ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Санкт-Петербургский техникум железнодорожного транспорта
структурное подразделение ФГБОУ ВО ПГУПС

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

к выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине
«ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА»
спец. 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта)

Очная и заочная формы обучения

Санкт-Петербург
2017

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников СПО по специальности 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта) *и* на основе рабочей программы дисциплины «**Электронная техника**», утвержденной методическим советом техникума.

Методические рекомендации предназначены для подготовки и проведения лабораторных (практических) работ для обучающихся очной и заочной форме обучения

Методические рекомендации рассмотрены и одобрены на заседании цикловой комиссии «Общетехнических и электротехнических дисциплины»

Протокол № 10 от 20 июня

Председатель Гидаспова Т.М.

Методические указания согласованы и зарегистрированы в методическом кабинете.

№ регистрации 72 от «5» 10 2017 г.

Заведующая методическим кабинетом Божук Г.А.

Содержание

1. Пояснительная записка……..……..4
2. Перечень лабораторных и практических работ……7
3. Правила охраны труда при выполнении лабораторных и практических занятий……..8
4. Библиографический список…….....85

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине «**Электронная техника**» составлены на основе рабочей программы и предназначены для студентов очной и заочной формы обучения. Данная дисциплина относится к блоку общепрофессиональных дисциплин, устанавливающих базовые знания для освоения ПМ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь:**
- определять и анализировать основные параметры электронных схем и по ним определять работоспособность устройств электронной техники;
- производить подбор элементов электронной аппаратуры по заданным параметрам;
- «читать» маркировку деталей и компонентов электронной аппаратуры
- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принципы работы типовых электронных устройств;
- принципы включения электронных приборов и построения электронных; схем;
- основы микроэлектроники;
- интегральные микросхемы и логические устройства;

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **знать:**
- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принципы работы типовых электронных устройств;
- принципы включения электронных приборов и построения электронных схем;
- основы микроэлектроники, интегральные микросхемы и логические устройства.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование общих компетенций, включающих в себя способность

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Содержание дисциплины ориентировано на подготовку студентов к освоению профессиональных модулей по специальности и овладению профессиональными компетенциями, соответствующими основным видам профессиональной деятельности:

ПК 1.1. Выполнять работы по монтажу, вводу в действие, демонтажу транспортного радиоэлектронного оборудования, сетей связи и систем передачи данных.

ПК 1.2. Выполнять работы по монтажу кабельных и волоконно-оптических линий связи.

ПК 1.3. Производить пуско-наладочные работы по вводу в действие транспортного радиоэлектронного оборудования различных видов связи и систем передачи данных;

ПК 2.1 Выполнять техническую эксплуатацию транспортного радиоэлектронного оборудования в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

ПК 2.2. Производить осмотр, обнаружение и устранение отказов, неисправностей и дефектов транспортного радиоэлектронного оборудования

ПК 2.3. Осуществлять наладку, настройку, регулировку и проверку транспортного радиоэлектронного оборудования и систем связи в лабораторных условиях и на объектах.

ПК 2.4. Осуществлять эксплуатацию, производить техническое обслуживание и ремонт устройств радиосвязи

ПК 3.1. Осуществлять мероприятия по вводу в действие транспортного радиоэлектронного оборудования с использованием программного обеспечения.

ПК 3.2. Выполнять операции по коммутации и сопряжению отдельных элементов транспортного радиоэлектронного оборудования при инсталляции систем связи.

ПК 3.3. Программировать и настраивать устройства и аппаратуру цифровых систем передачи.

Рабочая программа дисциплины Электронная техника предусматривает 10 часов практических работ и 32 часа лабораторных работ.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Номер работы	Название работы	Количество часов
1	Исследование работы выпрямительных диодов	2
2	Исследование работы стабилитронов	2
3	Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общей базой (ОБ)	2
4	Определение h-параметров биполярных транзисторов по статическим характеристикам	2
5	Исследование работы полевого транзистора	2
6	Исследование работы фотоэлектрического прибора	2
7	Графоаналитический анализ работы биполярного транзистора режима А	2
8	Расчет показателей структурных схем усилителей с различными видами обратных связей	2
9	Исследование работы каскада предварительного усиления	2
10	Исследование работы двухтактного выходного каскада	2
11	Исследование работы фазоинверсного каскада	2
12	Исследование работы дифференциального каскада	2
13	Исследование схем устройств на операционном усилителе	2
14	Расчет элементов и параметров схем функциональных узлов на операционном усилителе	2
15	Исследование схем генераторов LC на транзисторах	2
16	Исследование схем генераторов RC на транзисторах	2
17	Исследование схем генераторов RC на основе операционного усилителя	2
18	Исследование работы амплитудного ограничителя	2
19	Исследование работы автоколебательного мультивибратора	2
20	Расчет параметров схемы автоколебательного мультивибратора цепях	2
21	Исследование работы триггера Шмитта	2
Итого		42

Правила охраны труда при выполнении лабораторных и практических занятий

К выполнению лабораторных и практических занятий по дисциплине ОП.07. «**Электронная техника**» допускаются обучающиеся, прошедшие инструктаж по охране труда, что должно быть зафиксировано в журнале проведения инструктажа.

Инструкции первичного (повторного) инструктажа по охране труда при выполнении лабораторных занятий на электрическом оборудовании утверждаются специалистом по охране труда образовательной организации, инструктаж проводится преподавателем.

В лаборатории, обучающиеся должны соблюдать правила внутреннего распорядка, знать основы электробезопасности.

К проведению лабораторных занятий обучающиеся допускаются только с преподавателем, при этом необходимо выполнять следующие условия:

- подготовить рабочее место, убрать посторонние предметы;
- приборы и оборудование разместить таким образом, чтобы исключить их падение и опрокидывание;
- прежде чем приступить к сборке электрической схемы для проведения измерения на стенде, надлежит познакомиться с устройством лабораторного стенда, обратив особое внимание на расположение выключателей на отдельных блоках и рубильников, подающих напряжение со стороны питающей цепи;
- сборка электрической схемы разрешается только при выключенных источниках питания.

Схема должна быть собрана таким образом, чтобы не было возможности прикосновения к оголенным проводам и контактам;

перед подачей напряжения на схему необходимо убедиться, что все движки потенциометров находятся в крайнем
левом положении, обеспечивающем нулевое напряжение, а приборы для измерения токов и напряжений переключены на предел для измерения максимальных величин.

Запрещается

- подавать напряжение на схему без предварительной проверки ее преподавателем или лаборантом;
- оставлять без наблюдения схему под напряжением. При временном прекращении работ источники напряжения должны быть выключены;
- производить изменения в схемах, находящихся под напряжением;
- прикасаться к любым частям схемы одновременно двумя руками;
- снимать защитные корпуса оборудования, производить ремонт.

По окончании работы источники питания на стендах должны быть выключены, движки выведены в крайнее левое положение, схема разобрана, рабочее место приведено в порядок

Лабораторное занятие № 1
Исследование работы выпрямительных диодов

Цель работы: снять вольт-амперную характеристику (ВАХ) кремниевого диода при прямом и обратном включении, проанализировать параметры исследуемого диода.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.0.

Краткие теоретические сведения

Принцип действия полупроводникового диода основан на использовании свойств электронно-дырочного перехода, возникающего в полупроводниковой пластине между двумя слоями с различными типами электрической проводимости. На рисунке 1 изображена вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода. В ней можно выделить две ветви: прямую (А) и обратную (Б).

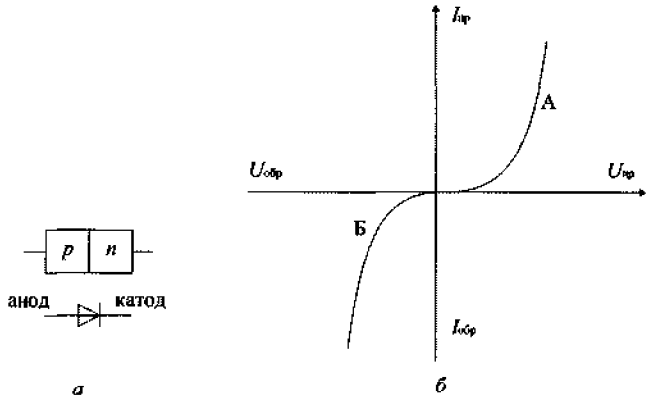


Рис. 1. Выпрямительный диод: *а* — структура и обозначение диода; *б* — вольт-амперная характеристика

Прямая ветвь характеризуется малыми значениями прямого напряжения на p-n-переходе, а обратная — малыми значениями тока (называемого обратным), обусловленного неосновными носителями заряда

Однако если обратное напряжение, приложенное к p-n-переходу, превысит определенное значение, то возникнет электрический пробой p-n-перехода, характеризующийся резким возрастанием обратного тока при незначительном изменении обратного напряжения.

Порядок выполнения

1. Запишите паспортные данные исследуемого диода из таблицы 1.

Таблица1

Паспортные данные диода IN4446

Эксплуатационные параметры		Тип исследуемого прибора
Обозначения в программе	Перевод на русский язык	Кремниевый диод Ш4446
1	2	3
Saturation current, IS, A	Обратный ток диода при температуре 27°С, I, А	Ю-^{7}А
Reverse breakdown voltage, BV, V	Напряжение пробоя, $U_{обр.max}$, В	100в
Zero-bias junction capacitance, CJO, F	Барьерная емкость p-n-перехода, $C_{бар}$, Ф	2-Ю$^{-12}$ Ф
Current at reverse breakdown voltage, IBV, A	Начальный ток пробоя при напряжении $U_{обр.max}$, $I_{обр.max}$, А	Ю$^{-13}$ А

2. Начертите и соберите схему, показанную на рисунке 2, для исследования прямой ветви ВАХ диода.

3. Кнопкой включите схему.

4. Исследуйте прямую ветвь ВАХ диода.

Для снятия вольтамперной характеристики диода в прямом направлении необходимо постепенно повышать напряжение U1($U_{пр}$) от 0,1 до 0,4 В (через каждые 0,05 В), измеряя значения прямого тока I1 ($I_{пр}$). Для этого выполните следующие действия.

4.1. На схеме (рис. 2) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) U1($U_{пр}$).
Дважды щелкните левой кнопкой мыши.

4.2. В появившемся диалоговом окне **Battery Properties** (свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установите значение 1 В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна. Значение I1 ($I_{пр}$) для данного напряжения занести в таблицу

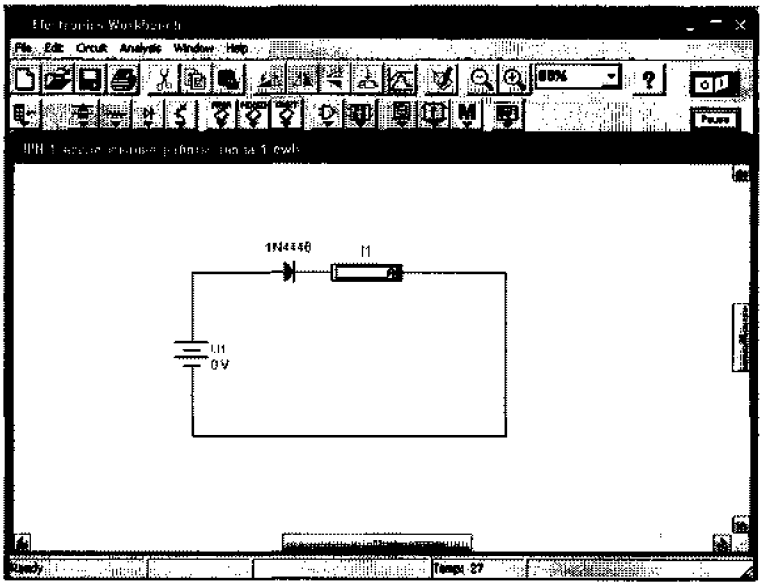


Рис. 2. Схема для исследования прямой ветви ВАХ диода

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений

Измерено		Вычислено	Измерено		Вычислено
$U_{пр БВ}$	' $I_{пр}$ мА	$R_{ст\ пр}$, Ом	$U_{обр}$, в	$I_{обр}$, мкА	$R_{ст\ обр}$, Ом
1	2	3	4	5	6
ОД			0		
0,15			50		
0,2			100		
0,25			125		
0,3			150		
0,35			175		
0,4			200		

4.4. Аналогично выполните измерения для других значений напряжений, указанных в таблице 2.

5. Соберите схему, представленную на рис. 3, для исследования обратной ветви ВАХ диода.

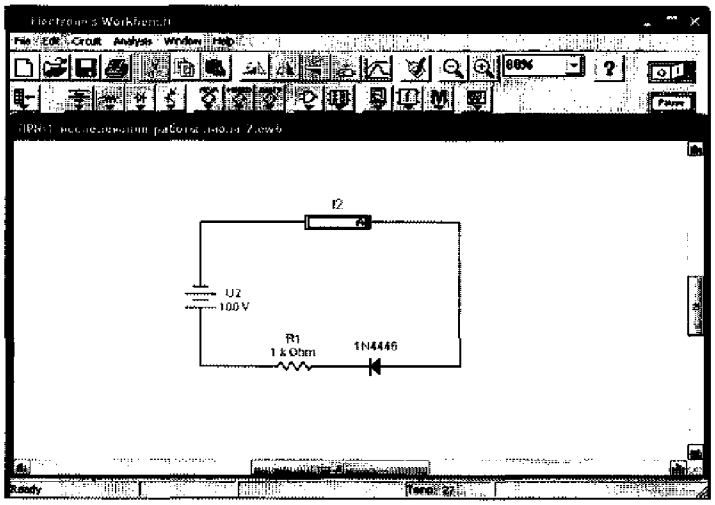


Рис. 3. Схема для исследования обратной ветви ВАХ диода

Исследуйте обратную ветвь ВАХ диода.

Для снятия вольтамперной характеристики диода в обратном направлении необходимо постепенно повышать напряжение *U2*. ($U_{обр}$) от 0 до 200В согласно таблице 2, отмечая значения обратного тока *12* ($I_{обр}$). Для этого выполните действия, аналогичные п. 4.

7. Результаты измерений занесите в таблицу 2.
8. По данным таблицы 2 постройте вольтамперную характеристику диода в масштабе, удобном для определения параметров диода.
9. Пользуясь вольтамперной характеристикой диода, определите его основные параметры:

— допустимое обратное напряжение $U_{обр}$ ';

— статическое сопротивление диода постоянному току при прямом включении $R_{пр} = U_{пр} / I_{пр}$;

—статическое сопротивление диода постоянному току при обратном включении $R_{обр}=U_{o5p}/I_{бр}$.

10. Поясните ход прямой и обратной ветви ВАХ диода на различных участках.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Схема для исследования прямой и обратной ветви ВАХ диода.
3. Таблица с результатами измерений и вычислений.
4. ВАХ кремниевого диода.

Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите особенности ВАХ германиевых и кремниевых диодов.
2. Дайте определение p-n-перехода.
3. Объясните выпрямительные свойства p-n-перехода.
4. Сформулируйте определение ширины p-n-перехода и поясните, как она зависит от приложенного напряжения.
5. Перечислите параметры диода и дайте им определения.
6. Поясните, как изменится ход ВАХ диода с повышением (понижением) температуры, укажите причины ее изменения.

Лабораторное занятие № 2
Исследование работы стабилитронов

Цель работы: снять обратную ветвь вольт-амперной характеристики стабилитрона, определить по характеристике основные параметры стабилитрона.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.0.

Краткие теоретические сведения

Полупроводниковый стабилитрон предназначен для стабилизации напряжения в цепях постоянного тока. ВАХ стабилитрона показана на рис. 4, *а*, а условное обозначение — на рис. *4,б*.

Если электронно-дырочный переход создать с двух сторон кремниевой пластины, то получится стабилитрон с симметричной ВАХ — симметричный стабилитрон (рис. 4, *в)*.

Рабочим участком стабилитрона является участок электрического пробоя. При изменении тока,
протекающего через стабилитрон, от значения $I_{тт1п}$ до значения $I_{сттах}$ напряжение

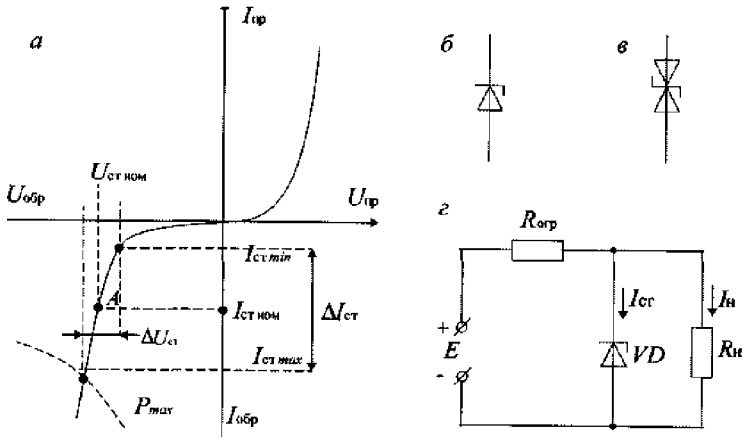


Рис. 4. Кремниевый стабилитрон: *а* - ВАХ стабилитрона; *б*- условное обозначение несимметричного стабилитрона; *в* — условное обозначение симметричного стабилитрона; *г* — схема стабилизатора напряжения

на нем мало отличается от значения $U_{.тном}$- На этом свойстве основано использование стабилитронов.

Порядок выполнения

1. Запишите паспортные данные исследуемого стабилитрона из таблицы 3.

Таблица 3

Паспортные данные стабилитрона В2У49-С6У8

Эксплуатационные параметры		Тип исследуемого прибора
Обозначения в программе	Перевод на русский язык	Стабилитрон В7У49-С6У8
1	2	3

Saturation current IS, A	Обратный ток стабилитрона при темпе-ратуре 27°С, *1^*, А	1,09-10-^{9}А
Zener test voltage at IZT, V	Напряжение стабилизации, С/^, В	6,53В
Zero-bias junction capacitance, CJO, F	Барьерная емкость р-и-перехода, $C_{бар}$, Ф	1,05-10-^{10} Ф
Zener test current IZT, A	Начальный ток пробоя , А	2А

2. Начертите и соберите схему, показанную на рисунке 5.

3. Кнопкой включите схему.

4. Снимите вольтамперную характеристику стабилитрона в обратном направлении ($I_{обр}$) = *f*($U_{обр}$).

Для снятия вольтамперной характеристики стабилитрона в обратном направлении необходимо постепенно повышать напряжение источника Е1 от 0 до 15 В согласно таблице 4, отмечая значения тока I1 ($7_{обр}$) и напряжения на стабилитроне *U1 (*$U_{(0\ (}$. Для этого необходимо выполнить следующие действия.

4.1. На схеме (рис.5) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) Е1*;*

4.2. Дважды щелкните левой кнопкой мыши.

4.3. В появившемся диалоговом окне **Battery**

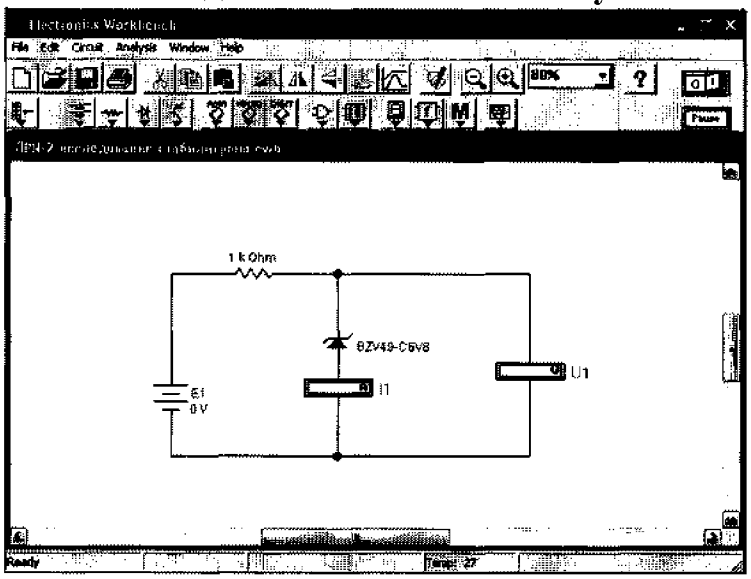


Рис. 5. Схема для исследования стабилитрона

Properties (сиойстпа батареи) в меню **Value** (параметр) установите значение 1 В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна. Значение /1 ($I_{обр}$) и *U1 (*$U_{обр}$*)* для данного напряжения занесите в таблицу 4.

4.4. Аналогично выполните измерения для других значений напряжений, указанных в таблице 4.

5. Результаты измеренных величин занесите в таблицу 4.

Таблица 4 **Результаты измерений**

EI,B	0	2	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{обр}$ *B*													
Iобр МА													

6. По данным таблицы постройте графики зависимости($I_{Об}$) =f($U_{бр}$) в масштабе, удобном для определения параметров.

7. Пользуясь вольтамперной характеристикой стабилитрона, определите его основные параметры: напряжение стабилизации $U_{ст}$; дифференциальное сопротивление стабилитрона $R_{стдиф}$. Методика определения данных параметров приведена на рис. 4, *а*.
8. Сравните полученные параметры с паспортными данными.
Сделайте вывод о хода обратной ветви ВАХ стабилитрона на различных участках.

Содержание отчета

— Номер, тема и цель занятия.
— Схема для исследования стабилитрона.
— Таблица с результатами измерений.
— ВАХ обратной ветви исследуемого стабилитрона.
— Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

— Дайте определение пробою p-n-перехода.
— Перечислите виды пробоев p-n-перехода.
10. Поясните, какие виды пробоев используются в основе работы стабилитронов.
11. Объясните, от чего зависит напряжение стабилизации стабилитрона.
12. Поясните, из каких соображений устанавливается диапазон токов, в котором может работать стабилитрон.
13. Объясните методику определения параметров стабили трона по его обратной ветви ВАХ.
Укажите, какой диод называется стабистором и в чем **его** отличие от стабилитрона.

Лабораторное занятие № 3

Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общей базой (ОБ)

Цель работы: снять входные и выходные вольт-амперные характеристики биполярного транзистора, включенного с общей базой. ***Оборудование:*** персональный компьютер. ***Программное обеспечение:*** Electronics Workbench 5.0.

