

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровников Л.З. Электроника: учебник/ Л.З. Бобровников - СПб.: Питер, 2004. - 560с.
2. Опадчий Ю.Ф., Аналоговая и цифровая электроника: Учебник/ Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров - М.: «Горячая Линия - Телеком», 2002. - 768с.
3. Гусев В.Г., Электроника: Учебное пособие/ В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев - М.: Высшая школа, 1982. - 495с.
4. Скаржепа В.А., Электроника и микросхемотехника: Учебник в 2ч./ В. А. Скаржепа, А.Н. Луценко - К.: Вища школа Головное издательство, 1989. - 4.1.-132с.

Зак. № ... от ... 2010 г., т 50 экз. Изд-во «СевНТУ»

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



**ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА
НАПРЯЖЕНИЯ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Электроника и микросхемотехника»
для студентов дневной и заочной форм обучения
направления подготовки 6.050201 - «Системная инженерия»
(специальность – компьютеризированные системы управления
и автоматика)

Севастополь
2010



УДК 621.38

Исследование усилительного каскада напряжения на биполярном транзисторе: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электроника и микросхемотехника» /Сост. В.А. Гайский, В.В. Чмут. – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2010. – 16с.

В методических указаниях исследуются основные характеристики и параметры усилительного каскада напряжения RC-типа. Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 6.050201 - Системная инженерия. Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры технической кибернетики, протокол № 1 от 17.09.2010 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Семёнов В. И., канд. техн. наук, доцент.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель исследования;
- принципиальную схему лабораторного стенда;
- перечень используемых приборов;
- результаты эксперимента (табличный и графический материалы);
- выводы.

Отчёт должен быть выполнен в соответствии с требованиями ДСТУ.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте назначение усилителя и назовите основные технические параметры.
2. Назовите основные технические характеристики усилителя.
3. Объясните принцип действия усилителя.
4. Что такое граничные частоты усилителя?
5. Как влияет величина R_k на K_u ?
6. Охарактеризуйте влияние ёмкостей разделительных конденсаторов на вид АЧХ и на граничные частоты?
7. Объясните назначение отдельных компонентов схемы усилителя с ОЭ.
8. Как построить нагрузочную прямую транзистора по постоянному и переменному току?
9. Объясните влияние нестабильности температуры и питающего напряжения на режим работы усилительного каскада.



Таблица 4 - зависимость $U_{\text{вых}}$ от частоты входного сигнала при $U_{\text{вх}}=0,1$ В

f [Гц]	100	1000	2000	3000	5000	9000	15000	30000	50000	60000	70000	80000	90000
$U_{\text{вых}}$ [В]													
K_u													

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. По результатам эксперимента (таблица 1) рассчитать коэффициент усиления K_u и сделать вывод о влиянии коллекторного сопротивления (резисторы R1, R3, R4) на коэффициент усиления.

2. По результатам эксперимента (таблица 2) рассчитать K_u и сделать вывод о влиянии цепочки R5, C2 на коэффициент усиления.

3. По данным таблицы 3 построить график амплитудной характеристики и описать диапазон линейного преобразования сигнала.

4. По данным таблицы 4 рассчитать K_u и построить график АЧХ. По графику определить нижнюю и верхнюю граничные частоты.

5. По результатам таблиц 1...4 сделать заключение о согласовании экспериментальных данных с теоретическими положениями.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Краткие теоретические сведения.....	3
3. Описание технических средств для выполнения работы.....	12
4. Порядок выполнения экспериментальных исследований и теоретических расчетов.....	12
5. Обработка экспериментальных данных.....	14
6. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы.....	15
Контрольные вопросы.....	15
Библиографический список.....	16

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа работы и исследование характеристик и параметров усилительного каскада на биполярном транзисторе.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Усилитель - это электронное устройство, предназначенное для усиления мощности входного сигнала за счёт потребления энергии источников питания. В общем случае усилитель, содержит несколько каскадов усиления.

В зависимости от схемы включения БТ усилительные каскады делятся на схемы с общим эмиттером (ОЭ), общей базой (ОБ) и общим коллектором (ОК).

