МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЁЖНОЙ ПОЛИТИКИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
ОБЛАСТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РЯЗАНСКИЙ КОЛЛЕДЖ ЭЛЕКТРОНИКИ»

РАССМОТРЕНО
на заседании ЦК
«Общепрофессинальных дисциплин»
Председатель ЦК
_____ Зверева Е.Н.

УТВЕРЖДАЮ
зам. директора по УМР
_____ Ларина М.Е.

«___» _____ 20___ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ на РАСЧЕТ ПРОСТЕЙШИХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

По дисциплине: ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА
Для специальности:
11.02.02 Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники (по отраслям)

Председатель ЦК: _____ Зверева Е.Н.
Составитель: _____ Зверева Е.Н.

Рязань, 2018

Содержание:

1. Предисловие 3
2. Практическая работа № 1
Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе 4
3. Практическая работа № 2
Расчёт h- параметров и характеристик транзистора 14
4. Практическая работа № 3
Расчет усилителя на полевом транзисторе 18

Предисловие

Методические указания к практическим работам разработаны в соответствии с примерной программой для средних специальных учебных заведений.

Настоящее руководство содержит описания 3 практических работы по дисциплине «Электронная техника» для студентов 2 –ого курса специальности 11.02.02 «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники (по отраслям)».

Каждая работа содержит теоретические пояснения необходимые для выполнения работы, порядок выполнения практической части, а также пример расчета усилительного каскада на биполярном и полевом транзисторах. Номер варианта определяется в соответствии с порядковым номером в журнале. Работа выполняется в тетради для практических работ по дисциплине.

Практические работы, представленные в настоящих методических указаниях, направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений по темам:

1. Биполярные транзисторы. Классификация, принцип работы, условное графическое обозначение. Схемы включения биполярных транзисторов. Коэффициенты усиления. Транзистор как активный четырехполюсник. Системы параметров транзистора.
2. Полевые транзисторы. Полевой транзистор. Устройство, принцип работы, параметры, маркировка. МДП (МОП) транзисторы.
3. Усилители и генераторы. Общие сведения об усилителях. Основные технические показатели усилителей.

Оценку по практической работе студент получает, с учетом срока выполнения работы, если:

- работа выполнена правильно и в полном объеме;
- сделан анализ проделанной работы;
- студент может пояснить выполнение любого этапа работы;
- отчет выполнен в соответствии с требованиями к выполнению работы.

Практическая работа № 1
«Расчёт усилительного каскада на биполярном транзисторе»

Цели: изучить один из способов расчета усилительных каскадов на биполярных транзисторах, начертить схему, произвести расчет усилительного каскада.

Практическая часть

Схемы усилительных каскадов приведены на рисунках 1 – 4. Исходные данные для расчета заданы в таблице 1. Входные и выходные характеристики транзисторов приведены в Приложении. При расчете каскадов с $R_э$ его величину принять равной $0{,}1R_к$. Для каскадов с делителем R_1 и R_2 ток делителя принять равным $5I_{б0}$.

Задание:

1. Начертить схему усилительного каскада с учетом заданного типа транзистора. На схеме указать токи и напряжения транзистора, а также $U_{вх}$ и $U_{вых}$.
2. По заданным в таблице 1 параметрам на характеристиках транзистора нанести точку покоя и построить статическую линию нагрузки. Рассчитать величину сопротивлений резисторов, обеспечивающих заданный режим покоя. При расчете учесть, что $I_к >> I_б$.
3. В точке покоя по характеристикам транзистора определить его h-параметры (h_{11}, h_{21}, h_{22}). Параметр h_{12} принять равным 0.
4. Начертить схему замещения усилителя в динамическом режиме, заменив транзистор эквивалентной схемой с h-параметрами.
5. Рассчитать с учетом нагрузки входное и выходное сопротивление каскада, коэффициенты усиления тока, напряжения и мощности.
6. Построить динамическую линию нагрузки на выходных характеристиках транзистора и определить максимальную амплитуду выходного напряжения, усиливаемого без существенных искажений сигнала, и максимально возможную среднюю за период выходную мощность.

Таблица 1

Вариант	Схема	Тип транзистора	Напряжение источника питания $E_к$, В	Ток покоя транзистора $I_{к0}$, мА	Напряжение покоя $U_{кэ0}$, В	Сопротивление нагрузки $R_н$, кОм
1	1	МП25	12	5	6	10
2	2	МП25	20	10	10	2
3	3	МП25А	12	10	6	10
4	4	МП25А	20	10	10	1
5	1	МП25Б	24	15	12	10
6	2	МП25Б	27	15	14	2
7	3	ГТ122А	12	10	6	5
8	4	ГТ122Б	12	5	6	2
9	1	ГТ122В	12	10	6	10
10	2	ГТ122Г	12	8	6	1
11	3	ГТ122А	15	8	8	1
12	4	ГТ122В	15	10	8	10
13	1	КТ301А	12	4	6	10
14	2	КТ301А	24	4	12	3
15	3	КТ301Б	12	5	6	10
16	4	КТ301Б	24	5	12	4
17	1	КТ301В	12	5	6	10
18	2	КТ301В	24	5	12	2
19	3	КТ301Ж	12	3	6	10
20	4	КТ301Ж	24	3	12	4
21	1	КТ315А	12	20	6	5
22	2	КТ315А	12	25	6	1
23	3	КТ315Б	12	25	6	1
24	4	КТ315Б	15	20	7	0.5
25	1	КТ315В	24	10	12	10

