

Тема 9. Электрический колебательный контур



ЛИНЗА ДЛЯ ЭКРАНА
ТЕЛЕВИЗОРА
СССР
1950

Плосковыпуклая линза из оргстекла, заполнена водой или глицерином, дает увеличение изображения в 2-2,5 раза

LENTICLE FOR THE
SHIELD OF THE TV SET
USSR
1950

The convex-plane lenticle from organic glass, filled by water or glycerine
Magnification - 2-2.5 times
First was produced for the KVN TV set

ШАССИ ТЕЛЕВИЗОРА
"КВН-49"

Схема прямого усиления на 16 лампах по своим техническим характеристикам уступает супергетеродину, но неоспоримое преимущество - простота и надежность

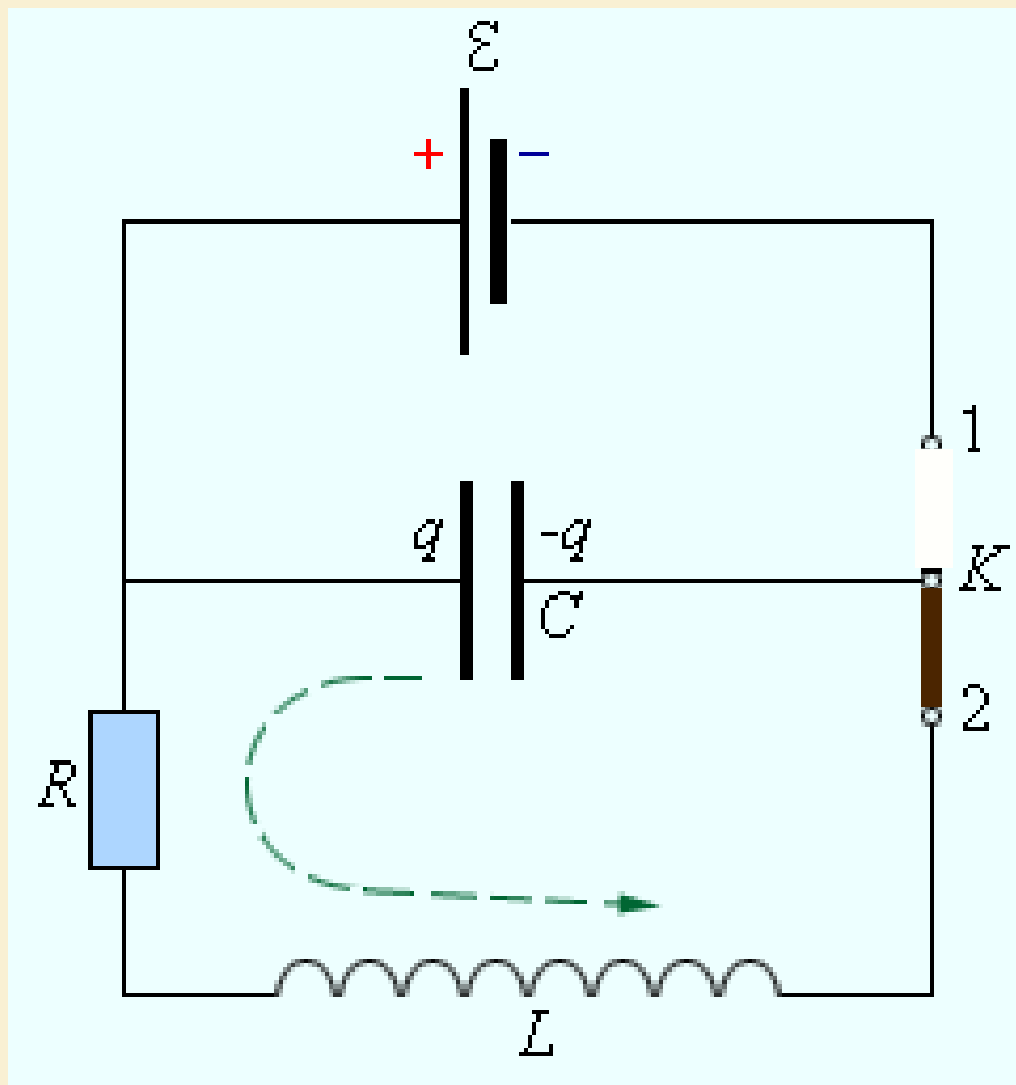
THE CHASSIS OF THE
"KVN-49" TV SET

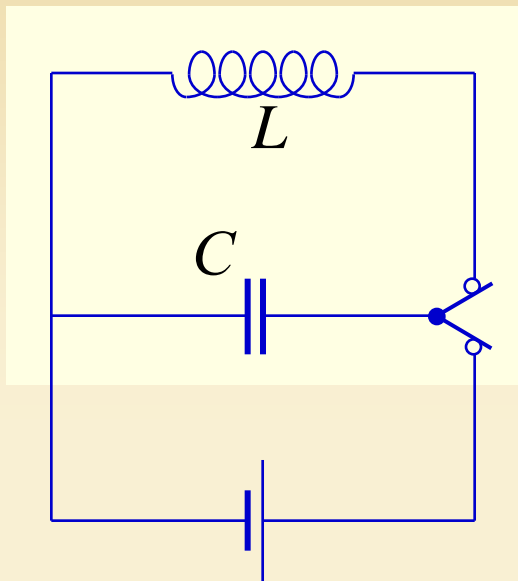
Schema of direct amplification collected on 16 lamps. Its technical characteristics are worse than those of the superheterodyne, but simplicity and reliability are indisputable advantages of this schema