К основным параметрам усилительных каскадов относятся:

– коэффициент усиления по напряжению $K_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$, где $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ соответственно действующие значения входного и выходного напряжений;

– коэффициент усиления по току $K_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$, где $I_{\text{вх}}$ и $I_{\text{вых}}$ соответственно действующие значения входного и выходного токов;

– коэффициент усиления по мощности $K_P = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$, где $P_{\text{вх}}$ и $P_{\text{вых}}$ соответственно входная и выходная мощности сигнала;

– входное сопротивление, т. е. сопротивление между входными клеммами усилителя для переменного входного тока $R_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{вх}}/\Delta I_{\text{вх}}$, где $\Delta U_{\text{вх}}$ и $\Delta I_{\text{вх}}$ соответственно приращения входного напряжения и вызванного им приращения входного тока;

– выходное сопротивление, т. е. сопротивление между выходными клеммами усилителя для переменного выходного тока при отключённом сопротивлении



нагрузки $R_{\text{вых}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta I_{\text{вых}}$, где $\Delta U_{\text{вых}}$ и $\Delta I_{\text{вых}}$ соответственно приращения выходного напряжения и выходного тока;

– коэффициент полезного действия усилителя $\eta = P_{\text{н}} / P_{\text{п}}$, представляющий собой отношение мощности $P_{\text{н}}$, поступающей в нагрузку, к мощности $P_{\text{п}}$, потребляемой от источника питания.

К основным характеристикам усилителя относятся амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) характеристики.

Из-за наличия в схеме усилителя реактивных элементов и зависимости параметров транзистора, как усилительного элемента, от частоты входного сигнала, коэффициент усиления усилителя имеет различные значения на разных частотах (рисунок 1а), что приводит к появлению частотных искажений сигнала. Для оценки их величины вводится параметр, называемый коэффициентом частотных искажений и определяющийся соотношением $M(\omega) = K_{\text{У0}} / K_{\text{У}}(\omega)$, где $K_{\text{У0}}$ – коэффициент усиления на средних частотах, а $K_{\text{У}}(\omega)$ – коэффициент усиления на данной частоте. Частоты, на которых коэффициент усиления достигает предельно допустимого (граничного) значения $K_{\text{У}}(\omega_{\text{ГР}}) = K_{\text{У0}} / \sqrt{2}$, называются нижней $\omega_{\text{Н.ГР}}$ и верхней $\omega_{\text{В.ГР}}$ граничными частотами, а их разность $\Delta\omega = \omega_{\text{В.ГР}} - \omega_{\text{Н.ГР}}$ – полосой пропускания усилителя. Зависимость фазового сдвига $\varphi(\omega)$ между фазами входного и выходного сигналов от частоты ω называется ФЧХ и, обычно, для одного каскада имеет вид, показанный на рисунке 1б.

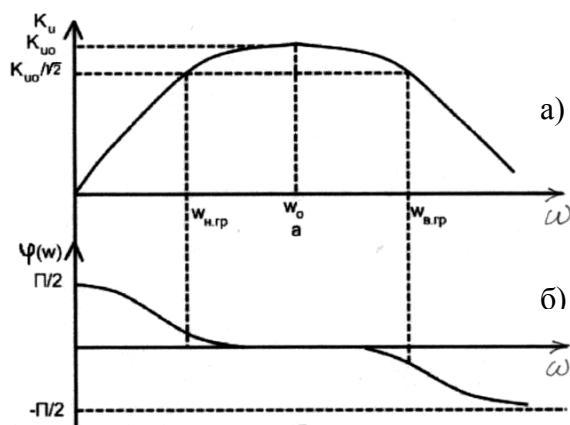


Рисунок 1 - АЧХ и ФЧХ усилителя

Амплитудная характеристика усилителя - это зависимость амплитуды выходного сигнала $U_{\text{вых м}}$ от амплитуды входного сигнала $U_{\text{вх м}}$ на некоторой постоянной частоте в области средних частот (рисунок 2). Амплитудная

Таблица 1 - Зависимость $K_{\text{ц}}$ от $R_{\text{к}}$ при $U_{\text{вх}} = 100 \text{ мВ}$ и $f = 10 \text{ кГц}$

$R_{\text{к}}$ [кОм]	$U_{\text{вых}}$ [В]	$K_{\text{ц}} = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$
10		
1		
0		

4. Используя перемычки P2 и P3 исследовать влияние элементов эмиттерной цепи резистора R5 на коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{ц}}$ и на форму выходного сигнала в области средних частот. Результаты эксперимента занести в таблицу 2 и зарисовать согласованные осциллограммы входного и выходного напряжений.