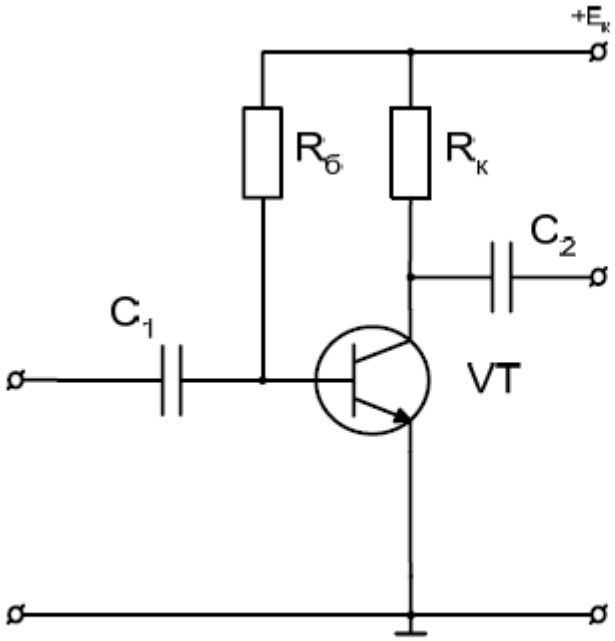


Рис. 1

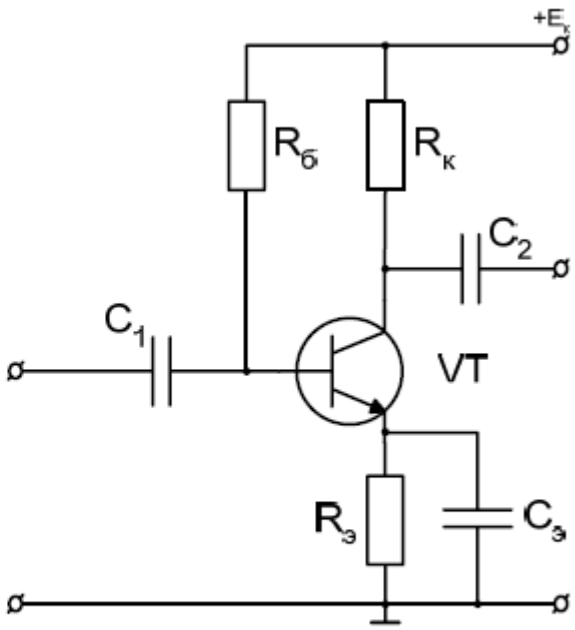


Рис. 2

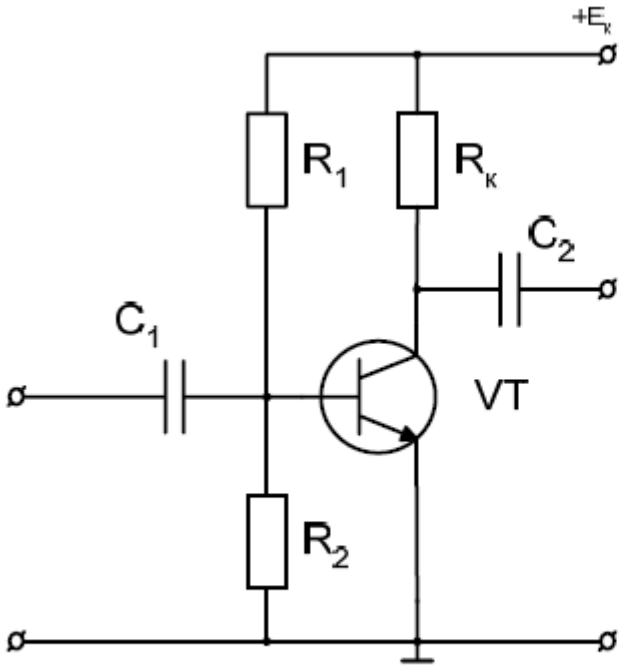


Рис. 3

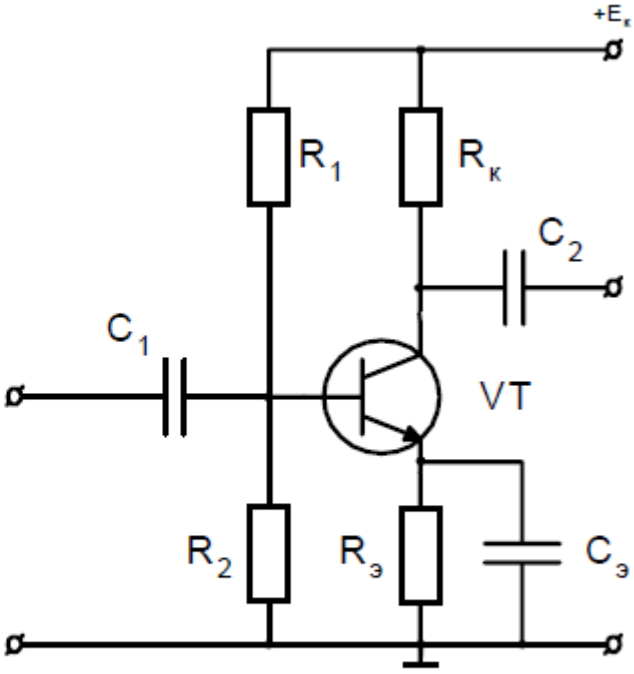


Рис. 4

Пример расчета: Для усилительного каскада на транзисторе ГТ108А, схема которого приведена на рис. 4, заданы:

- напряжение источника питания $E_к = 9$ В,
- ток покоя коллектора $I_{к0} = 10$ мА,
- напряжение покоя эмиттер-коллектор $U_{эк0} = 4$ В,
- сопротивление нагрузки $R_н = 1$ кОм.

Рассчитать сопротивления резисторов схемы, определить коэффициент усиления напряжения, тока и мощности, входное и выходное сопротивления каскада, максимальную амплитуду выходного синусоидального сигнала. Принять $R_э$=0,1$R_к$ и ток делителя I_1=5$I_{б0}$.

Решение:

При использовании транзистора *p-n-p* типа необходимо изменить полярность источника питания $E_к$ так, чтобы на коллектор подавался отрицательный потенциал (рис. 4.) При этом направления токов и напряжений меняются на противоположные.

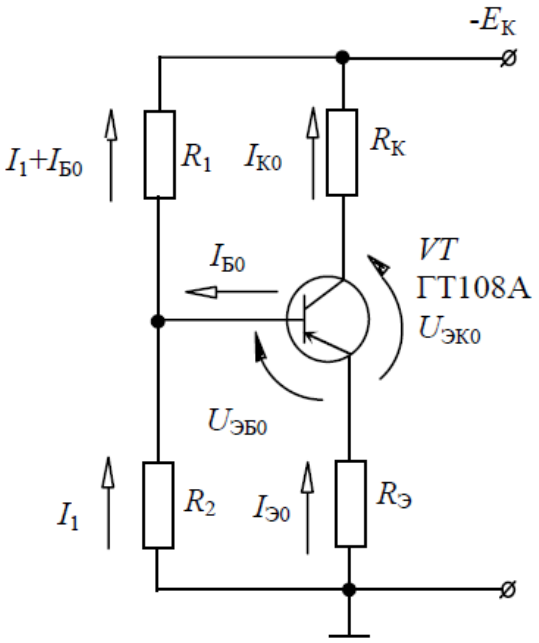


Рис. 5

Статический режим или режим покоя.

В статическом режиме входное напряжение отсутствует и токи протекают только под действием источника питания $E_к$. Сопротивление конденсаторов постоянному току равно бесконечности и поэтому схема каскада в этом режиме имеет следующий вид (рис. 5).

Уравнение статической линии нагрузки:

$E_к = I_э R_э + U_{эк} + I_к R_к$.

Учитывая, что $I_к >> I_б$, $I_к \approx I_э$

$E_к = U_{эк} + I_к(R_к + R_э)$.

Откуда ток коллектора

$I_к = (E_к - U_{эк})/(R_к + R_э)$.

При использовании значений тока в миллиамперах сопротивления получаются в килоомах.

По полученному уравнению на выходных характеристиках транзистора ГТ108А строим статическую линию нагрузки (рис. 6) по двум точкам: точка покоя А с координатами $I_к0$=10мА и $U_{эк}0$= 4 В и точка отсечки $I_к$ = 0, $U_{ЭК} = E_К$ = 9 В.

Подставляя в уравнение линии нагрузки значения $E_к$, $I_{кп}$ и $U_{экп}$, получаем

$$R_э + R_к = \frac{E_к - U_{эк0}}{I_{к0}} = \frac{9-4}{10} = 0{,}5 \text{ кОм.}$$

Так как по условию $R_э$ = 0,1$R_к$, то $R_к = \frac{R_э + R_к}{1{,}1} = \frac{0{,}5}{1{,}1} \approx 0{,}45 \text{ кОм} = 450 \text{ Ом;}$

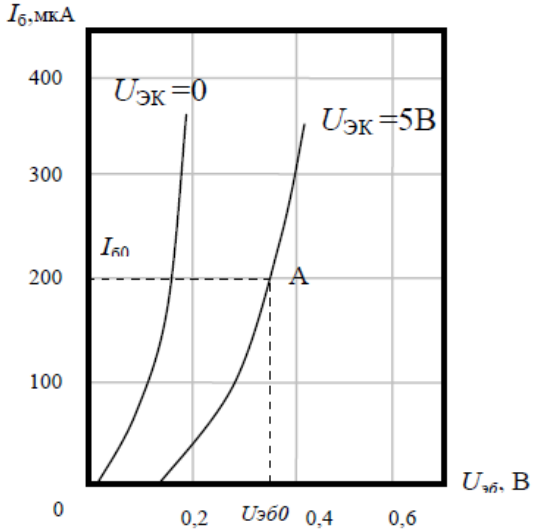
$R_э \approx 50$ Ом.

Для контура $R_э$ – эмиттер – база – R_2 запишем уравнение по второму закону Кирхгофа:

$I_{э0} \cdot R_Э + U_{ЭБ0} - I_1 \cdot R_2 = 0$;

$$R_2 = \frac{I_{э0} \cdot R_э + U_{эб0}}{I_1}.$$

Входные характеристики



Точка покоя А лежит на выходной характеристике $I_б$ = 200 мкА=0,2 мА. По входной характеристике $U_{эк}$ = 5 В для этого тока базы получаем $U_{эб0}$ = 0,35 В.

ГТ108А, ГТ108В

Германиевые сплавные p-n-p транзисторы предназначены для работы в схемах усиления и генерирования.

