

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области
Областное государственное автономное
профессиональное образовательное учреждение
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено
цикловой комиссией
Протокол заседания № 1
от «31» августа 2020 г.
Председатель цикловой комиссии
_____ / Чобану Л.А./

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
учебной дисциплины
ОП.03 Электронная техника
по специальности
27.02.05 Системы и средства диспетчерского управления
квалификация
техник

Разработчик:
преподаватель
ОГАПОУ «Белгородский
индустриальный колледж»
Литвишков Н.А.

Белгород 2020 г.

Содержание

	Стр.
1. Пояснительная записка	3
1.1. Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи. Место практических работ в курсе дисциплины	3
1.2. Организация и порядок проведения практических работ	3
1.3. Общие указания по выполнению практических работ	3
1.4. Критерии оценки результатов выполнения практических работ	3
2. Тематическое планирование практических работ	4
3. Содержание практических работ	6
Практическая работа №1 Определение параметров биполярного и полевого транзистора по характеристикам.	6
Практическая работа № 2 Маркировка ИМС, структурные схемы аналоговых и цифровых ИМС.	17
Практическая работа № 3 Расчет каскада предварительного усиления.	22
4. Информационное обеспечение обучения	31

1. Пояснительная записка

1.1. Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи. Место практических работ в курсе дисциплины

Дисциплина ОП.03 «Электронная техника» является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО **27.02.05 Системы и средства диспетчерского управления**. Дисциплина изучается в 3-4 семестрах. В целом рабочей программой предусмотрено 6 часов на выполнение практических работ, что составляет 6 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 128 часов, при этом максимальная нагрузка составляет 192 часа, из них 64 часа приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по дисциплине ОП.03 «Электронная техника», качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания дисциплины и подготовиться к промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета.

1.2. Организация и порядок проведения практических работ

Практические работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение практических работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а также для получения практических навыков и умений. При проведении практических работ задания, выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению практических работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

1.3. Общие указания по выполнению практических работ

Курс практических работ по дисциплине ОП.03 «Электронная техника», предусматривает проведение 3 работ, посвященных изучению:

- определения параметров биполярного и полевого транзистора по характеристикам;
- маркировки ИМС, структурных схем аналоговых и цифровых ИМС;
- расчета каскада предварительного усиления.

При подготовке к проведению практической работы необходимо:

- ознакомиться с целями проведения практической работы;
- ознакомиться с порядком выполнения работы.

После выполнения практической работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название практической работы, ее цель;
- краткие, теоретические сведения об изучаемой теме;
- все необходимые, предусмотренные практической работой, расчеты;
- выводы по итогам работы;
- ответы на контрольные вопросы.

1.4. Критерии оценки результатов выполнения практических работ

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общих и профессиональных компетенций:

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 в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за 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 обучающихся к освоению профессиональных модулей ППССЗ по специальности СПО 27.02.05 «Системы и средства диспетчерского управления» и овладению **профессиональными компетенциями (ПК)**:

ПК 1.1. Принимать схемотехнические решения в процессе эксплуатации специализированных изделий, систем телекоммуникаций и информационных технологий, их устройств;

ПК 1.2. Обеспечивать выполнение различных видов монтажа.

- обоснованность и четкость изложения материала;
- уровень оформления работы.
- анализ результатов.

Критерии оценивания практической работы

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

2. Тематическое планирование практических работ

	Наименование тем	Вид и название работы студента	Количество часов на выполнение работы
Раздел 1	Электронные приборы		4
1.3.	Транзисторы	Практическая работа №1 «Определение параметров биполярного и полевого транзистора по характеристикам»	2
1.5.	Интегральные микросхемы	Практическая работа №2 «Маркировка ИМС, структурные схемы аналоговых и цифровых ИМС»	2
Раздел 2	Усилители напряжения		2
2.1.	Усилители напряжения	Практическая работа №3 «Расчет каскада предварительного усиления»	2
		Итого:	6

3. Содержание практических работ

Практическая работа №1.

Тема: Определение параметров биполярного и полевого транзистора по характеристикам.

Для оценки свойств транзисторов наряду с их характеристиками используют параметры. Различают две группы параметров: первичные и вторичные.

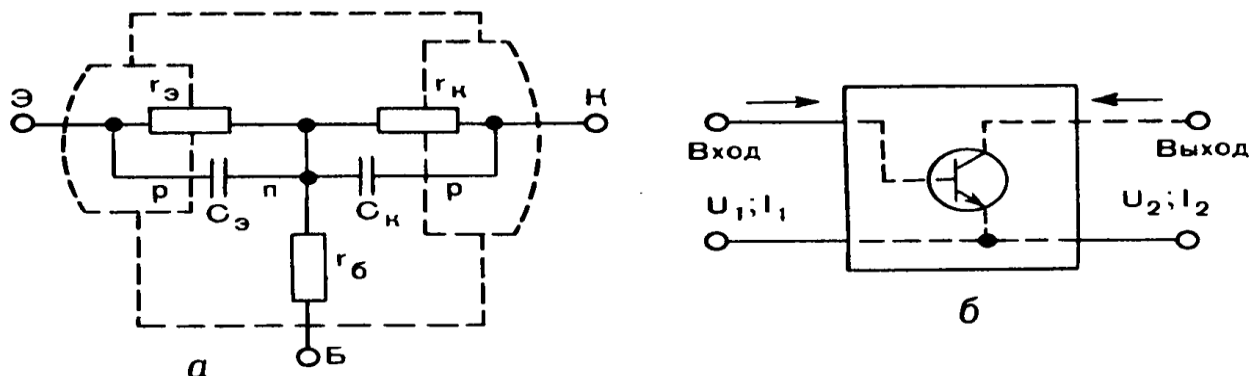


Рис. 1.35. Структура транзистора, иллюстрирующая его первичные параметры $r_э$, $r_к$, $r_б$, $C_э$, $C_к$ (а), и представление транзистора в виде четырехполюсника для определения h -параметров (б)

К *первичным* относят собственные параметры транзистора, характеризующие его физические свойства (рис. 1.35, а) и не зависящие от схемы включения:

$r_э$ — дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода в прямом направлении; составляет единицы и десятки ом;

$r_б$ — объемное сопротивление базы; составляет сотни ом;

$r_к$ — дифференциальное сопротивление коллекторного перехода в обратном направлении; составляет сотни килоом;

$C_э$ — емкость эмиттерного перехода; составляет сотни пикофарад;

$C_к$ — емкость коллекторного перехода; составляет десятки пикофарад.

Влиянием емкостей $C_э$ и $C_к$ в области звуковых частот можно пренебречь.

Сопротивления эмиттерного и коллекторного переходов зависят от режима транзистора и могут быть определены как дифференциальные сопротивления для данной рабочей точки по статическим характеристикам транзистора в схеме ОБ; сопротивление эмиттерного перехода — по входной характеристике как отношение малого приращения напряжения эмиттера к вызванному им приращению тока эмиттера при постоянном напряжении коллектора:

$$r_э = \frac{\Delta U_э}{\Delta I_э} \text{ при } U_к = \text{const};$$

сопротивление коллекторного перехода — по выходной характеристике как отношение приращения напряжения коллектора к вызванному им малому приращению тока коллектора при постоянном токе эмиттера:

$$r_к = \frac{\Delta U_к}{\Delta I_к} \text{ при } I_э = \text{const}.$$

К неудобству использования первичных параметров транзистора $r_э$, $r_б$ и $r_к$ следует отнести то, что их невозможно непосредственно измерить с помощью измерительных приборов, поскольку точки для подключения прибора находятся внутри структуры транзистора.

К параметрам транзистора относят также *дифференциальные коэффициенты усиления тока* в трех схемах включения. Учитывая их зависимость от режима, коэффициенты усиления тока определяют как отношение приращения выходного тока к вызвавшему его малому приращению входного тока при данном неизменном выходном напряжении.

Для схемы ОБ коэффициент усиления тока α :

$$\alpha = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} \text{ при } U_{кб} = \text{const}; \alpha = 0,95—0,99.$$

Для схемы ОЭ коэффициент усиления тока β :

$$\beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \text{ при } U_{кэ} = \text{const}; \beta = 20—200.$$

Для схемы ОК коэффициент усиления тока γ :

$$\gamma = \frac{\Delta I_э}{\Delta I_б} \text{ при } U_{эк} = \text{const}; \gamma = 20—200.$$

Коэффициенты усиления тока, называемые также *коэффициентами передачи тока*, в разных схемах включения транзистора связаны соотношениями:

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}; \quad \alpha = \frac{\gamma-1}{\gamma};$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}; \quad \beta = \gamma-1;$$

$$\gamma = 1 + \beta; \quad \gamma = \frac{1}{1-\alpha}.$$

Коэффициенты усиления тока α и β могут быть определены по выходным характеристикам транзистора в схемах включения ОБ и ОЭ.

Сущность *вторичных параметров* можно объяснить, представив транзистор в виде активного четырехполюсника, имеющего два входных и два выходных вывода и усиливающего сигнал (рис. 1.35, б). Входные величины обозначают индексом «1», а выходные — индексом «2»: I_1 и U_1 — входные ток и напряжение, I_2 и U_2 — выходные. Все рассуждения справедливы при условии, что сигналы, т. е. приращения ΔI_1 , ΔU_1 , ΔI_2 и ΔU_2 , малы.

