

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Основной задачей лабораторных работ по дисциплине «Электронная техника» является закрепление на практике знаний, полученных в процессе изучения теоретического материала, и приобретение навыков снятия статических экспериментальных характеристик различных электронных приборов и определения наиболее важных параметров по ним, а также приобретение умений пользоваться справочной и другой технической литературой.

Лабораторные занятия по курсу «Электронная техника» и «Прикладная электроника» включают выполнение задания, состоящего из теоретической, экспериментальной и расчетной частей.

Пользуясь «Методическими указаниями» студент знакомится с целевым назначением и содержанием каждой лабораторной работы, методикой ее выполнения и обработкой данных эксперимента путем сборки принципиальной электрической схемы, снятия и построения необходимых графиков, проведения соответствующих расчетов.

В порядке подготовки к лабораторным занятиям студент должен ознакомиться с описанием выполняемой работы, изучить теоретический материал, выяснить цели и задачи, поставленные в работе, и подготовить бланк отчета.

Контроль правильности выполнения подготовительного задания и теоретической готовности к выполнению лабораторной работы проводится в начале занятия.

Отчет выполняется в соответствии с требованиями «Методических указаний» индивидуально на отдельных листах или в специально отведенной тетради. Заключительным этапом лабораторного занятия является защита отчета, которая проводится в виде устного собеседования по контрольным вопросам, приведенным в методическом указании, по полученным экспериментальным результатам и содержанию отчета в целом на текущем или следующем занятии. К выполнению очередной лабораторной работы допускаются

студенты, имеющие не более одной не защищенной работы. Студенты, не допущенные к выполнению лабораторной работы, готовятся к сдаче зачета и сдают его в течение очередного занятия.

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ студенты обязаны соблюдать следующие правила:

- документально зарегистрировать получение знаний правил техники безопасности при работе в лаборатории в специальном журнале.

Дополнительный инструктаж по технике безопасности включает в себя следующие рекомендации при сборке измерительных схем и проведении экспериментальных работ:

- перед началом сборки электрической схемы необходимо убедиться в том, что все источники питания лабораторного стенда выключены, а регуляторы напряжений источников питания установлены в крайнее левое положение ($U_{ип}=0$);

- при сборке схем использовать только надежные клеммы и соединительные провода. Соединительные провода должны иметь надежную фиксацию в клеммах;

- только после проверки собранной схемы преподавателем можно включать тумблеры источников питания; в ходе выполнения эксперимента обо всех замеченных технических неисправностях немедленно сообщить преподавателю или лаборанту;

- запрещается в процессе измерений прикасаться к открытым токоведущим элементам (выводам проводов и клеммам). Перед внесением изменений в схему необходимо выключить все источники питания лабораторного стенда;

- после окончания измерений необходимо установить регуляторы напряжений всех источников питания в крайнее левое положение, выключить все источники питания и другие приборы, разобрать измерительную схему, привести в порядок рабочее место и сдать его лаборанту или преподавателю.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией полупроводниковых плоскостных диодов;
2. Освоить методику снятия ВАХ исследуемых диодов;
3. Изучить параметры выпрямительных диодов;
4. Получить практические навыки определения статического и дифференциального сопротивления исследуемых полупроводниковых диодов по экспериментальным ВАХ.

Порядок выполнения работы

1. Выписать из справочника по полупроводниковым приборам паспортные данные полупроводниковых выпрямительных диодов, заданных преподавателем.

2. Собрать электрическую схему для снятия прямой характеристики выпрямительных полупроводниковых диодов (рисунок 1)

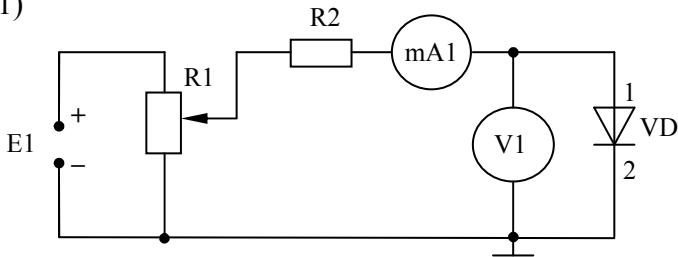


Рис.1. Электрическая схема для снятия прямой ВАХ
выпрямительного диода

Предупреждение: при снятии характеристики прямой ток не должен превышать максимальное значение

$I_{\text{пр.макс}}$ (см. справочные данные).

Измерительные приборы и элементы схемы:

V1 – вольтметр для измерения прямого напряжения $U_{\text{пр}}$ с пределом измерения 1,5 В;

mA1 – миллиамперметр для измерения прямого тока $I_{\text{пр}}$. с пределом измерения 100 мА;

R1 – переменный резистор на 470 Ом;

R2 – постоянный резистор номиналом 100 Ом;

E1 – источник постоянного напряжения 0...15 В.

3. Снять прямую характеристику исследуемых низкочастотных выпрямительных диодов $I_{\text{пр.}}=f(U_{\text{пр.}})$ согласно таблицам 1 и 2.

Таблица 1

Диод Д7Г

$U_{\text{пр}}$ В	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2	0.24	0.28	0.32
$I_{\text{пр}}$ мА									

Таблица 2

Диод Д226

$U_{\text{пр.}}$ В	0	0,3	0,5	0,6	0,64	0,68	0,72	0,76	
$I_{\text{пр.}}$ мА									

4. Собрать электрическую схему для снятия обратной характеристики исследуемого низкочастотного выпрямительного диода (рисунок 2)

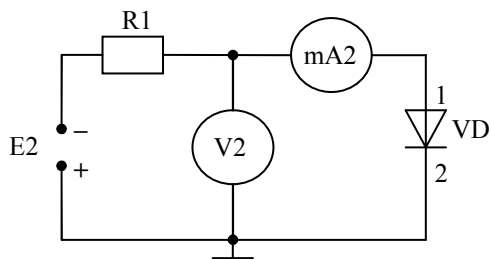


Рис.2. Принципиальная электрическая схема для снятия обратной ВАХ выпрямительного диода

Предупреждение: при снятии обратной характеристики не превышать максимально допустимое (предельное) значение обратного напряжения $U_{обр.макс.}$ (см. справочные данные для исследуемого прибора).

Измерительные приборы и элементы схемы:

V2 – вольтметр для измерения обратного напряжения с пределом измерения 200 В;

mA2 – миллиамперметр для измерения обратного тока с пределом измерения 300 мкА;

R1 – резистор номиналом 51 кОм;

E2 – источник постоянного напряжения 0 ... 300 В.

5. Снять обратную характеристику исследуемого выпрямительного диода $I_{обр.} = f(U_{обр.})$ согласно таблицам 3 и 4.

Таблица 3

Диод Д7Г

$U_{обр.}$ В	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I_{обр.}$ мкА										

Таблица 4

Диод Д226

$U_{обр.}$ В	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I_{обр.}$ мкА										

Обработка результатов эксперимента

Прямая и обратная характеристики диода изображаются на одном графике.

По вольтамперной характеристике исследуемого низкочастотного выпрямительного диода определить в рабочей

точке статические прямое $R_{пр.}$ и обратное $R_{обр.}$ сопротивления, а также дифференциальные прямое $\Gamma_{диф.пр.}$ и обратное $\Gamma_{диф.обр.}$ сопротивления (рабочая точка задается преподавателем).

Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Справочные (паспортные) данные исследуемых полупроводниковых диодов.
3. Экспериментальные электрические схемы и графики снятых характеристик.
4. Определенные по вольтамперным характеристикам исследуемых полупроводниковых выпрямительных диодов параметры $R_{пр.}$, $R_{обр.}$, $\Gamma_{диф.пр.}$, $\Gamma_{диф.обр.}$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве полупроводникового выпрямительного низкочастотного диода. Приведите его УГО и маркировку.
2. Объясните принцип работы выпрямительного диода. На каком свойстве p-n перехода он работает?
3. Приведите ВАХ полупроводникового выпрямительного диода. Объясните ее ход. Оценить влияние температуры на ход ВАХ.
4. Назовите основные параметры выпрямительных диодов и объясните их физический смысл.
5. Приведите простейшую схему однополупериодного выпрямителя и объясните ее работу.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (СТАБИЛИТРОН И СВЕТОДИОД)

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы кремниевых стабилитронов и светодиодов.
2. Освоить методику снятия вольтамперной характеристики полупроводникового стабилитрона и светодиода.
3. Изучить характеристики и параметры кремниевых стабилитронов и светодиодов.
4. Получить практические навыки определения некоторых параметров кремниевых стабилитронов по экспериментальной вольтамперной характеристике.

Порядок выполнения работы

1. Выписать из справочника по полупроводниковым приборам паспортные данные исследуемых стабилитрона и светодиода, заданных преподавателем.
2. Собрать схему для снятия ВАХ исследуемого кремниевого стабилитрона (рисунок 3).

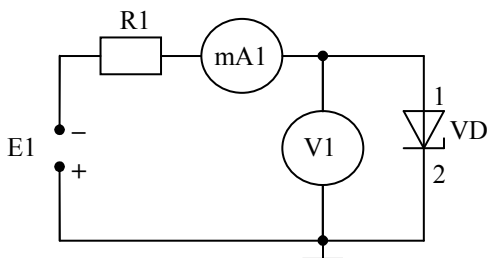


Рис.3. Электрическая схема для снятия ВАХ стабилитрона

Измерительные приборы и элементы схемы:

V1 – вольтметр для измерения напряжения на стабилитроне с пределом измерения 15 В;

mA1 – миллиамперметр для измерения тока через стабилитрон с пределом измерения 50 мА;

R1 – резистор номиналом 100 Ом;

E1 – источник постоянного напряжения 0 ... 15 В;

3. Снять ВАХ кремниевого стабилитрона $I_{CT}=f(U_{CT})$ согласно таблице 5 результат представить в виде графика.

