

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Исходные данные для расчета.....	4
Выбор принципиальной схемы.....	5
Расчет выходного каскада.....	5
Выбор выходных транзисторов.....	5
Выбор режима работы по постоянному току и построение линии нагрузки.....	8
Выбор предвыходных транзисторов и режимов их работы по постоянному току. Построение линии нагрузки.....	9
Определение основных параметров выходного каскада.....	11
Расчет элементов связи.....	14
Заключение.....	15

Введение

Усилителем называется устройство, которое позволяет при наличии сигнала на входе получить на выходе сигнал той же формы, но большей мощности. Усиление происходит за счет источника питания и активного усиленного элемента (транзистора) с помощью которого энергия источника питания преобразуется в энергию полезных колебаний на выходе. Входной сигнал является управляющим, так как под его воздействием на выходе усиленного элемента возникают более мощные колебания, передаваемые в нагрузку.

Усилитель представляет собой в общем случае последовательность каскадов (бывают и однокаскадные усилители), соединенных между собой прямыми связями. Как и в любом активном устройстве в усилителе также присутствует источник первичного или вторичного электропитания (если усилитель представляет собой самостоятельное устройство) или цепи, через которые питающие напряжения подаются с отдельного блока питания. Каскад усиления – ступень усилителя, содержащая один или несколько усилительных элементов, цепи нагрузки и связи с предыдущими и последующими ступенями. В качестве усилительных элементов обычно используются электронные лампы или транзисторы (в нашем случае), иногда, в некоторых специальных случаях, могут применяться и двухполосники, например, туннельные диоды (используется свойство отрицательного сопротивления) и др.

Целью данной курсовой работы является проектирование бестрансформаторного выходного каскада на основе биполярных транзисторов. В задачу входит:

- составление принципиальной схемы выходного каскада, позволяющей реализовать требуемые коэффициенты усиления по мощности и напряжению, а также обладающей КПД не менее 40%:

- подбор транзисторов, исходя из требуемой мощности P_n в нагрузке, температуры окружающей среды $t_в$ и заданного или выбираемого напряжения E_n источника питания;

- выбор оптимальных режимов работы транзисторов по постоянному току, обеспечивающих малый уровень нелинейных искажений в заданном интервале температур;

- определение электрических параметров выходного каскада по переменному току (входного сопротивления, коэффициента усиления по току и мощности и др.);

- нахождение минимально необходимой площади S радиаторов.

Исходные данные для расчета

Сопротивление нагрузки $R_n = 8 \text{ Ом}$

Сопротивление источника сигнала $R_c = 8 \text{ Ом}$

Номинальное выходное напряжение $U_n = 12 \text{ Ом}$

Нижняя граничная частота $f_n = 60 \text{ Гц}$

Верхняя граничная частота $f_B = 2 \text{ кГц}$

Допустимый фазовый сдвиг $\varphi_{\text{дон}} = 15 \text{ град}$

Диапазон рабочих температур $t_n \dots t_B = 0 \dots 40 \text{ °C}$

Выбор и расчет принципиальной схемы

Принципиальную схему проектируемого выходного каскада составляют на основе типовой схемы.

При составлении принципиальной схемы учитываем следующее:

- Коэффициент усиления по напряжению бестрансформаторного выходного каскада меньше единицы и обычно лежит в следующих пределах:

$$K_u^{BK} = \frac{\sqrt{2}U_n}{U_{ex_m}^{BK}} = 0,85 \dots 0,95$$

где $U_{ex_m}^{BK}$ - амплитудное значение напряжения на входе входного каскада.

- Выходной каскад лучше следует выполнять на комплементарных парах транзисторов.

- В качестве элементов связи между источником сигнала, каскадами и нагрузкой проще всего использовать разделительные конденсаторы, которые устраняют взаимосвязь каскадов по постоянному току.

- Для питания усилителя целесообразно применять двуполярные источники питания.

Выбор выходных транзисторов

Амплитудное значение коллекторного напряжения транзистора VT3(VT4):

$$U_{km3} = \sqrt{2} \cdot U_n$$

$$U_{km3} = \sqrt{2} \cdot 12 = 16,97 \text{ В}$$

где U_n - эффективное значение напряжения на нагрузке.

