

Задание 4

1. В этом задании речь идет о схеме, приведенной на рис. 4.16, со значениями параметров согласно одному из вариантов, перечисленных в табл. 1.

Схема с малосигнальными транзисторами в качестве VT1 и VT2 (рис. 4.16) с сопротивлением нагрузки R_H , равным нескольким сотням Ом, – это всего лишь иллюстрация принципа действия усилителя мощности, предназначенная для учебного лабораторного эксперимента.

Предполагается, что напряжения питания $U_{П1}$ и $U_{П2}$ будут такими, как указано на рисунке ($U_{П1} = U_{П2} = U_{П}$), амплитуда максимального сигнала на выходе $\max U_{Вых.м}$ будет порядка 10 В, а измерения по переменному току будут проводиться на частоте f , равной 10 кГц.

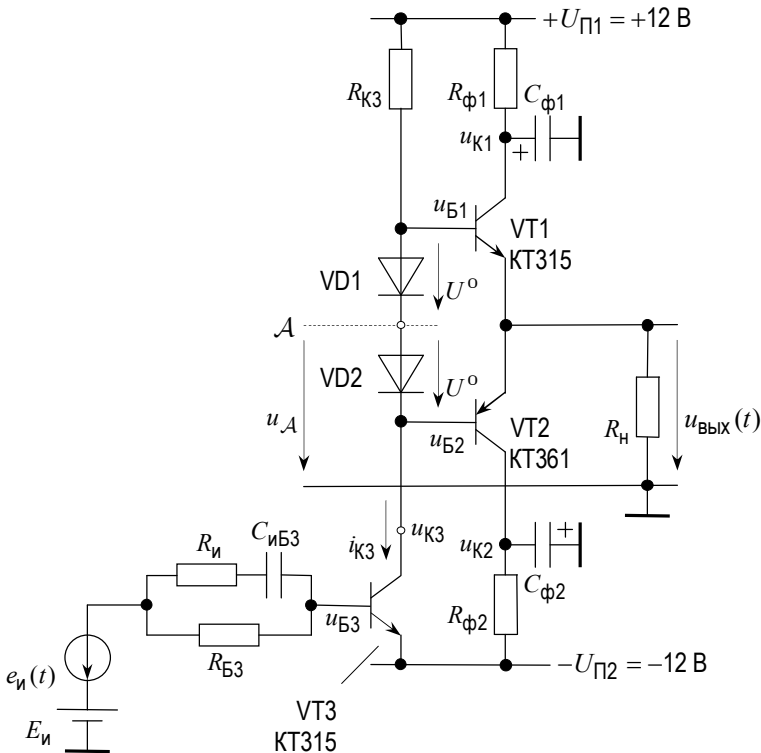


Рис. 4.16

Таблица 1

№№	R_H	$\max P_{R_H}$	$\max I_{R_H}$	R_{K3}	$I_{\Theta, K}^0$	$R_{Б3}$	$h_{113}^{(3)}$	R_H
	Ом	Вт	мА	кОм	мА	кОм	Ом	кОм
1	270	0.185	37	2.7	4.2	270	600	6.2
2	300	0.167	33	3.0	3.8	300	660	6.8
3	330	0.151	30	3.3	3.4	330	735	7.5
4	360	0.139	28	3.6	3.15	360	800	8.2
5	390	0.128	26	3.9	2.9	390	860	9.1
6	430	0.116	23	4.3	2.6	430	960	10
7	470	0.106	21	4.7	2.4	470	1040	11
8	510	0.098	20	5.1	2.2	510	1140	12
9	560	0.089	18	5.6	2.0	560	1250	13