Краткие теоретические сведения

Различают три схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК).

Режим транзистора определяется токами и напряжениями в его входных и выходных цепях. Статические характеристики отражают зависимость между токами и напряжениями во входных и выходных цепях. Различают входные U вх =f (Uвх) при Uвых$^{=\ \text{сопl и}}$ выходные $I_{вых}$ = f (U вых) при $/_{вх}$= const характеристики, а также характеристики прямой передачи I вых = f (I вх) при $U_{вых}$ =*const* и обратной связи по напряжению U вых = f (*U* вых*)* при $I_{вх}$ =const.

При расчете транзисторных цепей достаточно иметь семейства входных и выходных характеристик. Наибольшее распространение получили входные и выходные статические характеристики для двух основных схем включения — с общей базой и с общим эмиттером.

Для схемы с общей базой входная характеристика представляет собой зависимость тока эмиттера / от напряжения между эмиттером и базой *Uэб* при постоянной величине напряжения между коллектором и базой Uкб(Iэ) = f ($U_{эб}$) при

Uкб = const**.**

Типичные входные статические характеристики транзистора для схемы с общей базой приведены на рис. 6, а.

Выходные характеристики транзистора для схемы с общей базой изображают зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе при постоянных значениях эмиттерного тока:

Iк= f($U_{кб}$)при $I_э$= const.

Примерный вид выходных статических характеристик транзистора изображен на рис. 6, б.

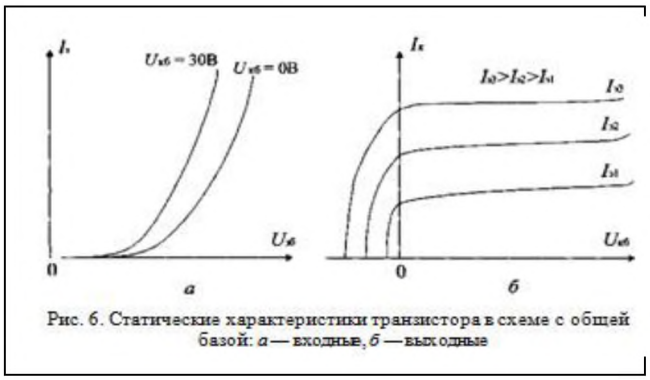


Рис. 6. Статические характеристики транзистора в схеме с общей базой: *а* — входные, *б* — выходные

Рис. 6. Статические характеристики транзистора в схеме с общей базой: *а* — входные, *б* — выходные

Порядок выполнения

I. Запишите паспортные данные исследуемого транзистора.

Таблица5

Паспортные данные транзистора 2К4123

Эксплуатационные параметры		Тип исследуемого прибора
Обозначения в программе	Перевод на русский язык	Германиевый транзистор 2К4123
1	2	3
Saturation current IS, A	Обратный ток коллекторного перехода, Iкбо, А	6,734-10-^{15}А
Forward current gain Coefficient ßF	Коэффициент усиления по току в схеме с ОЭ, $Я_{21э}$	335,3
Base ohmic resistance RB Ом	Объемное сопротивление базы,	10 Ом
Collector ohmic resistance RC , Ом	Дифференциальное сопротивление коллекторного перехода, $r_{КШф}$, Ом	1 Ом
Zero-bias B-E junction capacitance, CE, F	Емкость эмиттерного перехода, *С, Ф* -	4,439-10-^{12} Ф
Zero-bias B-E junction capacitance, CC, F	Емкость крллеюсорвого перехода, $С_к$, Ф	3,638-Ю-^{12} Ф

2. Начертите и соберите схему, показанную на рисунке 8, для исследования входных характеристик транзистора с ОБ.

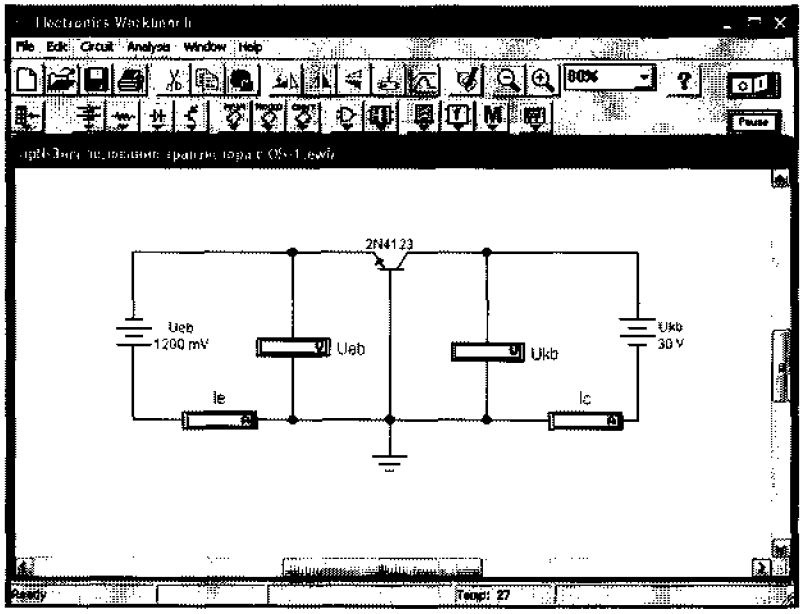


Рис. 7. Схема для исследования входных характеристик транзистора с ОБ

3. Кнопкой - включите схему.

4. Снимите семейство входных статических характеристик тран зистора $I_э = f(U_{э6})$, при *Uкб* = const, транзистора с общей базой.

Для снятия входной характеристики транзистора необходимо установить в схеме напряжение *Uкб (Uкб)* = О В и повышать напряжение $U_{eЬ}$ (*Uэб*)от 0 до 1200 мВ (через каждые 100 мВ), отмечая значения тока $I_э$ транзистора. Для этого необходимо выполнить следующие действия.

4.1. На схеме (рис. 7) навести курсор на источник постоян ного

напряжения (батарею) U_{eb} (*Uкб*).

4.2. Дважды щелкнуть левой кнопкой мыши.

4.3. В появившемся диалоговом окне **Battery Properties** (свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установите значе ние О В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна.

4,3На схеме (рис. 7) наведите курсор на источник постоян ного напряжения (батарею). U_{eb} ($U_{эб}$). В появившемся диало говом окне **Battery Properties** (свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установите значение 100 мВ и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна. Значение I_e ($I_Э$) для данного напряжения за несите в таблицу 6.

4.4. Аналогично выполните измерения для других значений напряжений U_{eb} ($U_{эб}$), указанных в таблице 6.

4.5. Далее измените значение U_{kb}($U_{кб}$) = 30 и проделайте изменения согласно данн пункта

5 Результаты занести в таблицу 6

Номер опыта	мВ Uэб•	Iэ, мА	
		при $U_{кб}$ = 0 3	при Uкб= зов
1	2	3	4
1	0		
2	250		
3	500		
4	600		
5	700		
6	800		
7	900		
8	1000		
9	1100		
10	1200		

6. По данным таблицы постройте графики семейства **исходных** статических характеристик исследуемого транзистора в масштабе.

6. Начертите и соберите схему, показанную на рисунке 8.

7. Кнопкой включите схему.

8. Снимите семейство выходных статических характеристик транзистора с общей базой $I_к$= f *(U_{kb})*, при $I_э$ = const.

Для снятия выходной характеристики транзистора установите п схеме ток эмиттера I_e ($I_э$) = 50 мкА и повышая напряжение,*(U_{kb})* от 0 до 60 В (через каждые 5 В), измерьте значения тока коллектора I_k. ($I_к$) транзистора. Для этого необходимо выполните следующие действия.

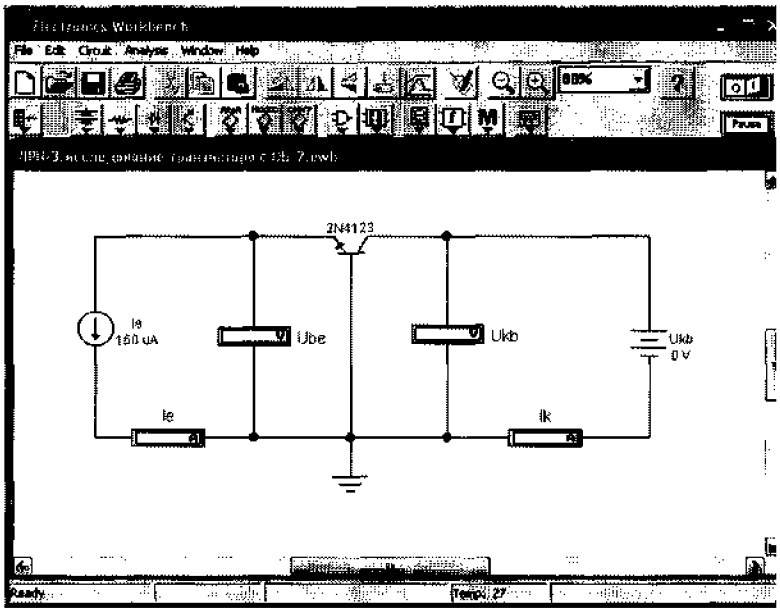


Рис. 8. Схема для исследования выходных характеристик транзистора с ОБ

9.1. На схеме (рис. 8) наведите курсор на источник постоянного тока I_e.

9.2. Дважды щелкнуть левой кнопкой мыши.

9.3. В появившемся диалоговом окне **DC Current Properties**(свойства источника постоянного тока) в меню **Value**(параметр) установите значение 50 мкА и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна.

9.4.

На схеме (рис. 8) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) $U_{кб}$(U_{kb}). В появившемся диалоговом окне **Battery Properties** (свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установите значение 5 В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна.

Значение I_k ($I_к$) для данного напряжения занесите в таблицу 7.

9.5. Аналогично выполните измерения для других значений напряжений $U_{кб}$, указанных в таблице 7.

9.6. Далее измените значение I_e ($I_э$) = 100 мкА, а затем 150мкА и повторите измерения.

9. Результаты измерений занесите в таблицу 7.

Таблица 7

Результаты измерений

Номер опыта	$U_{кб}$ В	$I_К$, мкА		
		$I_э$ = 50 мкА	$I_э$ = 100 мкА	$I_э$ = 150 мкА
1	2	3	4	5
1	0			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			
6	50			
7	60			
8	70			

9	80			
10	90			
11	100			
12	110			
13	120			

11. По данным таблицы 7 постройте в масштабе графики семейства выходных статических характеристик исследуемого транзистора.

12. Сделайте выводы:

— о ходе входной характеристики и различиях входных характеристик, снятых при разных значениях $U_{кб}$;

— о ходе выходной характеристики и различиях выходных характеристик, снятых при разных значениях $I_э$.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Схема для исследования входных и выходных характеристик транзистора с ОБ.
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Входные статические характеристики транзистора, снятые при двух значениях $U_{кб}$, и построенные на одной координатной плоскости.
5. Выходные статические характеристики транзистора, снятые при трех значениях $I_э$, и построенные на одной координатной плоскости.
6. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Объясните процесс снятия статических характеристик.
2. Приведите схемы включения биполярных транзисторов. Дайте характеристику каждой схемы включения.
3. Поясните, как зависят характеристики и параметры транзисторов от температуры.
4. Перечислите достоинства и недостатки схемы с общей базой.
5. Перечислите режимы работы биполярных транзисторов. Нарисуйте схему включения биполярного транзистора различных структур с ОБ и укажите на ней полярности напряжений для всех режимов работы.

Практическое занятие № 1

«Определение h-параметров биполярных транзисторов по статическим характеристикам»

Цель работы: определить /г-параметры по статическим характеристикам биполярного транзистора, включенного с общим эмиттером.

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания, справочник [27].

Исходные данные

По статическим входным и выходным характеристикам заданного транзистора, включенного с ОЭ, в рабочей точке $I_{б0}$ и $U_{кб0}$:

1) определите h-параметры $h_{11э}$, $h_{12э}$, $h_{21э}$, $h_{21э}$ и сравните с паспортными значениями;
2) по полученным значениям h-параметров для схемы с О9 определите h-параметры для схемы с ОБ;
3) определите физические параметры транзистора. Тип транзистора, значения $I_{б0}$ и $U_{кб0}$ и его статические характери стики задаются преподавателем из справочника [27] и выписываются в таблицу 8.

Табл. 8

Данные для **расчета**

Номер варианта	Марка транзистора	$I_{б0}$	$U_{кэ0}$
1	2	3	4

Краткие теоретические сведения

При работе транзистора в усилительном режиме его свойство определяются малосигнальными параметрами, для которых транзистор можно считать линейным элементом. На Практике наибольшее применение получили малосигнальные гибридные или h-параметры.

Значения h-параметров зависят от способа включения транзистора и на низких частотах могут быть определены по статическим характеристикам. При этом амплитуды малых токи и напряжений заменяются приращениями. В результате уранисния приобретают вид:

$$\left.\begin{aligned} \Delta U_{m\,вх} &= h_{11}\Delta I_{m\,вх} + h_{12}\Delta U_{m\,вых} \\ \Delta I_{m\,вых} &= h_{21}\Delta I_{m\,вх} + h_{22}\Delta U_{m\,вых} \end{aligned}\right\},$$

где $h_{12} = \dfrac{\Delta U_{m\,вх}}{\Delta U_{m\,вых}}$ при $U_{m\,вых}$ = const – входное сопротивление;

$h_{12} = \dfrac{\Delta U_{m\,вх}}{\Delta U_{m\,вых}}$ при $I_{m\,вх}$ = const – коэффициент обратной связи пс напряжению;

$h_{22} = \dfrac{\Delta I_{m\,вых}}{\Delta U_{m\,вых}}$ при $U_{m\,вых}$ = const – коэффициент передачи по току;

$h_{22} = \dfrac{\Delta I_{m\,вых}}{\Delta U_{m\,вых}}$ при $I_{m\,вх}$ = const – выходная проводимость.

$U_{m\,вх}$ и $U_{m\,вых}$ – амплитуды входного и выходного напряжения, В;

$I_{m\,вх}$ и $I_{m\,вых}$ – амплитуды входного и выходного тока, А.

Порядок выполнения

1. В выбранном масштабе начертите из справочника статические входные и выходные характеристики заданного транзистора, включенного с ОЭ.

2. Определите h-параметры для схемы с ОЭ:

2.1. Параметры $h_{11э}$ и $h_{12э}$ определите по входным характеристикам в рабочей точке О (рис. 9, а) по формулам:

$$\left.\begin{aligned}\Delta U_{бэ} &= h_{11}\Delta I_б + h_{12}\Delta U_{кэ}\\ \Delta I_к &= h_{21}\Delta I_б + h_{22}\Delta U_{кэ}\end{aligned}\right\}.$$

2.1. Параметры $h_{11э}$ и $h_{12э}$ определите по входным характеристикам в рабочей точке О (рис. 9, а) по формулам:

$$h_{11э} = \left.\frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_б}\right|_{U_{кэ}=const} = \frac{U_{бэA} - U_{бэB}}{I_{бA} - I_{бB}};$$

$$h_{12э} = \left.\frac{\Delta U'_{бэ}}{\Delta I_{кэ}}\right|_{I_б=const} = \frac{U_{бэO} - U_{бэC}}{I_{кэO} - 0}.$$

Примечание: следует помнить, что приращения $U_{бэ}$ и $U'_э$, в общем случае различны.

2.1. Параметры $h_{21э}$ и $h_{22э}$ определите по выходным характеристикам в рабочей точке О (рис. 9, б) по формулам:

$$h_{21э} = \left.\frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}\right|_{U_{кэ}=const} = \frac{I_{кA} - I_{кB}}{I_{бA} - I_{бB}};$$

$$h_{22э} = \left.\frac{\Delta I'_к}{\Delta U_{кэ}}\right|_{I_б=const} = \frac{I_{кD} - I_{кC}}{U_{кэD} - U_{кэC}}.$$

Примечание: следует помнить, что приращения $I_к$ и $I'_к$ различны, т.к. определяются при разных условиях.

3. Определите h-параметры для схемы с ОБ. Между h-параметрами транзистора для схемы с ОБ и ОЭ существует следующая взаимосвязь:

$$h_{21э} \approx \frac{h_{21б}}{1 + h_{21б}},$$

$$h_{22э} \approx \frac{h_{22б}}{1 + h_{21б}},$$

$$h_{11э} \approx \frac{h_{11б}}{1 + h_{21б}},$$

$$h_{12э} \approx \frac{h_{11б}h_{22б}}{1 + h_{21б}} - h_{21б}.$$

Из данных формул необходимо выразить /г-параметры Транзистора для схемы с ОБ.

4, Определите физические параметры транзистора Дифференциальное

$$r_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}}.$$

Объемное $$r_б = h_{11э} - \frac{h_{12э}(1 + h_{21э})}{h_{22э}}.$$

сопротивление эмиттерного перехода $r_э$:

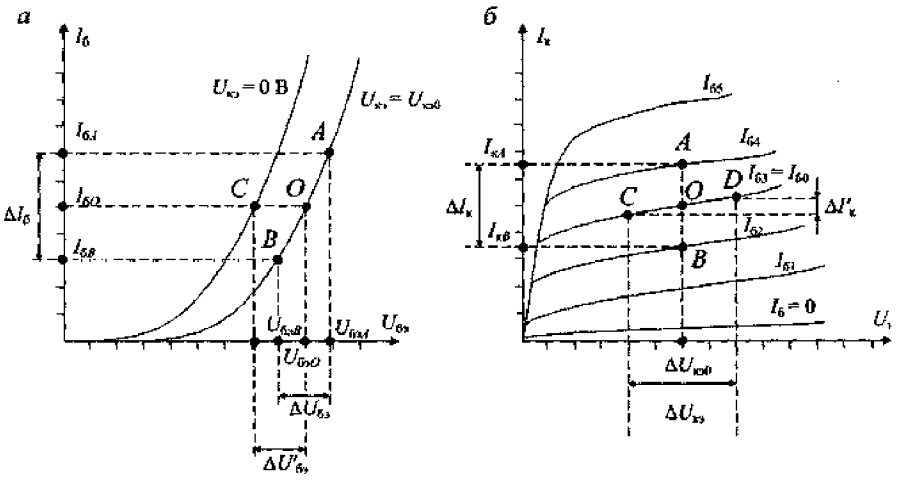


Рис. 9. Определения h-параметров транзистора по статическим характеристикам: *а* — входные характеристики, *б* — выходным характеристики

Дифференциальное сопротивление коллекторного перехода $r_к$:

$$r_к = \frac{1 + h_{21э}}{h_{22э}}.$$

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Исходные данные (условие задач).
1. Графическое определение h-параметров транзистора по статическим характеристикам.
3. Расчет h-параметров транзистора.
4. Выводы о проделанной работе.

Лабораторное занятие № 4
«Исследование работы полевого транзистора с управляющим p-n переходом»

Цель работы: снять и проанализировать передаточные (стокозатнорные) и выходные (стоковые) вольт-амперные характеристики полевого транзистора с управляющим p-n-переходом, определить основные параметры полевого транзистора. *Оборудование:* персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.0.

Краткие теоретические сведения

Полевым транзистором называется трехэлектродный полупроводниковый прибор, в котором ток создают основные носители заряда под действием продольного электрического ноли, и управление величиной тока осуществляется поперечным электрическим полем, создаваемым напряжением, приложенным к управляющему электроду. Все полевые транзисторы по своим конструктивным особенностям можно разделить ни две группы:

1) с управляющим p-n-переходом;
2) с изолированным затвором (МДП- или МОП-транзисторы).

Ни рисунке 10 приведены схематическое изображение кон
итрукции полевого транзистора с управляющим p-n-переходом И схем его включения. Тонкий слой полупроводника типа *n* (ИЛИ *p),* ограниченный с двух сторон электронно-дырочными Переходами, называется каналом. Принцип действия транзисторов с каналом типа п или р аналогичен; различие заключается лишь в полярности напряжении источников питания. включение канала в электрическую цепь обеспечивается с помощью двух омических электродов, один из которых (И) называется истоком, а второй (С) — стоком. Вывод, подсоединенный к областям р-типа, является управляющим электродом и называется затвором (3).

При $E_м = 0$ толщина канала наибольшая, и его сопротивление минимальное: Если на затвор подать по отношению к источнику обратное напряжение E_m, p-n-переходы расширяются, толщина канала уменьшится, а его сопротивление возрастает. Если между истоком и стоком включить источник напряжения Еси, то силой тока I_C, протекающего через канал,

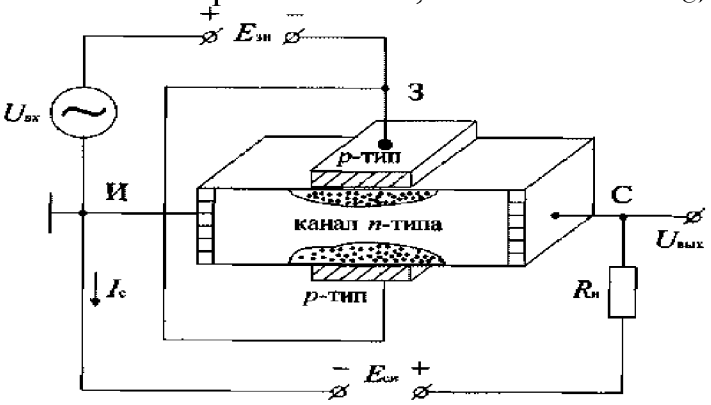


Рис. 10. Схематическое изображение конструкции и схема включения полевого транзистора с управляющим p-n-переходом

можно управлять путем изменения сопротивления канала с помощью напряжения, подаваемого на затвор. На этом принципе и основана работа полевого транзистора с управляющим p-n-переходом.