Таблица 2 - Влияние эмиттерной цепи на $K_{\text{ц}}$ при $U_{\text{вх}} = 100 \text{ мВ}$ и $f = 10 \text{ кГц}$

C [мкФ]	$R_{\text{э}}$ [Ом]	$U_{\text{вых}}$ [В]	$K_{\text{ц}} = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$	Примечание
0	0			
	220			
100	220			

5. Снять зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$ (амплитудную характеристику усилителя). Результаты эксперимента занести в таблицу 3. Значения $U_{\text{вх}}$ изменять с шагом $\Delta U_{\text{вх}} = 0,01 \text{ В}$.

Таблица 3 - зависимость $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$ при $f = 10 \text{ кГц}$

$U_{\text{вх}}$ [В]	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
$U_{\text{вых}}$ [В]						

6. Исследовать амплитудно-частотную характеристику усилителя, изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 0,1... 100 кГц при $U_{\text{вх}} = 0,1 \text{ В}$. Результаты эксперимента занести в таблицу 4.

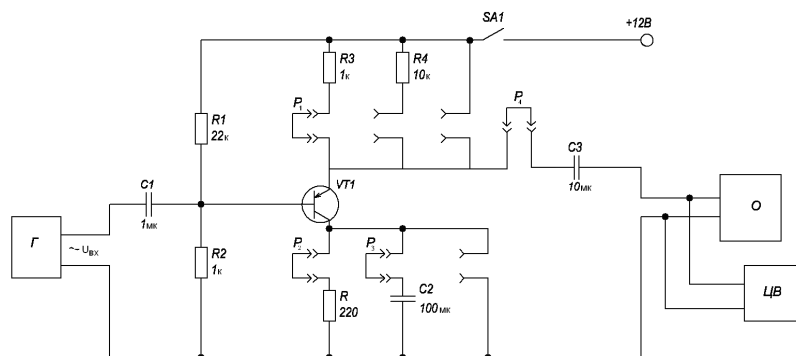


3. ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие технические средства

1. Экспериментальный стенд фирмы FESTO (модуль «Транзистор 1»).
2. Низкочастотный генератор синусоидальных сигналов ГЗ-118 (диапазон частот (1...200) кГц).
3. Цифровой вольтметр В7-27.
4. Цифровой заполняющий осциллограф «Tektronix» (серия TDS 1002 В).

В лабораторной работе используется модуль «Транзистор 1», упрощённая принципиальная схема которого приведена на рисунке 6.



Г-генератор; О-осциллограф;
ЦВ-цифровой вольтметр;

Рисунок 6 - Принципиальная схема модуля «Транзистор 1»

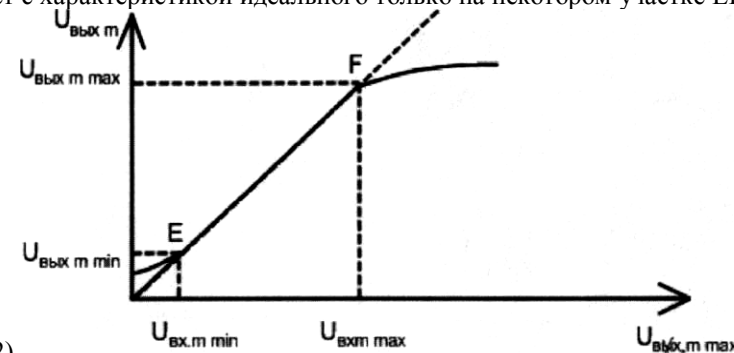
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

1. Изучить принцип действия усилительного устройства (рисунок 6) и особенности схемной реализации.

2. Начертить принципиальную схему лабораторного стенда и уяснить назначение элементов схемы.