При снятии характеристики удобнее задавать величину тока через диод и отмечать получившиеся при этом значения напряжения. Ток I_{CT} изменять через 5мА до $I_{CT.макс}$ (см. справочные данные исследуемого стабилитрона).

Таблица 5

Стабилитрон Д814Б

$U_{обр. В}$									
$I_{обр. мА}$	0	5	10	15	20	25	30		

4. Собрать электрическую схему для снятия ВАХ светодиода (рисунок 4)

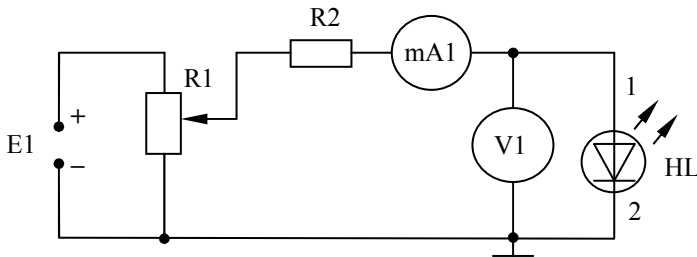


Рис.4. Электрическая схема для снятия ВАХ светодиода

Предупреждение: при снятии ВАХ прямой ток исследуемого светодиода не должен превышать максимального значения $I_{пр.макс}$. (см. справочные данные).

Измерительные приборы и элементы схемы:

- E1 – источник постоянного напряжения 0...15 В;
- mA1 – миллиамперметр с пределом измерения 10 мА;
- R1 – переменный резистор на 470 Ом;
- V1 – вольтметр с пределом измерения 5 В;
- R2 – ограничительный резистор на 100 Ом.

5. Снять ВАХ исследуемого светодиода $I_d = f(U_d)$ при комнатной температуре согласно таблице 6. Результаты эксперимента представить в виде графика.

Таблица 6

Светодиод АЛ102А

$U_{пр. В}$	0	1	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
$I_{пр. мА}$									

Обработка результатов эксперимента

По ВАХ исследуемого кремниевого стабилитрона на рабочем участке определить: номинальное напряжение стабилизации $U_{ст.ном}$, статическое $R_{ст}$ и дифференциальное $r_{диф.ст}$ сопротивления прибора и сравнить их со справочными данными.

Определить по снятой ВАХ светодиода область рабочего режима прибора и статическое сопротивление $R_{ст}$ в рабочей точке, заданной преподавателем.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Справочные (паспортные) данные исследуемого кремниевого стабилитрона и светодиода.
3. Электрические схемы для снятия ВАХ.
4. Графики снятых характеристик.

5. Определенные по ВАХ кремниевого стабилитрона на рабочем участке параметры: $U_{ст.ном}$, $R_{ст}$, $\Gamma_{диф.ст}$.

6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве, маркировке и УГО кремниевого стабилитрона.

2. Объясните принцип работы кремниевого стабилитрона. Назовите свойство р-п-перехода, на котором он работает.

3. Приведите ВАХ стабилитрона, объясните ее ход.

4. Назовите основные параметры кремниевого стабилитрона и объясните их физический смысл.

5. Где применяются кремниевые стабилитроны? Приведите схему простейшего параметрического стабилитрона на нем.

6. Объясните работу электрической схемы для снятия ВАХ светодиода.

7. Приведите УГО светодиода. Расскажите о маркировке светодиодов.

8. Объясните принцип работы светодиода.

9. Изобразите основные характеристики светодиода, объясните их ход.

10. Оцените влияние температуры на ход ВАХ светодиода.

11. Назовите основные параметры светодиода. Объясните их физический смысл.

12. Назовите область практического применения светодиода.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ТРАНЗИСТОРА, ВКЛЮЧЕННОГО ПО СХЕМЕ С ОЩЕЙ БАЗОЙ (ОБ)

Цель работы.

1. Ознакомиться с конструкцией низкочастотных транзисторов.
2. Исследовать статические характеристики транзистора, включенного по схеме с ОБ.
3. Ознакомиться с методами построения нагрузочной прямой на семействе статических выходных характеристик транзистора.

Порядок выполнения работы

1. Выписать из справочника по полупроводниковым приборам паспортные данные исследуемого низкочастотного транзистора, заданного преподавателем.
2. Собрать электрическую схему для исследования транзистора, включенного по схеме с ОБ (рисунок 5).

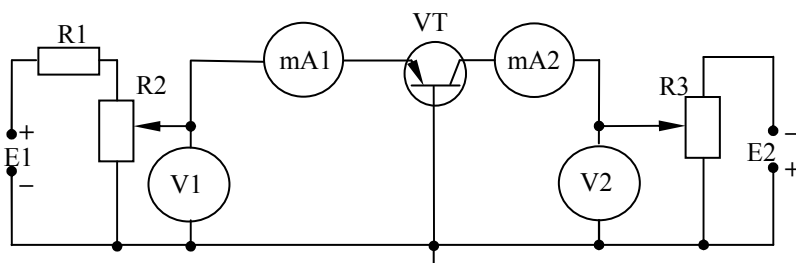


Рис.5. Электрическая схема исследования транзистора, включенного по схеме с ОБ

Измерительные приборы и элементы схемы:

$U_{\text{ип1}}, U_{\text{ип2}}$ – 2 источника постоянного напряжения 1...15 В;

- V1 – вольтметр с пределом измерения 1,5 В;
- V2 – вольтметр с пределом измерения 20 В;
- mA1 – миллиамперметр с пределом измерения 50 мА;
- mA2 – миллиамперметр с пределом измерения 100 мА;
- R₁ – резистор номиналом 100 Ом;
- R₂, R₃ – переменные резисторы на 470 Ом.

Предупреждение: при исследовании транзистора во избежание выхода его из строя необходимо соблюдать следующие правила предосторожности:

а) строго следить за правильностью включения источников питания;

б) соблюдать порядок подачи напряжений на выводы: в первую очередь напряжение подается на вход транзистора (т.е. на эмиттерный переход), а затем на выход (т.е. на коллекторный переход);

в) в процессе снятия характеристики не допускать отключения из схемы миллиамперметров, а также смены пределов измерений много шкальных приборов;

г) при снятии характеристик категорически запрещается превышать максимальное значение токов и напряжений на входе и выходе транзистора, а также мощности, рассеиваемой на коллекторе.

3. Снять семейство статических входных характеристик транзистора $I_3 = f(U_{36})$ при $U_{к6} = \text{const}$ согласно таблице 7. Результаты представить в виде графика семейства входных характеристик на отдельном рисунке.

Таблица 7

Транзистор ПЗ06А

U ₃₆ В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
I ₃ мА, при U _{к6} =0 В											
I ₃ мА, при U _{к6} =5 В											

4. Снять семейство статических выходных характеристик транзистора при $I_k = f(U_{кб})$ при $I_э = \text{const}$, согласно таблице 8. Результаты измерений представить в виде графика семейства выходных характеристик транзистора на отдельном рисунке.

Таблица 8

Транзистор П306А

$U_{эб}$ В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_k мА, при $I_э=30$ мА											
I_k мА, при $I_э=50$ мА											

Обработка результатов измерений

На семействе выходных характеристик транзистора построить нагрузочную прямую (выходную характеристику режима нагрузки) $I_k = f(U_{кб})$ при $E_k, R_k = \text{const}$, проходящую через рабочую точку, координаты которой задаются преподавателем, при $R_k = 500$ Ом.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Справочные данные исследуемого транзистора.
3. Схему для снятия статических характеристик.
4. Графики семейства статических входных и выходных характеристик.
5. Уравнение нагрузочной прямой, построенной на семействе статических выходных характеристик транзистора.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется биполярным транзистором (БТ)?

2. Расскажите об устройстве БТ, назначении и особенностях каждой его области.

3. Приведите УГО транзисторов двух типов n-p-n- и p-n-p- структуры. Как маркируются такие транзисторы?

4. Назовите режимы работы БТ и приведите схемы его включения. Как включаются эмиттерный и коллекторный переходы при каждом режиме работы.

5. Объясните принцип работы БТ, включенного по схеме с ОБ, в активном режиме при воздействии на его переходы только постоянного напряжения.

6. Какие изменения возникнут в работе транзисторной схемы, если на вход транзистора, включенного по схеме с ОБ и работающего в активном режиме, подать переменный сигнал, а на выходе включить активную нагрузку?

7. Назовите токи, текущие во внешних цепях транзистора. Запишите первый закон Кирхгофа для токов транзистора, работающего в активном режиме.

8. Приведите семейства статических входных и выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с ОБ. Объясните их ход.

9. Приведите уравнение нагрузочной прямой. Расскажите, как можно построить нагрузочную прямую. Для каких целей используют на практике статические характеристики транзистора? Нагрузочную прямую?

10. Изобразите схему усилителя на транзисторе, включенном по схеме с ОБ. Назовите ее основные параметры и область применения.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ТРАНЗИСТОРА, ВКЛЮЧЕННОГО ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ (ОЭ)

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией НЧ транзисторов.
2. Исследовать статические характеристики транзистора, включенного по схеме с ОЭ.
3. Ознакомиться с методикой определений h – параметров транзистора по статическим характеристикам.

