

С . Р . Иванов

ТРИ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

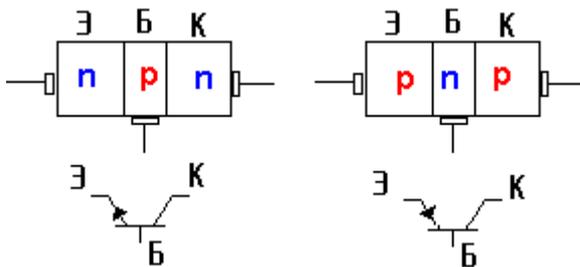
Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу « Микроэлектроника »



Лабораторная работа № 2. ТРИ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

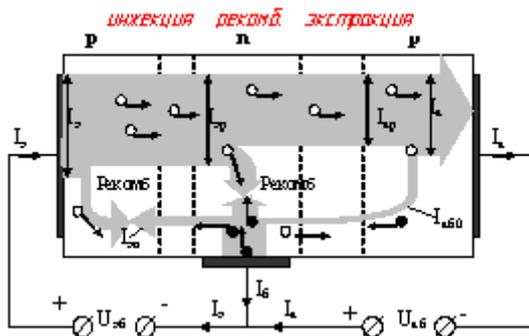
Цель работы – изучить, как влияют различные способы включения биполярного транзистора и величина сопротивления нагрузки на свойства усилительного каскада.

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.

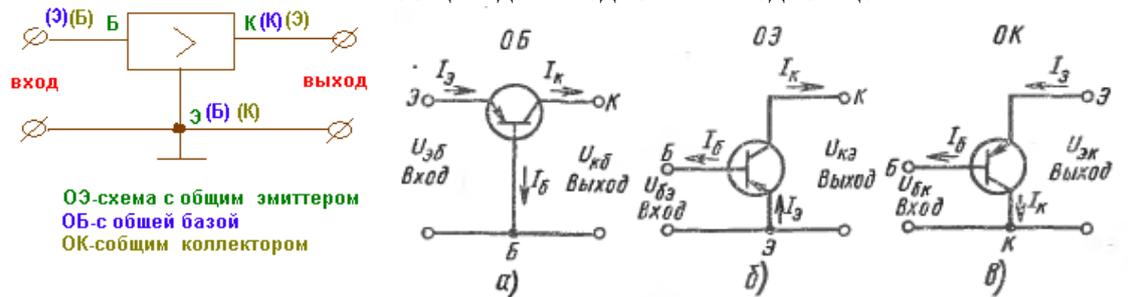


рис.1

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_k и $Rэ$ 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 $Rэ$ (каскад ОЭ) или делитель напряжения в цепи базы $R1$, $R2$ (каскад ОБ), и тем самым обеспечивает присоединение эмиттера (базы) к общей точке схемы.

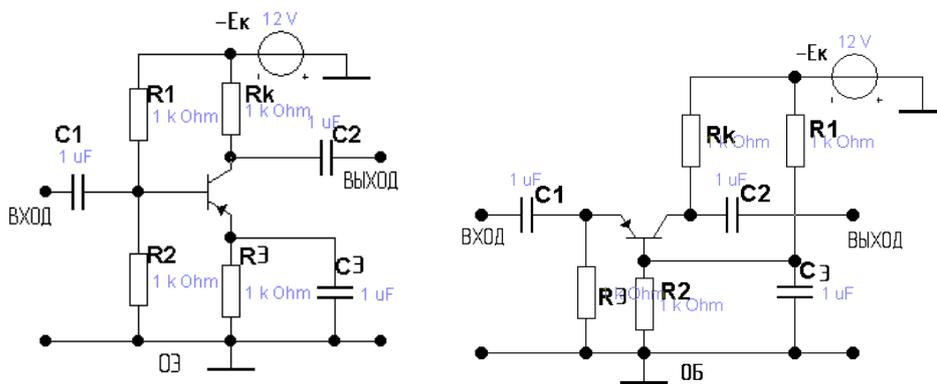


рис.2

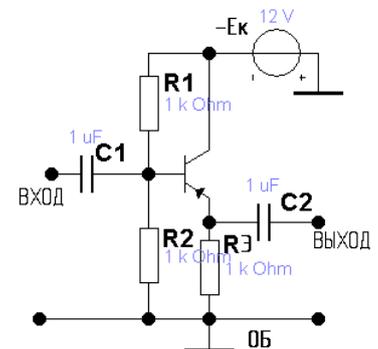
Принципиальные схемы каскадов: а) ОЭ, б) ОБ, в) ОК