Наибольшее распространение при расчете транзисторных низкочастотных схем получили *h-параметры*. Их преимущество перед собственными параметрами состоит в том, что их удобно определять с помощью измерений в схеме включения транзистора, причем для этого легко создать требуемые режимы по переменному току: короткое замыкание на выходе, соответствующее условию $\Delta U_2 = 0$ (или $U_2 = \text{const}$), и холостой ход на входе, соответственно, $\Delta I_1 = 0$ (или $I_1 = \text{const}$).

Для определения *h-параметров* составляется система уравнений, в которой независимыми переменными являются ΔI_1 и ΔU_2 :

$$\Delta U_1 = h_{11}\Delta I_1 + h_{12}\Delta U_2;$$

$$\Delta I_2 = h_{21}\Delta I_1 + h_{22}\Delta U_2.$$

В этой системе имеется четыре параметра с разной размерностью: h_{11} , h_{22} , h_{21} , h_{12} .

Индекс параметра представляет сочетание двух цифр, обозначающих соответствующую цепь: «11» (один-один) относится ко входной цепи; «22» (два-два) — к выходной, «21» (два-один) отражает зависимость выходной величины от входной, а «12» (один-два) — зависимость входной величины от выходной. Значение этих параметров следующее:

h_{11} — *входное сопротивление* транзистора при неизменном выходном напряжении

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \text{ при } U_2 = \text{const};$$

h_{22} — *выходная проводимость* транзистора при неизменном входном токе

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \text{ при } I_1 = \text{const};$$

h_{21} — *коэффициент усиления тока* при неизменном выходном напряжении:

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \text{ при } U_2 = \text{const};$$

h_{12} — *коэффициент внутренней обратной связи* по напряжению при неизменном входном токе

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \text{ при } I_1 = \text{const}.$$

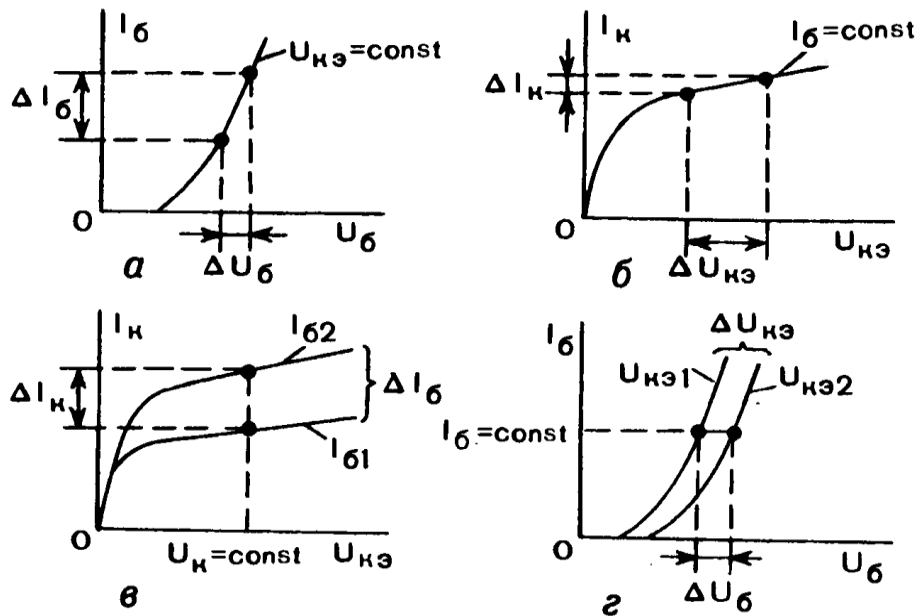


Рис. 1.36. Определение h -параметров по статическим характеристикам транзистора в схеме ОЭ: а — $h_{11э}$; б — $h_{22э}$; в — $h_{21э}$; г — $h_{12э}$

Поскольку в систему h -параметров входят сопротивление, проводимость и безразмерные величины, их иногда называют смешанными, или *гибридными параметрами*. Эти параметры зависят от схемы включения транзистора и в разных схемах имеют разные значения. Поэтому к индексу добавляют букву, обозначающую схему включения: для схемы ОБ параметры $h_{11б}$, $h_{22б}$, $h_{21б}$, $h_{12б}$; для схемы ОЭ — $h_{11э}$, $h_{22э}$, $h_{21э}$, $h_{12э}$; для схемы ОК добавляется буква «к».

Определение h -параметров по статическим характеристикам транзистора для схемы ОЭ показано на рис. 1.36, где h_{11} определяется по одной входной характеристике, h_{22} — по одной выходной, h_{12} — по двум входным, h_{21} — по двум выходным. Учитывая, что характеристики транзистора нелинейны и параметры зависят от режима работы, их определяют для рабочей точки по малым приращениям токов и напряжений:

$$h_{11э} = \frac{\Delta U_б}{\Delta I_б} \text{ при } U_{кэ} = \text{const (рис. 1.36, а);}$$

$$h_{22э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}} \text{ при } I_б = \text{const (рис. 1.36, б);}$$

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \text{ при } U_{кэ} = \text{const (рис. 1.36, в);}$$

$$h_{12э} = \frac{\Delta U_б}{\Delta U_{кэ}} \text{ при } I_б = \text{const (рис. 1.36, г).}$$

Значения h -параметров для разных схем включения связаны соотношениями, из которых по h -параметрам одной схемы можно найти h -параметры другой. Например:

$$h_{11э} = h_{11к} = \frac{h_{11б}}{1 - h_{21б}}; \quad h_{22э} = h_{22к} = \frac{h_{22б}}{1 - h_{21б}}.$$

Кроме того, h -параметры можно выразить через первичные параметры транзистора:

$$h_{11б} = r_э + r_б(1 - \alpha); \quad h_{11э} = h_{11к} = r_б + r_э(1 + \beta);$$

$$h_{22б} = \frac{1}{r_к}; \quad h_{22э} = h_{22к} = \frac{1 + \beta}{r_к};$$

$$h_{12б} = \frac{r_б}{r_к}; \quad h_{12к} = 1; \quad h_{12э} = \frac{r_э(1 + \beta)}{r_к};$$

$$h_{21б} = \alpha; \quad h_{21к} = \gamma = 1 + \beta = \frac{1}{1 - \alpha}; \quad h_{21э} = \beta.$$

В справочниках приводится коэффициент усиления тока в схеме ОЭ: $h_{21э} = \beta$.

Как видно из приведенных соотношений, α и β соответственно равны $h_{21б}$ и $h_{21э}$; определение их по коллекторным характеристикам для схем ОЭ и ОБ производится аналогично показанному на рис. 1.36, в.

Полевым транзистором называют полупроводниковый прибор, обладающий усилительными свойствами, которые обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через проводящий канал и управляемым поперечным электрическим полем.

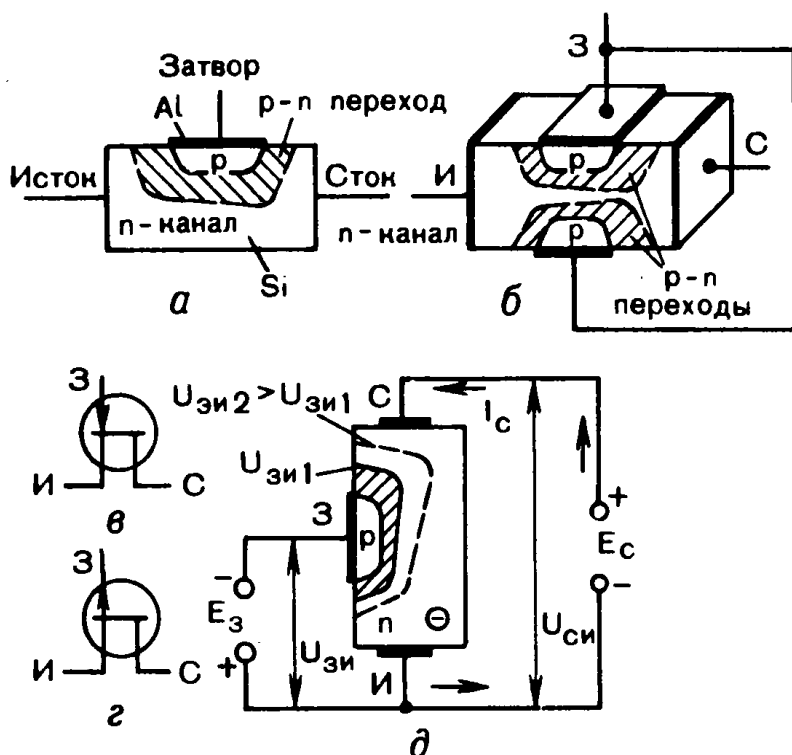


Рис. 1.38. Полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом: *а, б* — упрощенные структуры; *в, г* — условные графические обозначения с каналом *n*-типа и *p*-типа; *д* — схема включения, поясняющая принцип действия

В отличие от биполярного транзистора действие полевого транзистора обусловлено носителями заряда одной полярности — либо только электронами в канале *n*-типа, либо только дырками в канале *p*-типа. Поэтому их называют *униполярными*.

Различают два основных вида полевых транзисторов: с *управляющим p-n переходом* и с *изолированным затвором*.

Основные характеристики полевых транзисторов — выходные (стоковые) и передаточные (стоко-затворные).

Стоковая характеристика отражает зависимость тока стока от напряжения сток — исток при постоянном напряжении затвор — исток:

$$I_c = f(U_{си}) \text{ при } U_{зи} = \text{const.}$$

Характеристики, снятые при разных значениях неизменной величины $U_{зи}$, составляют семейство статических стоковых характеристик. На рис. 1.40, а, приведено семейство характеристик для полевого транзистора с p - n переходом и каналом n -типа.