Корпус металлический, масса не более 0,5 г.
$U_{кэ\,m}$ = 10 В, $I_{к\,m}$ = 50 мА,
$P_{к\,m}$ = 75 мВт, $T_{к\,m}$ = 55С^0

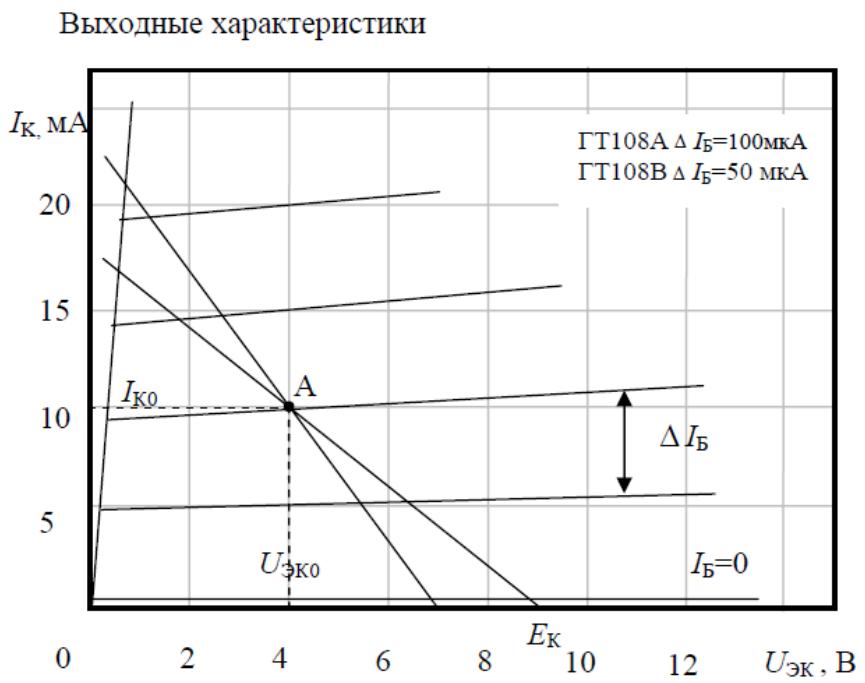


Рис. 6

Учитывая, что $I_{к0} \approx I_{э0}$ и $I_1=5I_{б0}=5\cdot0{,}2=1$ мА, получаем
R_2= (10·0,05+0,35)/1= 0,85кОм.
Аналогично для контура R_2 – R_1 – $E_к$:
$E_К = R_2 \cdot I_1 + R_1 \cdot I_1 + I_{б0}$;

$$R_1 = \frac{E_к - R_2 \cdot I_1}{I_1 + I_{б0}} = \frac{9-0{,}85}{1+0{,}2} = 6{,}8 \text{ кОм.}$$

Динамический режим.

По выходным характеристикам транзистора в точке покоя А определяем

$$h_{21} = \left.\frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}\right|_{U_{эк=4В}} = \frac{15-5}{0{,}3-0{,}1} = 50;$$

$$h_{22} = \left.\frac{\Delta I_к}{\Delta U_{эк}}\right|_{I_{б=0{,}2мА}} = \frac{10{,}5-10}{10-4} = 83\cdot10^{-3} \text{ мСм.}$$

По входной характеристике

$$h_{11} = \left.\frac{\Delta U_{эб}}{\Delta I_б}\right|_{U_{эк=5В}} = \frac{0{,}41-0{,}3}{0{,}3-0{,}1} = 0{,}55 \text{ кОм.}$$

В динамическом режиме источник питания *Е*к закорочен, а токи протекают только за счет $u_{BX} = U_{BXm}\sin\omega t$. Емкость конденсаторов выбирается так, чтобы на минимальной рабочей частоте их сопротивление было значительно меньше активных сопротивлений схемы и конденсаторы можно считать закороченными. Тогда, заменив транзистор эквивалентной схемой с *h*-параметрами, получим схему замещения усилителя (рис. 7).

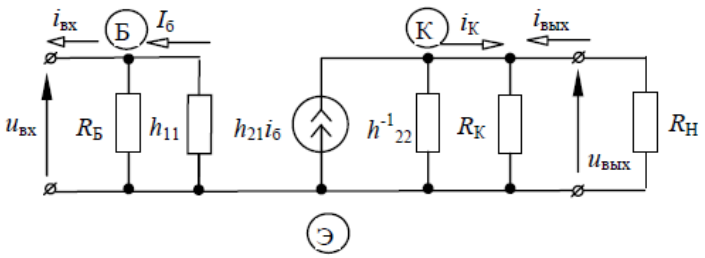


Рис. 7

В этой схеме

$$R_Б = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6,8 \cdot 0,85}{6,8 + 0,85} = 0,75 \text{ кОм};$$

$$h_{22}^{-1} = \frac{1}{83 \cdot 10^{-3}} \approx 12 \text{ кОм}.$$

Так как $h_{22}^{-1} >> R_к$, то им можно пренебречь.

Входное сопротивление каскада

$$R_{вх} = \frac{R_Б \cdot h_{11}}{R_Б + h_{11}} = \frac{0,75 \cdot 0,55}{0,75 + 0,55} = 0,32 \text{ кОм}.$$

Выходное сопротивление каскада

$R_{ВЫХ} = R_К = 450$ Ом.

Коэффициент усиления напряжения находим с помощью уравнений для входной и выходной цепей:

$$u_{вх} = i_б \cdot h_{11};$$

$$u_{вых} = -h_{21} \cdot i_б \cdot \frac{R_к \cdot R_н}{R_к + R_н};$$

$$K_u = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_к \cdot R_н}{R_к + R_н} = -\frac{50}{0,55} \cdot \frac{0,45 \cdot 1}{0,45 + 1} = -28,2$$

(знак минус показывает, что $u_{вых}$ изменяется в противофазе с $u_{вх}$).

Коэффициент усиления тока

$$i_{вх} = \frac{u_{вх}}{R_{вх}}; \quad i_{вых} = \frac{u_{вых}}{R_н};$$

$$K_i = \frac{i_{вых}}{i_{вх}} = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} \cdot \frac{R_{вх}}{R_н} = K_u \cdot \frac{R_{вх}}{R_н} = -28,2 \cdot \frac{0,32}{1,0} = -9.$$

Коэффициент усиления мощности

$K = K_I \cdot K_U = 28,2 \cdot 9 = 254.$

Уравнение динамической линии нагрузки записывается по второму закону Кирхгофа для выходного контура схемы замещения каскада

$$u_{эк} = -i_к \cdot \frac{R_к \cdot R_н}{R_к + R_н} = -i_к \cdot \frac{0,45 \cdot 1}{0,45 + 1} = -0,31 \cdot i_к.$$

При $iк = 0$ каскад работает в статическом режиме и динамическая линия нагрузки должна приходить через точку покоя А. При изменении коллекторного тока $\Delta Iк = 5$ мА напряжение $U_{эк}$ изменится на -1,55 В, т. е. вторая точка динамической линии нагрузки имеет координаты

$Iк = Iкп + \Delta Iк = 10 + 5 = 15$ мА и $Uэк = Uэкп + \Delta Uэк = 4 - 1,55 = 2,45$ В.

Через точки с этими координатами проводим динамическую линию нагрузки. Она пересекает характеристику $_б I = 0$ в точке, которая соответствует $U_{эк}$=6,9 В. Следовательно, максимальная амплитуда выходного напряжения

$Uвых\ m = U\ эк - Uэкп = 6,9 - 4 = 2,9$ В.

Максимальная выходная мощность

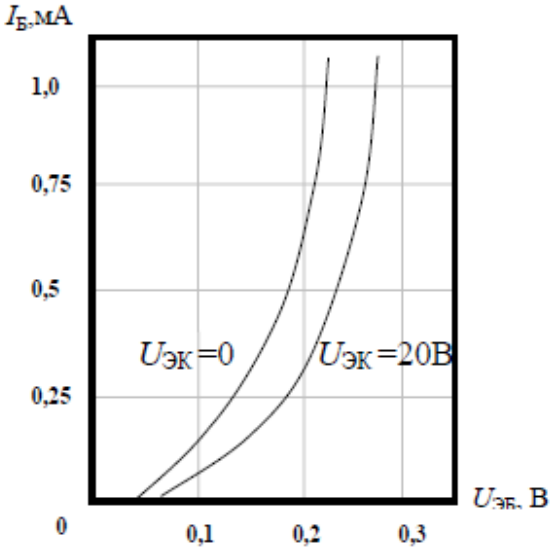
$$P_{\text{вых m}} = \frac{U^2_{\text{вых m}}}{2 \cdot R_{\text{н}}} = \frac{2,9^2}{2 \cdot 1} = 4,2 \text{ мВт.}$$

Ответ:

- сопротивления резисторов $R_{кэ}$ = 0, 45 кОм, $R_{Э}$ ≈ 50 Ом , R_2 = 0,85 кОм , R_1 = 6,8 кОм ;
- входное сопротивление каскада R_{BX} = 0,32 кОм ;
- выходное сопротивление каскада $R_{ВЫХ}$ = 450 Ом;
- коэффициент усиления напряжения K_U = −28, 2 ;
- коэффициент усиления тока K_i = −9;
- коэффициент усиления мощности K_p = 254 ;
- максимальная амплитуда выходного напряжения $U_{ВЫХ\,m}$ = 2,9 В ;
- максимальная выходная мощность $P_{ВЫХ\,m}$ = 4, 2 мВт .

