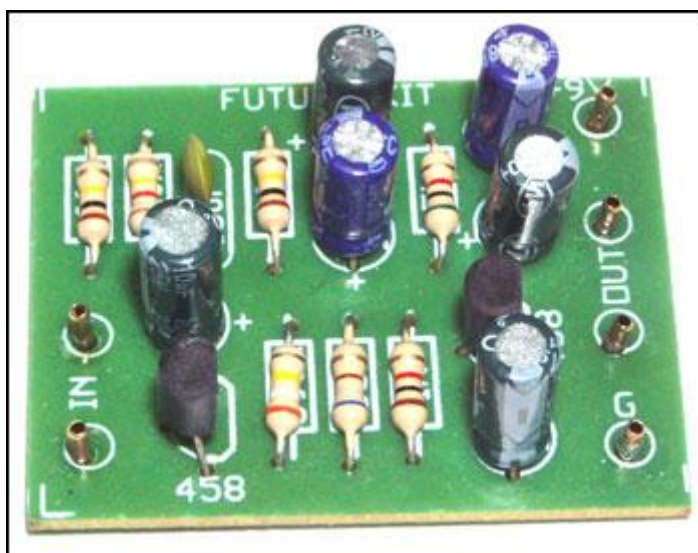


С . Р . Иванов

ТРИ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

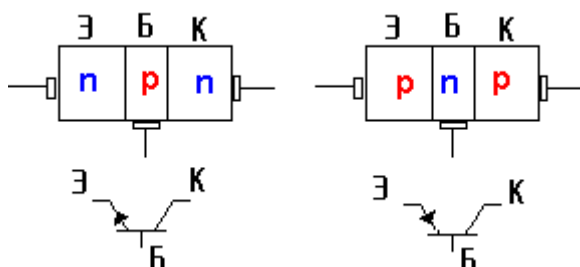
Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу « Микроэлектроника »



Лабораторная работа № 2. ТРИ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

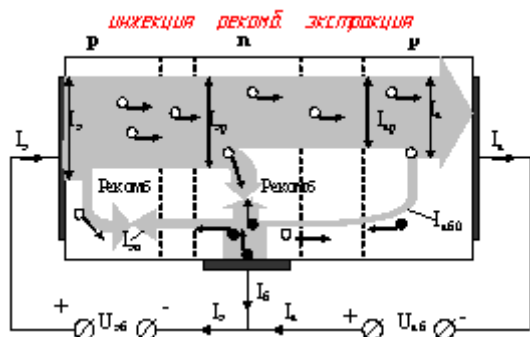
Цель работы – изучить, как влияют различные способы включения биполярного транзистора и величина сопротивления нагрузки на свойства усилительного каскада.

Теоретическая часть



Транзистор (от англ. transfer — переносить и resistor — сопротивление) (в дальнейшем транзистор-Т.), электронный прибор на основе полупроводникового кристалла, имеющий три (или более) вывода, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний.

В биполярных Т. (которые обычно называют просто Т.) ток через кристалл обусловлен движением носителей заряда обоих знаков. Такой Т. представляет собой монокристаллическую полупроводниковую пластину, в которой с помощью особых технологических приёмов созданы 3 области с разной проводимостью: дырочной (p) и электронной (n). В зависимости от порядка их чередования различают Т. $p-n-p$ -типа и $n-p-n$ -типа. Средняя область (её обычно делают очень тонкой) — порядка нескольких $\mu\text{м}$, называется **базой**, две другие — **эмиттером** и **коллектором**. База отделена от эмиттера и коллектора **электронно-дырочными переходами** ($p-n$ -переходами): **эмиттерным** (ЭП) и **коллекторным** (КП). От базы, эмиттера и коллектора сделаны металлические выводы.



Рассмотрим физические процессы, происходящие в Т., на примере Т. $n-p-n$ -типа. К ЭП прикладывают напряжение $U_{эб}$, которое понижает потенциальный барьер перехода и тем самым уменьшает его сопротивление электрическому току (то есть ЭП включают в направлении пропускания электрического тока,

или в прямом направлении), а к КП — напряжение $U_{кб}$, повышающее потенциальный барьер перехода и увеличивающее его сопротивление (КП включают в направлении запирающего или в обратном направлении). Под действием напряжения $U_{эб}$ через ЭП течёт ток i_3 , который обусловлен главным образом перемещением (инжекцией) электронов из эмиттера в базу. Проникая сквозь базу в область КП, электроны захватываются его полем и втягиваются в коллектор. При этом через КП течёт коллекторный ток i_k . Однако не все инжектированные электроны достигают КП: часть их по пути рекомбинирует с основными носителями в базе — дырками (число рекомбинировавших электронов тем меньше, чем меньше толщина базы и концентрация дырок в ней). Так как в установившемся режиме количество дырок в базе постоянно, то это означает, что часть электронов уходит из базы в цепь ЭП, образуя ток базы i_6 таким образом, $i_3 = i_k + i_6$. Обычно $i_6 \ll i_k$, поэтому $i_k \approx i_3$ и $\Delta i_k \approx \Delta i_3$. Величина $\alpha = \Delta i_k / \Delta i_3$, называется **коэффициентом передачи тока** (иногда — коэффициентом усиления по току), зависит от толщины базы и параметров полупроводникового материала базы и для большинства Т. близка к 1. Всякое

изменение $U_{бэ}$ вызывает изменение $i_э$ (в соответствии с вольт-амперной характеристикой $p-n$ -перехода) и, следовательно, $i_к$.

В транзисторных схемах источник сигнала может включаться в цепь базы или эмиттера, нагрузка – в цепь коллектора или эмиттера, а третий электрод транзистора оказывается общим для входной и выходной цепи.