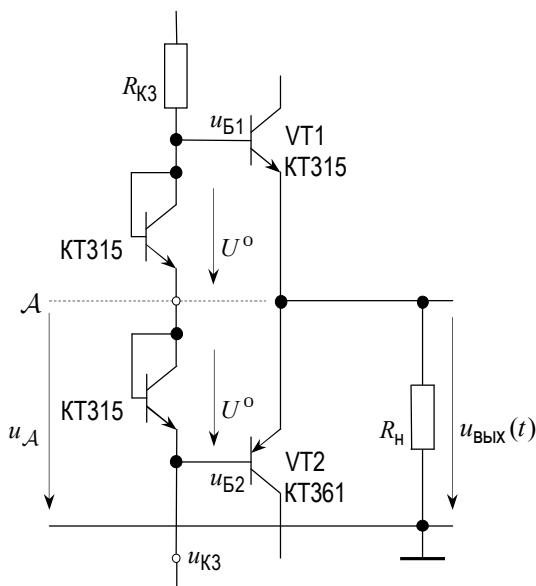
$\max P_H = \left(\max U_{\text{вых.м}} / \sqrt{2} \right)^2 / R_H$ в табл. 1 – это максимальная мощность сигнала в нагрузке (при максимальной амплитуде сигнала на выходе), а $I_{\Theta, K}^0$ – эмиттерные (коллекторные) токи покоя транзисторов VT1 и VT2 в исходном состоянии в режиме АВ; здесь этот ток выбран равным $0.1 \cdot \max I_{R_H}$.

В отсутствие сигнала коллекторный ток I_{K3} транзистора VT3 будет приблизительно равен току $I_{\Theta, K}^0$, поэтому $R_{K3} = (U_{\Pi} - U^0) / I_{K3}$, где U^0 – напряжение на открытом диоде; здесь, на стадии оценки ожидаемых значений токов и напряжений, можно положить U^0 равным 0.65 В. Сопротивление резистора $R_{Б3}$ должно быть примерно в 100...200 раз больше R_{K3} (о том, как подобрать величину $R_{Б3}$, см. ниже в п. 2).

Указанные в табл. 1 значения $R_{Б3}$ и $h_{113}^{(3)} = \left(h_{213}^{(3)} + 1 \right) \cdot r_{э3}$, $r_{э3} = U_T / I_{K3}$, найдены в предположении, что $h_{213}^{(3)} = h_{213}^{(3)} = 100$. Для наблюдений и измерений, о которых пойдет речь в п. 3 этого задания, нужно взять ‘сопротивление источника’ R_H в 10 раз больше входного сопротивления $h_{113}^{(3)}$ транзисто-

ра VT3 ($R_{и} \approx 10 \cdot h_{113}^{(3)}$). Емкость конденсатора $C_{иБ3}$ между источником сигнала и базой транзистора VT3 должна быть такой (из интервала 0.1 ... 1.0 мкФ), чтобы его сопротивление переменному току на частоте f было много меньше $R_{и} + h_{113}^{(3)}$.

Пары $R_{\Phi 1}, C_{\Phi 1}$ и $R_{\Phi 2}, C_{\Phi 2}$ представляют собой фильтры, предназначенные для того, чтобы по постоянным напряжениям на $R_{\Phi 1}$ и $R_{\Phi 2}$ находить средние значения коллекторных токов I_{K1} и I_{K2} транзисторов VT1 и VT2 по правилу: $I_{K1,2} = (U_{П1,2} - |U_{K1,2}|) / R_{\Phi 1,2}$. Сопротивления резисторов $R_{\Phi 1}$ и $R_{\Phi 2}$ следует выбрать одинаковыми из интервала 110...180 Ом; емкости электролитических конденсаторов $C_{\Phi 1}$ и $C_{\Phi 2}$ – 100 мкФ или 220 мкФ (при собирании схемы необходимо соблюдать указанную на рис. 4.16 полярность включения).



Наконец, в данном случае целесообразно использовать в качестве диодов VD1 и VD2 транзисторы KT315 с замкнутыми накоротко базами и коллекторами (рис. 4.17). При этом вольтамперные характеристики таких «диодов» практически совпадают с зависимостями $i_{К,Э}(u_{БЭ})$ транзисторов VT1 и VT2.

Рис. 4.17

Внимание! Если вам предстоит выполнение задания 5, то вам нужно будет воспользоваться схемой, которую вы соберёте, выполняя задание 4. В этом случае данную схему (рис. 4.16, 4.17) следует собирать компактно в левой части макетной платы и не разбирать её по окончании выполнения задания 4.

