

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и методико-  
информационных технологий

**Профильный элективный курс «Усилители электрических сигналов»**

**Автореферат**

выпускной квалификационной работы

студента 5 курса 533 группы  
специальности 44.03.01 – «Физика»  
физического факультета

**Жукова Юрия Владимировича**

Научный руководитель

к.ф.-м н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание



7.06.17

подпись, дата

**В.Б. Гаманюк**

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание



7.06.17

подпись, дата

**Б.Е. Железовский**

инициалы, фамилия

Саратов-2017

## ВВЕДЕНИЕ

Большинству жителей нашей страны знаком термин «усилитель». Что же за ним стоит? Для одних это просто рычаг, для других, например, автомобилистов – гидровакуумный усилитель тормозов или электрический усилитель рулевого управления, для третьих – обыкновенный рупор и так далее.

Чрезвычайно важным представляется класс электронных усилителей, предназначенных для работы с электрическими сигналами, без которых в современном мире обойтись невозможно. Действительно, для коммуникаций широко используются электромагнитные волны, которые в приемных антеннах наших радио- и телевизионных приемников возбуждают электрические колебания, настолько малые по величине, что непосредственно воздействовать на какие-либо исполнительные устройства не смогут, прежде всего, по причине малой мощности.

Следует заметить, что в программе по физике средней школы запланировано знакомство с устройством и принципами работы таких элементов, как источники постоянного тока, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и колебательные контуры на их основе, транзисторы, трансформаторы, а в некоторых специализированных школах даже электровакуумные приборы, или, проще говоря, электронные лампы. Перечисленные компоненты в комплексе и составляют как раз те устройства, которые и названы электронными усилителями. Их задача – *увеличить мощность малых электрических сигналов*, будь то электрический ток, или напряжение.

Таким образом, школьники по умолчанию должны в той или иной степени представлять функцию отдельных составляющих электронных усилителей. Однако, каким образом осуществляется их взаимодействие друг с другом, они знать не могут, потому что их этому или не учат вообще, или весьма поверхностно. Желанием восполнить отмеченные пробелы школьного образования и обусловлено появление настоящей выпускной квалификационной работы.

Её *целью* является разработка элективного курса по теме «Усилители электрических сигналов», который бы позволил расширить и углубить знания по разделу «Электричество», стимулируя тем самым молодежь выбирать инженерные профессии. Без таких специалистов рост *ВВП* не обеспечить!

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие *задачи* дипломного исследования:

1. Провести теоретико-методологический обзор соответствующей учебной, технической и методической литературы по выбранной теме.
2. Ознакомиться с требованиями, предъявляемыми ФГОС к элективным курсам.
3. Разработать рабочую программу курса и его содержание.

Работа состоит из *введения, основной части из трех разделов, заключения, списка использованных источников и приложения.*

Во *введении* обоснована актуальность выбранной темы.

*Основная часть* содержит необходимые сведения из образовательных стандартов по структуре и содержанию элективных курсов, разработанную программу и варианты её наполнения.

В *заключении* обсуждаются результаты проделанной работы и дается им оценка.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе «**Элективные курсы в профильной подготовке учащихся**» дано определение элективному курсу и кратко сформулированы предъявляемые к нему требования, вытекающие из содержания нормативных документов.

*Профильные элективные курсы классифицируются следующим образом:*

- *предметные курсы.* Предполагают повышенный уровень изучения профильного предмета в профильном классе.
- *курсы, поддерживающие базовый учебный предмет,* помогающие в подготовке к экзамену по этому предмету на повышенном уровне.
- *межпредметные курсы.* Опора на межпредметные связи, то есть возможность изучать два предмета на профильном уровне.
- *курсы,* освещающие области деятельности, *выходящие за рамки традиционных школьных предметов.*
- *курсы с ориентацией на приобретение школьниками образовательных результатов для успешного продвижения на рынке труда.*

Среди возможных групп элективных курсов по физике в контексте поставленной задачи наибольший интерес представляют курсы *прикладного* характера.

При изучении элективных курсов появляется возможность реализовать современную тенденцию, заключающуюся в том, что *усвоение предметного содержания из цели образования превращается в средство такого эмоционального, социального и интеллектуального развития ребенка, которое обеспечивает переход от обучения к самообразованию.*

*Цель элективных курсов* в профильном обучении – индивидуализация обучения, подготовка учащихся к осознанному и ответственному выбору сферы будущей профессиональной деятельности.

*Самое главное требование, предъявляемое к содержанию курсов по выбору – это ориентирующий характер, оригинальность и новизна для учащихся.*

Во второй главе «**ЭЛЕКТИВНЫЙ КУРС «Усилители электрических сигналов»**» сформулирована пояснительная записка и предложена программа курса.

#### ***Пояснительная записка***

Образовательная область: *физика*.

Возрастная группа: **10-11 классы**.

Вид элективного курса: *профильный*.

Тип элективного курса: *элективные курсы, в которых углубленно изучаются отдельные разделы основной программы*.

Программа курса «Усилители электрических сигналов» ориентирована на углубление знаний по физике для учащихся 10-11 классов.

