

зистором от источника питания и приблизительно определяемого по формуле $I_{к.ср} = I_{км}/\pi$. Потребляемая каскадом номинальная мощность $P_0 = 2E_0 I_{к.ср}$; коэффициент полезного действия каскада $\eta = P/P_0$.

Для расчета входной цепи усилителя необходимо располагать входными характеристиками транзисторов T_2 и T_3 . Исходный и максимальный токи базы определяют как $I_{бА} = I_{кА}/\beta_{\min}$, $I_{бт} = I_{км}/\beta_{\min}$. Исходное и максимальное значения напряжения базы $U_{бА}$ и $U_{бт}$ находят по входной характеристике при средней величине U_k . Затем определяют величину $U_{вхт} = U_{бт} + U_{выхт}$, подсчитывают входную мощность $P_{вх} = \frac{1}{2} U_{вхт} I_{бт}$ и коэффициент усиления по мощности $K_p = P_{вых}/P_{вх}$.

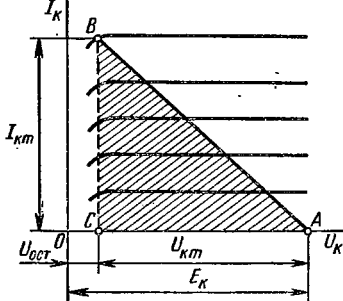


Рис. 5.13

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

5.1. Рассчитать однотактный транзисторный усилитель мощности, изображенный на рис. 5.1, если заданы величина сопротивления нагрузки $R_n = 5$ Ом и мощность в нагрузке $P_n = 2$ Вт. Напряжение источников питания $E_k = -15$ В и $E_3 = +15$ В.

Решение

1. Определим мощность, которую должен отдавать транзистор, выбрав КПД выходного трансформатора $\eta = 0,8$:

$$P_{\text{вых}} = P_n / \eta = 2 / 0,8 = 2,5 \text{ Вт.}$$

2. Примем, что падение напряжения на сопротивлении первичной обмотки выходного трансформатора $\Delta E_k = 0,1 E_k = 1,5$ В и что напряжение $U_{к\min} = 0,5$ В (см. рис. 5.2). Определим величину амплитуды переменной составляющей напряжения на коллекторе:

$$U_{кт} = E_k - \Delta E_k - U_{к\min} = 15 - 1,5 - 0,5 = 13 \text{ В.}$$

3. Максимальное напряжение на коллекторе транзистора $U_{к\max} \approx 26$ В примерно в два раза больше величины $U_{кт}$.

4. По величинам $P_{\text{вых}}$ и $U_{к\max}$ выбираем подходящий транзистор, например транзистор П202Э, имеющий максимальную

мощность рассеяния с внешним радиатором $P_{к.доп} = 10$ Вт, допустимое напряжение коллектор – эмиттер $U_{кЭ.доп} = 30$ В, $\beta_{\min} = 20$.

5. Амплитуду переменной составляющей коллекторного тока определим из формулы (5.2):

$$I_{км} = \frac{2P_{\text{выхmax}}}{U_{км}} = \frac{2P_{\text{вых}}}{U_{км}} = \frac{2 \cdot 2,5}{13} = 0,384 \text{ А} = 384 \text{ мА.}$$

6. Сопротивление нагрузки коллекторной цепи переменному току

$$R'_н = \frac{U_{км}}{I_{км}} = \frac{13}{0,384} = 34 \text{ Ом,}$$

отсюда коэффициент трансформации выходного трансформатора

$$n = \sqrt{\frac{R'_н}{\eta R'_н}} = \sqrt{\frac{5}{0,8 \cdot 34}} = 0,43.$$

7. Координаты точки покоя (точка O на рис. 5.2) находим из соотношений

$$I_{к0} = I_{км} + I_{к\min} \approx I_{км} = 384 \text{ мА,}$$

$$U_{к0} = U_{км} + U_{к\min} = 13 + 0,5 = 13,5 \text{ В,}$$

отсюда КПД каскада

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{I_{к0} U_{к0}} = \frac{2,5}{0,384 \cdot 13,5} = 0,483.$$

8. Ток смещения в эмиттерной цепи $I_{э0}$ определим через коэффициент α :

$$\alpha_{\min} = \frac{\beta_{\min}}{\beta_{\min} + 1} = \frac{20}{20 + 1} = 0,954, \text{ тогда } I_{э0} = \frac{I_{к0}}{\alpha_{\min}} = \frac{483}{0,954} = 507 \text{ мА.}$$