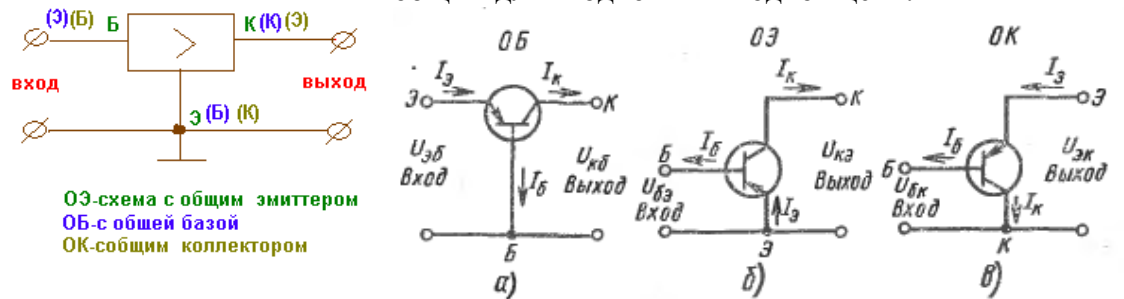


рис.1

В зависимости от того, какой электрод транзистора оказывается общим, различают схемы **ОЭ** (с общим эмиттером), **ОБ** (с общей базой) и **ОК** (с общим коллектором), показанные на рис. 1 и рис.2

В этих схемах конденсаторы $C1$ и $C2$ служат для связи каскада с источником сигнала и нагрузкой на переменном токе и исключают в то же время влияние источника сигнала и нагрузки на режим работы каскада по постоянному току. Резисторы $R1$, $R2$, $R_к$ и $R_э$ обеспечивают выбранный режим работы транзистора в активной области, т.е. выбранное положение рабочей точки на вольт-амперных характеристиках транзистора. Конденсатор $C3$ выполняет роль блокировочного конденсатора, исключая из работы на переменном токе резистор $R_э$ (каскад ОЭ) или делитель напряжения в цепи базы $R1$, $R2$ (каскад ОБ), и тем самым обеспечивает присоединение эмиттера (базы) к общей точке схемы.

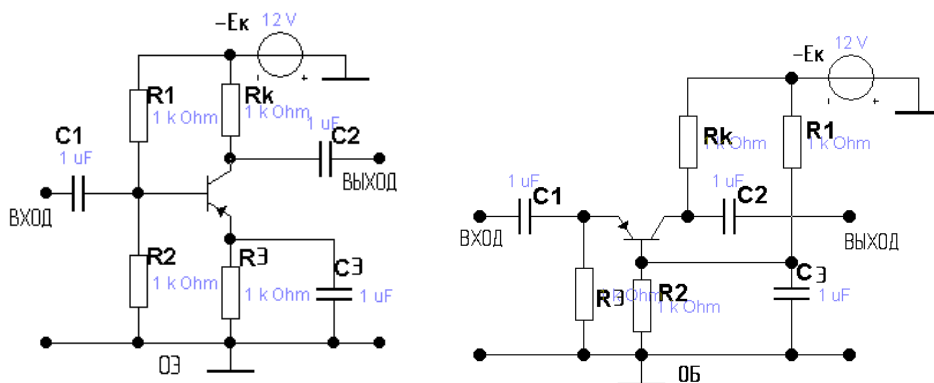


рис.2

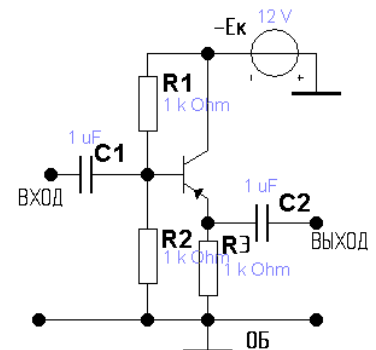
Принципиальные схемы каскадов: а) ОЭ, б) ОБ, в) ОК

Для анализа транзисторных схем важно знать, как связаны электродные токи и напряжения между выводами транзистора, т.е. знать вольт-амперные характеристики.

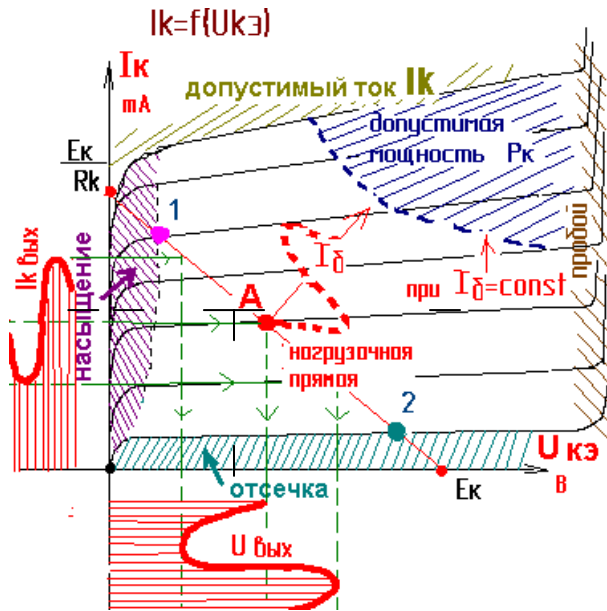
При анализе каскада ОЭ удобно пользоваться зависимостями $I_б = f_1(U_{бэ}, U_{кэ})$ и $I_к = f_2(U_{кэ}, I_б)$. Первые

из них называются **семейством входных**, а вторые – **семейством выходных характеристик**. Их типичный вид приведен на рис. 3. Здесь же приведена построенная нагрузочная прямая по постоянному току и выбранная на ней рабочая точка транзистора A с координатами $I_{кА}, U_{кэА}, I_{бА}$,

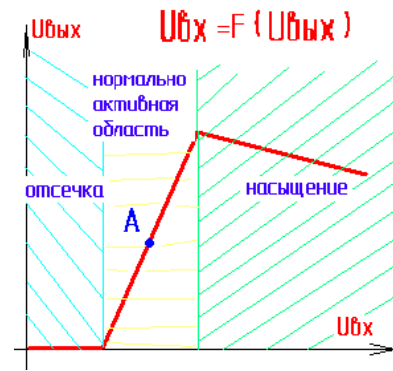
которая отображена также на семействе входных характеристик и имеет координаты $I_{бА}, U_{бэА}, I_{кА}$. Для построенной нагрузочной прямой $I_к = (E_к - U_{кэ}) / (R_к + R_э)$ (рис.3а)



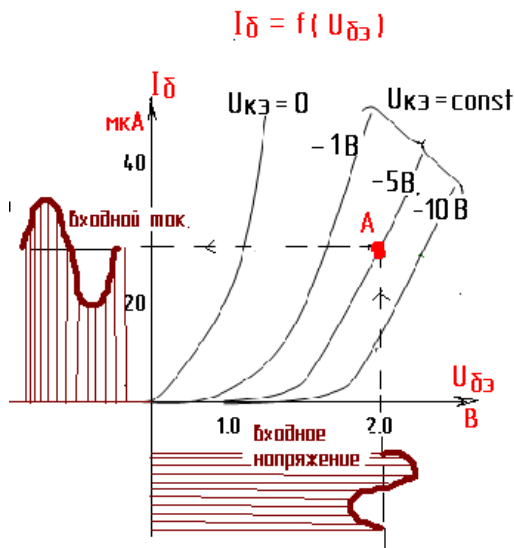
транзистор будет работать в активном режиме при токах базы в диапазоне $I_{КО} - I_{ОН}$. В усилительных схемах транзистор работает в активном режиме, когда эмиттерный переход смещен прямо (для р-п-р транзистора $U_{БЭ} > 0$), а коллекторный – обратно ($U_{БК} > 0$). При этом транзистор обладает усилительными свойствами и токи его электродов связаны между собой через статические коэффициенты передачи по току транзистора B и α $B = I_K / I_B, B + 1 = I_C / I_B, \alpha = I_K / I_C$, откуда следует, что $B = \alpha / (1 - \alpha), \alpha = B / B + 1$.