Курс рассчитан на 28 часов, однако, его программа может корректироваться.

Программа курса имеет традиционное деление на рубрики: тема, ее содержание, время изучения, творческие задания, и так далее. Занятия могут проводиться в разнообразной форме, обобщающее занятие проводится в форме конференции.

Дети должны научиться самостоятельно приобретать знания, критически оценивать полученную информацию, излагать свою точку зрения по изучаемому вопросу, выслушивать другие мнения и конструктивно их обсуждать. С этой целью помимо лекционной части предусмотрены лабораторные исследования и конструирование. С целью активизации познавательной деятельности учащихся с темами планируемых занятий их знакомят заранее.

#### ***Ожидаемыми результатами данного курса являются:***

- получение представлений о принципах усиления электрических сигналов;
- углубление знаний по теме «Термоэлектронная эмиссия»;

- знакомство с устройством и электрическими характеристиками электровакуумных приборов;
- приобретение новых знаний по использованию вакуумного триода и транзистора в качестве усилителя переменных сигналов;
- начальное формирование сознательного самоопределения учащихся относительно профиля дальнейшего обучения;
- умение сотрудничать с товарищами, работая в группе.

***Цели курса:***

1. Способствовать развитию интеллектуальных и творческих способностей учащихся.
2. Способствовать развитию познавательных интересов учащихся в процессе самостоятельного приобретения знаний и умений по физике с использованием различных источников информации.
3. Оказать помощь в принятии решения о направлении профиля дальнейшего обучения или профессиональной деятельности.
4. Формировать умение моделировать физические процессы.

***Задачи курса:***

1. Воспитывать чувство сотрудничества в процессе совместной работы в группах.
2. Способствовать развитию речевого аппарата учащихся, умению логически излагать свою мысль.
3. Овладеть навыками проектной деятельности.
4. Формировать умения составлять отчет о результатах своей работы в различных формах.
5. Приобрести опыт поиска информации по заданной теме.
6. Изготовить модель простейшего транзисторного усилителя.
7. Способствовать формированию теоретических и практических умений получать и обрабатывать информацию.

## Программа курса

Для глубокого понимания принципов усиления электрических сигналов и путей его реализации в содержание курса включены сведения по широкому кругу вопросов. К ним относятся явление термоэлектронной эмиссии и электронные приборы на этой основе, полупроводники и их свойства,  $p - n$  – переход и его возможности. Учебно-тематический план курса, учитывающий приведенные выше соображения, приведен в таблице 1.

Таблица 1

№	Название темы	Количество часов			Форма проведения	Образовательный продукт
		Всего	Лекции	Практика		
1	Принцип работы электронных усилителей и их основные характеристики	2	2		Лекция	
2	Явление термоэлектронной эмиссии	2	1	1	Лекция с демонстрациями	
3	Вакуумный диод	2	1	1	Лекция с демонстрациями	Доклад с последующим обсуждением
4	Трехэлектродная электронная лампа	2	1,5	0,5	Лекция с демонстрацией видео фильма	
5	Электрические характеристики вакуумного триода	2	2		Лекция	
6	Вакуумный триод в составе электронного усилителя	2	2		Лекция	Реферат
7	Полупроводники. $p - n$ – переход	4	2	2	Лекция и лабораторная работа	Отчет по лабораторной работе
8	Устройство транзистора и принцип его действия	4	2	2	Лекция и лабораторная работа	Отчет по лабораторной работе
9	Схемы включения транзистора	2	2		Лекция	
10	Расчет резисторного усилителя на транзисторе с общим эмиттером	6	2	4	Лекция, лабораторная работа, конструирование	Макет усилителя низкой частоты на транзисторе

В третьей главе «СОДЕРЖАНИЕ КУРСА» рассмотрен принцип работы электронных усилителей, их характеристики и способы реализации.

*Усилителем электрических сигналов* называется устройство, предназначенное для увеличения мощности напряжения или тока сигнала, подведенного к входу, без существенного искажения его формы.

С точки зрения усиливаемого параметра различают усилители напряжения, тока и мощности. В зависимости от диапазона усиливаемых частот они подразделяются на усилители постоянного тока (очень медленных электрических колебаний) (*УПТ*), звуковой частоты (*УЗЧ*), радиочастот (*УРЧ*) и видеоусилители. Последние усиливают сигналы в широкой полосе частот – от десятков герц до десятков мегагерц и используются в радиолокационных устройствах, телевизионной и измерительной аппаратуре.

Электрическими сигналами, подлежащими усилению, могут быть колебания синусоидальной, прямоугольной, треугольной или иной формы. Частота и форма колебаний являются существенными факторами, определяющими тип усилителя.