Рассмотрим стоковую характеристику, снятую при $U_{зи} = 0$, когда канал имеет максимальное исходное рабочее сечение. В ней можно выделить три участка.

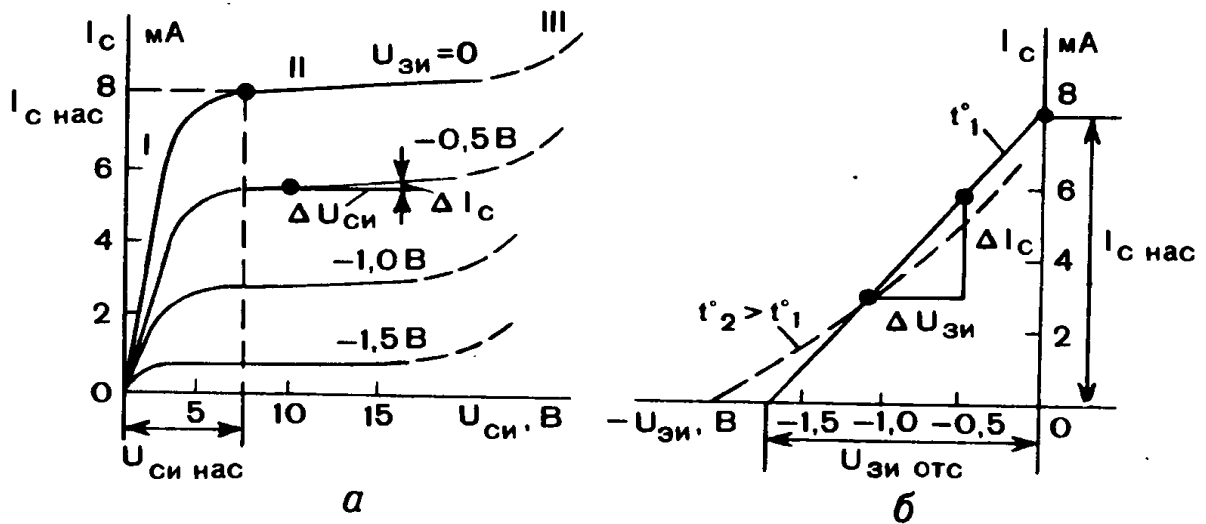


Рис. 1.40. Семейство стоковых характеристик (а) и стоко-затворная характеристика (б) полевого транзистора с управляющим p - n переходом и каналом n -типа

Начальный участок выходит из начала координат (при $U_{си} = 0$ ток I_c тоже равен нулю) и соответствует малым значениям напряжения $U_{си}$, изменение которого почти не влияет на проводимость канала; канал полностью открыт. Поэтому ток I_c на этом участке растет прямо пропорционально напряжению $U_{си}$; характеристика идет круто вверх.

По мере дальнейшего увеличения $U_{си}$ начинает сказываться его влияние на проводимость канала. Причиной этого служит возрастание потенциала точек канала в направлении к стоку и, соответственно, рост обратного напряжения на p - n переходе, которое при $U_{зи} = 0$, у стокового конца равно величине $U_{си}$. По мере увеличения $U_{си}$ происходит сужение канала, уменьшается его проводимость и замедляется рост тока I_c . Это соответствует криволинейной переходной области характеристики.

Дальнейшее увеличение $U_{си}$ практически не вызывает роста тока, так как непосредственное влияние $U_{си}$ на величину тока компенсируется одновременным повышением сопротивления канала из-за его сужения. Максимальное сужение канала называют *перекрытием канала*. Этот режим называют *режимом насыщения*. Ему соответствует пологий, почти горизонтальный, учас-

ток характеристики. Напряжение, при котором начинается режим насыщения, называют *напряжением насыщения* $U_{си\text{нас}}$, а ток при этом — *током насыщения* $I_{с\text{нас}}$. Участок характеристики, соответствующий режиму насыщения, используется в усилителях как рабочий.

При дальнейшем увеличении $U_{си}$, когда оно достигает определенного значения, ток резко возрастает; это соответствует лавинному пробоем p - n перехода вблизи стока, где канал имеет наименьшее сечение, а обратное напряжение на p - n переходе — наибольшую величину. Пробой транзистора недопустим, поэтому в рабочем режиме повышение $U_{си}$ ограничивается максимально допустимым значением, указываемым в справочниках.

Характеристики, снимаемые при значениях $U_{зи} \neq 0$, располагаются ниже рассмотренной характеристики при $U_{зи} = 0$, причем тем ниже, чем больше по абсолютной величине напряжение затвор — исток. С увеличением напряжения $U_{зи}$, при котором снимается стоковая характеристика, исходное сечение канала становится меньше, его сопротивление — больше, менее круто идет начальный участок характеристики, а также при меньшем напряжении $U_{си}$ и токе I_c наступает режим насыщения. Пробой транзистора в этом случае наступает при меньшем напряжении $U_{си}$.

Полевой транзистор может быть использован не только в схемах усиления, но и в качестве управляемого омического сопротивления; в этом случае он работает в режиме, соответствующем начальному крутому участку стоковой характеристики.

Стоко-затворная характеристика — это зависимость тока стока от напряжения затвор — исток при неизменной величине напряжения сток — исток (рис. 1.40, б):

$$I_c = f(U_{зи}) \text{ при } U_{си} = \text{const.}$$

Эта зависимость характеризует управляющее действие входного напряжения на величину выходного тока.

При данном постоянном значении $U_{си}$, взятом в рабочем режиме, т. е. на участке насыщения, и при $U_{зи} = 0$ точка характеристики лежит на оси тока и соответствует величине, равной току насыщения $I_{с\text{нас}}$. С увеличением напряжения $U_{зи}$ по абсолютной величине проводимость канала уменьшается, что приво-

дит к уменьшению тока. Увеличение напряжения $U_{зи}$ вызывает уменьшение сечения проводящего канала до тех пор, пока он не оказывается перекрытым; ток через канал прекращается, транзистор закрывается, так как сток и исток изолированы друг от друга. Напряжение затвор — исток, при котором ток через канал прекращается, называют *напряжением отсечки* $U_{зиотс}$.

На рис. 1.40, б приведена одна стоко-затворная характеристика, поскольку изменение $U_{си}$ в режиме насыщения очень мало влияет на ток I_c и характеристики, снятые при разных значениях неизменной величины $U_{си}$, располагаются очень близко друг к другу.

Между напряжением насыщения и напряжением отсечки существует зависимость:

$$U_{си\text{ нас}} = U_{зиотс} - U_{зи}.$$

Отсюда при $U_{зи} = 0$ $U_{си\text{ нас}} = U_{зиотс}$.

Изменение температуры мало сказывается на работе полевого транзистора, что является еще одним его преимуществом перед биполярным. Это объясняется противоположным влиянием на сопротивление канала и величину выходного тока I_c двух факторов. С одной стороны, повышение температуры снижает потенциальный барьер p - n перехода, что ведет к уменьшению его ширины и расширению канала, сопротивление канала уменьшается, ток I_c возрастает. С другой стороны, при повышении температуры уменьшается подвижность основных носителей заряда, что вызывает рост сопротивления канала и уменьшает ток I_c . В результате ток I_c изменяется мало. Причем в области больших токов преобладает влияние второго фактора, и I_c с ростом температуры уменьшается, что очень благоприятно, а в области малых токов преобладает первый фактор, и ток немного возрастает (пунктирная кривая на рис. 1.40, б). Повышение температуры снижает $U_{вх}$ из-за увеличения обратного тока p - n перехода.

1.5.3. Параметры полевых транзисторов с p - n переходом

Основные параметры полевого транзистора следующие: крутизна стоко-затворной характеристики, коэффициент усиления, внутреннее сопротивление, входное сопротивление, ток и напряжение насыщения при нулевом напряжении на затворе, напряжение отсечки, а также параметры предельных режимов: максимально допустимый ток стока $I_{с\text{ макс}}$ при $U_{зи} = 0$, максимально допустимое напряжение сток — исток $U_{си\text{ макс}}$, максимально допустимое напряжение затвор — исток $U_{зи\text{ макс}}$, максимально допустимая рассеиваемая мощность $P_{\text{ макс}}$, диапазон рабочей температуры.

Статическая крутизна характеристики S показывает влияние

напряжения затвора на выходной ток транзистора и определяется как отношение приращения тока стока к вызвавшему его малому приращению напряжения затвор — исток при постоянном напряжении сток — исток:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \text{ при } U_{си} = \text{const.}$$

Крутизна определяет наклон стоко-затворной характеристики; по величине крутизны оценивают управляющее действие затвора. Численное значение крутизны можно найти по стоко-затворной характеристике, взяв для данной точки малое приращение напряжения $\Delta U_{зи}$ и соответствующее ему приращение тока ΔI_c (см. рис. 1.40, б). Наибольшее значение имеет крутизна характеристики в точке на оси тока при $U_{зи} = 0$. С увеличением $U_{зи}$ крутизна уменьшается. Примерная величина этого параметра $S = 0,1 — 8 \text{ мА/В}$.

Внутреннее (дифференциальное) сопротивление R_i показывает влияние напряжения сток — исток на выходной ток транзистора. Оно определяется по наклону стоковой характеристики на участке насыщения как отношение приращения напряжения сток — исток к вызываемому им малому приращению тока стока при постоянном напряжении затвор — исток (см. рис. 1.40, а):

$$R_i = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c} \text{ при } U_{зи} = \text{const.}$$

Чем больше R_i , тем более полого идет характеристика в области насыщения. Внутреннее сопротивление полевых транзисторов составляет десятки и сотни килоом и более. Оно определяет выходное сопротивление $R_{вых}$.