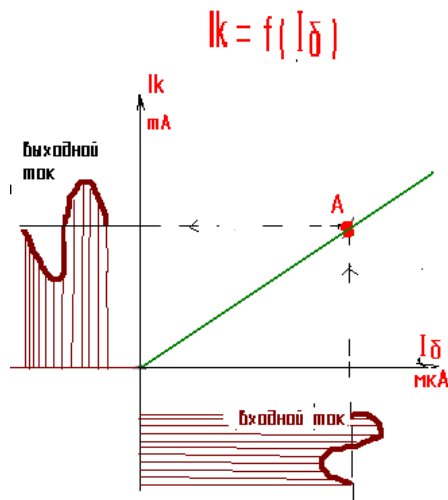
а) выходная характеристика транзистора



в) передаточная характеристика

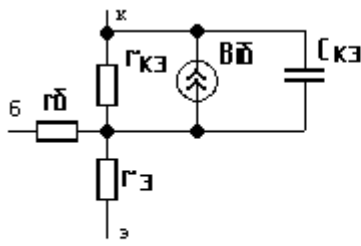


б) входная характеристика транзистора



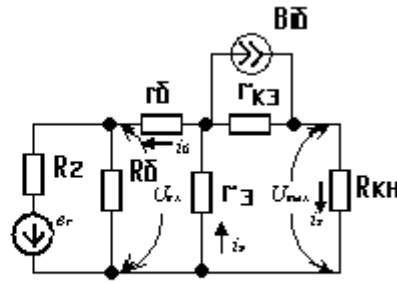
г) переходная характеристика

Рис. 3. Статические вольт- амперные характеристики транзистора: а) выходные, б) входные



Малосигнальная Т-образная эквивалентная схема транзистора

Рис. 4. Малосигнальная Т-образная эквивалентная схема транзистора



Эквивалентная схема каскада ОЭ для диапазона средних частот

Рис. 5 Эквивалентная схема каскада ОЭ для диапазона средних частот

Для оценки параметров усилителя его принципиальную схему преобразуют в эквивалентную, в которой транзистор замещается своей **малосигнальной эквивалентной схемой** рис. 4.

Нас интересуют формулы для $K_U, K_i, K_p, R_{вх}$ и $R_{вых}$ в диапазоне средних частот. На этих частотах можно не учитывать частотную зависимость коэффициента передачи по току и емкость $C_{кэ}$ (она отбрасывается). Емкости конденсаторов C_1, C_2 и C_3 выбирают настолько большим, чтобы на средних частотах их сопротивление было пренебрежимо малым по сравнению с суммарным сопротивлением окружающих их резисторов. Поэтому в эквивалентной схеме на рис. 5 они представлены коротко-замкнутыми ветвями. То же относится и к источнику питания E_K , так как схема на рис. 5 справедлива только для переменных составляющих токов и напряжений. С учетом сказанного резисторы R_1 и R_2 , так же как и резисторы R_K и R_H (R_H - нагрузка, подключаемая к выходным клеммам усилителя), оказываются соединенными параллельно.

Параметр	Схема включения транзистора		
	ОЭ	ОБ	ОК
$R_{вх}$	$R_{вхТр} // R_б$	$\frac{R_{вхТр}}{B+1} // R_э$	$[R_{вхТр} + (B+1)R_{эН}] // R_б$
K_i	$\frac{R_б}{R_б + R_{вхТр}} B \frac{R_K}{R_K + R_H}$	$\frac{R_э \alpha}{R_э + R_{вхТр}} \frac{R_K}{B+1} \frac{R_K}{R_K + R_H}$	$\frac{R_б (B+1) R_э}{[R_б + R_{вхТр} + (B+1)R_{эН} (R_э + R_H)]}$
K_u	$\frac{BR_{KH}}{R_{вхТр}}$	$\frac{BR_{KH}}{R_{вхТр}}$	$\frac{(B+1)R_{эН}}{R_{вхТр} + (B+1)R_{эН}}$
$R_{вых}$	$\sim R_K$	$\sim R_K$	$R_э // \left(r_э + \frac{R'_Г + r_б}{B+1} \right)$
G	$\frac{R'_Г + r_б + r_э}{R'_Г + R_{вхТр}}$	$\frac{R'_Г + r_б + r_э}{R'_Г (B+1) + R_{вхТр}}$	$\frac{R'_Г + r_б + r_э + R_{эН}}{R'_Г + R_{вхТр} + (B+1)R_{эН}}$

. Поэтому в эквивалентной схеме фигурируют $R'_б = R_1 // R_2$ и $R'_{KH} = R_K // R_H$. Аналогично можно получить эквивалентные для каскадов ОБ и ОК. Применяя к эквивалентным

схемам каскадов известные методы анализа электрических цепей (например, метод контурных токов), можно получить приближенные формулы для оценки основных параметров усилительных каскадов, представленные в таблице. В этих формулах $R_{ЭН} = R_{Э} // R_H$, $R_{вхТРОЭ} = r_{\sigma} + r_{\sigma}(B + 1)$, где $r_{\sigma} = 26 \text{ мВ} / I_{ЭА}$, $R_{Г'} = R_{Г} R_{\sigma} / (R_{Г} + R_{\sigma})$, а $R_{Г}$ – внутреннее сопротивление источника сигнала. Для всех схем $K_P = K_U K_i$.