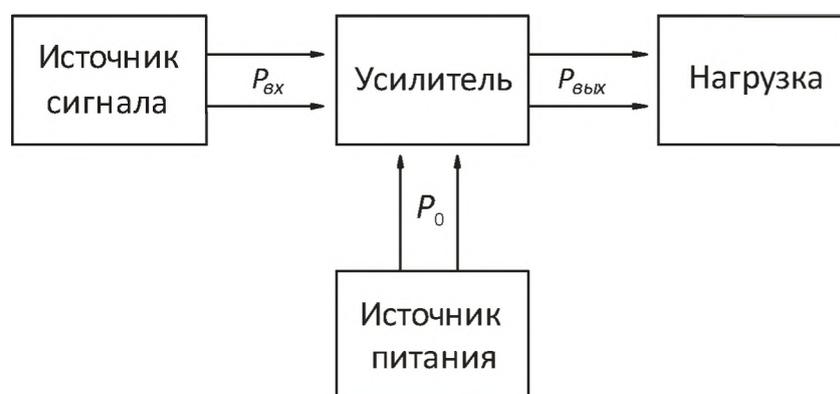


Рис. 1. Общая структурная схема электронного усилителя

Поскольку по определению мощность сигнала на выходе усилителя больше, чем на входе, согласно закону сохранения энергии *усилительное устройство* обязательно должно включать в себя *источник питания*. Как правило, им является источник постоянного тока. В конечном счете, от усиленного сигнала должно работать какое-либо другое электрическое устройство.

который будем называть *нагрузкой* усилителя. Высказанным выше соображениям соответствует структурная схема на рис. 1.

От источника питания усилитель отбирает мощность  $P_0$ , необходимую для его работы. Источник сигнала на входе усилителя обладает мощностью  $P_{ВХ}$ , на выходе его мощность –  $P_{ВЫХ}$ . Очевидно,  $P_{ВХ} < P_{ВЫХ} < P_0$ .

С энергетической точки зрения электронный усилитель можно рассматривать как устройство, в котором под управлением входного сигнала

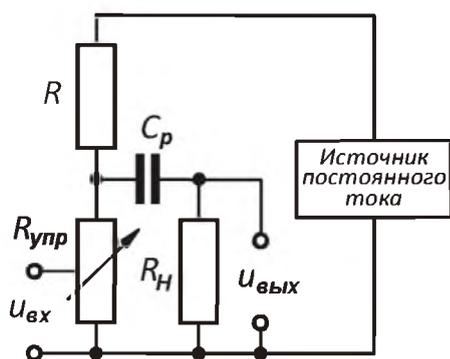


Рис. 2. Состав усилителя

происходит *преобразование* энергии источника питания в энергию выходного сигнала. Независимо от того, каким является усилитель, в нем есть *управляемый входным сигналом резистивный элемент*, который и обеспечивает отмеченный выше энергообмен.

Принцип усиления иллюстрирует рис. 2.

Из него видно, что управляемый элемент  $R_{упр}$  и обыкновенный резистор  $R$  с постоянным сопротивлением включены последовательно с источником постоянной ЭДС. В отсутствие входного сигнала через  $R$  течет ток  $i_0$ , который называют током покоя. Этот ток создаст на  $R_{упр}$  падение напряжения  $u_0$  (рис. 3а). При появлении на входе переменного напряжения  $u_{вх}(t)$ , например, синусоидальной формы (рис. 3б), сопротивление управляемого элемента начинает изменяться во времени. Это приводит к изменению напряжения на управляемом резистивном элементе (рис. 3в). Теперь оно представляет собой постоянное напряжение  $u_0$  (*постоянная составляющая*) на которое накладывается усиленный входной сигнал (*переменная составляющая*). Поскольку конденсаторы могут «пропускать» только переменный ток, на нагрузке появится переменная составляющая напряжения (рис. 3г). Конденсаторы, выполняющие такую функцию, называются разделительными. У идеального усилителя  $u_{н}(t)$  также будет синусоидальным.

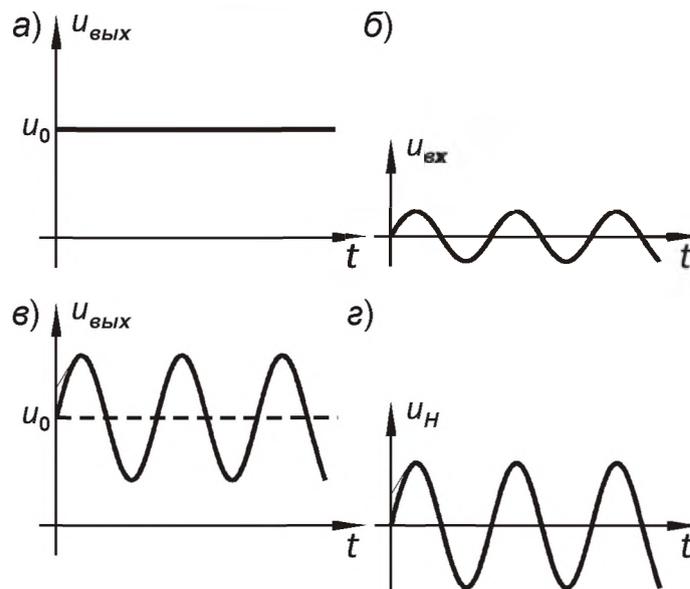


Рис. 3. Преобразование сигнала в процессе его усиления

Управляемый элемент усилителя должен удовлетворять следующим основным требованиям: быть настолько **чувствительным**, чтобы его сопротивление заметно изменялось под действием малого входного напряжения; обеспечивать **быстродействующее** управление током; не **искажать** формы усиливаемого сигнала, то есть на выходе усилителя переменная составляющая должна строго повторять временную зависимость входного сигнала.