2. Соберите схему, представленную на рис. 4.16, 4.17. Включите питание и осуществите отладку схемы по постоянному току, выполнив следующие действия:

а) Убедитесь в том, что напряжения $U_{П1}$ и $U_{П2}$ равны ± 12 В соответственно.

б) Подключите источник сигнала к входу схемы [к точке слева (на рисунке) от резисторов $R_{и}$ и $R_{Б3}$], а вход цифрового вольтметра постоянного напряжения к точке A .

в) При $\mathcal{E}_{и.m} = 0$, где $\mathcal{E}_{и.m}$ – амплитуда синусоидального сигнала, вырабатываемого компьютерным генератором, изменяя *Уровень* (напряжение смещения) $E_{и}$, добейтесь того, чтобы напряжение U_A в точке A относительно земли отличалось от нуля не более чем на ± 0.25 В. Если при выбранном ранее значении сопротивления $R_{Б3}$ не удастся добиться требуемого напряжения в точке A , то необходимо изменить сопротивление резистора $R_{Б3}$ и выбрать его таким, чтобы требуемое смещение $E_{и}$ не превосходило ± 1 В.

г) Измерьте постоянные напряжения $U_{К1}$ и $U_{К2}$ на коллекторах транзисторов VT1 и VT2. Если значения этих напряжений будут отличаться от напряжений питания $U_{П1}$ и $U_{П2}$ более, чем на 2...3 В, то необходимо увеличить сопротивления резисторов $R_{К3}$ и $R_{Б3}$ и вновь выполнить действия, указанные выше в п. в).

д) Если постоянное напряжение $U_{Вых}$ выходит за пределы ± 0.25 В при $|U_A| \leq 0.25$ В, то желательно подобрать пару транзисторов VT1 и VT2, обеспечивающих меньшую разность напряжений в точке A и на выходе.

е) Результаты отладки схемы по постоянному току – напряжения на коллекторах и базах всех транзисторов, а также значения $E_{и}$, U_A , U^0 и $U_{Вых}$ – следует зафиксировать в рабочей тетради. Полезно также определить путем расчета постоянные коллекторные токи $I_{К1}$, $I_{К2}$ и $I_{К3}$ и мощность $P_{расс}$, рассеиваемую на коллекторах транзисторов VT1 и VT2 в отсутствие сигнала.

3. Подайте от компьютерного генератора синусоидальный сигнал с амплитудой $\mathcal{E}_{и.m}$ в несколько десятков милливольт или порядка 100 мВ и с помощью осциллографа убедитесь в возникновении на выходе неискаженного по форме синусоидального сигнала с амплитудой $U_{Вых.m}$, равной нескольким вольтам. Определите коэффициент усиления $K_e(def) = U_{Вых.m} / \mathcal{E}_{и.m}$ и сравните его с ожидаемым значением $h_{213}^{(3)} R_{К3} / (R_{и} + h_{113}^{(3)})$.

Установите амплитуду входного сигнала $\mathcal{E}_{и.м}$ такой, чтобы амплитуда выходного сигнала $U_{вых.м}$ была равна 3 В. Измерьте постоянные напряжения U_{K1} и U_{K2} на коллекторах транзисторов VT1 и VT2, произведите необходимые вычисления и заполните 1-ю строку в следующей таблице:

Таблица 2

$U_{вых.м}$	P_H	I_{K1}	$P_0^{(1)}$	$P_{расс}^{(1)}$	I_{K2}	$P_0^{(2)}$	$P_{расс}^{(2)}$	η
В	мВт	мА	мВт	мВт	мА	мВт	мВт	–
3								
6								
9								

Здесь, в табл. 2:

$P_H = (U_{вых.м} / \sqrt{2})^2 / R_H$ – мощность, рассеиваемая на нагрузке;

$I_{K1} = (U_{П1} - U_{K1}) / R_{Ф1}$ – постоянный ток, текущий по резистору $R_{Ф1}$;