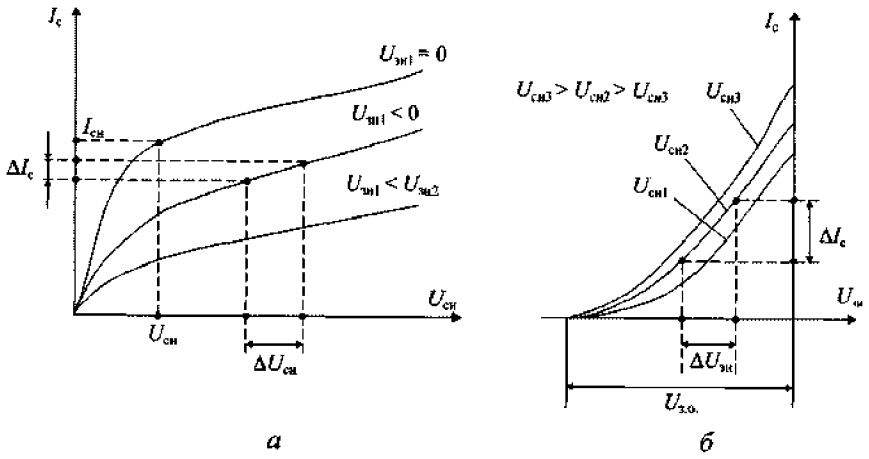


Рис. 11. Статические характеристики полевого транзистора с управляющим p-n-переходом: *а* — выходные(стоковые);*б*-передаточные (стокозатворные)

Основными статическими характеристиками полевого транзистора с управляющим p-n-переходом являются выходные (стоковые) характеристики $I_c = f(U_{cu},)$ при $U_{зи}$ =const (рис. 11, а) и передаточные (стокозатворные) $I_c = f(U_{зи})$ при U_{cu} = const (рис. 11,6).

Порядок вьшолнения

I. Запишите паспортные данные исследуемого транзистора из таблицы 9.

Таблица 9

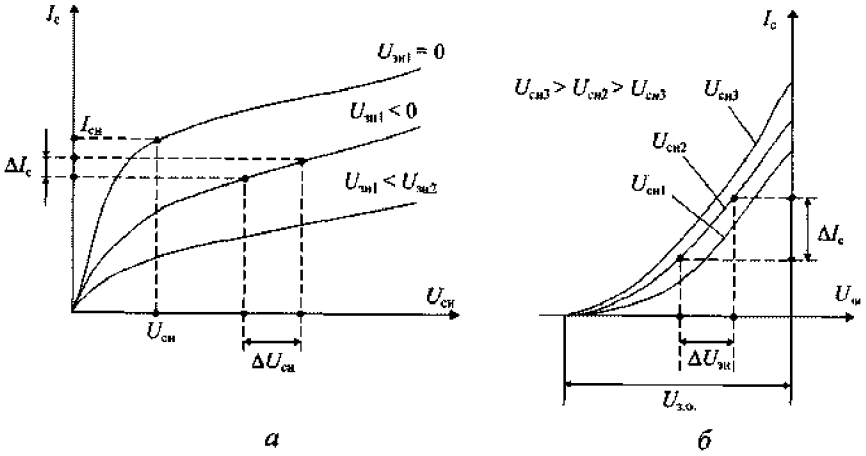
Паспортные данные транзистора 12Ш966

Эксплуатационные параметры		Тип исследуемого прибора
Обозначения и программе	Перевод на русский язык	Германиевый транзистор 2К3415
1	2	3
Gate-junction saturation current, IS, A , A	Ток насыщения, ICнасA	3,36-10-^{14}A
Thereshold voltage VTO, B	Напряжение отсечки, B	-4,88 B
Zero-bias gate-drain junction capacitance CGE, F	Емкость между затвором и стоком, Сзс,Ф	1,6-10-^{12} *Ф*
Zero-bias gate-source junction capacitance GGS, F	Емкость между затвором и истоком, Сзи Ф	2,41-Ю-^{12} Ф

2,Соберите схему, показанную на рис. 12.

3,Кнопкой включите схему.

4,Снимите семейство выходных статических характеристик полевого транзистора с общим истоком



$I_c = f\,(U_{си})$

при $U_{зи} = const$

Для снятия выходной характеристики транзистора необходимо установить в схеме напряжение U_{zi}, (Uзи) = 0 В и повышать напряжение(U_{SI}) от 0 до 24 В (через каждые 2 В), отмечая значения тока I_s (I_c) U_{si}($U_{си}$) от 0 до 24 В (через каждые 2 В), отмечая значения тока I_s транзистора. Для этого необходимо выполнить следующие действия

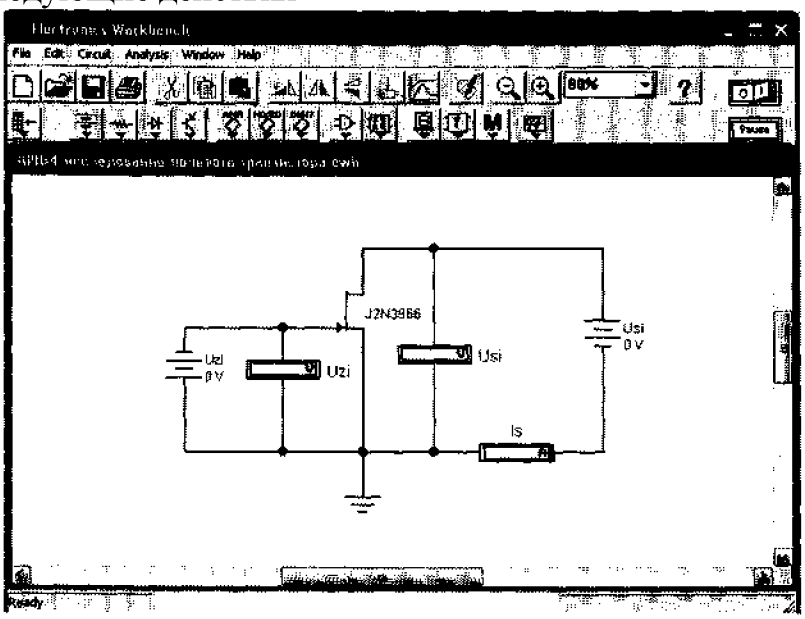


Рис. 12. Схема для исследования полевого транзистора

4.1. На схеме (рис. 12) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) U_{zi}($U_{зи}$);

4.2. Дважды щелкните левой кнопкой мыши;

4.3.В появившемся диалоговом окне **Battery Properties**(свойства батареи) в меню **Value**(параметр) установите значение О В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна.

4.4. На схеме (рис. 12) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) *Usi* ($U_{си}$). В появившемся диалоговом окне **ВаНегу Рторегйез** (свойства батареи) в меню **Value**(параметр) установите значение 2 В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна. Значение I_s *(*I_c*)* для данного напряжения занесите в

таблицу 10.

4.5. Аналогично выполните измерения для других значений напряжений.

4.6. Далее измените значение $U_{zi}(U_{зи})$=1В и повторите измерения согласно данного пункта. Аналогично повторите измерения при $U_{зи}$ = 2 В.

5. Результаты измерений занесите в таблицу 10

Таблица 10

Результаты измерений

Номер опыта	$U_{си}$ в	I_c , мА		
		$U_{зи}$ = 0 В	$U_{зи}$ = 1 В	$U_{зи}$ = 2 В
0	2	3	4	5
1	0			
2	2			
3	4			
4	6			
5	8			
6	10			
7	12			
8	14			
9	16			
10	18			
11	20			
12	22			
13	24			

6.По данным таблицы 10 постройте графики семейства выходных статических характеристик исследуемого транзистора в масштабе, удобном для определения параметров транзистора.

7.Снимите семейство вольтамперных статических характеристик прямой передачи транзистора с общим истоком I_c = f ($U_{зи}$), при $U_{си}$ = const.

Для снятия характеристики прямой передачи транзистора установите в схеме напряжение *Usi* ($U_{си}$) = 5 В и повышая на напряжение $U_{zi}(U_{зи})$ от 0 до 6 В (через каждые 1 В), измеряйте значения тока I_s (I_c) транзистора. Для этого выполните следующие действия:

7.1. На схеме (рис. 12) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) *Usi* ($U_{си}$).

7.1.Дважды щелкните левой кнопкой мыши.

7.3.В появившемся диалоговом окне **Battery Properties**(свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установите значение 5 В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна.

7.4.На схеме (рис. 12) наведите курсор на источник постоянного напряжения (батарею) $U_{zi}(U_{зи})$ В появившемся диалоговом окне **Battery Properties** (свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установить значение 1 В и нажать кнопку ОК диалогового окна. Значение I_c для данного напряжения занести в таблицу 11.

Таблица 11 **Результаты измерений**

		$U_{си}$ = 0 В	$U_{си}$ = 10 В	$U_{си}$ = 15 В
0	2	3	4	5
1	0			

2	-1			
3	-2			
4	-3			
5	-4			
6	-5			
7	-6			

75.Аналогично выполните измерения для других значений напряжений 17_m, заданных в таблице 11.

7.6. Далее измените значение *Usi* ($U_{си}$) = 10 В, а затем *Usi* ($U_{си}$) = 15 В и повторите измерения согласно данного пункта.

8. Результаты измерений занесите в таблицу 11.

9. По данным таблицы 11 постройте графики семейства статических характеристик прямой передачи исследуемого транзистора в масштабе, удобном для определения параметров транзистора.

10.Пользуясь полученными характеристиками, определите основные параметры полевого транзистора:

10.1. Крутизну передаточной характеристики Л

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_{зи}},$$

10.2.Напряжение отсечки, при котором ток стока становится равным нулю — $U_{зо}$;

10.3. Внутреннее (выходное) сопротивление транзистора — R;

$$R_i = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c}, \text{ Ом.}$$

10.4. Ток насыщения $I_{с\ нас}$

10.5. Напряжение насыщения $U_{с\ нас}$.

Методика определения параметров по характеристикам приведена на рис. 11. 11, Сделайте вывод:

— о ходе выходной характеристики и о различии выходных характеристиках, снятых при разных значениях $U_{зи}$;

—о ходе передаточной характеристики и о различии передаточных характеристик, снятых при разных значениях $U_{си}$.

Содержание отчета

1, Номер, тема и цель занятия.

2, Таблицы с результатами измерений.

.1. Выходные статические характеристики транзистора, снятые при трех значениях $U_{зи}$, и построенные на одной координатной плоскости.

4, Передаточные статические характеристики транзистора, снятые при трех значениях $U_{си}$, и построенные на одной координатной плоскости.

4, Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Поясните, почему данный тип транзисторов называют «полевым».

2. Поясните принцип работы полевого транзистора с укрепляющим p-n-переходом.

3, Объясните процесс снятия статических характеристик полевого транзистора.

4, Перечислите параметры полевого транзистора.

3, Дайте определение:

— напряжению насыщения полевого транзистора;
— напряжению отсечки полевого транзистора;
— входному сопротивлению полевого транзистора;
— выходное сопротивление полевого транзистора.

6. Поясните методику определения основных параметров по статическим характеристикам полевого транзистора.

7. Нарисуйте схемы включения полевых транзисторов.

8. Перечислите достоинства полевых транзисторов.

Лабораторное занятие № 5
«Исследование работы фотоэлектрического прибора»

Цель работы: исследовать работу светодиода.
Оборудование: персональный компьютер.
Программное обеспечение: Electronic Workbench5.0.

Краткие теоретические сведения

Полупроводниковые светоизлучающие диоды (СИД) непосредственно преобразуют электрическую энергию в энергию светового (видимого или инфракрасного) излучения.

В обычных диодах процесс рекомбинации заканчивается выделением энергии в виде квантов тепловых колебаний решетки (фотонов) и является безызлучательным. В отличие от фотонной (безызлучательной) рекомбинации в структурах СИД преобладает фотонная (излучательная) рекомбинация.

Чтобы кванты энергии — фотоны, освободившиеся при рекомбинации, соответствовали квантам видимого света, должна быть относительно большая ширина запрещенной зоны исходного полупроводника. Исходными полупроводниковыми материалами СИД являются арсенид галлия (GaAs), карбид кремния (SiC), фосфид галлия (GaP) или твердые растворы фосфида и арсенида галлия. Энергия квантов света, возникающих в этом материале при рекомбинации носителей заряда, может перекрывать всю видимую область спектра.

Порядок выполнения

1. Запишите паспортные данные исследуемого светодиода из таблицы 12.

2. Соберите схему, показанную на рисунке 13.

3. Кнопкой включите схему.

4. Курсором наведите на источник постоянного напряжения *U1*.

5. Дважды щелкните левой кнопкой «мыши» на источник постоянного напряжения *U1*.

6. В появившемся диалоговом окне **Battery Properties** (свойства батареи) в меню **Value** (параметр) установите значение 1 В и нажмите кнопку **ОК** диалогового окна. Значение I1 для данного напряжения занесите в таблицу 13.

Паспортные данные исследуемого светодиода

Таблица 12

Эксплуатационные параметреы		Тип исследуемого приобры
Обозначения в программе	Перевод на русский язык	
1	2	3
Station current IS A	Обр. ток диода при t = 27^0C $I_{обр}$ A	10^{-14}A
Turn-On Current Ion A	Мин. Ток в прямом направлении, при котором светодиод зажигается A	0.01A

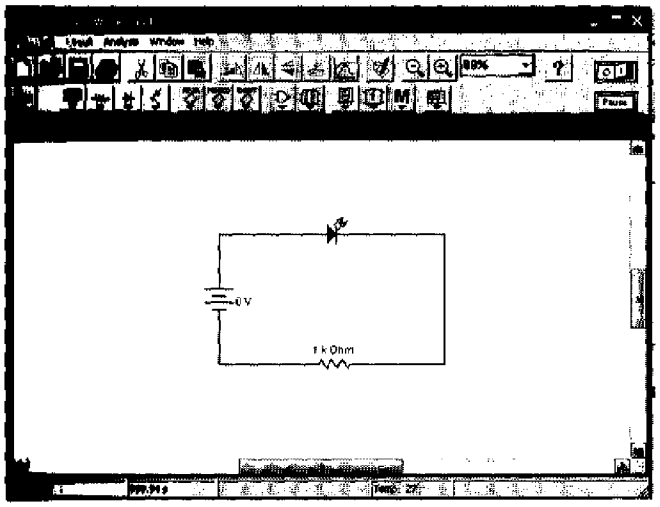


Рис. 13. Схема для исследования светодиода

7, Аналогично выполните измерения для других значений, указанных в таблице 13. Результаты измерений занесите в данную таблицу.

Таблица 13

Результаты измерений

ш,в	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Л, А															

8. Определите минимальный ток, при котором светодиод зажигается.

Внимание! Светодиод считается зажженным, если его стрелки на схеме окрасятся в черный цвет.

*9.*По данным таблицы 13 постройте ВАХ светодиода.

10.Сделайте вывод о работе светодиода по построенной характеристике.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Таблицы с результатами измерений.
3. Вывод о проделанной работе

Контрольные вопросы

1. Дайте определение фотоэлектрическому прибору.
1. Приведите определение внешнего фотоэффекта и укажите, где он применяется.
2. Поясните явление внутреннего фотоэффекта и укажите, где он применяется.
2. Укажите, какое устройство называется фоторезистором.
3. Поясните процесс снятия вольтамперных и световых характеристик фоторезистора.
4. Перечислите и дайте определения параметрам фоторезисторов.
3. Дайте определение фотодиоду.
4. Перечислите режимы работы фотодиодов.
5. Укажите, какие приборы называются оптоэлектронными.
10.Дайте определение оптрону и назовите их виды.

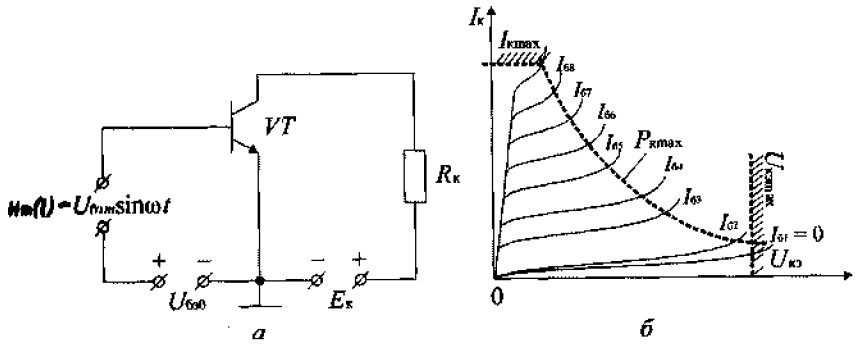
Практическое занятие № 2
«Графоаналитический анализ работы биполярного транзистора режима А»

Целы работы: научиться строить нагрузочную прямую выходной цепи, определять рабочую точку на входных и выходных характеристиках и считывать основные параметры режима покоя и режима усиления.

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания, справочник [27].

Краткие теоретические сведения

Во входной цепи усилительного каскада (рис. 14, а) включены: источник постоянного напряжения $U_{бэ0}$ (определяющий исходный рабочий режим, т. е. рабочую точку) и переменное напряжение $U_{бзm}$ sin*w*t усиливаемого сигнала. В выходной цепи действует источник постоянного напряжения $E_к$ включена нагрузка $R_Н$



N0. 14. Усилитель на транзисторе с ОЭ: *а* - упрощенная схема уси-**ДИтМЯ** на транзисторе с ОЭ, *б* — рабочая область в семействе выходных характеристик транзистора

Режим работы транзистора выбирают в пределах рабочей Области входных и выходных характеристик. В семействе выходных характеристик (рис. 14, *б)* эта область ограничена допустимыми значениями тока I_{kmax} напряжения $U_{кэmax}$ и параболической линией максимально допустимой мощностью P_{kmax}.

Исходный режим работы транзистора определяется выбором положения рабочей точки на нагрузочной характеристика. Для получения неискаженного усилия рабочая точка выбирается примерно в середине рабочего участка нагрузочной характеристики. Рабочий участок не должен выходить за пределы максимально допустимых значений I_{kmax}, $U_{кэmax}$, P_{kmax}, а также той части нагрузочной характеристики, в пределах которой равным изменениям входного $\Delta I_б$ соответствуют равные изменения выходного тока ΔI_k.

Исходные данные

Исходные данные задает преподаватель в соответствии с таблицей 14.

Таблица 14

Данные для **расчета**

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер рис.	15	16	17	15	18	17	15	16	17	15
Тип транзистора	МП25	ГТ122А		МП25	ГТ122А	КТ501	МП25	ГТ122А	КТ501	ГТ122А
$E_к$,В	20	12	25	30	16	20	30	16	30	12
$R_к$, кОм	2	1	2,5	2	2	2	3	1,6	3,75	0,75
$I_{б0}$, мА	0,75	0,2	0,3	1,0	0,15	0,3	0,5	0,2	0,3	0,25
$I_{бm}$ мА	0,25	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,1	0,1	0,1

Порядок выполнения

Пользуясь семейством статических входных и выходных характеристик заданного транзистора, включенного с ОЭ, для сопротивления нагрузки $R_к$ и напряжения источника питания $E_к$ выполните следующие задания.

Начертите схему подключения транзистора к источникам питания и источнику сигнала в нагрузочном режиме (рис. 14, *а*).

2.Перечертите входные и выходные характеристики транзистора, указанного в вашем варианте.

