

1. Расчет выходного усилителя мощности

Расчет начинаем с выходного усилительного каскада, т.к. он обеспечивает необходимую выходную мощность передатчика: $P_{\text{вых}}=1.2$ Вт.

Исходные данные:

$$P_{\text{вых}} := 1.2 \quad \text{Вт}$$

$$R_{\text{н1}} := 75 \quad \text{Ом}$$

$$\Delta f_{\text{д}} := 10 \cdot 10^3 \quad \text{Гц}$$

$$f_{\text{раб}} := 630 \cdot 10^6 \quad \text{Гц}$$

Подберем граничную частоту и выберем транзистор. Исходя из данных выберем транзистор 2Т913Б

Параметры транзистора 2Т913Б:

$$S_{\text{гр}} := 0.11 \quad \text{См}$$

$$U_{\text{к0}} := 20 \quad \text{В}$$

$$h_{21э} := 50$$

$$T_{\text{ср}} := 25 \quad (\text{град С})$$

$$R_{\text{пк}} := 10 \quad \text{Град С/ Вт}$$

$$f_{\text{гр}} := 1 \cdot 10^9 \quad \text{Гц}$$

$$C_{\text{э}} := 50 \cdot 10^{-12} \quad \text{Ф}$$

$$C_{\text{к}} := 7.5 \cdot 10^{-12} \quad \text{Ф}$$

$$U_{\text{шт}} := 0.7 \quad \text{В}$$

$$U_{\text{бэдоп}} := 3.5 \quad \text{В}$$

$$r_{\text{б}} := 1 \quad \text{Ом}$$

$$r_{\text{э}} := 0.2 \quad \text{Ом}$$

$$L_{\text{б}} := 2.5 \cdot 10^{-9} \quad \text{Гн}$$

$$C_{\text{ка}} := \frac{C_{\text{к}}}{3} = 2.5 \times 10^{-12} \quad \text{Ф}$$

$$L_{\text{э}} := 0.25 \cdot 10^{-9} \quad \text{Гн}$$

Выбираем угол отсечки в 90 градусов, тогда получим коэффициенты:

$$\theta := \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha_1 := 0.5$$

$$\gamma_0 := 0.319$$

$$\gamma_1 := 0.5$$

$$g_1 := 1.57$$

Коллекторная цепь

$$\eta_{\text{квых}} := 0.75$$

$$P_{\text{вых1}} := \frac{P_{\text{вых}}}{\eta_{\text{квых}}} = 1.6 \quad \text{Вт}$$

1.1 Напряженность граничного режима

$$\xi_{\text{гр}} := 0.5 + 0.5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot P_{\text{вых1}}}{\alpha_1 \cdot S_{\text{гр}} \cdot (U_{\text{к0}})^2}} = 0.823$$

1.2. Амплитуда первой гармоники коллекторного напряжения и тока:

$$U_{\text{к1}} := \xi_{\text{гр}} \cdot U_{\text{к0}} = 16.467$$

$$I_{\text{к1}} := \frac{2 \cdot P_{\text{вых1}}}{U_{\text{к1}}} = 0.194$$

1.3. Постоянные составляющие коллекторного базового и эмиттерного токов:

$$I_{\text{к0}} := \frac{I_{\text{к1}}}{g_1} = 0.124 \quad (\text{А})$$

$$I_{\text{б0}} := \frac{I_{\text{к0}}}{h_{21э}} = 2.476 \times 10^{-3} \quad (\text{А})$$

$$I_{\text{э0}} := I_{\text{к0}} + I_{\text{б0}} = 0.126 \quad (\text{А})$$

1.4. Максимальная величина коллекторного тока

$$I_{k\max} := \frac{I_{k0}}{\alpha_1} = 0.248 \quad (\text{А})$$

1.5. Мощность, потребляемая от источника коллекторного питания и рассеиваемая на коллекторе транзистора соответственно:

$$P_0 := I_{k0} \cdot U_{k0} = 2.476 \quad (\text{Вт})$$

$$P_k := P_0 - P_{\text{вых1}} = 0.876 \quad (\text{Вт})$$

1.6. КПД коллекторной цепи

$$\eta_{\text{Э}} := \frac{P_{\text{вых1}}}{P_0} = 0.646$$

1.7. Эквивалентное сопротивление коллекторной нагрузки току первой гармоники:

$$R_{k1} := \frac{(U_{k1})^2}{2 \cdot P_{\text{вых1}}} = 84.735 \quad (\text{Ом})$$

1.8. Максимальная температура коллекторного перехода:

$$T_{\text{пmax}} := T_{\text{ср}} + P_k \cdot (R_{\text{пк}}) = 33.756$$

$$T_{\text{пmax}} < T_{\text{пдоп}}$$

2. Базовая цепь

2.1. Дополнительное сопротивление между базой и эмиттером:

$$R_D := \frac{h_{21э}}{2 \cdot \pi \cdot f_{гр} \cdot C_э} = 159.155 \quad \left(\begin{array}{l} \text{в реальных схемах на частотах } f > 3 \cdot f_{гр} / h_{21э} \text{ } R_D \\ \text{можно не ставить} \end{array} \right)$$