$P_0^{(1)} = I_{K1} \cdot U_{П1}$ – мощность, потребляемая от источника питания $U_{П1}$;

$P_{расс}^{(1)} = P_0^{(1)} - P_H / 2 - I_{K1}^2 \cdot R_{Ф1}$ – мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора VT1;

$I_{K2} = (U_{П2} - U_{K2}) / R_{Ф2}$ – постоянный ток, текущий по резистору $R_{Ф2}$;

$P_0^{(2)} = I_{K2} \cdot U_{П2}$ – мощность, потребляемая от источника питания $U_{П2}$;

$P_{расс}^{(2)} = P_0^{(2)} - P_H / 2 - I_{K2}^2 \cdot R_{Ф2}$ – мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора VT2;

$\eta = P_H / (P_H + P_{расс}^{(1)} + P_{расс}^{(2)})$ – коэффициент полезного действия (КПД).

Повторите измерение напряжений U_{K1} и U_{K2} при $U_{вых.м} = 6$ В и при $U_{вых.м} = 9$ В и заполните 2-ю и 3-ю строки таблицы.

4. Осуществите с помощью осциллографа наблюдение искажений в выходном сигнале или их отсутствие, выполнив следующие действия.

Подайте на вход синусоидальный сигнал такой величины $\mathcal{E}_{и.м}$, чтобы в случае, когда схема остается такой, как она представлена на рис. 4.16, 4.17, амплитуда сигнала на выходе $U_{вых.м}$ была равна 1...3 В. Убедитесь в том, что искажения отсутствуют или мало заметны. Теперь замкните накоротко диоды VD1 и VD2, соединив между собой базы транзисторов VT1 и VT2, и при том же значении амплитуды входного сигнала $\mathcal{E}_{и.м}$ рассмотрите искажения типа

«ступеньки», наступающие в $u_{\text{вых}}(t)$ вблизи нуля. Обратите внимание на то, что во втором случае размах сигнала $u_{\text{вых}}$ меньше, чем в отсутствие искажений. Зарисуйте осциллограммы в обоих случаях, «наложив» изображения одно на другое в одном масштабе по оси ординат.

(Замечание: Если при переходе к случаю, когда диоды замкнуты накоротко, нарушается требование нуля на выходе в отсутствие сигнала, то перед тем, как осуществить вторую часть этого опыта, необходимо скорректировать смещение $E_{\text{и}}$ и только после этого перейти к наблюдению сигнала на выходе при той же самой величине сигнала $\mathcal{E}_{\text{и.т.}}$.)

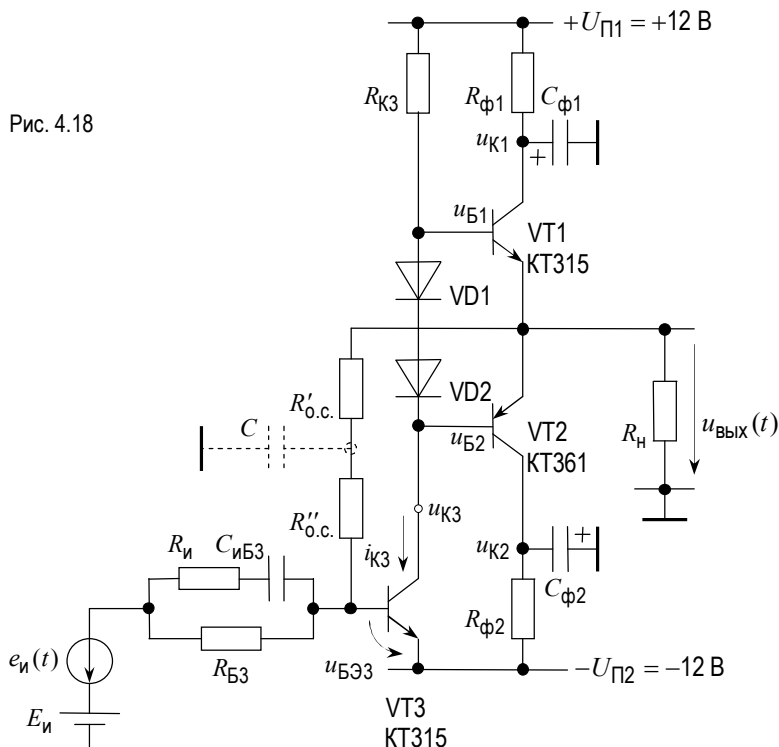
5. (Факультативно.) Разомкните осуществленное ранее (в п. 4) соединение баз транзисторов VT1 и VT2 между собой.