Каждый усилитель характеризуется **коэффициентом усиления**  $K$ , который равен отношению амплитуд выходного и входного сигналов. Наряду с коэффициентами усиления по напряжению  $K_U$  и току  $K_I$  вводят коэффициент усиления по мощности  $K_P$ , который равен отношению мощностей колебаний на выходе и входе усилителя при неизменной частоте:

$$K_P = \frac{U_{m\text{вых}}}{U_{m\text{вх}}} \cdot \frac{I_{m\text{вых}}}{I_{m\text{вх}}} = K_U \cdot K_I.$$

Отсюда следует, что для каждого усилителя **мощность на выходе всегда больше, чем на входе**.

Схемы усилителей кроме активных сопротивлений часто содержат реактивные элементы, в частности разделительные конденсаторы. Сопротивление таких элементов зависит от частоты усиливаемого сигнала. Поэтому и коэффициент усиления оказывается **частотнозависимым**.

Часто возникает необходимость усилить сигнал не на одной частоте, а в некотором непрерывном диапазоне частот. Такие усилители называют *широкополосными (полосовые)*. Подобная ситуация, например, характерна при усилении звука, который, как известно, представляет собой набор колебаний (*спектр*) с частотами от 20 до 20000 Гц. Для полосовых усилителей важно знать, какова величина их коэффициента усиления  $K$  на каждой частоте  $f$  (или циклической частоте  $\omega = 2\pi f$ ) входного сигнала. Иными словами, для оценки возможностей усилителя нужно иметь зависимость коэффициента усиления от частоты входного сигнала:

$$K = f(f).$$

Эта функция называется *амплитудно-частотной характеристикой* усилителя. Амплитудно-частотная характеристика определяется при усло-

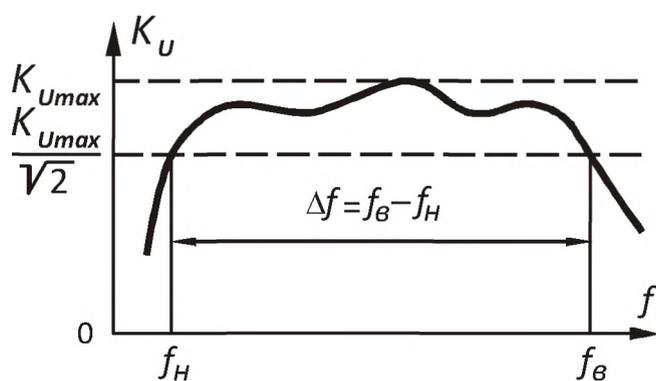


Рис. 4. Пример реальной АЧХ

вии, что величина входного сигнала поддерживается постоянной. При построении графика  $K = f(f)$  по оси абсцисс откладывают частоту  $f$  или циклическую частоту  $\omega$ , а по оси ординат — численное значение коэффициента усиления. Когда

частотный диапазон входных сигналов очень широкий (как, например, у звука) для оси абсцисс используется логарифмический масштаб: вместо величины  $f$  на ось наносят десятичный логарифм частоты —  $lgf$ .

Вполне понятно, что реальные электронные усилители не могут иметь одинакового значения  $K$  на всех частотах входного сигнала. Как правило, на самой низкой  $f_H$  и самой высокой  $f_B$  границах частотного диапазона усиление снижается. Характерная для реального усилителя АЧХ может иметь вид, представленный на рис. 4.

При исследованиях особенностей слухового аппарата человека выяснилось, что при невысоком звуковом давлении, даже двукратное изменение мощности источника звуковых колебаний не влияет на субъективное воспри-

ятие сигнала. Двукратное изменение электрической мощности соответствует изменению напряжения (или тока) в  $\sqrt{2}$  раза. Это обстоятельство сначала в электроакустике, а затем и в других областях радиотехнике было использовано для введения одной из важнейших характеристик усилителей – полосы пропускания: *полосой пропускания называется диапазон частот, на границах которого  $K_U$  (или  $K_I$ ) составляет  $\sqrt{2}/2 = 0,707$  от максимального значения.*

Вследствие неодинакового усиления колебаний различных частот, выходной сигнал по спектральному распределению мощности не будет адекватен входному. Такого рода искажения, которые названы *частотными*, в реальных усилителях неизбежны.

Помимо частотных, в усилителях возникают еще и *фазовые искажения*. Они обусловлены тем, что в процессе усиления колебания поступают в нагрузку с временными задержками, величина которых зависит от частоты сигнала.