3.По заданному напряжению источника питания коллекторной цепи $E_к$ и сопротивлению нагрузки $R_к$ на семействе выходных характеристик постройте нагрузочную прямую, используя уравнение для выходной цепи:

$$U_{кэ} = E_к - I_к R_к.$$

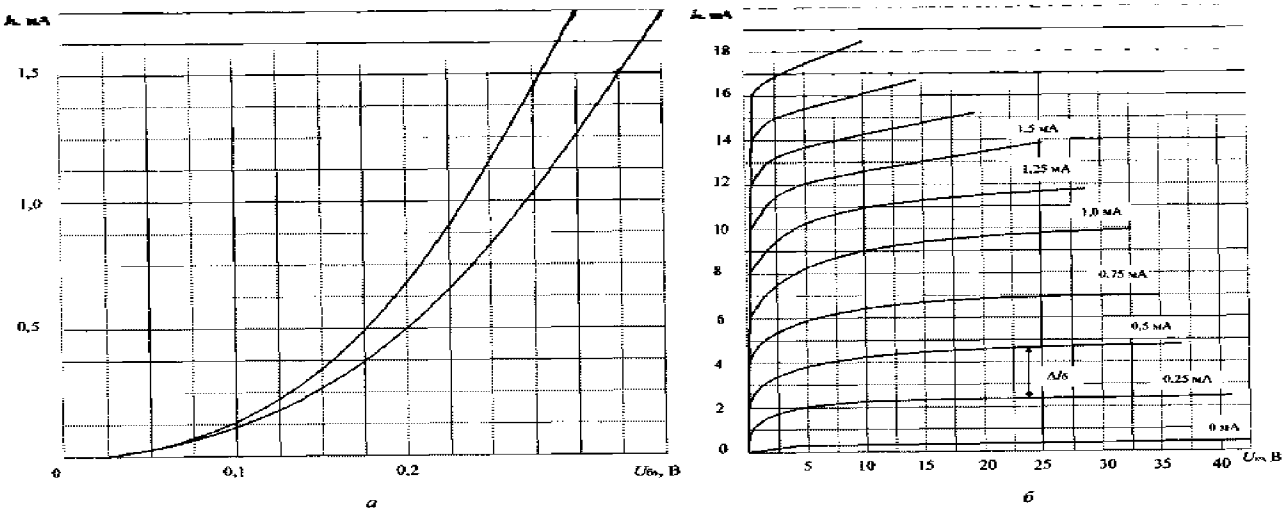


Рис. 15. Семейство характеристик транзистора МП25: *а* — входных; *б* — выходных

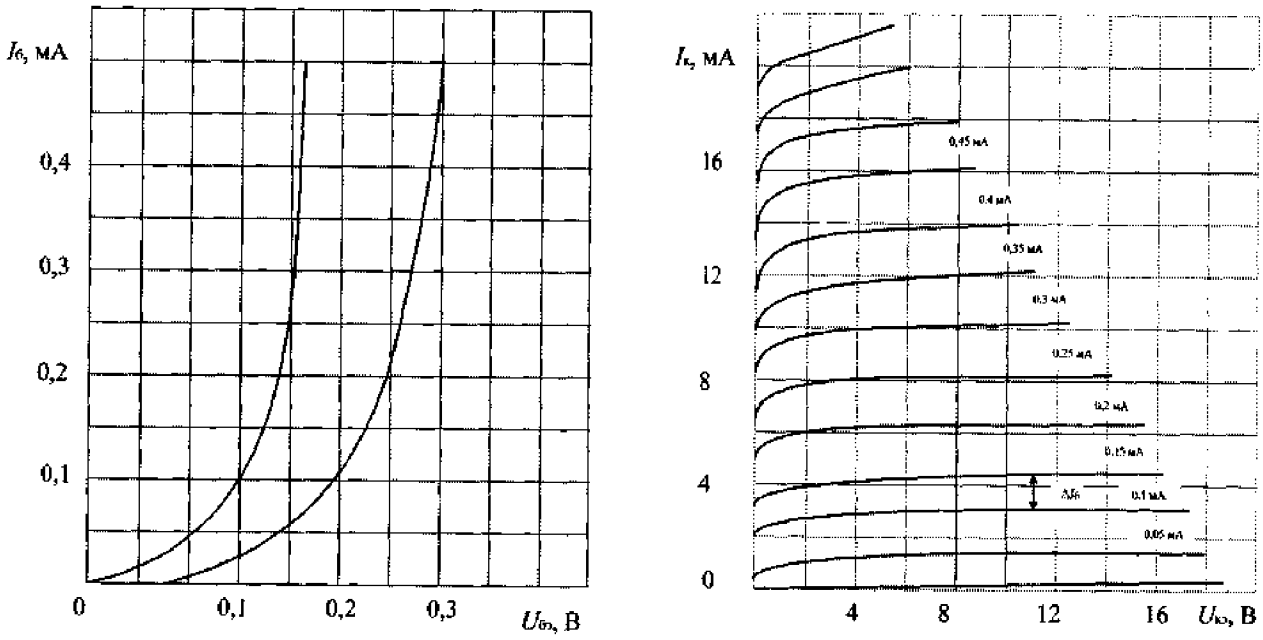


Рис.16. Семейство характеристик транзистора ГТ122А: *а* — входных; *б* — выходных

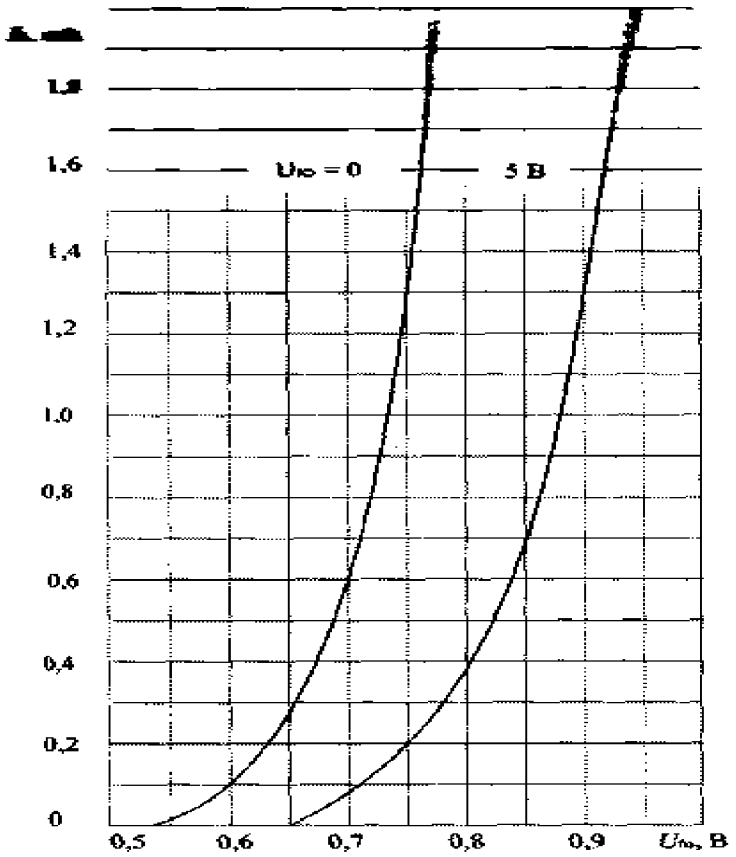
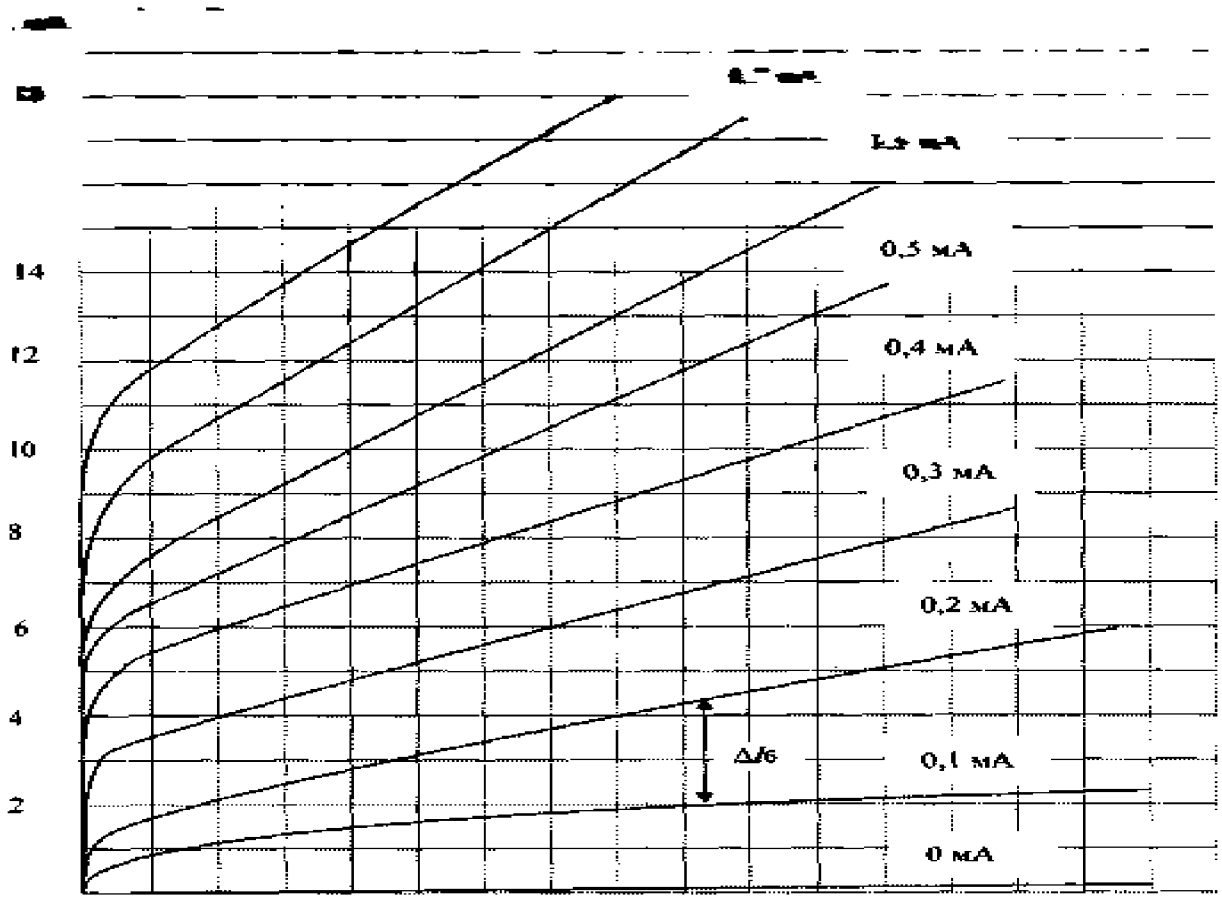


Рис. 17. Семейство характеристик транзистора КТ501: *а* - входных; *б*— выходных



3.1. Определите координаты точек пересечения нагрузочной прямой с осями координат в семействе выходных характеристик,

3.2. В точке, лежащей на оси ординат, напряжение

3.3. $U_{кэ}$= 0, и следовательно из уравнения нагрузочной прямой ток $I_к$ будет равен: $I_к = E_к / R_к$

Отметьте полученное значение на оси ординат (рис. 18, б).

3.3.В точке, лежащей на оси абсцисс, ток $I_к = 0$, следовательно, из уравнения нагрузочной прямой напряжение $U_{кэ}$ будет равно: $U_{кэ} = E_к$. Отмечаем полученное значение на оси абсцисс (рис. 18, *б)*.

3.4.Соедините точки на оси ординат $E_к / R_к$ и на оси абсцисс $E_к$, получите нагрузочную прямую (рис. 18, *б)*.

8. На нагрузочной прямой отметьте рабочую точку, положение которой задается током покоя базы $I_{б0}$. Рабочая точка О лежит на нагрузочной прямой в месте пересечения ее со статической характеристикой, снятой, например, при

$I_{б4} = I_{б0}$ (рис. 18, *б)*.

9. Рассчитайте мощность, рассеиваемую на коллекторе в рабочем режиме по формуле:

$P_{к0} = U_{кэ0} \; I_{к0}$

Для этого в рабочей точке определите координаты режима покоя: из точки О опускаем перпендикуляры на оси координат:

$I_к = I_{к0}$,; $U_{кэ} = U_{кэ0}$

6.В режиме усиления во входную цепь включается

источник синусоидального сигнала
$u_{вх}(t) = U_{бэт} \cdot \sin wt$. Амплитуда
входного тока равна согласно исходным данным $I_{бт}$. .
о/и
При положительной амплитуде сигнала ток базы увеличивается до значения, например, $I_{б5} = I_{б0} + I_{бт}$ Вычислите это значение и отметьте точку *В* на нагрузочной прямой (рис. 18,6).
При отрицательной амплитуде сигнала ток базы уменьшается до значения, например, $I_{б5} = I_{б0} — I_{бт}$. Вычислите значение и отметьте точку А на нагрузочной прямой (рис. 18,6).

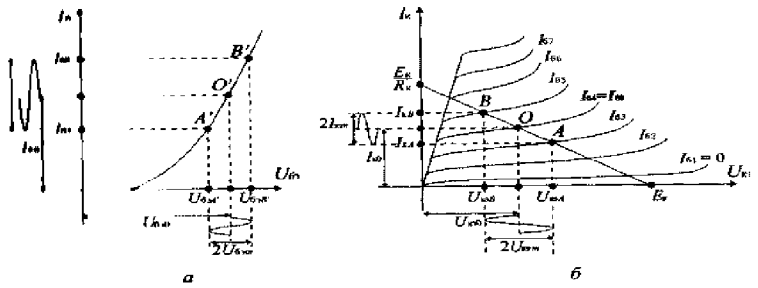


Рис. 18. Графическое представление работы транзистора в режиме А: а - НИ семействе входных характеристик, *б* - на семействе выходных характеристик

7, Постройте график изменения тока коллектора слева от (ММ ординат. Для этого из точек А и В проведите горизонталъ-ИМ1 прямые. Определите амплитуду изменения тока коллекто-

$$I_{кт} = \frac{I_{кВ} - I_{кА}}{2}.$$

8. Постройте график изменения напряжения коллектора ниже оси абсцисс. Для этого из точек *А и В* проведите горизонтальные прямые. Определите амплитуду изменения напряжения коллектора:

$$U_{кэт} = (U_{кэА} - U_{кэВ})/2$$

9. На семействе входных характеристик (рис. 18, *а)* постройте график изменения входного тока слева от оси ординат. Входной ток изменяется в тех же пределах, т.е. от значения $I_{б0} - I_{бт}$ (точка *А')* до $I_{б0} + I_{бт}$ (точка *В')* относительно тока покоя $I_{б0}$, (точка О'). Определите амплитуду переменного напряжения на базе:

$$U_{бэт} = \frac{U_{бэА'} - U_{бэВ'}}{2}.$$

10. Определите мощность входного $P_{вх}$ и

$$P_{вх} = 0{,}5\ I_{вхт}\ U_{вхт} = 0{,}5\ I_{бт}\ U_{бэт},$$

$$P_{вых} = 0{,}5\ I_{выхт}\ U_{выхт} = 0{,}5\ I_{кт}\ U_{кэт}.$$

11. Рассчитайте коэффициент усиления по

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}\,mэm}}{U_{\text{вх}\,mэm}} = \frac{U_{\text{к}}}{U_{\text{б}}}.$$

12. Определите коэффициент усиления по току:

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}\,m}}{I_{\text{вх}\,m}} = \frac{I_{\text{к}\,m}}{I_{\text{б}\,m}}.$$

13. Найдите коэффициент усиления по мощности

$$K_P = K_U \cdot K_I.$$

14. Рассчитайте входное сопротивление

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}\,mэm}}{I_{\text{вх}\,m}} = \frac{U_{\text{б}}}{I_{\text{б}\,m}}.$$

15. Определите выходное сопротивление выходного сигнала:

$$R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}\,mэm}}{I_{\text{вых}\,m}} = \frac{U_{\text{к}}}{I_{\text{к}\,m}}.$$

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Исходные данные.
3. Упрощенная схема усилителя на транзисторе с ОЭ.
4. Графическое представление работы транзистора в усилительном режиме.
5. Расчет основных параметров режима покоя и режима усиления.
6. Вывод о проделанной работе.

Практическое занятие № 3
«Расчет показателей структурных схем усилителей с различными видами обратных связей»

Цель работы: рассчитать различные параметры и сигналы структурных схем с обратной связью (ОС).

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания.

Краткие теоретические сведения

Передачу части энергии усиленных колебаний из выходной цепи усилителя во входную называют обратной связью (ОС).

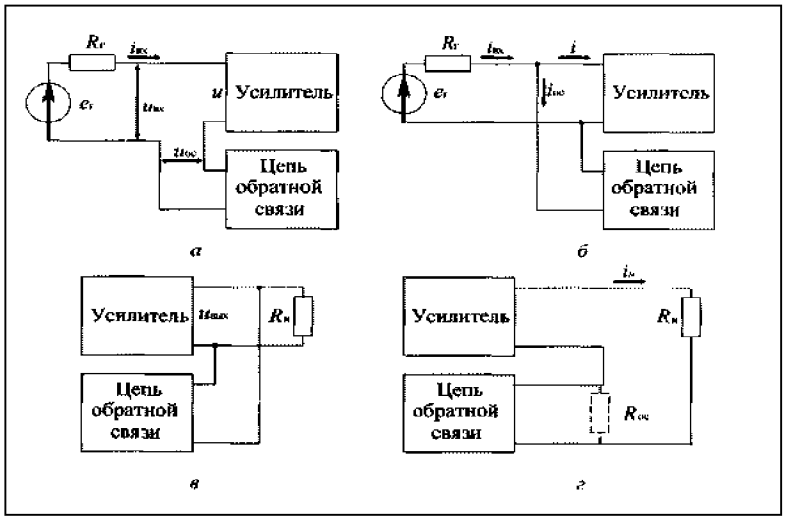
Если колебания от источника входного сигнала складываются с сигналом ОС таким образом, что амплитуда колебаний на входе (и соответственно на выходе) усилителя увеличивается, то такая ОС называется положительной.

Если колебания от источника входного сигнала и сигнал ОС поступают на вход усилителя в противофазе, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний на входе и выходе усилителя, то ОС будет отрицательной.

В зависимости от способа подачи сигнала ОС на вход усилителя различают последовательную и параллельную ОС. Если источник входного сигнала соединен последовательно с входом усилителя и выходом цепи ОС, то обратная связь — последовательная. В этом случае сигнал обратной связи $11_{ж}$ подается на вход усилителя последовательно с входным сигналом $П_m$ (рис. 19, *а)*. Параллельную ОС имеем тогда, когда цепь ОС включается параллельно источнику входного сигнала (рис. 19, *б)*.

По способу включения обратной связи на выходе усилителя различают ОС по напряжению и току. При ОС по напряжению выход усилителя, нагрузка и цепь ОС соединены параллельно друг другу (рис. 19, *в)*. Если выход усилителя, нагрузка и цепь обратной связи соединены последовательно (рис. 19, г), то будем иметь обратную связь по ток

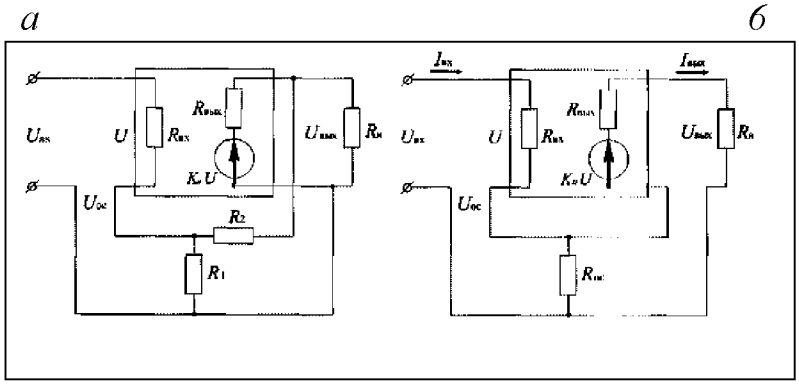
Рис. 19. Виды ОС: *а* — последовательная ОС; *б* — параллельная ОС; *в* — ОС по напряжению; *г* — ОС по току



Исходные данные

Для расчета параметров и сигналов усилителей с различными видами обратных связей, воспользуйтесь схемами, представленными на рис. 20.

Рис. 20. Схемы для расчета последовательной ОС: *а* - по напряжению , б по току



Порядок выполнения

1. Определите, во сколько раз уменьшается коэффициент усиления усилителя K_u = 200 при охвате его последовательной отрицательной обратной связью (ООС) по напряжению в виде четырехполюсника с коэффициентом передачи β = 0,05 (рис. 20, *а).*

1.1. Для решения воспользуйтесь формулой:

$$K_{U_{oc}} = \frac{\quad}{1 + \beta K_U}.$$

1.2. Определите отношение коэффициента усиления без ОС к коэффициенту усиления с ОС.

2. Определите напряжение на входе усилителя $U_{вх}$, необходимое для получения выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ = 25 В в схеме усилителя (рис. 20, *а).* Коэффициент усиления усилителя без обратной связи K_u = 200. Резисторы в цепи обратной связи R_1 = 0,5 кОм, R_2 = 10 кОм.

2.1. Определите коэффициент передачи цепи ОС.

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

2.2. Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению с учетом ОС:

г

$K_{Uoc} = K_U/(1+\beta K_U)$

2.3. Для определения напряжение на входе силителя воспользуйтесь формулой:

$K_U = U_{ВЫХ}/U$

3. Определите напряжение на выходе усилителя $U_{ВЫХ}$ и коэффициент усиления с последовательной обратной связью K_{Uoc} (рис. 20, *а),* если на вход усилителя одновременно с входным сигналом $U_{вх}$ = 0,2 В поступает напряжение обратной связи U_{oc} = 0,1 В, действующее в противофазе с входным. Коэффициент усиления усилителя без обратной связи K_u = 10.

3.1. Определите напряжение на входе усилителя без учета ОС:

$$U = U_{вх} - U_{oc}.$$

3.2. Определите напряжение на выходе усилителя:

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U}.$$

3.3. Рассчитайте коэффициент усиления с последовательной обратной

связью $K_{Uос}$:

$$K_{Uос} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

4. Определите, сигнал какой величины необходимо подать на вход усилителя $U_{вх}$, охваченного последовательной ООС (рис. 20, *а)* с β = 0,05, для того, чтобы получить на выходе усилителя сигнал $U_{вых}$ = 2 В, если коэффициент усиления усилителя без обратной связи K_U = 10.

4.1. Для решения воспользуйтесь формулами:

$$K_{Uос} = \frac{K_U}{1 + \beta K_U};$$

$$K_{Uос} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

5. Определите напряжение обратной связи $U_{ос}$, если при подключении последовательной ООС с коэффициентом передачи β = 0,2 (рис. 20, *а)* выходное напряжение усилителя стало равным $U_{вых}$ = 2 В.

5.1. Для решения воспользуйтесь формулой:

$$\beta = \frac{U_{ос}}{U_{вых}}.$$

6. Определить напряжение обратной связи $U_{ос}$, если при подключении цепи с отрицательной последовательной обратной связью коэффициент усиления усилителя *(K_U* = 10) уменьшился в два раза, а выходное напряжение стало

$$K_{Uос} = \frac{K_U}{1 + \beta K_U}.$$

равным $U_{вых}$=*3* В.

6.2. Рассчитайте напряжение обратной связи:

$$\beta = \frac{U_{ос}}{U_{вых}}.$$

7. Определите, чему равны $U_{вых}$, U, $U_{ос}$ и $K_{Uос}$, если на вход каскада усилителя, охваченного ООС (рис. 20, *а),* поступает сигнал $U_{вх}$ = 1 В, коэффициент усиления усилителя K_U= 60, а коэффициент передачи цепи ОС β = 0,07.

7.1. Определите коэффициент усиления по напряжению с учетом ОС:

$$K_{Uос} = \frac{K_U}{1 + \beta K_U}.$$

20, а).

6.1. Определите коэффициент передачи цепи ОС.

7.2. Рассчитайте напряжение на выходе усилителя, охваченного обратной связью:

$$K_{Uос} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

7.3. найдите напряжение на входе усилителя, без учета ОС

$$K_{Uoc} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

7.4. Определите напряжение обратной

$$U = U_{вх} - U_{ос}.$$

7.3. Найдите напряжение на входе усилителя, без учета ОС:

8. Определите входное $K_{вхос}$ и выходное $R_{выхос}$ сопротивления усилителя, если при подключении цепи последовательной ООС по напряжению (рис. 20, *а)* коэффициент усиления уменьшился в 10 раз. При отключенной цепи обратной связи сопротивления соответственно равны $R_{вх}$ = 10 кОм, $R_{вых}$ = 500 Ом.

8.1. Для решения необходимо воспользоваться формулами:

$$K_{Uoc} = \frac{K_U}{1 + \beta K_U}.$$

$$R_{вх\,ос} = R_{вх}(1 + K_U\beta);$$

$$R_{вых\,ос} = \frac{R_{вых}}{(1 + K_U\beta)}.$$

9. Определите выходное сопротивление усилителя $R_{вых\,ос}$ (рис. 20, *а),* если выходное сопротивление при подключении цепи обратной связи увеличилось в 12 раз. Выходное сопротивление усилителя без обратной связи $R_{вых}$ = 360 Ом.