2.2. Амплитуда базового тока

$$\chi := 1 + \gamma_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{гр} \cdot C_K \cdot R_{к1} = 2.997$$

$$I_{б1} := \frac{\chi \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h_{21э} \cdot f_{раб}}{f_{гр}} \right)^2}}{h_{21э} \cdot \gamma_1} \cdot I_{к1} = 0.734 \quad (A)$$

2.3. Максимальное обратное напряжение на эмиттерном переходе:

$$U_{бэmax} := I_{б1} \cdot \frac{(1 + \cos(\theta)) \cdot R_D}{\sqrt{1 + \left(h_{21э} \cdot \frac{f_{раб}}{f_{гр}} \right)^2}} - U_{шт} = 3.007 \quad (B)$$

$$U_{бэmax} \leq U_{бэдop} \quad (\text{условие выполнится и } R_D \text{ не надо уменьшать})$$

$$3.007 < 3.5$$

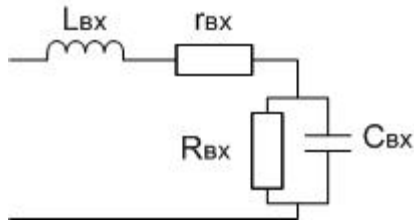
2.4. Напряжение смещения на эмиттерном переходе:

$$U_{б0} := \frac{\gamma_0 \cdot R_D \cdot I_{б1}}{\left(h_{21э} \cdot \frac{f_{раб}}{f_{гр}} \right)^2} + U_{шт} + I_{б0} \cdot r_б + I_{э0} \cdot r_э = 0.765 \quad (B)$$

2.5. Активная и реактивная составляющие входного сопротивления транзистора

Для этого рассчитаем элементы в эквивалентной схеме входного сопротивления транзистора:

$r_{вх}$, $R_{вх}$, $L_{вх}$, $C_{вх}$.



$$r_{вх} := \frac{1}{\chi} \cdot \left[(1 + \gamma_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{гр} \cdot C_{ка} \cdot R_{к1}) \cdot r_6 + r_э + \gamma_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{гр} \cdot L_э \right] = 0.885 \quad (\text{Ом})$$

$$R_{вх} := \frac{1}{\chi} \cdot \left[r_6 + (1 + \gamma_1 \cdot h_{21э}) \cdot r_6 - r_{вх} + R_д \cdot (1 - \gamma_1) \right] = 35.272 \quad (\text{Ом})$$

$$r_{вх1} := r_{вх} + \frac{R_{вх}}{1 + \left(h_{21э} \cdot \frac{f_{раб}}{f_{гр}} \right)^2} = 0.92 \quad (\text{Ом})$$

$$L_{вх} := L_6 + \frac{L_э}{\chi} = 2.583 \times 10^{-9} \quad (\text{Гн})$$

$$x_{вх1} := 2 \cdot \pi \cdot f_{раб} \cdot L_{вх} - \frac{R_{вх} \cdot \left(h_{21э} \cdot \frac{f_{раб}}{f_{гр}} \right)^2}{1 + \left(h_{21э} \cdot \frac{f_{раб}}{f_{гр}} \right)^2} = -25.01$$

$$z_{вх1} := r_{вх} + i \cdot x_{вх1}$$

$$C_{вх} := \frac{h_{21э}}{2 \cdot \pi \cdot f_{гр} \cdot R_{вх}} = 2.256 \times 10^{-10} \quad (\text{Ф})$$

2.6. Мощность возбуждения:

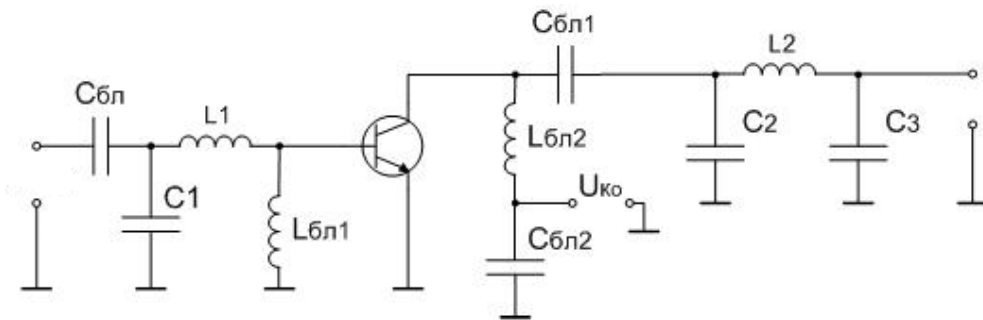
$$P_{в1} := 0.5 \cdot I_{61}^2 \cdot r_{вх1} = 0.248 \quad (\text{Вт})$$

2.7. Коэффициент усиления по мощности:

$$K_p := \frac{P_{\text{ВЫХ1}}}{P_{\text{В1}}} = 6.453$$

3 Расчет элементов схемы усилителя и согласующих цепей

Расчет цепей питания



3.1. Блокировочная индуктивность, развязывающая цепь источника питания по высокой частоте:

$$L_{\text{бл2}} := \frac{20 \cdot R_{\text{к1}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{раб}}} = 4.281 \times 10^{-7} \quad (\text{Гн})$$