Отмеченные выше виды искажений называются *линейными*. Они не меняют частотный состав колебаний. Однако в процессе усиления на выходе могут появиться составляющие, частота которых не входит в спектр входного сигнала. Такие искажения, называемые *нелинейными*, наиболее опасны, так как они существенно могут исказить информацию, которую несет входной сигнал. Например, при наличии значительных нелинейных искажений у УЗЧ в выходном сигнале можно обнаружить посторонние звуки, наличие которых отрицательно скажется на восприятии голоса или музыки.

Не вдаваясь в рассмотрение природы управляемого резистивного элемента, выясним, какой должна быть зависимость его тока  $i(t)$  от  $u_{\text{вх}}(t)$ , чтобы закон изменения выходного напряжения в точности соответствует входному сигналу. Для выполнения этого требования на каждой частоте должно соблюдаться равенство  $u_{\text{вых}}(t) = K \cdot u_{\text{вх}}(t)$ . С другой стороны  $u_{\text{вых}}(t) = R \cdot i(t)$ . Отсюда для  $i(t)$  имеем:

$$i(t) = \frac{K}{R} \cdot u_{\text{вх}}(t),$$

то есть зависимость должна носить линейный характер. На плоскости  $i0u_{\text{вх}}$  её графиком будет прямая линия, проходящая через начало координат (рис 5).

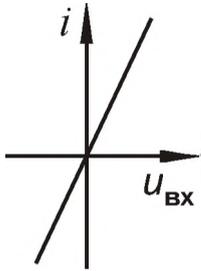


Рис. 5. Вид графика зависимости тока усилителя от  $u_{\text{вх}}$

Чем круче идет эта линия, тем больше значение коэффициента усиления. В общем случае используемые в реальных системах управляемые резистивные элементы нелинейны. Ранее ими были электронные лампы, теперь – полупроводниковые приборы: биполярные и полевые транзисторы. При определенных условиях их не-

линейность может быть сведена к минимуму.

Для того чтобы были понятны принципы действия указанных приборов, в курс включены разделы, посвященные описанию термоэлектронной эмиссии и свойств  $p - n -$  перехода.

Даны методы расчета резисторного усилителя как на вакуумном триоде, так и на биполярном транзисторе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно считать, что цель, поставленная в работе, достигнута: разработан профильный элективный курс по теме «Усилители электрических сигналов». В него включен широкий круг сопутствующих вопросов, таких как термоэлектронная эмиссия, собственные и примесные полупроводники,  $p - n -$  переход и его свойства. На наш взгляд такой подход позволит глубже понять существо основной темы работы. Для закрепления излагаемого материала рекомендуется выполнение ряда лабораторных исследований и конструкторской разработки. Описание этих заданий дано в приложении.

Проведение ряда лекционных занятий планируется сопровождать демонстрациями как с применением оборудования школьного физического кабинета, например, моделей вакуумных диода и триода, так и видео материала

лов из Интернета. Ссылки на некоторые из них имеются в списке использованных источников.

Структура курса соответствует модульному принципу: практически каждый раздел имеет самостоятельное значение. Эти модули легко адаптируются к задачам предпрофильного уровня.

Надеемся, что представляемая выпускная квалификационная работа в состоянии повысить интерес к точным наукам и помочь школьникам определиться со своими профессиональными пристрастиями.

### **Список использованных источников**

1. Мякишев Г.Я. Физика. Электродинамика. 10-11классы / Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков, Б.А.Слободсков. М.: Дрофа, 2010. 476 с.
2. Подласый И.П. Педагогика. Новый курс: учебн. для студ. высш. учеб. заведений. В 2 кн. Кн 1. Общие основы. Процесс обучения / Подласый И.П. М.: Гуманит. Изд. центр ВЛАДОС, 2001. 576 с.
3. Подласый И.П. Педагогика: Новый курс: учебн. для студ. высш. учеб. заведений. В 2 кн. Кн. 2: Процесс воспитания / Подласый И.П. М.: Гуманит. Изд. центр ВЛАДОС, 2001. 256 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 Т. Т. 2. Электричество и магнетизм/ И.В. Савельев. М.: Наука, 2009. 442 с.
5. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника / А.С.Касаткин, М.В.Немцов. М.: Академия, 2005.544 с.
6. Теория и методика обучения физике в школе: общие и частные вопросы: учеб. пособие для студентов высших пед. учеб. заведений / Под редакцией С.Е. Каменецкого. М.: Академия, 2000. 368 с.
7. Электрический ток в вакууме [Электронный ресурс]. URL: [http://studopedia.ru/10\\_132473\\_elektricheskiy-tok-v-vakuume.html](http://studopedia.ru/10_132473_elektricheskiy-tok-v-vakuume.html) (дата обращения 09.02.2017).
8. Попов В. С., Николаев С. А. Общая электротехника с основами электроники / В.С.Попов, С.А.Николаев. М., «Энергия», 1972. 504 с.