3. С помощью переключателя SA1 включить источник питания. Исследовать влияние сопротивления резистора RK в коллекторной цепи на коэффициент K_u в области средних частот. С этой целью, задаваясь определённой величиной входного напряжения с действующим значением $U_{вх}$ и его частотой f , заполнить таблицу 1, изменяя R_k с помощью переключки P1.

характеристика идеального усилителя представляет прямую линию, проходящую через начало координат, а амплитудная характеристика реального усилителя совпадает с характеристикой идеального только на некотором участке EF



(рисунок 2)

Рисунок 2 - Амплитудная характеристика усилителя

При больших входных сигналах $U_{вх м} > U_{вх м max}$, выходное напряжение усилителя перестаёт возрастать, что обуславливается нелинейными свойствами БТ. При этом выходной сигнал искажается. Это явление называется нелинейными искажениями и оценивается коэффициентом гармоник

$$K_g = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} P_n / P_1} \quad (1)$$

где P_n - мощность n-ой гармонической составляющей выходного сигнала; P_1 - мощность 1-ой гармоники. Если нагрузка усилителя активная, то коэффициент гармоник принимает вид

$$K_g = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nm}^2 / U_{1m}^2} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{nm}^2 / I_{1m}^2} \quad (2)$$

При малых входных сигналах $U_{вх м} < U_{вх м min}$ выходное напряжение усилителя остаётся практически постоянным и равным $U_{вх м min}$. Напряжение $U_{вх м}$ называется напряжением собственных шумов усилителя. Собственные шумы



усилителя обусловлены различными помехами и наводками, а также непостоянством электрических процессов во времени. С помощью усилителя невозможно усилить сигналы с амплитудой $U_{\text{вх м}} < U_{\text{вх м min}}$, поскольку усиленный сигнал не может быть обнаружен в собственных шумах усилителя. Отношение $U_{\text{вх м max}} / U_{\text{вх м min}} = D$ называется динамическим диапазоном усилителя (обычно выражается в децибелах: $D[\text{Дб}] = 20\lg D$).

Наиболее распространённая схема усилительного каскада на БТ с ОЭ показана на рисунке 3.

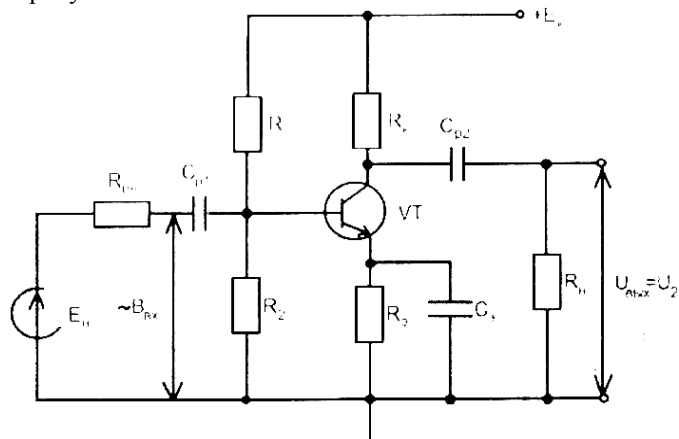


Рисунок 3 - Принципиальная схема усилительного каскада с ОЭ

Входное усиливаемое переменное напряжение $U_{\text{вх}}$, определяемое источником входного сигнала с действующим значением ЭДС $E_{\text{и}}$ и внутренним сопротивлением $R_{\text{и}}$, подводится ко входу усилителя через разделительный конденсатор C_{p1} , разделяющий источник входного сигнала и базовый вход усилителя по постоянному току, чтобы исключить нарушение начального режима работы транзистора VT. Усиленное переменное напряжение, выделяемое между коллектором транзистора VT и общей точкой схемы, подводится к внешней нагрузке с сопротивлением $R_{\text{н}}$ через разделительный конденсатор C_{p2} . Этот конденсатор служит для разделения выходной (коллекторной) цепи транзистора и внешней нагрузки по постоянной составляющей коллекторного тока $I_{\text{ок}}$. Значения $I_{\text{ок}}$ и других постоянных составляющих токов и напряжений в цепях транзистора зависят от режима его работы по постоянному току (начального положения рабочей точки P_0), как показано на рисунке 4.

$$h_{21\pi} = \frac{i_{\pi}}{i_{\text{б}}} = \frac{h_{21\text{б}}}{1 - h_{21\text{б}}} \quad (11)$$

Здесь $h_{21\text{б}}$ - коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общей базой.