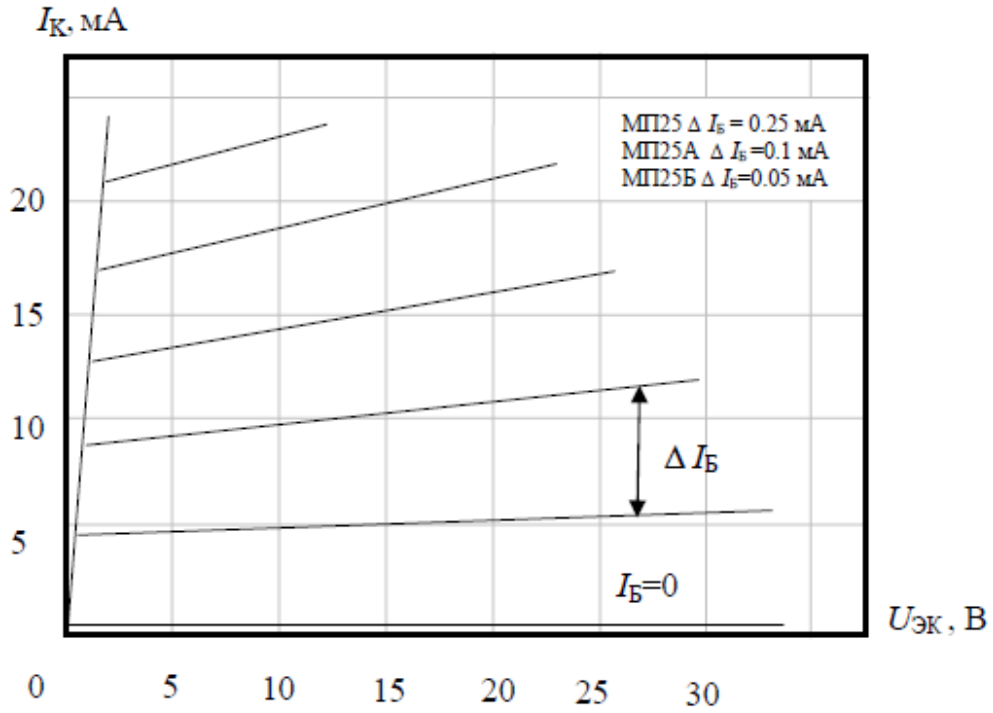
Входные и выходные характеристики транзисторов

МП25, МП25А, МП25Б

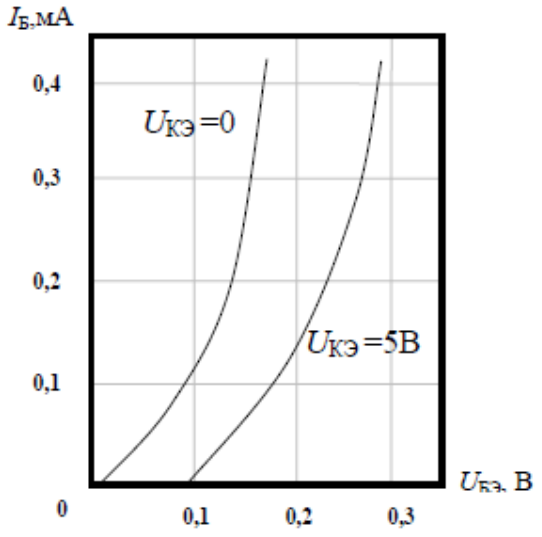


Германиевые высоковольтные *p-n-p* транзисторы предназначены для работы в усилителях и генераторах.
Корпус металлический, масса не более 2 г.

$U_{эк\,m}$, В: 40,
при $P_н$ < 100 мВт – 60,
$I_{к\,m}$, мА – 300,
$P_{к\,m}$, мВт – 200,
T_m, ^oC – +70.

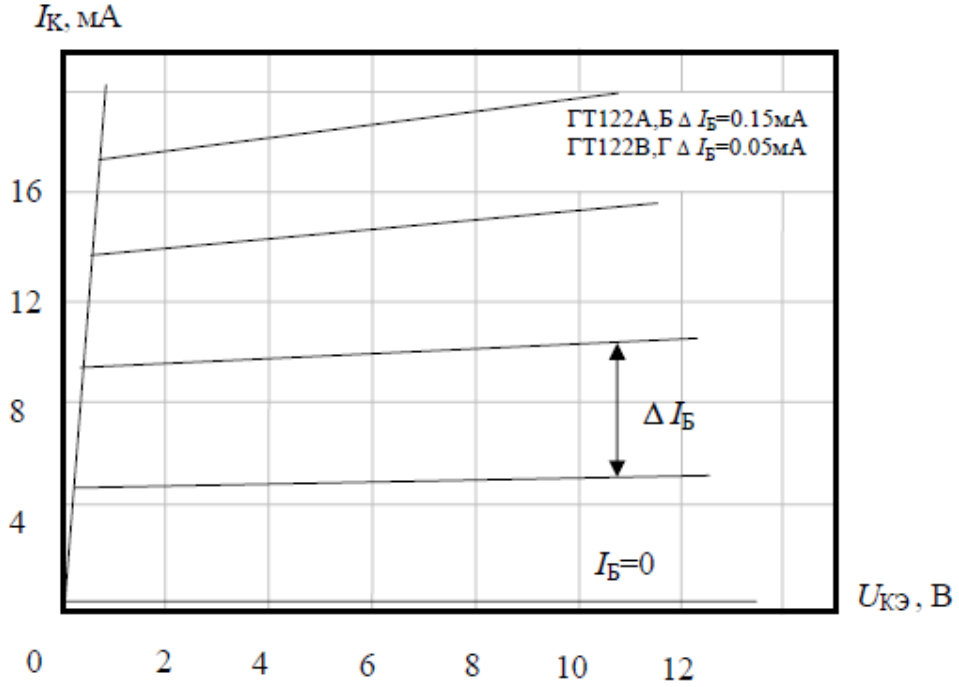


ГТ122А, ГТ122Б, ГТ122В, ГТ122Г

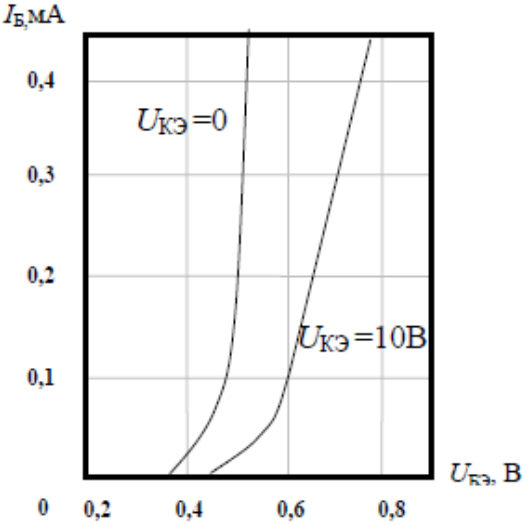


Германиевые *n-p-n* транзисторы предназначены для усиления и генерирования низкочастотных колебаний.
Корпус металлический, масса не более 2 г.

$U_{кэ\,m}$, В:
ГТ122А – 35
ГТ122Б-Г – 20
$I_{к\,m}$, мА – 20,
$P_{к\,m}$, мВт – 150,
T_m, ^{o}C – +70.