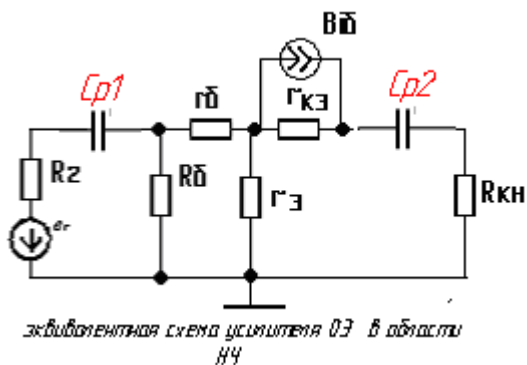


рис.6

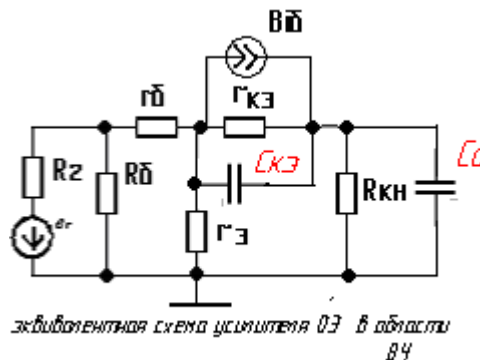


рис.7

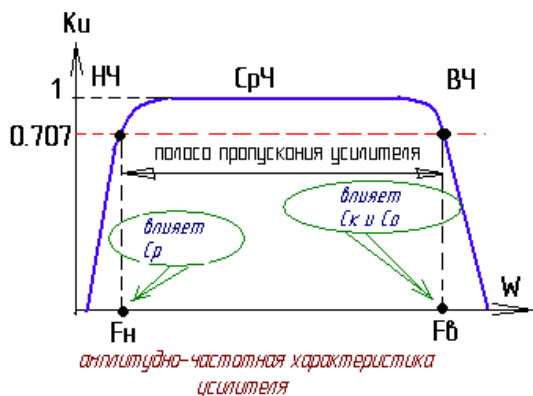


Рис.8 АЧХ

Верхняя граничная частота полосы пропускания (на этой частоте $U_{вых}$ в $\sqrt{2}$ раза меньше, чем на средней частоте) транзисторного каскада зависит от параметров транзистора $f_{h21\sigma}$, B , C_K , r_{σ} и r_{σ} , нагрузки R_H , C_H , внутреннего сопротивления источника сигнала $R_{Г}$ и схемы включения транзистора. Для любого усилительного каскада $f_e = (2\pi\tau_e)^{-1}$, где $\tau_e = G(\tau_{\sigma} + C_{КЭ} R_{КН}) + C_H R_{КН}$. В

последней формуле $\tau_B = (B + 1)2\pi f_{h21\sigma}$, $C_{КЭ} = C_K (B + 1)$, а коэффициент

G для каждой схемы включения транзистора вычисляют по формулам таблицы.

Описание макета

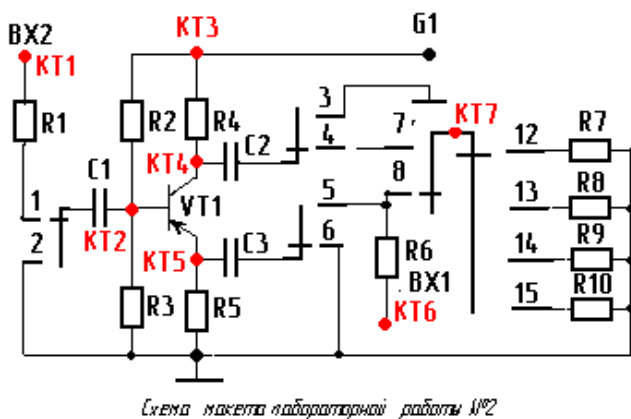


рис.9 Схема макета.

Исследуемая в работе схема представлена на рис. 9. С помощью переключателей расположенных на передней панели лабораторной установки, можно путем соответствующей коммутации эмиттерной, базовой и коллекторной цепей транзистора собрать любой из трех усилительных каскадов (ОЭ, ОБ или ОК). Для оценки входного тока усилителя служат измерительные резисторы R1(ОЭ,

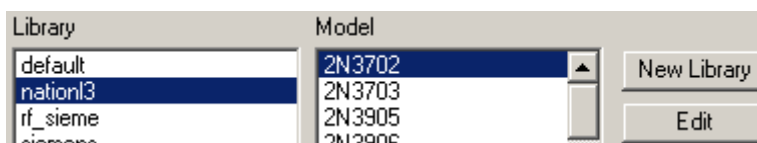
ОК) и R_6 (ОБ). При этом $i_{ex} = (U_{\Gamma} - U_{ex}) / R_{изм}$, где U_{Γ} - напряжение на клеммах генератора, U_{ex} - напряжение на входе усилителя (за измерительным резистором).

При оценке выходного сопротивления усилителя $R_{вых} = U_{выхХХ} / i_{выхКЗ}$ будем считать, что холостой ход на выходе усилителя возникает, если установить $R_H = R_{Hmax}$, а режим короткого замыкания - при $R_H = R_{Hmin}$, так как других возможностей данная лабораторная установка не предоставляет.

Питание усилительного каскада осуществляется от источника $G1$, напряжение на выходе которого устанавливают 10 В.

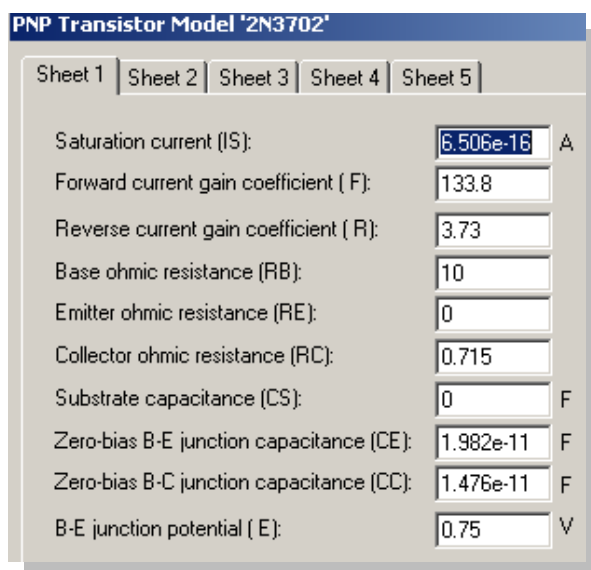
В исследуемой схеме стоит маломощный низкочастотный транзистор МП42А ($f_{h21\delta} = 1 \div 3 \text{ МГц}$, $B = 30 \div 50$, $r_{\delta} = 200 \text{ Ом}$, $C_K = 30 \text{ нФ}$, $P_{Kmax} = 200 \text{ мВт}$). Резисторы и конденсаторы имеют следующие номиналы: $R1=1 \text{ кОм}$; $R2=11 \text{ кОм}$; $R3=5,1 \text{ кОм}$; $R4=R5=R9=3,6 \text{ кОм}$; $R6=47 \text{ Ом}$; $R7=20 \text{ Ом}$; $R8=510 \text{ Ом}$; $R10=10 \text{ кОм}$; $C1=C2=C3=20,0 \text{ мкФ}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ В EWB -5.12 pro.