Амплитуда импульса коллекторного тока транзистора VT3(VT4):

$$I_{km3} = \frac{U_{km3}}{R_n}$$

$$I_{km3} = \frac{16,97}{8} = 2,12 \text{ А}$$

Мощность, выделяемая каскадом в нагрузке:

$$P_n = \frac{U_n^2}{R_n}$$

$$P_n = \frac{12^2}{8} = 18 \text{ Вт}$$

Необходимое напряжение источника питания

$$E_n = (1,01 \dots 1,1)(U_{k\text{м}3} + I_{k\text{м}3} \cdot r_{\text{нас}}),$$

где $r_{\text{нас}} = (0,1 \dots 1)$ - внутреннее сопротивление транзистора в режиме насыщения, Ом.

Принимаем $r_{\text{нас}} = 0,3 \text{ Ом}$.

$$E_n = 1,01 \cdot (16,97 + 2,12 \cdot 0,3) = 17,78 \text{ В}$$

Так как величину источника питания следует выбирать из ряда

(5, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 27, 36, 48) В,

то принимаем $E_n = 18 \text{ В}$.

Ориентировочная мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора

$$P_{k3} = (0,4 \dots 0,9) P_n.$$

$$P_{k3} = 0,4 \cdot 18 = 7,2 \text{ Вт}.$$

Используя полученные значения P_{k3} , $I_{k\text{м}3}$, E_n , подбираем транзисторы **VT3 – КТ817А** и **VT4 – КТ816А**, отдавая предпочтение приборам с малым обратным током I_{k0} .

Отбор выполняется в два этапа.

На первом этапе проверяют, удовлетворяют ли предельно – допустимые параметры транзисторов следующей системе неравенств:

$$P_{k\text{дон}25} > (1,2 \dots 1,4) P_{k3};$$

$$U_{k\text{э} \text{дон}} > 2,2 E_n;$$

$$I_{k\text{дон}} > 1,15 I_{k\text{м}3}.$$

$$P_{k\text{дон}25} = 25 \text{ Вт} > 1,3 \cdot 10,8 = 14,04 \text{ Вт};$$

$$U_{k\text{э} \text{дон}} = 45 \text{ В} > 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ В};$$

$$I_{\kappa_{\text{дон}}} = 3 \text{ A} > 1,15 \cdot 2,12 = 2,44 \text{ A}_{\square}$$

Переходим ко второму этапу, на котором проверяют, могут ли транзисторы VT3 и VT4 при наибольшей температуре своих корпусов (коллекторов) $t_{\kappa_{\text{max}}}$ рассеивать мощность, не меньшую $1,1 P_{\kappa 3}$.

Для этого рассчитывают

$$P'_{\kappa_{\text{дон}}} = P_{\kappa_{\text{дон}25}} \left[1 - 0,01 (t_{\kappa_{\text{max}}} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}) \right]_{\square},$$

где $t_{\kappa_{\text{max}}} = t_{\theta} + (15 \dots 30) = 40 + 20 = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - максимальная температура коллекторного перехода, $^{\circ}\text{C}$, t_{θ} - верхнее значение диапазона рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$.

$$P'_{\kappa_{\text{дон}}} = 14,04 \cdot [1 - 0,01 (60 - 25)] = 9,126 \text{ Вт}_{\square},$$

Транзисторы подходят, так как

$$P'_{\kappa_{\text{дон}}} > 1,1 P_{\kappa 3}$$

$$9,126 \text{ Вт} > 1,1 \cdot 7,2 = 7,92 \text{ Вт}$$

$$9,126 \text{ Вт} > 7,92 \text{ Вт}$$

Выписываем основные предельно – допустимые параметры:

$P_{\kappa_{\text{дон}25}} = 25 \text{ Вт}$ - максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность на коллекторе при $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$U_{\kappa_{\text{дон}}} = 40 \text{ В}$ - максимально допустимое постоянное напряжение между коллектором и эмиттером;

$I_{\kappa_{\text{дон}}} = 3 \text{ А}$ - максимально допустимый постоянный ток коллектора;

$h_{21 \ominus_{\text{min}}} = 25$ – максимальный коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером;

$T_{\text{П}_{\text{дон}}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - максимально допустимая температура перехода;

$R_{\text{тн}-\kappa} = 0,7 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$ - тепловое сопротивление подложка – корпус;

$I_{\kappa 0_{25^{\circ}\text{C}}} = 100 \text{ мкА}$ – обратный ток коллектора при $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Выбор режима работы по постоянному току и построение линии нагрузки

Рассчитываем величину обратного тока коллектора при максимальной температуре

$$I_{\kappa 0_{max}} = I_{\kappa 0_{25^{\circ}C}} \cdot e^{(0,07 \dots 0,13)(t_{\kappa_{max}} - 25)}$$

$$I_{\kappa 0_{max}} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0,08 \cdot (60 - 25)} = 0,0016 A$$

Задаемся током покоя коллектора транзисторов VT3(VY4) из соотношения

$$I_{ок3} \leq (0,03 \dots 0,1) I_{км3}$$

$$0,0016 A \leq 0,07 \cdot 2,12 = 0,15 A$$

Условие выполняется, следовательно, транзистор подобран правильно.

