$, сопротивление $R_К$ = 2кОм, $R_Б >> h_{11}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_{ВХ}$, мВ	8	9	10	12	13	14	16	17	18	20
$R_{ВИ}$, Ом	80	90	100	120	130	140	150	160	170	180

Задача 7

Рассчитать схему двухвходового инвертирующего сумматора на операционном усилителе, обеспечивающего заданную зависимость выходного напряжения от значения входных сигналов. В схеме необходимо исключить влияние входных токов усилителя на величину выходного напряжения. Зависимость $U_{ВЫХ} = -(\alpha\cdot U_{ВХ1} + \beta\cdot U_{ВХ2})$, где коэффициент α равен предпоследней цифре в номере студбилета (зачетной книжки) студента, а коэффициент β равен последней цифре.

Литература

1. Головатенко-Абрамова М.П., ЛапидесА.М. Задачи по электронике. М.:Энергоатомиздат.1992.

2. Изюрова Г.И., КоролеваГ.В.и др. Расчет электронных схем. Примеры и задачи.М.: Высшая школа , 1987.

3. Герасимов В.Г. и др. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа , 1987.

4. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа , 2001.

3. Лабораторные занятия.

Одной из наиболее важных задач при изучении дисциплины «Электроника» является умение пользоваться электротехническим оборудованием, в том числе и измерительным. Обрабатывать результаты экспериментов. Проводить расчет электронных цепей различной сложности.

Для решения этих задач студенты работают с лабораторными стендами «Электротехника и основы электроники», установленные в лаборатории, решают задачи, , а также в достаточном объеме занимаются самостоятельно.

ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить цель лабораторной работы.
2) Изучить задание к лабораторной работе.
3) Изучить теоретические сведения, относящиеся к данной лабораторной работе.
4) Собрать электрическую цепь, снять показания измерительных приборов, провести обработку полученных данных.
5) Написать отчёт о проделанной работе.
6) Проверить свои знания по контрольным вопросам к лабораторной работе.

СТРУКТУРА ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчёте о выполненной лабораторной работе необходимо отразить следующие пункты:

- титульный лист ;
- цель лабораторной работы;
- задание на лабораторную работу;
- ход выполнения лабораторной работы;
- выводы.

Лабораторная работа 1

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Цель работы

Изучение свойств полупроводниковых диодов - выпрямительного диода и диода Шоттки.

Теоретические сведения

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор, имеющий один *p-n* - переход и снабженный двумя выводами (А-анод, К-катод), предназначенный для преобразования и коммутации электрических сигналов [1-3]. В зависимости от назначения и свойств различают выпрямительные диоды, диоды Шоттки, стабилитроны, высокочастотные диоды, импульсные диоды, варикапы, светодиоды, фотодиоды, диодные оптроны и т. п. Свойства полупроводникового диода определяются свойствами *p-n*—перехода.

В выпрямительных диодах используется свойство односторонней проводимости *p-n*—перехода: пропускать электрический ток при прямом напряжении (рис. 1.1) и практически не пропускать - при изменении полярности приложенного напряжения.

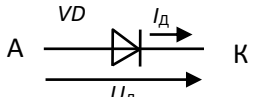


Рис. 1.1. Условное графическое обозначение и направ прямого гока и напряжения диода

Выпрямительный диод является существенно нелинейным элементом. ВАХ идеального диода (идеального p-n-перехода) описывается следующим уравнением [2]:

$$I_Д = I_0\left(\exp\left(\frac{U_Д}{m\varphi_T}\right)-1\right) \qquad (1)$$

где $I_Д$- ток через ПД; $U_Д$ - напряжение, приложенное к ПД; I_0 - обратный ток ПД (берется из справочника); $ф_т = kT/q$— температурный потенциал ($ф_т$ = 25мВ при комнатной температуре); m— коэффициент, учитывающий отклонение ВАХ от идеального закона (m =1÷4). Для идеального диода m = 1.

Как любой нелинейный элемент, ПД имеет различное сопротивление постоянному и переменному току.

На основе (1) могут быть найдены

$R_{СТ}$ - статическое сопротивление (сопротивление постоянному току)

$$R_{ст} = \frac{U_Д}{I_Д} = \frac{\varphi_т}{I_Д}\cdot \mathrm{Ln}\frac{I_Д + I_0}{I_0} + r_Б(I_Д); \qquad (2)$$

где $r_б$ - сопротивление базы диода (1÷30 Ом),

$r_{ДФ}$- дифференциальное сопротивление (сопротивление переменному току малой амплитуды)

$$r_{ДФ} = \frac{\partial U_Д}{\partial I_Д} = \frac{m\varphi_T}{I_Д + I_0} + r_Б(I_Д). \qquad (3)$$

Для прямых ветвей рассчитывают зависимости $r_б = f(I_Д)$, $R_{ст} = f(I_Д)$, $r_{ДФ} = f(I_Д)$, для обратных ветвей - $R_{ст} = f(U_Д)$, $r_{ДФ} = f(U_Д)$. При этом

$$r_{Б}(I_{д}) = \frac{U'' - U'}{I'}; \quad (4)$$

$$R_{ст} = \frac{U'}{I'}; \quad (5)$$

$$r_{дф} = \frac{u'}{i'}; \quad (6)$$

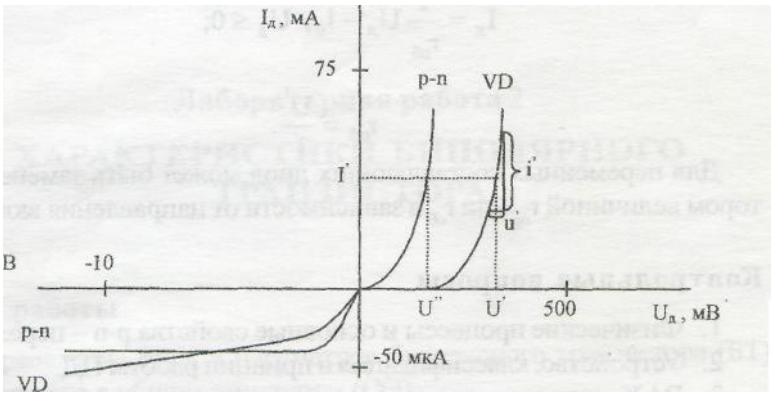


Рис. 1.5. Пояснения к выражениям (4-6)

С целью облегчения расчетов схем с диодами часто пользуются линейной аппроксимацией их ВАХ [2], как показано на рис. 1.6. При такой аппроксимации ВАХ заменяется линейными функциями. Для прямой ветви

$$I_{Д} = \frac{1}{r_{ПР}}\left(U_{Д} - U_{0}\right), U_{Д} \rangle U_{0}; r_{ПР} = \frac{u''}{i''} \quad (7)$$

Для обратной ветви

$$I_{Д} = \frac{1}{r_{обр}} U_{Д} - I_{0}; U_{Д} \le 0; r_{обр} = \frac{u'}{i'} \ . \quad (8)$$

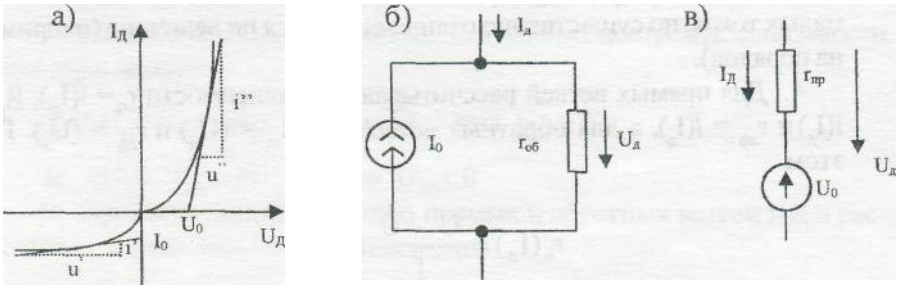


Рис. 1.6. а)-линейная аппроксимация ВАХ;б) - схема замещения по постоянному току обратно смещенного диода; в)-схема замещения диода в прямом включении

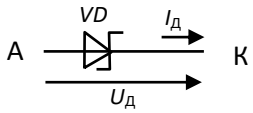


Рис. 1.7. Условное графическое обозначение диода Шоттки

Диоды Шоттки (Рис.1.7) — это полупроводниковые приборы, в которых используются свойства потенциального барьера (*барьера Шоттки*) на контакте металл — полупроводник. В рассматриваемых диодах из_за разной высоты потенциальных барьеров для электронов и дырок нет инжекции неосновных носителей заряда, нет и таких медленных процессов, как накопление и рассасывание неосновных носителей в базе. В результате инерционность диодов с выпрямлением на контакте металл-полупроводник определяется величиной барьерной ёмкости выпрямляющего контакта (*Сбар* =1 пФ). Кроме того, у этих диодов незначительные активные потери (прямое напряжение $U_{ПР}$= 0,4 В, что на 0,3 В меньше, чем у кремниевых диодов). В связи с тем, что барьерная ёмкость и последовательное активное сопротивление в таких диодах небольшие, соответственно мало и время перезарядки ёмкости; это даёт возможность использовать диоды Шоттки в качестве сверхскоростных импульсных диодов (f = 3÷15 ГГц), например, в некоторых схемах в качестве быстродействующих логарифмических элементов и в мощных высокочастотных выпрямителях, в которых диоды способны работать на частотах до 1 МГц при $U_{ОБР}$ = 50В и $I_{ПР}$ = 10А.

Подготовка к работе

11. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.

12. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

13. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы/ Активная нагрузка», «Нелинейные элементы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».

14. В соответствии с рабочим заданием подготовить таблицы для записи измерений.

15. Ознакомиться с характеристиками выпрямительного диода 1N4007 и диода Шоттки 1N5822.

Рабочее задание

16. Собрать схему для исследования выпрямительного диода VD1 блока «Нелинейные элементы» на постоянном токе (рис. 1.3). В качестве R1 использовать сопротивление 100 Ом блока «Резисторы/ Активная нагрузка». Для измерения тока использовать один из мультиметров блока «Мультиметры», для измерения напряжения использовать один из приборов блока «Измерительные приборы», задав для них соответствующие режимы работы. В качестве источника питания использовать стабилизированный регулируемый источник Е1 блока «Источник питания». Ручку регулировки напряжения источника установить в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки до упора. Собирая схему особое внимание обратить на полярность подключения источника питания. Представить схему для проверки преподавателю.

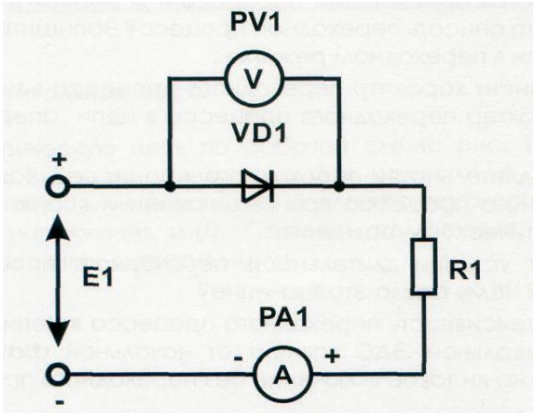


Рис. 1.3 Исследование полупроводниковых диодов

17. Включить электропитание модулей стенда. Снять прямую ветвь ВАХ выпрямительного диода *VD*1Для этого, регулируя напряжение источника питания *E*1, задавать прямой ток диода (1; 2; 3; 5; 7; 10; 15; 20;3 0 ;…; 70мА) и измерять прямое напряжение. Результаты измерений занести в таблицу. Выключить электропитание модулей стенда. Ручку регулировки напряжения источника E1установить в крайнее левое положение

18. Для снятия обратной ветви ВАХ выпрямительного диода полярность подключения источника питания E1 изменить на противоположную. Снять обратную ветвь ВАХ выпрямительного диода *VD*1. Для этого, регулируя напряжение источника питания E1, задавать обратное напряжение (1; 1,5; 2; 3 ; 5; 7; 10В) и измерять обратный ток диода. Результаты измерений занести в таблицу. Выключить электропитание модулей стенда. Ручку регулировки напряжения источника E1установить в крайнее левое положение.

19. Собрать схему для исследования выпрямительного диода Шоттки VD3 блока «Нелинейные элементы» на постоянном токе в соответствии с рис. 1.3, заменив в схеме выпрямительный диод VD1 на диод Шоттки VD3. Представить схему для проверки преподавателю.

20. Снять прямую и обратную ветви диода Шоттки, выполнив пункты 2,3 для этого диода.

21. В одной системе координат построить графики ВАХ для обоих диодов. Там же следует для каждого диода построить ВАХ идеального *p.-n* - перехода и по формуле (1) при I_0 - усредненном обратном токе соответствующего диода. Необходимый для расчетов параметр $m\cdot \phi_т$ можно определить по формуле

$$m\cdot\varphi_T=\frac{U_2-U_1}{\mathrm{Ln}\frac{I_2}{I_1}},\ \text{где}\ U_1, I_1, U_2, I_2 -$$

координаты двух экспериментальных точек ВАХ диода в области малых токов, но существенно отличающихся по величине (например, на порядок).

7. На основе экспериментальных данных построить зависимости для двух диодов:

$r_Б = f(I_Д)$; $R_{ст} = f(I_д)$; $r_{дф} = f(I_д)$ при $U_д \geq 0$;

$R_{ст}(U_д)$; $r_{дф} = (U_д)$ при $U_д < 0$

8. Провести линеаризацию прямых и обратных ветвей ВАХ исследуемых диодов и рассчитать параметры схем замещения. Построить схемы замещения диодов с указанием полущенных параметров.

Контрольные вопросы

6. Физические процессы и основные свойства *р-п* — перехода.
7. Устройство, классификация и принцип работы полупроводниковых диодов.
8. ВАХ, статические и дифференциальные параметры полупроводниковых диодов. Зависимость ВАХ от температуры. Почему зависимость тока от напряжения сильнее линейной (экспоненциальная) при прямом включении диода и слабее (практически не зависит от напряжения) - при обратном включении?
9. Емкость диода, и его влияние на частотные свойства и переходные процессы.
10. Линеаризация ВАХ и схемы замещения.