3.2. Для исключения прохождения постоянной составляющей тока в нагрузку

$$C_{\text{бл1}} := \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{раб}} \cdot R_{\text{к1}}} = 1.491 \times 10^{-10} \quad (\text{Ф})$$

3.3. Для исключения прохождения переменной составляющей тока в источник питания (сопротивление источника питания возьмем 10 Ом)

$$R_{\text{ип}} := 10$$

$$C_{\text{бл2}} := \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{раб}} \cdot R_{\text{ип}}} = 1.263 \times 10^{-9} \quad (\text{Ф})$$

4 Расчет выходной согласующей цепи

4.1 Находим действующее сопротивление

$$Q_1 := 3$$

$$R_{H1} = 75 \quad (\text{Ом})$$

$$r_D := \frac{R_{K1}}{Q_1^2 + 1} = 8.474 \quad (\text{Ом})$$

Проверим выполнение условия $r_D < R_H = 75$, иначе согласование было бы невозможным

4.2 Определим реактивные сопротивления

$$X_{\text{пар}1} := \frac{R_{K1}}{Q_1} = 28.245 \quad (\text{Ом})$$

$$X_{\text{штпосл}1} := Q_1 \cdot r_D = 25.421 \quad (\text{Ом})$$

4.3 Рассчитаем необходимую величину добротности второго Г - звена

$$Q_2 := \sqrt{\frac{R_{H1}}{r_D} - 1} = 2.802$$

4.4 Определим реактивное сопротивление:

$$X_{\text{шт}2\text{посл}} := Q_2 \cdot r_D = 23.743 \quad (\text{Ом})$$

$$X_{\text{пар}2} := \frac{r_{\text{вх}1}}{Q_2} = 0.328 \quad (\text{Ом})$$

4.5 Найдём последовательное реактивное сопротивление П-цепи

$$X_{\text{ппосл}} := |X_{\text{штпосл}1} + X_{\text{шт}2\text{посл}}| = 49.163 \quad (\text{Ом})$$

4.6 Вычислим величину индуктивностей и емкостей:

$$L_2 := \frac{X_{\text{ппосл}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{раб}}} = 1.242 \times 10^{-8} \quad (\text{Гн})$$

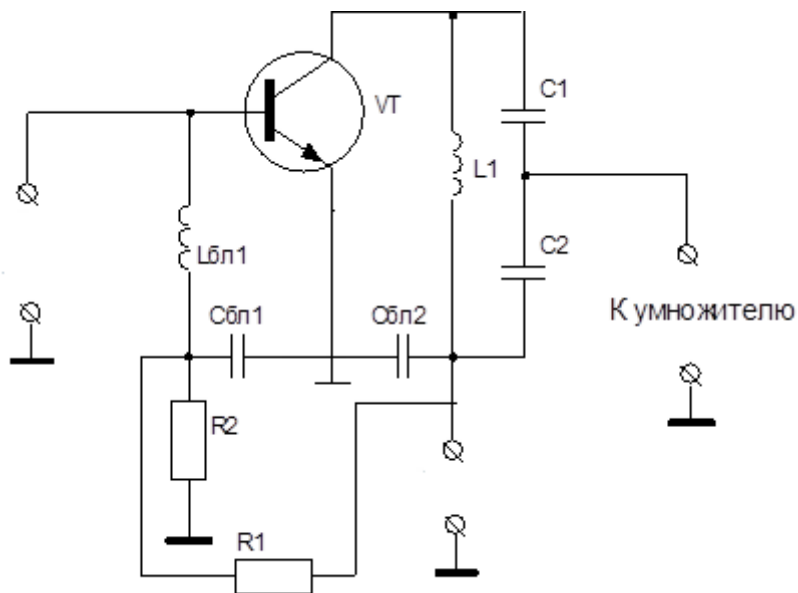
$$C_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{раб}} \cdot X_{\text{пар1}}} = 8.944 \times 10^{-12} \quad (\text{Ф})$$

5. Расчет умножителя частоты

Генераторные каскады малой мощности РПУ могут выполнять функции умножителей частоты, в основе которых лежит принцип выделения гармоник нужной частоты из импульсов коллекторного тока.

Выходная мощность умножителя ограничена несколькими факторами. К ним относятся предельно допустимые значения обратного напряжения на эмиттерном переходе и мощности рассеяния, а также критический коллекторный ток.

При выборе угла отсечки надо учитывать следующее. Пиковое обратное напряжение увеличивается при уменьшении угла отсечки ϑ , что может ограничить мощность, отдаваемую умножителем частоты. При больших углах отсечки уменьшается КПД и растет мощность P_k , что может привести к нереализуемости режима транзистора. Если при оптимизации мощности УЧ опираться только на ограничения по коллекторному току, считая, что оптимальный угол отсечки равен $\theta = 120^\circ / n$. При $n=2$ – $\theta=60$, а при $n=3$ – $\theta=40$. При этих углах отсечки КПД будет достаточно высоким, но надо не допустить превышения $U_{бэ}$ доп. Поэтому часто угол отсечки и для $n=2$, и для $n=3$ выбирают равным 60 градусов.