Порядок выполнения работы

1. Выписать из справочника по полупроводниковым приборам паспортные данные транзистора, заданного преподавателем.
2. Собрать электрическую схему для исследования транзистора, включенного по схеме с ОЭ (рисунок 6)

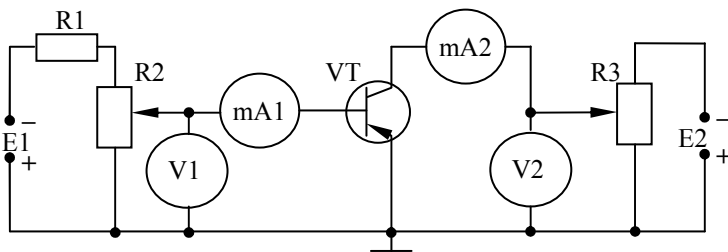


Рис.6. Электрическая схема исследования транзистора, включенного по схеме с ОЭ

Измерительные приборы и элементы схемы:

$U_{ип1}$, $U_{ип2}$ – 2 источника постоянного напряжения 1...15 В;
V1 – вольтметр с пределом измерения 1,5 В;

V2 – вольтметр с пределом измерения 20 В;
 mA1 – миллиамперметр с пределом измерения 5 мА;
 mA2 – миллиамперметр с пределом измерения 100 мА;
 R₁ – резистор номиналом 100 Ом;
 R₂, R₃ – переменные резисторы на 470 Ом.

Предупреждение: при исследовании транзистора во избежание выхода его из строя необходимо соблюдать правила предосторожности (см. лабораторную работу № 4)

3. Снять семейство статических входных характеристик транзистора $I_B = f(U_{BЭ})$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ согласно таблице 9. Результаты измерений представить на отдельном рисунке в виде графика семейства входных характеристик.

Таблица 9

Транзистор ПЗ06А

$U_{BЭ}$ В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1
I_B мА, при $U_{КБ}=0$ В							
I_B мА, при $U_{КБ}=5$ В							

4. Снять семейство статических выходных характеристик при $I_K = f(U_{КЭ})$ при $I_B = \text{const}$ согласно таблице 10. Результаты измерений представить на отдельном рисунке в виде графика семейства выходных характеристик.

Таблица 10

Транзистор ПЗ06А

$U_{КЭ}$ В	0	1	2	3	4	10
I_K мА, при $I_B=1$ мА							
I_K мА, при $I_B=1,5$ мА							

Обработка результатов измерений

По статическим характеристикам транзистора определить h -

параметры в рабочей точке А, координаты которой задаются преподавателем каждому студенту индивидуально.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Справочные (паспортные) данные исследуемого транзистора.
3. Электрическая схема для снятия статических характеристик транзистора.
4. Графики входных и выходных характеристик.
5. h – параметры транзистора, определенные по статическим характеристикам.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве БТ.
2. Приводите УГО обозначение транзисторов р-п-р- и п-р-п-типов.
3. Назовите режимы работа транзистора и схемы его включения.
4. Объясните принцип работы транзистора, включенного по схеме с ОЭ при подаче на его переходы постоянного и переменного напряжений в статическом режиме и режиме нагрузки.
5. Назовите токи, текущие во внешних цепях транзистора, включенного по схеме с ОЭ и работающего в активном режиме. Запишите первый закон Кирхгофа для них.
6. Приведите семейство статических входных и выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с ОЭ. Объясните их ход.
7. Изобразите схему усилителя на транзисторе, включенном по схеме с ОЭ. Назовите основные параметры схемы, область применения.
8. Расскажите о системе h - параметров транзистора и физическом смысле каждого параметра.

9. Объясните, как можно определить h - параметры транзистора по семейству статистических характеристик.

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С УПРАВЛЯЮЩИМ P-N ПЕРЕХОДОМ

Цель работы:

1. Изучить основы работы полевых транзисторов.
2. Ознакомиться с конструкцией полевого транзистора.
3. Освоить методику снятия семейства основных статических характеристик полевого транзистора.
4. Изучить методику графического определения основных статических параметров по семействам экспериментальных статических характеристик.

Порядок выполнения работы

1. Выписать из справочника по полупроводниковым приборам паспортные данные транзистора КП 103 М.
2. Собрать электрическую схему для исследования полевого транзистора КП 103 М (рисунок 7).

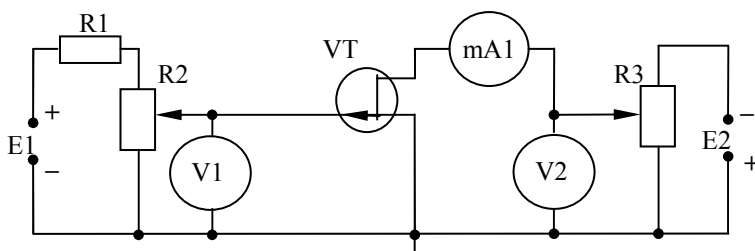


Рис.7. Электрическая схема исследования полевого транзистора, включенного по схеме с общим истоком (ОИ)

Измерительные приборы и элементы схемы:

$E_{ин1}, E_{ин2}$ – источник постоянного напряжения 1...15 В;
 $V I$ – вольтметр с пределом измерения 5 В;

V 2 – вольтметр с пределом измерения 20 В;
 mA1 – миллиамперметр с пределом измерения 10 мА;
 R₁ – резистор номиналом 100 Ом;
 R₂, R₃ – переменные резисторы на 470 Ом.

3. Снять семейство статических проходных (сквозных) стокотворных характеристик $I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = \text{const}$ согласно таблице 11. Результаты эксперимента представить в виде графиков на отдельном рисунке.

Таблица 11

Транзистор КП103М

U _{зи} В	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
I _c мА, при U _{си} =1 В								
I _c мА, при U _{си} =10 В								

4. Снять семейство статических выходных, стоковых характеристик $I_c = f(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$ согласно таблице 12. Результаты эксперимента представить в виде графиков на отдельном рисунке.

Таблица 12

Транзистор КП103М

U _{си} В	0	0,5	1	1,5	2	4,5
I _c мА, при U _{зи} =0,5 В							
I _c мА, при U _{зи} =1,5 В							

Обработка результатов измерений

1. По статическим стоковым характеристикам полевого транзистора определить параметры S, R_i, μ в рабочей точке, заданной преподавателем.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.

2. Справочные данные исследуемого транзистора.
3. Электрическая схема для снятия статических характеристик полевого транзистора.
4. Графики семейств снятых статических характеристик.
5. Расчет статических параметров полевого транзистора: крутизна, сопротивление канала, коэффициент усиления по напряжению.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Приведите УГО полевого транзистора с управляющим р-п-переходом и схемы его включения.
2. Расскажите об устройстве полевого транзистора с управляющим р-п-переходом и назначении его выводов.
3. Объясните принцип работы полевого транзистора с управляющим р-п-переходом, включенного по схеме с общим истоком (ОИ).
4. Приведите семейства стоковых и стокозатворных характеристик полевого транзистора. Объясните их ход.
5. Назовите основные параметры полевого транзистора. Объясните их физический смысл. Как графически можно определить эти параметры по семейству статических выходных характеристик?
6. В каких режимах может работать полевой транзистор? Какой из них является рабочим?
7. Расскажите об устройстве МОП-транзисторов с индуцированным и встроенным каналами. Объясните принцип их работы.
8. Приведите УГО МОП-транзисторов и их маркировку.

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ИС К155ЛА3 СЕРИИ ТТЛ

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и технологией изготовления полупроводниковой ИС серии ТТЛ.

2. Изучить принцип действия базового элемента ИС серии К155 (КМ155), состав серии, УГО логической ИС К155ЛА3, назначение и расположение выводов.

3. Ознакомиться с методикой проверки годности и определения основных параметров ИС.

4. Ознакомиться с методикой снятия передаточной характеристики одного из логических элементов ИС.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Записать название и цель лабораторной работы, изучить состав серии ИС К155, КМ155.

2. Зарисовать форму корпуса ИС К155ЛА3, расположение и нумерацию выводов, выписать ее электрические и предельно-допустимые параметры.

3. Привести электрическую схему базового элемента ИС К155ЛА3, изучить назначение каждого из элементов схемы и возможности ИС в целом, как цифровой логической схемы; привести ее УГО.

4. Изучить принцип действия логического элемента 2И-НЕ и составить таблицу истинности работы этого элемента, которая дает представление о логической связи между входными и выходными сигналами в логическом элементе.

5. Изучить конструкцию и технологию изготовления полупроводниковой ИС К155ЛА3 серии ТТЛ, использующей МЭТ.

Результаты выполнения подготовительного задания служат

основанием допуска к выполнению экспериментальной части работы.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

На рисунке 8 приведена испытательная панель лабораторного стенда и указаны назначения элементов.

Сектор И предназначен для получения стабилизированного напряжения питания $E_{\text{ип}} = +5 \text{ В}$. При этом клеммы 1,2 подключаются к источнику $E1 = 15 \text{ В}$ стенда. Клеммы 3,4 предназначены для подключения миллиамперметра РА на 100 мА. Напряжение 5 В подведено к гнездам $E_{\text{ип}}$.

В секторе Г ко входам А и В подведены потенциальные сигналы, соответствующие логическому «0» и логической «1». На выход С подается потенциальный сигнал, плавно изменяющийся с помощью ручки регулировки потенциометра R_2 .

В секторе М находится непосредственно сама микросхема, а также клеммы, которые соответствуют номерам выводов микросхемы.

