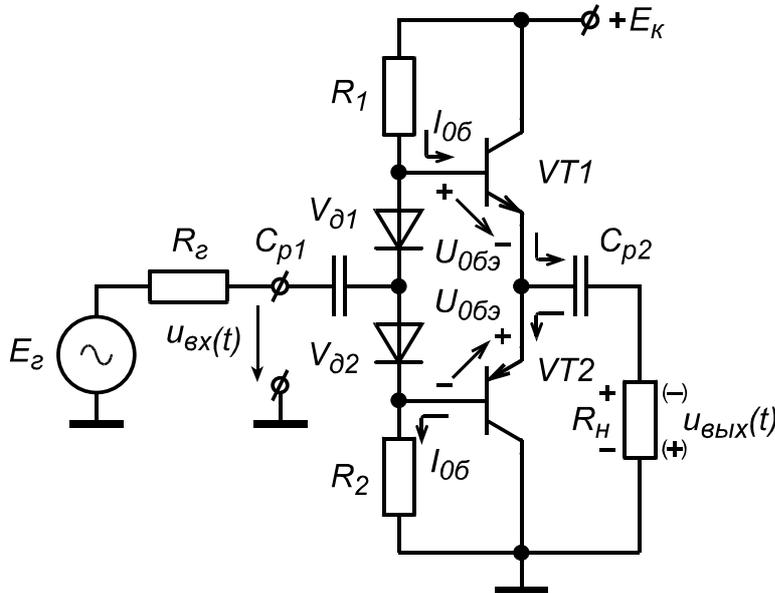


**Расчет двухтактного бестрансформаторного усилителя
мощности на биполярных комплементарных транзисторах
(с дополнительной симметрией)**



Типовая схема двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности на комплементарной паре биполярных транзисторов с однополярным питанием (разделительным конденсатором) имеет вид:

Исходные данные

1. Выходная мощность усилителя $P_{\text{ВЫХ}}$, Вт.
2. Сопротивление нагрузки

$R_{\text{Н}}$, Ом.

3. Граничные частоты усилителя: нижняя $f_{\text{Н}}$ и верхняя $f_{\text{В}}$, Гц.
 4. Коэффициенты частотных искажений на низких $M_{\text{Н}}$ и высоких $M_{\text{В}}$ частотах, Дб.
- Температура окружающей среды t° .

Последовательность расчета

1. Определяются требуемые амплитудные значения выходного и входного напряжений и тока нагрузки:

$$U_{m \text{ Вых}} = \sqrt{2P_{\text{ВЫХ}} \cdot R_{\text{Н}}},$$

$$U_{m \text{ Вх}} \approx 1,1U_{m \text{ Вых}},$$

$$I_{m \text{ Н}} = U_{m \text{ Вых}} / R_{\text{Н}}.$$

2. Выбирается напряжение источника питания:

$$E_{\text{к}} \geq 2(U_{\text{к мин}} + U_{m \text{ Вых}}),$$

где $U_{\text{к мин}} = (1 \div 3)U_{\text{к нас}}$ – минимальное напряжение на транзисторе (чем больше $U_{\text{к мин}}$, тем меньше нелинейные искажения, но меньше и коэффициент полезного действия каскада);

$U_{\text{к нас}}$ – напряжение насыщения транзистора (для кремниевых приборов – ≈ 1 В).

3. Производится выбор транзисторов.

Справочные параметры транзисторов, выбираемых в качестве усилительных элементов каскада, должны удовлетворять условиям:

а) граничная частота транзисторов в схеме ОЭ:

$$f_{\beta} \geq (2 \div 4) f_{\text{в}},$$

где $f_{\text{в}}$ – верхняя граничная частота усилителя;

б) максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора (с учетом заданной максимально возможной температуры окружающей среды):

$$P_{\text{к макс доп}} \geq (0,25 \div 0,3) P_{\text{вых}};$$

с) максимально допустимый коллекторный ток транзистора:

$$I_{\text{к макс доп}} \geq 1,2 I_{\text{тн}};$$

д) максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер:

$$U_{\text{кэ макс доп}} \geq 1,2 E_{\text{к}}.$$

На основании выявленных требований по справочнику подбирается подходящая элементарная пара транзисторов, выписываются их основные параметры и копируются статистические входные и выходные вольт-амперные характеристики.

