

Расчёт рассеиваемой мощности выходного каскада транзисторного усилителя мощности

ТЗ

1. Необходимо вывести формулы, по которым можно рассчитать рассеиваемую мощность в транзисторах выходного каскада усилителя мощности класса В.
2. Напряжение на нагрузке считается гармоническим синусоидальным.

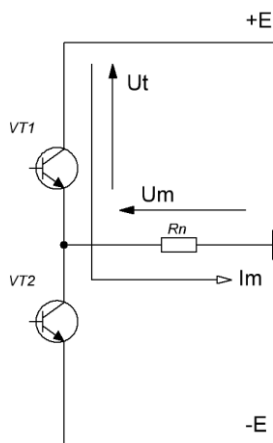


Рисунок 1 Схема выходного каскада транзисторного усилителя

Применяемые обозначения:

E – напряжение питания

Um – амплитуда напряжения на нагрузке

Rn – сопротивление нагрузки

Ut – напряжение между коллектором и эмиттером транзистора

Pt – мощность, рассеиваемая на транзисторе

Вывод формулы

Напряжение на нагрузке для синуса определяется выражением

$$U_n = U_m * \sin \omega t$$

В этом случае ток через нагрузку (по закону Ома)

$$I_n = \frac{U_m * \sin \omega t}{R_n}$$

Согласно закону Кирхгофа, этот же ток протекает в одном из транзисторов, смотря какая полуволна напряжения действует в данный момент времени. Для определённости будем рассматривать положительную полуволну. В это время транзистор VT1 открыт, а VT2 заперт, т.е., ток через него равен нулю, поэтому рассеиваемая на нём мощность также равна нулю.

На первом транзисторе мощность рассеивается в течение половины периода действия синусоидального напряжения, от 0 до π , во время второй половины он заперт, и мощность на нём не выделяется, то есть имеет место остывание. Если необходимо будет рассчитать *среднюю рассеиваемую мощность за период* (т.е., от 0 до 2π) для одного транзистора, то придётся рассеиваемую мощность за полпериода поделить пополам.

Напряжение на транзисторе (как условились, на верхнем)

$$U_t = E - U_n = E - U_m * \sin \omega t$$

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора

$$P_t = U_t * I_n = (E - U_m * \sin \omega t) * \frac{U_m * \sin \omega t}{R_n} = \frac{E * U_m * \sin \omega t}{R_n} - \frac{U^2 m * \sin^2 \omega t}{R_n}$$

Это формула для расчёта мгновенной мощности. Для нахождения средней мощности необходимо найти полную мощность за некоторый период и разделить её на длительность периода.

Длительность периода у нас установлена в пределах от 0 до π , пока открыт верхний транзистор.

Полная мощность – находится как определённый интеграл в течение длительности периода, т.е. в пределах от 0 до π .

Поскольку мы собрались оперировать сразу углом колебания, то правомерно обозначить $\omega t = \varphi$. Теперь можно записать (и сразу слегка преобразовать)

$$P_t = \frac{\int_0^\pi \left(\frac{E * U_m * \sin \varphi}{R_n} - \frac{U^2 m * \sin^2 \varphi}{R_n} \right) * d\varphi}{\pi} = \frac{U_m}{\pi * R_n} * \int_0^\pi (E * \sin \varphi - U_m * \sin^2 \varphi) * d\varphi$$

В числителе выражения – полная мощность за период. В знаменателе – период. Как видим, удобнее всего вести расчёт относительно **U_m** - амплитуды напряжения на нагрузке. Вычисляем интеграл

$$P_t = \frac{U_m}{\pi * R_n} * \int_0^\pi (E * \sin \varphi - U_m * \sin^2 \varphi) * d\varphi = \frac{U_m}{\pi * R_n} * \left[-E * \cos \varphi - U_m * \left(\frac{x}{2} - \frac{1}{4} \sin 2x \right) \right] \Big|_0^\pi$$

Раскрываем пределы интеграла – начало и конец периода

$$P_t = \frac{-U_m}{\pi * R_n} * (E * \cos \pi - E * \cos 0) - \frac{U_m}{\pi * R_n} * U_m * \left(\left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\pi \right) - \left(\frac{0}{2} - \frac{1}{4} \sin 0 \right) \right)$$

$$P_t = \frac{-U_m}{\pi * R_n} * (E * (-1) - E * 1) + \frac{U^2 m}{\pi * R_n} * \left(\left(\frac{\pi}{2} - 0 \right) - (0) \right) = \frac{2U_m * E}{\pi * R_n} - \frac{U^2 m}{\pi * R_n} * \frac{\pi}{2}$$

И окончательно

$$P_t = \frac{2 * E * U_m}{\pi * R_n} - \frac{U^2 m}{2 * R_n}$$

Маленькое обсуждение полученной формулы.

Выражение $\frac{U^2 m}{2 * R_n}$ – это мощность в нагрузке, выраженная через амплитуду напряжения.

Выражение $\frac{2 * E * U_m}{\pi * R_n}$ – это мощность, потребляемая от источника питания.