КТ315А, КТ315Б, КТ315В, КТ315Г, КТ315Е



Кремниевые *n-p-n* транзисторы предназначены для работы в схемах усиления и генерирования колебаний.

Корпус пластмассовый, масса не более 0,18 г.

$U_{кэ\,m}$, В:

КТ315А – 25

КТ315Б – 20

КТ315В – 40

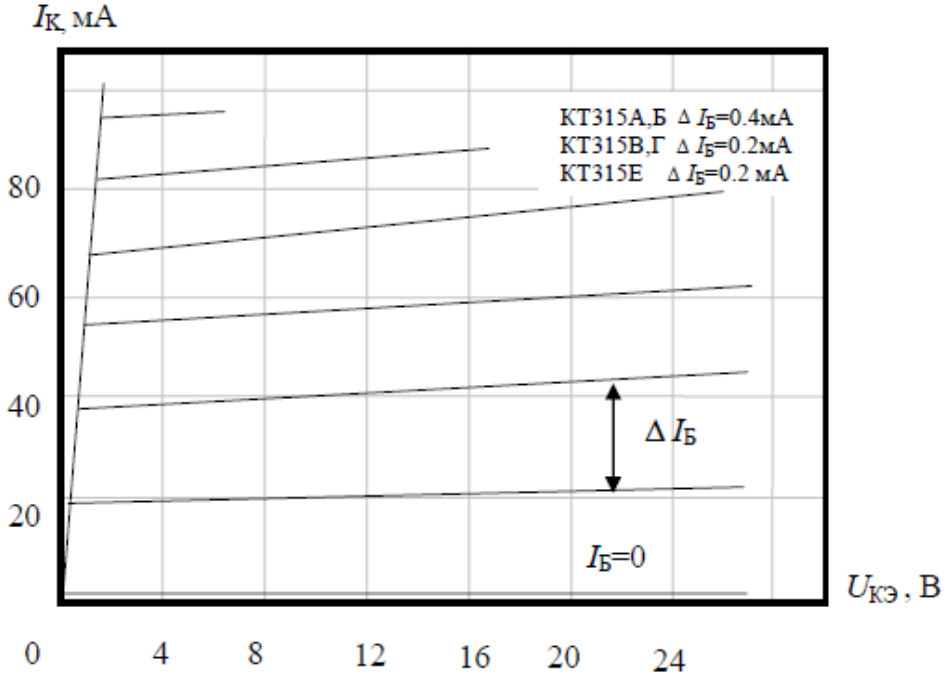
КТ315Г – 35

КТ315Е – 35

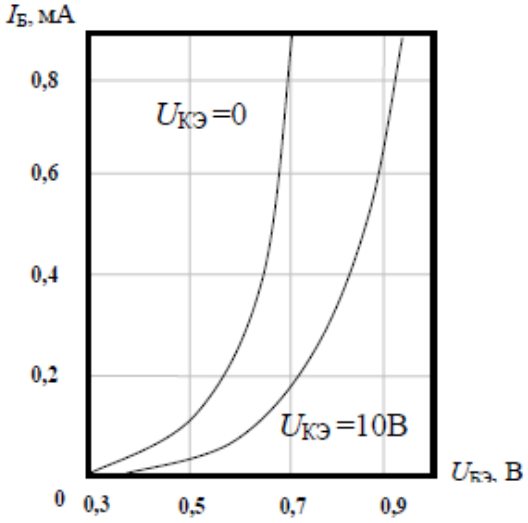
$I_{к\,m}$, мА – 100,

$P_{к\,m}$, мВт – 150,

T_m, ^{o}С – +100.



КТ301А, КТ301Б, КТ301В, КТ301Ж



Кремниевые *n-p-n* транзисторы предназначены для усиления и генерирования колебаний.

Корпус металлический, масса не более 0,5 г.

$U_{кэ\,m}$, В:

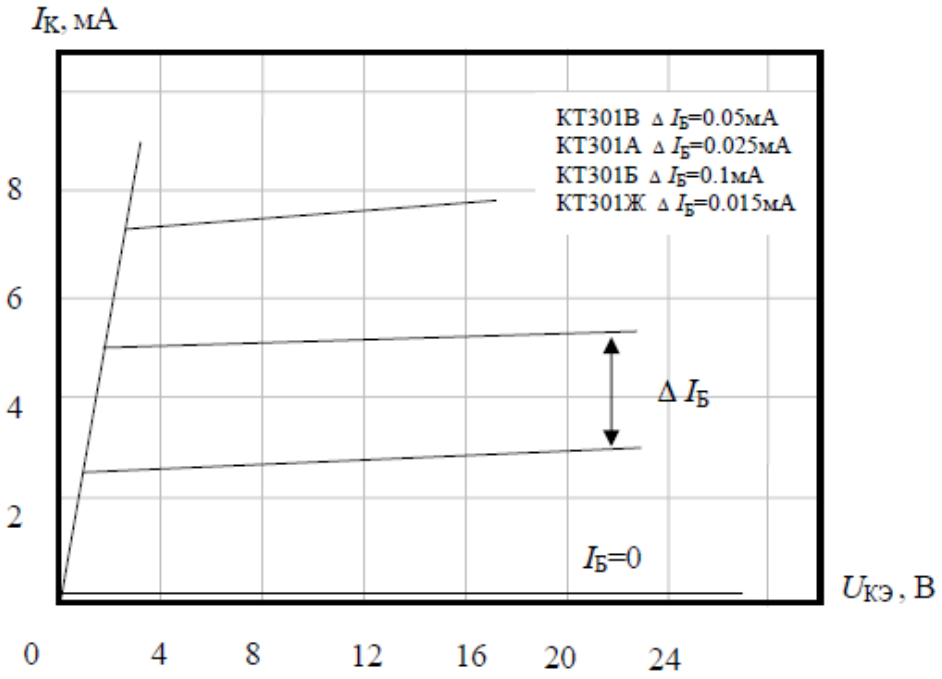
КТ301А, КТ301Ж – 20

КТ301Б, КТ301В – 30

$I_{к\,m}$, мА – 10,

$P_{к\,m}$, мВт – 150,

T_m, ^{o}С – +85.



Практическая работа № 2
«Расчёт h- параметров и характеристик транзистора»

Цель: научиться определять h – параметры и характеристики транзистора графоаналитическим методом.

Теоретическая часть

Система h – параметров транзистора

h – параметры – гибридные (смешанные) параметры – наиболее полно характеризуют основные свойства транзистора.

- h11 – это входное сопротивление транзистора при коротком замыкании в выходной цепи по переменному току (конденсатором).

$$h_{11} = \frac{\Delta U1}{\Delta I1} \text{ при } U2 = Const$$

- h12 – коэффициент обратной передачи по напряжению. Он показывает степень влияния выходного напряжения на входное (катушкой индуктивности).

$$h_{12} = \frac{\Delta U1}{\Delta U2} \text{ при } I1 = Const$$

- h21 – коэффициент усиления по току транзистора или коэффициент передачи тока при коротком замыкании выходной цепи по переменному току.

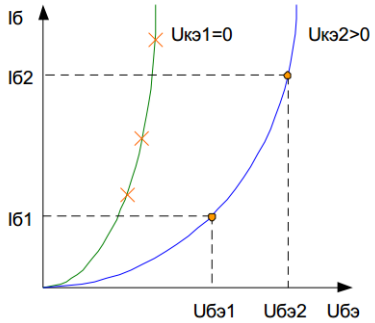
$$h_{21} = \frac{\Delta I2}{\Delta I1} \text{ при } U2 = Const$$

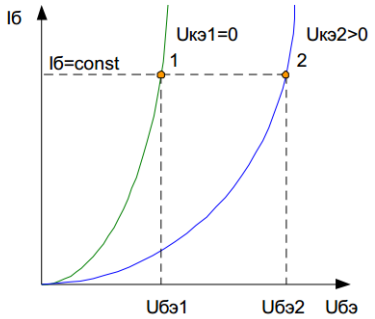
- h22 – выходная проводимость на холостом ходу во входной цепи.

$$h_{22} = \frac{\Delta I2}{\Delta U2} \text{ при } I1 = Const$$

Для транзистора, включенного по схеме с <u>общим эмиттером</u>:

Параметры h11 и h12 определяются по входным характеристикам транзистора.