Коэффициент усиления каскада по току

$$K_i = \frac{i_{\pi}}{i_1} = \frac{R'_{\text{вхз}} U_{\text{ввх}}}{U_{\text{ввх}} R_{\text{и}}} = \frac{R'_{\text{вхз}} K_{\text{и}}}{R_{\text{и}}} \quad (12)$$

Используя соотношения (8) и (9) выражение (12) преобразуем к виду

$$K_i = h_{21\pi} \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{и}}} \quad (13)$$

Дифференциальное коллекторное сопротивление транзистора в схеме с общим коллектором

$$r'_{\text{к}} = \frac{r_{\text{к}}}{1 + h_{21\pi}} \quad (14)$$

где $r_{\text{к}}$ - дифференциальное коллекторное сопротивление транзистора в схеме с общей базой.

Коэффициент усиления мощности

$$K_p = \frac{P}{P_1} = \frac{U_{\text{ввх}} I_2}{U_{\text{ввх}} I_1} \quad (15)$$

Здесь $U_{\text{ввх}}$, $U_{\text{вх}}$ - действующие значения, соответственно, выходного и входного напряжения; I_1 , I_2 - действующие значения выходного и входного токов, соответственно.

Выходное сопротивление усилительного каскада

$$R_{\text{ввх}} = \frac{U_2}{i_1} = \frac{R_{\text{о}} R'_{\text{ввхз}}}{R_{\text{о}} + R'_{\text{ввхз}}}, \quad (16)$$

где $R'_{\text{вх}} \approx r_{\text{б}} (1 - h_{21\text{б}})$.

Примечание:

Если резистор R_3 , в схеме на рисунке 3 не зашунтирован по переменному току, конденсатором C_3 , то последовательно с $r_{\text{б}}$ в эквивалентной схеме усилителя нужно включить сопротивление $R_{\text{вхз}}$. Тогда входное сопротивление каскада

$$R'_{\text{вхз}} = r_{\text{б}} + (h_{21\pi} + 1)(r_{\text{э}} + R_3) \quad (17)$$

Усилительные каскады на транзисторах по схеме с ОЭ широко применяются в качестве промежуточных и выходных, так как имеют наибольший коэффициент усиления по мощности.



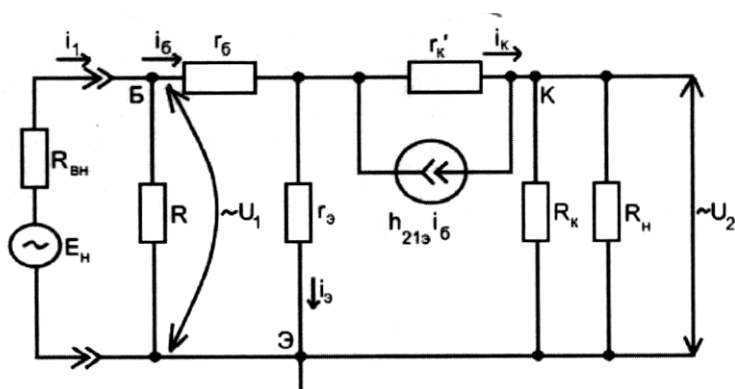


Рисунок 5 - Эквивалентная схема усилителя с ОЭ в области средних частот

Используя эквивалентную схему, приведённую на рисунке 5, определим основные параметры усилительного каскада [4]. Входное сопротивление

$$R_{вх} = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_{вх}}{i_1} = \frac{R * R'_{вхз}}{R + R'_{вхз}}, \quad (6)$$

где

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad (7)$$

$$R'_{вхз} = r_6 + (h_{21э} + 1)r_3 \approx r_6 + h_{21э} r_3. \quad (8)$$

Здесь r_6 - объёмное сопротивление базы активного характера, $h_{21э}$ - коэффициент усиления по току БТ в схеме с ОЭ, r_3 - дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода.