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

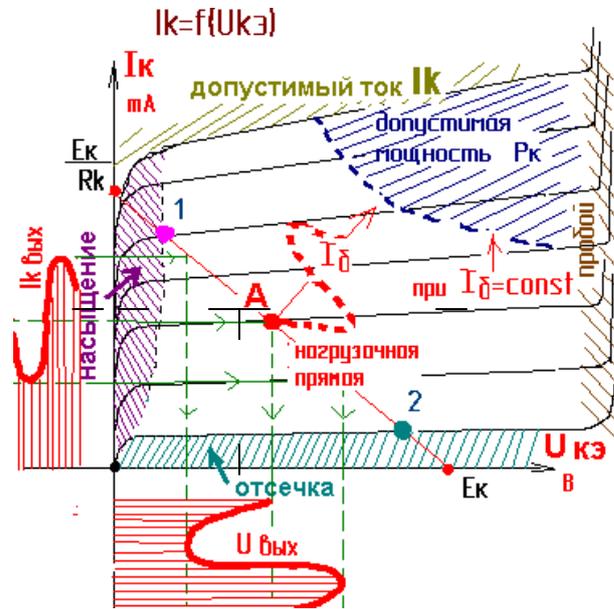
При анализе каскада ОЭ удобно пользоваться зависимостями $I_б = f_1(U_{бэ}, U_{кэ})$ и $I_к = f_2(U_{кэ}, I_б)$. Первые

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 $I_{кА}, U_{кэА}, I_{бА}$,

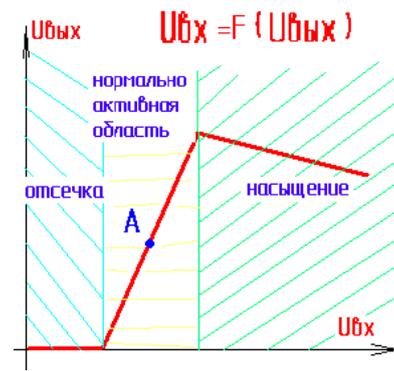
которая отображена также на семействе входных характеристик и имеет координаты $I_{бА}, U_{бэА}, I_{кэА}$. Для построенной нагрузочной прямой $I_к = (E_к - U_{кэ}) / (R_к + R_э)$ (рис.3а)



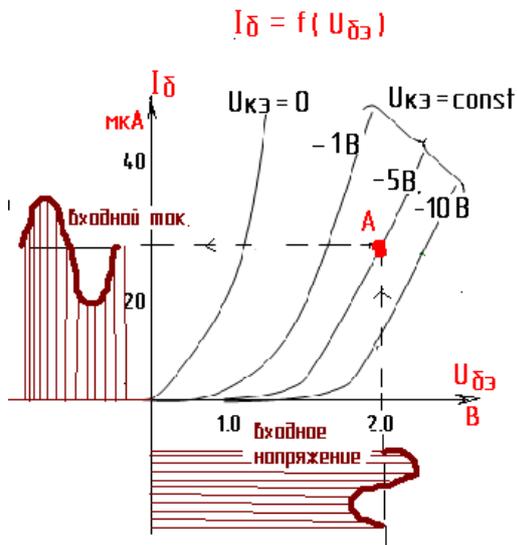
транзистор будет работать в активном режиме при токах базы в диапазоне $I_{КО} - I_{ОН}$. В усилительных схемах транзистор работает в активном режиме, когда эмиттерный переход смещен прямо (для р-п-р транзистора $U_{БЭ} > 0$), а коллекторный – обратно ($U_{БК} > 0$). При этом транзистор обладает усилительными 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 $B = \alpha / (1 - \alpha), \alpha = B / B + 1$.