5.1. Параметры транзистора КТ637А

Оконечный каскад умножения

$$f_k := 315 \cdot 10^6 \quad (\text{Гц}) \quad (\text{Входная частота каскада умножения})$$

$$f_{\text{краб}} := 630 \cdot 10^6 \quad (\text{Гц}) \quad (\text{Выходная частота каскада умножения})$$

$$f_{\text{гр}} := 3000 \cdot 10^6 \quad (\text{Гц})$$

$$h_{21a} := 80$$

$$r_{\text{с}} := 2 \quad (\text{Ом})$$

$$U_{\text{иэ}} := 0.7 \quad (\text{В})$$

$$U_{\text{кэmax}} := 30 \quad (\text{В})$$

$$I_{\text{кmax}} := 300 \cdot 10^{-3} \quad (\text{А})$$

$$P_{\text{рmax}} := 1000 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Вт})$$

$$U_{\text{к0}} := 20 \quad (\text{В})$$

$$S_{\text{гр}} := 0.1 \quad (\text{См})$$

$$R_{\text{н}} := 400 \quad (\text{Ом})$$

5.2 Найдём выходную мощность

$$K_p := 3 \quad (\text{Коэффициент усиления по мощности 4-го каскада умножения})$$

$$\eta_{\text{кв}} := 0.6 \quad (\text{КПД выходной согласующей цепи})$$

$$P_{\text{н}} := 0.106 \quad (\text{Вт})$$

$$P_{\text{вых}} := P_{\text{н}} \cdot K_p = 0.318 \quad (\text{Вт}) \quad (\text{выходная мощность каскада умножения})$$

$$P_{\text{вых2}} := \frac{P_{\text{вых}}}{\eta_{\text{квых}}} = 0.53 \quad (\text{Вт}) \quad (\text{выходная мощность на выходе транзистора})$$

5.3 Для обеспечения режима работы транзистора зададимся углом $\theta=90$ получим параметры

$$\theta := \frac{\pi}{2}$$

$$\gamma_0 := 0.319$$

$$\alpha_2 := 0.212$$

$$g_2 := 0.66$$

$$\gamma_2 := g_2 \cdot \gamma_0 = 0.211$$

Напряженность граничного режима работы транзистора

$$\xi_{\text{гр}} := 0.5 + 0.5 \cdot \sqrt{1 - \frac{8 \cdot P_{\text{вых2}}}{\alpha_2 \cdot S_{\text{гр}} \cdot U_{\text{к0}}^2}} = 0.854$$

Амплитуда второй гармоники коллекторного напряжения

$$U_{\text{к2}} := \xi_{\text{гр}} \cdot U_{\text{к0}} = 17.071 \quad (\text{В})$$

Амплитуда второй гармоники коллекторного тока

$$I_{\text{к2}} := \frac{2 \cdot P_{\text{вых2}}}{U_{\text{к2}}} = 0.062 \quad (\text{А})$$

Постоянная составляющая коллекторного тока

$$I_{\text{к0}} := \frac{I_{\text{к2}}}{g_2} = 0.094 \quad (\text{А})$$

5.4 Мощность, подводимая к транзистору от источника питания в коллекторной цепи

$$P_{\text{к0}} := I_{\text{к0}} \cdot U_{\text{к0}} = 1.882 \quad (\text{Вт})$$

Мощность, рассеиваемая коллектором транзистора

$$P_{\text{кв}} := P_0 - P_{\text{вых2}} = 1.352 \quad (\text{Вт})$$

Эквивалентное сопротивление коллекторной цепи для второй гармоники коллекторного тока

$$R_{\text{к2}} := \frac{U_{\text{к2}}}{I_{\text{к2}}} = 274.926 \quad (\text{Ом})$$

Электронный КПД

$$\eta_{\text{эл}} := \frac{P_{\text{вых2}}}{P_0} = 0.282$$

Амплитуда первой гармоники напряжения на базе

$$U_{\text{б1}} := \frac{I_{\text{к2}}}{S_{\text{гр}} \cdot \gamma_2} = 2.949 \quad (\text{В})$$

Напряжение смещения на базе

$$U_{\text{б0}} := -U_{\text{б1}} \cdot \cos(\theta) + U_{\text{шт}} = 0.7 \quad (\text{В})$$

Постоянная составляющая тока на базе

$$I_{\text{б0}} := \frac{I_{\text{к0}}}{h_{21э}} = 1.176 \times 10^{-3} \quad (\text{А})$$