Литература

4. Марченко А.Л. Основы Электроники: Учеб. пособие для вузов -М: ДМК Пресс,2008. –С.19-26
5. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие- Ростов н/Д:Феникс, 2001.-С. 28-52.
6. Прянишников В.А. Электроника Полный курс лекций. -Санкт-Петербург.: Корона принт, 2003. –С20-28.

Лабораторная работа

Исследование биполярного транзистора

Цель работы: Экспериментальное получение вольтамперных характеристик (ВАХ) и параметров биполярного транзистора, изучение его усилительных свойств.

Краткие теоретические сведения.

Биполярный транзистор — это полупроводниковый прибор, имеющий два влияющих друг на друга p-n-перехода, и три вывода, предназначенный для усиления и коммутации электрических сигналов.

БТ имеет три вывода, которые называются эмиттером, базой и коллектором (рис. 2.1).

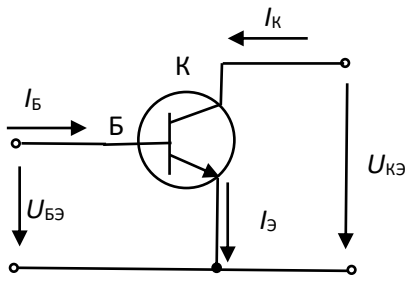


Рис. 2.1. Условное графическое обозначение БТ типа *n-p-n* и его включение по схеме с общим эмиттером (ОЭ)

Для использования транзисторов необходимо представление сведений о них в виде характеристик и параметров, которые позволяют правильно выбрать транзистор и определить режимы его работы. Транзистор описывается семействами выходных и входных характеристик. Рассмотрим в качестве примера семейства ВАХ транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

Выходной или коллекторной *ВАХ* транзистора называется зависимость коллекторного тока от напряжения между коллектором и эмиттером $I_К = F(U_{КЭ})$, снятая при неизменном токе базы $I_Б$ = const. Семейство выходных ВАХ транзистора приведено на рис.2.2,а. Зависимость $I_К (U_{КЭ})$, как видно из рисунка, является нелинейной и может быть разбита на ряд участков.

На большей части характеристик при $U_{КЭ} > U_{КЭ.Н}$ ток коллектора почти не зависит от напряжения $U_{КЭ}$ (пологий участок характеристик). На этом участке транзистор работает в режиме, когда на эмиттерном переходе действует прямое, а на коллекторном – обратное напряжение. Транзистор в этом случае может характеризоваться как прибор со свойствами управляемого источника тока, т. е. источника тока $I_К$, значение которого можно изменять путем изменения тока $I_Б$.

Для изменения входного тока базы, например его увеличения, увеличивают прямое напряжение на эмиттерном переходе, и инжекция носителей из эмиттера в базу и ток эмиттера увеличивается. Увеличение тока базы обусловлено увеличением рекомбинации части дырок (транзистор p-n-p-типа) в тонкой базе.

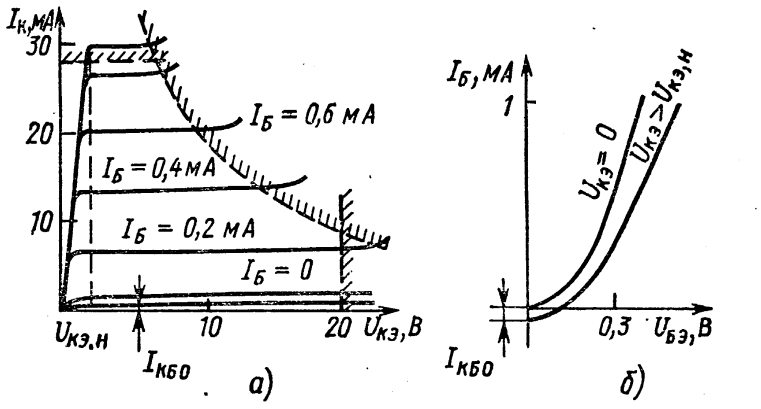


Рис. 2.2. Выходные *(а)* и входные *(б)* характеристики биполярного транзистора

Основная часть приращения тока эмиттера вызывает приращение тока коллектора. Небольшой наклон пологого участка выходной характеристики обусловлен тем, что при увеличении напряжения $U_{КЭ}$ увеличивается напряжение на коллекторном переходе и расширяется слой коллекторного перехода, что приводит к уменьшению толщины базы. В более тонкой базе меньше вероятность рекомбинации носителей, поэтому растет коллекторный ток.

При уменьшении $U_{КЭ}$ (крутой участок выходной характеристики) уменьшается напряжение на коллекторном переходе $U_{КБ}$, и при $U_{КЭ} = U_{КЭ.Н} = U_{БЭ}$ напряжение $U_{КБ}$ =

$U_{КЭ}$ - $U_{БЭ}$ изменяет свой знак. При дальнейшем уменьшении $U_{КЭ}$ до нуля к коллекторному переходу приложено прямое напряжение. Навстречу току дырок из эмиттера в коллектор начинается противоположное движение основных носителей из коллектора в базу. В результате коллекторный ток резко падает. Крутой участок выходных характеристик транзистора характеризуется потерей транзистором усилительных свойств, эта часть характеристик используется в импульсной технике при реализации ключевого режима работы транзистора. Напряжение, отсекающее крутой участок на выходных характеристиках, $U_{КЭ.Н}$ =0,2-1В.

Для предотвращения необратимого пробоя транзистора ограничиваются напряжение на коллекторе и мощность, рассеиваемая на коллектором переходе (на рис.2.2,а показаны ограничения рабочего участка характеристик).

Обратимся к рассмотрению входных характеристик транзистора - зависимостей тока базы от напряжения между базой и эмиттером: $I_Б = F(U_{БЭ})$, при постоянном напряжении $U_{КЭ}$. При $U_{КЭ}$ = 0 оба перехода в транзисторе работают при прямом напряжении, токи коллектора и эмиттера суммируются в базе. Входная характеристика в этом режиме представляет собой ВАХ двух *p-n* переходов, включенных параллельно (рис. 2.2,б).

При $U_{КЭ} > U_{КЭ,Н}$, на коллекторном переходе появляется обратное напряжение, на эмиттерном — сохраняется прямое. Ток базы в этом режиме, обусловленный процессом рекомбинации неосновных носителей в базе, равен разности эмиттерного и коллекторного токов. Входная характеристика транзистора рис. 2.2,б в этом режиме строится по прямой ветви ВАХ эмиттерного перехода, но значения тока уменьшаются, поскольку ток базы — это лишь рекомбинационная составляющая эмиттерного тока.

При любой схеме включения транзистор может быть представлен в виде активного четырехполюсника (рис. 2.3), на входе которого действует напряжение u_1 и протекает ток i_1, а на выходе — напряжение u_2 и ток i_2.

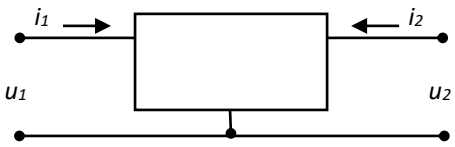


Рис.2.3. Схема транзистора, представленного в виде активного четырехполюсника

Для транзисторов чаще всего используются *h*-параметры, так как они наиболее удобны для измерений. Система уравнений, показывающая связь напряжений и токов с *h*-параметрами, имеет вид:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2 .$$

Физический смысл соответствующих коэффициентов следующий:

$h_{11} = i_1 / u_1$ - входное сопротивление при коротком замыкании на выходе (u_2=0);

$h_{12} = i_1 / u_2$ - коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе на входе (i_1=0);

$h_{21} = i_2 / i_1$ - коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе (u_2=0);

$h_{22} = i_2 / u_2$ - выходная проводимость при холостом ходе на входе (i_1=0).

Знание *h*-параметров позволяет построить эквивалентную линейную схему замещения транзистора, изображенную на рис.2.4.

Подобные схемы замещения используются при аналитическом расчете транзисторных схем, позволяют получить простые расчетные соотношения и произвести количественную оценку параметров схем.

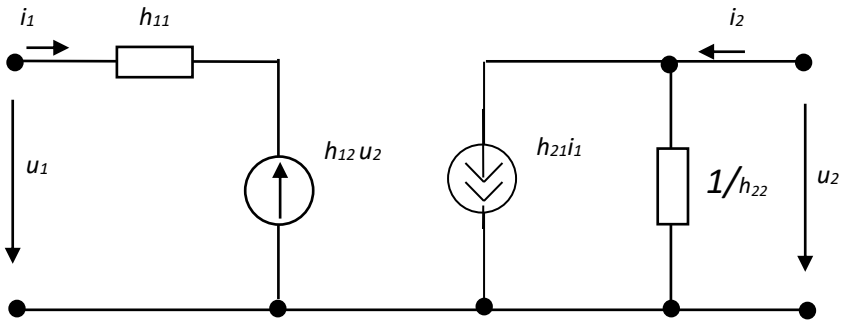


Рис2.4. Эквивалентная схема замещения транзистора в

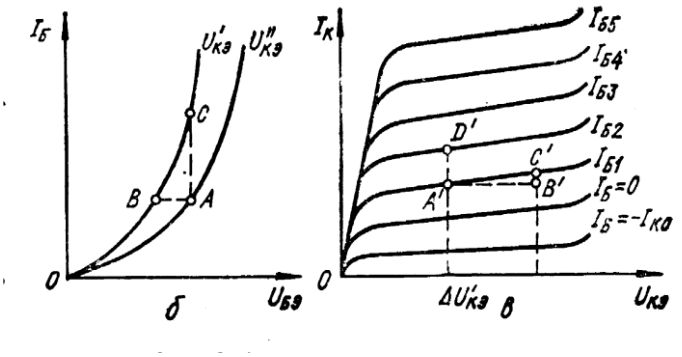
h-параметрах

Значения *h*-параметров зависят от выбора рабочей точки, температуры, частоты и схемы включения транзистора. Для определенной схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК) добавляются соответствующие индексы (Э, Б, К) при обозначении параметров, например $h_{11Э}$; $h_{22К}$ и т. д.

Приближенные значения *h*-параметров можно определить графоаналитическим способом по статическим входным и выходным характеристикам. Для определения всех *h*-параметров необходимо иметь не менее двух характеристик каждого семейства (входных и выходных). Параметры рассчитываются по величинам конечных приращений токов и напряжений вблизи рабочей точки транзистора.

Для схемы с ОЭ на семействе входных характеристик в рабочей точке *A* строят треугольник, из *A* проводят прямые, параллельные оси абсцисс и оси ординат до пересечения со второй характеристикой в точках B и C (рис. 2.5, а). Из характеристического треугольника ABC получают все необходимые величины для определения $h_{11Э}$ и $h_{12Э}$:

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{AB}{AC}; \qquad h_{12Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{AB}{U''_{КЭ} - U'_{КЭ}}. \quad (2.1)$$



а) б)

Рис.2.5. Определение *h*-параметров по ВАХ транзистора

В рабочей точке *A'* по выходным характеристикам (рис.2.5,б) определяют параметры $h_{22Э}$ и $h_{21Э}$:

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_К}{\Delta I_Б} = \frac{A'D'}{I_{Б2} - I_{Б1}}; \quad h_{22Э} = \frac{\Delta I_К}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{B'C'}{A'B'} \qquad (2.2)$$

Аналогично можно определить *h*-параметры для любой схемы включения транзистора.

Кроме эквивалентных схем замещения в h-параметрах, находят применение Т-образные физические схемы замещения (рис. 2.6). Параметры для таких схемы вычисляют в соответствии со следующими выражениями [1]:

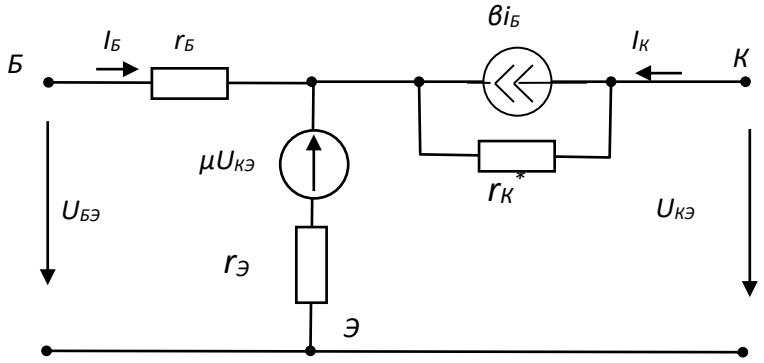


Рис 2.6. Т-образная физическая схема замещения транзистора

$$h_{11} = r_{Б} + (1+\beta)\cdot r_{Э} \ ; \qquad (2.3)$$

$$h_{12} = r_{Э} / r_{K}^{*} - \mu = r_{Э} / (2r_{K}^{*}) \ ; \qquad (2.4)$$

$h_{21} = \beta$; (2.5)

$$h_{22} = 1/r_{K}^{*} . \qquad (2.6)$$

Подготовка к работе

16. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.

17. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

18. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Транзисторы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».

19. В соответствии с рабочим заданием подготовить таблицы для записи измерений.

20. Ознакомиться с характеристиками биполярного транзистора BC639.