Коэффициент усиления напряжения

$$K_u = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{h_{21э} R_3}{R'_{вхз}} = -\frac{h_{21э} R_0}{r_6 + (h_{21э} + 1)r_3}, \quad (9)$$

где

$$R_0 = \frac{R_K R_H}{R_K + R_H}, \quad (10)$$

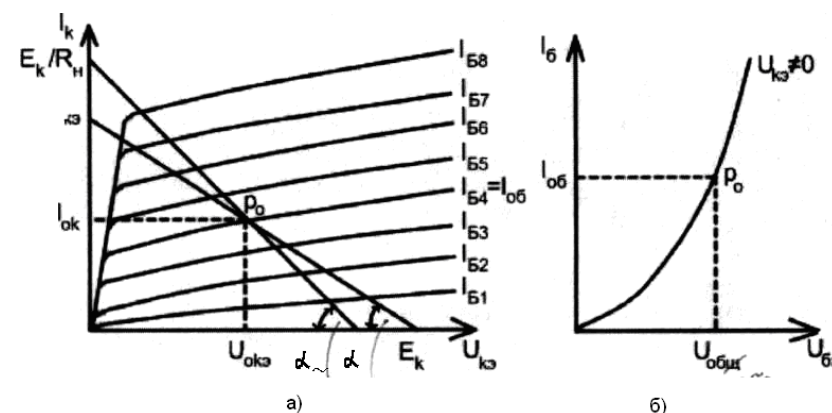


Рисунок 4 - Выходные и входная характеристики БТ

При отсутствии входного переменного сигнала, в цепи коллектора БТ протекает постоянный ток $I_{ок}$, значение которого зависит от напряжения источника питания E_k , сопротивления резисторов R_k , R_3 и постоянного тока в цепи базы $I_{об}$. Для режима покоя (начального режима) в схеме выполняется баланс напряжений:

$$U_{оке} + I_{ок} R_K + I_{об} R_{кз} \approx U_{оке} + I_{ок} (R_K + R_3) = E_k \quad (3)$$

Решив уравнение (3) относительно $I_{ок}$, получим динамическую характеристику БТ по постоянному току (статическую нагрузочную прямую):

$$I_{ок} = \frac{E_k}{R_{кз}} - \frac{U_{оке}}{R_{кз}} \quad (4)$$

где $R_{кз} = R_K + R_3$.

Выражение (4) представляет собой уравнение прямой линии, проходящей через точки с координатами $(E_k; 0)$; $(0; \frac{E_k}{R_{кз}})$ и угловым коэффициентом $\text{tg} \alpha = \frac{1}{R_{кз}}$

(рисунок 4)

Усилительные каскады могут работать в одном из режимов: А, В, С, АВ, определяемых начальным положением рабочей точки при отсутствии входного переменного сигнала. Это положение определяется на характеристиках транзистора (рисунок 4) совокупностью постоянных составляющих токов и напряжений: на выходной характеристике - $I_{ок}$, $U_{оке}$ и входной характеристике - $I_{об}$, $U_{обз}$. При работе БТ в активном (усилительном) режиме (класс А), начальное положение



рабочей точки должно быть таким, чтобы ток через активный элемент БТ протекал в течении всего периода изменения входного сигнала, а амплитудное значение выходного тока I_{km} не превышало начального тока $I_{ок}$. Начальное положение рабочей точки обеспечивается делителем напряжения, состоящим из резисторов R_1 , и R_2 (рисунок 3), значения которых определяются соотношениями

$$R_1 = \frac{E_k - U_{0бз} - U_{Rз}}{I_{дел} + I_{0б}}; \quad R_2 = \frac{U_{0бз} + U_{Rз}}{I_{дел}}, \quad (5)$$

где $I_{дел} = (2..5)I_{0б}$ - ток в цепи делителя, $U_{Rз}$ для каскадов предварительного усиления уберётся равным $(0,1 \dots 0,25) E_k$.

При обеспечении режима работы транзистора необходимо осуществить температурную стабилизацию положения рабочей точки (уменьшить влияние температуры на начальное положение рабочей точки). С этой целью в эмиттерную цепь введён резистор $R_э$, на котором создаётся напряжение отрицательной обратной связи ООС по постоянному току $U_{Rэ}$. Для устранения ООС по переменному току при наличии входного переменного сигнала, резистор шунтируют конденсатором $C_э$ сопротивление которого на частоте улавливаемого

сигнала должно быть не значительным $(\frac{1}{\omega C_э} \leq 0,1 R_э)$.