5.5 Выберем ток делителя из соотношения 3...5 $I_{\text{б0}}$

$$I_{\text{д}} := 4 \cdot I_{\text{б0}} = 4.704 \times 10^{-3} \quad (\text{А})$$

$$R_1 := \frac{U_{\text{к0}} - U_{\text{б0}}}{I_{\text{д}}} = 4.103 \times 10^3 \quad (\text{Ом})$$

$$R_2 := \frac{U_{\text{б0}}}{I_{\text{д}} + I_{\text{б0}}} = 119.047 \quad (\text{Ом})$$

$$P_{\text{б1}} := P_{\text{н}} = 0.106 \quad (\text{Ом}) \quad (\text{выходная мощность предыдущего каскада})$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_p := \frac{P_{\text{вых}2}}{P_{\text{в}1}} = 5 \quad (\text{без учета кпд согласующей цепи})$$

6. Расчет элементов схемы

6.1 Характеристическое сопротивление контура

$$\rho := 30 \quad (\text{Ом})$$

Добротность нагруженного контура

$$Q := \frac{R_{k2}}{\rho} = 9.164$$

Добротность ненагруженного контура

$$Q_{\text{шт}} := 50$$

Сопротивление потерь

$$r_{\text{пот}} := \frac{\rho}{Q_{\text{шт}}} = 0.6 \quad (\text{Ом})$$

$$r_{\text{вн}} := \frac{\rho}{Q} - r_{\text{пот}} = 2.674 \quad (\text{Ом})$$

Сопротивление связи

$$X_{\text{св}} := \sqrt{R_{\text{н}} \cdot r_{\text{вн}}} = 32.702 \quad (\text{Ом})$$

6.2 Емкость связи

$$n := 2 \quad (\text{Номер гармоники, с которой мы работаем})$$

$$C_{\text{св}} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot f_K \cdot X_{\text{св}}} = 7.725 \times 10^{-12} \quad (\Phi)$$

Индуктивность контура

$$L_1 := \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot f_K \cdot X_{\text{св}}} = 2.318 \times 10^{-10} \quad (\text{Гн})$$

Общая емкость контура

$$C_{\text{св}} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot f_K \cdot \rho} = 8.421 \times 10^{-12} \quad (\Phi)$$

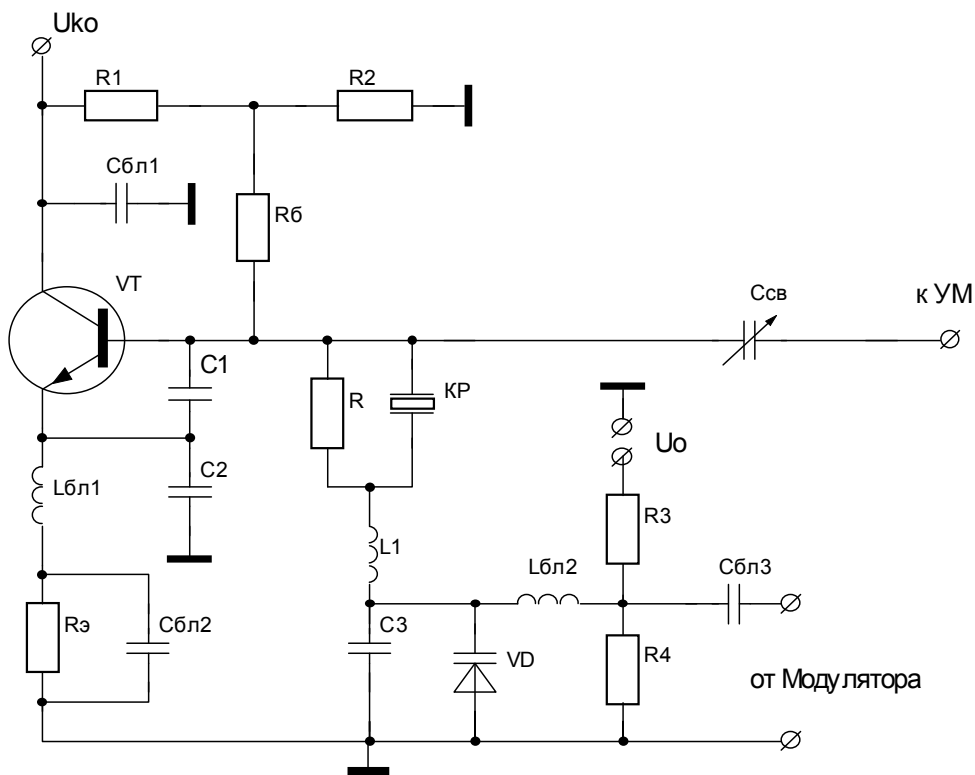
6.3 Сопротивление источника питания
пологаем равным 10 Ом

$$r_{\text{ип}} := 10 \quad (\text{Ом})$$

$$C_{\text{св}1} := \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot f_K \cdot r_{\text{ип}}} = 2.526 \times 10^{-9} \quad (\Phi)$$

$$C_{\text{св}2} := \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot f_K \cdot r_{\text{ип}}} = 1.263 \times 10^{-9} \quad (\Phi)$$

7. Расчет кварцевого автогенератора



Для расчета выбираем схему частотно модулируемого автогенератора с кварцем, включенным в контур.