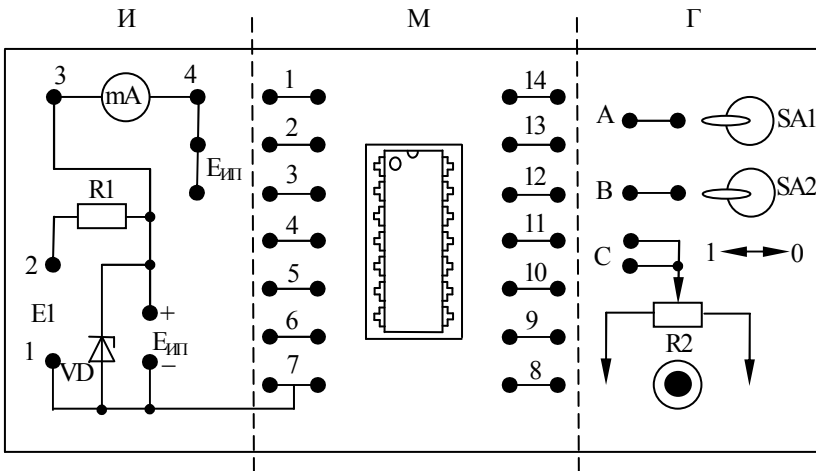


Рис.8. Схема испытательной панели лабораторного стенда

1. Провести проверку годности ИС К155ЛА3 в статическом режиме.

Проверка годности ИС К155ЛА3 проводится согласно схеме, приведенной на рисунке 9.

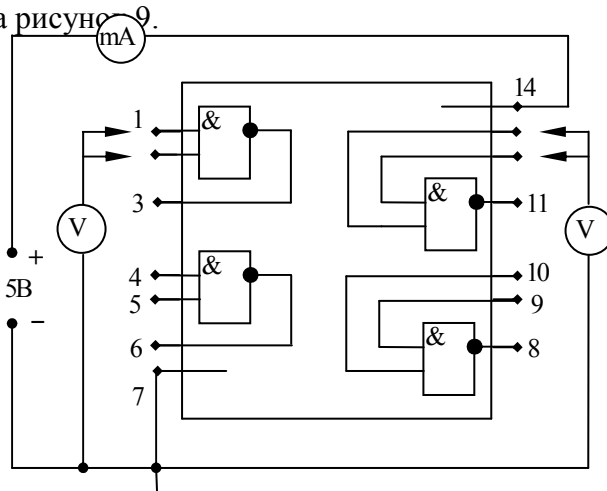


Рис.9. Схема проверки годности ИС

Измерительные приборы

V – вольтметр с пределом измерения 5 В;

mA – миллиамперметр с пределом измерения 100 мА;

Подать $E_{ип} = +5$ В на вывод 14 ИС. Вольтметром V измерить фактическую его величину и записать показания mA и V ($I_{потр}$ и $U_{ип}$ факт.).

Вольтметром V, последовательно подключаемым к выводам ИС по схеме рисунок 9, измерить величины напряжений между общим и другими выводами ИС.

Сделать выводы по результатам экспериментальной проверки ИС.

Результаты опытов и выводов занести в таблицу 13.

Таблица 13

Номера выводов ИС	Лог - ий элемент	$U_{вх1}$, (В)	$U_{вх2}$, (В)	$U_{вых}$, (В)	Вывод
1, 2, 3	DD 1.1				
4, 5, 6	DD 1.2				

9, 10, 8	DD 1.3				
12, 13, 11	DD 1.4				

2. Провести опытную проверку логики действия одного из четырех логических элементов 2И-НЕ (например, логического элемента DD1.1).

С этой целью: собрать электрическую схему согласно рисунка 10.

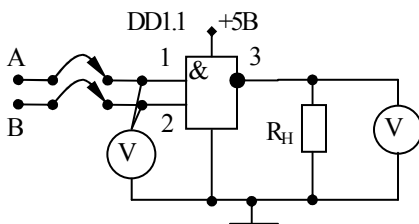


Рис.10. Схема проверки работы логического элемента 2И-НЕ

Измерительные приборы и элементы схемы

V – вольтметр с пределом измерения 5 В;

R_n – резистор номиналом на 36 кОм.

Заполнить таблицу истинности логического элемента И-НЕ.

Таблица 14

№ п\п	Первый вход	Второй вход	Выход
1	1	1	
2	0	1	
3	1	0	
4	0	0	

Результаты опытной проверки логики действия элемента 2И-НЕ занести в таблицу 15 и рекомендуется устанавливать на входах 1 и 2 DD1.1 напряжения низкого и высокого уровней, соответствующих уровням логического «0» и логической «1», в последовательности, указанной в таблице 14.

Таблица 15

№ п\п	U на первом вх. (В)	U на втором вх. (В)	U на выходе ИМС (В)
1			
2			
3			
4			

3. Снять передаточную функцию $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ2}})$ при $U_{\text{ВХ1}} = \text{const}$ исследуемого логического элемента 2И-НЕ.

С этой целью:

Собрать экспериментальную, схему согласно рисунка 11.

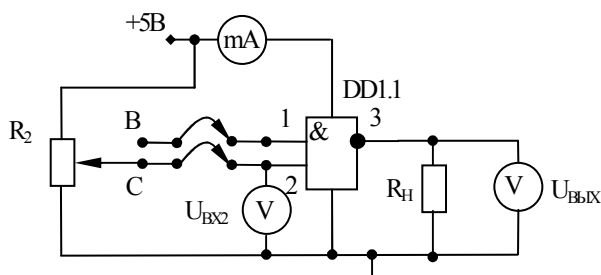


Рис.11. Электрическая схема для снятия передаточной функции логического элемента 2И-НЕ

Снять зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ2}})$ при подаче на первый вход DD1.1 уровня логической «1» и при установлении следующих значений напряжения на втором входе: $U_{\text{ВХ2}} = 0; 0,5; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 3,0$ В. Результаты измерений представить в виде графика передаточной функции $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ2}})$.

Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Паспортные данные ИС К155ЛА3, УГО, таблицу

функционального назначения выводов, электрическую схему базового элемента, таблицу истинности логического элемента 2И-НЕ, ожидаемый вид передаточной функции.

3. Результаты выполнения лабораторного задания: схемы, таблицы, график передаточной функции.

4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение терминов: полупроводниковая ИС, пленочная ИС, гибридная ИС, аналоговая ИС, цифровая ИС, серия ИС.

2. Каковы основные различия между полупроводниковыми, пленочными и гибридными ИС?

3. Какой признак положен в основу деления ИС на цифровые и аналоговые?

4. Как определяется степень интеграции микросхемы, и каковы ее значения?

5. Назовите признаки (критерии) классификации ИС и их отражения в маркировке отечественных ИС (приведите примеры).

6. Опишите состав ИС 155 серии.

7. Опишите систему отечественных обозначений ИС. Расшифруйте буквенно-цифровую маркировку ИС: К155ЛА1, К155ЛА3, КМ155ЛА3, К142ЕН1Б, КР142ЕН2А, К140УД1А.

8. Назовите электрические параметры микросхем, имеющие размерности напряжения, тока, мощности, частоты, времени, и относительные параметры. Приведите примеры параметров ЛИМС.

9. Расскажите о технологических особенностях изоляции и изготовления элементов в полупроводниковых ИС.

10. Назовите схемотехнические особенности ИС серии ТТЛ.

11. Расскажите о УГО цифровых ИС и понятии «таблица истинности».

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЦИФРОВОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ К176ЛП1 НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-ОКИСЕЛ-ПОЛУПРОВОДНИК (КМОП)

Цель работы:

На примере полупроводниковой цифровой интегральной схемы К176ЛП1 изучить принцип действия и экспериментально исследовать основные свойства логических элементов на КМОП транзисторах, ознакомиться с технологией их изготовления, научиться составлять и анализировать электрические схемы на КМОП транзисторах, реализующие логическую операцию инверсии («НЕ»).

ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Записать название, цель работы, выписать из справочника паспортные данные ИС типа К176ЛП1. Зарисовать ее электрическую схему.

2. Изучить принцип действия логического элемента «НЕ» на n-канальной, p-канальной и на комплементарной паре МОП-транзисторов и их передаточные характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$

3. Изучить принципиальную схему, назначение выводов ИС К176ЛП1 и каждого из элементов схема возможности ИМС как цифровой логической схемы, способы ее включения.

4. Зарисовать ожидаемый вид передаточной характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ логического элемента «НЕ».

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Собрать последовательно каждую из трех измерительных схем (см рисунок 12...14).

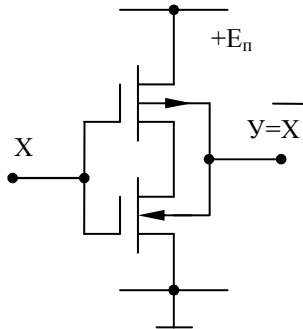


Рис.12. Электрическая схема логического элемента НЕ

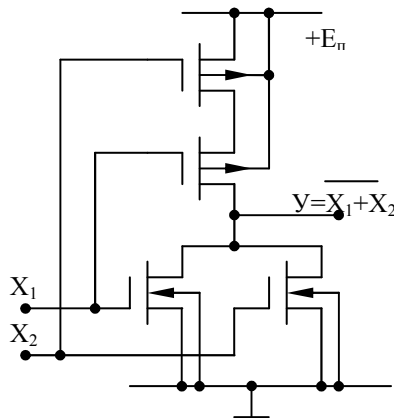


Рис.13. Электрическая схема логического элемента ИЛИ-НЕ

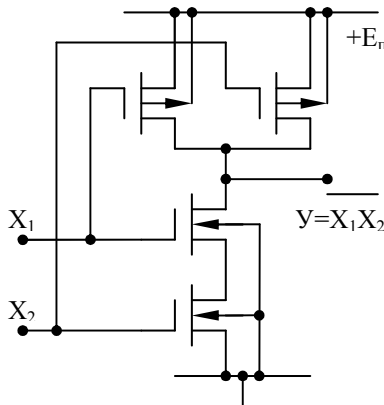


Рис.14. Электрическая схема логического элемента И-НЕ

2. Для каждой из схем снять и построить экспериментально снятые зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$; $I_{\text{потр}} = f(U_{\text{вх}})$.