4. Определяется максимальный ток базы транзистора:

$$I_{\text{макс б}} = I_{\text{макс к}} / \beta_{\text{мин}},$$

где $I_{\text{макс к}} \cong I_{\text{макс э}} = I_{\text{тн}}$ – максимальный ток коллектора,

$\beta_{\text{мин}}$ – минимально возможный коэффициент усиления транзистора в схеме ОЭ.

5. Рассчитываются и выбираются элементы цепи смещения транзисторов:

а) резисторы базового делителя:

– сопротивление резисторов делителя:

$$R_1 = R_2 = \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{пр д}} - U_{\text{т вх}}}{I_{\text{макс б}} + I_{\text{мин д}}},$$

где $U_{\text{пр д}}$ – типовое значение прямого напряжения на диоде (для кремниевых приборов – ≈ 1 В),

$I_{\text{мин д}}$ – минимальный ток через диод термокомпенсации, обеспечивающий его нормальную работу при прохождении амплитуды полуволны входного сигнала (рекомендуемое значение – десятые доли единицы миллиампера);

- ток покоя делителя:

$$I_{0д} = \frac{E_k - 2U_{пр д}}{2R_1};$$

- мощность, выделяемая на резисторах делителя:

$$P_{R1} = P_{R1} = I_{0д}^2 \cdot R_1.$$

На основании полученных значений производится выбор конкретных резисторов (тип, мощность) по справочнику;

- б) термокомпенсирующие диоды цепи смещения.

Требования, предъявляемые к диодам:

- полупроводниковый материал, из которого сделан диод – тот же, что материал транзистора;
- предельная рабочая частота:

$$f_{пред} = (2 \div 4) f_B;$$

- максимально допустимое обратное напряжение: – требования не предъявляются;
- максимально допустимый ток диода:

$$I_{д макс доп} \geq I_{макс д} = \frac{\frac{E_k}{2} + U_{m вх} - U_{пр д}}{R_1},$$

где – $I_{макс д}$ – максимальный рабочий ток диода.

С учетом полученных требований по справочнику выбирается конкретный тип диода, выписываются его параметры и копируется вольт-амперная характеристика.

6. Определяются координаты рабочих точек на входной и выходных статических характеристиках транзистора:

- по прямой ветви вольт-амперной характеристики выбранного диода определяется прямое напряжение $U_{0пр д}$, соответствующее току покоя делителя $I_{0д}$. Очевидно, что на эмиттерном переходе транзистора в исходном состоянии выделяется $U_{0бэ} \approx U_{0пр д}$;

- по входной статической характеристике транзистора определяется ток базы покоя $I_{0б}$, соответствующий $U_{0бэ}$;

- рассчитывается ток покоя коллектора (эмиттера) транзистора:

$$I_{0к} = \beta I_{0б}.$$

Напряжение коллектор-эмиттер покоя $U_{0кэ}$ транзистора составляет, очевидно, $E_k/2$.

7. Графо-аналитический расчет усилителя мощности.

а) На выходных статических характеристиках какого-либо из выбранных транзисторов (например, верхнего по схеме) строится выходная динамическая характеристика (нагрузочная прямая) по переменному току одного плеча каскада в соответствии с уравнением:

$$\frac{E_K}{2} = u_{кэ1}(t) + i_H(t)R_H,$$

где $i_H(t) \cong i_{к1}(t) - i_{к2}(t)$ – ток нагрузки.

Для построения используют две точки с координатами:

$$\begin{cases} I_H = 0, & U_{кэ1} = E_K / 2; \\ U_{кэ1} = 0, & I_H = I_{к1} = E_K / 2R_H; \end{cases}$$

б) используя нагрузочную прямую, на характеристиках строят треугольник выходной мощности P_{\sim} со сторонами $U_{m \text{ Вых}}, I_{m \text{ Н}}$ (рис.2).