По входной характеристике находим $U_{э0} = 0,6$ В. Тогда, приняв $\Delta E_э = 0,1 E_э$, получим

$$R_э = \frac{E_э - \Delta E_э - U_{э0}}{I_{э0}} = \frac{15 - 0,6 - 1,5}{0,507} = 25 \text{ Ом.}$$

9. Определим среднее за период входное сопротивление усилителя и необходимую входную мощность [см. формулы (5.9) и (5.10)]:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U'_{эм} + U''_{эм}}{I'_{эм} + I''_{эм}} = \frac{0,6 + 0,34}{507 + 507} \approx 0,001 \text{ кОм} = 1 \text{ Ом,}$$

$$P_{\text{вх}} = \frac{(U'_{эм} + U''_{эм})(I'_{эм} + I''_{эм})}{8} = \frac{(0,6 + 0,34)(0,507 + 0,507)}{8} = 0,125 \text{ Вт.}$$

10. Коэффициент усиления по мощности каскада

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{2,5}{0,125} = 20.$$

5.2. Рассчитать двухтактный бестрансформаторный усилитель мощности, изображенный на рис. 5.12, если заданы мощность в нагрузке $P_H = 2$ Вт и сопротивление нагрузки $R_H = 10$ Ом. Усилитель работает от источника сигнала с параметрами $E_T = 600$ мВ и $R_T = 10$ Ом.

Решение

1. Определим с небольшим запасом мощность, которую должны выделять транзисторы обоих плеч каскада:

$$P \geq 1,1P_H = 2,2 \text{ Вт.}$$

2. Требуемое максимальное значение коллекторного тока

$$I_{km} = \sqrt{\frac{2P}{R_H}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,2}{10}} = 0,66 \text{ А.}$$

3. Минимальное напряжение в цепи коллектор — эмиттер определим по выходным характеристикам транзисторов. Остаточное напряжение $U_{\text{ост}}$ должно отсекают нелинейную часть характеристик. Примем $U_{\text{ост}} \approx 1$ В.

4. Требуемую амплитуду напряжения на нагрузке $U_{\text{ВЫХ}}$ найдем из формулы

$$U_{km} = \frac{2P}{I_{km}} = \frac{2 \cdot 2,2}{0,66} = 6,6 \text{ В.}$$

5. Необходимое напряжение источника питания $E_K \geq U_{\text{ост}} + U_{km} = 6,6 + 1 = 7,6$ В. Возьмем с запасом $E_K = 8$ В.

6. Выбираем мощные транзисторы T_1 и T_3 по значению отдаваемой мощности P и максимальному напряжению на коллекторе. Подходящими транзисторами с противоположным типом проводимости (так называемой комплементарной парой) являются транзисторы типа КТ814А и КТ815А. Примем, что среднее значение коэффициентов усиления по току $\beta = 25$. Тогда $I_{\text{бт}} = I_{km}/\beta = 0,6/25 = 0,015$ А = 15 мА.

7. Рассчитаем цепь базового делителя $R_1 - R_4$. Потенциал базы транзистора T_2 в состоянии покоя выберем, исходя из необходимого начального тока через транзисторы T_2 и T_3 и вида входных характеристик. Пусть $I_{\text{к.нач}} = 10$ мА, тогда $I_{\text{б.нач}} = 0,4$ мА. Из входных характеристик находим $U_{\text{бэ.нач}} = 0,45$ В. Примем ток делителя I_d равным 0,8 мА, тогда

$$R_1 = R_4 = \frac{E_k - U_{бэ.нач}}{I_d + I_{б.нач}} = \frac{8 - 0,45}{0,8 + 0,4} = 6,3 \text{ кОм},$$

$$R_2 = R_3 = \frac{U_{бэ.нач}}{I_d} = \frac{0,45}{0,8} = 0,56 \text{ кОм}.$$

8. Рассчитаем каскад предварительного усиления на транзисторе T_1 . Коэффициент усиления каскада на T_1 определяется выражением

$$K_{U1} = \frac{\beta_1 R_{к1} \parallel R_{вх2}}{R_r + R_{вх1}} \approx \frac{R_{к1} \parallel (\beta_2 R_n + R_2)}{R_r / \beta_1 + r_{э1} + R_{э1}},$$