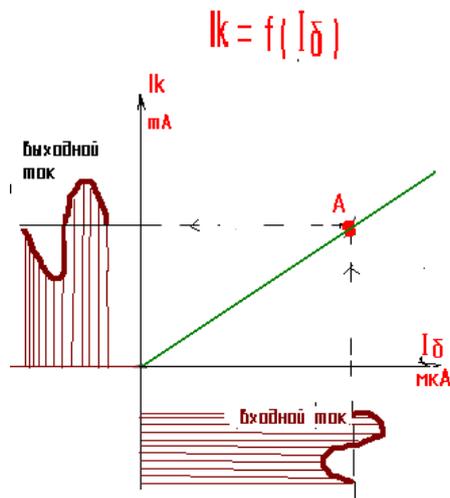
а) выходная характеристика транзистора



в) передаточная характеристика

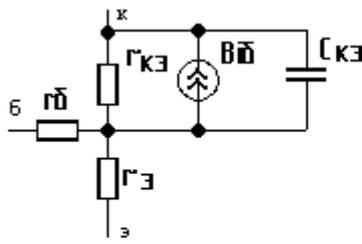


б) входная характеристика транзистора



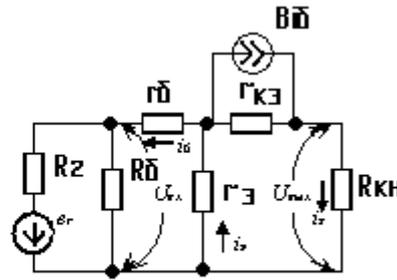
г) переходная характеристика

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 $K_U, K_i, K_p, R_{ex}, R_{вых}$ 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
$R_{вх}$	$R_{exTp} // R_б$	$\frac{R_{exTp}}{B+1} // R_э$	$[R_{exTp} + (B+1)R_{эH}] // R_б$
K_i	$\frac{R_б}{R_б + R_{exTp}} B \frac{R_K}{R_K + R_H}$	$\frac{R_э \alpha}{R_э + R_{exTp} / B + 1} \frac{R_K}{R_K + R_H}$	$\frac{R_б (B+1) R_э}{[R_б + R_{exTp} + (B+1)R_{эH} (R_э + R_H)]}$
K_u	$\frac{BR_{KH}}{R_{exTp}}$	$\frac{BR_{KH}}{R_{exTp}}$	$\frac{(B+1)R_{эH}}{R_{exTp} + (B+1)R_{эH}}$
$R_{вых}$	$\sim R_K$	$\sim R_K$	$R_э // \left(r_э + \frac{R'_Г + r_б}{B+1} \right)$
G	$\frac{R'_Г + r_б + r_э}{R'_Г + R_{exTp}}$	$\frac{R'_Г + r_б + r_э}{R'_Г (B+1) + R_{exTp}}$	$\frac{R'_Г + r_б + r_э + R_{эH}}{R'_Г + R_{exTp} + (B+1)R_{эH}}$

. 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 $R_{ЭН} = R_{Э} // R_H$, $R_{вхТРОЭ} = r_{б} + r_{э}(B + 1)$, где $r_{э} = 26 мВ / I_{ЭА}$, $R'_Г = R_Г R_{б} / (R_Г + R_{б})$, а $R_Г$ – внутреннее сопротивление источника сигнала. Для всех схем $K_P = K_U K_i$.