Входное сопротивление $R_{вх}$ полевого транзистора очень велико; оно определяется обратным сопротивлением p - n перехода и составляет 10^8 — 10^9 Ом. Большое входное сопротивление является преимуществом полевых транзисторов перед биполярными. Преимуществом является также малый собственный шум.

Усилительные свойства полевых транзисторов характеризуются *статическим коэффициентом усиления напряжения μ* , который может быть найден как произведение крутизны на внутреннее сопротивление: $\mu = SR_i$.

Коэффициент усиления показывает, во сколько раз изменение напряжения затвор — исток сильнее влияет на ток стока, чем такое же изменение напряжения сток — исток. Его можно определить как отношение приращения напряжения сток — исток к приращению напряжения затвор — исток при неизменном токе:

$$\mu = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta U_{зи}} \text{ при } I_c = \text{const.}$$

Кроме этих параметров на свойства высокочастотных транзисторов влияют междуэлектродные емкости.

Максимально допустимое напряжение сток — исток выбирают с запасом примерно в 1,5 раза меньше напряжения пробоя сток — затвор при $U_{зи} = 0$.

Полевые транзисторы с управляющим p - n переходом могут быть созданы и на основе перехода Шоттки (металл — полупроводник) на базе арсенида галлия.

Практическая работа № 2.

Тема: Маркировка ИМС, структурные схемы аналоговых и цифровых ИМС.

Интегральная микросхема - (ИС) - это совокупность электрически связанных компонентов (транзисторов, диодов, резисторов и др.), изготовленных в едином технологическом цикле на единой полупроводниковой основе (подложке).

Интегральная микросхема выполняет определенные функции обработки (преобразования) информации, заданной в виде электрических сигналов: напряжений или токов. Электрические сигналы могут представлять информацию в непрерывной (аналоговой), дискретной и цифровой форме.

Аналоговые и дискретные сигналы обрабатываются аналоговыми или линейными микросхемами, цифровые сигналы – цифровыми микросхемами. Существует целый класс устройств и соответственно микросхем называемых аналого-цифровыми или цифро-аналоговыми и, служащих для преобразования сигналов из одной формы в другую.

Компоненты, входящие в состав ИС, не могут быть выделены из нее в качестве самостоятельных изделий, кроме того, они характеризуются некоторыми особенностями по сравнению с дискретными транзисторами, диодами и т. д.

Особенностью цифровых ИС является высокая сложность выполняемых ими функций, поэтому количество компонентов в одной микросхеме может исчисляться сотнями тысяч и даже миллионами.

Функциональную сложность ИС обычно характеризуют степенью компонентной интеграции, т. е. количеством чаще всего транзисторов на кристалле. Количественно степень интеграции описывается условным коэффициентом $K = \lg N$, где N – число компонентов.

В зависимости от значений K интегральные схемы подразделяются:

$K < 2$, ($N < 100$) – малая интегральная схема (МИС или IS);

$2 < K < 4$, ($N < 10^4$) – интегральная схема средней степени интеграции (СИС или MSI);

$4 < K < 5$, ($N < 10^6$) – большая интегральная схема (БИС или LSI);

$K > 6$, ($N > 10^6$) – сверхбольшая интегральная схема (СБИС или VLSI).

Сокращения приведенные на английском языке имеют следующий смысл: IS – Integrated Circuit; MSI – Medium Scale Integration; LSI – Large Scale Integration; VLSI – Very Large Scale Integration.

Иногда сложность ИС характеризуют таким показателем, как плотность упаковки. Это количество компонентов, приходящихся на единицу площади кристалла. Этот показатель характеризует уровень технологии, и в настоящее время он составляет более 10⁴ компонентов/мм².

Классификация интегральных микросхем и система условных обозначений

По конструктивно-технологическим признакам интегральные микросхемы разделяют на три группы: полупроводниковые, гибридные и прочие.

По функциональным признакам интегральные микросхемы подразделяют на подгруппы и виды.

Условное обозначение ИМС состоит из четырех элементов:

X XXX XX X

Первый элемент - цифра, соответствующая классификации по конструктивно-технологическим признакам: полупроводниковые - 1, 5, 7; гибридные - 2, 4, 6; прочие (пленочные, керамические, вакуумные) - 3.

Второй элемент - две (три) цифры, присвоенные данной серии ИМС как порядковый номер разработки серии. Таким образом, первые два элемента в виде набора трех (четырех) цифр составляют полный номер серии ИМС.

Третий элемент - две буквы, обозначающие подгруппу и вид ИМС - функциональное назначение ИМС.

Четвертый элемент - порядковый номер разработки конкретной ИМС в данной серии, в которой может быть несколько одинаковых по функциональным признакам ИМС.

Условные обозначения микросхем

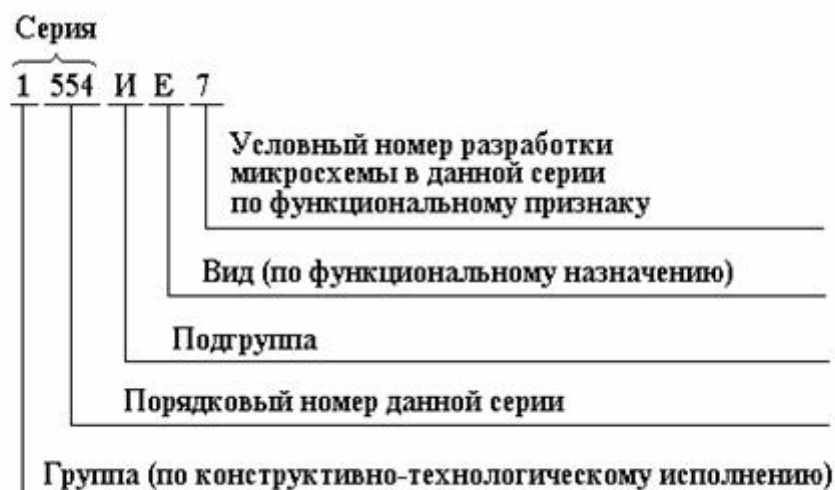
В качестве примера рассмотрим условное обозначение полупроводниковой микросхемы серии 1554ИР22. Из условного обозначения следует, что эта микросхема - регистр с порядковым номером 554 и номером разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку 22 выполнена по полупроводниковой технологии.

Таблица 1

Подгруппа и вид микросхем	Обозначение
Формирователи: адресных токов	АА
импульсов прямоугольной формы	АГ
прочие	АП
Схемы вычислительных средств:	
сопряжения с магистралью	ВА
управление вводом/выводом (интерфейсные схемы)	ВВ
контроллеры	ВГ
микро-ЭВМ	ВЕ
специализированные	ВЖ
времязадающие	ВИ
микропроцессоры	ВМ
управление прерыванием (контроллеры прерывания)	ВН
Генераторы	ГГ, ГФ
Арифметико-логические устройства	ИА
Шифраторы	ИВ
Дешифраторы	ИД
Счетчики	ИЕ
Сумматоры	ИМ
Регистры	ИР
Логические элементы:	
И-НЕ	ЛА

Подгруппа и вид микросхем	Обозначение
И-НЕ/ИЛИ-НЕ	ЛБ
ИЛИ-НЕ	ЛЕ
И	ЛИ
ИЛИ	ЛЛ
НЕ	ЛН
Триггеры:	
типа JK (универсальные)	ТВ
типа D (с задержкой)	ТМ
типа RS (с раздельным запуском)	ТР
типа T (счетные)	ТТ
Шмитта (формирователь импульсов)	ТЛ
Схемы запоминающих устройств:	
ПЗУ (масочные)	РЕ
ПЗУ с возможностью многократного программирования	РР
ПЗУ с возможностью однократного программирования	РТ
ПЗУ с ультрафиолетовым стиранием и электрической записью	РФ
ОЗУ (оперативное запоминающее устройство)	РУ
Схемы сравнения	СП, СС
Преобразователи:	
цифро-аналоговые	ПА
аналого-цифровые	ПВ

Пример условного обозначения полупроводниковой микросхемы: обозначение - ИЕ (счетчик) с порядковым номером серии 554 и номером разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку 7. Полное обозначение микросхемы 1554ИЕ7.



В последнее время при четырехзначном номере серии первую цифру порядкового номера серии устанавливают в зависимости от функционального назначения микросхем, входящих в серию. Например, цифра 0 определяет, что данная серия микросхем предназначена для работы в составе бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Цифра 1 ставится на аналоговых микросхемах, цифра 4 - микросхемам ОУ, цифра 5 - цифровым микросхемам, цифра 6 - серии микросхем памяти, цифра 8 - сериям МП.

Если в конце условного обозначения стоит буква, то она определяет технологический разброс электрических параметров данного типонаминала.

На микросхемах, используемых в устройствах широкого применения, в начале обозначения ставится буква К, например: К1533ИР22.

Для характеристики материала и типа корпуса перед цифровым обозначением серии могут быть добавлены следующие буквы: Р - пластмассовый корпус типа ДИП; М - металлокерамический корпус типа ДИП и т.д.

Структурные схемы аналоговых и цифровых ИМС.

Основная особенность ИМС состоит в том, что она выполняет законченную, как правило, весьма сложную функцию и может быть усилителем, триггером, счетчиком или другим устройством, тогда как для выполнения той же функции на электронных (дискретных) приборах требуется собрать соответствующую схему. ИМС содержит элементы и компоненты.