Тема 9. Электрический колебательный контур

- 9.1. Колебательный контур без активного сопротивления (L-C – контур)

Последовательный RLC-контур





$$L \frac{dI}{dt} + IR + \frac{q}{C} = \mathcal{E} t$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

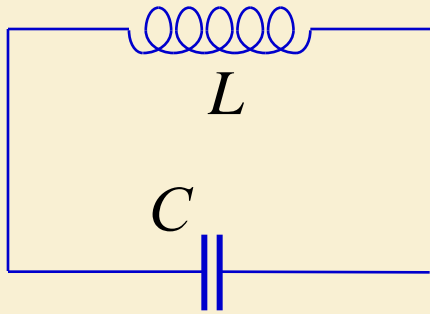
$$\frac{dI}{dt} = \frac{d^2 q}{dt^2} \equiv \ddot{q}; \quad \ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0;$$

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2; \quad \ddot{q} + \omega_0^2 q = 0$$

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \alpha)$$

} фаза
↖ начальная фаза

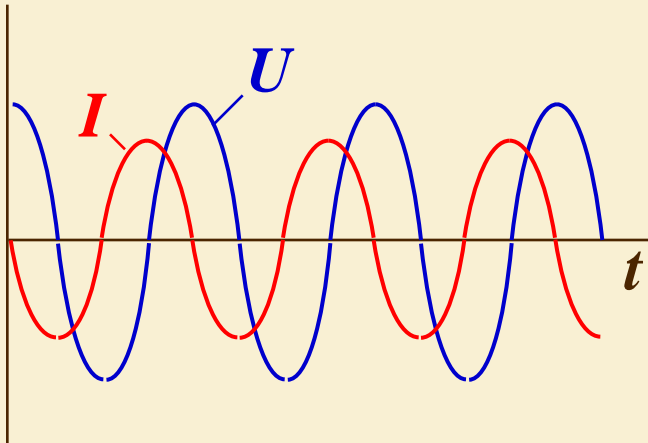
$$T = 2\pi\sqrt{LC} \text{ - формула Томсона}$$



Ток в контуре

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \alpha)$$

$I_m = q_m \omega_0$ - амплитуда тока. $I = I_m \cos(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2})$