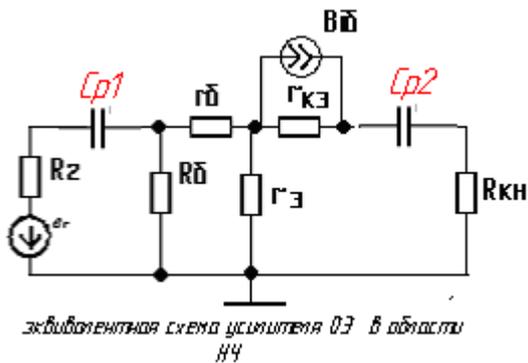


рис.6

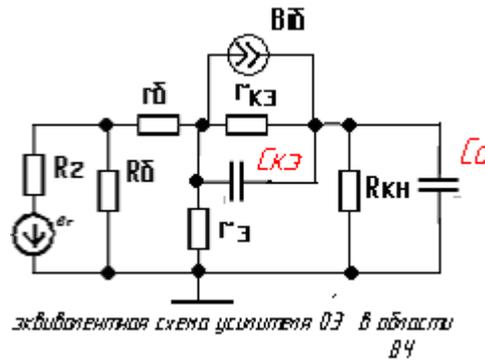


рис.7

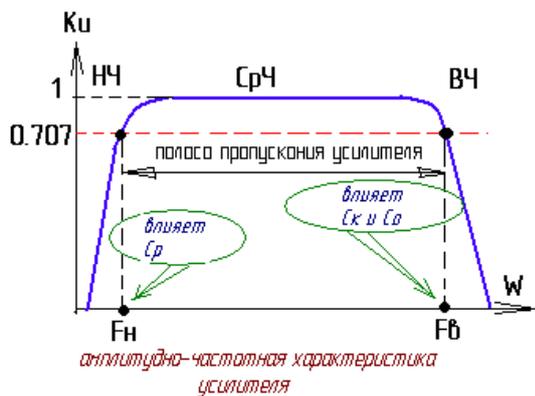


Рис.8 АЧХ

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 $f_{h21б}$, B , C_K , $r_{б}$ и $r_{э}$, 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 $\tau_e = G(\tau_{б} + C_{КЭ} R_{КН}) + C_H R_{КН}$. В

последней формуле $\tau_b = (B + 1)2\pi f_{h21б}$, $C_{КЭ} = C_K (B + 1)$, а коэффициент

G для каждой схемы включения транзистора вычисляют по формулам таблицы.

Описание макета

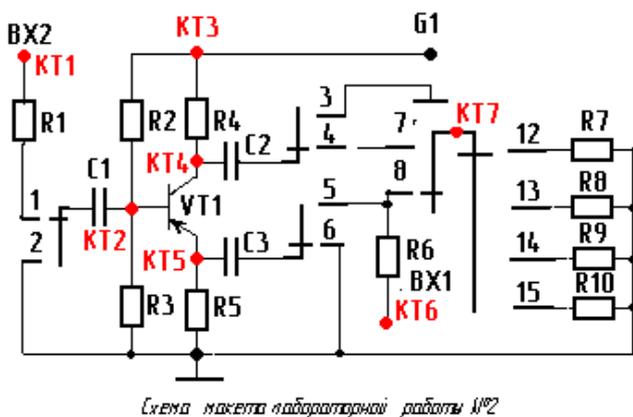


рис.9 Схема макета.

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,

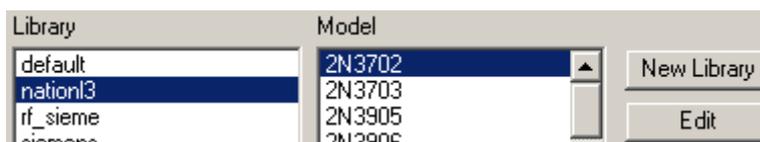
ОК) и R6 (ОБ). При этом $i_{ex} = (U_{\Gamma} - U_{ex}) / R_{изм}$, где U_{Γ} - напряжение на клеммах генератора, U_{ex} - напряжение на входе усилителя (за измерительным резистором).

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 GI, напряжение на выходе которого устанавливают 10 В.

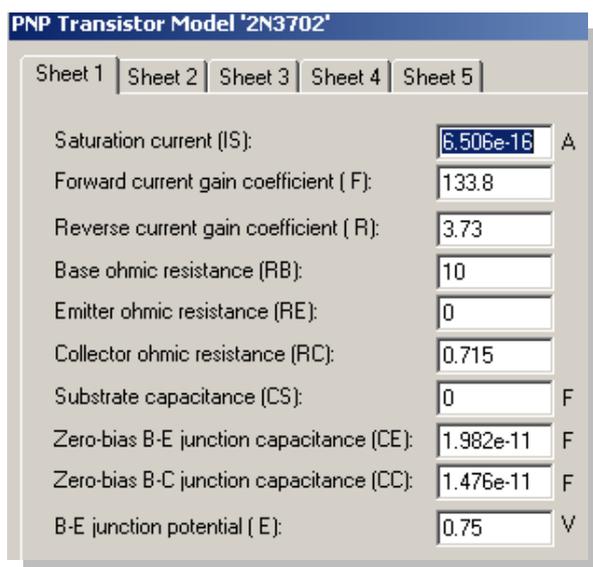
В исследуемой схеме стоит маломощный низкочастотный транзистор МП42А ($f_{h21\delta} = 1 \div 3 \text{ МГц}$, $B = 30 \div 50$, $r_{\delta} = 200 \text{ Ом}$, $C_K = 30 \text{ нФ}$, $P_{Kmax} = 200 \text{ мВт}$). Резисторы и конденсаторы имеют следующие номиналы: $R1=1 \text{ кОм}$; $R2=11 \text{ кОм}$;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