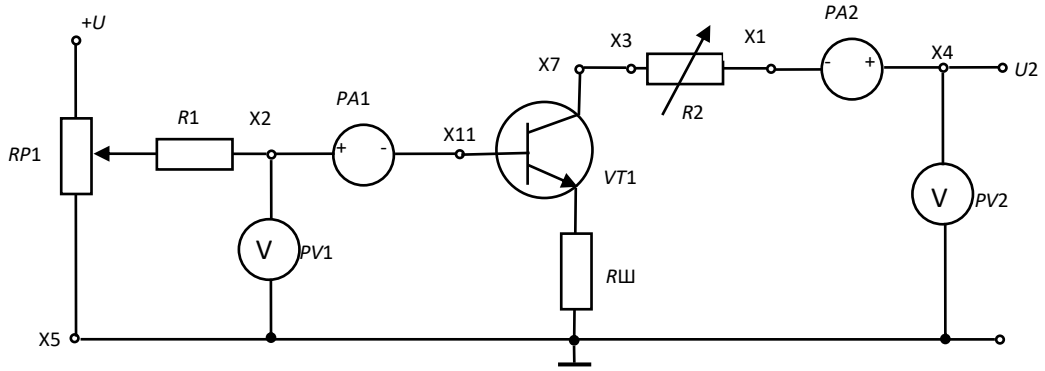


Рис.2.7

Рабочее задание

22. Соберите схему для исследования биполярного транзистора *VT*1 блока «транзисторы» (рис. 2.7). Для измерения тока базы (миллиамперметр *PA*1) используйте один из мультиметров и для измерения напряжений и тока коллектора (миллиамперметр *PA*2) используйте приборы блока «Измерительные приборы», задав для них соответствующие режимы работы. Тумблер *SA*2 в блоке «транзисторы» установите в верхнее положение, ручки потенциометров *RP*1 и *RP*2 (блок транзисторов) установите в крайние левые положения. Представьте схему для проверки преподавателю.

23. Снимите характеристики транзистора при $U_{КЭ}$= 12В и R_2= 0 Ом. Для этого:

а) Установите перемычку между гнездами *X*1 и *X*3;

б) включите измерительные приборы и электропитание модуля «Транзисторы»;

в) с помощью потенциометра *RP*2 (блок транзисторов) установите $U_{КЭ}$ =12 В (показания вольтметра *PV*2)

г) при помощи потенциометра *RP*1 задавайте в соответствии с таблицей 1 ток $I_Б$ (показания миллиамперметра *PA*1). Для каждого значения тока базы занесите в таблицу 1 соответствующие значения напряжения $U_{БЭ}$ (показания вольтметра *PV*1) и тока коллектора $I_К$ (показания миллиамперметра *PA*2). При этом $U_{КЭ}$ не должно меняться в процессе изменения $I_Б$, т.е. посредством *RP*2 необходимо поддерживать $U_{КЭ}$ = const = 12 В;

д) выключите питание модуля «Транзисторы». Ручку потенциометра *RP*1 (блок транзисторов) установите в крайнее левое положение.

Таблица 1.Характеристики транзистора при $U_{КЭ}$ =12 В и R_2 = 0 Ом

$I_Б$, мкА	5	10	20	30	40	50	55	60	65
$U_{БЭ}$,В									
$I_К$, мА									

24. Снимите передаточную характеристику транзистора по току $I_К = f(I_Б)$ при R_2 = 1КОм и $E_К$=12В. Для этого:

а) уберите перемычку, соединяющую *X*1 и *X*3;

б) переключатель *SA*1(*R*2) блока транзисторов установите в положение 1,что соответствует сопротивлению R_2=1 КОм.

в) включите электропитание модуля «Транзисторы»;

г) с помощью потенциометра *RP*2 (блок транзисторов) установите $U_{КЭ}$ =12 В (показания вольтметра *PV*2)

д) при помощи потенциометра *RP*1 задавайте ток $I_Б$ в соответствии с таблицей 2. Для каждого значения тока базы занесите в таблицу 2 соответствующее значение тока коллектора $I_К$. При этом

$U_{КЭ}$ не должно меняться в процессе изменения $I_Б$, т.е. посредством *RP*2 необходимо поддерживать $U_{КЭ}$ = const = 12 В;

е)выключите питание модуля «Транзисторы». Ручки потенциометров *RP*1 и *RP*2 (блок транзисторов) установите в крайние левые положения.

Таблица 2. Характеристики транзистора при $U_{КЭ}$ =12 В и R_2 = 1 КОм

$I_Б$, мкА	5	10	20	30	40	50	55	60	65
$I_К$, мА									

25. Снимите семейство выходных ВАХ $I_К = f(U_{КЭ})$. Для этого:

а) Установите перемычку между гнездами *X*1 и *X*3;

б) включите электропитание модуля «Транзисторы»;

в) при помощи потенциометра *RP*2 задайте напряжение $U_{КЭ}$ = 6В, при помощи потенциометра *RP*1 установите $I_Б$ =25 мкА, занесите в таблицу 3 значение $I_К$;

г) при помощи потенциометра *RP*2 задавайте напряжение $U_{КЭ}$ от 6 до значения 16 В (табл. 3). Для каждого значения $U_{КЭ}$ занесите в таблицу 3 значения $I_К$. При этом $I_Б$ не должен меняться в процессе изменения $U_{КЭ}$, т.е. посредством *RP*1 необходимо поддерживать $I_Б$ = const = 25 мкА ;

д) после снятия первой кривой $I_К = F(U_{КЭ})$ установите $I_Б$= 50 мкА, и снимают еще одну кривую выходных ВАХ при тех же значениях $U_{КЭ}$;

е) выключите электропитание модуля «Транзисторы», уберите перемычку, соединяющую *X*1 и *X*3;.

Таблица 3. Выходные характеристики транзистора

$U_{КЭ}$, В	6	8	10	12	14	16
$I_К$, мА *при* $I_{Б,} = 25$ мкА						
$I_К$, мА *при* $I_{Б,} = 50$ мкА						

26. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в режиме класса А:

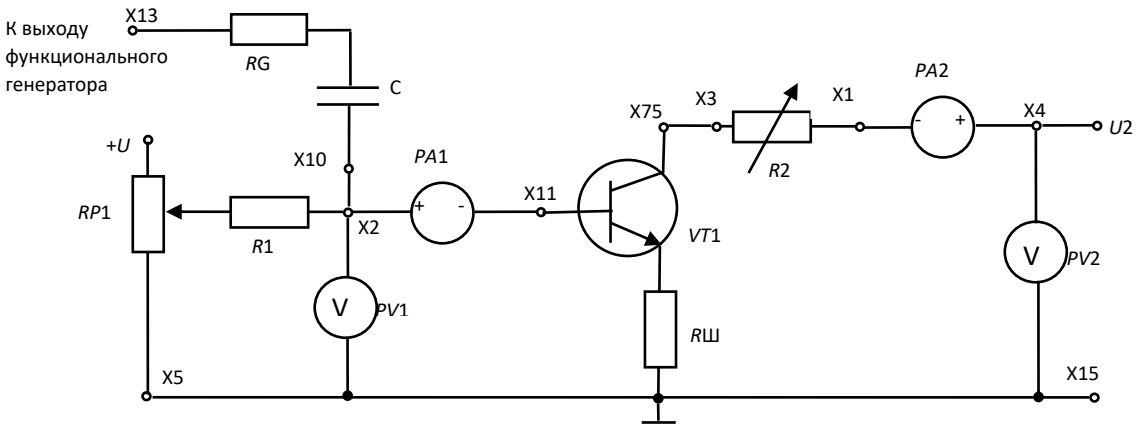


Рис.2.8

а) Соберите схему в соответствии с рис. 2.8. К гнезду X13 подключите выход функционального генератора, землю генератора соедините с гнездом X15. Покажите схему преподавателю.

б) подключите осциллограф к выходу усилителя(гнезда X7, X15), включите его;

в) ручку регулировки амплитуды сигнала функционального генератора установите в крайнее левое положение, включите питание функционального генератора. Проведите настройку генератора, задав форму выходного сигнала «Синусоида» и установив частоту 1КГц;

г) включите электропитание модуля «Транзисторы», при помощи потенциометра *RP*2 задайте напряжение $U_{КЭ}$ = 12В, при помощи потенциометра *RP*1 установите $I_Б$ =20 мкА. Напряжение $U_{КЭ}$ = 12В не меняйте на протяжении всех последующих экспериментов;

д) плавно увеличивайте амплитуду синусоидального сигнала функционального генератора до появления видимого искажения синусоиды выходного напряжения, получите на экране осциллографа изображение неискаженного выходного синусоидального сигнала усилителя максимальной амплитуды. Зафиксируйте полученное изображение, определите по осциллограмме амплитуду выходного сигнала усилителя;

е) не изменяя входной сигнал, подключите осциллограф ко входу усилителя (гнезда X2, X15), зафиксируйте изображение входного сигнала, определите по осциллограмме его амплитуду;

ж) определите коэффициент усиления каскада по напряжению, сформулируйте выводы.

27. Исследуйте влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного сигнала усилителя:

а) подключите осциллограф к выходу усилителя(гнезда X7, X15);

б) не изменяя входной сигнал установите при помощи потенциометра *RP*1 $I_Б$ =10 мкА, получите на экране осциллографа изображение выходного сигнала усилителя, зафиксируйте полученное изображение;

в) не изменяя входной сигнал повторите опыт для тока базы $I_Б$ =50 мкА;

г) сформулируйте выводы.

28. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в режиме класса B:

а) установите при помощи потенциометра *RP*1 $I_Б$ =0 мкА;

б) плавно увеличивайте амплитуду синусоидального сигнала функционального генератора до появления видимого искажения полуволны выходного напряжения, получите на экране осциллографа изображение неискаженной полуволны выходного сигнала усилителя максимальной амплитуды. Зафиксируйте полученное изображение, определите по осциллограмме амплитуду выходного сигнала усилителя;

в) сформулируйте выводы.

29. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в режиме класса D:

а) установите при помощи потенциометра *RP*1 $I_Б$ =0 мкА;

б) плавно увеличивайте амплитуду синусоидального сигнала функционального генератора до перехода транзистора в ключевой режим, получите изображение выходного сигнала в виде последовательности импульсов прямоугольной формы, зафиксируйте полученное изображение, определите по осциллограмме амплитуду выходного сигнала усилителя;

в) е) подключите осциллограф ко входу усилителя (гнезда X2, X15), зафиксируйте изображение входного сигнала, определите по осциллограмме его амплитуду;

г) сформулируйте выводы.

30. По полученным данным постройте графики входной характеристики $I_Б = f(U_{БЭ})$, выходных характеристик $I_К = f(U_{КЭ})$ и передаточных характеристик по току $I_К = f(I_Б)$ исследуемого транзистора.

10. Определите значения параметров h_{11}, h_{21}, h_{22}. Значение параметра h_{12} примите равным нулю. Постройте схему замещения транзистора в *h*-параметрах с указанием на схеме их значений.

Контрольные вопросы

10. Расскажите об устройстве, принципах работы и основных параметрах биполярных транзисторов.
11. Что такое входные и выходные вольтамперные характеристики транзистора?
12. Что такое передаточные характеристики транзистора?
13. Режимы работы биполярного транзисторы, области их применения.
14. Схемы включения биполярного транзистора и их основные свойства.
15. Как задается в усилителе режим работы транзистора по постоянному току?
16. Какими параметрами характеризуется положение рабочей точки транзистора в режиме покоя?
17. Каков смысл *h*-параметров транзистора?
18. Как определить *h*-параметры по ВАХ транзистора?
8. Как строятся и для чего используются эквивалентные схемы замещения транзистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ»

1. Цель работы: Изучение основных характеристик и параметров операционного усилителя. Знакомство с электронными устройствами на базе операционного усилителя.

2. *Порядок выполнения работы*:

1. Изучить главу «Описание лабораторного стенда».

2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

3. Убедиться, что выключатели модулей стенда находится в положении «ВЫКЛ»

4. По указанию преподавателя, выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.

Провести эксперимент.

Выключить питание стенда.

Составить отчет по лабораторной работе.

3. *Порядок проведения эксперимента*:

3.1. Исследование компаратора

3.1.1. Собрать схему компаратора согласно рис. 1. К инвертирующему входу (гнездо X9) подключить функциональный генератор, используя у него выход «СИНУС» или «ТРЕУГОЛЬНИК». Гнездо X12 подключить к гнезду X3 для возможности формирование различных опорных напряжений в диапазоне -8В...0...+8В. Вольтметр PV1 подключить к гнезду X12 в режиме измерения постоянного напряжения для контроля опорного напряжения. Сопротивления резисторов: R2=20кОм, R3=10кОм, Rн=2кОм

Установить заданную частоту переменного напряжения и заданное значение опорного напряжения.

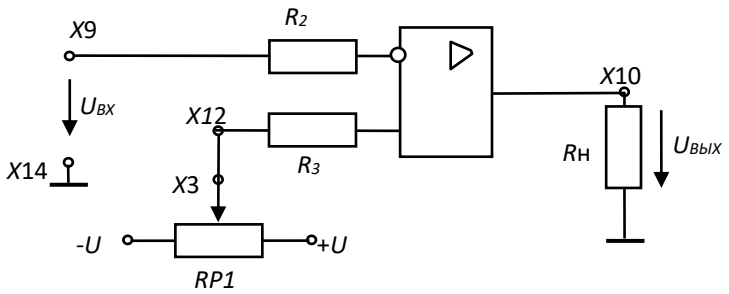


Рис. 1 Исследование компаратора на операционном усилителе

3.1.2. Снять осциллограммы входных и выходных напряжений компаратора для двух значений опорного напряжения .

3.1.3. Исследовать скорость срабатывания компаратора при увеличении частоты входного сигнала в диапазоне 10000Гц... 100000Гц.

3.2. Исследование инвертирующего усилителя

3.2.1. Собрать схему инвертирующего усилителя, установив перемычки согласно рис. 2. Подключить к входу (гнезда X9 и X15) и выходу (гнезда X10 и X15(X14)) операционного усилителя и измерительные приборы PV1 (подключается к Uвх) и PV2 (подключается к Uвых) в режиме измерения постоянного напряжения. Установить переключатель SA1 в положение 1, что соответствует сопротивлению R4=20кОм.

