

отличающийся от номинального, причем токи второго плеча имеют обратное направление. Здесь b — коэффициент асимметрии плеч. Тогда

$$I_{km} = (1 + b) I'_{km}, \quad I_1 = (1 + b) I'_1, \quad I_{0к} = (1 + b) I_{k\min} - (1 - b) I'_{k\min}, \\ I_2 = -(1 - b) I'_1, \quad I_{k\min} = -(1 - b) I'_{km}.$$

Далее определяют амплитуды гармоник тока коллектора:

$$I_{k1} = \frac{2}{3} (I'_{km} + I'_1), \quad I_{k2} = \frac{b}{2} (I'_{km} - 2I_{k\min}), \\ I_{k3} = \frac{1}{3} (I'_{km} - 2I'_1), \quad I_{k4} = \frac{b}{6} (I'_{km} - 4I'_1 + 6I'_{k\min}).$$

Коэффициент гармоник рассчитывают по формуле (5.11), как и в случае однотактного усилителя с режимом А. Для получения наименьшего значения K_r при максимальной расчетной величине I'_{km} смещение целесообразно брать таким, чтобы получить $I'_1 = 0,5I'_{km}$. При этом амплитуда третьей гармоники I_{k3} равна нулю.

§ 5.3. БЕСТРАНСФОРМАТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

В настоящее время большое распространение получили бестрансформаторные усилители мощности. Преимуществами таких усилителей являются их небольшие габариты, возможность использования разработанных ИМС, малые частотные искажения. Простейшим бестрансформаторным усилителем мощности, работающим в режиме А, может служить эмиттерный повторитель с дополнительным источником питания (рис. 5.9). Максимальный размах напряжения на нагрузке в случае симметричного питания $|E_n| = |-E_n|$ ограничивается амплитудой отрицательной полуволны и определяется по формуле

$$U_{nm} = |-E_n| \frac{R_n}{R_n + R_3} = \frac{E_n R_n}{R_n + R_3}, \quad (5.19)$$

при этом мощность в нагрузке

$$P_n = \frac{1}{2} \frac{U_{nm}^2}{R_n} = \frac{E_n^2 R_n}{2(R_n + R_3)^2}. \quad (5.20)$$

Максимальное значение мощности будет достигаться при выполнении условия $R_n = R_3$:

$$P_{n\max} = E_n^2 / (8R_3). \quad (5.21)$$

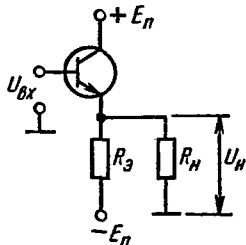


Рис. 5.9

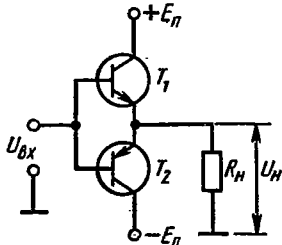


Рис. 5.10

Мощность, потребляемая от источника питания,

$$P_0 = 2E_{п}^2/R_{э}, \quad (5.22)$$

тогда коэффициент полезного действия

$$\eta = P_{н\max}/P_0 = 1/16 \approx 6,25 \%. \quad (5.23)$$

Мощность

$$P_T = P_0 - P_n - P_{Rэ}, \quad (5.24)$$

рассеиваемая на транзисторе, максимальна в режиме покоя ($P_n = 0$):

$$P_T = E_{п}^2/R_{э} = 8P_{н\max}. \quad (5.25)$$

Рассмотренная схема обладает двумя особенностями, характерными для режима А. Во-первых, ток через транзистор никогда не равен нулю, во-вторых, мощность, потребляемая от источника питания, постоянна.

В эмиттерном повторителе с дополнительным источником питания мощность в нагрузке ограничена конечным значением тока, протекающего через резистор $R_э$. Существенно большей мощности в нагрузке и более высокого коэффициента полезного действия можно достигнуть в двухтактном усилителе мощности. Схема двухтактного эмиттерного повторителя на транзисторах противоположного типа проводимости, образующих так называемую комплементарную пару, приведена на рис. 5.10. При положительных входных сигналах транзистор T_1 работает как эмиттерный повторитель, а транзистор T_2 закрыт. При отрицательных входных напряжениях ситуация меняется на противоположную. Таким образом, транзисторы работают попеременно, каждый в течение одного полупериода входного напряжения. При $U_{вх} = 0$ оба транзистора заперты. Следовательно, схема имеет малый ток покоя, что характерно для режима В.