По треугольнику оценивается возможность получения заданной выходной мощности:

$$P_{\sim} = \frac{U_{m \text{ Вых}} \cdot I_{m \text{ Н}}}{2} \geq P_{\text{Вых}}.$$

Если приведенное условие не выполняется, увеличивают E_K и пересчитывают P_{\sim} ;

в) перенося значения базовых токов, соответствующих точкам пересечения нагрузочной прямой со статическими выходными характеристиками транзистора, на статическую входную характеристику, определяют амплитуды переменных составляющих базового тока $I_{m \text{ б}}$ и напряжения на эмиттерном переходе $U_{m \text{ бэ}}$ транзистора;

г) определяется усредненное значение входного сопротивления транзистора и транзисторной цепи:

$$\begin{aligned} r_{\text{ВХЭ}} &\approx U_{m \text{ бэ}} / I_{m \text{ б}}; \\ r_{\text{ВХК}} &\approx r_{\text{ВХЭ}} + (\beta + 1)R_H; \end{aligned}$$

д) рассчитывается входное сопротивление каскада:

$$R_{\text{ВХ}} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\text{ВХК}} \approx R_1 / 2;$$

е) определяется коэффициент усиления (передачи) усилителя:

$$K_u = \frac{(\beta + 1)(R_H \parallel r_{к(э)})}{r_{\text{ВХК}}},$$

где $r_{к(э)}$ – дифференциальное сопротивление коллекторного перехода транзистора в схеме ОЭ;

ж) рассчитывается величина входного сигнала и входной ток, являющиеся выходными параметрами для предыдущего каскада:

$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВЫХ}} / K_u,$$

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{макс}} \beta \cdot r_{\text{ВХ К}} / \sqrt{2} R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} / R_{\text{ВХ}};$$

h) определяются емкости разделительных конденсаторов:

$$C_{\text{р1}} \geq 1 / (2\pi f_{\text{н}} (R_{\text{Г}} + R_{\text{ВХ}}) \sqrt{M_{\text{Н1}}^2 - 1});$$

$$C_{\text{р2}} \geq 1 / (2\pi f_{\text{н}} (r_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{Н}}) \sqrt{M_{\text{Н2}}^2 - 1}),$$

где $M_{\text{Н1}}$, $M_{\text{Н2}}$ – части общего коэффициента частотных искажений усилителя мощности на нижней граничной частоте, выделяемые на каждый из разделительных конденсаторов ($M_{\text{Н}} = M_{\text{Н1}} M_{\text{Н2}}$);

$R_{\text{Г}}$ – внутреннее сопротивление генератора сигнала (выходное сопротивление предыдущего каскада);

$$r_{\text{ВЫХ}} = \frac{(R_{\text{Г}} \parallel R_1 / 2) + r_{\text{ВХ э}}}{\beta + 1} - \text{выходное сопротивление транзистора со стороны}$$

эмиттерного вывода.

Выбор конденсаторов (как правило, электролитических) производят по справочнику с учетом номинального рабочего напряжения (для повышения надежности рекомендуется обеспечивать $U_{\text{с раб}} > E_{\text{к}}$);

- i) рассчитывается коэффициент полезного действия усилителя мощности;
- средний ток, потребляемый от источника питания, составляет:

$$I_0 = 2I_{\text{ср к}} = 2I_{\text{м н}} / \pi \approx 0,636I_{\text{м н}},$$

где $I_{\text{ср к}} = I_{\text{м н}} / \pi \approx 0,318I_{\text{м н}}$ – средний ток одного транзистора;

- коэффициент полезного действия каскада:

$$\eta = P_{\text{ВЫХ}} / P_0 = P_{\text{ВЫХ}} / E_{\text{к}} I_0,$$

где P_0 – мощность, потребляемая от источника питания.