Элементом ИМС называют ее часть, которая выполняет функцию электронного элемента (диода, транзистора, конденсатора, резистора) и конструктивно неотделимую от ИМС.

Компонентом ИМС называется та ее часть, которая выполняет функцию электронного элемента, но перед монтажом является самостоятельным изделием.

Под *кристаллом* в микроэлектронике понимают готовый полупроводниковый прибор и микросхему без внешних выводов и корпуса.

ИМС обладают высокой степенью надежности, что обеспечивается технологией их изготовления и малым числом внутренних соединений.

В качестве примера рассмотрим операционный усилитель К140УД608, упрощенная схема которого представлена на рис. 1. Усилитель состоит из трех каскадов.

Первый каскад является дифференциальным усилителем, один вход которого называется инвертирующим $IN-$, а другой – неинвертирующим $IN+$. Пары транзисторов $VT1, VT3$ и $VT2, VT4$ эквивалентны одному $p-n-p$ -транзистору с высоким коэффициентом усиления по току (5 000...10 000),

Второй каскад – предварительный усилитель (предусилитель) – обеспечивает дополнительное и примерно такое же, как и первый каскад, усиление сигнала, но в более широкой полосе частот (сотни килогерц).

Выходной каскад, называемый также усилителем мощности, построен по схеме двухтактного эмиттерного повторителя на комплементарных транзисторах $VT9$ и $VT10$, дающего возможность развивать на сравнительно низкоомной нагрузке (по техническим условиям $R_{\text{нmin}} = 1 \text{ кОм}$) переменное напряжение с амплитудой, близкой к величине питающего напряжения.

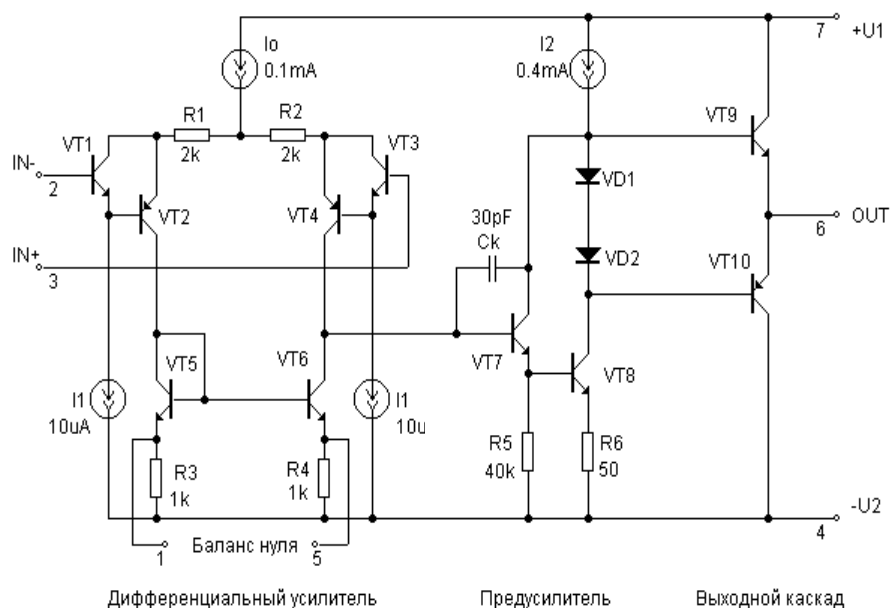


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема
ОУ К140УД608

Полупроводниковая ИМС представляет собой полупроводник, в поверхностном слое и объеме которого сформированы области, эквивалентные элементам электрической схемы, изоляции и межсоединения. В качестве полупроводника обычно используют кремний, он является несущей частью конструкции и называется подложкой. Пример структуры полупроводниковой ИМС с омическими контактами 1-5 и ее эквивалентная схема показаны на рис. 3.1, а, б. Изготавливают полупроводниковые ИМС групповым методом, при котором одновременно создается большое число микросхем. Так, на одной пластине диаметром 76 мм можно разместить до 5000 электронных микросхем, каждая из которых может содержать от 10 до 20000 электронных элементов. В перспективе диаметр пластин предполагают увеличить до 100 мм и более и разместить на них до нескольких миллионов элементов.

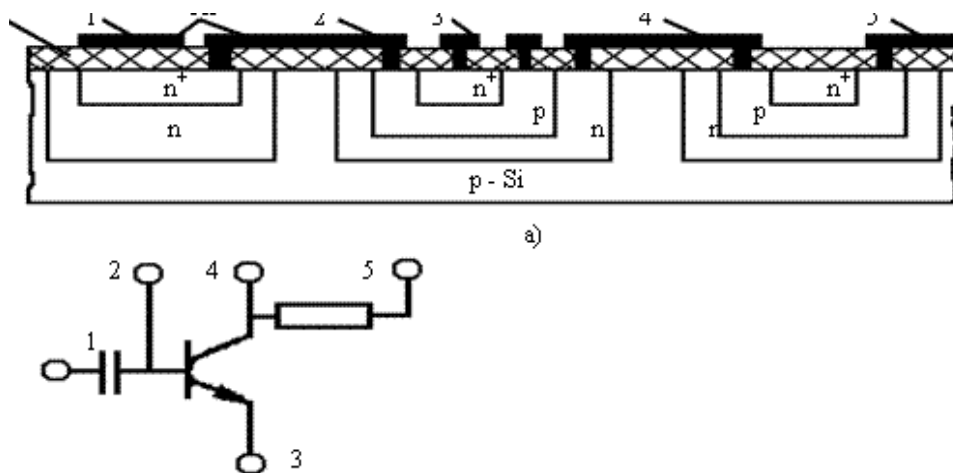


Рис. 3.1. Структура полупроводниковой ИМС с омическими контактами

Пленочные ИМС представляют собой изолирующую подложку (основание), на поверхности которой все элементы и межсоединения сформированы в виде послойно нанесенных пленок. Пленочные ИМС содержат только пассивные элементы, так как путем комбинации различных пленок получить активные элементы (диоды и транзисторы) еще не удалось. Применение пленочных ИМС поэтому ограничено.

Гибридные ИМС – это микросхемы, представляющие собой комбинацию пленочных микросхем, навесных дискретных (активных) компонентов и полупроводниковых ИМС, которые обычно располагают на диэлектрической подложке пленочной ИМС. Пример структуры гибридной ИМС и ее эквивалентная схема показаны на рис. 3.2, а, б (1-6 – омические контакты).

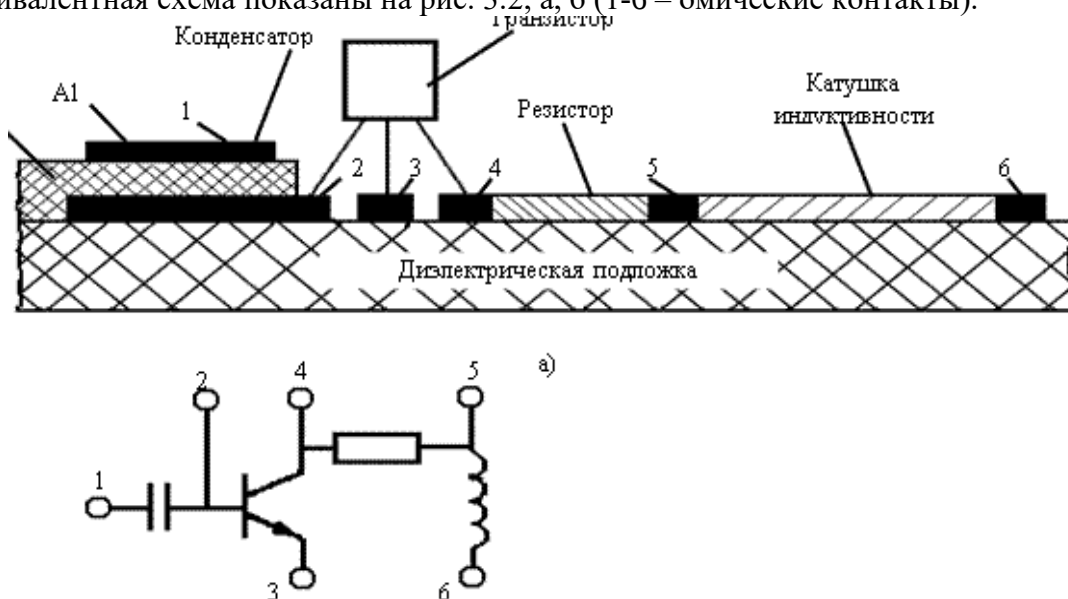


Рис. 3.2. Структура гибридной ИМС и ее эквивалентная схема

Совмещенные ИМС – это микросхемы, у которых активные элементы выполнены так же, как и у полупроводниковых ИМС, а пассивные – как у пленочных ИМС. При этом пассивные элементы выполняют на предварительно изолированной части той же подложки, что и активные элементы. Все ИМС помещают в герметичный корпус.

Функциональную сложность ИМС характеризуют степенью интеграции – числом содержащихся в ней элементов и компонентов.

Примером простых ИМС могут служить логические элементы. Средние ИМС – это сумматоры, счетчики, оперативные запоминающие устройства (ОЗУ), постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) емкостью 256-1024 бит. Большие ИМС (БИС) – это арифметико-логические и управляющие устройства. Со второй половины 70-х годов разрабатывают ИМС 4-5-й степени интеграции с числом элементов $M=10^4-10^6$ и минимальными размерами элементов 1,0-0,1 мкм (СБИС).