9. Энциклопедия радиоэлектроники и электротехники [Электронный ресурс]. URL: <http://www.diagram.com.ua/list/beginner/beginner240.shtml> (дата обращения 09.02.2017).
10. Павел ВИКТОР, 13.05 Электрической ток в вакууме. Вакуумный диод [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=NZlfo7SXf9U> (дата обращения 09.02.2017).
11. Павел ВИКТОР, 16.05 Вакуумный триод. Усилитель на вакуумном триоде [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=sSZ38BQ5dbk> (дата обращения 09.02.1917).
12. Электровакуумные приборы [Электронный ресурс] URL: [http://studopedia.ru/11\\_34518\\_elektrovakuumnie-pribori.html](http://studopedia.ru/11_34518_elektrovakuumnie-pribori.html) (дата обращения 09.02.2017).
13. Положение об элективных курсах [Электронный ресурс] URL: [http://school45kartaly.ucoz.ru/polozhenie\\_ob\\_ehlektivnykh\\_kursakh.pdf](http://school45kartaly.ucoz.ru/polozhenie_ob_ehlektivnykh_kursakh.pdf) (дата обращения 10.02.2017).
14. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Электронные усилители: учебное пособие / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Издательский Центр «Наука», 2008. 58с.
15. Гаманюк В.Б. Полупроводники и полупроводниковые приборы: учебное пособие / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева, В.А.Рачков. Саратов: Издательский Центр «Наука», 2008. 68с.
16. Гершензон Е.М. Радиотехника / Е.М.Гершензон, Г.Д.Полянина, Н.В.Соина. М.: «Просвещение», 1986. С. 320.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Исследования полупроводниковых диодов

Целью настоящей лабораторной работы является исследование вольт-амперных характеристик диодов на основе германия Д7Ж и кремния Д226Б. Выбор такой пары объясняется тем, что они обладают близкими электрическими параметрами: максимальным прямым током и предельным значением напряжения  $U_{обр}$  при обратном смещении (обратным напряжением). Следовательно, отличие других характеристик этих диодов обусловлено главным образом различными свойствами использованных при их изготовлении полупроводниковых материалов

1. Исследование вольт-амперных характеристик «по точкам»

На основе контакта между полупроводниками с разным типом проводимости промышленно изготавливают полупроводниковые приборы – диоды, свойства которых целиком и полностью определяются характеристиками  $p - n$  – перехода. Таким образом, вполне можно считать, что исследуя свойства диоды, мы, по существу, изучаем сам переход.

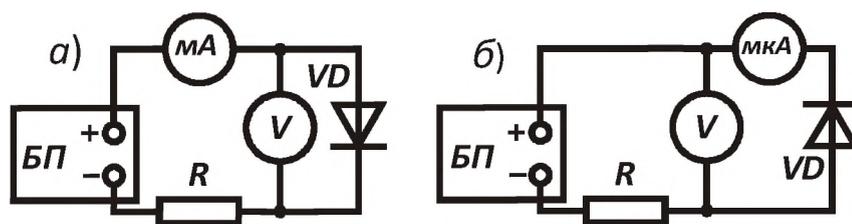


Рис. 1. Схемы измерения электрических характеристик диодов

Построение вольт-амперных характеристик «по точкам» является достаточно информативным методом исследования свойств диодов. Для проведения указанных исследований применяются две схемы измерений. Первая из них (рис. 1а) используется для построения прямой ветви ВАХ. Для изучения обратной ветви ВАХ применяется схема, изображенная на рис. 1б. Поскольку

испытываемые диоды рассчитаны на обратные напряжения до 400 В, величина  $U_{обр}$  при исследованиях скорее всего будет ограничиваться только возможностями источника питания.

Различие в способах подключения вольтметра на обеих схемах обусловлено тем, что сопротивление диода в прямом направлении гораздо меньше внутреннего сопротивления прибора, а при обратном включении, наоборот, внутреннее сопротивление вольтметра меньше, чем у диода.

*Чтобы не превысить предельных токов или напряжений диодов, перед началом измерений регуляторы выходного напряжения источника питания должны быть установлены на «0».*

#### Порядок проведения исследований:

1. Собрать схему, данную на рис. 1а.
2. Увеличивая напряжение источника питания, соблюдая указанные выше предосторожности, снять не менее 10 значений силы тока и напряжения.
3. Собрать схему, приведенную на рис. 1б.
4. Аналогично пункту 2 снять необходимое число точек для детального выявления хода обратной ветви ВАХ.
5. Измерения по пунктам 2 и 3 провести для каждого полупроводникового прибора.
6. Все полученные результаты свести в таблицы, отдельно для каждого диода по форме:

$U_{пр}, В$	$I_{пр}, мА$	$U_{обр}, В$	$I_{обр}, мкА$

7. По данным таблицы на одном листе миллиметровой бумаги построить ВАХ обоих диодов.

8. Провести сравнительный анализ ВАХ исследуемых диодов. Сделать выводы.

## 2. Исследование влияния температуры на ВАХ диодов

Для выявления влияния температуры на электрические параметры полупроводниковых диодов их вольт-амперные следует построить не только при комнатной температуре, но и при  $t = 70^{\circ}\text{C}$ . Для этого используют водяную баню. Для защиты от воздействия воды, диод вместе с соединительными проводами помещают внутрь полихлорвиниловой трубки. Все измерения проводятся в порядке, указанном в предыдущем разделе, а их результаты записываются в аналогичную таблицу. При этом температуру воды следует повышать очень медленно, чтобы диод успевал прогреться.