3. Оценить мощность, потребляемую входной цепью логического элемента, построенного на МОП транзисторах с p-, r-каналами и на комплементарной транзисторной паре.

4. Кратко пояснить полученные экспериментальные результаты.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Результаты выполнения подготовительного задания.
3. Результаты выполнения лабораторного задания: схемы логического элемента «И-НЕ», выполненного на МОП-транзисторах с p- и n- каналами и на КМОП-структуре, графики передаточных функций.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Какой признак положен в основу деления ИС на полупроводниковые, пленочные, гибридные?
2. Расшифруйте аббревиатуры: РТЛ, ДТЛ, ТТЛ, ЭСЛ, КМОП.
3. Что обозначает первая цифра в маркировке ИС?
4. К какой конструктивно-технологической группе относится ИС, если первая цифра в ее обозначении 1, 5, 6 или 2, 4 или 3?
5. Что обозначают вторая и третья (или вторая, третья и четвертая) цифры в маркировке ИС?
6. На что указывает буквенный элемент в маркировке ИС?
7. Расшифруйте обозначение ИС К176ЛП1.
8. Какие транзисторы называют комплементарными?
9. Какие факторы обусловили широкое распространение ИМС с КМОП структурой?

10.Изобразите на рисунке поперечное сечение структуры КМОП. Какие основные требования предъявляются к диэлектрику, изолирующему затвор от канала?

11.В чем состоят основные преимущества и недостатки КМОП ИС перед ИС ТТЛ?

12.Чем руководствуются при выборе полярности источника питающего напряжения в ИС на МОП-структурах?

13.Какие параметры КМОП структуры определяют ее быстродействие?

14.Почему в статическом режиме логический элемент КМОП практически не потребляет мощности?

15.Объясните ход всех зависимостей, экспериментально полученных в лабораторной работе.

16.Поясните физический смысл выражений: МОП транзистор со встроенным каналом, с индуцированным или обедненным каналам.

Практическая работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПРАВОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Цель работы:

1. Ознакомиться с наличием и назначением справочной литературы по дисциплине «Электронная техника» и «Прикладная электроника»;
2. Ознакомиться с содержанием справочников по разделу «Полупроводниковые приборы»;
3. Изучить стандарты и Государственные стандарты, используемые для маркировки и условно-графического обозначения (УГО) полупроводниковых приборов;
4. Изучить методику определения параметров полупроводниковых диодов по имеющимся в справочнике характеристикам;
5. Научиться, пользуясь справочником, оценивать параметры любого полупроводникового диода и по заданному техническому заданию подбирать необходимый полупроводниковый прибор.

Практическое задание:

1. Выписать из справочника Госстандарт, по которому маркируются отечественные полупроводниковые приборы. Привести назначение каждого элемента маркировки.
2. Изучить по справочнику УГО наиболее распространенных полупроводниковых диодов и привести в отчете УГО заданных преподавателем приборов (см. приложение 1).
3. По маркировке полупроводникового диода (заданного преподавателем каждому студенту индивидуально) пользуясь справочником: определить назначение прибора, привести его УГО; оценить характеристики и параметры, привести внешний вид прибора и расположение выводов; определить по ВАХ

(вольтамперной характеристике) сопротивление диода статическое (R_0) и дифференциальное ($r_{\text{диф}}$).

Содержание отчета

1. Название и цель практической работы.
2. Государственные стандарты по маркировке полупроводниковых приборов, действующий до 1964 года и используемый в настоящее время, расшифровать назначение каждого элемента.
3. УГО полупроводникового выпрямительного диода, стабилитрона, варикапа, туннельного диода, светодиода, фотодиода.
4. УГО, внешний вид и расположение выводов, назначение, характеристики и параметры (в том числе и определенные по ВАХ) полупроводникового диода, полученного для индивидуальной работы
5. Перечень используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении справочной литературы и видах справочников, используемых в дисциплине «Электронная техника» и «Прикладная электроника».
2. Расскажите о принципах маркировки полупроводниковых приборов. Приведите примеры.
3. Приведите УГО основных типов полупроводниковых диодов (выпрямительного, кремниевого стабилитрона, варикапа, светодиода, фотодиода, туннельного диода).
4. Расскажите, как можно определить по ВАХ, приведенной в справочнике, статическое R_0 и дифференциальное $r_{\text{диф}}$ сопротивления диода.
6. По заданной маркировке (пользуясь справочником) определите тип полупроводникового прибора, приведите его УГО оцените параметры и ориентировочно укажите область применения.
7. По заданным техническим условиям для указанной принципиальной электрической схемы подберите, пользуясь

справочной литературой, необходимый полупроводниковый диод. Обоснуйте свой выбор.

Классификация полупроводниковых приборов

подавляющее число приборов содержит один, два, три и более электронно-дырочных р-п переходов. Электронно-дырочным переходом называется промежуточный переходный слой между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электронную электропроводность (n-типа), а другая — дырочную (р-типа).

В отдельную группу составляют беспереходные полупроводниковые приборы, применение которых основано на использовании физических процессов, происходящих в объёме полупроводникового материала. Некоторые из этих приборов выпускаются серийно (термисторы, фоторезисторы, варисторы, болометры), и справочные сведения о них публикуются достаточно широко. Некоторые приборы ещё не основаны в массовом производстве. По этим причинам в настоящее издание Справочника сведения о беспереходных приборах не включены.

Самостоятельную группу представляют интегральные схемы — полупроводниковые и гибридные. Активными элементами этих схем являются диодные и транзисторные структуры, т. е. приборы с одним или несколькими переходами.

Наибольшее количество типов приборов относится к диодам и транзисторам.

Кроме деления по функциональному назначению диоды и транзисторы классифицируются по значениям предельной мощности и частоте.

Система обозначений полупроводниковых приборов

У приборов, разработанных до 1964г. и выпускающихся сейчас, условные обозначения состоят из двух и трёх элементов.

Первый элемент обозначения — буква:

Д — для диодов,

П — для плоскостных транзисторов.

Второй элемент обозначения — число (номер), которое указывает на область применения.

Диоды

Точечные германиевые	От 1 до 100
Точечные кремниевые	От 101 до 200
Плоскостные кремниевые	От 201 до 300
Плоскостные германиевые	От 301 до 400
Смесительные СВЧ детекторы	От 401 до 500
Умножительные	От 501 до 600
Видеодетекторы	От 601 до 700
Параметрические германиевые	От 701 до 749
Параметрические кремниевые	От 750 до 800
Стабилитроны	От 801 до 900
Варикапы	От 901 до 950
Туннельные диоды	От 951 до 1000
Выпрямительные столбы	От 1001 до 1100

Транзисторы

Маломощные германиевые низкочастотные	От 1 до 100
Маломощные кремниевые низкочастотные	От 101 до 200
Мощные германиевые низкочастотные	От 201 до 300
Мощные кремниевые низкочастотные	От 301 до 400
Маломощные германиевые высокочастотные	От 401 до 500
Маломощные кремниевые высокочастотные	От 501 до 600
Мощные германиевые высокочастотные	От 601 до 700
Мощные кремниевые высокочастотные	От 701 до 800

Третий элемент обозначения — буква, указывающая разновидность прибора.

Начиная с 1964г. была утверждена новая система обозначений диодов и транзисторов. (ГОСТ 10862-64).

В соответствии с этой системой вновь разработанным приборам присваивались обозначения из четырёх элементов.

Первый элемент — буква или цифра — обозначает исходный материал:

Г или 1 — германий;

К или 2 — кремний;

А или 3 — арсенид галлия или другие соединения галлия;

Второй элемент — буква, указывающая класс или группу приборов:

Д — выпрямительные, универсальные, импульсные диоды;
 Т — транзисторы;
 В — варикапы;
 А — сверхвысокочастотные диоды;
 Ф — фотоприборы;
 Н — динисторы (диодные тиристоры);
 У — тринисторы (триодные тиристоры);
 И — туннельные диоды;
 С — стабилитроны;
 Ц — выпрямительные столбы и блоки.

Третий элемент — число, указывающее назначение или электрические свойства прибора в соответствии с приведённой таблицей.