Практическая работа № 3.

Тема: Расчет каскада предварительного усиления.

1. Назначение элементов и принцип работы усилительного каскада по схеме с ОЭ

Существует множество вариантов выполнения схемы усилительного каскада на транзисторе ОЭ. Это обусловлено главным образом особенностями задания режима покоя каскада. Особенности усилительных каскадов и рассмотрим на примере схемы рисунок 2, получившей наибольшее применение при реализации каскада на дискретных компонентах.

Основными элементами схемы являются источник питания $R_{\star}$, управляемый элемент - транзистор T и резистор $R_{\star}$. Эти элементы образуют главную цепь усилительного каскада, в которой за счет протекания управляемого по цепи базы коллекторного тока создается усиленное переменное напряжение на выходе схемы. Остальные элементы каскада выполняют вспомогательную роль. Конденсаторы C_{p1} , C_{p2} являются разделительными. Конденсатор C_{p1} исключает шунтирование входной цепи каскада цепью источника входного сигнала по постоянному току, что позволяет, во-первых, исключить протекание постоянного тока через источник входного сигнала по цепи $E_k \rightarrow R_1 \rightarrow R_F$ и, во-вторых, обеспечить независимость от внутреннего сопротивления этого источника R_F напряжения на базе $U_{бн}$ в режиме покоя. Функция конденсатора C_{p2} сводится к пропусканию в цепь нагрузки переменной составляющей напряжения и задержанию постоянной составляющей. Резисторы R_1 и R_2 используются для задания режима покоя каскада. Поскольку биполярный транзистор управляется током, ток покоя управляемого элемента (в данном случае ток $I_{бн}$) создается заданием соответствующей величины тока базы покоя $I_{бн}$. Резистор R_1 предназначен для создания цепи протекания тока $I_{бн}$. Совместно с R_2 резистор R_1 обеспечивает исходное напряжение на базе $U_{бн}$ относительно зажима "+" источника питания.

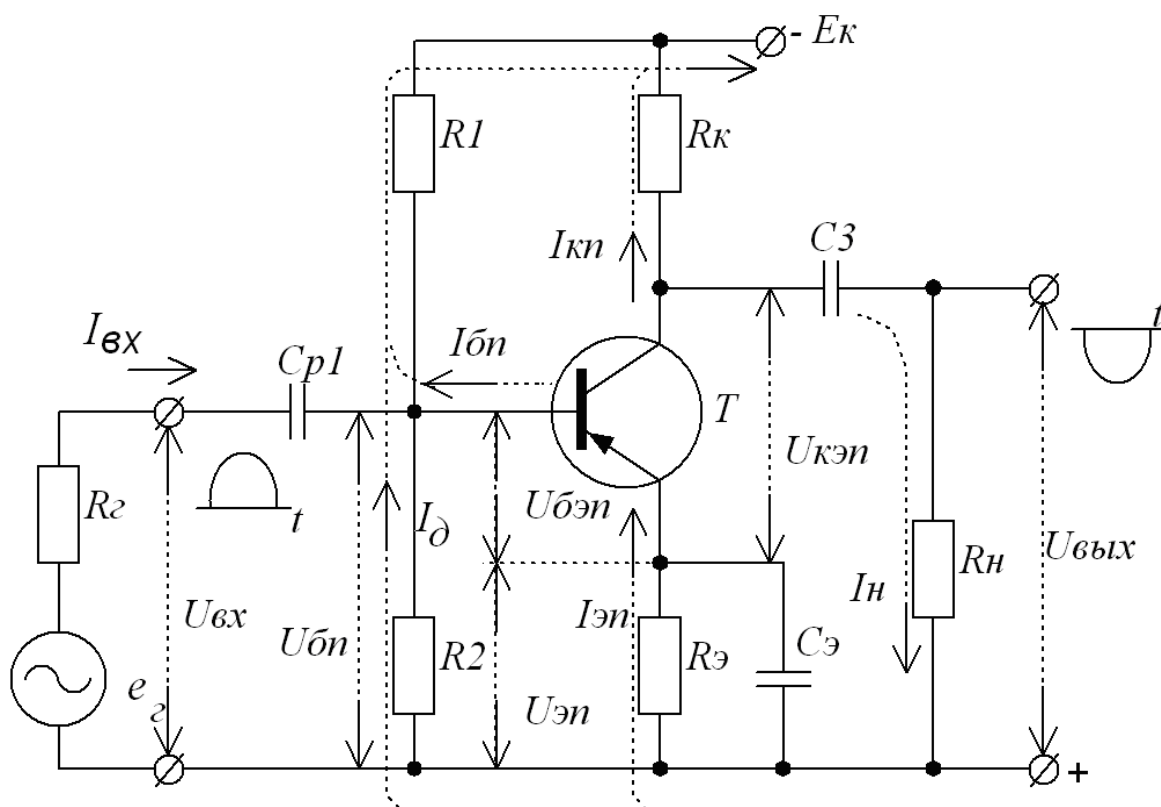


Рис.2

Резистор $R_э$ является элементом отрицательной обратной связи, предназначенным для стабилизации режима покоя каскада при изменении температуры. Температурная зависимость параметров режима покоя обуславливается зависимостью коллекторного тока покоя $I_{кп}$ от температуры. Основными причинами такой зависимости являются изменения от температуры начального тока коллектора $I_{к0(э)}$, напряжения $U_{бэ}$ и коэффициента β . Температурная нестабильность указанных параметров приводит к прямой зависимости тока $I_{кп}$ от температуры. При отсутствии мер по стабилизации тока $I_{кп}$, его температурные изменения вызывают изменение режима покоя каскада, что может привести, как будет показано далее, к режиму работы каскада в нелинейной области характеристик транзистора и искажению формы кривой выходного сигнала. Вероятность появления искажений повышается с увеличением амплитуды выходного сигнала. Проявление отрицательной обратной связи и ее стабилизирующего действия на ток $I_{кп}$ нетрудно показать непосредственно на схеме рис. 2.

Предположим, что под влиянием температуры ток $I_{кп}$ увеличился. Это отражается на увеличении тока $I_{эп}$, повышении напряжения $U_{эп} = I_{эп} R_э$ и соответственно снижении напряжения $U_{бэп} = U_{бн} - U_{эп}$. Ток базы $I_{бп}$ уменьшается, вызывая уменьшение

тока $I_{кз}$, чем создается препятствие наметившемуся увеличению тока $I_{кз}$. Иными словами, стабилизирующее действие отрицательной обратной связи, создаваемой резистором R_2 , проявляется в том, что температурные изменения параметров режима покоя передаются цепью обратной связи в противофазе на вход каскада, препятствуя тем самым изменению тока $I_{кз}$, а, следовательно, и напряжения $U_{кзк}$.

Конденсатор C_2 шунтирует резистор R_2 по переменному току, исключая тем самым проявление отрицательной обратной связи в каскаде по переменным составляющим.

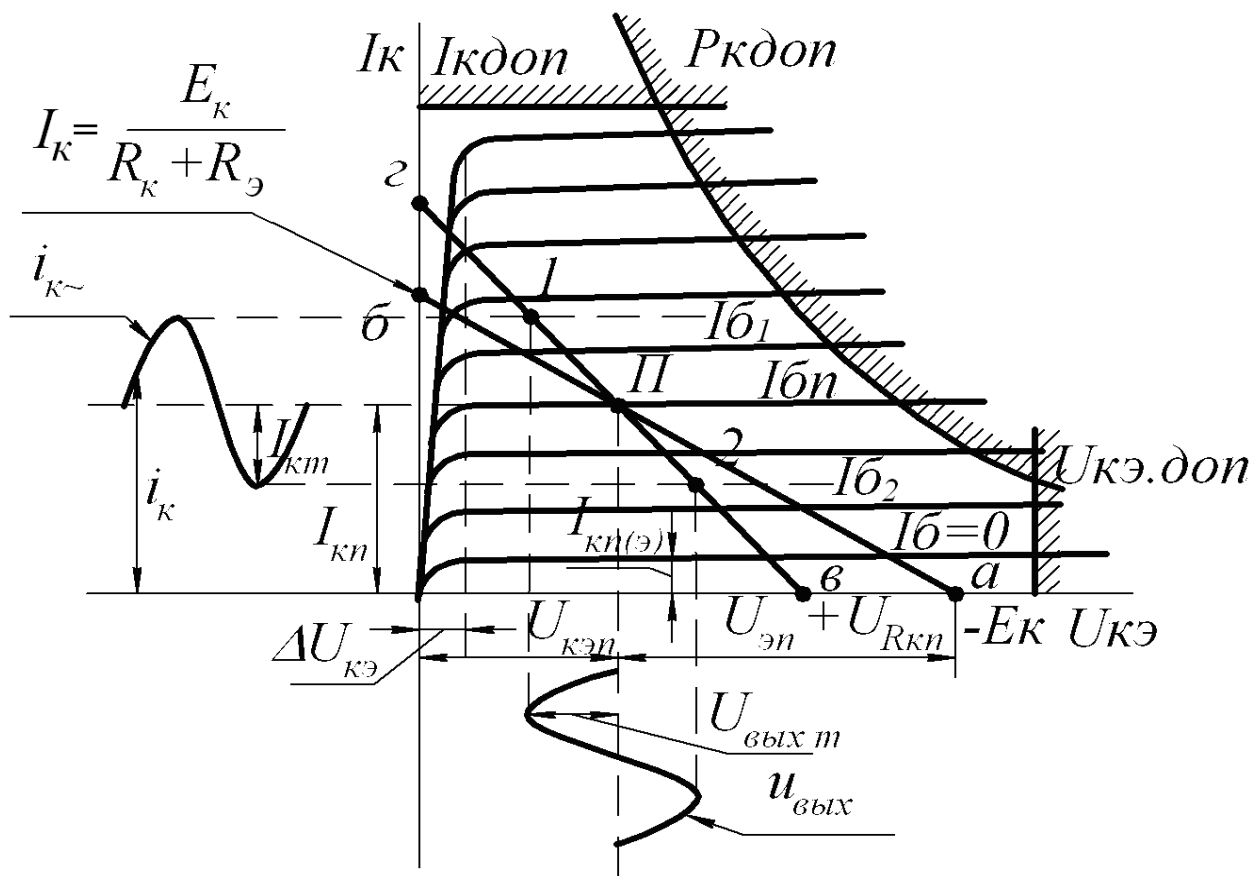
Отсутствие конденсатора C_2 привело бы к уменьшению коэффициентов усиления схемы.

