

Расчёт параметров колебательного контура

Для расчёта параметров параллельного колебательного контура используют два варианта эквивалентной схемы:

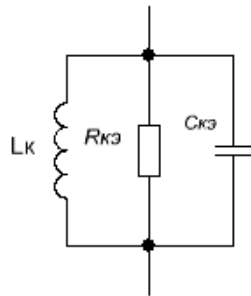
А) с параллельным включением эквивалентного сопротивления;

Б) с последовательным включением эквивалентного сопротивления.

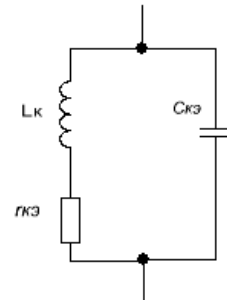
Здесь $R_{кэ}$ – эквивалентное резонансное сопротивление контура;

$r_{кэ}$ – эквивалентное сопротивление потерь;

$C_{кэ}$ – эквивалентная ёмкость.



А)



Б)

При небольших (относительно полосы пропускания) расстройках комплексное сопротивление узкополосного колебательного контура определяется формулой

$$Z_{кэ} = \frac{R_{кэ}}{1 + j\xi},$$

где $\xi = Q_{кэ} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$ – обобщённая расстройка;

$Q_{кэ}$ – эквивалентная добротность контура;

f_0 – резонансная частота.

Основные формулы

1) **Резонансная частота** (формула Томсона): $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_{кэ}}}$

2) **Эквивалентное резонансное сопротивление**: $R_{кэ} = \rho Q_{кэ}$,

где $Q_{кэ}$ – эквивалентная добротность контура, ρ – характеристическое сопротивление контура.

3) **Характеристическое сопротивление** (индуктивное либо ёмкостное сопротивление на резонансной частоте):

$$\rho = \begin{cases} x_C|_{f=f_0} = \frac{1}{2\pi f_0 C_{\text{кз}}} \\ x_L|_{f=f_0} = 2\pi f_0 L_{\text{к}} \end{cases} \Rightarrow \rho = \sqrt{\frac{L_{\text{к}}}{C_{\text{кз}}}}$$

4) **Эквивалентная добротность:** $Q_{\text{кз}} = \frac{\rho}{r_{\text{кз}}}.$

Следовательно, эквивалентное резонансное сопротивление равно $R_{\text{кз}} = \frac{\rho^2}{r_{\text{кз}}}.$

Таким образом, $R_{\text{кз}} = \rho Q_{\text{кз}}, r_{\text{кз}} = \frac{\rho}{Q_{\text{кз}}}$, откуда следует, что $r_{\text{кз}} \ll R_{\text{кз}}$ (это соотношение отражается в обозначениях: малая буква для маленького сопротивления $r_{\text{кз}}$ и заглавная буква для большого сопротивления $R_{\text{кз}}$).

5) **Эквивалентная полоса пропускания:** $\Pi_{\text{кз}} = f_0 / Q_{\text{кз}}.$

6) **Обобщённая расстройка:** $\xi = Q_{\text{кз}} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right).$ При малых расстройках ($\Delta f = f - f_0 \ll f_0$) формула упрощается:

$$\begin{aligned} \xi &= Q_{\text{кз}} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) = Q_{\text{кз}} \left(\frac{f_0 + \Delta f}{f_0} - \frac{f_0}{f_0 + \Delta f} \right) = Q_{\text{кз}} \frac{(f_0 + \Delta f)^2 - f_0^2}{f_0 (f_0 + \Delta f)} = \\ &= Q_{\text{кз}} \frac{f_0^2 + 2f_0\Delta f + \Delta f^2 - f_0^2}{f_0 (f_0 + \Delta f)} = Q_{\text{кз}} \frac{2\frac{\Delta f}{f_0} + \left(\frac{\Delta f}{f_0}\right)^2}{1 + \frac{\Delta f}{f_0}} \approx Q_{\text{кз}} \frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{2\Delta f}{f_0 / Q_{\text{кз}}} = \frac{2\Delta f}{\Pi_{\text{кз}}} = \frac{\Delta f}{\Pi_{\text{кз}}/2}. \end{aligned}$$

