

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

**ЭЛЕКТРОНИКА В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ И СИСТЕМАХ
(В задачах)**

В трех частях

ЧАСТЬ 2

Учебно-методическое пособие

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2012

УДК 621.38 (07)
ББК 31.264.53я73
Э455

Рецензент: С.И. Мурашкин, доцент кафедры ЭТКиС

Составители: Молодецкий Виктор Борисович, Архипцев Максим Геннадьевич, Федий Константин Сергеевич

Э455 Электроника в электротехнических комплексах и системах (в задачах). Ч. 2: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / сост. В.Б. Молодецкий, М.Г. Архипцев, К.С. Федий. – Электрон.дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – Систем.требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; AdobeReader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

В учебно-методическом пособии в начале каждой главы даны краткие теоретические сведения и сводка необходимых формул. Наиболее подробно изложен тот материал, который меньше освещен в литературе. Характеристики некоторых приборов даны в приложениях. Изложенный в пособии теоретический материал сопровождается примерами расчетов, способствующих лучшему усвоению курса.

Предназначено для бакалавров укрупненной группы направления 140400 «Энергетика и электротехника».

УДК 621.38 (07)
ББК 31.264.53я73

© Сибирский
федеральный
университет, 2012

Учебное издание

Подготовлено к публикации редакционно-издательским
отделом БИК СФУ

Подписано в свет 01.10.2012 г. Заказ 9649.
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391)206-21-49. E-mail rio@sfu-kras.ru
<http://rio.sfu-kras.ru>

Предисловие

Настоящее учебно-методическое пособие представляет собой сборник задач по курсу «Физические основы электротехники», читаемому в технических университетах и ВУЗах.

Предлагаемое учебно-методическое пособие предназначено для студентов изучающих электротехнику и основы электроники дневных, вечерних и заочных отделений. Для облегчения решения задач в начале каждой главы даны краткие теоретические сведения и сводка необходимых формул. Наиболее подробно изложен тот материал, который меньше освещен в литературе. Характеристики некоторых приборов даны в приложениях. Изложенный в пособии теоретический материал сопровождается примерами расчетов, способствующих лучшему усвоению курса.

В связи с вышеизложенным можно заключить, что данное учебно-методическое пособие «Электроника в электротехнических комплексах и системах в задачах. Часть 2», базирующегося на основах теории с преимущественным акцентом на наиболее важные прикладные разделы, окажется полезным большинству курсов электротехнической подготовки.

Общие сведения

С целью контроля усвоения учебного материала в соответствии с учебным планом, студентам предлагается выполнить расчетные задания.

Исходные данные к задачам сведены в таблицы. Они разбиты на столбцы, обозначенные символами А, В, С, и строки под номерами 0,1,2,...,9. Для выбора исходных данных необходимо определить номер строки, соответствующий номеру зачетной книжки, по следующему правилу:

Номером строки в столбце А является последняя цифра номера зачетной книжки, в столбце В – предпоследняя цифра, а в столбце С – младший разряд суммы последней и предпоследней цифр.

Например, номер Вашей зачетной книжки: 123456. номером строки в столбце А является 6, в столбце В – 5, в столбце С – 1 ($5+6=11$).

Номера строк в столбцах для всех задач одинаковы. Перед текстом решения первой задачи необходимо привести расчет номеров строк в столбцах по номеру Вашей зачетной книжки, а перед текстом решения каждой задачи четко выписать исходные данные.

Биполярные транзисторы и усилители на их основе

Биполярным транзистором называется электропреобразовательный полупроводниковый прибор, имеющий в своей структуре два взаимодействующих р-п-перехода и три внешних вывода, и предназначенный, в частности, для усиления электрических сигналов. Термин “биполярный” подчеркивает тот факт, что принцип работы прибора основан на взаимодействии с электрическим полем частиц, имеющих как положительный, так и отрицательный заряд, - дырок и электронов. В дальнейшем для краткости будем его называть просто - транзистором.

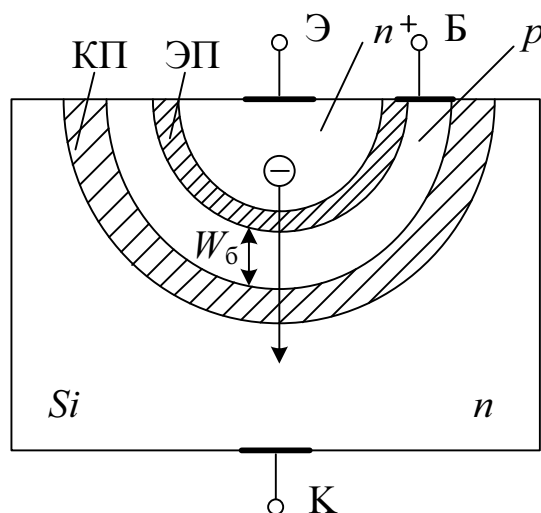


Рис . 1 – Структура транзистора

Структура транзистора, изготовленного по диффузионной технологии, приведена на рис . 1. Как видно из рисунка, транзистор имеет три области полупроводника, называемые его электродами, причем две крайние области имеют одинаковый тип проводимости, а средняя область - противоположный. Структура транзистора, приведенная на рис.1, называется *n-p-n*-структурой. Электроды транзистора имеют внешние выводы, с помощью которых транзистор включается в электрическую схему. Одна из крайних областей транзистора, имеющая наименьшие размеры, называется эмиттером (Э). Она предназначена для создания сильного потока основных носителей заряда (в данном случае электронов), пронизывающего всю структуру прибора (рис 1). Поэтому эмиттер характеризуется очень высокой степенью легирования ($N_{dэ} = 10^{19} - 10^{20} \text{ см}^{-3}$). Другая крайняя область транзистора, называемая *коллектором* (К), предназначена для собирания потока носителей, эмиттируемых эмиттером. Поэтому коллектор имеет наибольшие размеры среди областей транзистора. Легируется коллектор значительно слабее эмиттера (подробнее вопрос о выборе концентрации атомов примеси в коллекторе рассмотрен ниже). Средняя область транзистора называется *базой* (Б). Она предназначена для управления потоком носителей, движущихся из эмиттера в коллектор. Для уменьшения потерь электронов на рекомбинацию с дырками в базе ее ширина $W_б$ делается очень маленькой ($W_б \ll L_n$), а степень легирования - очень низкой - на 3...4 порядка ниже, чем у эмиттера ($N_{aб} \ll N_{dэ}$).

Между электродами транзистора образуются р-п-переходы. Переход, разделяющий эмиттер и базу, называется *эмиттерным переходом* (ЭП), а переход, разделяющий базу и коллектор, - *коллекторным переходом* (КП). С учетом резкой асимметрии эмиттерного перехода ($N_{d3} \gg N_{a6}$) он характеризуется односторонней инжекцией: поток электронов, инжектируемых из эмиттера в базу, значительно превосходит встречный поток дырок, инжектируемых из базы в эмиттер.

Режимы работы транзистора

В зависимости от того, в каких состояниях находятся переходы транзистора, различают режимы его работы. Поскольку в транзисторе имеется два перехода (эмиттерный и коллекторный), и каждый из них может находиться в двух состояниях (открытом и закрытом), различают четыре режима работы транзистора. Основным режимом является *активный режим*, при котором эмиттерный переход находится в открытом состоянии, а коллекторный - в закрытом. Транзисторы, работающие в активном режиме, используются в усилительных схемах. Помимо активного, выделяют *инверсный режим*, при котором эмиттерный переход закрыт, а коллекторный - открыт, *режим насыщения*, при котором оба перехода открыты, и *режим отсечки*, при котором оба перехода закрыты.

Наряду с транзисторами *n-p-n*- структуры, существуют транзисторы с симметричной ей *p-n-p*-структурой, в которых используется поток дырок. Условные обозначения *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторов, используемые в электрических схемах, приведены на рис.2.

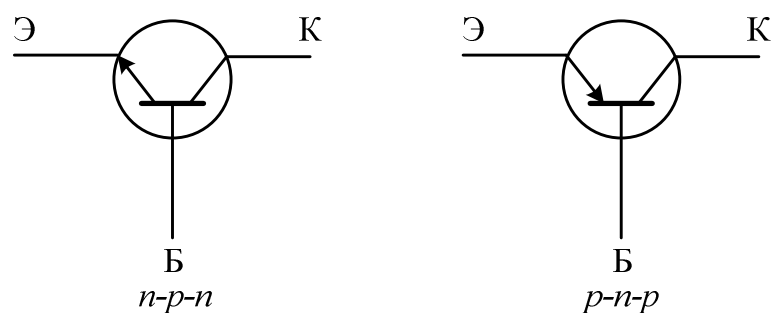


Рис.2 – Условные обозначения *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторов

Стрелка на выводе эмиттера показывает направление эмиттерного тока в активном режиме. Круг, обозначающий корпус дискретного транзистора, в изображении бескорпусных транзисторов, входящих в состав интегральных микросхем, не используется. Принцип работы *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторов одинаков, а полярности напряжений между их электродами и направления токов в цепях электродов противоположны. В современной

электронике наибольшее распространение получили транзисторы $n-p-n$ -структуры, которые, благодаря более высоким значениям подвижности и коэффициента диффузии электронов по сравнению с дырками ($m_n > m_p$; $D_n > D_p$), обладают большим усилением и меньшей инерционностью, чем транзисторы $p-n-p$ -структуры. Поэтому ниже рассматриваются именно $n-p-n$ -транзисторы.