При включении на вход усилителя источника сигнала с эдс E_n на базе транзистора появляется синусоидальное напряжение $U_{вх}$, которое изменяет начальное напряжение $U_{0бз}$. Под влиянием напряжения $U_{вх}$, в цепи базы появляется переменная составляющая тока $i_{б\sim}$, которая вызывает появление переменной составляющей тока в цепи коллектора $i_{к\sim} = h_{21э} i_{б\sim}$.

При наличии на входе усилительного каскада сопротивления нагрузки R_H (рисунок 3), переменная составляющая тока коллектора распределяется между R_k и R_H , которые для переменного тока включены параллельно (внутреннее сопротивление источника питания E_k считаем равным нулю). Динамическая характеристика по переменному току представляет собой прямую линию, проходящую через точку P_0 (рисунок 4) с угловым коэффициентом $\text{tg } \alpha_{\sim} = 1/R'_H$, где $R'_H = R_k R_H / (R_k + R_H)$. При $R_H = \infty$ динамические характеристики по переменному и постоянному току совпадают. Следует обратить внимание на то, что напряжение на выходе усилительного каскада с ОЭ находится в противофазе с напряжением на его входе.

Аналитический расчёт коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности, а также входного и выходного сопротивлений однокаскадных усилителей производится по эквивалентным схемам для переменных составляющих токов и напряжений для различных диапазонов частот входного сигнала: низких, средних и высоких.

В области низких частот ($\omega < \omega_{н.гр}$) на работу усилителя оказывают влияние разделительные C_{p1} , C_{p2} и эмиттерный $C_э$ конденсаторы. Влияние разделительных конденсаторов заключается в том, что при понижении частоты входного сигнала увеличиваются емкостные сопротивления конденсаторов X_{Cp} , появляются падения напряжений на этих сопротивлениях от токов, протекающих во входной и выходной цепях, за счёт чего понижается напряжение $U_{бз}$, между базой и эмиттером при $E_n = \text{const}$, а, следовательно, и напряжение на нагрузке $U_{вых}$. Таким образом наличие разделительных конденсаторов приводит к снижению коэффициента усиления в области низких частот.

Влияние конденсатора $C_э$ заключается в том, что при снижении частоты и росте $X_{Cэ}$ сильнее проявляется действие напряжения отрицательной обратной связи $U_{Rэ}$, по переменному току. Напряжение становится соизмеримым с напряжением $U_{вх}$, что приводит к уменьшению напряжения $U_{бз}$, а, следовательно, и к снижению коэффициента усиления каскада.

В области высоких частот ($\omega > \omega_{в.гр}$) проявляется зависимость коэффициента усиления тока транзистора от частоты, а также оказывают влияние ёмкость коллекторного перехода транзистора C_k , включённая параллельно дифференциальному сопротивлению коллекторного перехода r_k , ёмкость эмиттерного перехода $C_{эп}$, включённая параллельно сопротивлению нагрузки R_H и учитывающая ёмкость нагрузки и паразитную ёмкость схемы усилителя [2,4]. Влияние указанных ёмкостей приводит к уменьшению переменной составляющей тока, протекающего через сопротивление R_H и к уменьшению напряжения $U_{вых}$.

В области средних частот ($\omega_{н.гр} \leq \omega \leq \omega_{в.гр}$) ёмкостные сопротивления X_{Cp} и $X_{Cэ}$, малы и ими можно пренебречь, а емкостные сопротивления X_{Ck} , $X_{C_{эп}}$, X_{C_0} достаточно велики и не оказывают существенного влияния на работу усилителя, поэтому коэффициент усиления тока БТ изменяется незначительно и, следовательно, в этом частотном диапазоне $K_U(\omega) \approx K_{U_0} = \text{const}$. Эквивалентная схема усилителя с ОЭ для диапазона средних частот приведена на рисунке 5. Большое число электронных устройств автоматики и систем управления работает в диапазоне средних частот (сотни герц - сотни килогерц), а схема с ОЭ используется наиболее часто, поэтому она выбрана в качестве основной при исследовании усилителей.