Строим нагрузочные прямые по переменному току с координатами:

$$A(I_{ок3}, E_n); B(I_{ок3} + I_{км3}, E_n - U_{км3})$$

$$A(0,15; 18); B(0,15 + 2,12, 18 - 16,97)$$

$$A(0,15; 18); B(2,27; 1,03)$$

В результате построения нагрузочной прямой находят ток покоя базы $I_{об3}$, максимальный ток базы $I_{б3_{max}}$ и вычисляют амплитудное значение тока базы

$$I_{бм3} = I_{б3_{max}} - I_{об3}$$

$$I_{бм3} = 0,1 - 0,005 = 0,095 A$$

Перенеся соответствующие значения токов $I_{об3}$ и $I_{б3_{max}}$ на входную характеристику, находят для транзисторов VT3 (VT4) напряжение покоя базы $U_{об3}$, максимальное значение напряжения на базоэмиттерном переходе $U_{б3_{max}}$ и вычисляют амплитудное значение напряжения на базоэмиттерном переходе

$$U_{бм3} = U_{б3_{max}} - U_{об3}$$

$$U_{бм3} = 0,88 - 0,64 = 0,24 B$$

После этого рассчитывают :

- входное сопротивление базоэмиттерного перехода транзистора VT3 (VT4):

$$R_{ex_{\bar{b}3}} = \frac{U_{\bar{b}3}}{I_{\bar{b}3}}$$

$$R_{ex_{\bar{b}3}} = \frac{0,24}{0,095} = 2,53 \text{ Ом}$$

- номиналы резисторов R3 и R4

$$R3 = R4 = (2 \dots 5) R_{ex_{\bar{b}3}}$$

$$R3 = R4 = 2 \cdot 2,53 = 5,06 \approx 5,6 \text{ Ом} \square$$

Выбор предвыходных транзисторов и режимов работы их по постоянному току. Построение линии нагрузки

Ток покоя эмиттера транзисторов VT1 (VT2):

$$I_{o\bar{a}1} = I_{o\bar{b}3} + \frac{U_{o\bar{b}3}}{R3}$$

$$I_{o\bar{a}1} = 0,005 + \frac{0,64}{5,6} = 0,12 \text{ А}$$

Амплитудное значение тока эмиттера транзисторов VT1 (VT2):

$$I_{\bar{a}m1} = \frac{U_{\bar{b}3} (R3 + R_{ex_{\bar{b}3}})}{R3 \cdot R_{ex_{\bar{b}3}}}$$

$$I_{\bar{a}m1} = \frac{0,24 \cdot (5,6 + 2,53)}{5,6 \cdot 2,53} = 0,14 \text{ А}$$

Соответственно амплитудное значение тока коллектора $I_{km1} \approx I_{\bar{a}m1}$, так как коэффициент передачи тока эмиттера близок к единице.

Аналогично выбору выходных транзисторов VT3 (VT4) выбирают транзисторы VT1 и VT2.

Транзисторы подходят, если выполняются неравенства:

$$I_{\kappa_{\text{дон}}} > I_{\kappa_{1\text{max}}} = I_{km1} + I_{o\kappa 1} \approx I_{\bar{a}m1} + I_{o\bar{a}1}$$

$$U_{\kappa_{\text{дон}}} > 2,1 E_n;$$

$$P_{\kappa_{дон}} > \frac{P_n \cdot I_{\delta m 3}}{I_{\kappa m 3}}$$

$$1,5 A > 0,14 + 0,12 = 0,26 A$$

$$40 B > 2,1 \cdot 18 = 37,8 B_{\square};$$

$$10 Bm > \frac{18 \cdot 0,095}{2,12} = 8,1 Bm$$

Выбираем транзисторы **КТ814Б, КТ815 Б.**

Для построения линии нагрузки по постоянному току транзисторов VT1(VT2) выбирают следующие координаты точек :

$$A'(I_{ок1}, E_n - U_{об3}); A''(I_{ок1} + I_{\kappa m 1}, E_n - U_{об3} - U_{\kappa m 1})$$

$$A'(0,15; 18 - 0,64); A''(0,15 + 0,112; 18 - 0,64 - 17,21)$$

$$A'(0,15; 17,36); A''(0,262; 0,15)$$

$$\text{где } U_{\kappa m 1} = U_{\kappa m 3} + U_{\delta m 3} = 16,97 + 0,24 = 17,21 B$$