Схема с КР в контуре удобна тем, что возбуждение может происходить как на основной частоте, так и на механических гармониках. Так же схема позволяет включить в колебательный контур варикап, для осуществления прямой частотной модуляции.

$$P_{\text{кв}} := 0.15 \cdot 10^{-3} \quad (\text{мощность в нагрузке}) \quad (\text{Вт})$$

Параметры кварцевого резонатора марки РК169 (МА) на частоту $f = 23.3 \text{ МГц}$

$$f_{\text{кв}} := 23.3 \cdot 10^6 \quad (\text{Гц})$$

$$r_{\text{кв}} := 50 \quad (\text{Ом})$$

$$C_0 := 5 \cdot 10^{-12} \quad (\text{Ф})$$

$$P_{\text{кв.доп}} := 1 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{\text{кв}} := 5 \cdot 10^5$$

Параметры транзистора КТ306Б

$$f_{гр} := 200 \cdot 10^6 \quad (\text{Гц})$$

$$h_{21э} := 40$$

$$r_{б} := 40 \quad (\text{Ом})$$

$$U := 0.6 \quad (\text{В})$$

$$U_{ки} := 7 \quad (\text{В})$$

$$U_{эб.дop} := 4 \quad (\text{В})$$

$$P_{рас.дop} := 0.15 \quad (\text{Вт})$$

$$I_{кмдop} := 0.03 \quad (\text{А})$$

$$C_{ма} := 1.5 \cdot 10^{-12} \quad (\text{Ф})$$

7.1 Коэффициенты разложения косинусоидального импульса при угле отсечки $\theta=60$ градусов

$$\theta := \frac{\pi}{3}$$

$$\alpha_0 := 0.218$$

$$\alpha_1 := 0.391$$

$$\gamma_{0060} := 0.109$$

$$\gamma_1 := 0.196$$

$$\gamma_{00120} := 0.609$$

7.2 Вычислим нормированную статическую емкость КВ:

$$\tau_0 := (2 \cdot \pi \cdot f_{кв}) \cdot r_{кв} \cdot C_0 = 0.037$$

7.3 Режим автогенератора выбираем недонапряженным, для уменьшения тока во входной цепи:

$$U_{кв} := 0.8 \cdot U_{ки} = 5.6 \quad (\text{В})$$

7.4 Сопротивление резистора R и коэффициент m:

$$R := \frac{r_{кв}}{\tau_0} = 1.366 \times 10^3 \quad (\text{Ом})$$

$$m := \frac{r_{кв}}{R} = 0.037$$

7.5 Определим мощности, рассеиваемые на кварце и отдаваемая транзистором:

$$P_{кв} := 0.9 \cdot P_{кв.доп} = 9 \times 10^{-4} \quad (\text{Вт})$$

$$P_r := P_{кв} \cdot m = 3.294 \times 10^{-5} \quad (\text{Вт})$$

7.6 Параметр

$$a := \frac{P_r}{P_{кв} + P_r} = 0.161$$

удовлетворяет рекомендованному значению $a < 0.25$

7.7 Максимальное значение импульсного коллекторного тока:

$$\mu := \frac{f_{кв}}{f_{гр}} = 0.117$$

$$B := 15 \cdot r_6 = 600$$

$$D := \frac{2 \cdot P_{кв} \cdot (1 + m)^2}{r_{кв} \cdot \alpha_1^2} = 2.53 \times 10^{-4}$$

$$I_{KM} := \frac{h_{21э} \cdot \left(1 + \mu^2 \cdot h_{21э}^2\right)}{B} \cdot \left[-1 + \mu \cdot \sqrt{D \cdot B^2 \cdot \left(1 + \mu^2 \cdot h_{21э}^2\right) - h_{21э}^2}\right] \cdot 10^{-3} = 2.307 \times 10^{-3} \text{ (А)}$$

7.8 Рассчитаем аппроксимированные параметры транзистора:

$$S_n := 15 \cdot I_{KM} = 0.035 \quad (\text{См}) \quad (\text{крутизна по переходу})$$

$$r := \frac{h_{21э}}{S_n} = 1.156 \times 10^3 \quad (\text{Ом}) \quad (\text{сопротивление рекомбинации})$$

$$S := \frac{h_{21э}}{r_6 + r} = 0.033 \quad (\text{См}) \quad (\text{крутизна})$$

$$f_s := \frac{f_{rp}}{S \cdot r_6} = 1.495 \times 10^8 \quad (\text{Гц})$$

$$\Omega_s := \frac{f_{KB}}{f_s} = 0.156$$

$$S_f := \frac{S}{\sqrt{1 + \Omega_s^2}} = 0.033 \quad (\text{См})$$

$$S_1 := S \cdot \gamma_1 = 6.556 \times 10^{-3} \quad (\text{См})$$

8. Расчет параметров колебательной системы АГ

Рассчитаем параметры колебательной системы АГ(при учете самофазирования)