Диоды низкой и высокой частоты:	
выпрямительные диоды	От 101 до 399
универсальные диоды	От 401 до 499
импульсные диоды	От 501 до 599
варикапы	От 101 до 999
Сверхвысокочастотные диоды:	
смесительные	От 101 до 199
видеодетекторы	От 201 до 299
модуляторные	От 301 до 399
параметрические	От 401 до 499
переключающие	От 501 до 599
умножающие	От 601 до 699
Фотодиоды	От 101 до 199
Фототранзисторы	От 201 до 299
Динисторы:	
малой мощности	От 101 до 199
средней мощности	От 201 до 299
большой мощности.	От 301 до 399
Тринисторы:	
малой мощности	От 101 до 199
средней мощности	От 201 до 299
большой мощности	От 301 до 399
Туннельные диоды:	
усилительные	От 101 до 199

генераторные	От 201 до 299
переключающие	От 301 до 399
обращённые	От 401 до 499
Стабилитроны малой мощности ($P \leq 0,3$ Вт):	
напряжение стабилизации от 0,1 до 9,9 В	От 101 до 199
напряжение стабилизации от 10 до 99 В	От 210 до 299
напряжение стабилизации от 100 до 199 В	От 301 до 399
Стабилитроны средней мощности ($0,3 < P < 5$ Вт):	
напряжение стабилизации от 0,1 до 9,9 В	От 401 до 499
напряжение стабилизации от 10 до 99 В	От 510 до 599
напряжение стабилизации от 100 до 199 В	От 601 до 699
Стабилитроны большой мощности ($P > 5$ Вт):	
напряжение стабилизации от 0,1 до 9,9 В	От 701 до 799
напряжение стабилизации от 10 до 99 В	От 810 до 899
напряжение стабилизации от 100 до 199 В	От 901 до 999
Выпрямительные столбы малой мощности ($I_{пр.ср} < 0,3$ А)	От 101 до 199
Выпрямительные столбы средней мощности ($I_{пр.ср} > 0,3$ А)	От 201 до 299
Выпрямительные блоки малой мощности ($I_{пр.ср} < 0,3$ А)	От 301 до 399
Выпрямительные блоки средней мощности ($0,3$ А $< I_{пр.ср} < 10$ А)	От 401 до 499
Выпрямительные блоки большой мощности ($I_{пр.ср} > 10$ А)	От 501 до 599
Транзисторы малой мощности:	
низкой частоты	От 101 до 199
средней частоты	От 201 до 299
высокой частоты и СВЧ	От 301 до 399
Транзисторы средней мощности:	
низкой частоты	От 401 до 499
средней частоты	От 501 до 599
высокой частоты и СВЧ	От 601 до 699
Транзисторы большой мощности:	
низкой частоты	От 701 до 799
средней частоты	От 801 до 899
высокой частоты и СВЧ	От 901 до 999

Четвёртый элемент — буква, указывающая разновидность типа из данной группы приборов.

Примеры обозначения полупроводниковых приборов:

ГТ108А — германиевый маломощный низкочастотный транзистор, разновидность типа А.

КД503Б — кремниевый импульсный диод, разновидность типа Б.

Начиная с 1973г. вновь разрабатываемым приборам присваиваются обозначения в соответствии с ГОСТ 10862-72. Обозначения состоят из 4-х элементов.

Первый элемент — буква или цифра обозначает материал:

Г или 1 — германий или его соединения;

К или 2 — кремний или его соединения;

А или 3 — соединения галлия;

И или 4 — соединения индия.

Второй элемент — буква, указывающая класс прибора:

Т — транзисторы биполярные;

П — транзисторы полевые;

Д — диоды;

А — диоды СВЧ;

В — варикапы;

И — диоды туннельные и обращённые;

Н — тиристоры диодные;

У — тиристоры триодные;

Л — излучатели;

Г — генераторы шума;

Б — диоды Ганна;

К — стабилизаторы тока;

С — стабилитроны и стабисторы.

Третий элемент — число, указывающее назначение и качественные свойства приборов, а также порядковый номер разработки в соответствии с нижеприведённой таблицей.

Транзисторы биполярные и полевые

Малой мощности:

низкой частоты.

От 101 до 199

средней частоты

От 201 до 299

высокой частоты и СВЧ

От 301 до 399

Средней мощности	
низкой частоты	От 401 до 499
средней частоты	От 501 до 499
высокой частоты и СВЧ	От 601 до 699
Большой мощности:	
низкой частоты	От 701 до 799
средней частоты	От 801 до 899
высокой частоты и СВЧ	От 901 до 999
Диоды выпрямительные:	
малой мощности, $I \leq 0,3$ А	От 101 до 199
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 201 до 299
универсальные ($f < 1$ ГГц)	От 401 до 499
Импульсные:	
твосст > 150 нс	От 501 до 599
$30 < \text{твосст} \leq 150$ нс	От 601 до 699
$5 < \text{твосст} \leq 30$ нс	От 701 до 799
$1 < \text{твосст} \leq 5$ нс	От 801 до 899
твосст ≤ 1 нс	От 901 до 999
Выпрямительные столбы:	
малой мощности, $I \leq 0,3$ А	От 101 до 199
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 201 до 299
Выпрямительные блоки:	
малой мощности, $I \leq 0,3$ А	От 301 до 399
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 401 до 499
Диоды СВЧ:	
смесительные	От 101 до 199
детекторные	От 201 до 299
параметрические	От 401 до 499
регулирующие	От 501 до 599
умножительные	От 601 до 699
генераторные	От 701 до 799
Варикапы:	
подстроечные	От 101 до 199
умножительные	От 201 до 299
Туннельные диоды:	
усилительные	От 101 до 199
генераторные	От 201 до 299





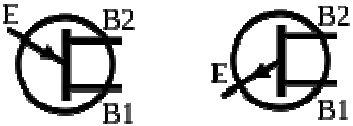
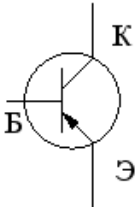
переключательные	От 301 до 399
обращённые	От 401 до 499
Тиристоры диодные:	
малой мощности, $I \leq 0,3 \text{ A}$	От 101 до 199
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 201 до 299
Тиристоры триодные:	
Незапираемые:	
малой мощности, $I \leq 0,3 \text{ A}$	От 101 до 199
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 201 до 299
Запираемые:	
малой мощности, $I \leq 0,3 \text{ A}$	От 301 до 399
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 401 до 499
Симметричные незапираемые:	
малой мощности, $I \leq 0,3 \text{ A}$	От 501 до 599
средней мощности $0,3 < I \leq 10$	От 601 до 699
Излучатели:	
Инфракрасного диапазона	От 101 до 199
Видимого диапазона:	
с яркостью $< 500 \text{ нт}$	От 301 до 399
с яркостью $> 500 \text{ нт}$	От 401 до 499
Стабилитроны и стабисторы:	
Малой мощности, $P \leq 0,3 \text{ Вт}$:	
напряжение стабилизации от 0,1 до 9,9 В	От 101 до 199
напряжение стабилизации от 10 до 99 В	От 210 до 299
напряжение стабилизации от 100 до 199 В	От 301 до 399
Средней мощности ($0,3 < P < 5 \text{ Вт}$):	
напряжение стабилизации до 10 В	От 401 до 499
напряжение стабилизации от 10 до 99 В	От 510 до 599
напряжение стабилизации от 100 до 199	От 601 до 699
Стабилитроны большой мощности ($P > 5 \text{ Вт}$):	
напряжение стабилизации до 10 В	От 701 до 799
напряжение стабилизации от 10 до 99 В	От 810 до 899
напряжение стабилизации от 100 до 199 В	От 901 до 999
Четвёртый элемент — буква, указывающая разновидность типа из данной группы приборов (деление на параметрические группы).	

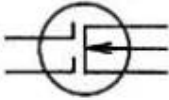
В технической документации и в специальной литературе

следует применять условные графические обозначения приборов, приведённые в ГОСТ 2.730-73.

Графические обозначения полупроводниковых приборов

Наименование приборов	Обозначение
Диод полупроводниковый. Выпрямительный столб. Общее обозначение.	
Диод туннельный	
Диод обращённый	
Стабилитрон	
Стабилитрон двусторонний	
Варикап	

Тринистор	
Динистор	
Фотодиод	
Светодиод	
Однопереходный транзистор с <i>n</i> - и <i>p</i> -базой	
Транзистор типа <i>p-n-p</i>	

<p>Транзистор типа $n-p-n$</p>	
<p>Полевой транзистор с каналом n- и p-типа</p>	
<p>Полевой транзистор с изолированным затвором: обеднённого и обогащённого типа с p-каналом</p>	
<p>обеднённого и обогащённого типа с n-каналом</p>	
<p>Полевой транзистор с двумя изолированными затворами обеднённого типа с n-каналом и с выводом от подложки</p>	
<p>Полевой транзистор с изолированным затвором обогащённого типа с p-каналом с выводом от подложки</p>	

Практическая работа № 2.

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕЗИСТИВНОГО УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ (УНЗЧ)

Цель работы:

1. Изучить методику графоаналитического метода расчета электрических цепей, содержащих нелинейные активные элементы.

2. Оценить достоинства и недостатки графоаналитического метода расчета электрических схем, найти области его применения.

3. Освоить методику графического расчета резистивного УНЗЧ на биполярном транзисторе по схеме с ОЭ или на полевом транзисторе по схеме с ОИ.

Домашнее задание

1. Изучить самостоятельно методы построения нагрузочной прямой на семействе статических выходных характеристик транзистора, обратив особое внимание на способ проведения нагрузочной прямой через заданную точку.

2. Изучить методику графоаналитического расчета УНЗЧ с резистивной нагрузкой на БТ и ПТ (см. приложение 2).

3. Приготовить миллиметровую бумагу для перенесения из справочника графиков статических входных и выходных характеристик транзистора, заданного преподавателем.