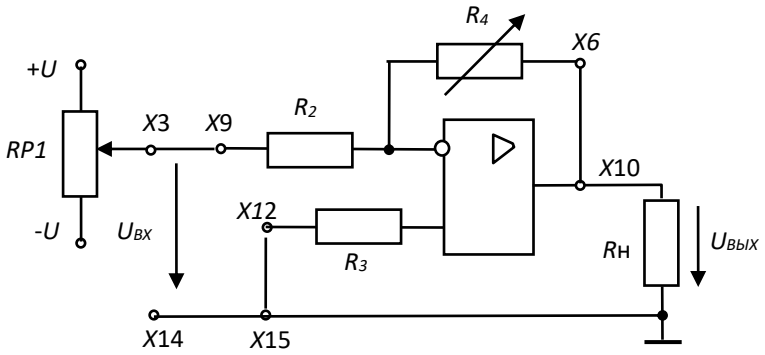


Рис. 2 Исследование инвертирующего усилителя на операционном

усилителе

3.2.2. Снять и построить передаточную характеристику Uвых= f(Uвх) на постоянном токе при двух полярностях входного сигнала. В качестве источника входного сигнала использовать выходное напряжение потенциометра RP1. Для этого установить перемычку между гнездами X3 и X9. Включить электропитание модулей стенда. Изменяя входное постоянное напряжение в пределах от -Uвхm до +Uвхm, снять передаточную характеристику. Результаты измерений занести в табл.

3.1.2. По передаточной характеристике определить коэффициент усиления усилителя по напряжению. Построить передаточную характеристику усилителя и определить по ней линейный диапазон работы усилителя. Выключить электропитание модулей стенда.

3.2.3. Установить переключатель SA1 в положение 3, что соответствует сопротивлению R4=100кОм. Снять и построить передаточную характеристику Uвых= f(Uвх) в соответствии с пунктом 3.2.2 при новом значении сопротивления R4. Сформулировать выводы.

Таблица 3.1.2

U вх, В							
Uвых, В							
Ки = Uвых/Uвх							

3.1.3. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику Ku=Ku(f) усилителя при Uвх = const для заданного значения сопротивления резистора R4. Для этого убрать перемычку между гнездами X3 и X9, отсоединить измерительные приборы, к входу усилителя (гнезда X9 и X14) подключить выход функционального генератора (рис. 3.5.1). Установить форму выходного сигнала генератора «Синусоида». Включить электропитание модулей стенда. Подготовить к работе осциллограф. Вход осциллографа подключить к точке X10. При снятии характеристики установить амплитуду входного сигнала на линейном участке амплитудной характеристики усилителя (т.е синусоида не должна иметь ограничений амплитуды на верхней и нижней полуволне), при этом сначала частота выходного сигнала устанавливается в диапазоне 10...100 Гц. Далее, не изменяя амплитуды входного сигнала, последовательно переключаем диапазоны ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА по возрастающей (т.е. 100…1000Гц, 1000...10000Гц, 10000... 100000гц) и в каждом поддиапазоне исследуем изменение амплитуды выходного сигнала с увеличением частоты. Амплитудные значения входного Uвх (X9) и выходного Uвых (X10) сигналов измерять осциллографом. Результаты опыта занести в табл. 3.2.3.

Таблица 3.2.3

f, Гц										
Uвх, В										
Uвых, В										
Ku= Uвых / Uвх										

3.2.4. По данным опыта вычислить коэффициенты усиления по напряжению и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя, откладывая частоту в логарифмическом масштабе. Определить значения граничных частот полосы пропускания усилителя. Сформулировать выводы.

3.3. Исследование неинвертирующего усилителя

3.3.1. Собрать схему неинвертирующего усилителя, установив перемычки согласно рис. 3.. Подключить к входу (гнезда X12 и X15) и выходу (гнезда X10 и X15(или X14)) операционного усилителя измерительные приборы PV1 (подключается к Uвх) и PV2 (подключается к Uвых) в режиме измерения постоянного напряжения. Установить переключатель SA1 в положение 1, что соответствует сопротивлению R4=20кОм

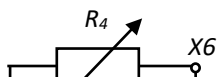


Рис. 3. Исследование неинвертирующего усилителя на операционном усилителе

3.3.2. Снять и построить передаточную характеристику Uвых=f(Uвх)) на постоянном токе при двух полярностях входного сигнала. В качестве источника входного сигнала использовать выходное напряжение потенциометра RP1. Для этого установить перемычку между гнездами X3 и X12. Включить электропитание модулей стенда. Затем, изменяя входное постоянное напряжение в пределах от -Uвх m до +Uвх m, снять передаточную характеристику. Результаты измерений занести в табл. 3.2.2. По передаточной характеристике определить коэффициент усиления усилителя по напряжению. Построить передаточную характеристику усилителя и определить по ней линейный диапазон работы усилителя. Выключить электропитание стенда. Сформулировать выводы.

Таблица 3.2.2

Uвх, В							
Uвых, В							
Ku= Uвых/Uвх							

3.3.3. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику Ku=Ku(f) усилителя при Uвх=const- для заданного значения сопротивления резистора R4. Для этого убрать перемычку между гнездами X3 и X12. Отсоединить измерительные приборы. На вход усилителя (гнезда X12 и X14) подключить выход функционального генератора (рис. 3.). Установить форму выходного сигнала генератора «Синусоида». Включить электропитание модулей стенда. Подготовить к работе осциллограф. Вход осциллографа подключить к точке XI0. При снятии характеристики установить амплитуду входного сигнала на линейном участке амплитудной характеристики усилителя (т.е синусоида не должна иметь ограничений амплитуды на верхней и нижней полуволне), при этом

сначала частота выходного сигнала устанавливается в диапазоне 10...100 Гц. Далее, не изменяя амплитуды входного сигнала, последовательно переключаем диапазоны ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА по возрастающей (т.е. 100…1000Гц,1000...10000Гц, 10000...100000Гц) и в каждом поддиапазоне исследуем изменение амплитуды выходного сигнала с увеличением частоты. Амплитудные значения входного Uвх (X12) и выходного Uвых (X10) сигналов измерять осциллографом. Результаты опыта занести в табл. 3.2.3.

3.3.4. По данным опыта вычислить коэффициенты усиления по напряжению и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя, откладывая частоту в логарифмическом масштабе. Определить значения граничных частот полосы пропускания усилителя. Сформулировать выводы.

Таблица 3.2.3

f, Гц										
Uвх, В										
Uвых, В										
Ku= Uвых / Uвх										

3.4. Исследование активного фильтра нижних частот

3.4.1. Собрать схему активного фильтра нижних частот согласно рис. 4. Напряжение на входе и выходе фильтра контролировать при помощи осциллографа. Значение резистора R4 и величину емкости конденсатора C2 установить в соответствии номером варианта .

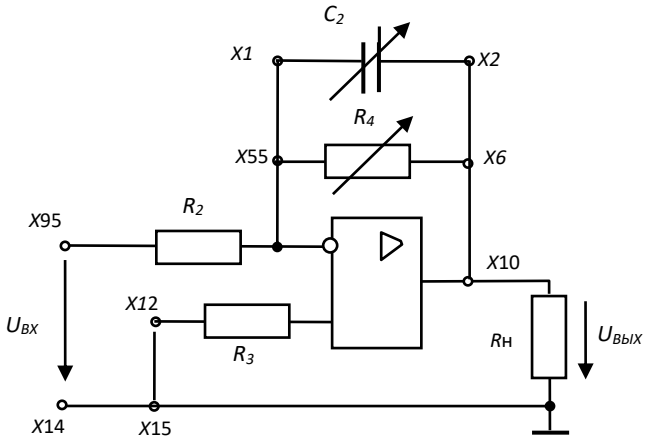


Рис 4 Исследование активного фильтра нижних частот на операционном усилителе

3.4.2. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику фильтра при заданных параметрах элементов фильтра. Для этого:

На вход усилителя (гнезда X9 и X14) подключить выход функционального генератора (рис. 4). Установить форму выходного сигнала генератора «Синусоида». Включить электропитание модулей стенда. Подготовить к работе

осциллограф. Вход осциллографа подключить к точке XI0. При снятии характеристики установить амплитуду входного сигнала на линейном участке амплитудной характеристики усилителя (т.е синусоида не должна иметь ограничений амплитуды на верхней и нижней полуволне), при этом сначала частота выходного сигнала устанавливается в диапазоне 10..100 Гц. Далее, не изменяя амплитуды входного сигнала, последовательно переключаем диапазоны ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА по возрастающей (т.е. 100..1000Гц,1000...10000Гц, 10000... 100000гц)и в каждом поддиапазоне исследуем изменение амплитуды выходного сигнала с увеличением частоты. Амплитудные значения входного 11вх (X9) и выходного Uвых (X10) сигналов измерять осциллографом. Результаты измерения занести в табл. 3.3.1. Сформулировать выводы

Таблица 3.3.1

f, Гц							
U вх, В							
Uвых, В							
Ku = Uвых/Uвх							

3.3.3. Изменить по указанию преподавателя параметры элементов фильтра. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику фильтра при новых параметрах элементов фильтра. Сформулировать выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

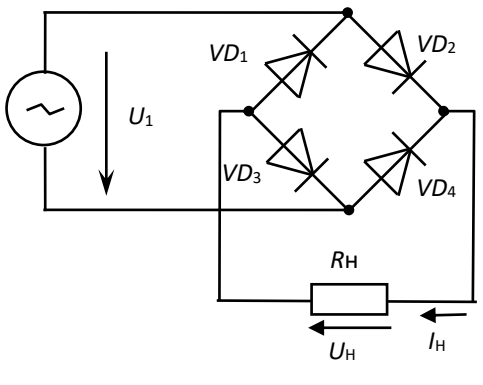
«ОДНОФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ И СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ»

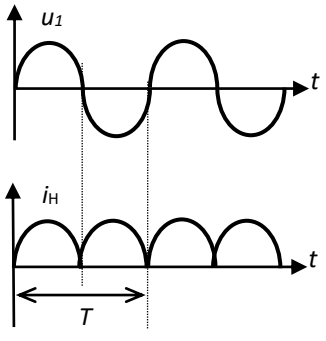
Цель работы: ознакомиться с принципом работы и основными свойствами однофазного двухполупериодного выпрямителя, изучить влияние сглаживающих фильтров на работу выпрямительного устройства.

Краткие теоретические сведения.

Схема двухполупериодного мостового выпрямителя представлена на рис. 1,а.

При напряжении питания $u_1(t) = U_{1m}\sin(\omega t)$ мостовая схема обеспечивает за каждый период *T* протекание в нагрузке *R*Н двух полуволн тока *i*н (рис. 1,б). При *u*1 >0 диоды *VD*2 и *VD*3 открыты, а *VD*1 и *VD*4 заперты, ток проходит через диод *VD*2,





а) б)

Рис. 1. Схема двухполупериодного мостового выпрямителя -а) и графики напряжения и тока -б)

сопротивление нагрузки и диод *VD*3. При *u*1 < 0 диоды *VD*1 и *VD*4 открыты, а *VD*2 и *VD*3 заперты, ток проходит через диод *VD*4, сопротивление нагрузки и диод *VD*1.

Постоянная составляющая *U*н напряжения на нагрузке при двухполупериодном выпрямлении равна

$$U_H = \frac{2U_{Hm}}{\pi}.$$

Коэффициент пульсаций q равен отношению амплитуды первой гармоники выпрямленного тока к его постоянной составляющей. Поскольку разложение в ряд Фурье двухполупериодного выпрямленного тока имеет вид

$i_H = \frac{2I_{Hm}}{\pi} + \frac{4I_{Hm}}{3\pi}\cos 2\omega t - \frac{4I_{Hm}}{15\pi}\cos 4\omega t + \ldots$, то $q = 2/3$.

Мостовой выпрямитель в сравнении с однополупериодным имеет большее значение среднего выпрямленного тока, меньший коэффициент пульсаций

На практике, при сложной форме пульсаций, наибольшую величину может иметь не первая гармоника, а гармоника с более высоким номером. В этом случае определяют общий размах пульсаций и абсолютный коэффициент пульсаций ($q_{абс}$), который может рассчитываться по разным формулам, например:

$$q_{абс} = \Delta U_н/(2U_н)=(U_{нмакс} - U_{нмин}) / (2U_н),$$

где $\Delta U_н$-размах колебаний напряжения нагрузки,

$U_н$ - постоянная составляющая напряжения нагрузки.

Для питания постоянным напряжением большинства устройств электроники коэффициент пульсаций не должен превышать 0,1. Ни одна из простых схем выпрямителей не обеспечивает такого коэффициента пульсаций. Поэтому для уменьшения пульсаций используют сглаживающий фильтр, который включают между выпрямителем и нагрузкой.

Назначение сглаживающего фильтра – выделить из выпрямленного напряжения постоянную составляющую и подавить высшие гармоники.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.

2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы / Активная нагрузка», «Реактивные элементы», «Диоды, резисторы, конденсаторы», «Измерительные приборы», «Осциллограф».

4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

<u>Внимание! Все изменения схемы исследуемой цепи поводить только при выключенном источнике питания</u>

1. Исследование работы однофазного выпрямителя в режиме холостого хода.

1.1. Собрать схему на рис. 2. В качестве источника сигнала (Выход вторичной обмотки Тр.1) использовать выход ~12В модуля «Источник питания». В качестве выпрямителя использовать диодный мост 1N4007 х 4 модуля «Диоды, резисторы, конденсаторы», в качестве фильтров – катушки и конденсаторы модуля «Реактивные элементы», в качестве нагрузки - один из резисторов модуля «Резисторы \ активная нагрузка». Для выполнения измерений использовать ампервольтметры модуля «Измерительные приборы», вольтметр *PV*1 в режиме «*AC*», вольтметр *PV*2 в режиме «*DC*». Представить цепь преподавателю для проверки.