Схемы включения биполярного транзистора

В большинстве электрических схем транзистор используется в качестве четырехполюсника, то есть устройства, имеющего два входных и два выходных вывода. Очевидно, что, поскольку транзистор имеет только три вывода, для его использования в качестве четырехполюсника необходимо один из выводов транзистора сделать общим для входной и выходной цепей. Соответственно различают три схемы включения транзистора: схемы с *общей базой* (ОБ), *общим эмиттером* (ОЭ) и *общим коллектором* (ОК). На рис. 2 показаны полярности напряжений между электродами и направления токов, соответствующие активному режиму в указанных схемах включения транзистора. Следует отметить, что токи транзистора обозначаются одним индексом, соответствующим названию электрода, во внешней цепи которого протекает данный ток, а напряжения между электродами обозначаются двумя индексами, причем вторым указывается индекс, соответствующий названию общего электрода (рис. 3). В схеме с общей базой (рис. 3,а) входной цепью является цепь эмиттера, а выходной - цепь коллектора.

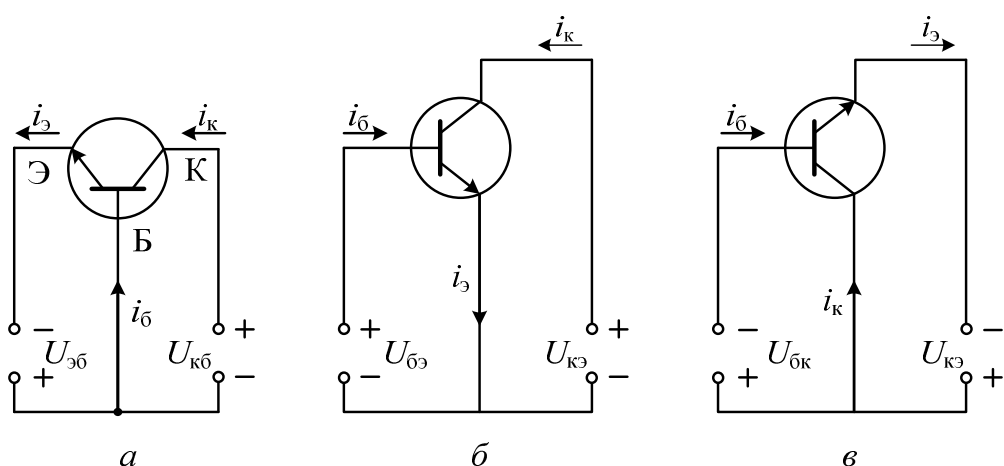


Рис. 3 – Схемы включения транзистора.

Схема ОБ наиболее проста для анализа, поскольку в ней каждое из внешних напряжений прикладывается к конкретному переходу: напряжение $U_{эб}$ прикладывается к эмиттерному переходу, а напряжение $U_{кб}$ - к коллек-

торному. Следует заметить, что падениями напряжений на областях эмиттера, базы и коллектора можно в первом приближении пренебречь, поскольку сопротивления этих областей значительно меньше сопротивлений переходов. Нетрудно убедиться, что приведенные на рисунке полярности напряжений ($U_{эб} < 0$; $U_{кб} > 0$) обеспечивают открытое состояние эмиттерного перехода и закрытое состояние коллекторного перехода, что соответствует активному режиму работы транзистора. В схеме с общим эмиттером (рис. 3, б) входной цепью является цепь базы, а выходной - цепь коллектора. В схеме ОЭ напряжение $U_{бэ} > 0$ прикладывается непосредственно к эмиттерному переходу и отпирает его. Напряжение $U_{кэ}$ распределяется между обоими переходами: $u_{кэ} = U_{кб} + U_{бэ}$. Для того, чтобы коллекторный переход был закрыт, необходимо $U_{кб} = U_{кэ} - U_{бэ} > 0$, что обеспечивается при $U_{кэ} > U_{бэ} > 0$. В схеме с общим коллектором (рис. 3, в) входной цепью является цепь базы, а выходной - цепь эмиттера.

Работа биполярного транзистора

Работа биполярного транзистора при любой схеме включения характеризуется четырьмя величинами: входным током $I_{вх}$, входным напряжением $U_{вх}$, выходным током $I_{вых}$ и выходным напряжением $U_{вых}$. В активном режиме связь между ними устанавливают статические характеристики. При этом два параметра принимают за независимые переменные. Мы будем рассматривать работу транзистора в системе h -параметров, в которой за независимые переменные принимаются входной ток $I_{вх}$ и выходное напряжение $U_{вых}$. Две другие величины – входное напряжение $U_{вх}$ и выходной ток $I_{вых}$ выражаются как функции независимых переменных. Отсюда следует, что работа транзистора описывается четырьмя семействами статических характеристик. Обычно пользуются двумя – входными и выходными. Эти характеристики для схемы с общим эмиттером (ОЭ) приведены на рисунках 4 и 5.

В режиме малого сигнала связь между четырьмя параметрами линейная, т.е.

$$\Delta U_{вх} = h_{11} \Delta I_{вх} + h_{12} \Delta U_{вых},$$

$$\Delta I_{вых} = h_{21} \Delta I_{вх} + h_{22} \Delta U_{вых}.$$

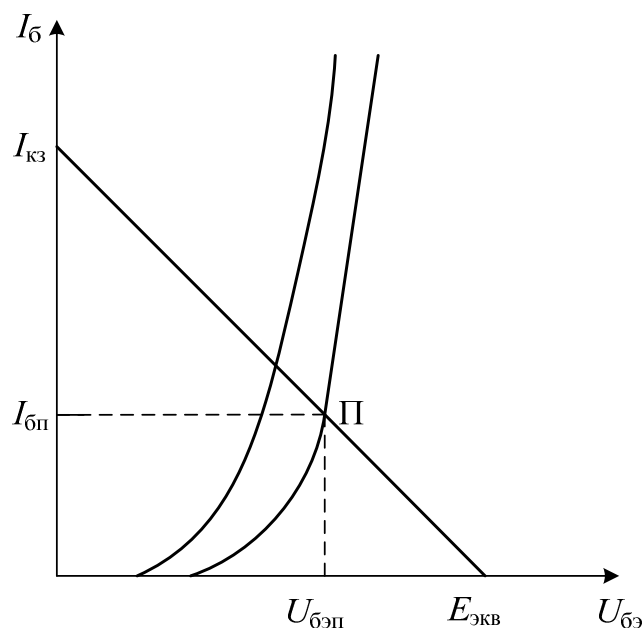


Рисунок 4 – Входные статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

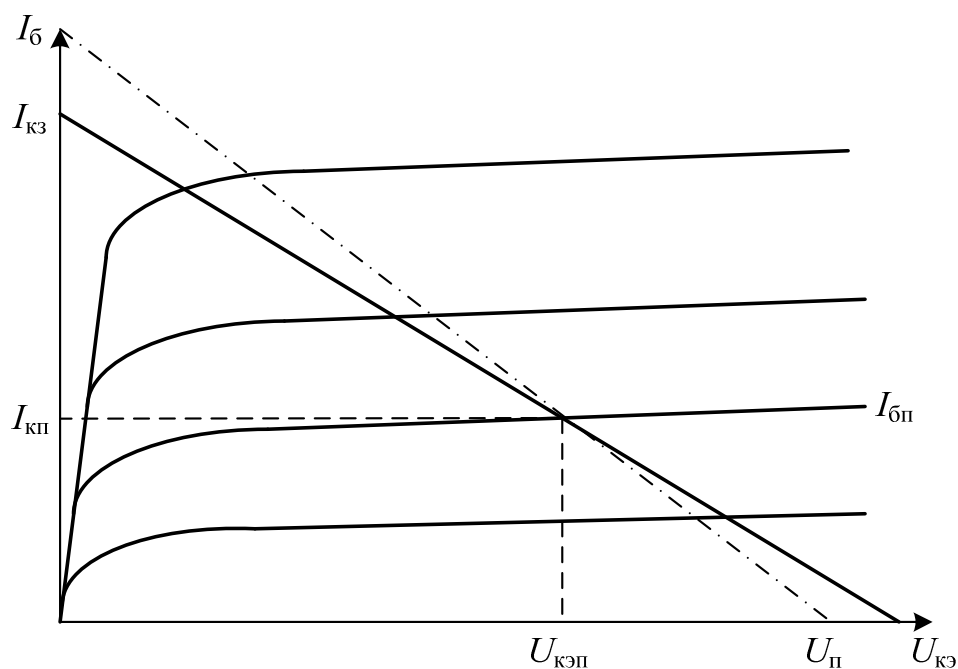


Рисунок 5 – Выходные статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

Коэффициенты в этом разложении – h -параметры – также характеризуют работу транзистора. Значения h -параметров зависят от схемы включения транзистора и от положения точки покоя на статических характеристиках транзистора. Точка покоя определяется значениями параметров $I_{вх}$, $U_{вх}$, $I_{вых}$, $U_{вых}$ в отсутствии входного сигнала.