**Отчет по лабораторной работе должен содержать:**

1. Название работы.
2. Краткое изложение теории  $p - n$  - перехода и принципов работы полупроводниковых диодов.
3. Схемы измерений.
4. Таблицы экспериментальных данных для каждого полупроводникового прибора и обоих значений температуры.
5. Построенные на отдельном листе миллиметровой бумаги  $VAX$  германиевого и кремниевого диодов при комнатной температуре и температуре  $70^{\circ}\text{C}$ .
6. Сравнительный анализ полученных результатов и основные выводы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

**Исследования характеристик транзистора КТ312 при включении с ОЭ**

**Порядок проведения работы**

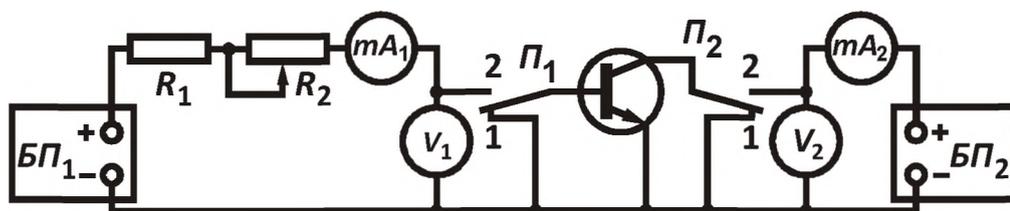


Рис. 1. Схемы измерения электрических характеристик транзистора по схеме с общим эмиттером

1. Собрать установку по схеме на рис. 1.

**Перед включением источников питания БП<sub>1</sub> и БП<sub>2</sub> имеющиеся на них регуляторы напряжения установить в нулевое положение!**

2. Перевести переключатель  $\Pi_1$  в положение 2, а переключатель  $\Pi_2$  в положение 1. При такой коммутации снимается входная характеристика при  $U_{кэ} = 0$ .

3. Последовательно увеличивая напряжение источника БП<sub>1</sub> и при необходимости пользуясь регулятором  $R_2$ , снять не менее 10 показаний приборов  $mA_1$  и  $V_1$ . По окончании измерений перевести регулятор напряжения БП<sub>1</sub> в нулевое положение.

4. Установить переключатель  $\Pi_2$  в положение 2. Теперь снимается входная характеристика для  $U_{кэ} \neq 0$ .

5. Установить по вольтметру  $V_2$  напряжение источника БП<sub>2</sub>, равное 5 В.

6. Поддерживая это напряжение неизменным, вернуться к п.3.

7. После выполнения операций по п.3 установить регулятор БП<sub>2</sub> на ноль.

8. Перевести переключатель  $\Pi_1$  в положение 1. При такой коммутации снимается выходная характеристика для  $I_6 = 0$ .

9. Увеличивая напряжение источника БП<sub>2</sub>, по приборам  $mA_2$  и  $V_2$  снять не менее 10 показаний. По окончании измерений регулятор БП<sub>2</sub> установить на ноль.

10. Установить переключатель  $\Pi_1$  в положение 2 и приступить к изучению выходных характеристик при  $I_6 \neq 0$ .

11. Изменяя напряжение на выходе БП<sub>1</sub> и пользуясь при надобности регулятором  $R_2$ , установить ток базы  $I_{61}$ , предварительно согласовав его значение с преподавателем.

12. Перейти к пункту 9, поддерживая неизменным ток базы.

13. Устанавливая последовательно значения токов базы  $2I_{61}$ ,  $3I_{61}$ ,  $4I_{61}$  и  $5I_{61}$ , каждый раз переходить к п.12.

**Отчет по лабораторной работе должен содержать:**

1. Название работы.

2. Краткое изложение принципов работы биполярного транзистора.

3. Схемы измерений.

4. Заполненные по результатам измерений таблицы для входных характеристик по форме

$U_{бэ}, В$	$I_б, мкА$	$U_к, В$

и для выходных характеристик по форме

$U_{кэ}, В$	$I_к, мА$	$I_б, мкА$

4. Построенные на миллиметровой бумаге семейства входных и выходных характеристик.

5. Сравнительный анализ полученных результатов.

### **Задание по конструированию**

Выбрать ЭДС батареи питания 9 В. Нижнее значение рабочей частоты  $f_H$  считать равным 100 Гц. Величины сопротивлений нагрузки в коллекторной цепи  $R_K$  и эквивалента нагрузки на выходе усилителя  $R_H$  принять равными  $R_K = 2k4$  и  $R_H = 2k0$ .