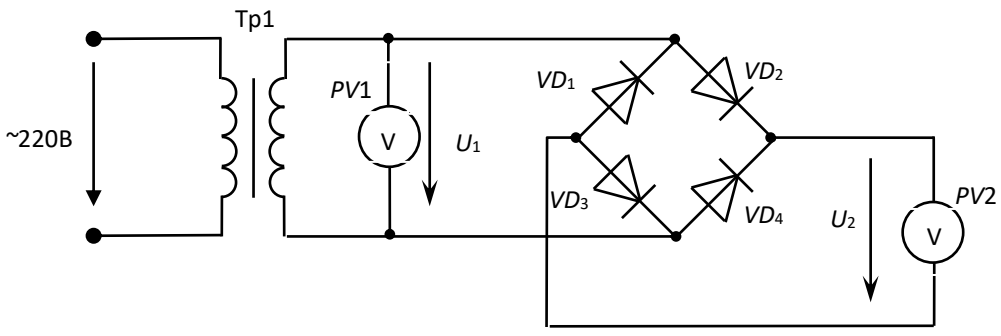


Рис. 2 Исследование однофазного выпрямителя в режиме холостого хода

1.2. Включить электропитание стенда, измерить вольтметром *PV*1 напряжение *U*1 на входе выпрямителя, вольтметром *PV*2 напряжение *U*2 на выходе выпрямителя в режиме холостого хода. Результат измерения записать в табл. 1.

1.3. Подготовить к работе осциллограф для наблюдения форм напряжений. Подключить вместо вольтметра (*PV*2) осциллограф. Получить на экране устойчивое изображение и определить по осциллограмме амплитудное значение выпрямляемого напряжения *U*2m. Зарисовать в масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения.

Таблица 1

*U*1, В	*U*2, В	*U*2m, В	*UD*m, В	*U*2 / *U*2m

1.4. Подключить осциллограф к одному из диодов, получить устойчивое изображение, измерить величину максимального обратного напряжения на диоде *UDm*. Зарисовать в том же масштабе осциллограмму напряжения на диоде.

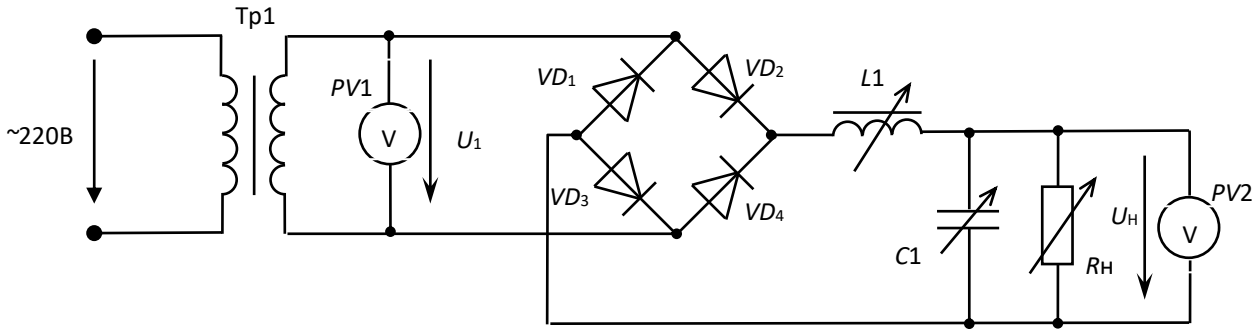


Рис.3. Исследование однофазного выпрямителя и сглаживающих фильтров

2. Исследование работы выпрямителя без сглаживающих фильтров.

2.1. Для этого подключить в качестве нагрузки один из резисторов модуля «Резисторы \ активная нагрузка». (рис. 3) и установить сопротивление нагрузки, равным 100 Ом. (***Сопротивление нагрузки менее 100 Ом не устанавливать***.) Элементы сглаживающих фильтров, конденсатор *С*1 и катушка индуктивности *L*1 при этом не подключаются. Подключить выводы осциллографа параллельно нагрузке, зарисовать в прежнем масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н при отсутствии сглаживающих фильтров. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н). Сформулировать выводы.

Таблица 2

Параметр	Тип фильтра					
	отключен	*С*Ф1=	*С*Ф2=	*L*Ф1=	*L*Ф2=	*L*Ф= ;*С*Ф=
Δ*U*						
*U*н						
q = Δ*U* / (2 *U*н)						

2.2. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы выпрямителя. Для этого изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) в соответствии с таблицей 3 и измерять напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

Таблица 3

Тип фильтра	Параметр	Сопротивление нагрузки *R*н, Ом						
		100	200	300	400	500	800	1200
Отключен	*U*н, В							
	*I*н, мА							
Емкостной	*U*н, В							
	*I*н, .мА							
Индуктивный	*U*н, В							
	*I*н, мА							
Индуктивно-емкостной	*U*н, В							
	*I*н, мА							

3. Исследование влияния сглаживающих фильтров (емкостного, индуктивного и индуктивно-емкостного) на выпрямленное напряжение.

3.1. Подключить в схему параллельно нагрузке (*R*н=100Ом) конденсатор *С*1 блока «Реактивные элементы». Подключить осциллограф. Зарисовать в прежнем масштабе

осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н).

Измерения и расчеты провести при двух различных значениях емкости конденсатора *C*1.

Сформулировать выводы.

3.2. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы емкостного фильтра. Для этого при некотором значении *C*1 изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) и измерить напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

3.3. Отключить из схемы конденсатор *C*1. Подключить в схему последовательно с нагрузкой (*R*1=100Ом) катушку индуктивности *L*1 блока «Реактивные элементы». Подключить осциллограф параллельно нагрузке.

Зарисовать в прежнем масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н).

Измерения и расчеты провести при двух различных значениях индуктивности катушки *L*1.

Сформулировать выводы.

3.4. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы индуктивного фильтра. Для этого при некотором значении *L*1 изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) и измерить напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

3.5. Подключить в схему параллельно нагрузке (*R*н=100Ом) конденсатор *C*1 блока «Реактивные элементы», оставив в схеме катушку индуктивности *L*1. Подключить осциллограф. Установить значение емкости конденсатора *C*1, равным одному из значений из п. 3.1, а значении индуктивности *L*1 - одному из значений из п.3.3.

Зарисовать в прежнем масштабе осциллограммы выпрямленного напряжения на нагрузке *U*н. Определить по осциллограмме двойную амплитуду (размах) пульсаций выпрямленного напряжения Δ*U*. Измерить с помощью вольтметра *PV*2 постоянную составляющую напряжения на нагрузке *U*н. Результаты измерений занести в табл.2. По результатам измерений определить коэффициент пульсаций q = Δ*U* / (2 *U*н).

3.6. Исследовать влияние величины сопротивления нагрузки на эффективность работы *LC*-фильтра. Для этого при установленных значениях *C*1 и *L*1 изменять величину сопротивления нагрузки (*R*н) и измерить напряжение на нагрузке *U*н. Ток нагрузки *I*н

рассчитать, воспользовавшись законом Ома. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

3.7. Построить в одной системе координат графики внешних характеристик $U_н=f(I_н)$ выпрямителя при отсутствии фильтра, при емкостном, индуктивном и индуктивно-емкостном фильтре. Сформулировать выводы.

Типовой комплект учебного оборудования

«Электротехника и основы электроники»

Типовой комплект учебного оборудования «Электротехника и основы электроники» предназначен для проведения лабораторных занятий по курсам «Электротехника» и «Электроника» и обеспечивает изучение электрических цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей, полупроводниковых приборов, аналоговых электронных устройств, элементов цифровой техники и основ электромеханики.

Комплект оборудования имеет стендовое исполнение.

В комплект оборудования входят следующие лабораторные модули:

Автотрансформатор.

Функциональный генератор.

Измеритель мощности.

Источник питания.

Измерительные приборы.

Мультиметры.

Тиристоры.

Диоды, резисторы и конденсаторы.

Нелинейные элементы. Реактивные элементы. Резисторы/Активная нагрузка.

Операционный усилитель. Транзисторы.

Цифровая техника.

Трансформатор однофазный.

Миллиамперметры.

Осциллограф.

Модуль питания.

Модуль силовой/измерительный.

Активная нагрузка.

1 ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

1.1 АВТОТРАНСФОРМАТОР

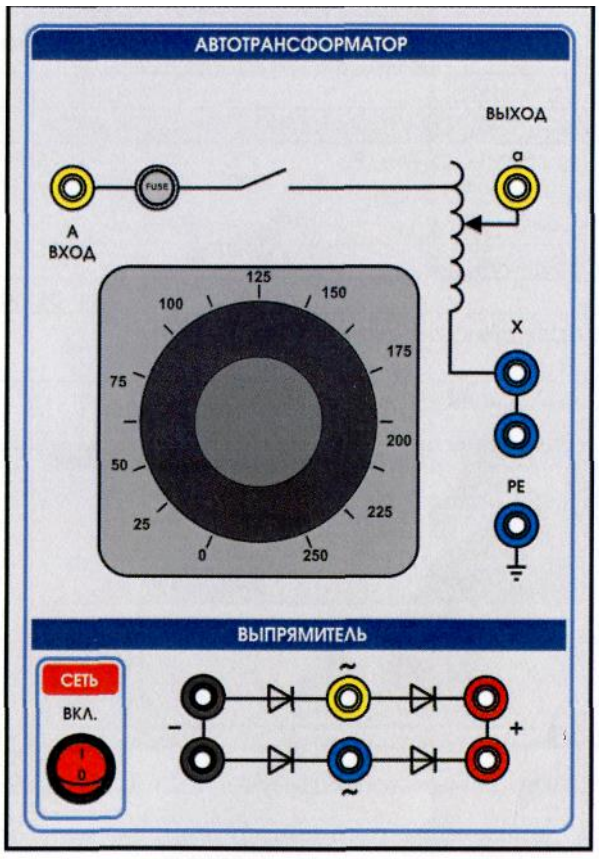


Рисунок.1.1 – Автотрансформатор

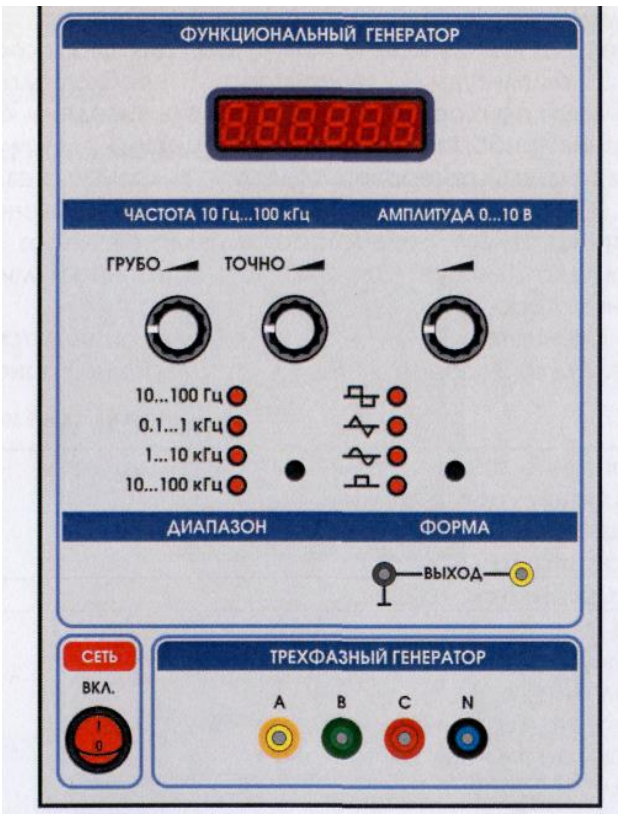
Модуль включает в себя: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) и мостовую схему выпрямления. Регулируемый автотрансформатор предназначен для преобразования однофазного нерегулируемого напряжения промышленной частоты 220В/50 Гц в однофазное регулируемое напряжение 0-250В той же частоты. ЛАТР имеет номинальное входное напряжение 230В. Входное напряжение подается на вход «А» и «Х» и включается в работу тумблером «Вкл». Выходное напряжение от 0 до 250В регулируется при помощи ручки ЛАТРа, выведенной на переднюю панель. Номинальная мощность нагрузки составляет 250Вт. Перед началом проведения лабораторных экспериментов необходимо ручку регулировки напряжения установить в положение «0 В».

Мостовая схема выпрямителя предназначена для преобразования переменного двуполярного напряжения в однополярное. Модуль не имеет цепей питания.

Технические характеристики

Число фаз, не менее	1
Номинальная мощность, В-А	250
Номинальное напряжение, В: - первичной обмотки - вторичной обмотки	220 0...250
Частота напряжения, Гц	50+0,5
Защита	от перегрузки по
Рабочее напряжение мостового выпрямителя не менее), В	600
Максимальный ток мостового выпрямителя (не менее), А	10

1.2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР



Модуль состоит из двух функциональных узлов: трехфазного генератора и, собственно, функционального генератора.

Функциональный генератор представляет собой генератор колебаний заданной формы, частоты и амплитуды. Частотный диапазон генератора составляет 10 Гц... 100 кГц и разбит на 4 поддиапазона: 10...100 Гц, 0,1...1 кГц, 1...10 кГц, 10...100 кГц. Переключение между поддиапазонами происходит путем нажатия на тактовую кнопку. Текущий диапазон индицируется включением соответствующего светодиода. Реализовано два режима регулировки частоты генератора - ручками

«Грубо» и «Точно». Текущее значение частоты в Гц отображается на цифровом индикаторе.

Выбор формы выходного сигнала генератора осуществляется тактовой кнопкой, при этом загорается соответствующий светодиод

прямоугольная двуполярная, синусоидальная, треугольная, прямоугольная однополярная положительная.