Соответственно, их разность и является искомой рассеиваемой на транзисторе мощностью.

Как видно из формулы, P_t может иметь экстремальное значение относительно U_m . Для его нахождения необходимо взять первую производную P_t по U_m и приравнять её к нулю.

$$P'_t = \frac{2E}{\pi R_n} - \frac{2U_m}{2R_n} = 0$$

Отсюда

$$\frac{2E}{\pi R_n} = \frac{2U_m}{2R_n}$$

и

$$U_m = \frac{2E}{\pi}$$

Иными словами, максимум рассеиваемой мощности синусоидального сигнала на выходном транзисторе будет не при максимальной амплитуде на нагрузке, а при амплитуде $U_m = \frac{2E}{\pi} = 0,64E$. Мало того, амплитуда максимальной мощности рассеяния не зависит от сопротивления нагрузки. Отсюда, если вы хотите испытать свою систему на возможности максимального рассеивания мощности, не надо включать максимальный сигнал. Надо установить амплитуду в районе $0,64E$, в этом случае можно получить максимальную мощность.

На всякий случай запишем полученную формулу в эксель и посмотрим графики. Примем $E = 10V$, сопротивление нагрузки $R_n = 4 \text{ Ом}$.

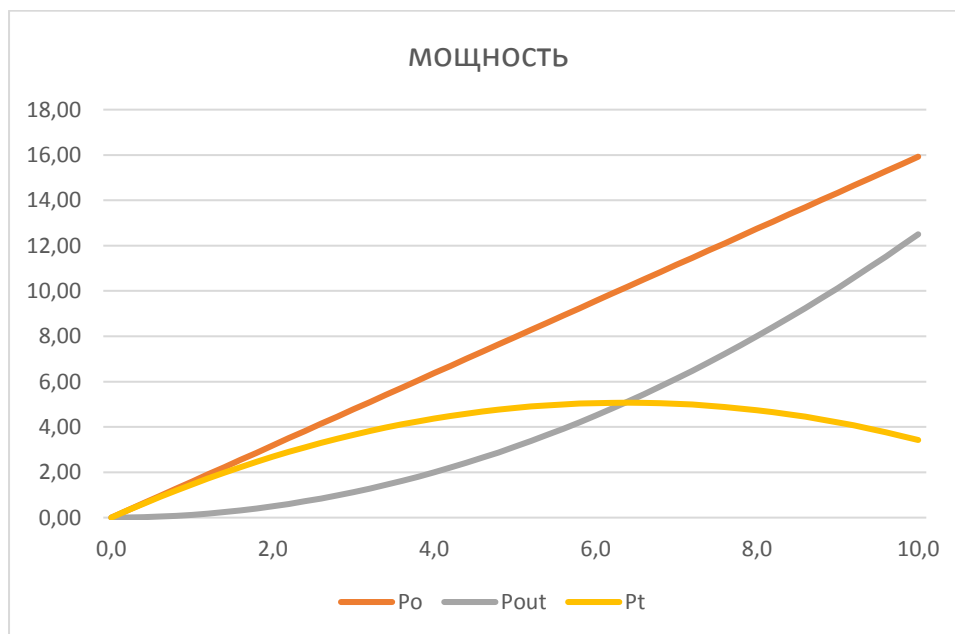


Рисунок 2 Распределение мощности при синусоидальном сигнале.

Как видим, потребляемая мощность P_o увеличивается линейно с увеличением амплитуды.

Выходная мощность имеет квадратичную зависимость, а рассеиваемая P_t – сначала резко возрастает, доходит до некоего максимума, затем начинает снижаться.

Можно ещё рассчитать КПД. Для этого необходимо разделить выходную мощность на потребляемую от источника питания.

$$\text{КПД} = \frac{P_{out}}{P_o} = \frac{U^2 m}{2 * Rn} / \frac{2 * E * Um}{\pi * Rn} = \frac{\pi}{4} * \frac{Um}{E}$$

Как видим, КПД растёт линейно относительно Um, и при Um=E достигает максимального значения $\text{КПД}_{max} = \pi/4 = 78,5\%$

На основании полученных зависимостей можно рассчитать перегрев кристалла транзистора и предварительно оценить возможность применения того или иного типа.

Расчёт вёлся для одного транзистора. Если мы будем использовать транзисторы на отдельных теплоотводах, то полную рассеиваемую мощность необходимо будет разделить пополам, потому как нагрев идёт только половину периода, вторую половину транзистор отдыхает.

Если речь идёт о микросхеме, то рассеиваемую мощность необходимо применять в полном размере, так как корпус будет нагреваться сначала одним транзистором, затем другим, то есть, поочерёдно суммироваться.

И в заключение хотелось бы сказать, что знание средней мощности хотя и необходимо, но не даёт полной картины распределения тепла по конструкции. Это всё равно, что средняя температура по больнице. Более наглядное представление даёт картина распределения мгновенной мощности. Но это как-нибудь в другой раз.