В результате построения нагрузочной прямой находят ток покоя базы $I_{об1}$, максимальный ток базы $I_{\delta 1_{max}}$ и вычисляют амплитудное значение тока базы

$$I_{\delta m 1_{\square}} = I_{\delta 1_{max}} - I_{об1}$$

$$I_{\delta m 1} = 0,83 - 0,28 = 0,55 \text{ mA}$$

Перенеся соответствующие значения токов $I_{об1}$ и $I_{\delta 1_{max}}$ на входную характеристику, находят для транзисторов VT1(VT2) напряжения покоя базы $U_{об1}$, максимальной значение напряжения на базоэмиттерном переходе $U_{\delta 1_{max}}$ и вычисляют амплитудное значение напряжения на базоэмиттерном переходе

$$U_{\delta m 1_{\square}} = U_{\delta 1_{max}} - U_{об1}$$

$$U_{\delta m 1} = 0,57 - 0,4 = 0,17 B$$

Определение основных параметров выходного каскада

Входное сопротивление базоэмиттерного перехода транзистора VT1(VT2)

$$R_{ex_{\sigma 1}} = \frac{U_{\sigma m 1}}{I_{\sigma m 1}}$$
$$R_{ex_{\sigma 1}} = \frac{0,17}{0,55 \cdot 10^{-3}} = 309 \text{ Ом}$$

Входное сопротивление верхнего и нижнего плеча выходного каскада в силу комплементарности транзисторов можно считать одинаковыми, поэтому входное сопротивление выходного каскада

$$R_{ex_{13}} \approx R_{ex_{24}} \approx R_{ex_{\sigma 1}} + \frac{(R_3 + R_{ex_{\sigma 3}})}{R_3 \cdot R_{ex_{\sigma 3}}} \cdot \frac{I_{km1}}{I_{\sigma m 1}} + R_n \cdot \frac{I_{km3}}{I_{\sigma m 1}}$$
$$R_{ex_{13}} \approx R_{ex_{24}} \approx 309 + \frac{(5,6 + 2,53)}{5,6 \cdot 2,53} \cdot \frac{0,112}{0,55 \cdot 10^{-3}} + 8 \cdot \frac{2,12}{0,55 \cdot 10^{-3}} = 31,2 \text{ кОм}$$

Амплитудное значение входного напряжения:

$$U_{ex_m}^{BK} = U_{\sigma m 1} + U_{\sigma m 3} + U_{km 3}$$
$$U_{ex_m}^{BK} = 0,17 + 0,095 + 16,97 = 17,24 \text{ В}$$

Требуемое падение напряжения $U_{od1,2}$ на диодах VD1, VD2

$$U_{od1,2} = 2U_{\sigma b 1} + U_{\sigma b 3}$$
$$U_{od1,2} = 2 \cdot 0,39 + 0,64 = 1,42 \text{ В}$$

Так как величина напряжения $U_{od1,2}$ получается в пределах (0,8...1,6) В, то необходимо включить последовательно **2 диода КД509А**.

Диод **КД509А** имеет следующие параметры:

- постоянное обратное напряжение 50 В;
- постоянный обратный ток 5 мкА;
- постоянный прямой ток 100 мА.

Строим вольтамперную характеристику 2-х последовательно включенных диодов и по ней определяем необходимый ток I_{od} через диоды:

$$I_{od} = 12 \text{ мА}$$

Должны выполняются следующие условия:

$$I_{od} \geq (0,5 \dots 1) mA$$

$$I_{od} \geq (2 \dots 3) I_{об1}$$

$$12 mA \geq 3 \cdot 0,28 = 0,84 mA$$

Условие выполняется.