Режим работы усилителя определяется положением точки покоя Π на статических характеристиках транзистора (рисунок 4, 5, 6) и величиной амплитуды входного сигнала.

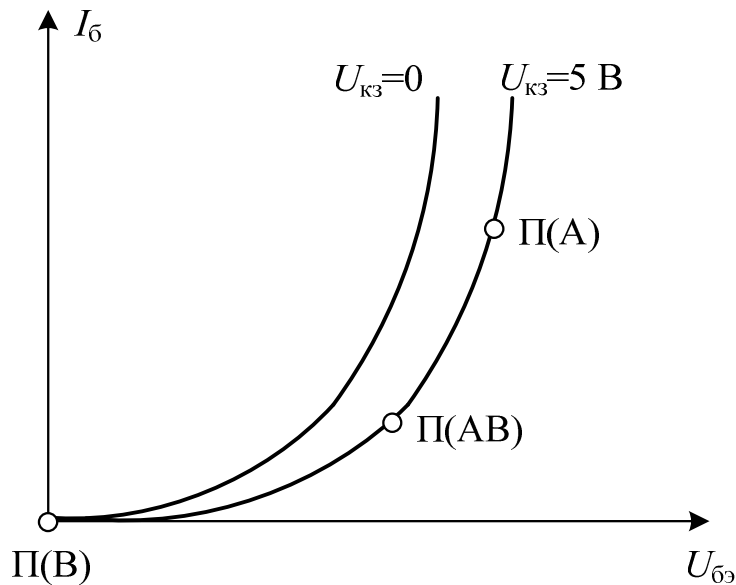


Рисунок 6 – Резисторный усилительный каскад

Будем считать, что входной сигнал описывается гармонической функцией типа $U_{\text{вх}} = U_{\text{вх.м}} \sin \omega t$, где $U_{\text{вх.м}}$ - его амплитуда, а ω – частота.

При работе усилителя в режиме класса А точка покоя находится на линейном участке входной характеристики, а амплитуда входного сигнала такова, что транзистор все время остается в активном режиме.

При работе усилителя в режиме класса В точка покоя лежит в области отсечки (рисунок 6), а амплитуда входного сигнала такова, что транзистор не входит в насыщение. При этом транзистором усиливается только одна полуволна входного сигнала. Чтобы усилить вторую полуволну, для усилителей в режиме класса В используется двухтактная схема с двумя транзисторами, работающими в противофазе. Наличие «зон умолчания» и нелинейного участка на входных характеристиках приводят к значительным искажениям формы сигнала в таких усилителях. Для устранения этих искажений используют режим класса АВ: точку покоя выбирают в начале линейного участка входной характеристики. При этом токи покоя составляют примерно 10% от их амплитудных значений.

При работе усилителя в режиме класса D (режиме ключа) точка покоя тоже лежит в области отсечки, а большой входной сигнал переводит транзистор в насыщение.

Точка покоя биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (режим класса А)

Для усилителя переменного тока (рисунок 7), работающего в режиме класса А, точку покоя удобно определять, заменив схему эквивалентной (рисунок 8). При этом

$$E_{\text{экв}} = \frac{U_{\text{п}} R_{\text{б2}}}{R_{\text{б1}} + R_{\text{б2}}}, \quad (1)$$

$$R_{\text{б}} = \frac{R_{\text{б1}} \cdot R_{\text{б2}}}{R_{\text{б1}} + R_{\text{б2}}}. \quad (2)$$

Чтобы определить ток базы покоя $I_{\text{бп}}$ и напряжение $U_{\text{бэп}}$, запишем 2-ой закон Кирхгофа для входной цепи транзистора:

$$E_{\text{экв}} = I_{\text{бп}} \cdot R_{\text{б}} + U_{\text{бэп}} + I_{\text{эп}} \cdot R_{\text{э}}, \quad (3)$$

или, учитывая связь между токами базы и эмиттера:

$$E_{\text{экв}} = I_{\text{бп}} \cdot R_{\text{б}} + U_{\text{бэп}} + (1 + h_{21э}) \cdot I_{\text{бп}} \cdot R_{\text{э}}. \quad (4)$$

Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ считаем известным.

Уравнение (2.4) – это уравнение нагрузочной прямой, которую можно построить в плоскости входных характеристик транзистора (рисунок 3). При этом:

$$U_{\text{xx}} = E_{\text{экв}} \quad I_{\text{кз}} = \frac{E_{\text{экв}}}{R_{\text{б}} + (1 + h_{21э}) \cdot R_{\text{э}}} \quad (5)$$

Точка пересечения нагрузочной прямой с правой (соответствующей активному режиму) характеристикой дает значение $I_{\text{бп}}$, $U_{\text{бэп}}$.

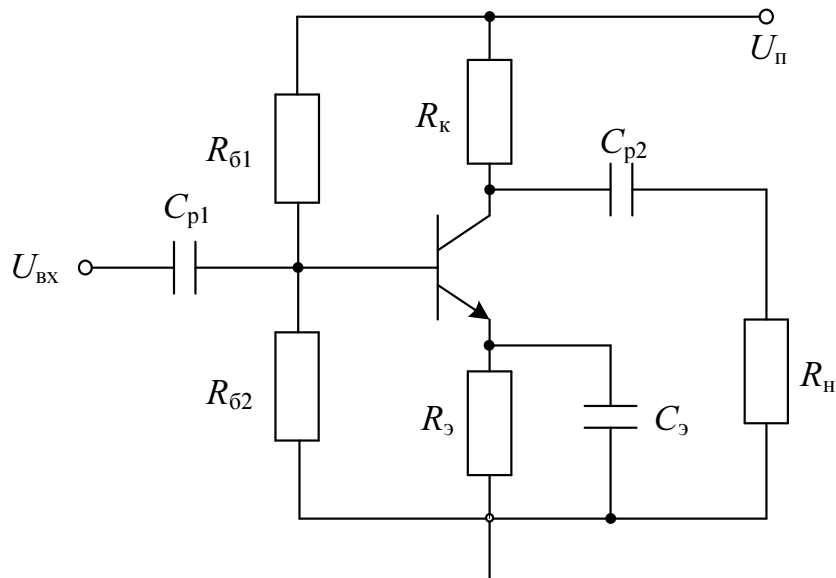


Рисунок 7 – Схема резисторного усилителя для определения точки покоя

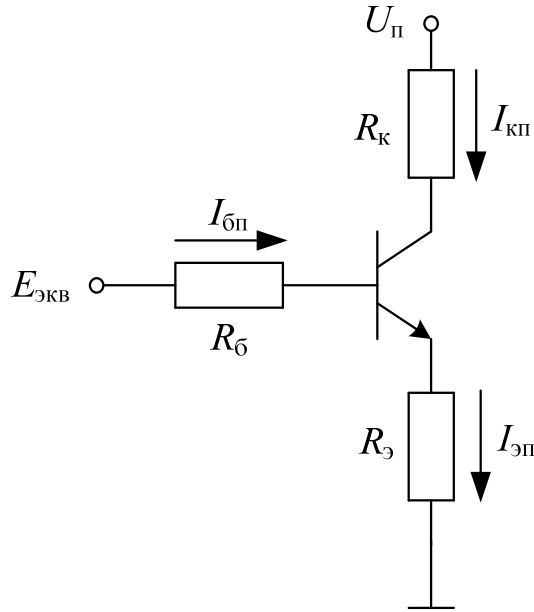


Рисунок 8 – Эквивалентная схема резисторного усилителя для определения точки покоя

Для определения выходных параметров покоя $I_{кп}$ и $U_{кэп}$ запишем 2-ой закон Кирхгофа для выходной цепи транзистора

$$U_{п} = I_{кп} \cdot R_{к} + U_{кэп} + I_{эп} \cdot R_{э}. \quad (6)$$

Величины $I_{кп}$ и $U_{кэп}$ можно определить аналитически, используя связь

$$I_{кп} = h_{21э} \cdot I_{бп}, \quad (7)$$

откуда

$$U_{кэп} = U_{п} - I_{кп} \cdot R_{к} - (I_{кп} + I_{бп}) \cdot R_{э}. \quad (8)$$

Однако часто точное значение параметра $h_{21э}$ неизвестно, поэтому точнее $I_{кп}$ и $U_{кэп}$ можно определить, построив нагрузочную прямую в плоскости выходных характеристик транзистора. Точки пересечения этой прямой с осями координат определяются формулами

$$U_{xx} = U_{п} \quad I_{кз} = \frac{U_{п}}{R_{к} + (1 + \frac{1}{h_{21э}}) \cdot R_{э}} \quad (9)$$

Учитывая, что $h_{21э} \gg 1$, с хорошей точностью можно считать, что

$$I_{кз} = \frac{U_{п}}{R_{к} + R_{э}} \quad (9 a)$$

Положение точки покоя определяется по пересечению нагрузочной прямой с характеристикой, соответствующей току $I_{\text{бп}}$ (рисунок 4)

Задача 1. Определить точку покоя резисторного усилителя (рисунок 4) на транзисторе КТ 3176 А9, если $U_{\text{п}} = 5 \text{ В}$, $R_{\text{к}} = 4 \text{ Ом}$, $R_{\text{э}} = 1 \text{ Ом}$, $R_{\text{б1}} = 300 \text{ Ом}$, $R_{\text{б2}} = 200 \text{ Ом}$, $h_{21\text{э}} = 90$. Характеристики транзистора приведены в приложении П. Определить дифференциальный параметр $h_{11\text{э}}$ в точке покоя.