Порядок выполнения практического задания

1. Получить у преподавателя индивидуальное задание, для выполнения практической работы (приложение 3), включающее в себя:

а) исходные данные для графического расчета УНЗЧ:

– тип транзистора и его маркировка (необходимые статические характеристики студент находит в справочной литературе);

– величину сопротивления нагрузки или величину ЭДС источника питания выходной цепи $E_{\text{вых}}$;

– положение (координаты) исходной рабочей точки 0 , определяющей режим работы транзистора при отсутствии переменного входного сигнала, которое задается в зависимости от типа транзистора (БТ или ПТ) значением постоянной составляющей входного тока $I_{\text{б0}}$ и напряжения на выходе $U_{\text{кэ0}}$ (для БТ) либо значениями постоянных напряжений на входе $U_{\text{зи0}}$ и выходе $U_{\text{си0}}$ (для ПТ);

– постоянное напряжение смещения на выходе транзистора $U_{\text{кэ0}}$ или $U_{\text{си0}}$;

– значение амплитуды входного тока $I_{\text{бэм}}$ или входного напряжения $U_{\text{зим}}$ переменного входного сигнала $U(t) = U_{\text{см}}\sin(\omega t)$;

б) электрические величины, которые требуется определить в результате графического расчета усилителя:

– постоянную составляющую выходного тока $I_{\text{к0}}$ или $I_{\text{с0}}$;

– амплитуду переменного выходного тока $I_{\text{км}}$ или $I_{\text{см}}$;

– амплитуду переменного выходного напряжения $U_{\text{кэм}}$ или $U_{\text{сэм}}$;

– амплитуду переменного входного напряжения $U_{\text{бэм}}$;

– коэффициент усиления входного тока K_i (только для БТ), напряжения K_u и мощности K_p ;

– средние значения входного $R_{\text{вх}}$ и выходного $R_{\text{вых}}$ сопротивлений транзистора;

– мощность полезного выходного сигнала $P_{\sim\text{вых}}$;

– мощность, выделяемую в режиме покоя на выходе транзистора P_k или P_c ;

– мощность, потребляемую от источника питания выходной цепи P_0 ;

– η – коэффициент полезного действия усилителя.

2. Привести электрическую схему УНЗЧ и на заготовленных на миллиметровой бумаге статических характеристиках транзистора провести необходимые графические построения с показом временных диаграмм входного тока $i_{\text{б}}(t)$ или входного напряжения $u_{\text{зи}}(t)$, выходного тока $i_{\text{к}}(t)$ или $i_{\text{с}}(t)$, выходного напряжения $u_{\text{кэ}}(t)$ или $u_{\text{си}}(t)$, иллюстрирующие работу заданного УНЗЧ на биполярном или полевом транзисторах.

Обработка результатов графических построений

1. По полученным в пункте 2 практического задания графикам и временным диаграммам определить указанные в пункте 1б необходимые электрические величины: $I_{кэтр}$; $U_{кэтр}$; $I_{ко}$; $U_{бэо}$; $U_{бэтр}$ (схема с ОЭ) или $I_{этр}$; $U_{сэтр}$; $I_{со}$ (схема с ОИ).
2. Пользуясь соответствующими математическими выражениями (см. приложение 2) и данными, полученными в пункте 1, рассчитать требуемые в задании электрические параметры схемы усилителя.

Содержание отчета

1. Наименование и цель практической работы.
2. Схему резистивного УНЗЧ на транзисторе.
3. Графики, временные диаграммы, иллюстрирующие графический метод расчета усилительной схемы.
4. Расчет электрических величин и параметров схемы.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы УНЗЧ на БТ по схеме с ОЭ.
2. Приведите уравнение нагрузочной прямой для БТ, работающего в режиме нагрузки, расскажите о методах ее построения. Для чего строят нагрузочную прямую?
3. Объясните, как изменится положение нагрузочной прямой, если изменить величину сопротивления нагрузки R_n , ЭДС источника питания $E_{вых}$
4. Объясните методику графоаналитического метода расчета резистивного УНЗЧ;
5. Расскажите, какой режим работы усилителя определяется исходной рабочей точкой?
6. Назовите достоинства и недостатки графоаналитического метода расчета усилительной схемы?

Методические указания

ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
РЕЗИСТИВНОГО УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЗВУКОВОЙ
ЧАСТОТЫ НА ТРАНЗИСТОРЕ ПО СХЕМЕ С ОЭ

Рабочим режимом (или режимом нагрузки) называют работу транзистора с нагрузочным сопротивлением в выходной цепи. Возможны два метода расчета транзистора в режиме нагрузки: аналитический и графоаналитический.

Графоаналитический метод анализа рабочего режима транзистора основывается на использовании его статических характеристик, на которых строятся характеристики режима нагрузки, учитывающие нелинейные свойства электронного прибора. Такой метод является точным, достаточно простым, его широко используют для наглядного представления работы транзистора в различных электрических схемах и их расчета. Особенно широко графоаналитический метод используется для расчета усилителей постоянного тока, ограничителей, усилителей напряжения и мощности звуковой частота. Однако, графические построения требует достаточно много времени, они громоздки, их трудно выполнить, если расчет усиления осуществляется при малых амплитудах колебаний входного сигнала. Простейшая схема такого усилителя приведена на рисунке 14.

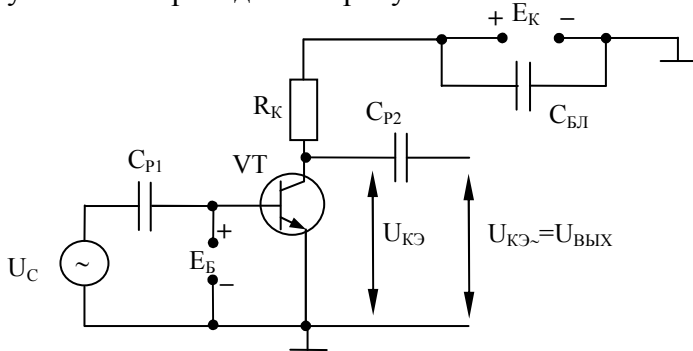


Рис.14. Схема УНЗЧ на БТ по схеме с ОЭ

Рассмотрим методику графоаналитического расчета резистивного усилителя напряжения звуковой частоты, работающего в классе А.

1. Графический расчет электрической схемы начинается с построения на статических выходных характеристиках заданного транзистора нагрузочной прямой $I_k = f(U_{кэ})$ при $E_k, R_k = \text{const}$, уравнение которой

$$I_k = \frac{E_k}{R_k} - \frac{1}{R_k} U_{кэ} \quad (1)$$

в системе координат $I_k, U_{кэ}$ представляет прямую линию, которую можно построить по двум точкам. Одной из них может являться исходная рабочая точка 0 с координатами $I_{б0}, U_{кэ0}$, указанными в исходных данных расчетного задания. Координаты точки 0 позволяют определить ее положение на графике выходной статической характеристики транзистора, снятой при $i_b = I_{б0}$ (рисунок 15). Для усилителя, работающего в классе А, начальное положение рабочей точки на нагрузочной прямой выбирают так, чтобы при подаче переменного входного сигнала u_c рабочие участки нагрузочной характеристики (А0 и 0В) были равны, тогда изменения тока выхода $i_k(t)$ будут пропорциональны изменениям тока $i_b(t)$. При этом через транзистор в отсутствие входного сигнала протекают большие токи покоя $I_{к0}, I_{б0}$ и, соответственно, К.П.Д. (η) усилительного каскада невелик (30-35%). Обычно в режиме А работают маломощные усилители с малыми нелинейными искажениями.

В качестве второй точки удобно выбрать точку N (рисунок 15) пересечения нагрузочной прямой с осью напряжений. Напряжение $U_{кэN}$ находят, исходя из условия, что ток коллектора в точке N $I_{кN} = 0$, следовательно, $U_{кэN} = E_k$. Значение E_k , необходимое для построения нагрузочной прямой, можно найти, пользуясь вторым законом Кирхгофа для выходной цепи (рисунок 14), по следующей формуле $E_k = I_{к0} R_k + U_{кэ0}$.

Неизвестное значение тока $I_{к0}$ определяется графически (рисунок 15), опустив перпендикуляр из точки 0 на ось ординат

I_K . Прямая линия, проведенная через точки 0 и N, и является нагрузочной прямой (выходной характеристикой режима нагрузки). Точки пересечения построенной прямой со статическими выходными характеристиками, снятыми при соответствующих значениях тока базы i_b , позволяют определить значение коллекторного тока и коллекторного напряжения для указанных значений тока базы i_b .

Отрезок, дополняющий падение напряжения на коллекторе $U_{KЭ}$ до величины E_K , определяет падение напряжения $U_{RК}$ на резисторе нагрузки.