Сопротивление R1,R2 делителя напряжения:

$$R_1 = R_2 = \frac{2 E_n - U_{od}}{I_{od}}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{2 \cdot 18 - 1,42}{0,84 \cdot 10^{-3}} = 41,2 \text{ кОм}$$

Входные сопротивления верхнего и нижнего плеч каскада с учетом шунтирующего действия резисторов R1 и R2:

$$R_{ex}^{BK} = \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \vee i R_{ex13}$$

$$R_{ex}^{BK} = \left(\frac{41,2 \cdot 41,2}{41,2 + 41,2} \right) \vee i 31,2 \cdot 10^3 = 0,21 \text{ кОм}$$

Среднее значение амплитуды входного тока выходного каскада:

$$K_u^{BK} = \frac{U_{km3}}{U_{ex_m}^{BK}}$$

$$K_u^{BK} = \frac{16,97}{17,24} = 0,95$$

Среднее значение амплитуды входного тока выходного каскада

$$I_{ex_m}^{BK} = \frac{U_{ex_m}^{BK}}{R_{ex}^{BK}}$$

$$I_{ex_m}^{BK} = \frac{17,24}{0,21 \cdot 10^3} = 82,1 \text{ мА}$$

Мощность сигнала на входе выходного каскада:

$$P_{ex}^{BK} = 0,5 (U_{ex_m}^{BK} \cdot I_{ex_m}^{BK})$$

$$P_{ex}^{BK} = 0,5 (17,24 \cdot 82,1) = 707,7 \text{ Вт}$$

Коэффициент полезного действия всего каскада

$$\eta = \frac{P_n}{2 E_n [I_{ок3} + I_{од} + I_{ок1} + \frac{1}{\pi} (I_{км1} + I_{км3})]}$$

$$\eta = \frac{18}{2 \cdot 18 [0,15 + 0,84 + 0,15 + \frac{1}{3,14} (0,112 + 2,12)]} = 0,27$$

Уточненное значение мощности, рассеиваемой одним транзистором VT3 (VT4)

$$P_{k3_{max}} = 0,1 \frac{U_{км3\Box}^2}{R_n} + E_n \cdot I_{ок3}$$

$$P_{k3_{max}} = 0,1 \frac{16,97^2}{8} + 18 \cdot 0,15 = 6,29 \text{ Вт}$$

Тепловое сопротивление корпус – среда:

$$R_{t_{k-c}} = \frac{t_{к_{max}} - t_{с}}{P_{k3_{max}}} - R_{t_{n-c}}$$

$$R_{t_{k-c}} = \frac{60 - 40}{16,2} - 0,7 = 0,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$$

где $R_{t_{n-c}}$ - тепловое сопротивление подложка – корпус.

Площадь радиатора

$$S = \frac{1}{K_T \cdot R_{t_{k-c}}} \text{ см}^2$$

$$S = \frac{1}{0,014 \cdot 0,5} = 142,86 \text{ см}^2$$

где $K_T = (0,0012 \dots 0,014)$, $\text{Вт см}^{-2} \text{град}^{-1}$ - коэффициент теплоотдачи.

Расчет элементов связи

Целью данного расчета является определение величин ёмкостей разделительных конденсаторов С1 и С2.

На практике фазовый сдвиг φ_2 , вносимый конденсатором С2, трудно сделать малым из – за небольшой величины сопротивления нагрузки R_n . Для минимизации величины ёмкости конденсатора С2 принимают:

$$\varphi_1 = (0,2 \dots 0,3) \varphi_{дон}$$

$$\varphi_1 = 0,3 \cdot 15 = 4,5 \text{ град}$$

$$\varphi_2 = (0,7 \dots 0,8) \varphi_{дон}$$

$$\varphi_2 = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ град}$$

Ёмкости разделительных конденсаторов рассчитывают по формулам:

$$C1 = \frac{1}{2\pi f_n (R_{\text{вх}}^{BK} + R_2) \operatorname{tg} \varphi_1}$$

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 (0,21 \cdot 10^3 + 8) \cdot 0,079} = 15 \text{ мкФ}$$

$$C2 = \frac{1}{2\pi f_n R_n \operatorname{tg} \varphi_2}$$

$$C2 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 8 \cdot 0,21} = 1560 \text{ мкФ}$$

Заключение

В данной курсовой работе был спроектирован усилитель низкой частоты, который отвечает всем параметрам, заданным в техническом условии. Коэффициент полезного действия спроектированного усилителя низкой частоты превышает заданное нам по условию значение, что гарантирует эффективную работоспособность устройства.

В результате работы рассчитан графо – аналитическим методом выходной каскад усилителя.

Рассчитаны элементы связи в качестве которых использовались разделительные конденсаторы.

Определили электрические параметры выходного каскада по переменному току:

- входное сопротивление $R_{ex}^{BK} = 0,21 \text{ кОм}$;
- коэффициент усиления по напряжению $K_u^{BK} = 0,95$;
- амплитуды входного тока $I_{ex_m}^{BK} = 82,1 \text{ мА}$ и напряжения $U_{ex_m}^{BK} = 17,24 \text{ В}$.