Решение. Определим параметры эквивалентной схемы $E_{\text{экв}}$ и $R_{\text{б}}$ (рисунок 8). Согласно формулам (1) и (2)

$$E_{\text{экв}} = \frac{5 \text{ В} \cdot 200 \text{ Ом}}{300 \text{ Ом} + 200 \text{ Ом}} = 2 \text{ В},$$

$$R_{\text{б}} = \frac{300 \text{ Ом} \cdot 200 \text{ Ом}}{300 \text{ Ом} + 200 \text{ Ом}} = 120 \text{ Ом}.$$

Координаты пересечения нагрузочной прямой с осями в плоскости входных характеристик определяются по формулам (5):

$$U_{\text{xx}} = 2 \text{ В} \qquad I_{\text{кз}} = \frac{2 \text{ В}}{200 \text{ Ом} + 91 \cdot 1 \text{ Ом}} = 9,48 \text{ мА}.$$

Построив нагрузочную прямую в плоскости входных характеристик, найдем точку ее пересечения с характеристикой ($U_{\text{кз}} = 5 \text{ В}$): $I_{\text{бп}} = 5,7 \text{ мА}$; $U_{\text{бэп}} = 0,77 \text{ В}$. Параметр $h_{11\text{э}}$, или входное сопротивление транзистора, определяется так же, как дифференциальное сопротивление диода. Проводится касательная к входной характеристике транзистора, а $h_{11\text{э}}$ определяется как отношение катетов треугольника, образованного касательной и любыми двумя прямыми, параллельными осям координат:

$$h_{11\text{э}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0,07 \text{ В}}{10 \text{ мА}} = 7 \text{ Ом}$$

Точки пересечения нагрузочной прямой с осями координат в плоскости выходных характеристик определяются по формулам (9) и (9 а):

$$U_{\text{xx}} = 5 \text{ В} \qquad I_{\text{кз}} = \frac{5 \text{ В}}{4 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Нагрузочная прямая пересекает семейство выходных характеристик в разных точках, каждая из которых соответствует определенному значению базового тока. Искомое графическое решение должно соответствовать пересечению нагрузочной прямой с характеристикой, отвечающей значению тока

базы $I_{\text{бп}} = 5,7 \text{ мА}$. Такой кривой на выходных характеристиках **рис. П.3** нет. Поэтому следует провести эту кривую самостоятельно. Она должна проходить между кривыми $I_{\text{б}} = 4 \text{ мА}$ и $I_{\text{б}} = 6 \text{ мА}$. Если принять линейную аппроксимацию, то эта кривая должна лежать примерно на удалении $1/6$ части от кривой $I_{\text{б}} = 6 \text{ мА}$ и на удалении $5/6$ частей от $I_{\text{б}} = 4 \text{ мА}$. (За единицу принимается расстояние между соседними кривыми $I_{\text{б}} = 4 \text{ мА}$ и $I_{\text{б}} = 6 \text{ мА}$). Положение искомой точки покоя изображено на **рис. П.3 б)** кружком. Ей отвечают значения $I_{\text{кп}} = 540 \text{ мА}$ и $U_{\text{кп}} = 2,25 \text{ В}$.

Можно проверить полученные значения выходных параметров по формулам (7) и (8):

$$I_{\text{кп}} = 4 \text{ Ом} \cdot 90 = 513 \text{ мА},$$

$$U_{\text{кп}} = 5 - 0,513 \cdot 5 = 2,4 \text{ В}$$

Выходные параметры, полученные двумя разными способами, совпадают с точностью до $\approx 7,5\%$. Погрешность связана с неточностью графического решения, а также с тем, что статический коэффициент $h_{21\text{э}}$ зависит от тока коллектора.

Задача 2. Определить точку покоя резисторного усилителя (рисунок 7 и рисунок 8) на транзисторе. Исходные данные приведены в таблице 1. Характеристики транзистора приведены в приложении. Определить дифференциальный параметр $h_{1\text{э}}$ в точке покоя.

Таблица 1

Символ столбца	А		В		С		
Номер строки	Тип транзистора	$U_{\text{п}}, \text{ В}$	$R_{\text{к}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{э}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{б1}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{б2}}, \text{ Ом}$	$h_{21\text{э}}$
0	КТ313А	10	22	0,5	500	300	170
1	КТ315Г	12	17	0,6	800	500	190
2	КТ337Б	16	8	0,7	450	150	150
3	КТ342А	18	15	0,8	650	400	160
4	КТ345Б	24	7	0,9	700	450	140
5	КТ347А	16	14	1	400	200	155
6	КТ349Б	8	6	0,5	850	600	165
7	КТ350А	11	17	0,6	500	250	185
8	КТ351А	15	12	0,7	550	300	180
9	КТ357А	13	11	0,8	250	100	175

Задача 3 Резисторный усилитель собран на транзисторе 2Т 860 А по схеме рисунка 8. Рассчитать сопротивления $R_{\text{б1}}$ и $R_{\text{б2}}$, обеспечивающие точ-

ку покоя с параметрами $I_{кп} = 0,8 \text{ А}$; $U_{кэп} = 6 \text{ В}$. Известно, что ток через сопротивление R_{61} в режиме покоя в 5 раз больше тока $I_{6п}$, $U_{п} = 10 \text{ В}$, а $R_3 = 1 \text{ Ом}$. Характеристики транзистора приведены в приложении П.

Решение. Определим все параметры режима покоя транзистора. По графику рисунок П находим: из выходной характеристики $I_{6п} = 6 \text{ мА}$: из входной характеристики $U_{бэп} = 0,95 \text{ В}$.

Потенциал базы транзистора равен

$$U_{6п} = U_{бэп} + I_{эп} \cdot R_3 = U_{бэп} + (I_{кп} + I_{6п}) \cdot R_3 = 0,95 + (0,8 + 0,006) \cdot 1 \approx 1,75 \text{ В}$$

Ток через сопротивление R_{61} , согласно условию,

$$I_{R61} = 5 \cdot I_{6п} = 30 \text{ мА}$$

Сопротивление R_{61} определяется по закону Ома для участка цепи:

$$R_{61} = \frac{U_{п} - U_{6п}}{I_{R61}} = \frac{10 - 1,75}{0,03} = 275 \text{ Ом}$$

Для определения сопротивления R_{62} нужно знать ток I_{R62} , протекающий по этому сопротивлению в режиме покоя. Этот ток определим согласно 1-му закону Кирхгофа:

$$I_{R62} = I_{R61} - I_{6п} = 30 - 6 = 24 \text{ мА}.$$

Теперь можно найти R_{R62} :

$$R_{62} = \frac{U_{6п}}{I_{R62}} = \frac{1,75}{0,024} = 73 \text{ Ом}.$$

Задача 4 Резисторный усилитель собран на транзисторе, по схеме рисунка 7 и рисунка 8. Рассчитать сопротивления R_{61} и R_{62} . Известно, что ток через R_{61} в режиме покоя в n раз больше тока $I_{6п}$. Характеристики транзистора приведены в приложении П. Исходные данные приведены в таблице 2.2.