8.1 Сопротивление ветвей контура

$$X_{2\Phi} := \frac{-\Omega_s}{S_1} = -23.776$$

$$X_1 := - \left[\frac{r_{KB} \cdot (1 + a) \cdot (1 + \Omega_s^2)}{\Omega_s \cdot (1 + m)} \right] = -367.936$$

$$\chi := \frac{0.5 \cdot I_{KM}^2 \cdot \gamma_1}{P_{KB} \cdot (1 + a) \cdot S \cdot (1 - \cos(\theta))^2} = 0.02$$

$$\nu := \frac{-(1 + \chi) \cdot X_1}{r_{KB}} = 7.505$$

$$\frac{\nu}{2 \cdot Q_{KB}} = 7.505 \times 10^{-6} \quad \left(\text{Что удовлетворяет требованию допустимой неустойчивости } 10^{-5} \right)$$

8.2 Емкость контура

$$C_1 := - \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{KB} \cdot X_1} \right) = 1.856 \times 10^{-11} \quad (\Phi)$$

$$C_{2\Phi} := - \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{KB} \cdot X_{2\Phi}} \right) = 2.873 \times 10^{-10} \quad (\Phi)$$

8.3 Эквивалентное реактивное сопротивление КР с учетом резистора R:

$$X_{KBЭ} := - \left[\frac{r_{KB} \cdot T_0}{(1 + m)^2} \right] = -1.703$$

Тогда сопротивление плеча контура между коллектором и базой:

$$X_3 := -(X_1 + X_{2\Phi} + X_{квз}) - \Omega_s \cdot r_{кв} \frac{1+a}{1+m} = 384.501$$

8.4 Оценим индуктивность:

Возьмем характеристическое сопротивление:

$$\rho := 100$$

$$L_3 := \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot f_{кв}} = 6.831 \times 10^{-7} \quad (\text{Гн})$$

Найдем C_3

$$C_3 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{кв} \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_{кв} \cdot L_3 + X_3)} = 1.41 \times 10^{-11} \quad (\text{Ф})$$

9. Расчет параметров режима работы транзистора

9.1 Постоянная составляющая и первая гармоника коллекторного тока (13.25)

$$I_{к0} := I_{км} \cdot \alpha_0 = 5.029 \times 10^{-4} \quad (\text{А})$$

$$I_{к1} := I_{км} \cdot \alpha_1 = 9.021 \times 10^{-4} \quad (\text{А})$$

9.2 Постоянная составляющая тока базы

$$I_{б0} := \frac{I_{к0}}{h_{21э}} = 1.257 \times 10^{-5} \quad (\text{А})$$

9.3 Амплитуда напряжения возбуждения

$$U_{в1} := \frac{I_{к1}}{S_f \cdot \gamma_1} = 0.139 \quad (\text{В})$$

Модуль коэффициента обратной связи

$$K_{\Phi} := \frac{x_{2\Phi} \cdot \sqrt{1 + \Omega_s^2}}{x_1} = 0.065$$

9.4 Амплитуда коллекторного напряжения

$$u_{k1} := \frac{u_{b1}}{K_{\Phi}} \quad (B)$$

9.5 Напряжение смещения на базе

$$u_{b0} := u + u_{b1} \cdot \left[\frac{\gamma_0}{\sqrt{1 + \Omega_s^2}} - \gamma_0 \cdot (\pi - \theta) \right] = 0.551 \quad (B)$$

9.6 Мощность, потребляемая в цепи коллектора, колебательная и рассеиваемая транзистором:

$$P_{k0} := I_{k0} \cdot u_{k0} = 2.816 \times 10^{-3} \quad (Вт)$$

$$P_1 := 0.5 \cdot I_{k1} \cdot u_{k1} = 9.604 \times 10^{-4} \quad (Вт)$$

$$P_{рас} := P_0 - P_1 = 1.856 \times 10^{-3} \quad (Вт)$$

10. Расчет параметров элементов цепи питания и смещения:

Параметры цепи элементов питания и смещения

10.1 Выбираем значения сопротивлений R_3 и R_6

$$R_6 := |15 \cdot X_{2\Phi}| = 356.633 \quad (\text{Ом})$$

$$R_3 := 400 \quad (\text{из интервала } 100 \dots 500 \text{ Ом})$$

10.2 Напряжение источников коллекторного питания:

$$U_K := U_{K0} + (I_{K0} + I_{60}) \cdot R_3 = 5.806 \quad (\text{В})$$

10.3 Начальное напряжение смещения:

$$U_{\text{нач}} := U_{B0} + (I_{K0} + I_{60}) \cdot R_3 + I_{60} \cdot R_6 = 0.762 \quad (\text{В})$$

10.4 Сопротивление делителя в цепи питания базы:

$$I_D := 3 \cdot I_{60} = 3.772 \times 10^{-5} \quad (\text{А}) \quad (\text{коэффициент выбираем в интервале } 3..5)$$

$$R_1 := \frac{U_K - U_{\text{нач}}}{I_D} = 1.337 \times 10^5 \quad (\text{Ом})$$

$$R_2 := \frac{U_{\text{нач}}}{I_D + I_{60}} = 1.514 \times 10^4 \quad (\text{Ом})$$

10.5 Мощность источника питания

$$P_{\text{и}} := U_K \cdot I_{K0} + U_{\text{нач}} \cdot I_{60} + U_K \cdot I_D = 3.149 \times 10^{-3} \quad (\text{Вт})$$