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

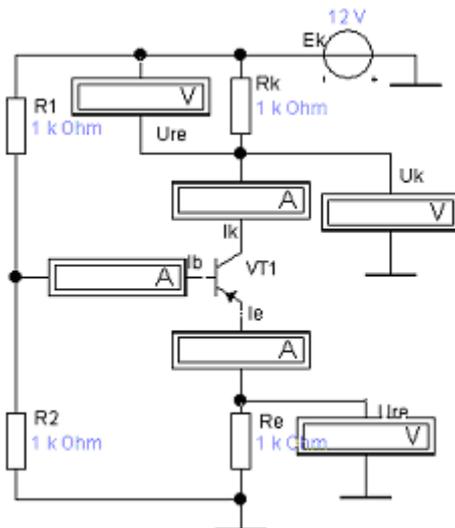
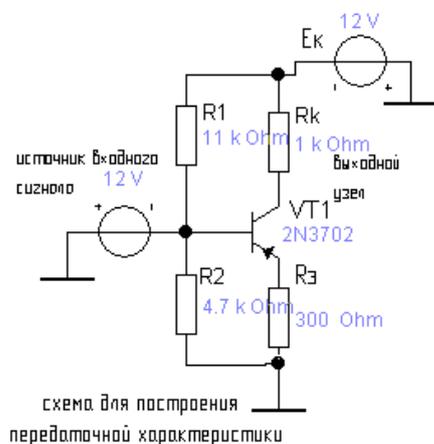


рис.10 а Моделирование на постоянном токе рис10б

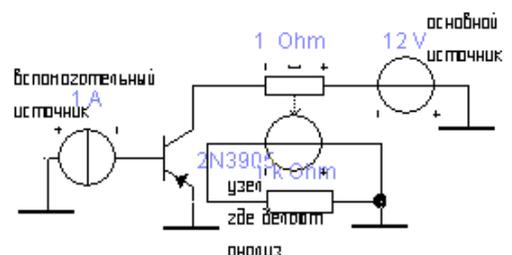
Node/Branch	Voltage/Current
1	-11.08030
2	-12.00000
3	-12.00000
4	-11.07263
Q2#base	-11.89847
Q2#collector	-11.07964
V1#branch	-22.15293m
V2#branch	-919.70323u

рис.11 Результаты моделирования при анализе DC Operating Point



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



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)

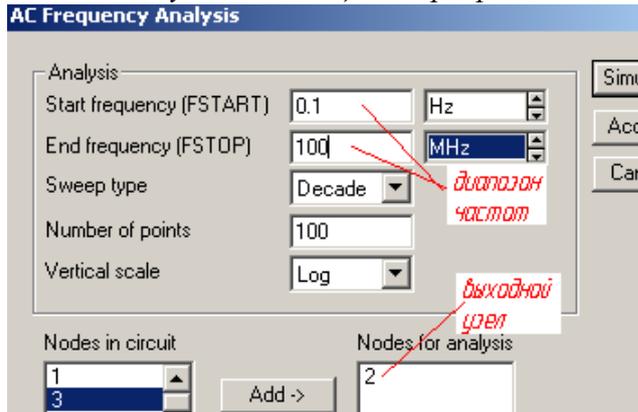


рис 19 Параметры анализа AC frequency

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.