Для выполнения задания необходимо воспользоваться формулами, указанными в пункте 8.

10. Определите, какое сопротивление R_{oc} необходимо включить в цепь обратной связи усилителя (рис. 20, *а),* работающего на нагрузку $R_н = 25$ кОм, для получения коэффициента усиления K_{Uoc} = 25, если при отключенной цепи обратной связи коэффициент усиления K_U= 125.

10.1. Для решения воспользуйтесь формулами:

$$K_{Uoc} \approx \frac{K_U}{1 + \beta' K_U};$$

$$\beta' = \frac{R_{oc}}{R_н}.$$

11. Определить входное $R_{вх\,ос}$ и выходное $R_{вых\,ос}$ сопротивления усилителя, если при отключенной цепи обратной связи эти сопротивления равны $R_{вх}$ = 5 кОм, $R_{вых}$ = 1 кОм. Сопротивление нагрузки $R_н$ = 1 кОм. При подключении цепи последовательной ООС по току (рис. 20, *б)* коэффициент усиления усилителя K_U= 100 уменьшился в 11 раз.

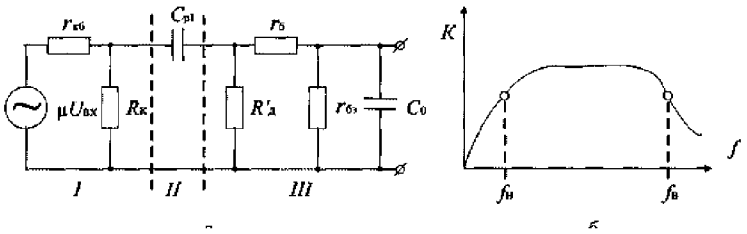
Для решения задачи необходимо воспользоваться формулами из пункта 10, а также ниже приведенными формулами:

$$R_{вх\,ос} = R_{вх}(1 + K_U\beta');$$

$$R_{вых\,ос} = R_{вых} + (1 + K_U)R_{ос}.$$

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Исходные данные (условие задач).
3. Схемы для расчета последовательной ОС по напряжению и по току.
4. Расчеты параметров.



5. Вывод о проделанной работе.

Рис. 21. Каскад предварительного усиления: *а* — эквивалентная схема резисторного каскада для переменного тока, *б* — его АЧХ

Лабораторное занятие № 6
«Исследование работы каскада предварительного усиления»

Цель работы: снять и проанализировать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) при различных параметрах элементов схемы.
Оборудование: персональный компьютер.
Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

Для переменного тока эквивалентная схема (рис. *21, а)* резисторного каскада включает эквивалентную схему входной цепи усилительного элемента исследуемого каскада 1, цепь межкаскадной связи 2 и эквивалентную схему входной цепи следующего каскада 3. Усилительный элемент на эквивалентной схеме заменен эквивалентным генератором с э. д. с. $\mu U_{вх}$ и внутренним сопротивлением *rкб.* Емкость C_0 на выходе эквивалентной схемы включает выходную емкость усилительного

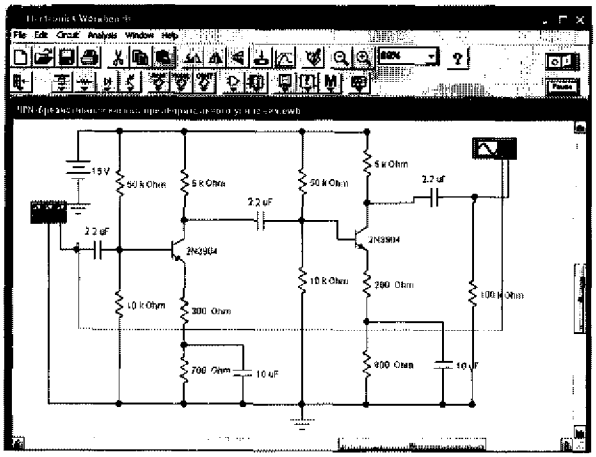


Рис. 22. Электрическая схема для исследования каскада предварительного усиления

элемента, емкость монтажа $C_м$ и входную емкость усилительного элемента следующего каскада $C_{вх}$, т. е. $C_0 = C_{вых} + C_м + C_{вх}$. Параллельно включенные для переменных токов резисторы R′*1* и R′*2* делителя смещения на эквивалентной схеме представлены одним резистором *Rд′=R′1 R′2/(R′1+R′2).* Резисторы $R_б'$и $R_{бэ}'$в схеме представляют собой эквивалентные сопротивления базы и эмиттерного перехода транзистора следующего

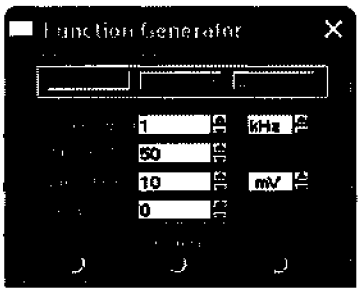


Рис. 23. Установка параметров входного сигнала на функциональном генераторе

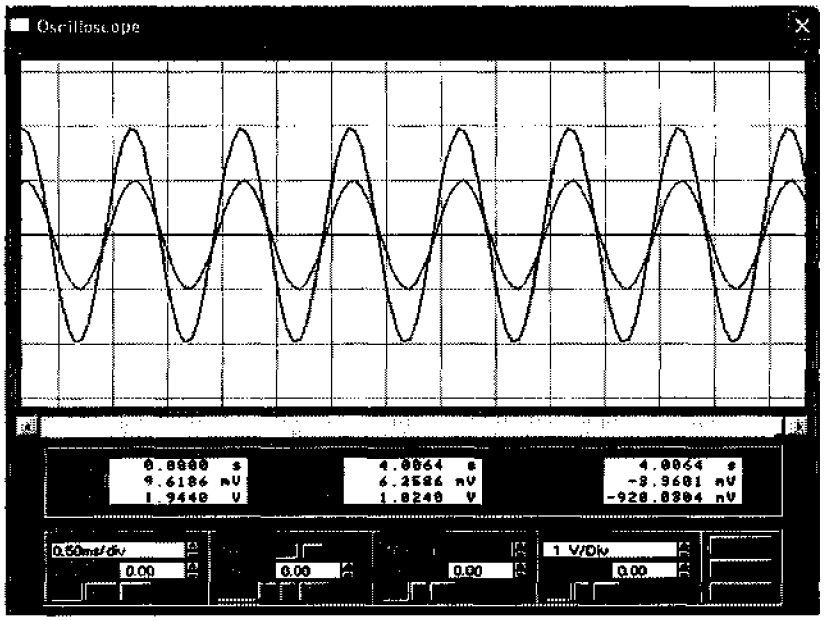


Рис. 24. Измерение амплитуды входного и выходного

каскада. Элементы автосмещения и температурной стабилизации из эквивалентной схемы исключены, так как их влиянием можно пренебречь практически на всех частотах.

Частотная характеристика резисторного каскада с емкостной связью (рис. 22, *б)* может быть разделена на три области: нижних, средних и верхних частот. В области нижних частот коэффициент усиления снижается (с уменьшением частоты) в основном из-за увеличения сопротивления конденсатора межкаскадной связи C_{p1} Обычно низкочастотный диапазон ограничивается частотой f_H, на которой коэффициент усиления снижается до 0,7 среднечастотного значения, т. е. $K_н = 0{,}7\ K_0$.

В области средних частот, составляющих основную часть рабочего диапазона усилителя, коэффициент усиления K_0 практически не зависит от частоты. В области верхних частот снижение усиления в основном обусловлено емкостью C_0. Эту емкость всегда стремятся свести к минимуму, чтобы ограничить через нее ток сигнала и обеспечить большее значение коэффициента усиления.

Порядок выполнения

1. Соберите схему для исследования каскада предварительного усиления (рис. 22).
2. Кнопкой включите схему.
3. Установите параметры входного сигнала на функциональном генераторе **(Function Generator)** как показано на рис. 23.
4. Измерьте амплитуды входного и выходного сигналов на осциллографе. Определите коэффициент усиления (рис. 24).
5. Снимите амплитудно-частотную характеристику, с этой целью.

5.1. На функциональном генераторе (рис. 23) установите значение частоты входного сигнала 100 Нг (100 Гц).

5.2. С помощью кнопок установки чувствительности V/div (В/дел) и длительности развертки для каждого канала установите значения удобные

для измерения амплитуды.

5.3. Измерьте амплитуду входного и выходного сигнала, результаты измерений занесите в таблицу 15.

Таблица15

Результаты измерений и вычислений

Частота, /кГц	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	100	300	500	700	900	1000
^ в	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
УЖ>ъ											
XV											

6. Аналогично измерьте выходной сигнал для других частот входного сигнала согласно таблице 15.

7. Определите коэффициент усиления для каждой частоты.

8. Постройте график амплитудно-частотной характеристики усилителя K_U = f(f).

9. Сделайте выводы, поясняющие ход АЧХ усилителя.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
1. АЧХ при различных параметрах элементов схемы, построенные в одной системе координат.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение усилителя.
2. Назовите назначение всех элементов принципиальной схемы усилителя.
3. Объяснить причины появления частотных искажений в усилителе.
4. Поясните, из каких соображений выбирают значения емкостей конденсаторов вспомогательных цепей.
5. Укажите, как по частотной характеристике определить нижнюю и верхнюю граничные частоты и полосу пропускания при заданных частотных искажениях.
6.Дайте определение динамическому диапазону усилителя и поясните, как он определяется.

Лабораторное занятие № 7
«Исследование работы двухтактного выходного каскада»

Цель работы: снять и проанализировать зависимость выходного напряжения и выходной мощности от сопротивления нагрузки, амплитудные характеристики, амплитудно-частотные характеристики усилителя в режиме класса АВ и В.

Оборудование и приборы: лабораторный стенд (макет) для исследования двухтактного выходного каскада, источники питания, вольтметры переменного напряжения, генератор синусоидального сигнала, соединительные провода, осциллограф.

Краткие теоретические сведения

Схема двухтактного усилителя мощности с трансформаторной связью (рис. 25) выполнена на двух транзисторах *VT1*и *VT2*.

Нагрузка подключается к каскаду с помощью выходного трансформатора.

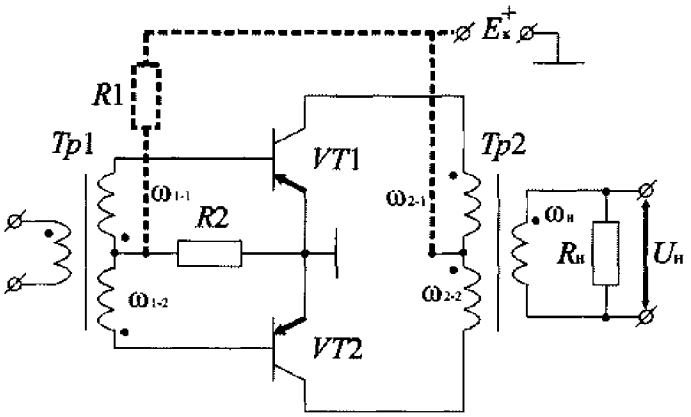


Рис. 25. Схема двухтактного усилителя мощности с трансформаторной связью

Двухтактный каскад может работать в режиме

класса *В* или *АВ*. Режим класса *АВ* осуществляется подачей с помощью резисторов R_1 ,R_2 напряжения смещения на базы обоих транзисторов от источника питания $E_к$. В режиме класса В начальное смещение не создается и резистор R_1, отсутствует. Резистор R_2 при этом используется для обеспечения работы входных цепей транзисторов в режиме, близком к режиму источника тока.

Порядок выполнения

1. Нарисуйте схему для исследования двухтактного выходного каскада (рис. 26).

Каскад на транзисторах VT1 и VT2 является двухтактным усилителем мощности. Переключение режимов работы усилителя мощности происходит путем установки перемычки в гнезда 1, 2 — для режима *АВ* (резисторы R1 и *R2* образуют делитель напряжения источника питания $E_к$) и размыкании гнезд 1,2 — для режима В (при этом гнездо 3 необходимо соединить с гнездом 2).

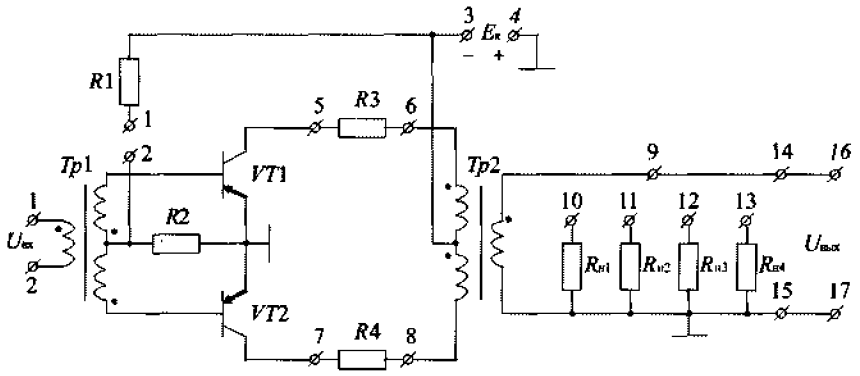


Рис. 26. Электрическая схема для исследования двухтактного выходного каскада

В коллекторных цепях транзисторов VT1 и VT2 включены небольшие измерительные резисторы R3 и R4, с помощью которых через гнезда 5, *6* и 7, *8* можно исследовать форму импульсов коллекторных токов при различных режимах работы усилителя мощности.

Во вторичную обмотку выходного трансформатора *Тр2* с помощью перемычки, включенной между гнездом 9 и одним из гнезд 10—13, можно включить в качестве нагрузки один из резисторов $R_{н1}$ - $R_{н4}$.

2. Подключите к гнездам 12 генератор синусоидального сигнала.
3. Подключите к гнездам 14-15 вольтметр переменного напряжения.
4. Подключите к гнездам 16-17 осциллограф.
5. Снимите зависимость выходного напряжения {$U_{вых}$ и выходной мощности $P_{вых}$ от сопротивления нагрузки. Для снятия этой зависимости необходимо изменять с помощью перемычек сопротивление, включенное во вторичную обмотку трансформатора *Тр2,* каждый раз устанавливая $U_{вх}$ таким, чтобы получить $U_{вых}$ максимальным, при котором только начинают по являться искажения в форме сигнала на экране осциллографа (т. е. при всех значениях $R_н$ искажения должны быть одинаковыми). В процессе переключения перемычек источник питания стенда должен быть выключен.

5.1. В режиме класса АВ (гнезда 1, 2 замкнуты).

5.2. В режиме класса В (гнезда 1, 2 разомкнуты).

6.Результаты измерений занесите в таблицу

Таблица 16 **Результаты измерений и вычислений**

Рассчитайте $P_{вых}$ по формуле

$$P_{вых} = \frac{U^2_{вых}}{R_н}.$$

$$P_{вых} = \frac{U^2_{вых}}{R_н}.$$

Класс усиления	Сопротивление $R_н$, Ом	$U_{вых.}$, В	$P_{вых}$. В т
1	2	3	4
АВ (гн. 1, 2 закоротить)	$R_{н1}$ = - - (гн. 9, 10 закоротить)		
	$R_{н2}$ = - (гн. 9, 11 закоротить)		
	$R_{н3}$ = - (гн. 9, 12 закоротить)		
	$R_{н4}$ = - (гн. 9, 13 закоротить)		
В (гн. 1, 2 разомкнуть)	$R_{н1}$ =- (гн. 9, 10 закоротить)		
	$R_{н2}$ (гн. 9, 11 закоротить)		
	$R_{н3}$ = - (гн. 9, 12 закоротить)		

8. По данным таблицы 16 постройте графики зависимостей $U_{вых} = f(R_н)$ в одной системе координат для разных классов усиления и графики зависимостей $P_{вых} = f(R_н)$ в одной системе координат для разных классов усиления.

9. Снимите амплитудную характеристику $U_{вых} = f(U_{вх})$ в ре жимах АВ и В, для этого :

9.1. Закоротите гнезда 1,2, установив режим *АВ*.
С помощью перемычки подключить к гнезду *9*

*9.1.*то сопротивление нагрузки, которое по данным таблице 16 соответствует максимальному $U_{вых}$ для режима *АВ*.

*9.2.*Подайте на вход усилителя (гнезда 1, 2) сигнал с генератора частотой f= 1000 Гц и меняйте напряжение $U_{вх}$ от нуля до значения, при котором появятся значительные искажения в форме осциллограммы на экране осциллографа, из меряя при указанных значениях $U_{вх}$ величину $U_{вых}$. Данные измерений амплитудной характеристики в режиме *АВ* занести в 1-ю строку таблицы 17.

Таблица 17 **Снятие амплитудной характеристики**

Класс усиления	$U_{вых}$ при различных значениях							
АВ (гн. 1, 2 закоротить)								
В (гн. 1, 2 разомкнуть)								

10. По данным таблицы 17 постройте графики зависимостей $U_{вых} = f(U_{вх})$ в одной системе координат для разных классов усиления.

10. Снимите амплитудно-частотные характеристики (АЧХ):

$$K_0 = \frac{K(f)}{K_{max}(f)}$$

в режимах *АВ* и *В*. Установка режима осуществляется так же, как в п. 9 (положение перемычек указано в таблице 17), для снятия АЧХ выполните следующие действия.

11.1. Подключите осциллограф поочередно в гнезда 5, 6 и7, 8 и просмотрите форму напряжений на измерительных резисторах R_3 и R_4. Если имеются искажения их синусоидальной формы, то уменьшить входное напряжение от генератора до такой величины, чтобы искажения исчезли. Запишите $U'_{вх}$,
которое и будет максимальным входным напряжением усилителя мощности и которое в дальнейшем при снятии амплитудно-частотных характеристик необходимо поддерживать неизменным.

11.2. Далее изменять частоту сигнала генератора от 40 до 20000 Гц и измерять выходное напряжение $U_{вых}$. Перед снятием показаний вольтметра убедитесь в характере хода кривой (в заданном диапазоне частот от 40 до 20000 Гц) и наметьте точки отсчета. Там, где выходное напряжение изменяется мало, снять два отсчета, а в области спадов частотной характеристики снять четыре-пять точек.

11. Результаты измерений занести в таблицу 18.

Таблица 18

Снятие амплитудно-частотной характеристики

Класс усиления	Параметр	Величина параметра при различных значениях/ кГц			
		0,04			20
1	2	3	4	5	6
АВ(гн. *1, 2* закоротить)	$U_{вх}$, В				
	$K = U_{вых} / U_{вх}$				
	$K_0 = K(f) / K_{max}$				
В (гн. *1, 2* разомкнуть)	$U_{вых.}$ **В**				
	$K = U_{вых} / U_{вх}$				
	$K_0 = K(f) / K_{max}(f)$				

13. По данным таблицы 18 построить графики нормированных АЧХ:

$$K_0 = \frac{K(f)}{K_{max}(f)}$$

в одной системе координат для разных классов усиления. 1.14. Выводы, которые должны содержать:

— анализ зависимостей $U_{вых} = f(R_н)$ (/у для разных классов усиления;

— объяснение зависимостей $U_{вых}=f(U_{вх})$ для разных классов усиления;

— объяснение хода АЧХ усилителя;

— объяснение различий АЧХ, снятых при разных значениях параметров элементов схемы.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы.
3. Электрическая схема для исследования двухтактного выходного каскада.
4. Таблицы с результатами измерений.
5. Графики зависимостей $U_{вых}=f(R_н)$ *в* одной системе ко ординат для разных классов усиления.
6. Графики зависимостей $P_{вых} = f(R_н)$ (/у в одной системе ко ординат для разных классов усиления.
7. Графики зависимостей $U_{вых}=f(U_{вх})$ в одной системе координат для разных классов усиления.
8. Графики нормированных АЧХ $K_0 = K(f) / K_{max}(f)$ в одной системе координат для разных классов усиления. 9. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные требования, предъявляемые к выходному каскаду.
2. Поясните, какие режимы работы транзисторов используются в оконечном каскаде.
3. Укажите назначение выходного трансформатора в оконечном каскаде.
4. Назовите основные свойства двухтактного трансформа торного каскада.

Покажите прохождение токов в двухтактном трансформаторном каскаде

Лабораторное занятие № 8
«Исследование работы фазоинверсного каскада»

Цель работы: оценить влияние сопротивлений нагрузок на величины выходных напряжений.

Оборудование: персональный компьютер. ***Программное обеспечение:*** Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

Фазоинверсными называют каскады с несимметричным входом и симметричным относительно общего провода выходом. Для выполнения этого требования инверсные каскады имеют два выхода, с которых снимают равные по амплитуде, но сдвинутые по фазе на 180° напряжения. Инверсные каскады используются для перехода от несимметричных однотакт-ных каскадов к двухтактным, а также для передачи сигнала от однотактных каскадов к симметричной нагрузке.

Порядок выполнения

1. Определите коэффициент усиления дифференциального сигнала $K_{идиф}$. из

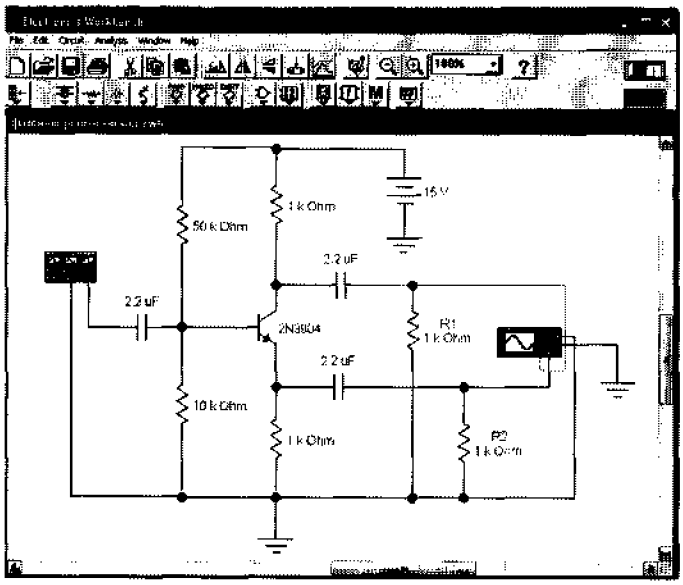


Рис. 27. Схема для исследования фазоинверсного каскада

выражения:

фазоинверсного каскада (рис. 27).