Амплитуда выходного сигнала генератора регулируется в диапазоне 0...11 В ручкой «Амплитуда». Для отображения текущего значения амплитуды генератора необходимо подключить измерительный прибор. На лицевую панель выведены клеммы «Выход» для включения прибора в измерительную цепь

Рисунок 1.2 - Функциональный генератор

Трехфазный генератор содержит выходные гнезда напряжений фаз А, В, С и нейтрального проводника N. Напряжения на выходных гнездах трехфазного генератора появляются через определённое время (порядка 30-40сек). Это связано с особенностями используемой схемы генератора.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником - напряжение, В - частота, Гц	 230±10% 50±0,5
Максимальный ток нагрузки, А	0,3
Выходное напряжение специальной формы: - синусоидальное - амплитуда, В - частота, Гц - прямоугольное, двуполярное - амплитуда, В - частота, Гц - скважность - треугольное - амплитуда, В - частота, Гц - прямоугольное, однополярное - амплитуда, В - частота, Гц - скважность	 0...± 11 10... 100000 0... ± 11 10... 100000 2 0...11 10... 100000 0... + 11 10... 100000 2
Индикация текущего значения частоты	цифровая
Погрешность измерения частоты, не более	0.1%

Выход трехфазного синусоидального напряжения с нулевым выводом:

- действующее значение напряжения, В 3x8 ±10%
- частота, Гц
- ток, А, не более 50 ±1%
-

1.3 ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

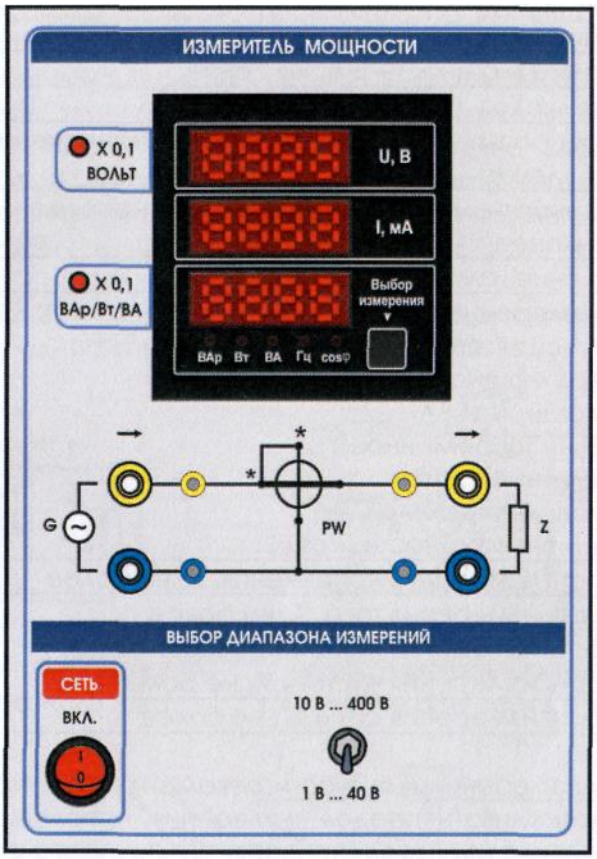


Рисунок .1.3 - Измеритель мощности

Модуль предназначен для измерения действующих значений переменного напряжения и тока; активной, реактивной и полной мощности, частоты и cos ф на нагрузке в цепях переменного тока. Модуль содержит цифровой 3-х строчный индикатор, на котором отображаются следующие параметры: 1) напряжение, 2) ток, 3) активная мощность, реактивная мощность, полная мощность, частота и cos ф. Входное измеряемое напряжение - до 400В (или 40В), максимальный измеряемый ток - 600мА.

На лицевую панель выведены клеммы для включения прибора в измерительную цепь.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
- напряжение, В	230
- частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, В-А, не более	10
Количество входов (ток, напряжение)	2
Входное сопротивление при измерении напряжения до 400В, не менее	560 кОм
Входное сопротивление при измерении напряжения до 40В, не менее	56 кОм
Сопротивление измерительного шунта	0,05 Ом

Пределы измерения: - активная мощность, Вт - реактивная мощность, Вар - полная мощность, ВА - напряжение (переменное), В -ток (переменный),мА - частота тока/напряжения, Гц -коэффициент мощности (cos ф)	 0,02... 240 0,02... 240 0,02... 240 10...400./ 1...40 2…600 45... 65 0... 1,000
Погрешность измерения напряжения, %, не более	±1,0
Погрешность измерения тока, %, не более	±1,0
Погрешность измерения мощности, %, не более	±2,0
Погрешность измерения частоты, %, не более	±1,0
Погрешность измерения cos ф,% , не более	±2,5

При измерении мощности рекомендуется перед включением в схему устанавливать предел измерения напряжения в положение «10В...400В», если измеряемое напряжение имеет значение менее 10В, то необходимо переключиться на предел измерения «1...40В». В этом диапазоне необходимо учитывать множитель «0,1» для показаний напряжения и мощности. Это отображается на передней панели в виде светящихся светодиодов.

Необходимо иметь в виду, что большая точность обеспечивается при значениях которые находятся ближе к верхней шкале диапазона. (Например, при измерении напряжения от 10В до 39.99В лучше пользоваться диапазоном напряжений 1В...40В).

ВНИМАНИЕ!

1) *Запрещается* устанавливать тумблер диапазона измерений в положение «1...40В» при измерении напряжений более 40В, а также запрещается производить манипуляции с тумблером диапазона измерений при поданном напряжении более 40В.

2) *Запрещается* удерживать нажатую клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» более 5 сек, т.к. в этом случае может произойти сбой в настройках программы. Если это произошло, то для восстановления следует произвести следующие операции:

После нажатия и удержания кнопки «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» более 5 сек на верхнем индикаторе появляется надпись « n-tr », а на среднем появится число «100». Если это число не равно 100, то необходимо поочередно кратковременно нажимать клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ», до появления значения «100». После этого нажать клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» и удерживать её более 5 сек, до появления надписи «YES».

.1.4 ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Однофазный источник питания предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков учебных лабораторных комплексов.

Модуль содержит в своем составе:

- стабилизированный регулируемый в пределах 0...12 В, 0,5А источник постоянного тока с защитой от перегрузок по току Е1.Источник оборудован цифровым вольтметром;
- источник переменного тока 12В х 0,2А с внутренней защитой от перегрузок по току Е2;
- стабилизированный регулируемый в пределах 0...12 В., 0,5А источник постоянного тока с внутренней защитой от перегрузок по току Е3.
- Источник переменного тока 220В х16А.

Источники (Е1-Е3) имеют гальваническую развязку друг от друга и от питающей сети 220В/50Гц. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

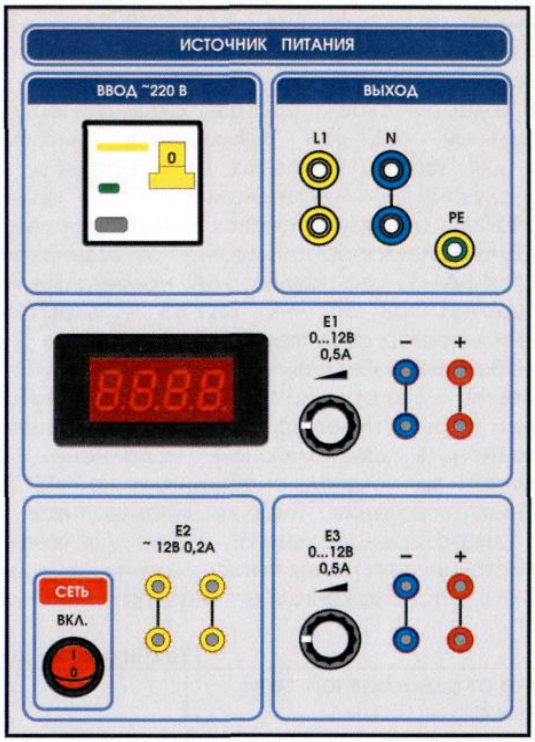


Рисунок .1.4 - Источник питания

Модуль имеет в своем составе автоматический выключатель дифференциальный ВД1-63. Выключатель дифференциальный предназначен для защиты человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждении изоляции, а также для защиты электрооборудования от возникновения пожара. Номинальный ток ВД1-63 составляет 16А, номинальный отключающий дифференциальный ток 30 мА. ВД1-63 - электромеханическое устройство, не имеющее собственного потребления электроэнергии, сохраняет работоспособность, т.е. осуществляет защиту от электропоражений и возгораний при любых колебаниях напряжения в сети и даже при обрыве нулевого рабочего проводника. Выключатель ВД1-63 выполнен в двухполюсном исполнении. Для контроля работоспособности выключатель снабжен кнопкой «ТЕСТ».

Включение/отключение модуля производится при помощи выключателя дифференциального. Для включения/выключения низковольтных источников питания предусмотрен отдельный клавишный выключатель «Вкл.», расположенный на лицевой панели модуля.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками:	230±10%
- напряжение, В	16
- ток, А, не более	50+0,5
Выходные:	220±10%
- напряжение, В	16
Устройства защиты	Выключатель
Номинальный ток нагрузки, А	16
Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	30
Параметры вторичных источников:	
Источник Е1:	
- регулируемое постоянное напряжение, В	0...+12
- ток нагрузки, А	0,5
- индикация	цифровая
Источник Е2:	
- переменное напряжение, В	~12
- ток нагрузки, А	0,2

Клеммы: - фазный провод L1	2

1.5 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

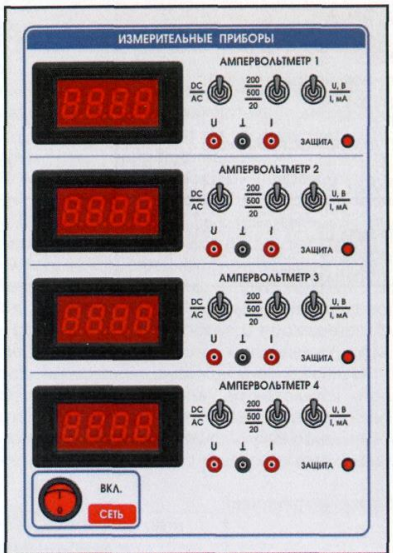


Рисунок 1.5 - Измерительные приборы

Модуль содержит цифровые измерительные приборы: четыре ампервольтметра постоянного/переменного тока с соответствующими гнездами для включения в измерительную цепь, выведенными на лицевую панель. Выбор функционального назначения прибора осуществляется с помощью микротумблеров «U,B/I,мА». В верхнем положении он выполняет функцию вольтметра, а в нижнем - амперметра. Выбор диапазона измерения ампервольтметров 20, 200 и 500 В/мА производится при помощи микротумблеров, имеющих три фиксированных положения (верхнее положение - 200, среднее - 500, нижнее - 20).

Род измеряемого тока прибора (переменный или постоянный) выбирается тумблерами DC/AC (верхнее положение (DC) -постоянный ток или напряжение, нижнее положение (AC) - переменный ток или напряжение). Погрешность измерения токов и напряжений - 2,5%. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл.», расположенным на лицевой панели.

Все миллиамперметры имеют встроенные схемы защиты шунтов от прямой подачи напряжения без последовательной нагрузки. В случае протекания повышенного тока через шунт (более 1А), он отключается от цепи путем размыкания на время около 4сек.

При измерении постоянного тока или напряжения гнездо красного цвета соответствует полярности «плюс». Гнездо черного цвета - полярности «минус».

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
Напряжение, В	230
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, ВА, не более	20
Количество цифровых вольтметров	4
Количество цифровых амперметров	4

1.6. МУЛЬТИМЕТРЫ

Примечание. В техническом описании и методических указаниях показано использование мультиметров типа MY61...MY64. В данном варианте стенда используются мультиметры типа MY63 .Изменение типа мультиметра не оказывает существенного влияния на понимание процессов, происходящих при проведении экспериментов и лабораторных работ.

Модуль представляет собой блок из двух мультиметров. Мультиметры имеют несъемную конструкцию и свои собственные, гальванически развязанные источники питания от сети 220В/50Гц. Мультиметр предназначен для измерения величины силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления и коэффициента усиления биполярных транзисторов. Высокое входное сопротивление не вносит погрешности при измерениях величин. Выбор пределов измерения величин производится вручную путем установки нужного положения многопозиционного переключателя.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл», расположенным на лицевой панели.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником: - напряжение, В	220 50
Режим выбора пределов измерения	ручной

Количество измерений в секунду	2-3
Постоянное напряжение U=	0,1мВ- 1000В
Переменное напряжение U~	1мВ-750В
Переменный ток I~	10 мкА - 1 0 А
Постоянный ток I=	0,1 мкА-10 А
Диапазон частот по переменному току	40- 1000Гц
Сопротивление Ω	0,1 Ом-20Мом
Входное сопротивление R	10МОм
Диод-тест	есть
Автовыключение	~ 15 мин
Режим «прозвонка»	<50Ом

Рисунок 1.6 - Мультиметры

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

Для измерения трех базовых электрических величин (тока, напряжения и омического сопротивления) используется мультиметр. Мультиметр является основным измерительным инструментом в слаботочных системах.

Мультиметр, в общем случае, имеет следующие режимы:

- Измерение переменного напряжения, пределы измерений до 600 В;
- Генератор прямоугольных импульсов;
- Измерение силы тока для постоянного напряжения;
- Измерение постоянного тока до 10 А;
- Проверка транзисторов;
- Прозвонка для определения целостности кабеля;
- Измерение сопротивления пределы измерений 200 Ом, 2000 Ом, 20 кОм,200 кОм, 2000 кОм, 200МОм;

- Измерение постоянного напряжения пределы измерений 200 мВ, 2000 мВ, 20В, 200 В, 1000 В.