Схему начинают создавать с транзистора, щелкнув мышкой по транзистору, выбираем любой реальный

транзистор из библиотеки, входят в режим редактирования Edit и в соответствии со справочными данными изменяют параметры, далее кнопку Rename, ОК-транзистор готов.



ток насыщения
коэффициент усиления

коэффициент усиления при инверсном вкл.
объемное сопротивление базы
сопротивление эмиттера

сопротивление коллектора
емкость на подложке
емкость эмиттерного перехода
емкость коллекторного перехода
потенциал база-эмиттер

Sheet 1	Sheet 2	Sheet 3	Sheet 4	Sheet 5
B-C junction potential (C):	<input type="text" value="0.75"/>	V		
Forward transit time (τ_F):	<input type="text" value="7.613e-10"/>	s		
Reverse transit time (τ_R):	<input type="text" value="1.141e-07"/>	s		
B-E junction grading coefficient (ME):	<input type="text" value="0.3357"/>			
B-C junction grading coefficient (MC):	<input type="text" value="0.5383"/>			
Early voltage (VA):	<input type="text" value="115.7"/>	V		
Base-emitter leakage saturation current (ISE):	<input type="text" value="9.716e-14"/>	A		
Forward beta high-current knee-point (IKF):	<input type="text" value="1.081"/>	A		
Base-emitter leakage emission coefficient (NE):	<input type="text" value="1.832"/>			
Forward current emission coefficient (NF):	<input type="text" value="1"/>			

потенциал база-коллектор
 время переноса заряда через базу
 время переноса заряда через базу в
 инверсном включении
 коэффициенты плавности эм. и кол.
 переходов

напряжение Эрли

Примечание: для проведения лабораторной работы редактируем только 1 и 2 окна модели, остальные оставляем неизменными.

Когда схема усилителя рассчитана по -постоянному току, правильность расчета

можно проверить экспериментально : а) С помощью амперметров и вольтметров

б) Используя анализ **DC Operating Point**, получают распределение потенциалов в схеме

в) С помощью анализа **DC Sweep**, предварительно задав параметры источника входного сигнала и шаг его изменения, а также номер выходного узла, можно получить передаточную характеристику усилителя $U_{вых}=F(U_{вх})$ см. рис.3в

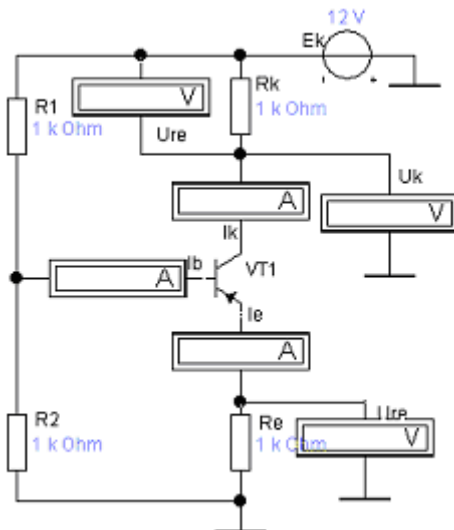


рис.10 а Моделирование на постоянном токе рис10б

Node/Branch	Voltage/Current
1	-11.08030
2	-12.00000
3	-12.00000
4	-11.07263
Q2#base	-11.89847
Q2#collector	-11.07964
V1#branch	-22.15293m
V2#branch	-919.70323u

рис.11 Результаты моделирования при анализе DC Operating Point

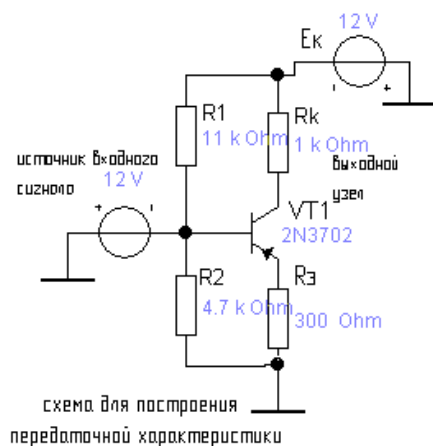
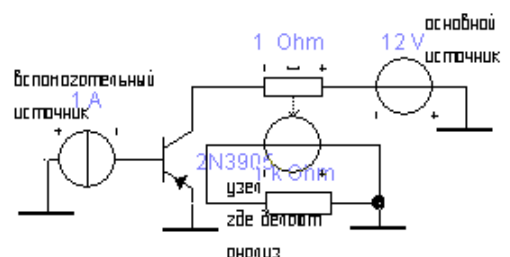


схема для построения передаточной характеристики

г) В анализе **DC Sweep** можно построить семейство входных и выходных характеристик транзистора, задав предварительно диапазоны изменения и шаг основного и вспомогательного источников, а также узел, где выполняется анализ. При оформлении отчета необходимо построить нагрузочную прямую по постоянному, переменному току и показать рабочую точку.

рис10в



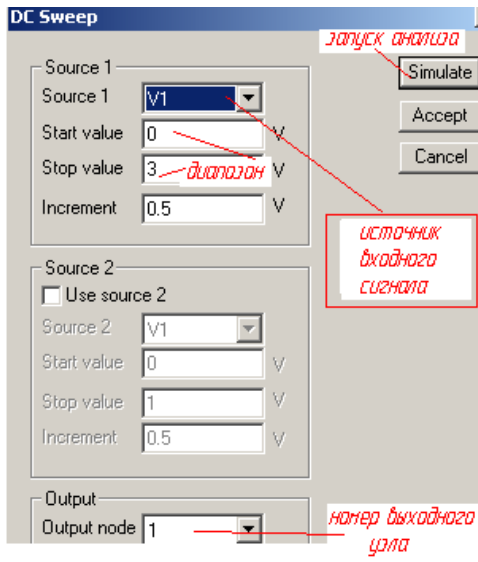


рис 13 Параметры анализа для построения передаточной характеристики

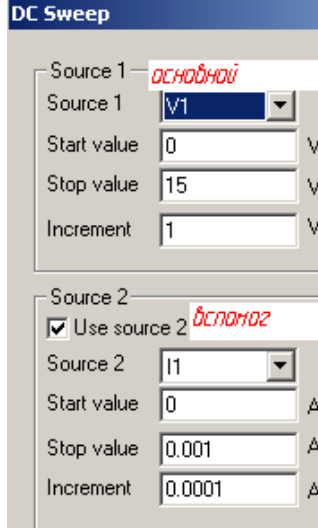


рис12 Семейство выходных характеристик.