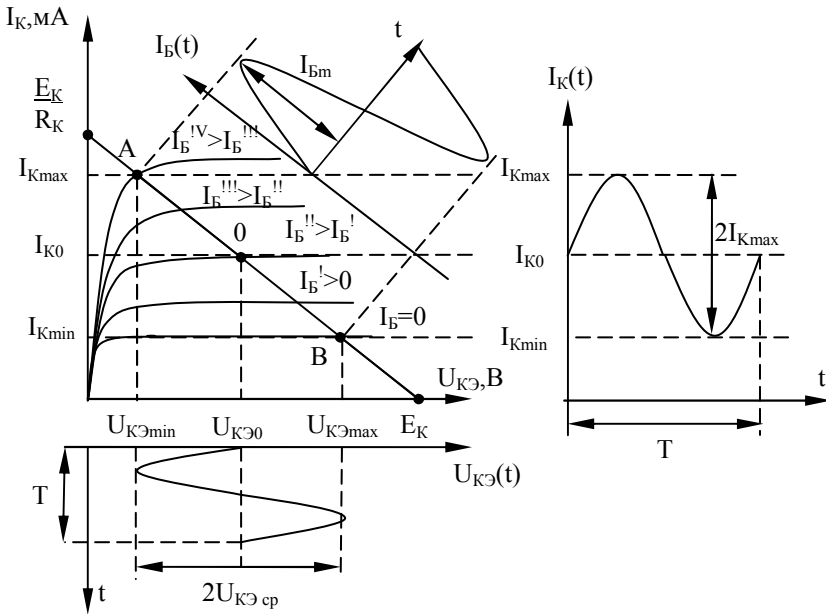


Рис.15. Графические построения на семействе статических выходных характеристик транзистора

2. Рабочий участок АВ нагрузочной прямой позволяет определить пределы измерения коллекторного тока и напряжения в схеме усилителя при воздействии синусоидального сигнала с амплитудой базового тока $I_{бМ}$ и находится исходя из условий расчетного задания. Точка А (верхняя граница рабочего участка) соответствует точке пересечения нагрузочной прямой со

статической выходной характеристикой, снятой при максимальны значенияи тока базы $i_{б\max} = I_{б0} + I_{бт}$, значения токов $I_{б0}$ и $I_{бт}$ заданы в исходных данных. На рисунке 15 $i_{б\max} = i_{бiv}$.

Точка В (нижняя граница рабочего участка) находится из условия пересечения нагрузочной прямой со статической выходной характеристикой, снятой при токе базы $i_{б\min} = I_{б0} - I_{бт}$. В рассматриваемом примере оказалось, что $i_{б\min} = i_{б0} = 0$ (рисунок 15) возможны и другие значения $i_{б\min}$.

Проецируя рабочие точки А и В на оси координат, определяем значение максимального $I_{к\max}$ и минимального $I_{к\min}$ коллекторного тока, а также максимального $U_{кэ\max}$ и минимального $U_{кэ\min}$ коллекторного напряжения. Проекции отрезков А0 и 0В на вертикальную и горизонтальную оси позволяют определить амплитуду положительной и отрицательной полуволн переменных составляющих коллекторного тока $i_k(t)$ и напряжения $U_{кэ}(t)$. Временные диаграммы коллекторного тока $i_k(t)$ и напряжения $U_{кэ}(t)$ приведены на рисунке 15. Если рабочий участок линейный, то усиление происходит без нелинейных искажений и переменные составляющие коллекторного тока и напряжения синусоидальны. В реальных условиях процесс усиления сопровождается нелинейными искажениями, поэтому значения амплитуд переменных составляющих коллекторного тока $I_{км}$ и коллекторного напряжения $U_{кэм}$ следует определять как средние:

$$I_{к\text{ср}} = \frac{I_{к\max} - I_{к\min}}{2} \text{ (mA)}, \quad (2)$$

$$U_{кэ\text{ср}} = \frac{U_{кэ\max} - U_{кэ\min}}{2} \text{ (В)}. \quad (3)$$

Значения $I_{к\max}$, $I_{к\min}$, $U_{кэ\max}$, $U_{кэ\min}$ определяется по графику рисунок 15.

3. Расчет электрических параметров усилителя проводится по следующим формулам:

1. Коэффициент усиления базового тока:

$$K_i = \frac{I_{\text{кэспр}}}{I_{\text{бт}}} \quad (4)$$

2. Коэффициент усиления входного напряжения:

$$K_u = \frac{U_{\text{кэспр}}}{U_{\text{бэспр}}} = \frac{I_{\text{кэспр}} \cdot R_{\text{к}}}{I_{\text{бт}} \cdot R_{\text{вхэ}}} = K_i \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{вхэ}}} \quad (5)$$

где $R_{\text{к}}$ - сопротивление нагрузки;

$R_{\text{вхэ}}$ - входное сопротивление транзистора в схеме с ОЭ.

3. Входное сопротивление транзистора в схеме с ОЭ:

$$R_{\text{вхэ}} = \frac{U_{\text{бэспр}}}{I_{\text{бт}}} \text{ (Ом)}, \quad (6)$$

где $U_{\text{бэспр}}$ - амплитуда входного напряжения, обеспечивающая получение заданной амплитуда входного тока $I_{\text{бт}}$.

Величину $U_{\text{бэспр}}$ можно приближенно определить графически по входной статической характеристике транзистора, снятой при $U_{\text{кэ}} = U_{\text{кэ0}}$ (рисунок 16), перенося значения токов базы $I_{\text{б0}}$, $i_{\text{бмакс}}$, $i_{\text{бмин}}$ на входную характеристику и получив точки $0'$; A' ; B' .

График входной характеристики приводится из справочника (рисунок 16).

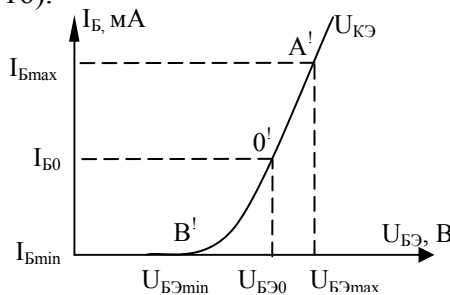


Рис.16. График входной характеристики транзистора

Проецируя точки А' и В' на ось напряжений, определяем значения базового максимального $U_{б\max}$ и минимального $U_{б\min}$ напряжений.

Тогда,

$$U_{б\text{ср}} = \frac{U_{б\max} - U_{б\min}}{2} (В). \quad (7)$$

4. Выходное сопротивление транзистора по схеме с ОЭ определяем по формуле:

$$R_{\text{выхЭ}} = \frac{U_{к\text{эср}}}{I_{к\text{ср}}} (\text{Ом}). \quad (8)$$

5. Коэффициент усиления по мощности определяется по формуле:

$$K_p = \frac{P_{\sim\text{вых}}}{P_{\sim\text{вх}}} = \frac{\frac{1}{2} I_{к\text{ср}} U_{к\text{эср}}}{\frac{1}{2} I_{б\text{м}} U_{б\text{эср}}} = K_i K_u, \quad (9)$$

где $P_{\sim\text{вых}} = \frac{1}{2} I_{к\text{ср}} U_{к\text{эср}}$ - мощность полезного сигнала на выходе усилителя;

$P_{\sim\text{вх}} = P_{\sim\text{сигн}} = \frac{1}{2} I_{б\text{м}} U_{б\text{эср}}$ - мощность полезного сигнала на входе усилителя.

6. Мощность, выделяемая в режиме покоя на коллекторе:

$$P_k = I_{ко} U_{кэо} (\text{Вт}). \quad (10)$$

Чтобы транзистор не вышел из строя, необходимо, чтобы определенная по формуле $10 P_k \leq P_{к\max}$ (значения $P_{к\max}$ смотреть в справочных данных). Если выше приведенные условия не выполняется, необходимо изменить режим работы транзистора и провести расчет схемы УНЗЧ повторно.

7. Мощность, потребляемая от источника коллекторного напряжения:

$$P_o = I_{ко} E_k (\text{Вт}) \quad (11)$$

8. Коэффициент полезного действия усилителя:

$$\eta = \frac{P_{\sim \text{ВЫХ}}}{P_o} \cdot 100(\%) \quad (12)$$

Приложение 3

№ п/п	Тран-зистор БТ	Данные для нахождения рабочей точки и построения нагрузочной прямой					Данные для расчета параметров БТ		
		$I_{К \text{ р.т.}}$ мА	$U_{КЭ \text{ р.т.}}$ В	$I_{Б \text{ р.т.}}$ мА	E_K В	R_H кОм	$I_{Б \text{ max}}$ мА	Найти	
1	П605А	250	8	найти	16	найти	2	$R_{ВХ}$	K_i
2	П607А	найти	12	1	найти	0,2	0,5	U_H	$R_{ВЫХ}$
3	КТ602А	найти	20	1	40	найти			
4	П701А	найти	20	15	40	найти	в Р.Т.	$R_{ВЫХ}$	P_K
5	КТ806А	найти	найти	40	25	10	10	P_K	
6	П609А	найти	20	1	40	найти	0,5	K_i	$R_{ВЫХ}$
7	П609А	120	найти	1,5	40	найти		$H_{22Э}$	
8	КТ803А	найти	найти	100	40	0,01	0,5	$R_{ВЫХ}$	P_K
9	МП38А	найти	5	0,2	10	найти	0,15	P_K	
10	МП42А	найти	5	найти	12	0,47	0,1	$R_{ВХ}$	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акимова Г.Н. Электронная техника/ Г.Н. Акимова. М.: Маршрут, 2003. 289 с.
2. Жеребцов И.П. Основы электроники/ И.П. Жеребцов. Л.: Энергоиздат, 1990. 352 с.
3. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника/ К.С. Петров. Питер.: 2004. 521 с.
4. Гусев В.Г. Электроника/ В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - М.: Высш. шк., 1991. 622 с.
5. Интегральные микросхемы: Справочник / под ред. Б.В. Тарабина. М.: Радио и связь, 1986.

Содержание

	Стр.
Лабораторная работа № 1	5
Лабораторная работа № 2	9
Лабораторная работа № 3	13
Лабораторная работа № 4	17
Лабораторная работа № 5	20
Лабораторная работа № 6	23
Лабораторная работа № 7	29
Практическая работа № 1	33
Практическая работа № 2	45
Библиографический список	54