Максимальный размах напряжений на нагрузке при симметричном питании $|+E_n| = |-E_n|$ достигает значения

$$U_{нм} = E_n \quad (5.26)$$

если учесть, что напряжение между коллектором и эмиттером транзистора, работающего на границе режима насыщения, близко к нулю. При полном размахе напряжения на нагрузке мощность в нагрузке

$$P_{н\max} = E_n^2 / (2R_n). \quad (5.27)$$

Мощность, потребляемая от источников питания обоими транзисторами,

$$P_0 = 2E_n I_{нм} / \pi, \quad (5.28)$$

где $I_{нм} = U_{нм} / R_n$ — максимальная амплитуда тока в нагрузке. Коэффициент полезного действия

$$\eta = P_{н\max} / P_0 = \pi/4 = 78,5\%. \quad (5.29)$$

Максимальная мощность рассеивается на транзисторе не при полной амплитуде напряжения на нагрузке, а при

$$U_n = \frac{2}{\pi} E_n; \quad (5.30)$$

в этом случае на каждом транзисторе рассеивается мощность

$$P_{т\max} = \frac{1}{\pi^2} \frac{E_n^2}{R_n}. \quad (5.31)$$

Для уменьшения нелинейных искажений, возникающих из-за большой кривизны начального участка входных характеристик, двухтактный эмиттерный повторитель часто используется в режиме АВ. Для этого через транзисторы T_1 и T_2 задается ток покоя, составляющий незначительную часть максимального тока в нагрузке:

$$I_0 = (0,05 \div 0,15) I_{нм}. \quad (5.32)$$

На рис. 5.11 приведена схема двухтактного каскада, работающего в режиме АВ. Для обеспечения малого значения тока покоя следует приложить постоянное напряжение порядка 1,4 В между базами транзисторов T_1 и T_2 . Если напряжения U_1 и U_2 равны между собой, то выходной потенциал покоя равен входному потенциалу покоя. Дополнительные резисторы R_1 и R_2 , создающие отрицательную обратную связь по току, обеспечивают стабилизацию тока покоя в широком диапазоне рабочих температур. Вместе с тем резисторы R_1 и R_2 включены последовательно с R_n , и поэтому они снижают мощность, отдаваемую в нагрузку.

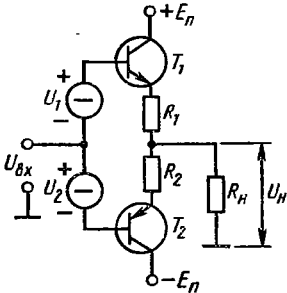


Рис. 5.11

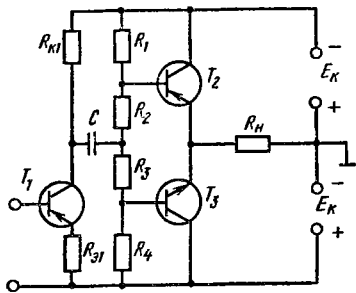


Рис. 5.12

Для нормальной работы двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности необходимо включение предоконечного каскада. На рис. 5.12 приведена схема усилителя мощности, в которой в качестве предоконечного каскада используется каскад на транзисторе T_1 . При расчете такого усилителя мощности обычно заданы мощность P_n и сопротивление нагрузки R_n . Мощность, которую должны выделить транзисторы обоих плеч усилителя, можно определить с некоторым запасом:

$$P \geq 1,1P_n.$$

Переменные составляющие коллекторного тока и напряжения равны соответственно

$$I_{км} = \sqrt{2P/R_n}, \quad U_{км} = 2P/I_{км}.$$

Минимальное напряжение в цепи коллектор — эмиттер транзисторов T_2 и T_3 находят из выходных характеристик транзисторов. Напряжение $U_{ост}$ должно отсекал нелинейную часть выходных характеристик в области малых коллекторных напряжений (рис. 5.13). Выделяемую окончательным каскадом мощность $P = U_{км}I_{км}/2$ определяют графически как площадь треугольника ABC . Напряжение источника питания на основании рис. 5.13 удовлетворяет неравенству

$$E_k \geq U_{км} + U_{ост} \leq (0,4 \div 0,5) U_{к.доп}.$$

Начальный ток $I_{кА}$ через транзисторы обеспечивают соответствующим выбором величин резисторов R_1 , R_2 , R_3 и R_4 . С одной стороны, для повышения экономичности этот ток должен быть по возможности меньшим. С другой стороны, при малых $I_{кА}$ увеличиваются нелинейные искажения сигнала (искажения типа «ступеньки»). Рост начального тока $I_{кА}$ приводит к увеличению среднего значения тока, потребляемого тран-

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 $K_p = P_{вых}/P_{вх}$.

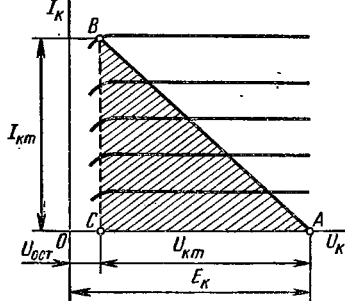


Рис. 5.13

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 $\eta = 0,8$:

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

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:

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

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

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