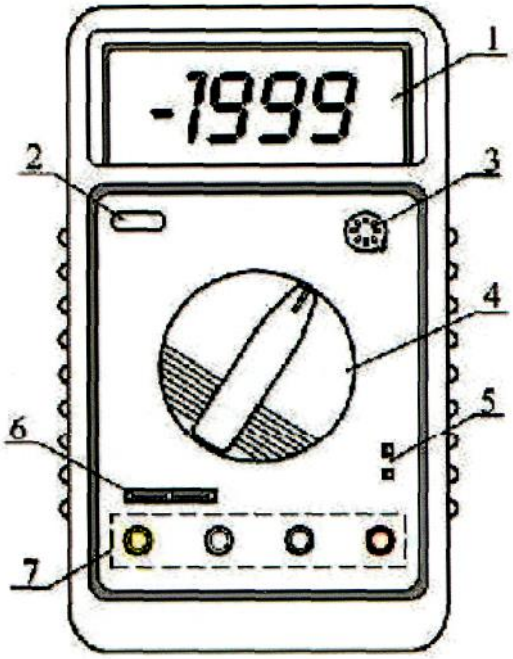


Рис. 1.6.1 Лицевая панель мультиметра:

1 -дисплей; 2 - выключатель питания; 3 - гнездо для проверки транзисторов; 4 -переключатель режимов; 5 - разъем для подключения термопары; 6 - разъем для подключения конденсатора; 7 - входы для измерения тока, напряжения, сопротивления

Рис. 1.6.2 Переключатель режимов мультиметра

Рис. 1.6.3 Измерительные входы мультиметра:

10 А - вход для измерения тока до 10 А; mA - вход для измерения тока до 200 мА; COM - общий вход (земля); VΩHz - вход для измерения напряжения и сопротивления

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Никогда не превышайте максимально допустимых значений входных сигналов, указанных в спецификации для каждого диапазона измерений.

Не касайтесь открытых гнезд мультиметра, когда он подключен к измеряемой схеме.

Если порядок измеряемой величины заранее не известен, установите переключатель диапазонов на максимальное значение.

Всегда отключайте щупы от измеряемой схемы при смене функции работы прибора.

При проведении измерений в телевизорах или импульсных блоках питания всегда помните, что там могут присутствовать высоковольтные импульсы напряжения, которые могут вывести прибор из строя.

Никогда не проводите измерение величины сопротивлений во включенных схемах.

Никогда не измеряйте емкость конденсаторов, не убедившись, что они полностью разряжены.

Будьте всегда осторожны при работе с напряжениями более =60В или -30 В. При проведении измерений держите пальцы за защитной кромкой щупов.

Общие принципы работы с мультиметром

3. Переключения между режимами работы мультиметра производятся с помощью поворотного переключателя (рис1.6.1). По окончанию измерений необходимо установить переключатель в положение OFF, для предотвращения разряда батареи.

4. Не касаться оголенной части щупов при работе с мультиметром, т.к.помимо возможности поражения электрическим током возрастает погрешность измерений.

3. Перед началом работы с мультиметром необходимо правильно выставлять пределы измерений. Чем ближе к измеряемому значению выставлен предел, тем точнее будет результат. Если же примерное значение измеряемой величины заранее не известно, то стоит начинать измерения с максимально возможного предела измерений. Появление на дисплее цифры «1» указывает на то, что следует увеличить диапазон измерений.

Внимание! Если положение переключателя режимов не изменяют в течение 10 минут, мультиметр автоматически выключается. Для продолжения работы необходимо дважды нажать кнопку 2 (рис.1.6.1).

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

До подключения мультиметра к измеряемой цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установить род тока (постоянный/переменный);
- выбрать диапазон измерений измеряемой величины;
- правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

Измерение силы тока с помощью мультиметра

Для измерения силы тока необходимо красный щуп подключить к входу «10A», черный - ко входу «COM». Если Вы уверены, что в цепи течет небольшая сила тока (до 200мА), то можно установить щуп во вход «mA». Подключение мультиметра в режиме амперметра в цепь необходимо производить последовательно (в разрыв цепи).

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «A=» или «A~» и подсоедините щупы последовательно с исследуемой нагрузкой.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного тока индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе.

Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение напряжения с помощью мультиметра

Для измерения напряжения необходимо красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный - ко входу «COM». Подключение мультиметра в режиме вольтметра в цепь необходимо производить параллельно.

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «V=» или «V~» и подсоедините щупы к источнику напряжения или исследуемой нагрузке.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного напряжения индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе. Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение сопротивления с помощью мультиметра

Для измерения электрического сопротивления участка цепи необходимо красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный - ко входу «COM». Установив переключатель в соответствующее положение произвести измерение, мультиметр при этом подключается параллельно участку цепи. Необходимо помнить, что в измеряемом участке цепи не должен протекать электрический ток, иначе мультиметр выйдет из строя.

Замечание:

- Если измеряемое сопротивление превышает максимальное значение выбранного предела измерения или вход не подсоединен к сопротивлению, дисплей покажет «1».
- При измерении величины сопротивления, находящегося в схеме, убедитесь, что схема выключена и конденсаторы полностью разряжены.
- При измерениях свыше 1 МОм прибор может устанавливать показания в течение

нескольких секунд. Это является нормальным при измерении больших сопротивлений.

- На диапазоне 200 МОм при замыкании щупов накоротко дисплей покажет 10 единиц. Это значение должно быть вычтено из полученного результата при измерении сопротивления на этом пределе. Например, при измерении сопротивления в 100 МОм дисплей покажет 101,0, и правильное значение будет 101,0-1,0= 100,0 МОм.

Измерение емкости конденсаторов

Установите поворотный переключатель на желаемый предел измерения емкости «F».

Перед установкой конденсатора в разъем для конденсаторов убедитесь, что конденсатор полностью разряжен.

При измерении емкости конденсатора с короткими выводами установите в разъем для конденсаторов переходной адаптер.

Проверка диодов

Соедините черный щуп с гнездом «COM», а красный с гнездом «VΩ Hz» прибора (полярность красного будет «+»).

Установите переключатель функций в положение «"▶|"» и соедините красный щуп с анодом, а черный щуп с катодом измеряемого диода. Дисплей покажет приблизительное прямое падение напряжения на диоде. При обратном подключении щупов к диоду дисплей покажет «1».

Проверка транзисторов

Установите поворотный переключатель в положение « h_{FE}».

Определите, какого типа проводимости - PNP или NPN - проверяемый транзистор и определите местоположение его эмиттера, коллектора и базы.

Установите выводы транзистора в соответствующие гнезда разъема на приборе.

Дисплей покажет приблизительный коэффициент h_{FE} транзистора при токе базы 10 мкА и напряжении коллектор-эмиттер 3,2 В.

«Прозвонка» с помощью мультиметра. Установить мультиметр в режим прозвонки, красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный - ко входу «COM». Для проверки работоспособности данного режима замкнуть два щупа между собой. При этом мультиметр издаст звуковой сигнал и покажет сопротивление близкое к нулю. Звуковой сигнал мультиметр издает при сопротивлении проверяемого участка цепи до 80 Ом. Для прозвонки необходимо подключить щупы к разным концам цепи, если обрыва нет, то мультиметр издаст звуковой сигнал или покажет сопротивление.

Измерение частоты

Соедините черный щуп с гнездом «COM», а красный с гнездом «VΩ Hz» прибора.

Установите поворотный переключатель в положение «кHz» и подсоедините щупы к источнику сигнала или исследуемой нагрузке.

Замечание:

- При входном сигнале свыше 10 В считывание возможно, но точность не гарантируется.
- При малых входных сигналах в условиях сильных внешних шумов предпочтительнее использовать экранированный кабель.

1.7 ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ. КОННЕКТОР/ БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА

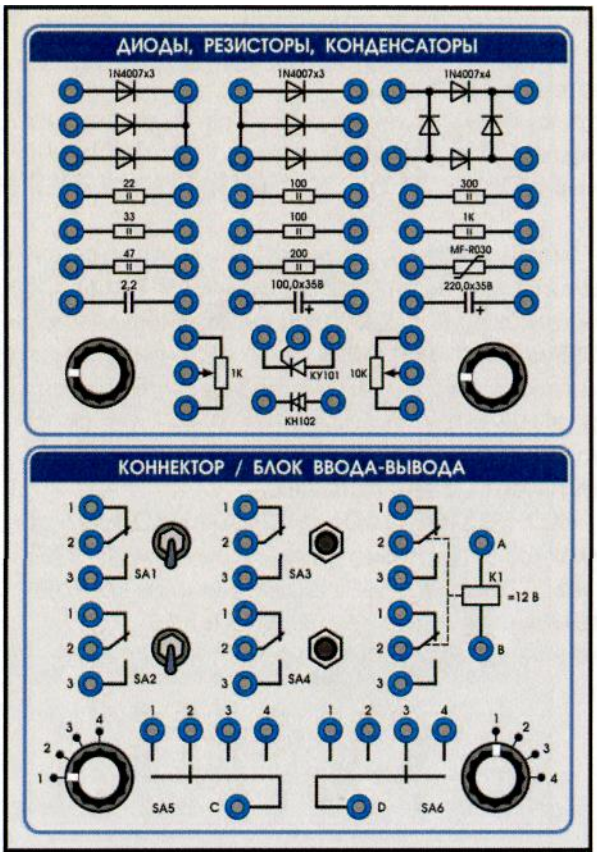


Рисунок .1.7 – Диоды, резисторы, конденсаторы

Блок «ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ» представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров выпрямительного диода, тиристора, динистора, различных типов выпрямителей, а также в качестве элементов для составления исследуемых схем

(постоянные и переменные резисторы, конденсаторы неполярные и полярные, самовосстанавливающийся предохранитель) и проведения лабораторных работ.

Модуль содержит:

-диоды для исследования трехфазных цепей:

- 1 N4007 x 3 (с общим катодом);
- 1 N4007 x 3 (с общим анодом);

- диоды для исследования однофазных цепей (диодный мост 1 N4007x4);

- самовосстанавливающийся предохранитель ЛЛР-РОЗО ;

-тиристор КУ101;

- динистор КН102;

- набор из 8-ми отдельных постоянных резисторов мощностью 2Вт каждый со следующими номинальными величинами сопротивлений: 22 Ом, 33 Ом, 47 Ом, 100 Ом (2 шт.), 200 Ом, 300 Ом, 1 кОм;

- два переменных резистора мощностью 0,5Вт каждый с номинальными величинами сопротивлений 1 кОм и 10 кОм;

- 3 конденсатора: 2,2 мкФ x 50В (керамический, неполярный), 100,ОмкФ x 35В и 220,0 мкФ x 35В (электролитические, полярные);

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Блок «КОННЕКТОР/БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА» представляет собой набор элементов : переключаемые тумблеры SA1, SA2. Кнопки SA3, SA4, реле на 12В с двумя перекидными контактами , 2 галетных переключателя на 4 положения SA5 и SA6.

Блок не имеет цепей питания.

1.8 РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. РЕЗИСТОРЫ/АКТИВНАЯ НАГРУЗКА. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

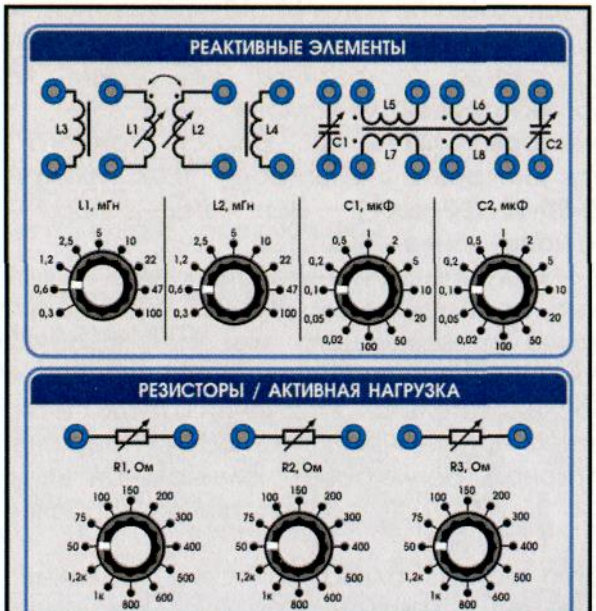


Рисунок 1.8 - Реактивные элементы. Резисторы/Активная нагрузка. Нелинейные элементы

Реактивные элементы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров реактивных элементов - катушек индуктивности, трансформаторов, конденсаторов. Также блок используется в качестве отдельных элементов для составления схем.

Блок содержит следующие реактивные элементы:

- взаимосвязанные катушки переменной индуктивности *L*1, *L*2 с диапазоном дискретных значений от 0,3мГн до 100мГн (0,3-0.6-1,2-2,5-5-10-22-47-100).

- катушки индуктивности *L*3 и *L*4, конструктивно выполненные на ферритовых сердечниках.

Индуктивность *L*3 = 10мГн, а *L*4 = 40мГн.

- трансформатор , выполненный на ферритовом сердечнике , состоит из 4-х одинаковых обмоток L5...L8 индуктивностью по 10мГн.

Ток максимальный для катушек *L*1...*L*8 - не более 500мА. Точка на схеме, показанная на одном конце катушки (*L*1, *L*2, *L*5...*L*8) обозначает начало обмотки.

- конденсаторы *C*1 и *C*2. Емкость каждого конденсатора устанавливается дискретно в диапазоне 0,02...100мкФ (0,02-0,05-0,1- 0,2-0,5-1-2-5-10-20-50-100 мкФ). Все конденсаторы - неполярные. Максимальное напряжение - 50В.

Катушки индуктивности конструктивно выполнены как взаимосвязанные, т.е. имеется возможность проводить эксперименты по исследованию повышающего или понижающего воздушного трансформатора, взаимосвязанных катушек, индуктивности с отводом при последовательном включении катушек и т.п.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Резисторы/Активная нагрузка

Блок представляет собой дискретно изменяемые при помощи галетных переключателей резисторы R1, R2, R3, предназначенные для использования в качестве добавочных сопротивлений в однофазных, трехфазных цепях переменного тока и цепях постоянного тока с регулированием вручную.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Технические характеристики блока «Резисторы/ Активная нагрузка»

Количество резисторов	3{R1,R2,R3]
Дискретность изменения номинальной величины сопротивления резисторов R1...R3, Ом	50/75/ 100/150/200 / 300 / 400 / 500 / 600/800/1000/1200
Номинальная мощность (при минимальном значении сопротивления равном 50 Ом) каждого из резисторов R1-R3, Вт	8
Ток коммутации галетного переключателя максимальный, мА	500

Блок не имеет цепей питания.