Название схемы «с общим эмиттером» означает, что вывод эмиттера транзистора по переменному току является общим для входной и выходной цепи каскада.

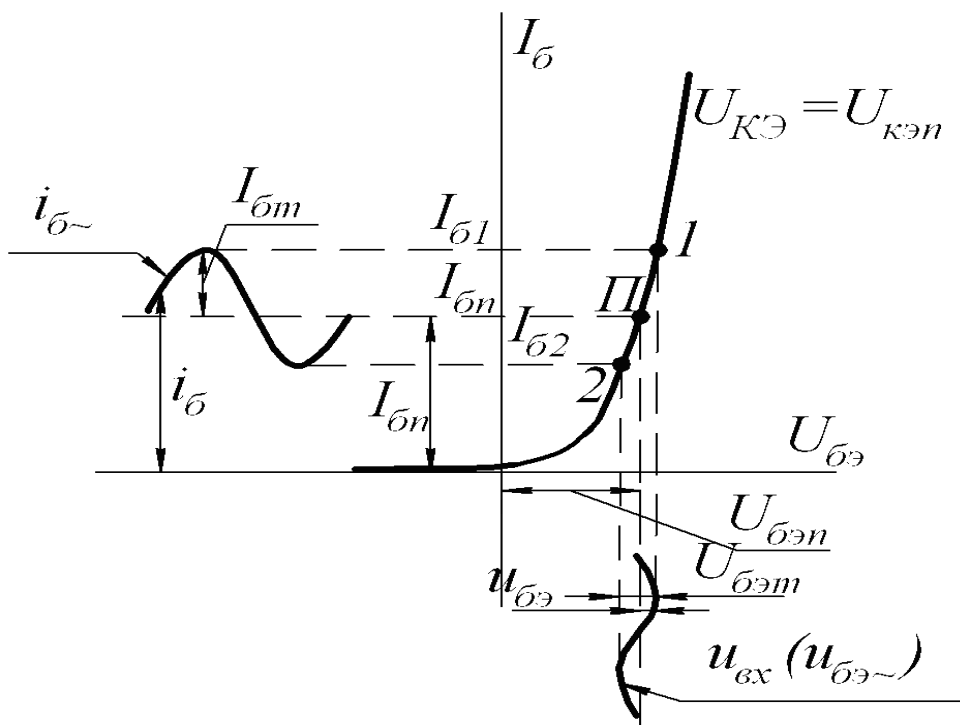
Принцип действия каскада ОЭ заключается в следующем. При наличии постоянных составляющих токов и напряжений в схеме подача на вход каскада переменного напряжения приводит к появлению переменной составляющей тока базы транзистора, а, следовательно, переменной составляющей тока в выходной цепи каскада (в коллекторном токе транзистора). За счет падения напряжения на резисторе R_k создается переменная составляющая напряжения на коллекторе, которая через конденсатор C_{p2} передается на выход каскада - в цепь нагрузки.

Рассмотрим основные положения, на которых базируется расчет элементов схемы каскада, предназначенных для обеспечения требуемых параметров режима покоя (расчет по постоянному току).

Анализ каскада по постоянному току проводят графоаналитическим методом, основанным на использовании графических построений и расчетных соотношений. Графические построения проводятся с помощью выходных (коллекторных) характеристик транзистора (рис. 3, а). Удобство метода заключается в наглядности нахождения связи параметров режима покоя каскада $U_{кзк}$ и $I_{кз}$ амплитудными значениями его переменных составляющих (выходного напряжения $U_{выхт}$ и тока $I_{кзт}$), являющимися исходными при расчете каскада.



a)



б)

Рис.3

На выходных характеристиках рис. 3, а проводят так называемую линию нагрузки каскада по постоянному току (а - б), представляющую собой геометрические места точек, координаты $U_{кз}$ и $I_{к}$ которых соответствуют возможным значениям точки (режима) покоя каскада.

В связи с этим построение линии нагрузки каскада по постоянному току удобно провести по двум точкам, характеризующим режим холостого хода (точка "а") и режим покоя (точка "П") выходной цепи каскада (рис. 3, а). Для точки "а" $I_{кн} = 0$, $U_{кз} = U_{кн} = U_{кн\max}$ и для точки "П" $I_{кн} = I_{кн\max} + I_{к\min}$, $U_{кз} = U_{кн\max} + DU_{кз} = U_{кн\max} + DU_{кз}$, где $I_{к\min}$ выбирают из условия работы транзистора в режиме отсечки ($I_{б\min}$), $DU_{кз}$ - напряжение на коллекторе, соответствующее области нелинейных начальных участков выходных характеристик транзистора. Определив координаты точки "П" находим значение тока базы $I_{б} = I_{бн}$, соответствующего режиму покоя, и определяем координаты точки "П" на входной характеристике (рис. 3, б).

При определении переменных составляющих выходного напряжения каскада и коллекторного тока транзистора используют линию нагрузки каскада по переменному току. При этом необходимо учесть, что по переменному току сопротивление в цепи эмиттера транзистора равно нулю, так как резистор R_2 шунтируется конденсатором C_2 , а к коллекторной цепи подключается нагрузка, поскольку сопротивление конденсатора C_{P2} по переменному току мало. Если к тому же учесть, что сопротивление источника питания E_k по переменному току также близко к нулю, то окажется, что задача определения этих показателей решается при расчете усилительного каскада по переменному току.

Поскольку при наличии входного сигнала напряжение и ток транзистора представляют собой суммы постоянных и переменных составляющих, линия нагрузки по переменному току проходит через точку покоя "П" (рис. 3, а). Наклон линии нагрузки по переменному току будет больше, чем по постоянному току. Линию нагрузки по переменному току строят по отношению приращений напряжения к току: $DU_{кз} / DI_{к} = U_{кн\max} / I_{кн}$.

3. Задание на работу

Рассчитать каскад транзисторного усилителя напряжения, принципиальная схема которого изображена на рис. 1,в

Исходные данные:

- 1) напряжение на выходе каскада $U_{вых.тех}$ (напряжение на нагрузке);
- 2) сопротивление нагрузки R_H ;
- 3) нижняя граничная частота f_H ;
- 4) допустимое значение коэффициента частотных искажений каскада в области нижних частот M_H ;
- 5) напряжение источника питания $E_{пит}$.

Примечание.

Считать, что каскад работает в стационарных условиях

($T_{мин} = +15^\circ\text{C}$; $T_{max} = +25^\circ\text{C}$).

При расчете влиянием температуры на режим транзистора пренебрегаем.

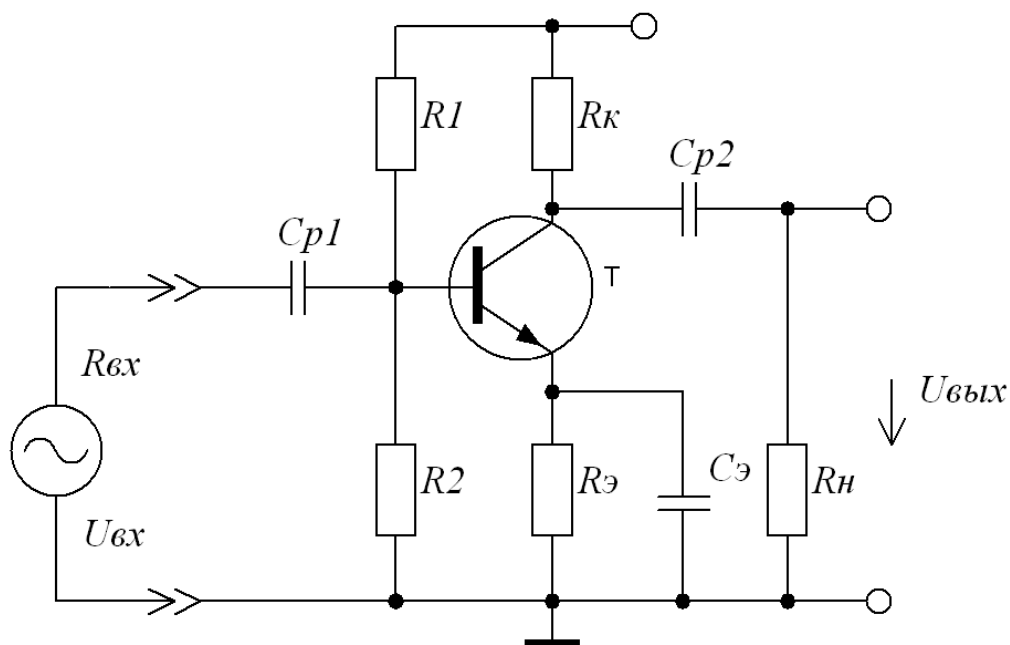


Рис 1в

Данные для расчета:

$$U_{выхт} = 2,5 \text{ В},$$

$$R_H = 480 \text{ Ом},$$

$$f_H = 150 \text{ Гц},$$

$$E_{пит} = 24 \text{ В},$$

$$M_H = 1,4$$

Определить:

- 1) тип транзистора;
- 2) режим работы транзистора;
- 3) сопротивление коллекторной нагрузки R_k ;
- 4) сопротивление в цепи эмиттера R_z ;
- 5) сопротивления делителя напряжения R_1 и R_2 стабилизирующие режим работы транзистора;
- 6) емкость разделительного конденсатора C_p ;
- 7) емкость конденсатора в цепи эмиттера C_z ;
- 8) коэффициент усиления каскада по напряжению.