По заданным выше параметрам, используя полученные в результате исследований выходные характеристики транзистора КТ312, провести расчет резисторного усилителя на этом транзисторе: выбрать положение рабочей точки и определить для неё величину сопротивление в цепи базы  $R_б$  и рассчитать номиналы разделительных конденсаторов. На этой основе собрать макет усилителя и провести его экспериментальное исследование.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**

### **Исследование резисторного усилителя на транзисторе по схеме ОБ**

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать резисторный усилитель по схеме на рис. 1. Здесь: ЗГ - звуковой генератор, который служит источником синусоидального сигнала на входе

усилителя, ЭО – электронный осциллограф, предназначенный для наблюдения формы выходного сигнала,  $V_1$  и  $V_2$  – вольтметры переменного тока. С целью иметь возможность регулирования начального тока базы  $I_{60}$ , резистор  $R_6$  специально составлен из двух последовательно включенных элементов –  $R_{61}$  и  $R_{62}$ , из которых  $R_{62}$  – переменный резистор. Для них должно выполняться условие  $R_{61} < R_6$ , а  $R_{61} + R_{62} > R_6$ .

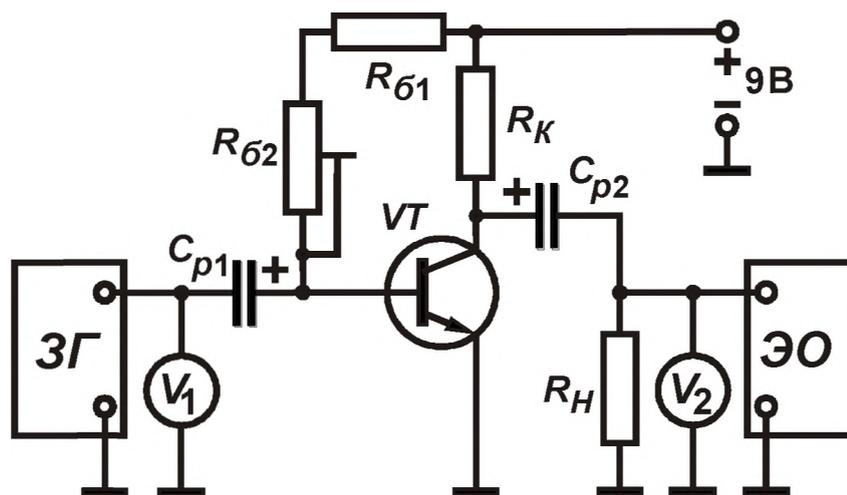


Рис. 1. Схема определения коэффициента усиления и контроля формы выходного сигнала

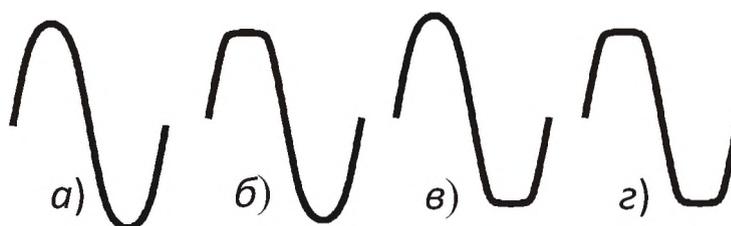


Рис. 2. Возможная форма выходного сигнала: а - ограничения нет, б - ограничение сверху, в - ограничение снизу, г - двустороннее симметричное ограничение

2. Перед проведением исследований нужно проверить **правильность выбора рабочей точки транзистора**. Для этого установить на входе усилителя переменное напряжение  $u_{вх} = 10\text{--}30$  мВ с частотой 1 кГц. Постепенно увеличивая  $u_{вх}$  и постоянно контролируя форму выходного сигнала на экране осциллографа, достичь начала его ограничения. Изменяя величину подстроечного резистора  $R_{62}$ , добиться одинакового ограничения снизу и сверху (см. рис. 2). **При последующих опытах положение  $R_{62}$  изменять нельзя!**

3. Установить  $u_{\text{вх}} = 20$  мВ с частотой 100 Гц. Измерить напряжение  $u_{\text{вых}}$  и вычислить коэффициент усиления  $K_U = u_{\text{вых}}/u_{\text{вх}}$ . Аналогичные измерения и расчеты при неизменном  $u_{\text{вх}}$  провести для частот входного сигнала 1000 Гц и 10 кГц. Полученные результаты разместить в таблице:

$f$ , кГц	0.1	1,0	10
$u_{\text{вых}}$			
$K_U$			

4. **Определение динамической характеристики.** Установить на входе сигнал  $u_{\text{вх}} = 10$  мВ частотой 1 кГц и измерить напряжение выходного сигнала. После этого, не меняя частоты, начать увеличение  $u_{\text{вх}}$ , одновременно наблюдая изображение выходного сигнала на экране осциллографа. Довести величину входного напряжения до величины  $u_{\text{вхм}}$ , при которой «картинка» начнет заметно отличаться от синусоидальной. Найти величину динамического диапазона усилителя  $D_U$  как отношение  $u_{\text{вхм}}$  к  $u_{\text{вх}}$

$$D_U = \frac{u_{\text{вхм}}}{u_{\text{вх}}}.$$

**Отчет по лабораторной работе должен содержать:**

1. Схему экспериментальной установки.
2. Краткое описание принципов работы резисторного усилителя.
3. Таблицу экспериментальных результатов по определению  $K_U$ .
4. Анализ возможных причин изменения  $K_U$  на разных частотах.
5. Величину динамического диапазона.