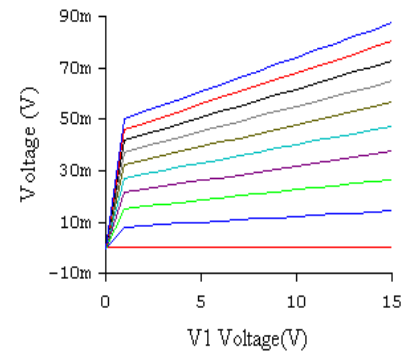
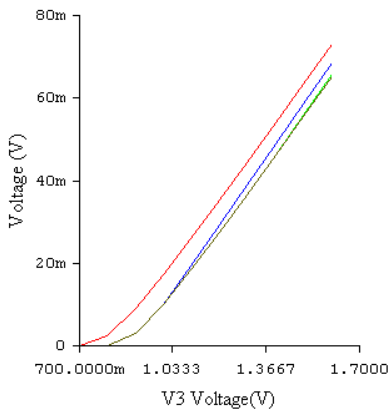


рис14 Параметры анализа для снятия семейства выходных характеристик



Входные характеристики транзистора рис 15

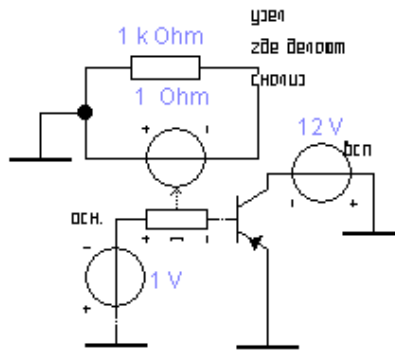
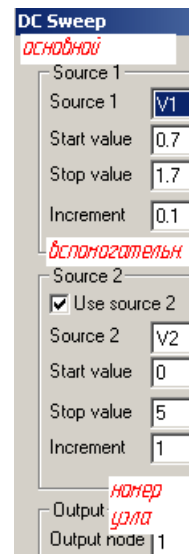


Схема для построения входной характеристики транзистора рис16



Окно анализа для снятия входной характеристики рис17

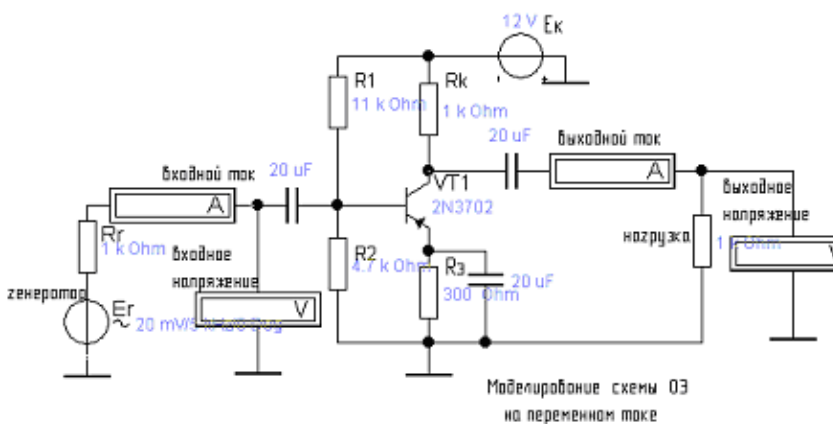


рис.18 Схема ОЭ по переменному току

приборов необходимо установить АС-моделирование на переменном токе. На вход схемы подается сигнал средней частоты, амплитудой несколько милливольт. Для определения

Для определения коэффициентов усиления, входного и выходного сопротивлений, а также верхней граничной частоты собирают схему, приведенную на рис.18. Ко входу подключают генератор синусоидальных сигналов, ко входу и выходу схемы подключают осциллограф. У всех

верхней граничной частоты используется эта схема, анализ **AC - frequency** проводится в выходном узле, с помощью маркеров на АЧХ (рис.8) определяется F_v (по оси X)

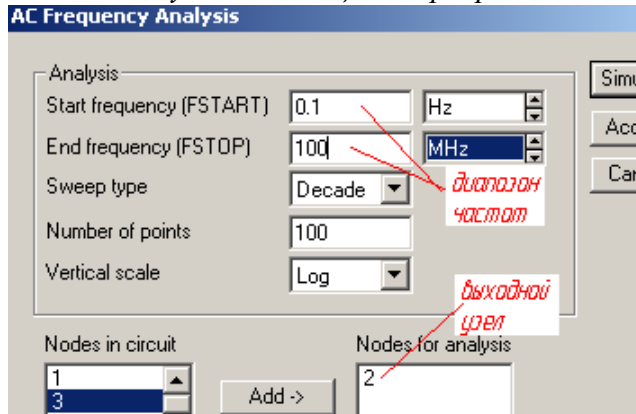


рис 19 Параметры анализа AC frequency

При проведении анализа задается частотный диапазон и номер узла.

При снятии осциллограмм напряжений и тока удобно воспользоваться анализом **Transient**, в нем задается временной диапазон, шаг и узлы в которых проводится анализ.