4. Порядок расчета транзисторного усилителя по схеме

Определить тип транзистора

Выбираем тип транзистора, руководствуясь следующими соображениями

: а) $U_{к.д.н.} \geq (1,1 \div 1,3) E_{п.н.} \geq 1,3 \cdot 24 \geq 31$ (В), $U_{к.д.н.}$ -наибольшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, приводится в справочниках.

б)
$$I_{к.д.н.} > 2 I_{п.н.} = \frac{2 U_{п.н.}}{R_k} = \frac{2 \cdot 2,5}{480} = 10,4 \text{ мА}$$

Выбираем транзистор ГТ122А, для которого $I_{к.д.н.} = 20$ мА, $U_{к.д.н.} = 35$ В, $v_{\min} = 15$
 $v_{\max} = 45$

Режим работы транзистора

Для построения нагрузочной прямой находим (рабочую) точку покоя (0)
для этого определим

$$I_{к.р.} = 1,2 \cdot I_{п.н.} = 1,2 \cdot I_{п.н.} = 1,2 \cdot 5,2 = 6,2 \text{ мА}$$

$$U_{к.р.} = U_{п.н.} - \Delta U_{к.р.} = 2,5 \cdot 1 = 3,5 \text{ В}$$

Вторая точка нагрузочной прямой $U_{к.р.} = E_{п.н.} = 24$ В. По полученным значениям строим нагрузочную прямую.

По статическим выходным характеристикам и нагрузочной прямой находим $I = 7$ мА, откуда

$$R_{\text{сб}} = \frac{24}{7 \cdot 10^{-3}} = 3428 \text{ (Ом)} \quad R_{\text{к}} = R_{\text{сб}} / 1,2 = 2856 \text{ (Ом)} \quad R_{\text{с}} = R_{\text{сб}} - R_{\text{к}} = 572 \text{ (Ом)}$$

Определяем наибольшие амплитудные значения входного сигнала тока $I_{\text{бmin}}$ и напряжения $U_{\text{бmin}}$, необходимые для обеспечения заданного значения $U_{\text{выхт}}$. Задав- шись наименьшим значением коэффициента усиления транзистора по току β_{min} , по- лучаем

$$I_{\text{бmin}} = \frac{I_{\text{кmin}}}{\beta_{\text{min}}} = \frac{6,8}{15} = 0,45 \text{ мА}$$

Для маломощных транзисторов $I_{\text{бmin}} = 0,05 \text{ мА}$

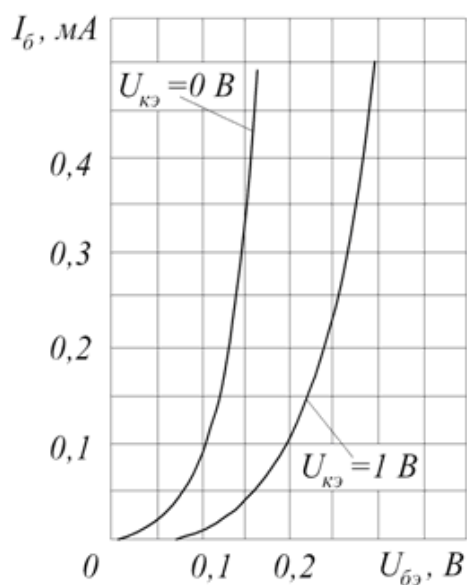
Амплитуда входного тока

$$I_{\text{бс}} = (I_{\text{бmax}} - I_{\text{бmin}}) / 2 = (0,45 - 0,05) / 2 = 0,2 \text{ мА}$$

По входной статической характеристике (для схемы ОЭ)

$$U_{\text{бmin}} = 0,15 \text{ В} \quad U_{\text{бmax}} = 0,37 \text{ В}$$

$$2U_{\text{бс}} = U_{\text{бmax}} - U_{\text{бmin}} = 0,9 - 0,68 = 0,22 \text{ В}$$



Определяем входное сопротивление

Находим входное сопротивление транзистора переменному току

$$R_{\text{н}} = 2U_{\text{н}} / 2I_{\text{н}} = 0,22 / 0,45 \cdot 10^{-1} = 244(\text{Ом})$$

Определяем сопротивления делителя напряжения R_1 и R_2 стабилизирующие режим работы транзистора

Рассчитываем сопротивления делителя R_1 и R_2 . Для уменьшения шунтирующего действия делителя на входную цепь каскада по переменному току принимают

$$R_{1-2} \geq (8 \div 12) R_{\text{н}} = 1955(\text{Ом}), \text{ где } R_{1-2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Тогда

$$R_1 = \frac{E_{\text{н}} R_{1-2}}{R_2 I_{\text{н}}} = \frac{E_{\text{н}} R_{1-2}}{R_2 I_{\text{н}}} = \frac{24 \cdot 1955}{572 \cdot 6,2 \cdot 10^{-1}} = 13258(\text{Ом})$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_{1-2}}{R_1 - R_{1-2}} = \frac{13258 \cdot 1955}{13258 - 1955} = 2300(\text{Ом})$$

Определяем коэффициент неустойчивости

$$S = \frac{R_1(R_1 + R_2) + R_1 R_2}{R_1(R_1 + R_2) + R_1 R_2(1 + \beta_{\text{н}})} = \frac{572(13258 + 2300) + 13258 \cdot 2300}{572(13258 + 2300) + 13258 \cdot 2300 / 46} = 4,1$$

Емкость разделительного конденсатора C_P

$$C_P = \frac{1}{2\pi f_{\text{н}}(R_1 + R_2)\sqrt{M_{\text{н}}^2 - 1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 150(572 + 2856)\sqrt{1,4^2 - 1}} = 0,3 \text{ мкФ}$$

Емкость конденсатора в цепи эмиттера C_E

$$C_E = \frac{10}{2\pi f_{\text{н}} R_2} = \frac{10}{2 \cdot 3,14 \cdot 150 \cdot 572} = 20 \text{ мкФ}$$

Для полного устранения отрицательной обратной связи необходимо включить $C_E \geq 20 \text{ мкФ}$.

Коэффициент усиления каскада по напряжению

$$K_{\text{н}} = \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{н}}} = 2,5 / 0,11 = 23$$

4. Информационное обеспечение обучения

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Берикашвили В. Ш. Черепанов А.К. Электронная техника. Учебное пособие -М. :Академия, 2017.– 367 с.
2. Москатов Е.А. Основы электронной техники. Учебное пособие - Ростов н/Д.: Феникс, 2016.–384 с.
3. Москатов, Е.А. Электронная техника.: учебное пособие / Москатов Е.А. — Москва :КноРус, 2019. — 199 с. — (СПО). — URL: <https://book.ru/book/931001>. — Текст : электронный.
4. Кортон, В. С. Аналоговые устройства электронных приборов : учебное пособие для СПО / В. С. Кортон, С. В. Никифоров ; под редакцией Г. И. Пилипенко. — 2-е изд. — Саратов, Екатеринбург : Профобразование, Уральский федеральный университет, 2019. — 207 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/87786.html>
5. Горошков Б.И., Горошков А.В. Электронная техника - М.: Академия, 2016.–320 с.

Дополнительные источники:

1. Ушакова Л.В. Электронная техника. Учебное пособие - М.: УМЦ СПО, 2016.– 27 с.
2. Гальперин М.В. Электронная техника. - М.: Инфра-м, Форум, 2017.–352 с.
- 3.Прянишников В. А. Электроника. Полный курс лекций - М.: Академия, 2015.–416 с
4. Голомедова А.В. «Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры» – М.: «КУБК-а», 2015. – 527 с.
5. Петухов В.М. «Полевые и биполярные транзисторы» – М. «КУБК-а», 2016. – 672 с.
6. Нефедов А.В. «Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги» – М.: «РадиоСофт», 2015. – 512 с.

Интернет- ресурсы:

1. [combook.ru>product/10042128/](http://combook.ru/product/10042128/)
2. [academia-moscow.ru> ftp_ share/_ books](http://academia-moscow.ru/ftp_share/_books)

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области
Областное государственное автономное
профессиональное образовательное учреждение
«Белгородский индустриальный колледж»

Группа 21 СДУ

ЖУРНАЛ ОТЧЕТОВ
по выполнению практических работ
учебной дисциплины
ОП.03 Электронная техника
по специальности
27.02.05 Системы и средства диспетчерского управления

ВЫПОЛНИЛ _____ / _____ /

ПРИНЯЛ _____ / Литвишков Н.А. /

Белгород 2019 г.