Подайте на вход синусоидальный сигнал такой величины, чтобы в случае, когда схема остается такой, как она представлена на рис. 4.16, 4.17, амплитуда сигнала на выходе $U_{\text{вых.т}}$ была равна 6...8 В. Убедитесь в том, что искажения отсутствуют или мало заметны. Теперь замкните накоротко резистор $R_{\text{и}}$ во входной цепи, соединив проводником точки, к которым подключены выводы этого резистора, и *уменьшите сигнал*, подаваемый от компьютерного генератора, настолько, чтобы при замкнутом накоротко резисторе $R_{\text{и}}$ полный размах сигнала на выходе был таким же, как перед этим (равным $2U_{\text{вых.т}}$). Рассмотрите возникающие при этом искажения $u_{\text{вых}}(t)$, заключающиеся в том, что верхняя полуволна в пределах периода оказывается затупленной, а нижняя — заостренной, что является проявлением экспоненциального характера зависимости $i_{\text{кз}}(u_{\text{БЭЗ}})$. Зарисуйте осциллограммы в обоих случаях, «наложив» изображения одно на другое в одном масштабе по оси ординат.

6. (Факультативно.) Сохранив неизменной собранную ранее схему, замените резистор $R_{\text{и}}$ на новый с сопротивлением, равным $2...3 h_{113}^{(3)}$, и соедините выход усилителя с базой транзистора VT3 двумя последовательно включенными резисторами $R'_{\text{о.с.}}$ и $R''_{\text{о.с.}}$, образующими цепь *обратной связи* (о.с.), как показано на рис. 4.18. Сопротивление каждого из резисторов $R'_{\text{о.с.}}$ и $R''_{\text{о.с.}}$ можно выбрать примерно равным $R_{\text{БЗ}}/2$. Пусть первоначально между точкой соединения резисторов $R'_{\text{о.с.}}$, $R''_{\text{о.с.}}$ и землей *включен* изображенный на рис. 4.18 пунктиром конденсатор C сравнительно большой емкости (0.1...1.5 мкФ).

Необходимо заново при $e_{\text{и}}(t) = 0$ подобрать у источника сигнала такое смещение $E_{\text{и}}$, чтобы постоянное напряжение на выходе (в точке соединения эмиттеров VT1 и VT2) было равно нулю.

Рис. 4.18



Включите на входе синусоидальный сигнал с такой амплитудой $\mathcal{E}_{и.м}$, при которой полный размах выходного сигнала $\max u_{\text{ВЫХ}} - \min u_{\text{ВЫХ}}$ (удвоенная амплитуда) был бы равен 12...16 В. Рассмотрите форму колебания на выходе, в которой должен проявиться экспоненциальный характер зависимости $i_{к3}(u_{БЭ3})$, и зарисуйте осциллограмму в рабочей тетради.

Теперь извлеките конденсатор C и *увеличьте входной сигнал* настолько, чтобы полный размах сигнала на выходе $u_{\text{ВЫХ}}(t)$ был таким же, как и ранее. Обратите внимание на то, что в данном случае искажения вследствие экспоненциального характера зависимости $i_{к3}(u_{БЭ3})$ заметны меньше. Зарисуйте новую осциллограмму на том же самом рисунке, что был сделан ранее, и сравните форму колебания на выходе, когда действует обратная связь (в отсутствие конденсатора C), со случаем, когда действие обратной связи исключено (при наличии в схеме конденсатора C).