

Задача 1. Анализ соотношений между токами, напряжениями и параметрами элементов в каскаде усилителя напряжения

Определить приемлемые значения сопротивлений и емкостей каскада усилителя на биполярном транзисторе с резистивно-емкостными связями и с термостабилизацией. Изучить соотношение между токами в разных ветвях по схеме усилителя. Исходные данные взять из таблицы 1.1, схему усилителя на рисунке 1.1. Оценить коэффициент усиления этого усилителя и амплитуду входного сигнала, обеспечивающего заданное значение амплитуды выходного сигнала.

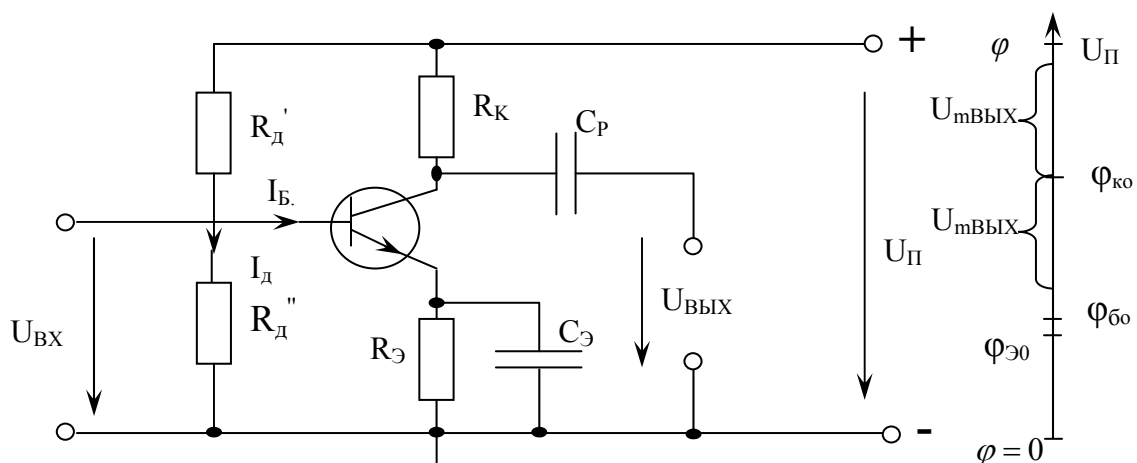


Рис. 1.1

Таблица 1.1

Вариант	$h_{11Э}$, Ом	$h_{21Э}$	R_H , кОм	$U_{mВЫХ}$, В	f_H , Гц	M_H	$U_П$, В
1	2	3	4	5	6	7	8
1	850	28	2,4	1,8	50	1,3	9
2	900	30	3,1	3,6	30	1,2	9
3	950	45	3,6	3,5	25	1,28	12
4	540	35	1,8	3,2	65	1,22	12
5	930	30	4,8	3,1	150	1,25	18
6	1300	45	1,5	3,0	70	1,15	9
7	1100	40	3,3	2,8	40	1,25	15
8	750	75	4,5	2,7	100	1,2	12
9	4500	120	1,8	2,5	20	1,15	9
10	2500	85	3,2	2,3	35	1,2	9

1	2	3	4	5	6	7	8
11	900	30	4,3	2,1	80	1,28	6
12	930	30	4,8	2,0	90	1,3	6
13	1100	30	5,1	1,8	85	1,25	9
14	540	35	6,3	1,7	95	1,2	6
15	850	28	4,5	1,5	85	1,22	5
16	4500	120	5,2	3,4	75	1,25	12
17	1300	45	4,5	2,2	60	1,28	9
18	1100	40	6,8	4,0	90	1,3	18
19	2500	85	7,0	1,6	70	1,25	6
20	750	75	6,2	3,4	50	1,22	12
21	850	30	2,0	2,4	80	1,2	9
22	950	45	1,5	2,0	200	1,15	9
23	930	30	1,0	0,5	250	1,2	3
24	540	35	3,0	3,0	130	1,25	9
25	750	75	5,0	1,0	70	1,28	5
26	900	30	2,0	3,0	50	1,3	9
27	850	28	1,0	3,0	90	1,25	12
28	1300	45	1,5	2,0	130	1,22	9
29	1100	40	3,3	2,8	200	1,2	9
30	750	75	6,0	1,5	50	1,15	6