Символ столбца	А		В		С	
Номер строки	Тип транзистора	$U_{бэп}, В$	$U_{кэп}, В$	$U_{п}, В$	$R_э, Ом$	n
0	КТ313А	0,7	20	45	120	5
1	КТ315Г	0,6	23	41	150	6
2	КТ337Б	0,5	24	37	100	7
3	КТ342А	0,8	25	42	85	5,5
4	КТ345Б	0,75	21	40	125	6,5
5	КТ347А	0,65	22	39	130	7,5
6	КТ349Б	0,55	28	36	145	5
7	КТ350А	0,85	29	35	95	6
8	КТ351А	0,7	30	37	90	7
9	КТ357А	0,6	27	44	105	5,5

Приложение:

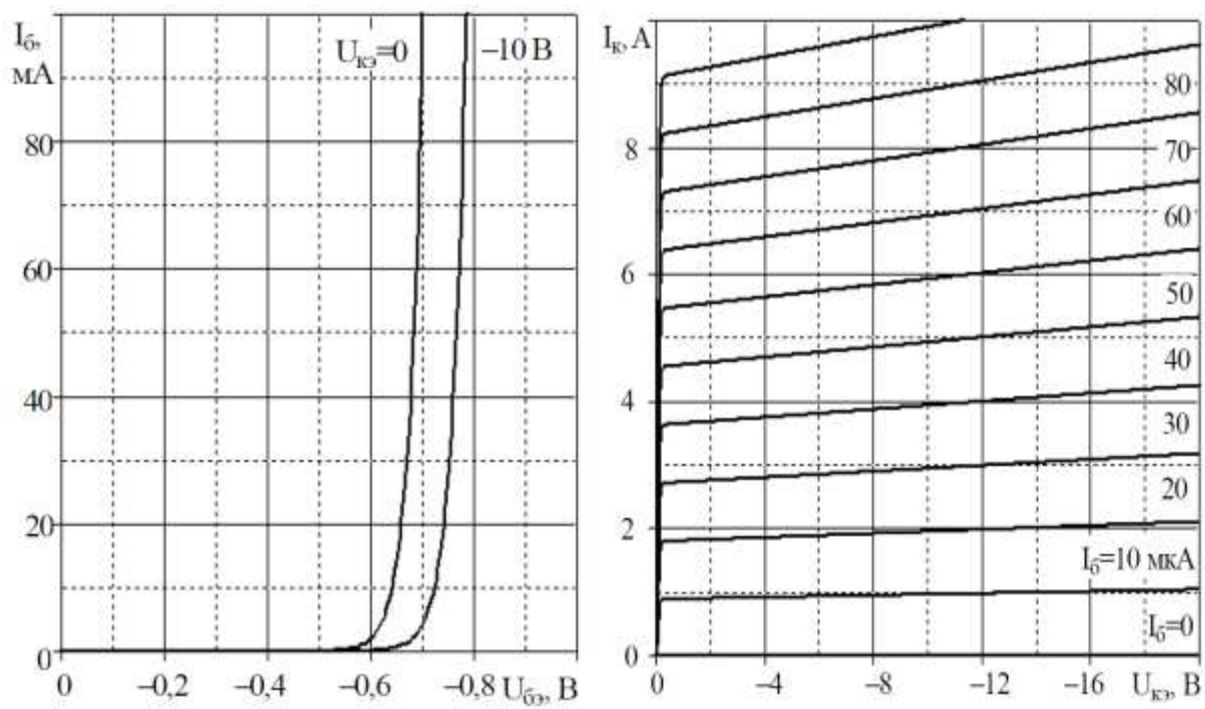


Рисунок П.1 – Характеристики транзистора КТ313А

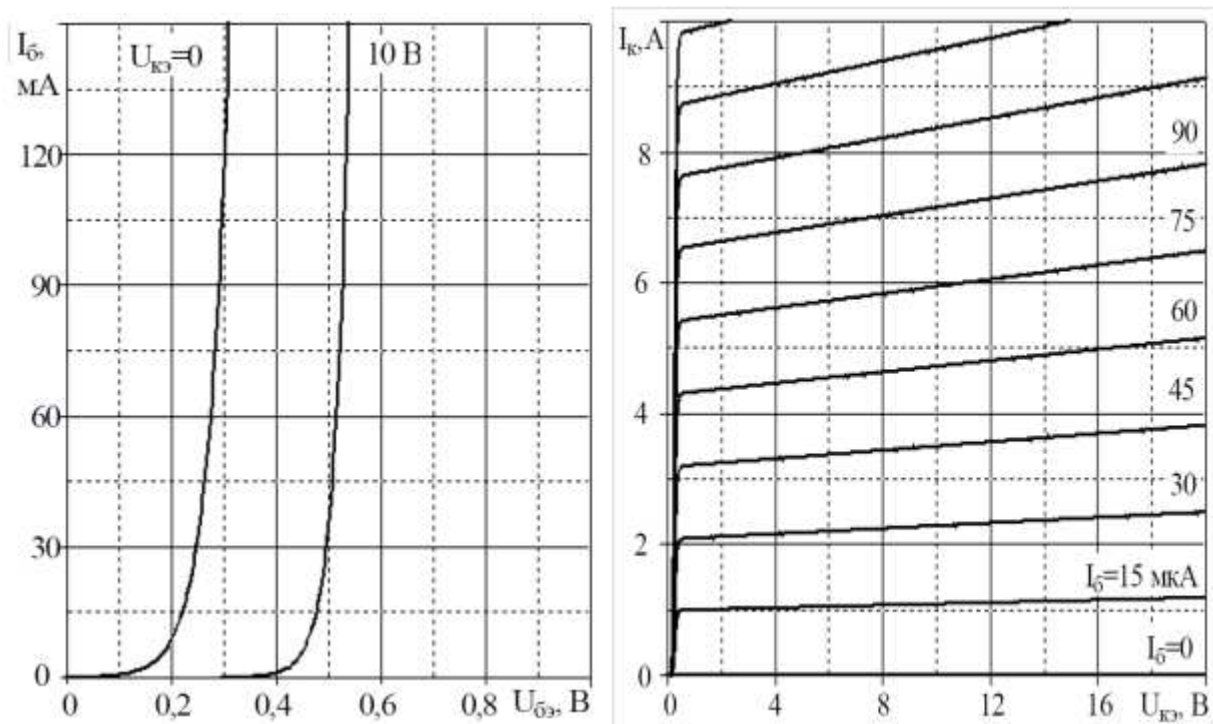


Рисунок П.2 – Характеристики транзистора КТ315Г

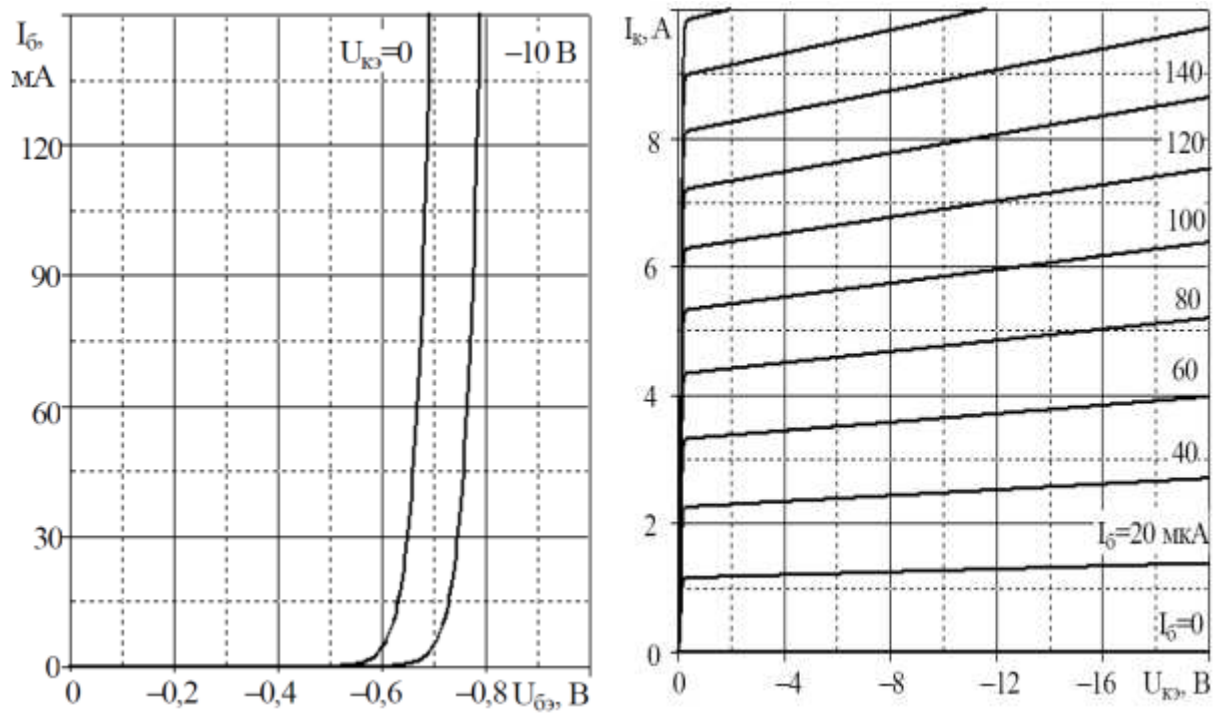


Рисунок П.3 – Характеристики транзистора КТ337Б

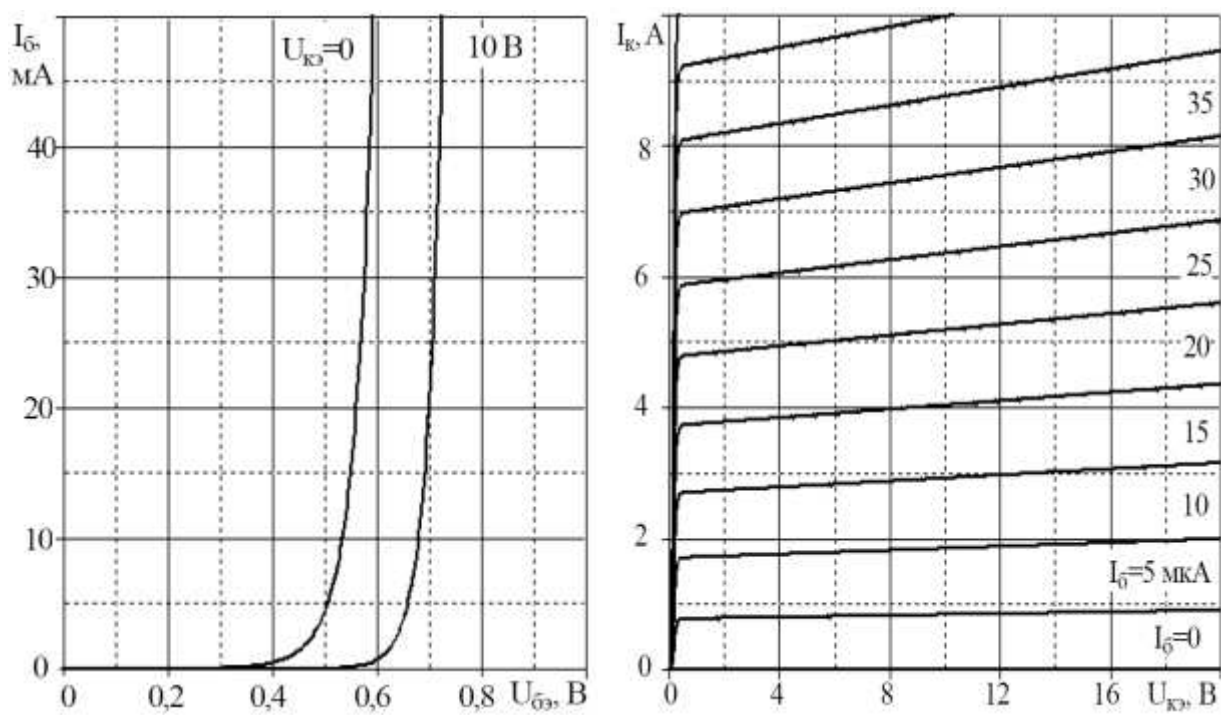


Рисунок П.4 – Характеристики транзистора КТ342А