2. Установите параметры входного сигнала на функциональном генераторе **(Function Generator)** как показано на рис. 28.

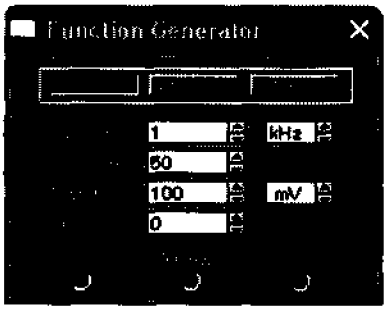


Рис. 28. Установка параметры входного сигнала на функциональном генераторе

3. Кнопкой включите схему.

4. В результате на осциллографе будет картина, показанная на рис. 29.

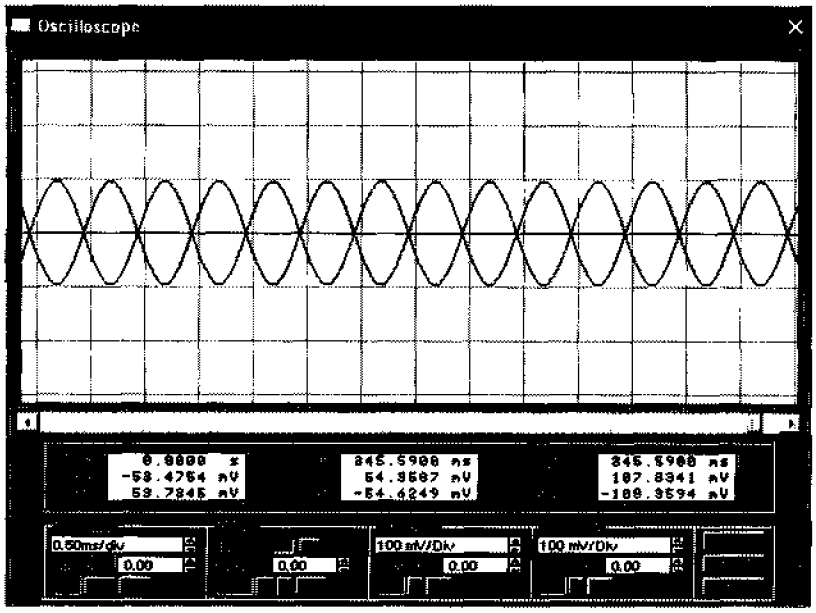


Рис. 29. Измерение амплитуды и выходных сигналов на нагрузках

5. Изменяя сопротивление нагрузок *R1* и *R2*, запишите амплитудные значения выходных сигналов на нагрузках соответсвенно $U_{вых1}$ $U_{вых2}$ таблицу 19.

Таблица 19

Результаты измерений

Значение *R1*, кОм	1	0,5	2	1	1	1	1	0,5	0,2	2	1	5
Значение *R2*, кОм	1	0,5	2	0,5	0,2	2	3	1	1	1	1	1
$U_{вых1}$ *мВ*												
$U_{вых2}$ *мВ*												

9. Сделайте выводы о влиянии величин сопротивлений *R1*, *R2* на амплитуды выходных сигналов.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Поясните назначение фазоинверсных каскадов.
2. Перечислите виды фазоинверсных каскадов.
3. Укажите недостатки фазоинверсных каскадов с разделенной нагрузкой.
4. Объясните, от чего зависит входное сопротивление фазоинверсного каскада с разделенной нагрузкой
5. Поясните, от чего зависят коэффициенты усилений выходов фазоинверсного каскада с разделенной нагрузкой.

Лабораторное занятие № 9
«Исследование работы дифференциального каскада»

Цель работы: снять и проанализировать амплитудные характеристики по различным входам.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

Дифференциальный усилителем (ДУ) называется устройство, усиливающее разность двух напряжений. В идеале выходное напряжение такого усилителя пропорционально только разности напряжений, приложенных к двум его входам, и не зависит от их абсолютной величины. ДУ имеет две входные и две выходные шины. Он предназначен для усиления переменного и постоянного сигнала на фоне большого уровня помех.

Порядок выполнения

1. Соберите схему для исследования фазоинверсного каскада (рис. 30).

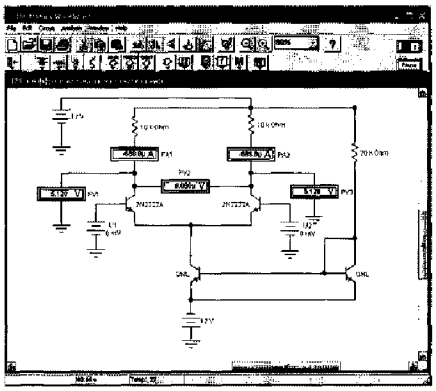


РИС. 30. Схема для исследования дифференциального каскада

$U_{вых} = K_{идиф}(U_{вх1} - U_{вх2}) + K_{исф}(U_{вх1} - U_{вх2})/2$

1.1. Для этого на входы усилителя $П_{вх1}$ (на схеме обозначен Ш) и {/^(на схеме обозначен *Ш)* подайте одинаковые по величине, но разные по полярности напряжения, указанные в таблице 20.

1.2. Измерьте величины, указанные в таблице 20.

1.3. Рассчитайте коэффициент усиления дифференциального сигнала $K_{Uдиф}$ по формуле:

$$K_{Uдиф} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.диф}} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.1} - U_{вх.2}}.$$

1.4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 20.

Таблица 20

Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	Измерено					Вычислено
	$U_{вх1} = -U_{вх2}$		$U_{вых}$ (PV2),В	$I_{к1}$, (PA1), мА	$I_{к2}$, (PA2), мА	$K_{Uдиф}$
	$U_{вх1}$,(U1) мВ	$U_{вх2}$,(U2) мВ				
1	2	3	4	5	6	7
1	1	-1				

2	-1	1				
3	2	-2				

2. Определите коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{исф}$ из выражения $U_{вых}= K_{идиф}\,(U_{вх1}-U_{вх2}) + K_{исф}\,U_{вх1}-U_{вх2})/2$.

2.1. Для этого на входы усилителя подайте одинаковые по величине и полярности напряжения, указанные в таблице 21.

2.2. Измерьте величины, указанные в таблице 21.

$$K_{Uсф} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.сф}} = \frac{U_{вых}}{(U_{вх.1} + U_{вх.2})\,/\,2}.$$

2.4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 21.

2.3. Рассчитайте коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{исф}$ по формуле:

Таблица 21

Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	Измерено					Вычислено
	$U_{вх1}=U_{вх2}$		$U_{вых}$ *(PV2),В*	$I_{к1}$, (PA1), мА	$I_{к2}$, (PA2), мА	$K_{идиф}$
	$U_{вх1}$,(U1),мВ	$U_{вх2}$,(U2) мВ				
1	2	3	4	5	6	*1*
1	1	1				
2	-1	-1				
3	2	2				

3. Снимите амплитудную характеристику по первому входу:

$$U_{вых1} = f\,(U_{вх1}).$$

3.1. Для этого установите на источнике напряжения *U2* = 0.

Таблица 22

Результаты измерений

Номер опыта	$U_{вх1}$,(U1) мВ	$U_{вх2}$,(U2) мВ	$I_{к1}$ (PA1), мА	$I_{к2}$, (PA2), мА	$U_{вых}$ *(PV2),В*
1	2	3	4	5	6
1	-10	0			
2	-20	0			
3	-30	0			
4	-40	0			
5	-50	0			
6	-60	0			
7	-70	0			
8	-80	0			
9	-90	0			
10	100	0			
11	0	0			
12	10	0			
13	20	0			
14	30	0			
15	40	0			
16	50	0			
17	60	0			
18	70	0			
19	80	0			

20	90	0			
21	100	0			

3.2. Изменяя напряжение $U_{вх1}$, как указано в таблице 22, запишите показания приборов в данную таблицу.

5. Снимите аналогично амплитудную характеристику по второму входу $U_{вых2} = f(U_{вх2})$. Результаты измерений занесите в таблицу 23.

Таблица 23

Результаты измерений

Номер опыта	$U_{вх1}$,(U1) мВ	$U_{вх2}$,(U2) мВ	$I_{к1}$, (PA1), мА	$I_{к2}$, (PA2), мА	$U_{вых}$ (PV2),В
1	2	3	4	5	6
1	0	-10			
2	0	-20			
3	0	-30			
4	0	-40			
5	0	-50			
6	0	-60			
7	0	-70			
8	0	-80			
9	0	-90			
10	0	100			
11	0	0			
12	0	10			
13	0	20			
14	0	30			
15	0	40			
16	0	50			
17	0	60			
18	0	70			
19	0	80			
20	0	90			
21	0	100			

. По данным таблиц 22 и 23 постройте график зависимостей $U_{вых1} = f(U_{вх1})$ и $U_{вых2} = f(U_{вх2})$ в разных системах координат.

6. Проанализируйте и поясните графики зависимостей $U_{вых1} = f(U_{вх1})$ и $U_{вых2} = f(U_{вх2})$.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы.
3. Таблицы с результатами измерений и вычислений
4. Графики зависимостей $U_{вых1} = f(U_{вх1})$ и $U_{вых2} = f(U_{вх2})$.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение дифференциальному усилителю (ДУ).
2. Поясните, почему необходима высокая симметрия моста в дифференциальном каскаде.
3. Дайте определение синфазному напряжению.
4. Укажите требования, предъявляемые к коэффициенту синфазного и дифференциального сигналов.

Лабораторное занятие № 10
«Исследование схем устройств на операционном усилителе»

Цель: проанализировать влияние резисторов в цепи обратной связи на коэффициенты усиления и выходные сигналы инвертирующего и неинвертирующего устройств на операционном усилителе.

Оборудование: персональный компьютер. ***Программное обеспечение*** Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

Операционным усилителем (ОУ) называется усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и однотактным выходом, с высоким коэффициентом усиления, а также большим входным и малым выходным сопротивлениями. Он почти всегда используется с внешней глубокой отрицательной обратной связью, определяющей его результирующие характеристики.

Операционные усилители выпускаются в виде полупроводниковых интегральных микросхем и применяются не только для выполнения математических операций, благодаря чему они получили свое название. Все чаще они используются в радиоэлектронных устройствах различного назначения. Этому способствует их низкая стоимость, близкая к стоимости отдельных транзисторов.

Порядок выполнения

1. Запишите паспортные данные ОУ (табл. 24).

Таблица 24

Паспортные данные операционного усилителя 1М143

Эксплуатационные параметры		Тип исследуемого прибора
Обозначения в программе	Перевод на русский язык	Операционный усилитель LM143
1	3	3
Open-loop gain	Коэффициент усиления напряжения K_u	200000
Input resistance (RI)	Входное сопротивление, Ом	$2\text{-}10^6$ Ом
Output resistance (RO)	Выходное сопротивление, Ом	75 Ом

Окончание таблицы 24

1	3	3
Positive voltage swing (VSW+)	Максимальное выходное напряжение положительной полярности, $+u_{акаа}$, В	21В
Negative voltage swing (VSW--)	Максимальное выходное напряжение отрицательной полярности, $-U_{вых\,max}$, В	-21В
Input offset voltage (VOS)	Напряжение смещения нуля, $U_{см}$	0,001 В
Input bias current (IBS)	Входные токи, $I_{вх}$, А	$8\text{-}10^{-8}$ А
Input offset current (IOS)	Разность входных токов, $\Delta I_{вх}$	$2\text{-}10^{-8}$ А

3. Исследуйте инвертирующий усилитель на базе **ОУ,** для этого снимите

амплитудные характеристики $U_{вых}=f(U_{вх})$ при различных значениях $R_{ос}$ и R

2.1. Соберите схему для исследования инвертирующего усилителя на базе **ОУ** (рис. 31).

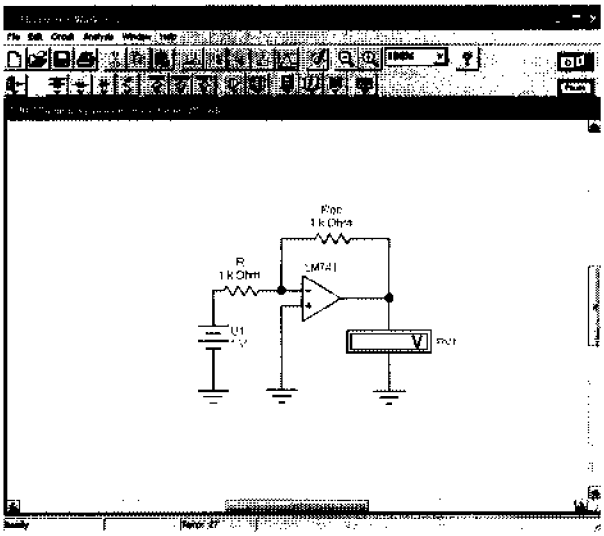


Рис. 31. Схема для исследования инвертирующего усилителя на базе ОУ

2.2. Установите значения сопротивлений $R_{ос}$ и R согласно таблице 25, измерьте указанные в ней величины и занесите их в графу «Измерено».

Таблица 25

Результаты измерений и вычислений

$U_{вх}$,В (U1)	R = 1 кОм, $R_{ос}$ = 2 кОм			R= 1 кОм, $R_{ос}$ = 1 кОм			R = 1 кОм, $R_{ос}$ = 0,5 кОм		
	измерено	вычислено		измерено	вычислено		измерено	вычислено	
	$U_{вых}$,В (PV1)	$K_{инв}$	$U_{вых}$,В	$U_{вых}$,В (PV1)	$K_{инв}$	$U_{вых}$,В	$U_{вых}$,В (PV1)	$K_{инв}$	$U_{вых}$,В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0									
0,5									
1,0									
1,5									
2,0									
2,5									
3,0									
3,5									
4,0									
4,5									
5,0									

3.1. Соберите схему для исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ (рис. 32)

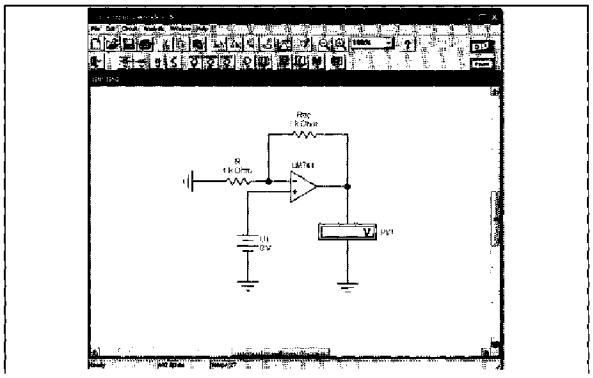


Рис. 32. Схема для исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ

2.3. Вычислите коэффициент усиления по формуле:

$$K_{инв} = \frac{R_{ос}}{R}.$$

Результат запишите в графу «Вычислено».

2.4. Вычислите значения $U_{вых}$ формуле $U_{вых} = U_{вх} K_{инв}$. Для каждого значения $U_{вх}$. Результат запишите в таблицу 25.

2.5. Изменяя значения напряжения источника сигналов $U_{вх}$ (рис. 31 обозначен как Ш), запишите значения выходных сигналов $U_{вых}$ (показания вольтметра PV1) в таблицу 25.

2.6. Повторите измерения при других значениях $R_{ос}$ и R, результаты запишите в соответствующие графы таблицы 25.

2.6. По результатам измерений постройте амплитудные характеристики $U_{вых}$=f ($U_{вх}$) при различных значениях $R_{ос}$ и R в одной системе координат.

3. Исследуйте неинвертирующий усилитель на базе ОУ, для этого снимите амплитудную характеристику $U_{вых}$=f ($U_{вх}$)при различных значениях $R_{ос}$ и R.

Соберите схему для исследования неинвертирующего усилителя на базу ОУ (рис.32)

Результаты измерений и вычислений

$U_{вх}$,В (U1)	R = 1 кОм, $R_{ос}$ = 1			R= 1 кОм, $R_{ос}$ = 1			R = 1 кОм, $R_{ос}$ =		
	измерено	вычислен		измерено	вычислен		измерен	вычислен	
	$U_{вых}$,В (PV1)	$K_{инв}$	$U_{вых}$,В	$U_{вых}$,В (PV1)	$K_{инв}$	$U_{вых}$,В	$U_{вых}$,В (PV1)	$K_{инв}$	$U_{вых}$,В
0.0									
0.5									
1.0									
1.5									
2.0									
2.5									
3.0									
3.5									
4.0									
4.5									
5.0									

3.2. Установите значения сопротивлений R_{oc} и R согласно таблице 26, измерьте указанные в ней величины и занесите их в графу «Измерено».

3.3. Вычислите коэффициент усиления по формуле:

$$K_{неинв} = 1 + \frac{R_{oc}}{R}.$$

Результат запишите в графу «Вычислено» таблицы 26.

3.4. Вычислите значения $U_{вых}$ по формуле $U_{вых} = U_{вх} K_{неинв}$ для каждого значения $U_{вх}$. Результат запишите в графу «Вычислено» таблицы 26.

3.5. Изменяя значения напряжения источника сигналов $U_{вх}$(на рис. 33 обозначен как U1), измерьте и запишите значения выходных сигналов $U_{вых}$ (показания вольтметра PV1) в таблицу 26.

3.6. По результатам измерений постройте амплитудные характеристики $U_{вых}=f(U_{вх})^{П}Р^{И}$ различных значениях R_{oc} и R в одной системе координат.

4. Проанализируйте и поясните ход графиков зависимостей $U_{вых}=f(U_{вх})$ для различных усилителей.

5. Сделай те вывод о расхождении измеренных и вычисленных значений $U_{вых}$.

Содержание отчета

1.Номер, тема и цель занятия. 2.Оборудование и приборы

3.Таблицы с результатами измерений. . 4.Графики зависимостей $U_{вых}=f(U_{вх})$

5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение операционному усилителю (ОУ).
2. Перечислите каскады, входящие в ОУ.
3. Перечислите свойства идеального ОУ.
4. Дайте определение напряжению смещения ОУ.
5. Укажите причину появления входных токов смещения.

Практическое занятие № 4

«Расчет элементов и параметров схем функциональных узлов на операционном усилителе»

Цель работы: рассчитать элементы и параметры схем функциональных узлов на операционном усилителе на примере схемы суммирования при подаче сигналов на оба входа **ОУ.**

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания.

Исходные данные

Исходные данные для решения задает преподаватель в соответствии с рисунком 33 и таблицей 27.

Таблица 27

Исходные данные

Номер вар.	R_1 кОм	R_2 кОм	R_3 кОм	R_4 кОм	$R_{ос}$ кОм	U_1,в	U_1,в	U_1,в	U_1,в
1	2	3	4	5	6	*1*	8	9	10
	0,5	3	1	2	5	3	-1	4	-2

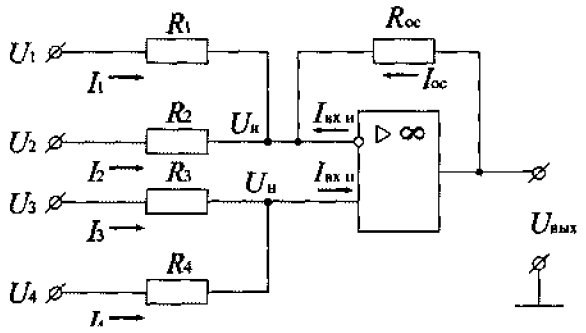


Рис. 33. Схема суммирования при подаче сигналов на оба входа ОУ

Краткие теоретические сведения

В практических схемах операционный усилитель охватывается цепью **ОС,** включаемой между выходом и входом. Сопротивление цепи ОС может быть активным или комплексным.

76

При расчете схем на основе ОУ, охваченных цепью ОС, считается, что удовлетворяются два основных требования, предъявляемые к интегральным ОУ: бесконечно большие коэффициент усиления и входное сопротивление. Ввиду бесконечно большого коэффициента усиления ОУ значение дифференциального напряжения на его входах можно считать равным нулю, т. е. потенциалы инвертирующего и неинвертирующего входов такого ОУ оказываются одинаковыми. Бесконечно большое, входное сопротивление ОУ позволяет пренебречь его входными токами.

Порядок выполнения

1. На инвертирующий вход поданы сигналы U_1 ,U_2через резисторы $\mathbf{R_1}$, и $\mathbf{R_2}$ соответственно. Определить $U_{вых}$ при заданном значении $R_{ос}$. (рис. 33).

Решение рассмотрим на конкретном примере (табл. 27).

1.1. Определите напряжения на входах ОУ $U_и = U_н$

Решение удобно начинать с рассмотрения нижней части схемы, т.е. сигналов,

поданных на неинвертирующий вход.
Напряжение на неинвертирующем входе равно:
$U_н=U_3—U_{R3}$

где U_3 - напряжение на третьем входе схемы, В; U_{R3} — напряжение на резисторе $\mathbf{R_3}$,В

$$U_{R3} = I_3R_3,$$

где I_3 - ток, протекающий через резистор $\mathbf{R_3}$.А.

С другой стороны, напряжение на неинвертирующем входе:

$$U_н = U_4 - U_{R4}$$

где U_4 - напряжение на четвертом входе схемы, В; U_{R4} - напряжение на резисторе R_4 В;

$$U_{R4}=I_4R_4,$$

где I_4 - ток, протекающий через резистор $\mathbf{R_4}$ А.

Считая операционный усилитель идеальным, можно записать:

$$I_3 + I_4 = I_{вх\,н} = 0,$$

где $I_{вх\,н}$ - ток на неинвертирующем входе ОУ, А. резисторе Л,, В

Составим систему уравнений:

$$\left.\begin{array}{l} U_н = U_3 - I_3R_3 \\ U_н = U_4 - I_4R_4 \\ I_3 + I_4 = 0 \end{array}\right\}$$

Подставим в систему исходные данные:

$$\left.\begin{array}{l} U_н = 4 - 1\cdot 10^3 I_3 \\ U_н = -2 - 2\cdot 10^3 I_4 \\ I_3 + I_4 = 0 \end{array}\right\}$$

1.3. Решаем систему относительно I_3: I_3 = — I_4. Подставив вместо I_3 коэффициент I_4, получим:

$$\left.\begin{array}{l} U_н = 4 + 1\cdot 10^3 I_4 \\ U_н = -2 - 2\cdot 10^3 I_4 \\ I_3 + I_4 = 0 \end{array}\right\}$$

Приравняем первые два уравнения системы для U_H и найдем значение тока I_4:

$$4 + 1\cdot 10^{-3} I_4 = -2 - 2\cdot 10^3 I_4,$$

$$I_4 = -\frac{6}{3\cdot 10^3} = -2\cdot 10^3 \text{ А}.$$

1.4. Находим U_H:

$$U_н = 4 + 1 \quad 10^{-3}(-2\cdot 10^3) = 2 \text{ (В)}.$$

Следовательно, $U_И$=2 В.