Методические указания к задаче 1

Прежде чем приступить к расчету, надо повторить теорию. Вспомнить схему усилителя. Назначение отдельных элементов. Входные и выходные характеристики транзистора. Смысл его параметров $h_{11Э}$ и $h_{21Э}$. Принцип усиления напряжения. Причины нелинейных и частотных искажений. Проследить путь сигнала. Уяснить влияние положения рабочей точки (значение тока покоя коллектора) на работу усилителя. Как происходит термостабилизация режима работы усилителя при включении резистора в цепь эмиттера? Зачем параллельно ему ставят конденсатор?

Заданными будем считать: $U_{mВЫХ}$ – амплитуду выходного сигнала; f_H – нижнюю граничную частоту; M_H – предельно допустимый коэффициент искажений на нижней граничной частоте; R_H –

сопротивление нагрузки каскада; $h_{21Э}$ – коэффициент усиления тока базы транзистора; $h_{11Э}$ – входное сопротивление транзистора (сопротивление базно-эмиттерного перехода).

Для упрощения расчетов будем пользоваться без вывода некоторыми соотношениями величин, которые, как показывают классические расчеты и практика, близки к оптимальным для подавляющего большинства случаев. Будем помечать индексом 0 токи и напряжения при отсутствии сигнала на входе усилителя. Например, потенциал эмиттера при отсутствии сигнала $\varphi_{э0}$ должен составлять около одной четверти напряжения питания $U_{П}$, сопротивление в цепи коллектора R_K обычно ставят близким к сопротивлению нагрузки R_H , ток в цепи делителя $I_d = 5 \cdot I_{Б0}$. При выборе больших токов I_d падает входное сопротивление каскада, при уменьшении I_d снижается стабильность его работы. Эти величины проставлены на схеме (рис. 1.1), из которой видно, о чем идет речь. Желательное распределение напряжений на элементах рабочей цепи R_K – транзистор – $R_Э$ представлено на рис. 1.1 справа. Поднявшись по оси φ на $0,25 \cdot U_{П}$ от точки $\varphi = 0$, получим потенциал эмиттера $\varphi_{э0}$. Оставшееся расстояние до значения потенциала положительного полюса питания $U_{П} - \varphi_{э0}$ поделим пополам и найдем положение точки, соответствующей потенциалу коллектора $\varphi_{ко}$. При этом, как видим, мы можем рассчитывать на наибольшее значение амплитуды неискаженного полезного сигнала обеих полярностей: от $\varphi_{ко}$ до $U_{П}$ и от $\varphi_{ко}$ до $\varphi_{э0}$.

0,5 – 1 вольту надо оставить с каждой стороны до предельных значений амплитуды во избежание нелинейных искажений. Примерно такое остаточное напряжение падает на самом транзисторе даже «полностью открытом». Необходим запас и со стороны положительного потенциала источника питания, в особенности, если питание обеспечивается, например, гальваническими элементами, снижающими свое напряжение по мере разрядки.

При малом размахе выходного напряжения, по сравнению с разностью $U_{П} - \varphi_{э0}$, в целях повышения КПД за счет уменьшения $I_{ко}$,

потенциал коллектора $\varphi_{\text{эо}}$ можно сместить вверх вплоть до значения $\varphi_{\text{эо}} = U_{\text{П}} - U_{\text{мВЫХ}}$. Если же двойная амплитуда (размах колебания) выходного сигнала не вписывается в этот интервал ($U_{\text{П}} - \varphi_{\text{эо}} - 1 \text{ В}$), то поставленная задача оказывается невыполнимой. Решать ее придется либо за счет снижения качества термостабилизации, уменьшая $\varphi_{\text{эо}}$, либо повышая $U_{\text{П}}$. Если у Вас создалась такая ситуация, согласуйте свои дальнейшие действия с преподавателем.

Первое, с чего удобно начать расчет, это определение $\varphi_{\text{эо}} = \frac{U_{\text{П}}}{4}$.