КПД цепи коллектора

$$\eta_{\text{ЭК}} := \frac{P_1}{P_0} = 0.341$$

КПД АГ

$$\eta := \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{и}}} = 0.048$$

11. Расчет варикапа

Для осуществления частотной модуляции в АГ будем использовать варикап типа КВ109В с параметрами

$$C_{\text{КВ}} := 5 \cdot 10^{-12} \quad (\Phi)$$

$$C_{\text{В}} := 8 \cdot 10^{-12} \quad (\Phi) \quad \text{емкость варикапа при } U=3 \text{ В}$$

$$\gamma := 0.5$$

$$U_{\text{пробв}} := 28 \quad (\text{В})$$

$$Q_{\text{В}} := 160$$

$$U_{0\text{В}} := \frac{U_{\text{пробв}}}{2} = 14 \quad (\text{В})$$

11.1 Найдём ёмкость варикапа при напряжении $U_{0\text{В}}$

$$\varphi_{\text{р}} := 0.6 \quad (\text{В}) \quad \text{контактная разность потенциалов}$$

$$C_{\text{В0}} := C_{\text{В}} \cdot \left(\frac{\varphi_{\text{р}}}{\varphi_{\text{р}} + U_{0\text{В}}} \right)^{\gamma} = 1.622 \times 10^{-12} \quad (\Phi)$$

$$C_{30} := C_3 - C_{\text{В0}} = 1.248 \times 10^{-11} \quad (\Phi) \quad \text{(ёмкость в колебательном контуре с учетом варикапа)}$$

$$\beta_1 := \frac{C_{KB} \cdot C_{B0} \cdot \gamma}{2 \cdot (C_{30} + C_{B0} + C_{KB}) \cdot (C_{30} + C_{B0})} = 7.529 \times 10^{-3}$$

11.2 Амплитуда модулирующего напряжения, подаваемого на варикап

$$U_{\Omega B} := \frac{\Delta f_d \cdot U_{0B}}{f_{раб} \cdot \beta_1} = 0.03 \quad (B)$$

11.3 Общее напряжение на варикапе

$$U_B := U_{\Omega B} + U = 13.45 \quad (B)$$

$$U_B \leq U_{0B} \quad \text{Условие правильной работы варикапа выполняется}$$

12. Расчет элементов цепи генератора

12.1 Расчет блокировочных элементов

примем добротность колебательной системы АГ Q=100

$$Q_{KC} := 100$$

$$C_{КСБЛ21} := \frac{10}{R_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{KB}} = 5.108 \times 10^{-13} \quad (\Phi)$$

$$C_{КСБЛ22} := \frac{Q_{KC}}{R_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{KB}} = 5.108 \times 10^{-12} \quad (\Phi)$$

Выберем $C_{КСБЛ2}$ из интервала

$$C_{КСБЛ21} < C_{КСБЛ2} < C_{КСБЛ22}$$

И примем

$$C_{КСБЛ2} := 20 \cdot 10^{-12} \quad (\Phi)$$

Полагая что внутреннее сопротивление источника питания мало

$$R_{\text{ист}} := 10 \quad (\text{Ом})$$

$$C_{\text{ксл1}} := \frac{30}{R_{\text{ист}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{кв}}} = 2.049 \times 10^{-8} \quad (\text{Ф})$$

12.2 Блокировочная индуктивность $L_{\text{ксл1}}$ предотвращает заземление транзистора по высокой частоте

$$L_{\text{ксл1}} := \frac{10 \cdot R_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{кв}}} = 9.135 \times 10^{-3} \quad (\text{Гн})$$

Блокировочная индуктивность, развязывающие по частоте частоту модуляции Ω

$$r_{\text{мод}} := 200 \quad (\text{Ом})$$

$$L_{\text{ксл2}} := \frac{10 \cdot r_{\text{мод}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{кв}}} = 1.366 \times 10^{-5} \quad (\text{Гн})$$

Блокировочная емкость выбирается из соотношения $\frac{1}{\omega \cdot C_{\text{ксл3}}} \ll$

$$f_{\text{мод}} := 200 \quad (\text{Гц}) \quad (\text{Выбирается из промежутка } 100\text{-}3000\text{Гц})$$

$$C_{\text{ксл3}} := \frac{50}{r_{\text{мод}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{мод}}} = 1.989 \times 10^{-4} \quad (\text{Ф})$$

12.3 Рассчитаем резистивный делитель в цепи смещения варикапа

$$E_1 := 20 \quad (\text{В}) \quad (\text{Напряжение источника питания варикапа})$$

Зададим R_3 и найдем R_4 из соотношения

$$R_3 := 1 \cdot 10^3 \quad (\text{Ом})$$

$$U_0 := 14 \quad (\text{В}) \quad (\text{Напряжение, падающее на } R_4 \text{ при токе})$$

$$\text{Тогда} \quad R_4 := \frac{U_0 \cdot R_3}{E_1 - U_0} = 2.333 \times 10^3 \quad (\text{Ом})$$

к УМ
— ∅

ба

j^{-3}