где $R_{вх1} = r_{б1} + (r_{э1} + R_{э1})(1 + \beta_1)$, $R_{вх2} \approx \beta_2 R_n + R_2$ при условии достаточно высокоомных резисторов R_1 и R_4 , $\beta_2 = 25$ — коэффициент передачи тока базы транзисторов T_2 и T_3 . С другой стороны, каскад на транзисторе T_1 должен обеспечить следующее усиление: $K_{U1} = u_{км} / E_r = 6,6 / 0,6 = 11$. Такое усиление можно получить, задавшись током покоя транзистора T_1 , равным 5 мА. Выбрав $R_{к1} = 2$ кОм, обеспечим режимное значение $U_{кэ1} = 5$ В. Из формулы для K_{U1} при $r_{э1} = 5$ Ом и $\beta_1 = 50$ находим сопротивление эмиттерного резистора $R_{э1}$, регулирующего усиление каскада на T_1 . Сопротивление $R_{э1} = 47$ Ом обеспечивает необходимый коэффициент усиления каскада предварительного усиления на T_1 .

9. Амплитуда входного тока транзистора T_1

$$I_{вхм} = \frac{U_{вхм}}{R_r + R_{вх1}} \approx \frac{E_r}{\beta_1 (r_{э1} + R_{э1})} = \frac{0,6}{50(5 + 47)} \approx \approx 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,23 \text{ мА}.$$

10. Коэффициент усиления по мощности для рассчитываемого усилителя

$$K_P = \frac{P_n}{P_{вх}} = \frac{2P_n}{U_{вхм} I_{вхм}} = \frac{2 \cdot 2,2}{0,6 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4}} = 3,2 \cdot 10^4.$$

5.3. Определить максимальный коэффициент полезного действия однотактного трансформаторного усилителя мощности в режиме А, если задано, что $E_k = 10$ В, $U_{кэ\min} = 1,5$ В, $P_n = 0,5$ Вт, сопротивление первичной обмотки выходного трансформатора $r_1 = 10$ Ом. Принять коэффициент полезного действия выходного трансформатора равным 0,9.

Ответ: 35%.

5.4. Определить максимально возможную мощность на выходе двухтактного усилителя мощности, работающего в режиме В. В усилителе использованы транзисторы с предельно до-

пустимой мощностью $P_{к. доп} = 2$ Вт. Максимальное значение коэффициента использования напряжения источника питания ξ принять равным 0,9.

Ответ: 9,6 Вт.

5.5. Определить минимальную предельно допустимую мощность транзистора при работе двухтактного усилителя мощности в режиме В, если максимальная мощность на выходе усилителя $P_{max} = 3$ Вт. Принять максимальное значение коэффициента использования напряжения источника питания $\xi = 0,85$.

Ответ: 0,75 Вт.

5.6. Определить минимальную предельно допустимую мощность транзистора, работающего в однотактном усилителе (режим А), если задано, что $E_k = 10$ В и сопротивление нагрузки коллекторной цепи $R_n = 100$ Ом. Активным сопротивлением обмоток трансформатора пренебречь. Принять, что $\xi = 0,95$.

Ответ: 0,95 Вт.

5.7. Определить максимальный коэффициент полезного действия двухтактного усилителя мощности в режиме В, если заданы значения нагрузки в коллекторной цепи $R_n = 1$ кОм, мощность $P_n = 5$ Вт, выделяемая в нагрузке, и напряжение источника питания $E_k = 25$ В.

Ответ: 63 %.

5.8. Определить необходимый коэффициент трансформации выходного трансформатора для однотактного усилителя мощности, работающего в режиме А, если заданы величины $R_n = 5$ Ом, $P_n = 10$ Вт, $E_k = 20$ В и $\xi = 0,85$. Коэффициент полезного действия трансформатора считать равным единице.

Ответ: 0,59.

ГЛАВА 6

УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Усилители постоянного тока (УПТ) предназначены для усиления сигналов, медленно меняющихся во времени, спектр которых содержит гармонические составляющие с частотой вплоть до $\omega = 0$. Верхний частотный диапазон УПТ определяется свойствами используемых активных элементов.

По способу усиления сигнала различают: 1) УПТ с гальванической связью между каскадами, 2) УПТ с промежуточным преобразованием, в которых усиливаемый медленно меняющийся сигнал преобразуется в переменный сигнал большей частоты, усиливается усилителем переменного тока и затем детектируется на выходе усилителя. Расчет данного типа