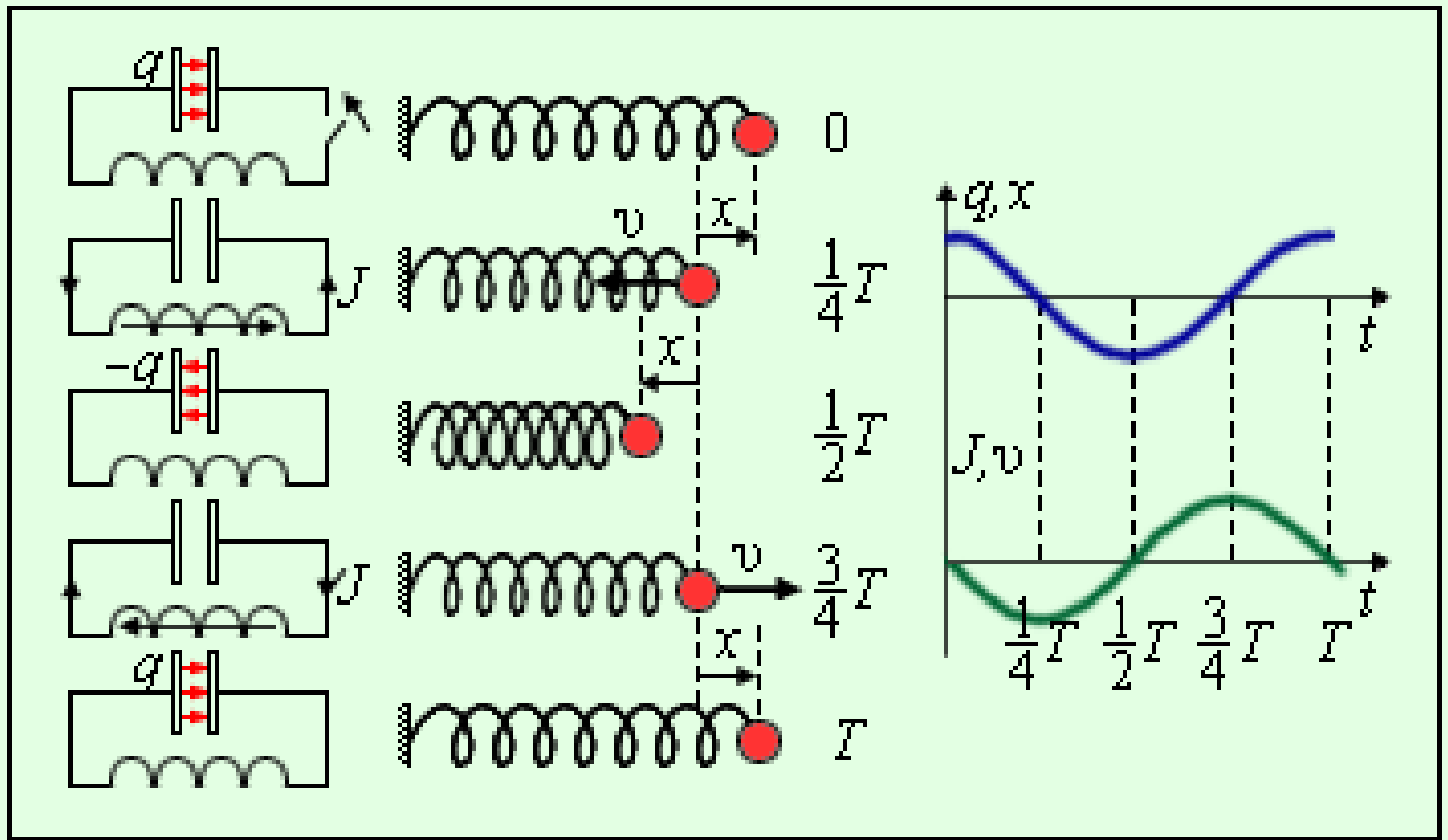
Напряжение на конденсаторе

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \alpha) = U_m \cos(\omega_0 t + \alpha)$$

Амплитуда напряжения:

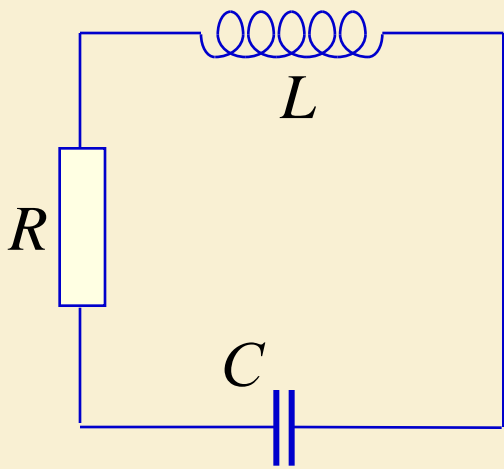
$$U_m = \frac{q_m}{C} = \frac{I_m}{\omega_0 C} = I_m \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Аналогия процессов свободных электрических и механических колебаний



Тема 9. Электрический колебательный контур

- 9.1. Колебательный контур без активного сопротивления (L-C – контур)
- 9.2. Затухающие колебания