7) **Модуль комплексного сопротивления (АЧХ) контура:**

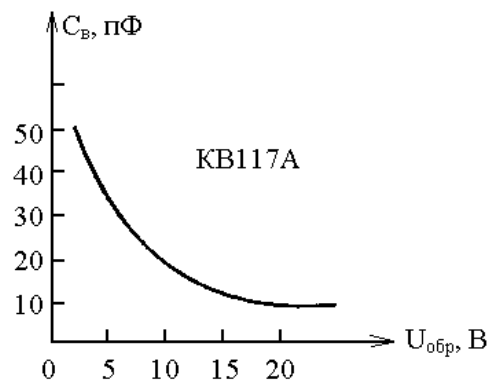
$$|Z_{\text{кз}}| = \frac{R_{\text{кз}}}{|1 + j\xi|} = \frac{R_{\text{кз}}}{\sqrt{1 + \xi^2}}.$$

При $\xi = \pm 1$ $|Z_{\text{кз}}| = R_{\text{кз}} / \sqrt{2}$, т.е. обобщённая расстройка $\xi = \pm 1$ соответствует границам полосы пропускания по уровню $1/\sqrt{2} \approx 0,707$.

Домашнее задание

Задача 1-1

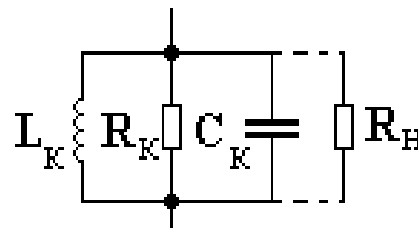
В диапазоне средних волн частота принимаемого сигнала изменяется от 525 кГц до 1605 кГц. Промежуточная частота вещательного радиоприёмника равна 465 кГц. Гетеродин приёмника перестраивается ёмкостью (варикапом). Определить относительное изменение ёмкости варикапа в двух случаях: а) при верхней настройке гетеродина; б) при нижней настройке гетеродина. Можно ли реализовать требуемую перестройку при использовании типового варикапа KB117A, имеющего коэффициент перекрытия по ёмкости 5?



Вольт-фарадная характеристика варикапа KB117A с обычным (нерезким) $p-n$ переходом приведена на рисунке; для варикапа со сверхрезким переходом коэффициент перекрытия достигает 10 – 15.

Задача 1-2

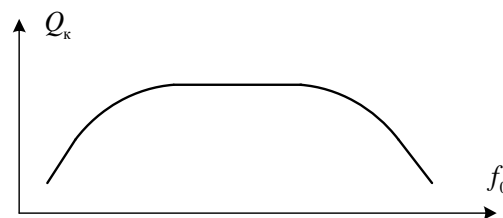
Эквивалентная схема параллельного колебательного контура имеет следующие параметры: $L_k = 16$ мкГн, $C_k = 1,6$ нФ, $R_k = 10$ кОм. К контуру подключается нагрузка $R_n = 5$ кОм. Определить добротность контура, сопротивление потерь и полосу пропускания в двух случаях:



- при отключённой нагрузке (собственные параметры контура);
- при подключённой нагрузке (эквивалентные параметры контура).

Задача 1-3

Типичная зависимость добротности колебательного контура от резонансной частоты показана на рисунке. Определить, как изменятся полоса пропускания и резонансное сопротивление при перестройке контура ёмкостью ($C_k = \text{var}$, $L_k = \text{const}$), если резонансная частота увеличилась в 2 раза. Рассмотреть два случая:



- при $r_k = \text{const}$ (в этом случае $Q_k = \rho / r_k \propto f_0$);
- при $Q_k = \text{const}$.