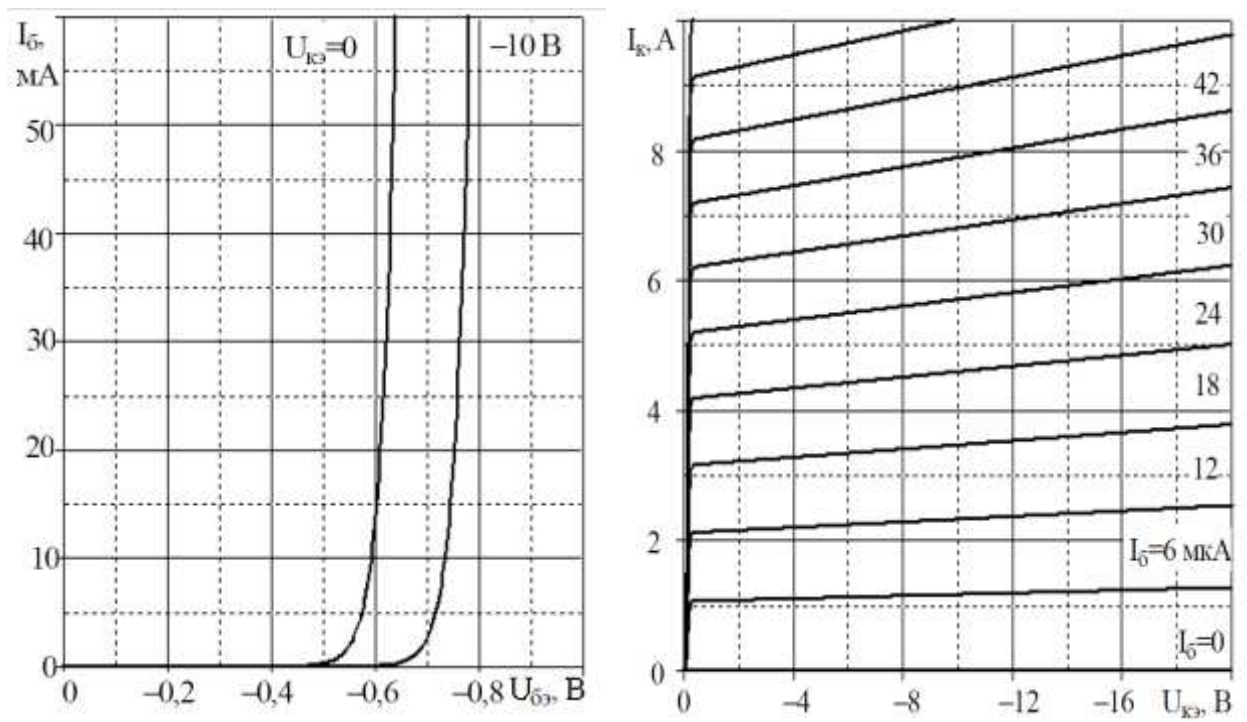


Рисунок П.5 – Характеристики транзистора КТ345Б

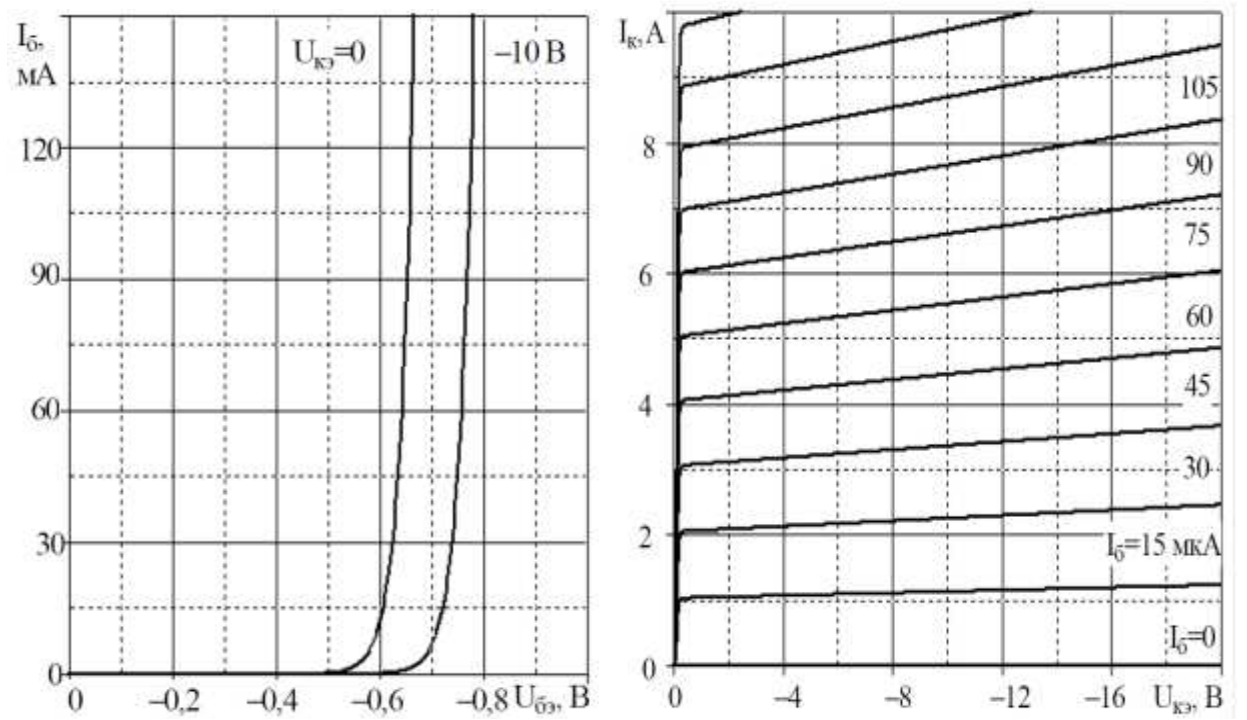


Рисунок П.6 – Характеристики транзистора КТ347А

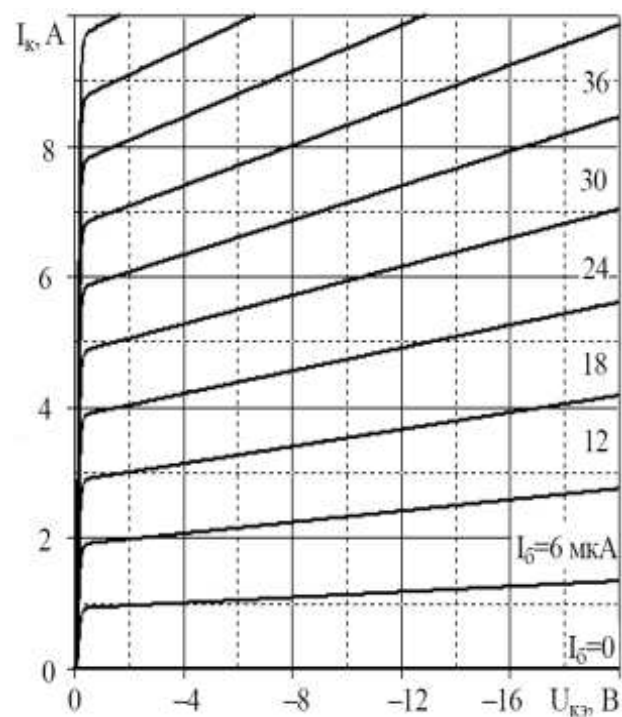
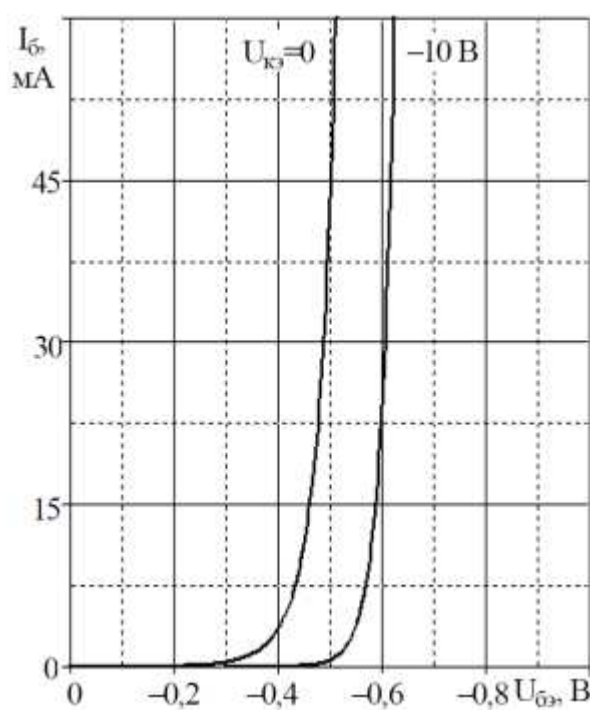


Рисунок П.7 – Характеристики транзистора КТ349Б

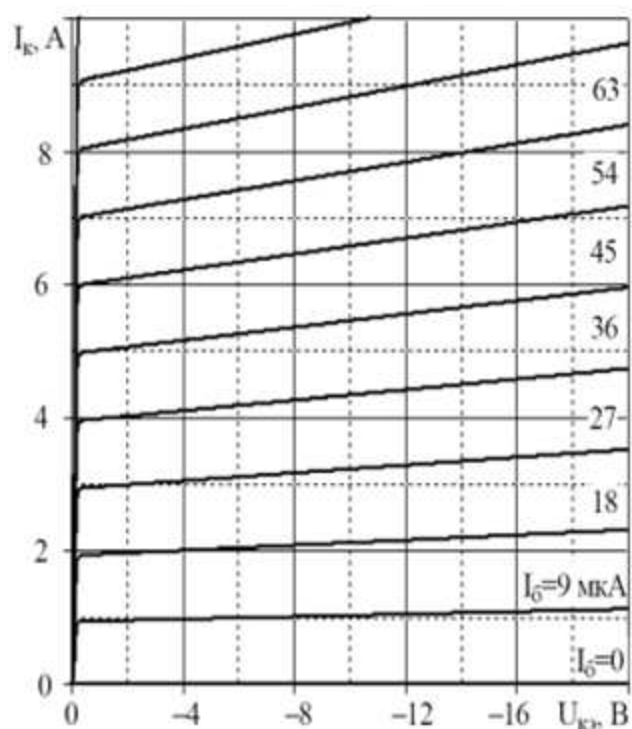
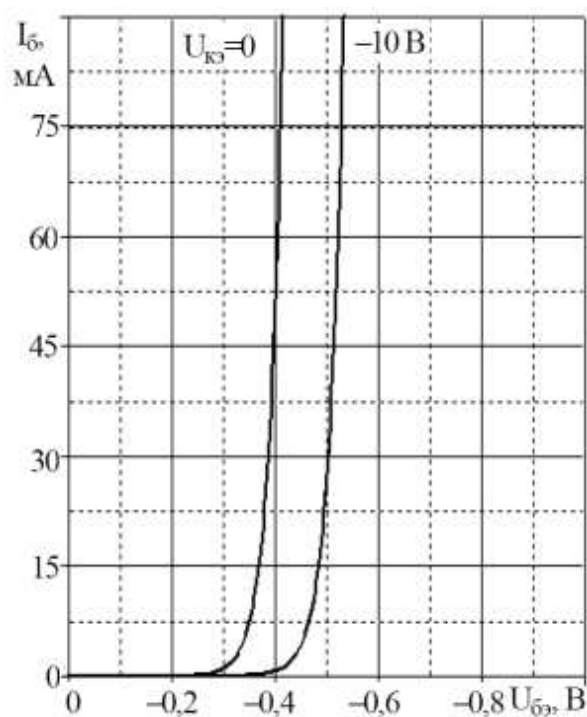