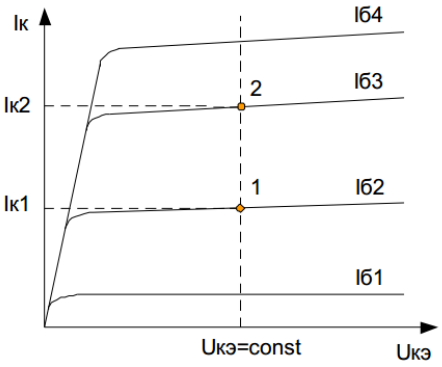
$$h_{11Э} = \frac{\Delta U б}{\Delta I б} \text{ при } U кэ = \text{Const}$$

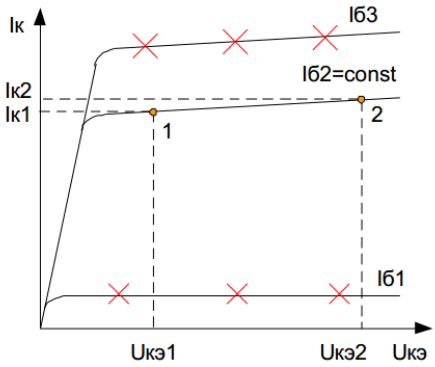
$$h_{11Э} = \frac{U бэ2 - U бэ1}{I б2 - I б1}$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U бэ}{\Delta U кэ} \text{ при } I б = \text{Const}$$

$$h_{12Э} = \frac{U бэ2 - U бэ1}{U кэ2 - U кэ1} = \frac{U бэ2 - U бэ1}{U кэ2} \text{ т.к. } U кэ1 = 0$$

Параметры h21 и h22 определяются по выходным характеристикам





$$h_{21Э} = \frac{Iк2 - Iк1}{Iб3 - Iб2}$$

$$h_{21Э} = \frac{Iк2 - Iк1}{\Delta Iб}$$

$$h_{22Э} = \frac{\Delta Iк}{\Delta U кэ} \text{ при } I б = Const$$

$$h_{22Э} = \frac{Iк2 - Iк1}{U кэ2 - U кэ1}$$

Между коэффициентами h21б и h21э следующая связь:

$$h_{21б} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} \quad \text{или} \quad h_{21э} = \frac{h_{21б}}{1 - h_{21б}}$$

Практическая часть

При включении транзистора с общим эмиттером, управляющим является ток базы $I_б$, а при включении с общей базой – ток эмиттера $I_э$. В схеме с общей базой связь между приращениями тока эмиттера $\Delta I_э$ и тока коллектора $\Delta I_к$ характеризуется коэффициентом передачи тока $h_{21б}$:

$$h_{21б} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} \quad при \quad U_{кб} = const$$, где $U_{кб}$ – напряжение между коллектором и базой

Коэффициент передачи всегда меньше единицы. Для современных биполярных транзисторов $h_{21б}$ = 0,9 – 0,999.

При включении с общей базой ток коллектора: $I_к = h_{21б} I_э$.

Коэффициент усиления по току $h_{21э}$, в схеме включения транзисторов с общим эмиттером определяется как отношение приращения тока коллектора $\Delta I_к$ к приращению тока базы $\Delta I_б$. Для современных транзисторов он имеет значение от 19 до 999.

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \quad при \quad U_{кэ} = const$$, где $U_{кэ}$ – напряжение между коллектором и эмиттером.

Ток коллектора при включении с общим эмиттером: $I_к = h_{21э} I_б$.

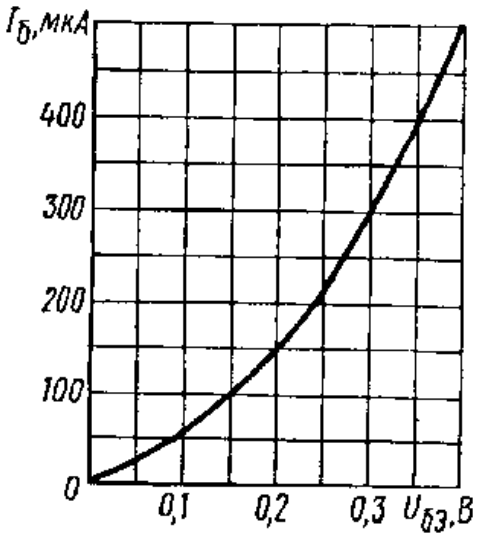
Между коэффициентами $h_{21б}$ и $h_{21э}$ следующая связь:

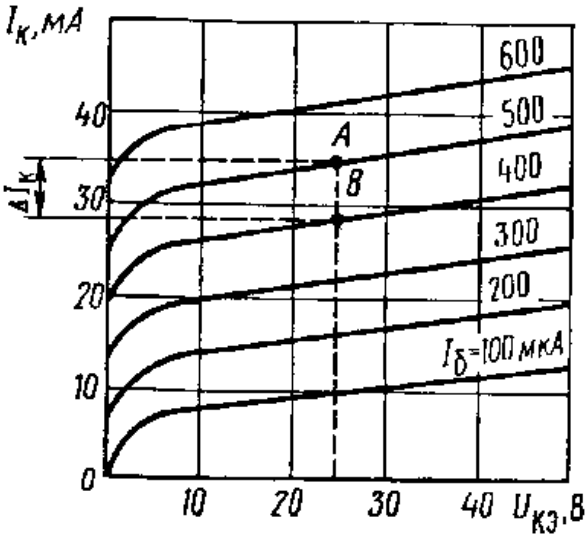
$$h_{21б} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} \quad \text{или} \quad h_{21э} = \frac{h_{21б}}{1 - h_{21б}}$$

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора: $P_к = U_{кэ} I_к$

Пример расчета:

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент усиления $h_{21э}$ по его входной и выходным характеристикам, если $U_{бэ}$=0,4В, $U_{кэ}$=25В. Подсчитать также коэффициент передачи по току $h_{21б}$ и мощность $P_к$ на коллекторе.





Решение:

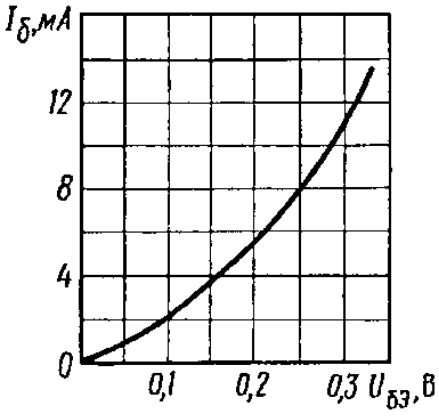
1. Определяем по входной характеристике при $U_{бэ}$=0,4В ток базы $I_б$=500 мкА.
2. Находим по выходным характеристикам для $U_{кэ}$=25В и $I_б$=500 мкА ток коллектора $I_к$=36мА
3. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим:
   $\Delta I_к$ = АВ = $I_{к1}$ - $I_{к2}$ = 36 – 28 = 8 мА,
   $\Delta I_б$ = АВ = $I_{б1}$ – $I_{б2}$ = 500 – 400 = 100 мкА = 0,1 мА
4. Коэффициент усиления: $h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} = \frac{8}{0,1} = 80$
5. Коэффициент передачи по току: $h_{21б} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} = \frac{80}{1 + 80} = 0,98$
6. Мощность на коллекторе: $P_к = U_{кэ} I_к = 25 \cdot 36 = 900\ мВт = 0,9\ Вт$

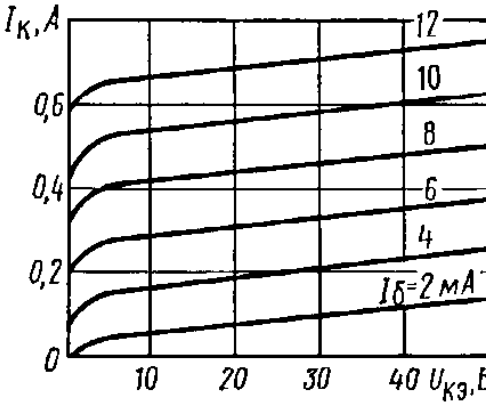
Задание:

1. Решите задачи.
2. Сделайте вывод о проделанной работе.
3. Ответьте на контрольные вопросы

Задача №1

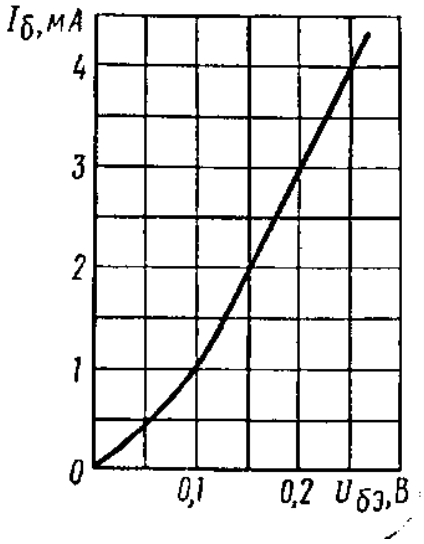
Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, заданы напряжение на базе Uбэ=0,2В, напряжение на коллекторе Uкэ=20В, и напряжение источника питания Ек=40В. Определить, используя входную и выходные характеристики, ток коллектора Iк, коэффициент усиления h21э, сопротивление нагрузки Rк и мощность на коллекторе Рк.