Нелинейные элементы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров следующих нелинейных элементов: полупроводникового диода (VD1), стабилитрона (VD2), диода Шоттки (VD3), диода защитного- супрессора (VD4), варикапа (VD5), фотодиода (VD6), светодиода (HL1), лампочки накаливания (HL2), фоторезистора (R1) , варистора (RU1), терморезистора с

отрицательным ТКС (РК1), терморезистора с положительным ТКС (РК2), а также в качестве отдельных элементов для составления различных исследуемых схем.

Блок содержит следующие нелинейные элементы :

- полупроводниковый диод 1N4007 (VD1);

- стабилитрон КС168 (VD 2);

- диод Шоттки 1N5822 (VD 3);

- диод защитный (супрессор) 1,5КЕ6V8СА (VD 4);

-варикап КВ127(VD 5);

- фотодиод - (входит в состав диодной оптопары АОД101) -(VD6)

- светодиод - (входит в состав диодной оптопары АОД101) -(HL1);

- лампочку накаливания -(входит в состав оптопары ОЭП13) -(HL2),

- фоторезистор - (входит в состав оптопары ОЭП13)-(R1);

- варистор FNR07K180-(RU1);

- терморезистор с отрицательным ТКС (термистор NTS) B57153S0330M000

- терморезистор с положительным ТКС (термистор PTS) B59901D60A4

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь. Блок не имеет цепей питания.

1.9 ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ. ТРАНЗИСТОРЫ

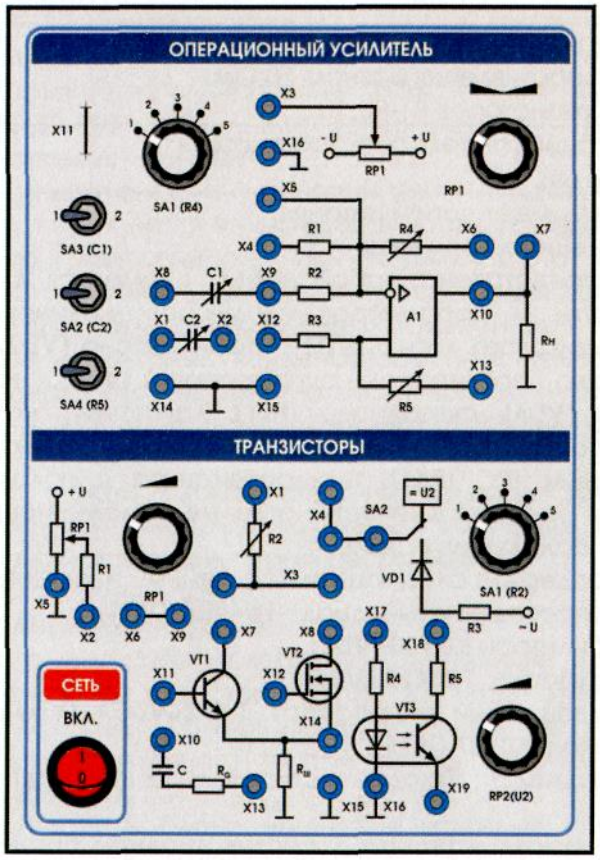


Рисунок 1.9 - Операционный усилитель. Транзисторы.

Операционный усилитель

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров аналоговых электронных устройств на операционных усилителях, таких как инвертирующий усилитель, активный фильтр нижних частот, интегратор, компаратор, симметричный мультивибратор, несимметричный мультивибратор.

Блок содержит:

-ОУ КР140УД608-А1;

- встроенный источник питания ±15В для питания ОУ;

- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP1, стабилизированный источник -5В...0...+5В, напряжение которого снимается с гнезда X3;

- постоянные резисторы: R1, R2 - 20кОм; R3 - 10кОм; Rн - 2кОм;

- резисторы дискретно изменяемые: SA1 (R4) имеет пять положений. Положения с 1 по 5 соответствуют сопротивлению: 20 кОм, 50 кОм, 100 кОм, 150 кОм, 200 кОм. Положение «1» SA4 (R5) соответствует сопротивлению 200кОм, положение «2» - 400кОм.

- конденсаторы дискретно переключаемые: положение «1» SA3 (C1) соответствует емкости 1500пФ, положение «2» - 10 нФ. Положение «1» SA2 (C2) соответствует емкости 6800пФ, положение «2» - 10 нФ. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

Транзисторы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик биполярных и полевых транзисторов, моделирования параметров каскадов на биполярном и полевом транзисторах, исследования характеристик диодно-транзисторной оптопары.

Блок содержит:

- транзистор биполярный VT1 - BC639;
- транзистор полевой VT2 - BS170;
- диодно-транзисторная оптопара VT3-АОТ127А;

- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP1, источник тока базы и напряжения затвора транзисторов. Напряжение источника снимается с гнезда X2;
- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP2, стабилизированный источник U2. Напряжение снимается с гнезд X4 через переключатель SA2;
- встроенный нерегулируемый источник постоянного не сглаженного напряжения (положительная полуволна синусоиды 50Гц). Напряжение снимается с гнезд X4 через переключатель SA2;

- резистор R2, дискретно изменяемый, имеет пять положений. Положения с 1 по 5 соответствуют сопротивлению: 1 кОм, 1,2 кОм, 1,5 кОм, 1,8 кОм, 2,2 кОм.

- R1-300 Ом;R3-100 Ом; R4 -1 кОм; R5- 330 Ом.
- цепь RG (1кОм), C (4,7мкФ) представляют собой разделительный конденсатор и эквивалент выходного сопротивления источника сигнала;
- сопротивление шунта Rш составляет 10 Ом.

1.10 ЦИФРОВАЯ ТЕХНИКА

Модуль представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров базовых логических элементов (И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ), триггеров (RS и JK), двоичного четырехразрядного счетчика, регистра, дешифратора и мультиплексора. Модуль содержит:

- логические элементы И-НЕ (К155ЛА3), ИЛИ-НЕ (К155ЛЕ1), И (К155ЛИ1), ИЛИ (К155ЛЛ1), НЕ (К155ТЛ2), исключающее ИЛИ (К155ЛП5);
- D- триггеры (К155ТМ2), JK триггер (К155ТВ1);
- регистр (К155ИР1);
- мультиплексор (К155КП2);
- дешифратор (К155ИД4)
- генераторы прямоугольных импульсов ТТЛ уровня с фиксированными частотами: 0,1 кГц, 0,2кГц, 1,6кГц. Генераторы импульсов между собой не синхронизированы;
- формирователь постоянных логических ТТЛ уровней с устройством индикации. Формирование соответствующих уровней осуществляется при помощи переключателей SA1 и SA2;
- формирователь одиночных прямоугольных импульсов ТТЛ уровня с устройством индикации. Формирование соответствующих уровней осуществляется при помощи кнопок SB1 и SB2.

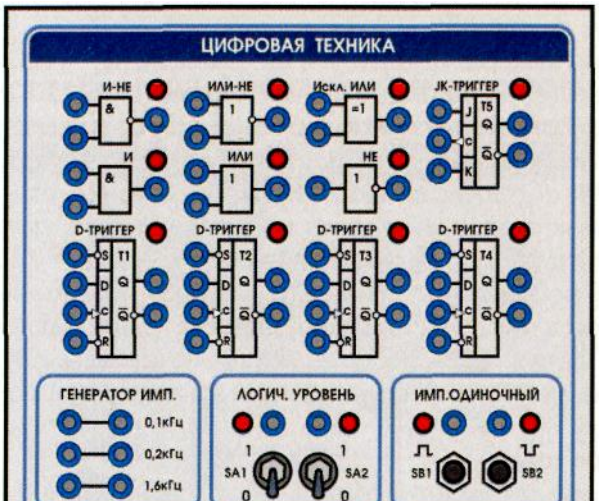


Рисунок 1.10 - Цифровая техника

Все входные и нагрузочные характеристики элементов блока соответствуют паспортным данным стандарта логики ТТЛ.

На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на лицевой панели.

3 Самостоятельная работа обучающихся

Подготовка современного специалиста предполагает, что в стенах института он овладеет методологией самообразования, самовоспитания, самосовершенствования. Это определяет важность активизации его самостоятельной работы. С целью организации данного вида учебных занятий необходимо в первую очередь использовать материал лекций и семинаров. Лекционный материал создает проблемный фон с обозначением ориентиров, наполнение которых содержанием производится студентами на семинарских занятиях после работы с учебными пособиями, монографиями и периодическими изданиями.

Самостоятельно изучается рекомендуемая литература, проводится работа с библиотечными фондами и электронными источниками информации, специальной литературой, статьями из профильных журналов. Реферируя и конспектируя наиболее важные вопросы, имеющие научно-практическую значимость, новизну, актуальность, делая выводы, заключения, высказывая практические замечания, выдвигая различные положения, студенты глубже понимают вопросы курса.

Подготовка к практическим занятиям, а также выполнение заданий для самостоятельной работы требует от студента навыков работы с литературными источниками:

- умение выделять главное в тексте;

- умение составлять опорную схему изученного материала, тезисный и развернутый план-конспект;

- свободное владение проработанным материалом;

- способность рассказать своими словами суть проблемы;

- умение объяснить и дать определение встречающимся в тексте новым научным терминам;

- умение находить в жизни ситуации, которые могут служить иллюстрацией теоретического материала, обсуждаемого на занятиях.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

Важной является готовность студента к восприятию в курсе сочетания философского, теоретического материала с конкретным практическим, направленным на освоение умений и навыков практической организации профессиональной деятельности в образовательном учреждении.

Подготовка к практическому занятию включает 2 этапа:

I - организационный;

II - закрепление и углубление теоретических знаний.

На первом этапе студент планирует свою самостоятельную работу, которая включает:

- уяснение задания на самостоятельную работу;

- подбор рекомендованной литературы;

- составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки. Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.

Второй этап включает непосредственную подготовку студента к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекции обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора.

Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.

Важно развивать умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал. Большое значение имеет совершенствование навыков конспектирования. Преподаватель может рекомендовать студентам следующие основные формы записи: план (простой и развернутый), выписки, тезисы. Результаты конспектирования могут быть представлены в различных формах.

План – это схема прочитанного материала, краткий (или подробный) перечень вопросов, отражающих структуру и последовательность материала. Подробно составленный план вполне заменяет конспект.

Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:

- план-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении;

- текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника;

- свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом;

- тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

Примеры вопросов для самостоятельной работы студентов

24. Полупроводники. Основные положения теории электропроводности. Собственная и примесная проводимость полупроводника.
25. p-n переход. Электрические процессы в p-n переходе.
26. Вольтамперная характеристика p-n перехода. Диоды, классификация диодов.
27. Пробой p-n перехода. Стабилитроны. Их основные параметры, схемное обозначение. Параметрический стабилизатор напряжения.
28. Емкость p-n перехода. Варикапы.
29. Биполярные транзисторы. Устройство, основные параметры, схемное обозначение. Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора.
30. Электрические процессы в биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой.
31. Биполярный транзистор как четырехполюсник. Система Н-параметров, их смысл. Схема замещения биполярного транзистора.
32. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом. Устройство, принцип работы, вольтамперные характеристики, основные параметры, схемное обозначение.
33. МДП транзистор. Устройство, принцип работы, вольтамперные характеристики, основные параметры, схемное обозначение.
34. Усилители электрических сигналов. Основные понятия, определения , параметры и разновидности усилителей.
35. Обратная связь в усилителях.
36. Простейший усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Схема. Выбор и назначение элементов.
37. Операционные усилители и их основные характеристики.
38. Реализация типовых звеньев на операционном усилителе.
39. Вторичные источники электропитания. Назначение, принципы построения.
40. Вторичные источники электропитания. Выпрямители.
41. Вторичные источники электропитания. Стабилизаторы напряжения.
42. Импульсные устройства. Параметры импульсов. Представление непрерывных сигналов с помощью импульсов.
43. Логические элементы. Схемное обозначение. Таблицы истинности.
44. Особенности логических элементов различный серий (ДТЛ, ТТЛ, ТТЛШ, кМОП)
45. Комбинационные устройства . Дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры.
46. Последовательные устройства. Триггеры, регистры, счетчики.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

– Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем

качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
    - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
    - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	**Неделя**	**Балл**	
		Минимум*	Максимум
Текущая аттестация	**1-16**	**36**	**60**
Контрольная точка № 1	**7-8**	**18**	**30**
Контрольная работа		18	30
Контрольная точка № 2	**15-16**	**18**	**30**
Контрольная работа		18	30
Промежуточная аттестация	**-**	**24**	**40**
Зачет	-		
Зачетный билет	-	24	40
ИТОГО по дисциплине		**60**	**100**

* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

5. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

Сумма баллов	***Оценка по 4-х балльной шкале***	***Оценка ECTS***	***Требования к уровню освоения учебной дисциплины***
90-100	*5- «отлично»/ «зачтено»*	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	4 - *«хорошо»/ «зачтено»*	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
75-84		C	
70--74		D	
65-69	*3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»*		Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64		*E*	
0-59	2 - *«неудовлетворительно»/ «не зачтено»*	*F*	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная учебная литература:

4. Иванов И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — 11-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с
5. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие- Ростов н/Д:Феникс, 2017. (30 экз.)
6. Марченко А.Л. Основы электроники: Учеб. пособие для вузов -М: ДМК Пресс,2020

б) дополнительная учебная литература:

4. Новожилов О. П. Электротехника и электроника : учеб. для студ. вузов / О. П. Новожилов. - М. : Гардарики, 2008. - 653 с. : ил. (100 экз.)
5. **Электротехника и электроника** : учеб. пособие для вузов / В. В. Кононенко [и др.] ; ред. В. В. Кононенко. - 4-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 778 с. : ил. - (Высшее образование) (1 экз.)
6. Прянишников В.А. Электроника Полный курс лекций. -Санкт-Петербург.: Корона принт, 2017

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

http://ibooks.ru/
http://e.lanbook.com/
http://www.biblio-online.ru/
http://kuperbook.biblioclub.ru
http://www.studentlibrary.ru
http://library.mephi.ru