Рисунок П.8 – Характеристики транзистора КТ350А

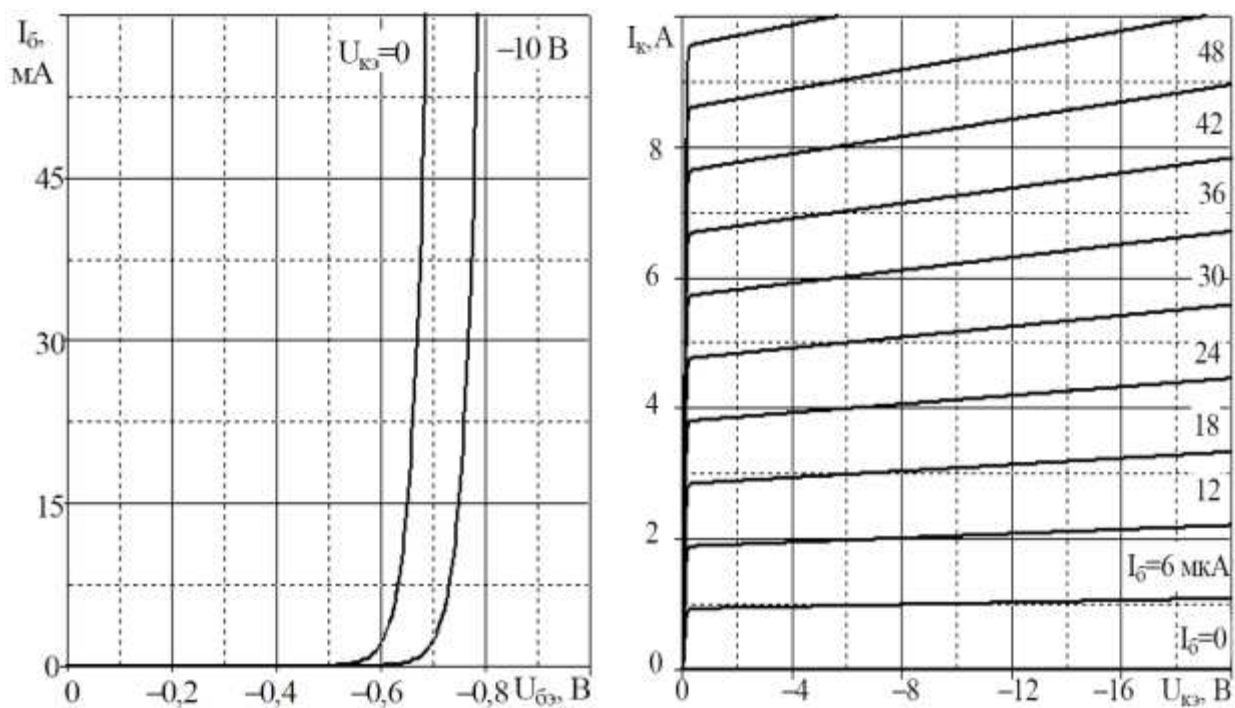


Рисунок П.9 – Характеристики транзистора КТ351А

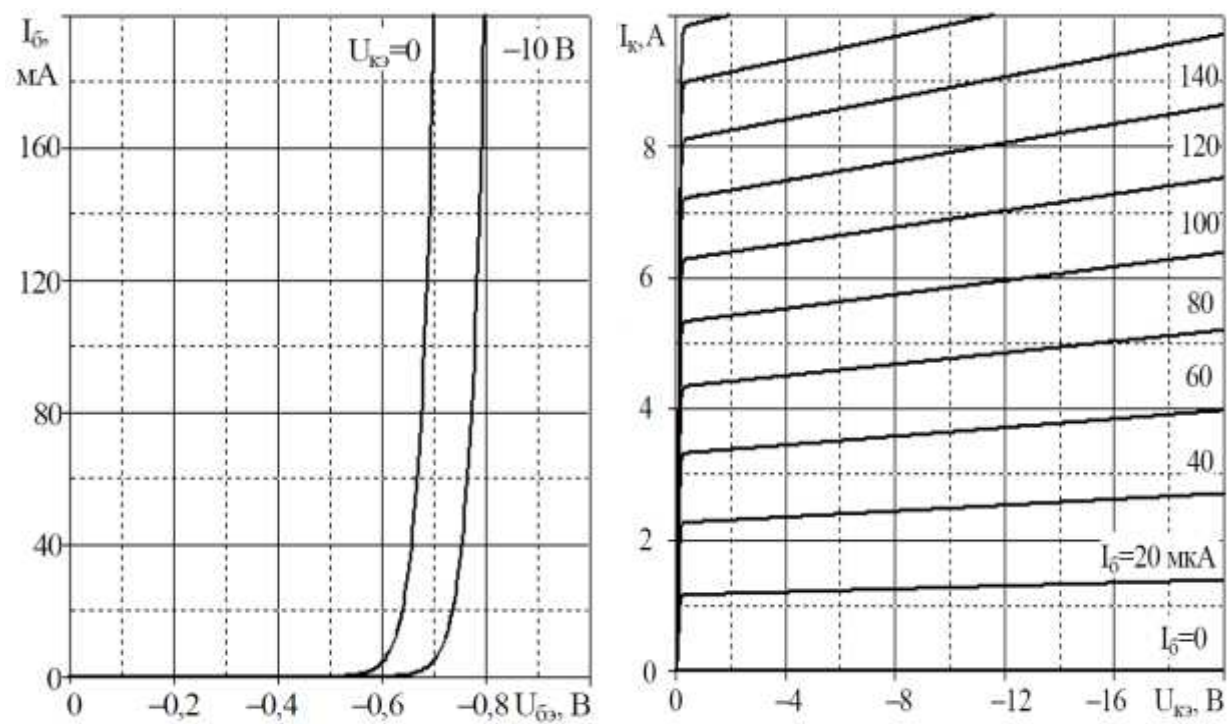


Рисунок П.10 – Характеристики транзистора КТ357А

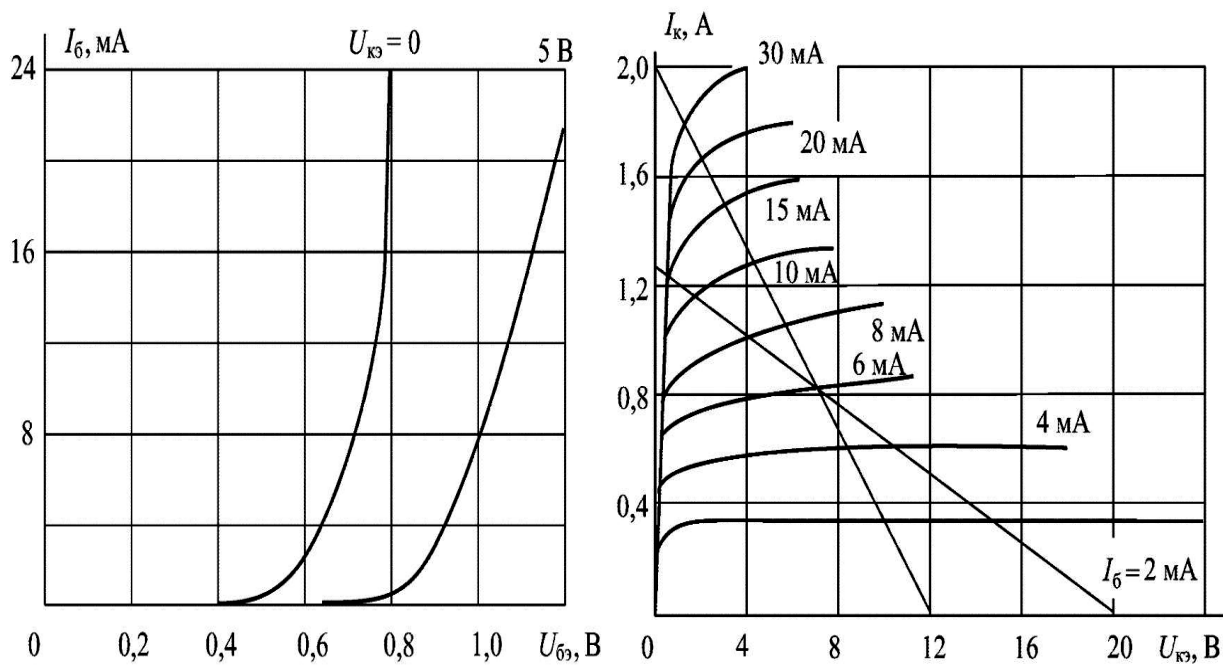


Рисунок П.11 – Характеристики транзистора 2Т 860 А

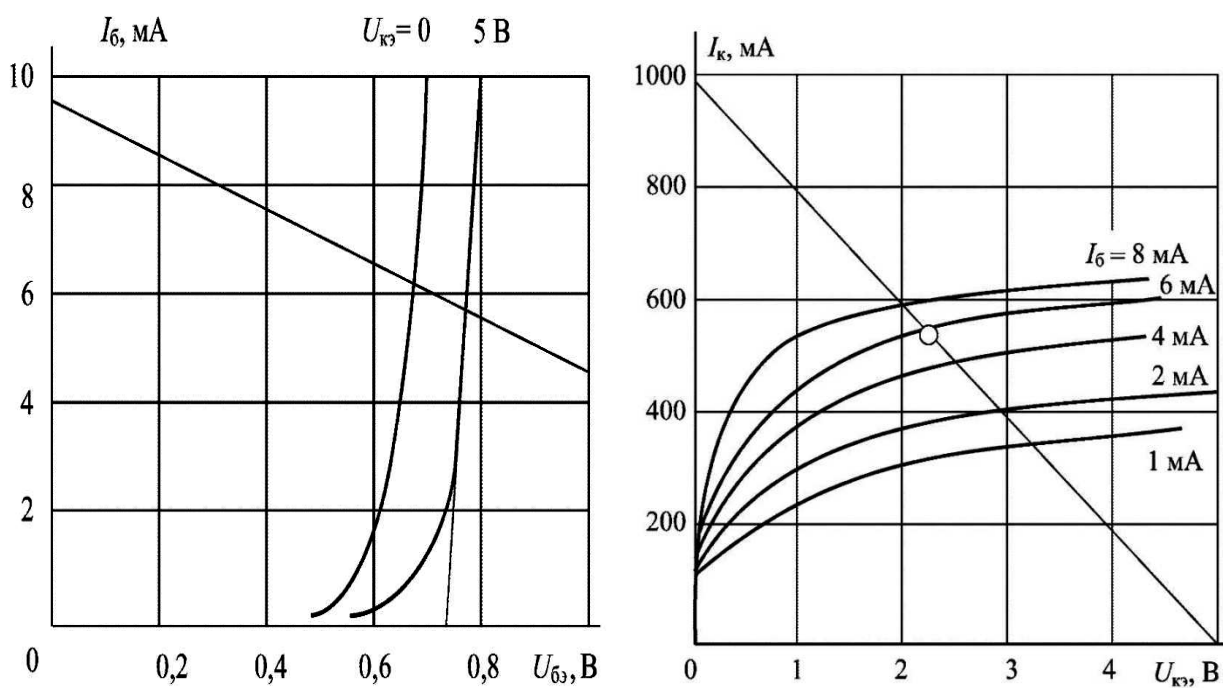


Рисунок П.12 – Характеристики транзистора КТ 3176 А9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Р. Залялеев, В.М. Скрипников. – Микроэлектронные устройства систем управления. Аналоговые устройства управления. Красноярск, 1986 г.
2. Ю.А. Браммер, И.Н. Пащук. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Высшая школа, 2002 г.
3. С.Г. Калашников. Электричество. – М.: Физматлит, 2003 г.
4. Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. Сборник задач по полупроводниковой электронике. – М.: Физматлит, 2006 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Общие сведения	4
1. Биполярные транзисторы и усилители на их основе	6
2. Режимы работы транзистора	6
3. Схемы включения биполярного транзистора	7
4. Работа биполярного транзистора	8
5. Точка покоя биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (режим класса А)	10
Приложение	17
Список литературы	23