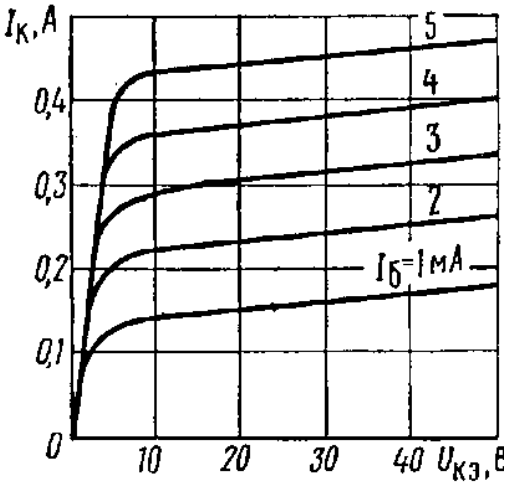




Задача №2

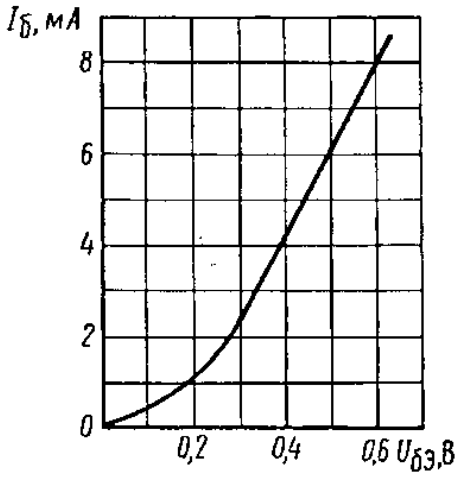
Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, заданы напряжение на базе Uбэ=0,2В, сопротивление нагрузки Rк=0,1кОм и напряжение источника питания Ек=40В. Используя входную и выходные характеристики, определить напряжение на коллекторе Uкэ, ток коллектора Iк, коэффициент усиления h21э и мощность на коллекторе Рк. Определить также коэффициент передачи тока h21б.

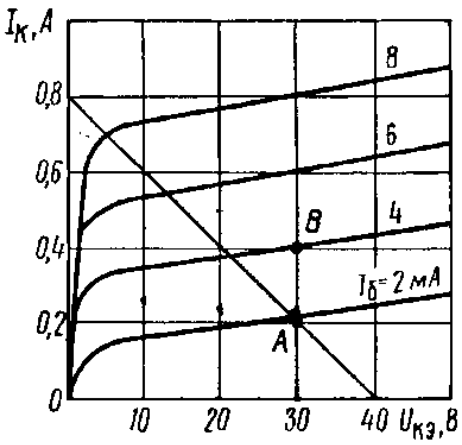




Задача №3

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, используя входную и выходные характеристики, определить коэффициент усиления h21э, значение напряжения на коллекторе Uкэ1, и Uкэ2, мощность на коллекторе Рк1 и Рк2, если дано напряжение на базе Uбэ=0,4В, значение сопротивления нагрузки Rкэ1=0,05 Ом и Rкэ2=0,1 Ом и напряжение источника питания Ек=40В.





Контрольные вопросы:

1. Что такое транзистор?
2. Что такое h – параметрам транзистора?
3. Как называются коэффициенты h11, h12, h21, h22?
4. По каким формулам определяются h – параметры?
5. Может ли коэффициент передачи тока быть больше единицы?

Практическая работа № 3
«Расчёт усилителя на полевом транзисторе»

Цель: изучить один из способов расчета усилителя на полевых транзисторах, произвести расчет усилительного каскада.

Теоретическая часть

Усилители на полевых транзисторах находят широкое применение при построении усилителей переменного и постоянного тока, для которых требуется значительное входное сопротивление, обеспечиваемое схемами на униполярных транзисторах. К таким схемам относятся варианты построения преобразователей, когда источниками входного сигнала являются устройства и усилительные каскады со значительным выходным сопротивлением. В этих случаях только усилители на полевых транзисторах обеспечивают выполнение условия согласования каскадов по сопротивлению

$$R_{вых.ист} << R_{вх.приемн}.$$

Расчет и исследование схем значительно упрощается, если транзисторы в них заменить эквивалентными схемами. Для полевых транзисторов такая схема приведена на рис. 8

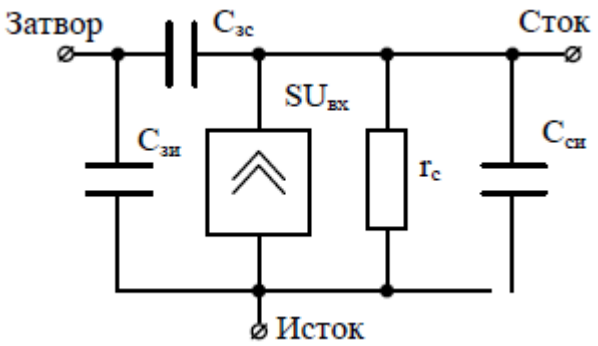


Рис. 8. Эквивалентная схема полевого транзистора: Сзи, Сзс – емкости затвор-исток и затвор сток соответственно; S – крутизна стоко-затворной характеристики транзистора; Uвх – входное напряжение каскада; rс – сопротивление стока, которое определяется по выходной характеристике транзистора и имеет величину 0,1–0,5 МОм; Сси – межэлектродная емкость сток-исток (в большинстве случаев пренебрегают)

Следует отметить, что произведение SUвх определяет параметры источника тока, без которого модель транзистора неработоспособна. Заданные для расчета величины требуются для решения следующих практических вопросов: определение общего коэффициента усиления многокаскадных схем; решение вопроса об устойчивости систем; согласование каскадов усиления. Полевые транзисторы с p-n-переходом могут включаться в схемы тремя способами – с общим истоком, общим стоком, общим затвором. Схема с общим затвором, имеющая минимальное значение входного сопротивления практически никогда не используется, поэтому к расчету предложены две оставшиеся схемы.

Практическая часть

Даны усилители на полевом транзисторе (рис. 9)

Определить следующие величины:

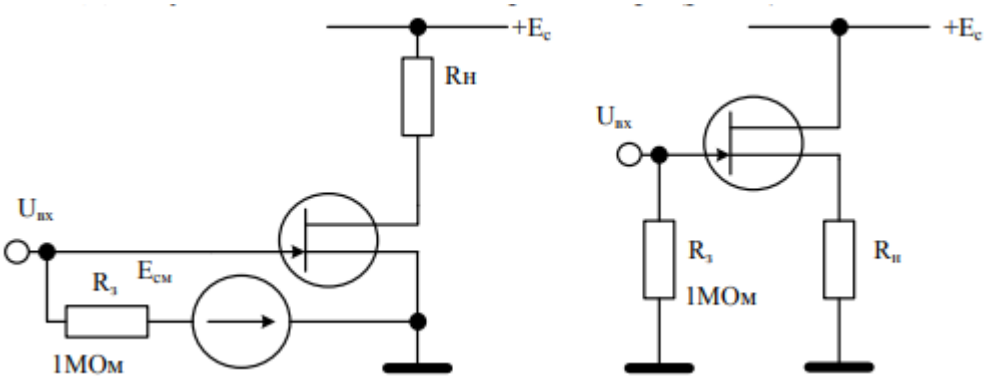
1.коэффициент усиления по напряжению;

2. входное сопротивление;

3. выходное сопротивление;

4. входную емкость. (Примечание. Емкостью монтажа пренебречь.)