Напряжения на инвертирующем входе можно найти по формулам:

$$U_и = U_1 - I_1 R_1,$$
$$U_и = U_2 - I_2 R_2,$$
$$U_и = U_{вых} - I_{ос} R_{ос},$$

где U_1 U_2 — напряжения на первом и втором входах соответственно.

Отсюда:

$$I_1 = \frac{U_и - U_1}{R_1},$$
$$I_1 = \frac{2-3}{0,5 \cdot 10^3} = -2 \cdot 10^{-3} \text{А},$$
$$I_2 = \frac{U_и - U_2}{R_2},$$
$$I_2 = \frac{2-(-1)}{3 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{А}.$$

Для идеального операционного усилителя

I_1 I_2 — токи на через резисторы R_1 R_2 соответственно, А;

$I_{ос}$ — ток через резистор R_{OC} А

$$I_1 + I_2 + I_{ос} = I_{вх\,и} = 0,$$

Где $I_{ВХ\,И}$ — ток на инвертирующем входе ОУ, А.

$$I_{ос} = -I_1 - I_2,$$
$$I_{ос} = (2-1) \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}.$$
$$U_{вых} = U_и + I_{ос} R_{ос},$$
$$U_{вых} = 2 - 1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3 = -3 \text{ (В)}.$$

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Схема суммирования при подаче сигналов на оба входа **ОУ.**
3. Результаты расчетов.

Выводы о проделанной работе

Лабораторное занятие № 11
«Исследование схем генераторов LC на транзисторах»

Цель работы: проанализировать влияние значения емкости и напряжения источника питания на частоту генерируемых колебаний. ***Оборудование:*** персональный компьютер.
Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Электронными генераторами гармонических колебаний называют автоколебательные системы, в которых энергия источников питания постоянного тока преобразуется в энергию незатухающих электрических сигналов переменного тока требуемой частоты. Электрические сигналы, формируемые генератором, должны быть стабильными по частоте и амплитуде, синусоидальными по форме. По принципу действия различают генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и генераторы с внешним (посторонним) возбуждением..

Автогенератор представляет собой резонансный усилитель (нагрузкой служит резонансный контур) с положительной обратной связью, в котором выполнено условие самовозбуждения. Если это условие выполняется только для одной частоты, то генерируемые колебания имеют синусоидальную форму, если для многих частот, то колебания имеют сложную форму. Обычно это условие реализуется в генераторах релаксационных (несинусоидальных) колебаний — мультивибраторах, блокинг-генераторах и др.

Порядок выполнения

1.Соберите схему для исследования генератора *LC*(рис. 34).

*2.*Кнопкой включите схему.

Примечание: при включении схемы кнопкой необходимо 2-5 секунд подождать до полной установившейся картины колебаний.

3.В результате на осциллографе будет картина, показанная на рисунке 35.

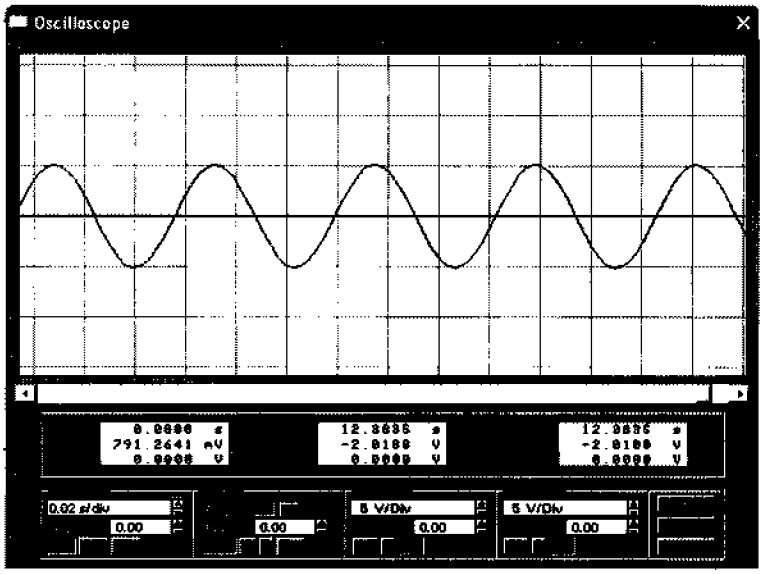


Рис. 35. Измерение амплитуды выходного сигнала генератора *LC*

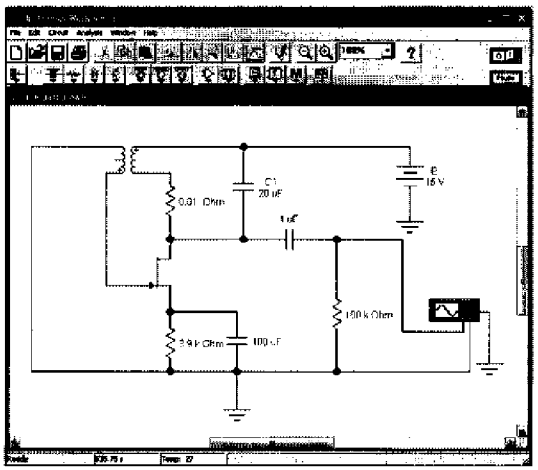


Рис. 35. Измерение амплитуды выходного сигнала генератора *LC*

4. Для значения емкости С1 = 20 мкФ измерьте пери
од колебаний.
5. Вычислите частоту колебаний по формуле f = 1/T.

6. Результат измерений и вычислений запишите в таблицу 1 для значения емкости С1 = 20 мкФ.
7. Аналогично измерьте период и вычислите частоту при других значениях С1. Результат запишите в таблицу 28.

Таблица 28 **Результаты измерений и вычислений**

Значение С1,	3	5	8	12	15	17	20	22	25
Период, с									
Частота, Гц									

8. Изменяя напряжения источника питания *E*, измерьте амплитуду выходного напряжения U_m для конкретного его значения. Результаты измерений занесите в таблицу 29

Таблица 29 **Результаты измерений**

Значение С1, мкФ	10										
Напряжение *E*, В	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Амплитуда U_m, В											

9. Сделайте выводы:
—о влиянии емкости контура С1 на частоту выходных колебаний;
—о влиянии напряжения источника питания на амплитуду выходных колебаний U_m.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы.
3. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
4. Выводы, о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электронному генератору гармонических колебаний.
2. Объясните, что входит в состав структурной схемы генератора

гармонических колебаний.

3. Поясните физическую сущность баланса амплитуд.

4. Поясните физическую сущность баланса фаз.

5. Перечислите основные схемы генераторов *LC*.

6. Укажите, от чего зависит частота генерируемых колебаний в генераторах *LC*.

7. Объясните, как достигается баланс амплитуд и фаз в исследуемом генераторе LC с трансформаторной обратной связью.

Лабораторное занятие № 12

«Исследование схем генераторов *RC* на транзисторах»

Цель работы: исследовать влияние параметров фазосдвигающей RC-цепи на частоту генерируемых колебаний.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

На частотах менее 50 кГц вследствие увеличения требуемых значений L и C увеличиваются размеры катушек и конденсаторов и одновременно ухудшается добротность колебательного контура и стабильность его параметров. Поэтому на низких частотах вместо LC-автогенераторов обычно используют *RC*-автогенераторы, которые в этом диапазоне частот, особенно в нижней его части, обладают существенными преимуществами.

Порядок выполнения

1. Соберите схему для исследования генератора RC (рис. 36).
2. Кнопкой включите схему.

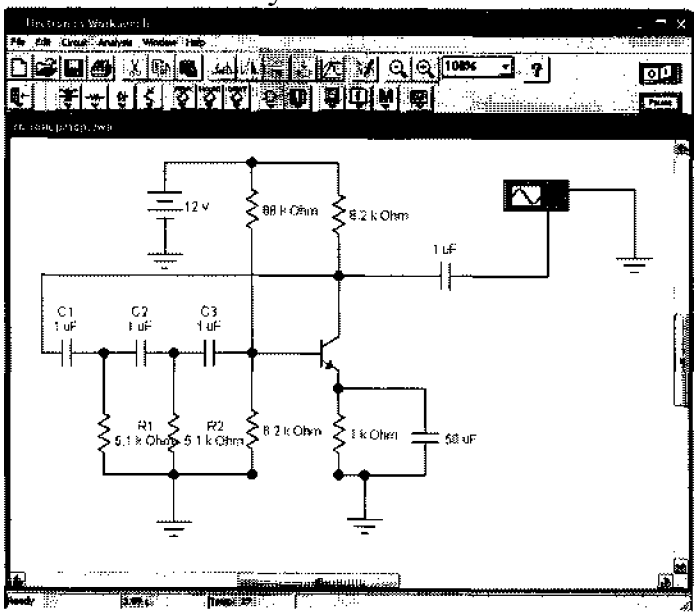


Рис. 36. Схема для исследования генератора *RC*

Примечание: при включении схемы кнопкой необходимо 2-5 секунд подождать до полной установившейся картины колебаний.

3. В результате на осциллографе будет картина, показанная на рисунке 37.

4. Для значений емкости C1 = C2 = C3 = 1 мкФ и R1 = R2 = 5,1 кОм.
5. Измерьте период колебаний. Результат измерений запишите в таблицу 30. 1
6. Вычислите частоту колебаний по формуле f=1/T, результат занесите в таблицу 30.
7. Аналогично измерьте период и вычислите частоту при других значениях C1 = C2 = C3 и R1 = R2, указанных в таблице 30.

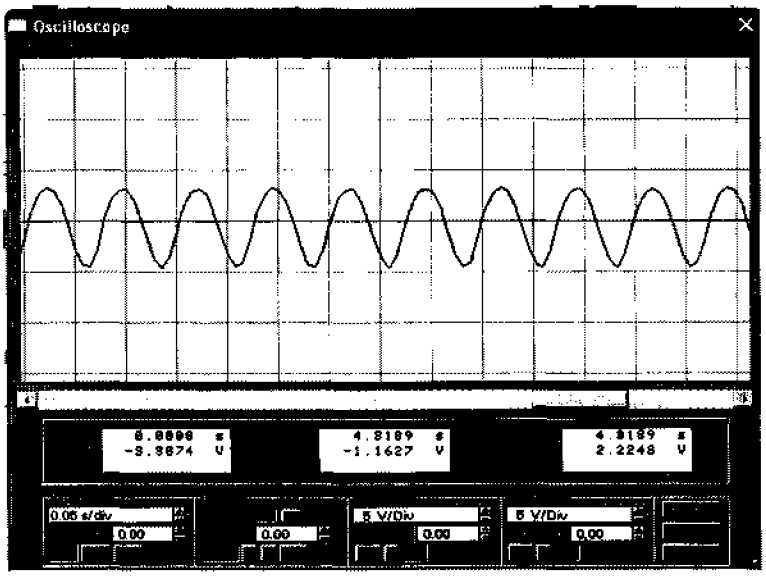


Рис. 37. Измерение амплитуды выходного сигнала генератора *RC*

8. лайте выводы о влиянии параметров фазосдвигающей RC-цепи на частоту выходных колебаний.

Таблица 30

Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	R1=*R2*, КОм	C1 = C2 = C3, мкФ	Измерено	Вычислено
			Период *T, c*	Частота f Гц
1	2	3	*4*	5
1	5.1	1		
2		2		
3		0,5		
4		0,25		
5	1,7	1		
5	3,4			
7	5,1			
8	7,5			
9	5.1	1		
10	2,5	0,5		

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы.
3. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества *RC* генераторов перед LC-генераторами.
2. Перечислите виды фазосдвигающих RC-цепей.
3. Поясните, как достигается баланс амплитуд и фаз в *RC*-генераторах.

Лабораторное занятие № 13
«Исследование схем генераторов RC на основе операционного усилителя»

Цель: проанализировать влияние параметров фазосдвигающей RC-цепи на частоту генерируемых колебаний.
Оборудование: персональный компьютер.
Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

RC-генераторы на базе ОУ выполняются с использованием фазосдвигающих или частотно-избирательных цепей. Один из видов RC-генератора с использованием фазосдвигающих цепей показан на рис. 38. В ней обратная связь вводится через фазосдвитающую цепь лестничной структуры, состоящую из резисторов *R.* и конденсаторов С.

Для возникновения автоколебаний необходимо, чтобы коэффициент усиления был больше единицы. В то же время для получения минимальных искажений генерируемого сигнала необходимо, чтобы он был близок к единице. Для разрешения этих противоречивых требовании в генераторе вводится нелинейная обратная с помощью диодов *VD1* и *VD2,* которые начинают открываться только после того, как амплитуда автоколебаний превысит постоянное запирающее напряжение смещения, задаваемое с помощью делителей на резисторах *R1,R2.* При открывании диодов глубина обратной связи увеличивается и коэффициент усиления уменьшается, что приводит к стабилизации амплитуды колебаний. Напряжения смещения диодов обычно подбираются при настройке.

Порядок выполнения

1. Соберите схему для исследования генератора *RC* на ос-нове операционного усилителя (рис. 38).

2. Кнопкой включите схему.

3. ***Примечание:*** при включении схемы кнопкой : и включении осциллографа полная картина колебаний может устанавливаться через 7-10 с.

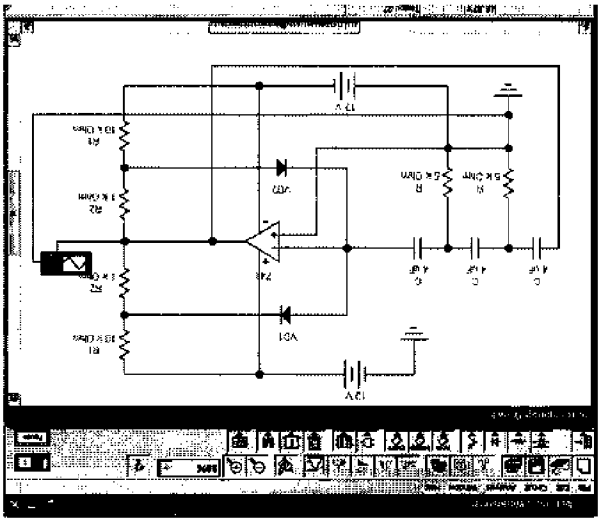


Рис. 38. Схема для исследования генератора *RC* на основе операционного усилителя

3. В результате на осциллографе будет картина, показанная на рис. 39.

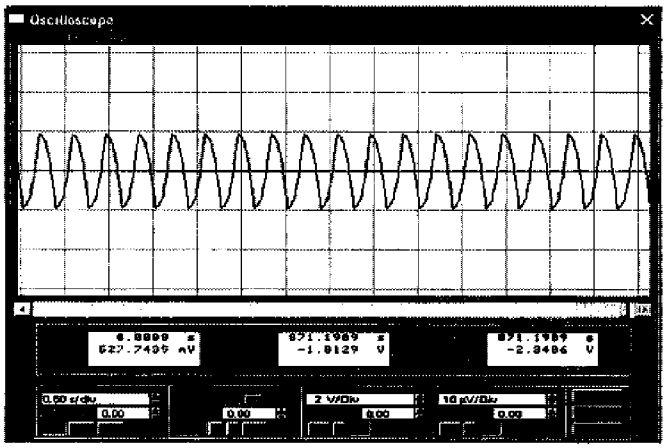


Рис. 39. Измерение амплитуды выходного сигнала генератора *RC*

4.Измерьте период колебаний. Результат измерений запишите в таблицу 31 для значения емкости С = 4 мкФ и *R = 5* кОм.

5.Вычислите частоту колебаний по формуле: f=1/T

6.Результат вычислений запишите в таблицу 31 для значения емкости *C* = 4 мкФ и *R = 5* кОм.

6. Аналогично измерьте период и вычислите частоту при других значениях С1 = *C2* = С3 и *R1 = R2* согласно таблице 31.

Таблица 31

Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	R1, кОм	С1, мкФ	Измерено	Вычислено
			Период Т, с	Частота f
1	2	3	4	5
1	5	4		
2		8		
3		2		
5	5	4		
5	2,5			
7	10			
9	5	8		
10	2,5	4		

7. Сделайте выводы, которые должны содержать анализ и объяснение зависимости частоты выходных колебаний от параметров фазосдвигающей RC-цепи.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Укажите преимущества генераторов *RC* на операционных усилителях.
2. Поясните принцип построения генераторов *RC* на операционных усилителях.
3. Объясните, как достигается баланс амплитуд и фаз в RC- регенераторах на ОУ.
4. Перечислите основные схемы генераторов *RC* на ОУ.

Лабораторное занятие № 14
«Исследование работы амплитудного ограничителя»

Цель работы: проанализировать влияние величины постоянного напряжения на амплитуду и форму сигнала.
Оборудование: персональный компьютер.
Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Амплитудным ограничителем называют четырехполюсник, у которого выходное напряжение повторяет форму входного напряжения до тех пор, пока последнее не достигнет порога или уровня ограничения, и практически остается постоянным при изменении входного напряжения за пределами этого уровня. Амплитудные ограничители можно выполнить на диодах, транзисторах и многоэлектродных ЭУЛ. Наибольшее распространение получили диодные ограничители. Диодные ограничители бывают последовательные и параллельные.

Порядок выполнения

1. Исследуйте последовательный ограничитель с ненулевым порогом ограничения сверху.

1.1. Соберите схему для исследования последовательного амплитудного ограничителя с ненулевым порогом ограничения сверху (рис. 40).

1.2. Кнопкой включите схему.

1.3. С помощью осциллографа измерьте амплитуды положительной U_{m1} и отрицательной U_{m2} полуволны по методике, показанной на рис. 41 *(а, б)*. Результаты измерений занесите в таблицу 32.

Аналогично проделайте измерения при других

1.4. значениях E согласно таблице 32.

Таблица 32

Результаты измерений

E, В	0	1	3	5	7	9
U_{m1} в						
U_{m2}, в						

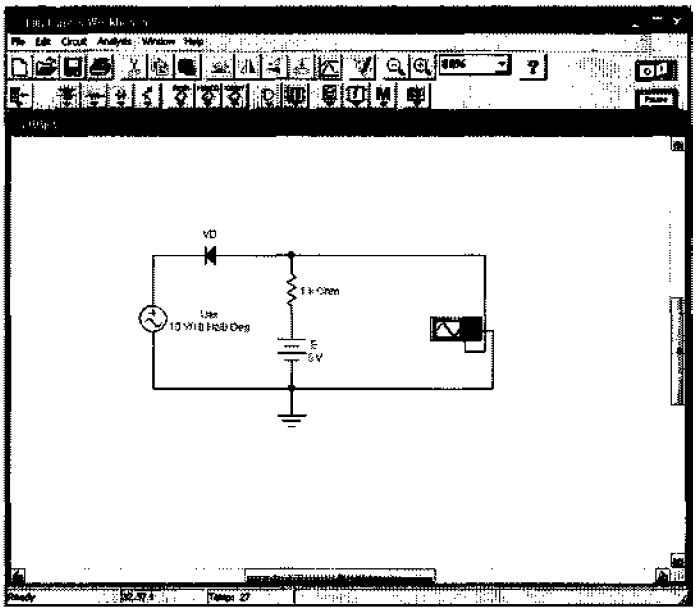
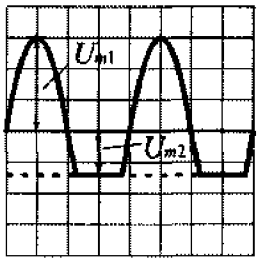
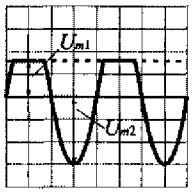


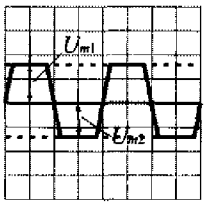
Рис. 40. Схема для исследования последовательного амплитудного ограничителя с ненулевым порогом ограничения сверху



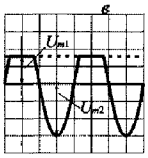
а



б

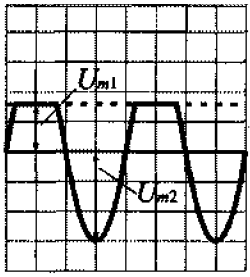


в

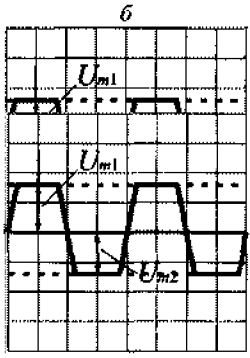


б

Рис. 41. Определение амплитуд положительной U_{m1} и отрицательной U_{m2} полуволны для последовательных диодных ограничителей с ненулевым порогом ограничения: *а* — ограничителя снизу; *б*— ограничителя сверху; *в* — двустороннего ограничителя



б



в

2. Исследуйте последовательный ограничитель с ненулевым порогом ограничения снизу.

2.1. Соберите схему для исследования последовательного амплитудного ограничителя с ненулевым порогом ограничения снизу (рис. 42).