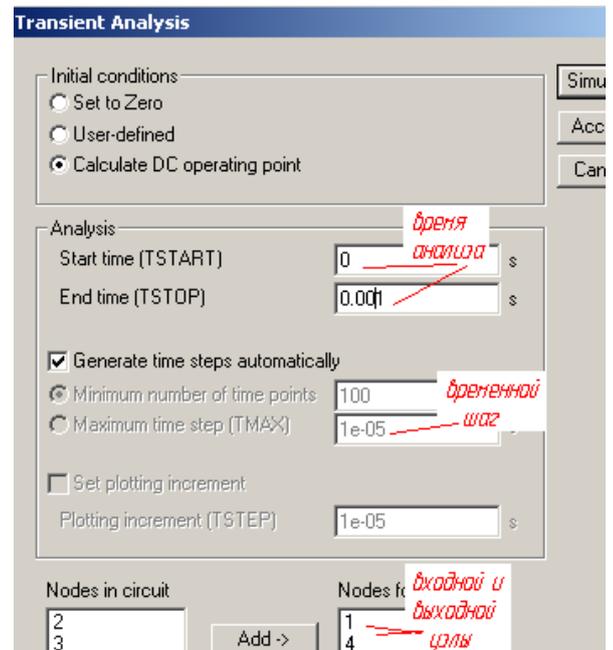


рис 20 Параметры анализа Transient

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).

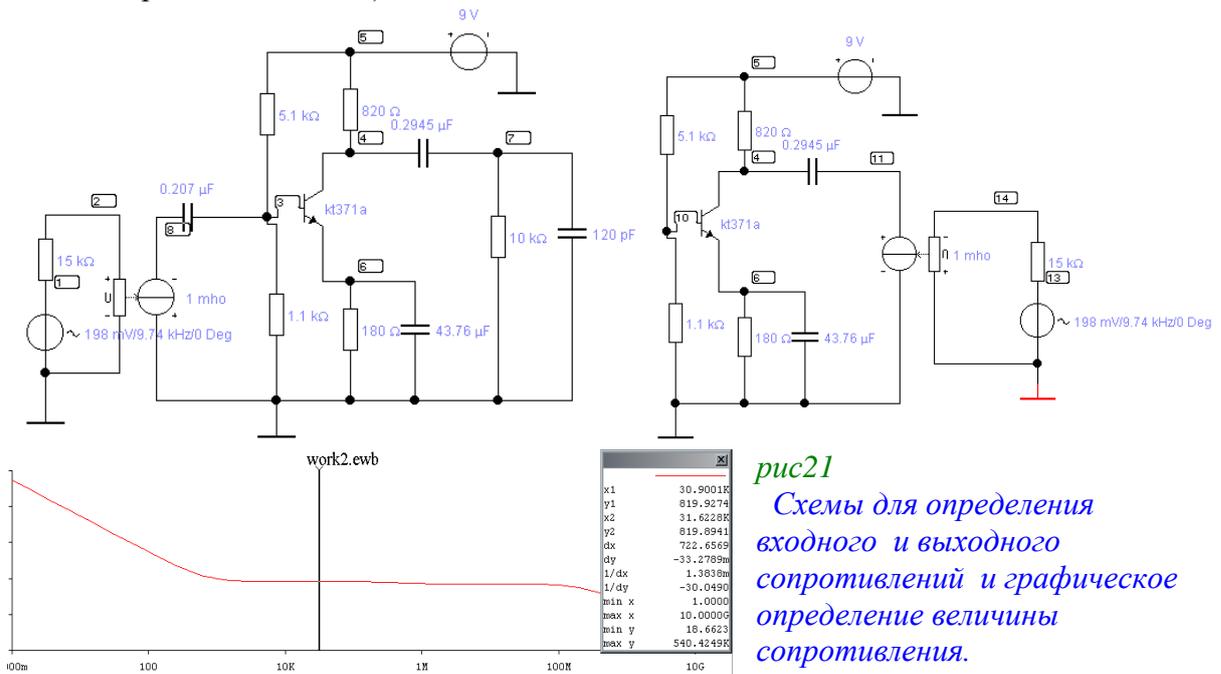


рис21 Схемы для определения входного и выходного сопротивлений и графическое определение величины сопротивления.

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_v 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_k 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.

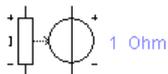
к8 Используя схему на рис 10б построить передаточную характеристику усилителя

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