Величина нагрузки, тип и параметры полевого транзистора выбираются из табл. 2.



а) б)

Рис. 9. Усилители на полевом транзисторе

Таблица 2

Вариант	Тип транзистора	Крутизна характеристики, мА/В	Нагрузка, кОм	Емкость затвор-исток, pF	Емкость затвор-сток, pF	Структура, тип проводимости канала
1	2П103А	0,7–2,1	24	17	8	p-n, p
2	2П103Б	0,8–2,6	12	17	8	p-n, p
3	2П303А	1,0–4,0	22	6	2	p-n, n
4	2П303Б	1,5–4,5	20	6	2	p-n, n
5	КП307А	4,0–9,0	18	5	1,6	p-n, n
6	КП307Б	5,0–10,0	16	5	1,5	p-n, n
7	КП308А	1,0–4,0	15	6	2	p-n, n
8	КП308Б	1,0–4,0	13	6	2	p-n, n
9	КП903А	85	33	18	15	p-n, n
0	КП903Б	50	30	18	15	p-n, n

Пример расчета:

Решение будем производить последовательно для первой (рис. 9, а) и второй (рис. 9, б) схем включения транзистора. Схема рис. 9, а) представляет собой усилитель, собранный на полевом транзисторе с p-n-переходом, включенным по схеме с общим истоком. Анализ схемы следует производить по эквивалентной схеме для переменного тока, приведенной на рис. 10

.

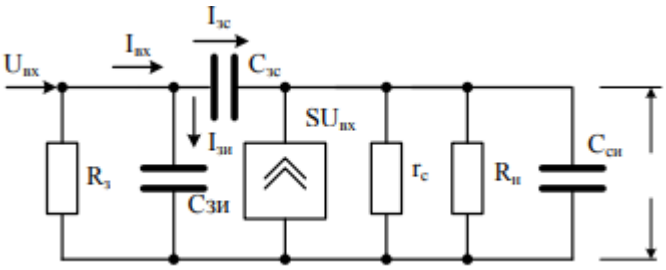


Рис. 10. Эквивалентная схема усилителя с ОИ

Эта схема образуется из эквивалентной схемы транзистора (рис. 8) путем введения в нее внешних элементов Rз и Rн. Источник смещения Eсм в схеме не учитывается, поскольку он имеет низкое внутренне сопротивление и не оказывает влияние на прохождение переменной составляющей входного сигнала. Коэффициент усиления по напряжению для данной схемы может быть определен следующим образом:

$$K_U = -\frac{U_{вых}}{U_{вх}} = -\frac{SU_{вх}(R_н // r_c)}{U_{вх}} = -S(R_н // r_c).$$

Знак минус в формуле указывает на то, что входной и выходное напряжения в схеме находятся в противофазе. Поскольку при параллельном соединении сопротивлений величина эквивалентного сопротивления будет меньше меньшего из них (Rн << rс), можно упростить формулу. Получим:

$$K_U \approx -Sri\ .$$

Входное сопротивление на низких частотах создает только Rз , что видно из эквивалентной схемы. Следовательно, Rвх = Rз = 1 МОм для всех вариантов. Выходное сопротивление схемы определяется параллельным соединением Rн и rс . Учитывая замечание к формуле, имеем Rвых = Rн//rс Rн. Входная емкость устройства определяется из следующих соображений. На рис. 10 представлены емкостные токи, которые на высоких частотах значительно превышают токи, проходящие через резисторы эквивалентной схемы и внутреннее сопротивление источника тока, поскольку они значительны по величине. Следовательно

$$I_{вх} = I_{зи} + I_{си} = \frac{U_{вх}}{1/j\omega C_{зи}} + \frac{U_{вх} - U_{вых}}{1/j\omega C_{зс}} = \frac{U_{вх}}{1/j\omega C_{зи}} +$$

$$\frac{U_{вх} - (-K_u)U_{вх}}{1/j\omega C_{зс}} = j\omega U_{вх}\ C_{зи} + (1 + K_U)C_{зс}\ = j\omega U_{вх} C_{вх}\ .$$

Отсюда

$$C_{вх} = C_{зи} + (1 + K_U)C_{зс}\ .$$

Таким образом, при включении активной нагрузки в стоковую цепь транзистора входная емкость усилителя увеличивается по сравнению с входной емкостью Сзи транзистора, что приводит к увеличению входной проводимости усилителя с ростом частоты. Если необходимо учесть емкость монтажа Смонт, формула преобразуется к виду

$$C_{вх} = C_{зи} + (1 + K_U)C_{зс}\ + C_{монт}\ .$$

Представленные выражения позволяют рассчитать все требуемые параметры схемы. Схема рис. 9, б) представляет собой усилитель, собранный на полевом транзисторе с p-n-переходом, включенным по схеме с общим стоком или истоковый повторитель. Анализ этой схемы чаще всего проводят по эквивалентной схеме полевого транзистора, когда выходная цепь моделируется не источником тока, а эквивалентным ему источником напряжения, ЭДС которого определяется по формуле

$$E = \frac{\mu}{1+\mu} U_{вх}\ .$$

где μ = Srс – статический коэффициент усиления полевого транзистора.

Схема замещения для данного способа включения приведена на рис. 11.

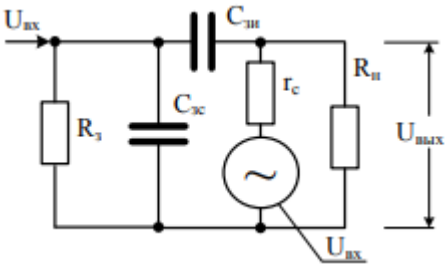


Рис. 11. Эквивалентная схема усилителя с ОС

Анализ схемы позволяет рассчитать требуемые параметры истокового повторителя по следующим уравнениям:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{SU_{вх}(R_н // r_c)}{U_{вх}\ 1+S(R_н // r_c)} \approx \frac{SR_н}{1+SR_н},$$

$$R_{вх} = R_з,$$

$$R_{вых} = \frac{(R_н // r_c)}{1+S(R_н // r_c)} = \frac{R_н}{1+SR_н} \approx \frac{1}{S},$$

$$C_{вх} = C_{зс} + (1-K_U)C_{зи} + C_{монт}.$$

Из формулы видно, что в схеме с общим стоком входная емкость много меньше, чем в схеме с общим истоком, что и предопределило область использования схемы в тех случаях, когда необходимо получить большое входное сопротивление схемы на переменном токе в широком диапазоне частот.

Задание:

1. Рассчитать усилитель в соответствии с вариантом
2. Сделайте вывод о проделанной работе.
3. Ответьте на контрольные вопросы

Контрольные вопросы:

1. Опишите конструкцию и принцип действия полевых транзисторов.
2. В чем особенности конструкции и эксплуатации полевых транзисторов управляемых p-n–переходом, транзисторов Шоттки и транзисторов с изолированным затвором.
3. Почему полевые транзисторы являются усилителями тока, напряжения и мощности.
4. Отличие полевых транзисторов от биполярных.
5. Почему полевые транзисторы используются в высокоомных электрических цепях?
6. Изобразите входные, переходные и в выходные статические вольтамперные характеристики полевых транзисторов.

Список используемых источников:

1. Забродин, Юрий Сергеевич. Промышленная электроника: [учеб. для вузов] / Ю. С. Забродин. – Изд. 2-е, стер. – М.: Альянс, 2008. – 496 с.
2. Гусев, Владимир Георгиевич. Электроника и микропроцессорная техника: [учеб. для вузов] / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – Изд. 5-е, стер. – М.: Высшая школа, 2008. – 798 с.
3. Марченко, Алексей Лукич. Основы электроники: учеб. пособие для вузов / А. Л. Марченко. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 296 с.
4. Марченко, Алексей Лукич. Основы электроники: учебное пособие для вузов / А. Л. Марченко. Электронный ресурс. URL: http://e.lanbook.com/books/element.
5. http://xn--b1ajwv.xn--p1ai/files/mu_ocxt.pdf