Затем находим $\varphi_{\text{к0}} = \frac{U_{\text{П}} - \varphi_{\text{э0}}}{2} + \varphi_{\text{э0}}$. По уже приведенным выше рекомендациям примем $R_{\text{К}} = R_{\text{Н}}$.

Как можно видеть на диаграмме потенциалов справа от схемы (рис. 1.1), напряжение на сопротивлении $R_{\text{К}}$ равно $U_{\text{РК}} = U_{\text{П}} - \varphi_{\text{к0}}$.

Теперь находим ток покоя коллектора $I_{\text{к0}} = \frac{U_{\text{РК}}}{R_{\text{К}}}$.

Находим ток покоя эмиттера $I_{\text{э0}} = \frac{U_{\text{м}} \Delta I_{\text{мк}}}{h_{21\text{э}}}$.

Впрочем, при реальных значениях $h_{21\text{э}}$ в несколько десятков, а то и сотен с достаточной точностью можно принять $I_{\text{э0}} = I_{\text{к0}}$.

Находим сопротивление в цепи эмиттера $R_{\text{э}} = \frac{\varphi_{\text{к0}}}{I_{\text{э0}}}$.

Примем напряжение на эмиттерно-базовом переходе $U_{\text{бэ0}} = 0,3 \text{ В}$. Тогда потенциал базы равен $U_{\text{б0}} = \varphi_{\text{к0}} + 0,3 \text{ В}$. Как уже отмечалось, ток делителя $I_{\text{д}}$ должен быть примерно в 5 раз больше тока покоя базы.

Тогда $I_{\text{д}} = \frac{5 \cdot I_{\text{к}}}{h_{21\text{э}}}$, а $R_{\text{д}}'' = \frac{\varphi_{\text{б0}}}{I_{\text{д}}}$.

На сопротивлении $R_{\text{д}}$ падает напряжение $U_{\text{П}} - \varphi_{\text{б0}}$, а протекающий через него ток равен $I_{\text{д}} + I_{\text{б0}}$.

Следовательно, $R_{\text{д}}' = \frac{U_{\text{П}} - U_{\text{б0}}}{I_{\text{д}} + I_{\text{б0}}}$.

Сопротивление $X_{CЭ}$ емкости $C_Э$ должно быть много меньше $R_Э$, чтобы ток полезного сигнала не создавал в нем заметного напряжения и не уменьшал коэффициента усиления каскада K_U .

Примем $\frac{R_Э}{X_{CЭ}}=20$, тогда $R_Э = 20 \cdot X_{CЭ}$ или $C_Э = \frac{20}{2\pi f_H R_Э}$.

Для расчета величины C_P применим упрощенную форму

$$C_P = \frac{1}{2\pi f_H (R_Э + R_H) \sqrt{M^2 - 1}}.$$

Приступим к расчету требуемой амплитуды входного сигнала. Приращение тока коллектора при повышении тока базы растекается по двум сопротивлениям: R_K и R_H .

Поскольку мы приняли их равными, приращение тока в нагрузке будет $0,5 \cdot \Delta I_K$. Поэтому в момент, соответствующий амплитуде выходного напряжения, приращение тока коллектора составит $\Delta I_{мк} = 2 \frac{U_{мБвх}}{R_H}$. Ему

будет соответствовать приращение тока базы $\Delta I_{мб} = \frac{\Delta I_{мк}}{h_{21Э}}$, а амплитуда входного сигнала, обеспечивающая это приращение, должна быть $U_{мвх} = \Delta I_{мб} \cdot h_{11Э}$. Конечно, это приближенное, несколько заниженное значение напряжения, т. к. на пути тока сигнала базы, кроме входного (база-эмиттер), сопротивления транзистора $h_{11Э}$ существует еще цепочка $R_Э C_Э$. Но сопротивление ее току сигнала стараются сделать пренебрежимо малым по сравнению с $h_{11Э}$, и тогда напряжение на $R_Э C_Э$ можно не учитывать.

Наконец, коэффициент усиления можно рассчитать как $K_U = \frac{U_{мБвх}}{U_{мвх}}$.