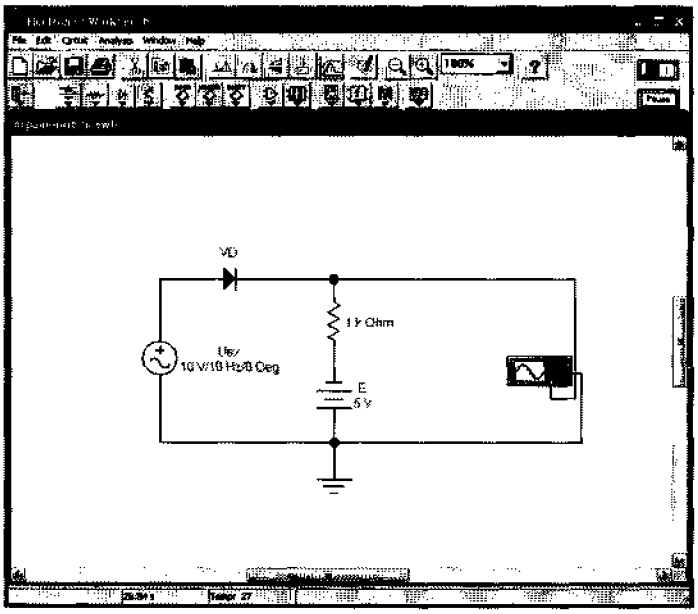


Рис. 42. Схема для исследования последовательного амплитудного ограничителя с ненулевым порогом ограничения снизу

2.2. Кнопкой включить схему.

2.3. С помощью осциллографа измерьте амплитуды положительной U_{m1} и отрицательной U_{m2} полуволны по методике, показанной на рис. 41 *(а, б)*. Результаты измерений занесите в таблицу 33.

2.4. Аналогично проделать измерения при других значениях ,Е согласно таблице 33.

Таблица 33

Результаты измерений

E, В	0	1	3	5	7	9
U_{m1}. В						
U_{m2}. в						

3. Исследуйте двусторонний последовательный ограничитель с ненулевым порогом ограничения.

3.1. Соберите схему для исследования двустороннего последовательного амплитудного ограничителя с ненулевым порогом ограничения (рис. 43).

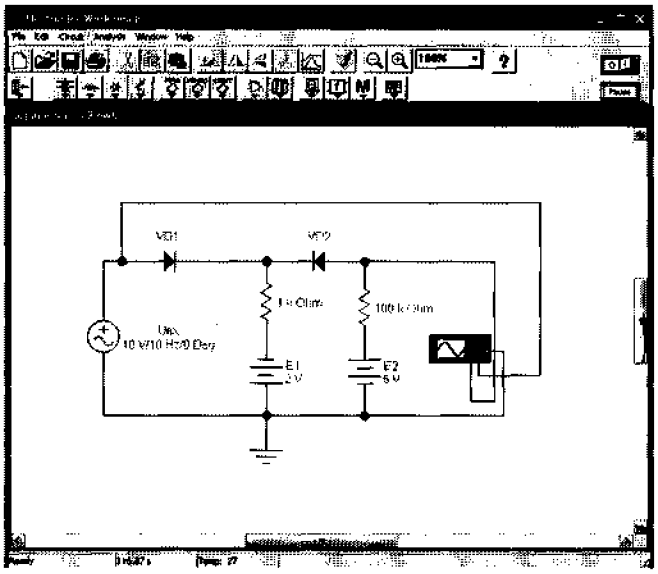


Рис. 43. Схема для исследования двустороннего последовательного амплитудного ограничителя с

ненулевым порогом ограничения

3.2. Кнопкой включите схему.

3.3. С помощью осциллографа измерьте амплитуды положительной U_{m1} и отрицательной U_{m2} полуволны по методике, показанной на рис. 41, *в*. Результаты измерений занести в таблицу 34.

3.4. Аналогично проделайте измерения при других значениях E_1 и E_2 согласно таблице 34.

Таблица 34

Результаты измерений

E_1	2	2	2	5	5	9
E_2,В	2	5	5	5	9	5
U_{m1}, в						
U_{m2}, в						

. Сделайте анализ формы выходных напряжений при различных опытах.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Примеры диаграмм выходных напряжений для трех видов исследуемых ограничителей.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение амплитудному ограничителю.
2. Укажите применение ограничителей.
3. Поясните принцип работы исследуемых ограничителей.
4. Укажите, как подразделяются амплитудные ограничители по способу включения нелинейного элемента.
5. Не выполняя компьютерного моделирования, измените в схемах на рис. 40 и 42 полярность источника E и начертите временные диаграммы выходного напряжения, предполагая, что на вход подается синусоидальное напряжение

Лабораторное занятие № 15
«Исследование работы автоколебательного мультивибратора»

Цель работы: проанализировать влияние параметров времязадающих цепей на длительности импульсов.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

В импульсной технике широко применяются генераторы прямоугольных импульсов, которые относятся к классу релаксационных генераторов. Колебания, в которых медленные изменения чередуются со скачкообразными, называют релаксационными. Такими колебаниями являются, в частности, прямоугольные и пилообразные импульсы.

К релаксационным генераторам, вырабатывающим электрические колебания, близкие по форме к прямоугольным, относятся мультивибраторы и блокинг-генераторы.

Мультивибраторы выпускают в виде монолитных интегральных микросхем, выполняют на операционных усилителях, цифровых интегральных схемах, а также на дискретных компонентах; в последнем случае их активными элементами обычно являются транзисторы.

Порядок выполнения

1.Соберите схему для исследования автоколебательного мультивибратора (рис. 44).

2. Кнопкой включите схему.

3. В результате на осциллографе появится картина, представленная на рисунок 45.

Примечание: настройки осциллографа должны быть как на рисунке 45.

4.Измерьте длительности импульсов $t_{и1}$, и $t_{и2}$ по методике, представленной на рисунке 46.

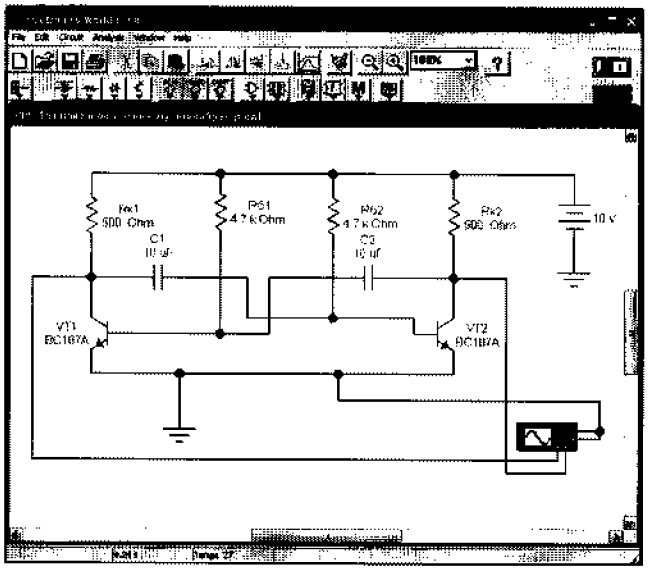
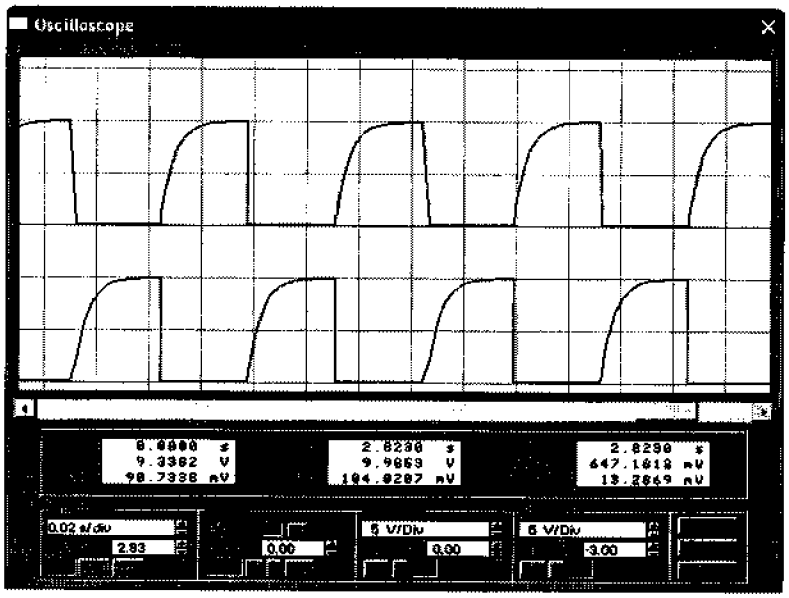


Рис. 44. Схема для исследования автоколебательного мультивибратора

Рис. 45. Измерение длительности импульсов $t_{и1}$ и $t_{и2}$



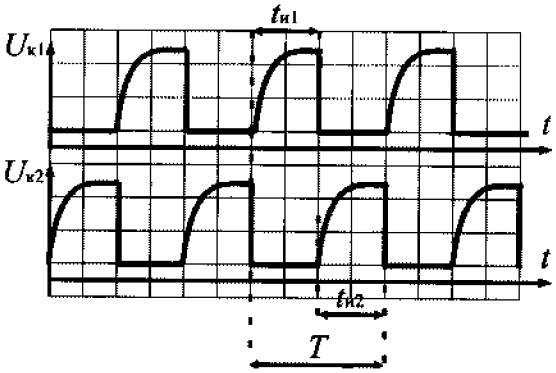


Рис. 46. Методика измерения длительности импульсов $t_{и1}$ и $t_{и}$

5. Результаты измерений занесите в таблицу 35 в графу «Измерено».

Таблица 35

Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	Параметры схемы				Длительности импульсов $t_{и1}$ И $t_{и1}$, мс			
	R_{61}, kОм	C_2 мкФ	R_{62} кОм	C_1 мкФ	Измерено		Вычислено	
					$t_{и1}$	$t_{и2}$	$t_{и1}$	$t_{и2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4.7	10	4.7	10				
2	4.7	20	4.7	10				
3	4.7	10	4.7	20				
4	4.7	10	10	10				
5	10	10	4,7	10				

6. Вычислите длительности импульсов $t_{и1}$ и $t_{и2}$ по формулам: $t_{и1} \approx 0{,}7\ R_{61}\ C_2$, $t_{и2} \approx 0{,}7 R_{62}\ C_1$ Результаты вычислений запишите в таблицу 35 в графу «Вычислено».

7. Аналогично проделайте измерения и вычисления для других параметров схемы согласно таблице 35.

8. Сделайте выводы, поясняющие влияние параметров схемы на длительности импульсов $t_{и1}$ и $t_{и2}$

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы.
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Примеры диаграмм выходных напряжений.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите, какие генераторы относят к релаксационным.
2. Поясните, как влияют элементы схемы на длительность импульсов.
3. Укажите, какой мультивибратор называется симметричным.
4. Объясните, чему равна скважность импульсов симметричного мультивибратора.
5. Поясните, что и как следует изменить в схеме для получения большей скважности

Практическое занятие № 5
«Расчет параметров схемы автоколебательного мультивибратора»

Цель работы: рассчитать периоды и длительности импульсов автоколебательных мультивибраторов на транзисторах и операционном усилителе (ОУ).

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания.

Исходные данные

Исходные данные к задаче 1 определяет преподаватель в соответствии с рисунком 47 и таблицей 36.

Таблица 36

Исходные данные к задаче 1

Номер вар.	1	2	3	4	5
C_1 пФ	100	150	200	250	100
C_2 пФ	510	470	300	50	400
$R_{б1}$, кОм	20	25	24	20	25
$R_{б2}$, кОм	24	30	20	10	20

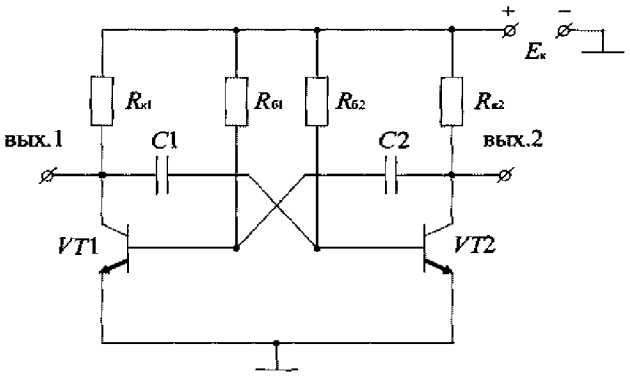


Рис.47 Схема автоколебательного мультивибратора на транзисторах .

Иходные данные к задаче 2 задает преподаватель в соответствии с рисунком 48 и таблицей 37.

Таблица 37

Исходные данные к задаче 2

Номер вар.	1	2	3	4	5
C, мкФ	0,1	0,2	0,05	0,3	0,4
R1, ком	120	80	100	60	50
R'1, кОм	80	120	120	80	80
R2, кОм	100	120	120	80	100
R3, кОм	86	80	100	100	90

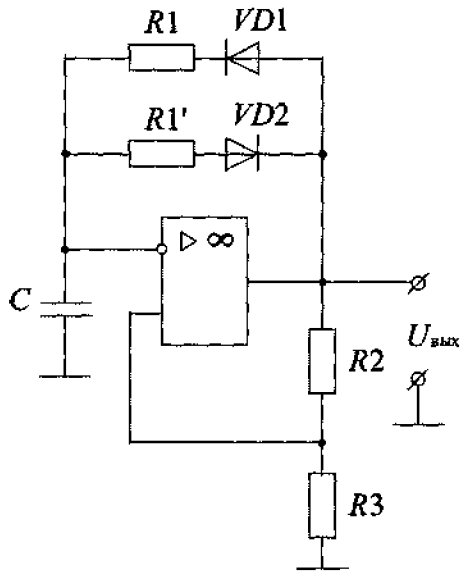


Рис. 48. Схема автоколебательного мультивибратора на ОУ

Порядок выполнения

1. *Задача 1.* Определите длительности импульсов $t_{и1}$, $t_{и2}$ и период колебаний *T* мультивибратора на транзисторах (рис. 47) для значений C_1 ,C_2, R_{61} , R_{62}, приведенных в таблице 36.

1.1. Длительность импульса $t_{и1}$ определяется по формуле:

$$t_{и1} \approx 0{,}7\tau_1,$$

где τ, = C_2 R_{61} - постоянная времени разрядки конденсатора *C_2. 1.2. 1.2* Длительность импульса $t_{и2}$ определяется по формуле:

$$t_{и2} \approx 0{,}7\tau_2,$$

1.3 Период колебаний равен:

$$T = t_{и1} + t_{и2}.$$

Длительность импульса $t_{И1}$ определяется по

формуле:

$$t_{и1} = 2{,}3\tau_1 \lg\frac{1+\gamma}{1-\gamma},$$

где τ_1 = C R_1 — постоянная времени зарядки конденсатора *C;*

$$\gamma = \frac{R_3}{R_3 + R_2}$$

— коэффициент передачи делителя напряжения R_2, R_3

2. Задача 2. Определите длительности импульсов $t_{и1}$, $t_{и2}$ и период колебаний T мультивибратора на ОУ (рис. 48) для значений C, R_1 R'_1, R_2 R_3, приведенных в таблице 37.

2.1. Длительность импульса $t_{и2}$ определяется по формуле:

$$t_{и1} = 2{,}3\tau_1 \lg\frac{1+\gamma}{1-\gamma},$$

где τ_2 = *C R_2* — постоянная времени разрядки конденсатора C. 2.2. Период колебаний равен:

$$T = t_{и1} + t_{и2}.$$

3. Сделайте выводы о влиянии сопротивления $R_э$ на где $\tau_2 = C_1 R_{62}$ — постоянная времени разрядки конденсатора C_1 1.3.

$$T = t_{и1} + t_{и2}.$$

4. Сделайте выводы о влиянии сопротивления $R_Э$ на форму выходного сигнала.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Результаты расчетов.
3. Схема автоколебательного мультивибратора на транзисторах.
4. Схема автоколебательного мультивибратора на ОУ
5. Диаграммы выходных напряжений в масштабе.

Выводы о проделанной работе

Лабораторное занятие № 16

«Исследование работы триггера Шмитта»

Целы работы: проанализировать влияние параметров схемы на форму выходного сигнала.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12

Краткие теоретические сведения

Устройство, имеющее два устойчивых состояния, называют триггером. В одном из них на выходе триггера присутствует высокий потенциал, в другом — низкий. Аналогично мультивибратору, переход триггера из одного состояния в другое происходит лавинообразно, но только с приходом переключающего (запускающего) сигнала.

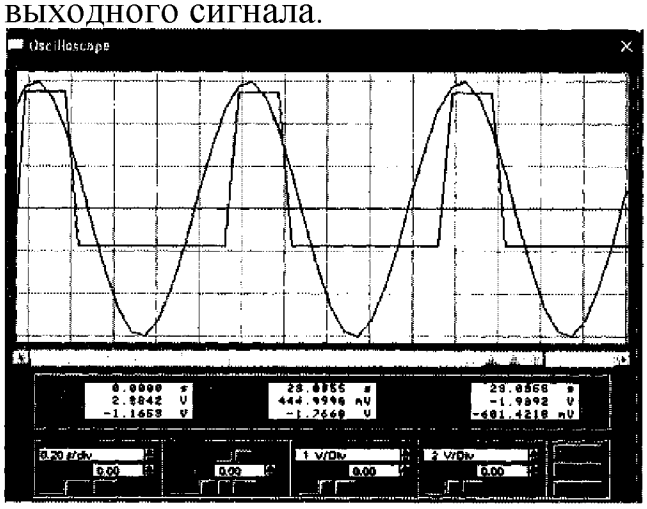
По принципу действия триггер напоминает взведенную пружину, которая спускается внешней силой. Отсюда еще одно название триггера — спусковое устройство.

Рис. 50 Осциллограмма входн

При переключении триггера потенциалы на его вых лавинообразно, т. е. на выходе формируется прямоугольный импульс с крутыми фронтами. Это позволяет использовать триггер для формирования прямоугольных импульсов из напряжения другой формы (например, из синусоидального).

Порядок выполнения

1. Соберите схему для исследования триггера Шмитта (рис. 49).
2. Кнопкой включите схему.
3. В результате на осциллографе появится картина, представленная на рисунке 50.
4. Зарисуйте форму входного и выходного сигналов.
5. Изменяя последовательно значение сопротивления $R_Э$= 0,7 кОм, 0,5 кОм, 0,3 кОм, 0,1кОм, нарисуйте формы выходных сигналов при данных значениях.
6. Сделайте выводы о влиянии сопротивления $R_Э$ на форму выходного сигнала.



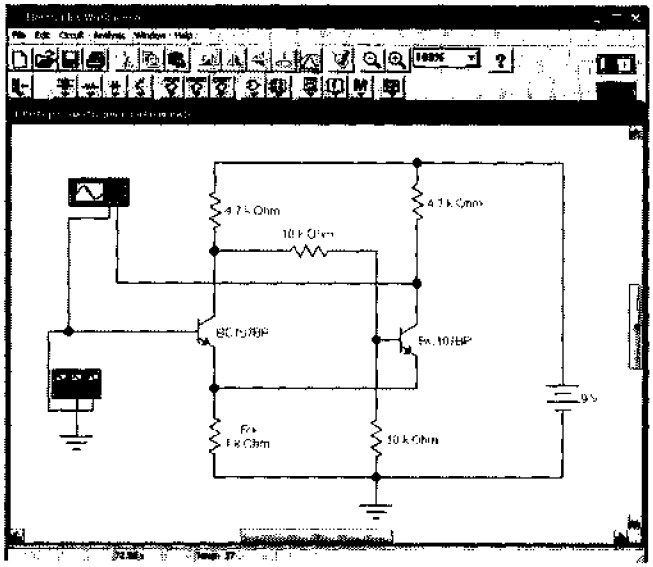


Рис. 49. Схема для исследования триггера Шмитта

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Диаграммы входных и выходных напряжений.
5. Выводы о проделанной работе

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте понятие триггер.
2. Перечислите основные виды триггеров.
3. Укажите, где используется триггер Шмитта.
4. Поясните, почему триггер можно использовать в качестве запоминающего устройства.
5. Поясните принцип работы триггера Шмитта.

Содержание

Введение

Правила охраны труда при выполнении лабораторных и практических занятий

Лабораторное занятие № 1. Исследование работы выпрямительных диодов

Лабораторное занятие № 2. Исследование работы стабилитронов

Лабораторное занятие № 3. Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общей базой (ОБ)

Практическое занятие № 1. Определение h-параметров биполярных транзисторов по статическим характеристикам

Лабораторное занятие № 4. Исследование работы полевого транзистора

Лабораторное занятие № 5. Исследование работы фотоэлектрического прибора

Практическое занятие № 2. Графоаналитический анализ работы биполярного транзистора режима А

Практическое занятие № 3. Расчет показателей структурных схем усилителей с различными видами обратных связей

Лабораторное занятие № 6. Исследование работы каскада предварительного усиления

Лабораторное занятие № 7. Исследование работы двухтактного выходного каскада

Лабораторное занятие № 8. Исследование работы фазоинверсного каскада

Лабораторное занятие № 9. Исследование работы дифференциального каскада

Лабораторное занятие №10.Исследование схем устройств на оперативном усилителе

Практическое занятие № 4. Расчет элементов и параметров схем функциональных узлов на операционном усилителе

Лабораторное занятие № 11. Исследование генераторов LC на транзисторах

Лабораторное занятие № 12. Исследование схем генераторов RC на транзисторах

Лабораторное занятие № 13. Исследование схем генераторов RC на основе операционного усилителя

Лабораторное занятие № 14. Исследование работы амплитудного ограничителя

Лабораторное занятие № 15. Исследование работы автоколебательного мультивибратора

Практическое занятие № 5. Расчет параметров схемы автоколебательного мультивибратора

Лабораторное занятие № 16. Исследование работы триггера Шмит

Рекомендуемая литература

Библиографический список

Основная литература

1. Акимова, Г.Н. Электронная техника: учебник [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон.дан. — Москва : УМЦ ЖДТ, **2017**. — 331 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/99605. — Загл. с экрана.. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И

2. ЭЛЕКТРОНИКА. Научная школа: Московский государственный технологический университет «Станкин» (г. Москва) Кузовкин В.А., Филатов В.В. Подробнее Страниц: 431 Тип обложки: Переплет Год: **2016** / Гриф УМО СПО ISBN: 978-5-9916-6223-9

Дополнительная литература

1. Бурков, А.Т. Электроника и преобразовательная техника. Том 2: Электронная преобразовательная техника [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Москва : УМЦ ЖДТ, 2015. — 307 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/79995. — Загл. с экрана.

Интернет – ресурсы:

ЭБС Лань – режим доступа: https://e.lanbook.com; по регистрации.