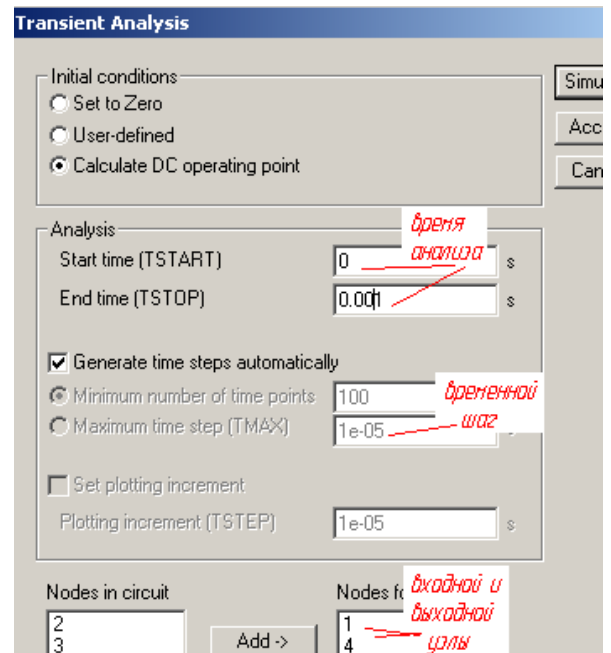


рис 20 Параметры анализа Transient

И более широкие возможности в исследовании схем позволяет проводить анализ **Parametr Sweep**

в нем можно изменить любой параметр любого компонента схемы – для этого задают диапазон параметра, шаг параметра, номер узла и выбирают

субанализ- **Transient**, **Parametr Sweep**, **DC Operating Point** (необходимо поставить точку около выбранного анализа).

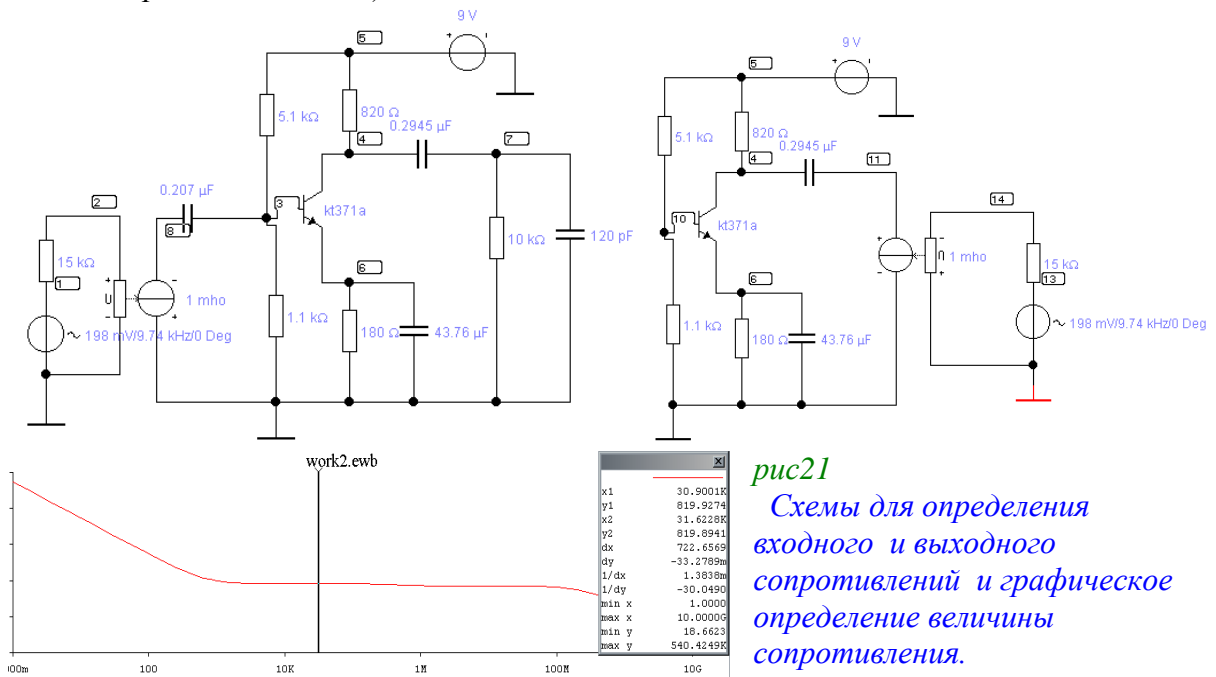


рис21 Схемы для определения входного и выходного сопротивлений и графическое определение величины сопротивления.

примечание: можно использовать бode-плоттер, или анализ AC Frecuenci. На средней частоте по оси Y-будет величина сопротивления.

Задание

Подготовить к работе генератор стандартных сигналов (ГСС) и милливольтметр переменного тока с большим входным сопротивлением. Ознакомившись с назначением органов управления лабораторной установки и присоединив к ней измерительные приборы, подключить установку к сети переменного тока.

1. Подавая на вход схемы синусоидальный сигнал с частотой $f_c=2$ кГц (средняя частота для усилителя) и напряжением $U_{г} = 35$ мВ, для каждого из усилительных каскадов ОЭ, ОБ, ОК провести экспериментальную оценку малосигнальных параметров каскада $K_U, K_i, K_p, R_{ex} u R_{вых}$ при различных сопротивлениях нагрузки R_n . Построить зависимости параметров усилителя от R_n .
2. Используя формулы таблицы, оценить те же параметры усилителя и вычислить относительное расхождение между экспериментальными и аналитическими результатами.
3. Пользуясь экспериментальными данными определить, какой каскад и при каких R_n обладает наибольшим усилением по мощности. Объясните почему?
4. Дать заключение, как соотносятся между собой у различных каскадов $K_U, K_i, R_{ex} u R_{вых}$. Объясните полученные результаты.
5. Экспериментально определить верхнюю граничную частоту для каждого из каскадов ОЭ, ОБ и ОК при $R_n = R_{10}$. Напряжение на выходе ГСС поддерживать неизменным на всех частотах и равным 35 мВ.
6. Рассчитать $f_{в}$ для каждого каскада и сопоставить расчетные и экспериментально полученные значения между собой.

При моделировании на компьютере трех схем у каждого студента свой вариант, номиналы резисторов и конденсаторов и $E_{к}$ из описания макета (см. выше)

Варианты заданий при моделировании в EWB 5-12pro :

<i>B</i>	<i>U_{вх}</i> <i>мВ</i>	<i>F_в</i> <i>кН</i>	<i>R_n</i> <i>КОм</i>	<i>I_S</i> <i>мкА</i>	<i>F</i>	<i>R_b</i> <i>ом</i>	<i>C_E</i> <i>нф</i>	<i>C_C</i> <i>нф</i>	<i>E</i> <i>В</i>	<i>C</i> <i>В</i>	<i>ME</i>	<i>MC</i>	<i>VA</i> <i>В</i>	<i>Fa</i> <i>МГц</i>
1	20	1	1	1	50	200	12	18	0.3	0.3	0.3	0.5	115	2
2	30	2	2	2	50	180	11	19	0.3	0.3	0.3	0.5	110	3
3	40	3	1	3	45	170	10	20	0.3	0.3	0.3	0.5	100	4
4	25	4	2	4	45	190	8	15	0.3	0.3	0.3	0.5	95	5
5	35	1.5	1.5	5	55	210	7	15	0.3	0.3	0.2	0.4	90	6
6	45	2.5	2.5	1	55	200	10	16	0.3	0.3	0.2	0.4	50	7
7	50	3.5	3	2	30	205	11	16	0.4	0.4	0.2	0.4	60	8
8	15	4.5	1	3	35	195	12	15	0.4	0.4	0.2	0.4	70	9
9	22	5	1	4	30	180	7	16	0.4	0.4	0.4	0.4	80	10
10	34	5.5	1	5	32	200	8	18	0.4	0.4	0.4	0.4	90	12
11	20	6	0.9	5	33	200	9	18	0.5	0.5	0.4	0.4	100	14
12	30	1	0.9	4	40	200	10	19	0.5	0.5	0.4	0.4	110	10
13	25	2	1	3	42	190	12	19	0.5	0.5	0.3	0.5	100	2
14	35	2.5	1	2	43	190	11	20	0.5	0.5	0.3	0.5	90	3
15	40	2	2	1	45	190	10	20	0.3	0.3	0.3	0.4	95	4
16	15	1	2	2	50	180	9	19	0.3	0.3	0.3	0.4	105	5
17	10	2	1	2	55	180	8	19	0.3	0.3	0.3	0.4	85	6
18	18	1.5	1	2	30	197	7	18	0.4	0.4	0.3	0.4	80	7
19	27	2.5	1	2	35	197	10	15	0.4	0.4	0.4	0.5	75	8
20	15	2	1	1	40	195	11	12	0.4	0.4	0.43	0.5	70	9

21	20	3	1.5	3	43	195	12	18	0.3	0.3	0.35	0.35	65	10
22	25	2.5	1.5	2	31	200	9	12	0.3	0.3	0.25	0.35	60	12
23	35	1	2	4	48	200	7	12	0.4	0.4	0.25	0.35	115	14
24	45	4	2.5	1	33	190	10	14	0.4	0.4	0.25	0.4	110	16
25	40	3	1.2	2	45	190	11	18	0.5	0.5	0.25	0.4	100	18
26	30	4	1.2	3	50	185	12	15	0.5	0.5	0.3	0.4	95	20
27	25	3	1.2	1	52	185	9	12	0.3	0.3	0.3	0.4	90	2
28	15	4	2	2	33	205	10	12	0.4	0.4	0.3	0.4	115	4
29	22	1	1	1	31	205	8	10	0.5	0.5	0.2	0.3	115	6
30	33	2	2	3	39	180	12	12	0.3	0.3	0.3	0.4	110	10
31	40	2.5	3	1	44	170	12	20	0.3	0.3	0.2	0.4	110	12
32	30	3.5	1	1	50	170	10	14	0.3	0.3	0.3	0.4	100	20

Через F_a в модели транзистора определяются $t_f = 1 / 2\pi F_a$ и $t_r = t_f / B$, где B - коэффициент передачи (в модели транзистора $-F$).

примечание: Параметры модели транзистора:

IS	F	Rb	CE	CC	E	C	ME	MC	VA	Fa
----	---	----	----	----	---	---	----	----	----	----

к7 Используя схему на рис 10а определить токи и напряжения во всех цепях

.Используя анализ **DC Operating Point** определить узловые потенциалы в схеме.

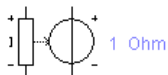
к8 Используя схему на рис 10б построить передаточную характеристику усилителя

к9 По схеме 10в и 16 построить входную и выходную характеристики транзистора, на них показать нагрузочные прямые и рабочую точку.

к10 Используя анализ **Parametr Sweep** – определить что будет изменяться с изменением C_{p1} , C_{p2} и R_n

к11 Задавая $U_{вх}$ в анализе **Parametr Sweep**- определить динамический диапазон усилителя.

к12 Используя анализ **Transient** и вспомогательный источник напряжения, управляемый током – снять осциллограммы для тока на входе и выходе схемы.



к13 В цепи общей обратной связи включен двойной мост Вина- на выходе достичь максимального усиления на $F=20$ КГц

к14 В усилитель ОЭ добавлен колебательный контур-- на выходе достичь максимального усиления на $F=20$ КГц

примечание : пункты **к7-к14** –выполняются на компьютере.

Контрольные вопросы

1. Какова малосигнальная эквивалентная схема транзистора, транзисторных каскадов ОЭ, ОБ, ОК?
2. Чем отличается между собой усилительные каскады ОЭ, ОБ, ОК (схемные различия, различия в параметрах и характеристиках)?
3. Как измерить входное и выходное сопротивления усилителя, усиление по напряжению, току, мощности?
4. Обратные связи и какие обратные связи в схеме с общим эмиттером

5. Эмиттерная и коллекторная термостабилизация
6. Какие классы усиления знаете , где располагается рабочая точка.
7. Назначение деталей схемы
8. Принцип работы транзистора
9. Как преобразовать схему с ОЭ в избирательный усилитель
10. Основные параметры усилителя
11. Что будет оказывать наибольшее влияние на нижнюю и верхнюю граничные частоты.
12. Динамический диапазон усилителя
13. Принцип работы усилителя на семействе входных и выходных характеристик
14. Понятие рабочей точки, напряжение смещения.
15. Максимально возможные амплитуды напряжений и токов в транзисторе.
16. Условия линейного усиления
17. Динамический режим работы усилителя
18. Влияние нагрузки на работу усилительного каскада
19. Графически объяснить работу усилителя по переменному току.

Литература

1.Иванов-Цаганов А.И. Электротехнические устройства радио-систем: Учеб. для студентов радиотехн. спец. вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984.- 280 с., илл.

*2 Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника –М.2005г
3 В.И. Карлацук Электронная лаборатория на IBM PC*

4. Остапенко Г. С. Усилительные устройства. - М. : Радио и связь, 1989

5.Войшвилло Г. В. Усилительные устройства. - М. : Радио и связь , 1983

6Мамонкин И. Г. Усилительные устройства . - М. : Связь , 1977

7.Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., Энергия, 1977

8.Лачин В.И. Савелов Н.С. Электроника: учебное пособие. Ростов-на-Дону, Феникс, 2001

9.Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. Издание второе. М., Лаборатория Базовых Знаний. 2001