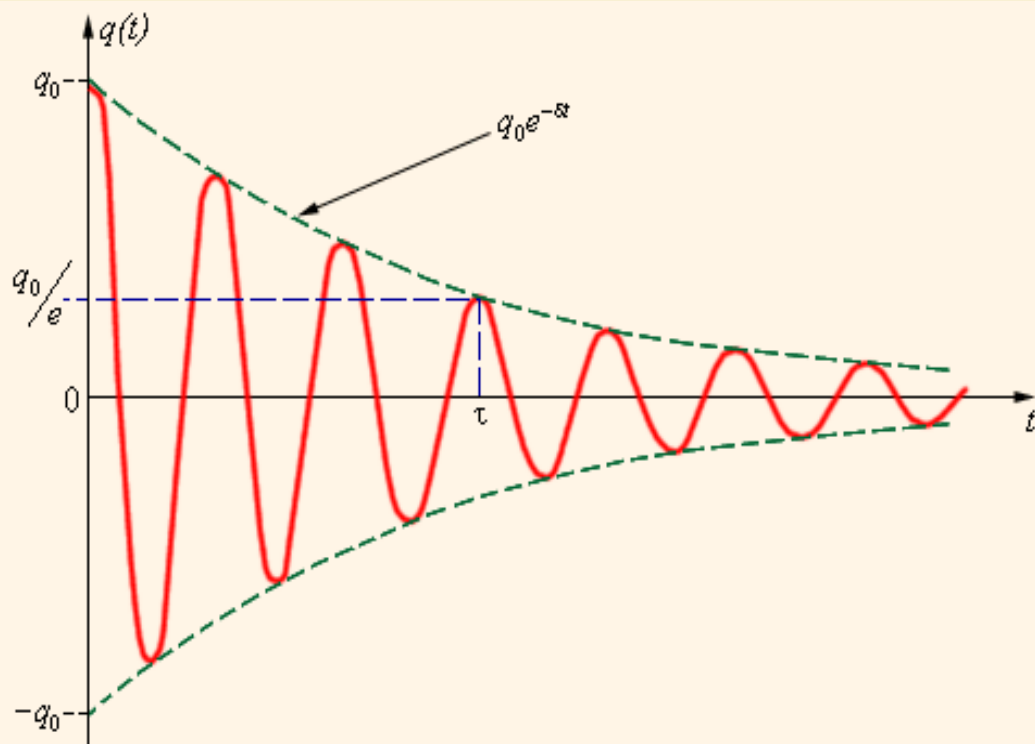


$$L \frac{dI}{dt} + IR + \frac{q}{C} = 0$$

$$\ddot{q} + 2\beta \dot{q} + \omega_0^2 q = 0;$$

$$2\beta = \frac{R}{L}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

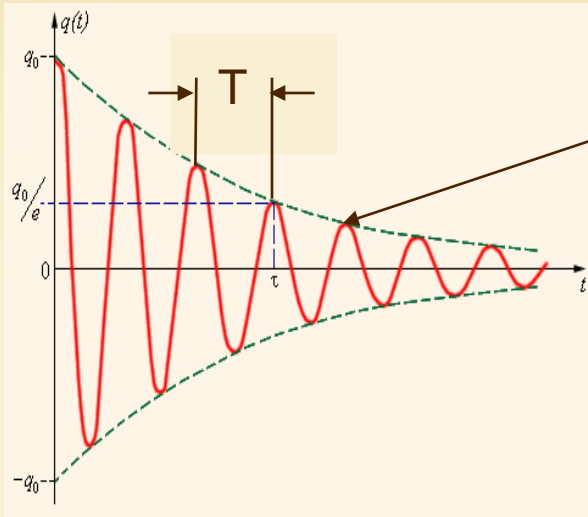
$$q = q_{m0} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$$



Тема 9. Электрический колебательный контур

- 9.2. Затухающие колебания
- 9.3. Логарифмический декремент затухания. Добротность контура

Логарифмический декремент затухания λ



$$q_m(t) = q_{m0} e^{-\beta t}; \quad \beta = \frac{R}{2L};$$

Декремент затухания:

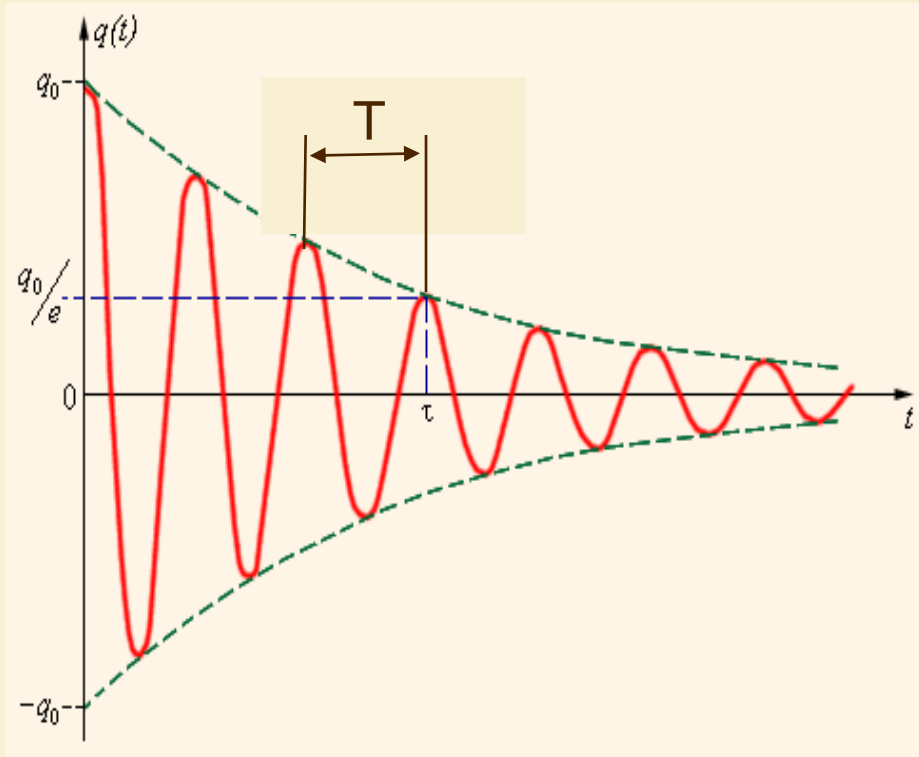
$$\Delta = \frac{q_m(t)}{q_m(t+T)} = \frac{q_{m0} e^{-\beta t}}{q_{m0} e^{-\beta(t+T)}} = e^{\beta T}$$

Логарифмический
декремент затухания:

$$\lambda = \ln \Delta = \beta T$$

Добротность Q

$$Q = 2\pi \frac{\text{Запас энергии в колебательной системе}}{\text{Потеря энергии за 1 период колебаний}}$$



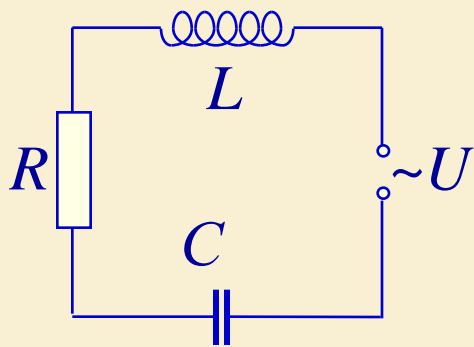
$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E}; \quad Q = \frac{\pi}{\lambda}$$

$$\lambda = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Тема 9. Электрический колебательный контур

- 9.3. Логарифмический декремент затухания.
Добротность контура
- 9.4. Вынужденные электрические колебания



$$L \frac{dI}{dt} + IR + \frac{q}{C} = U_m \cos \omega t \quad \omega - \text{частота источника}$$

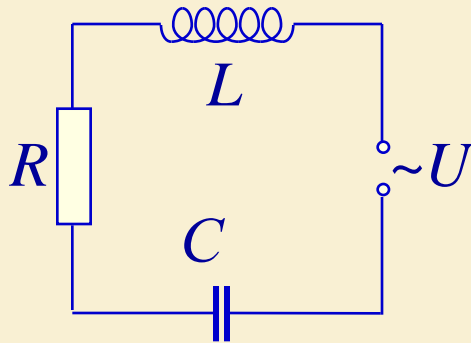
$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U_m}{L} \cos \omega t;$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}; \quad 2\beta = \frac{R}{L};$$

$$q = q_m(\omega) \cos(\omega t - \psi)$$

$$q_m(\omega) = \frac{U_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}$$



Векторная диаграмма

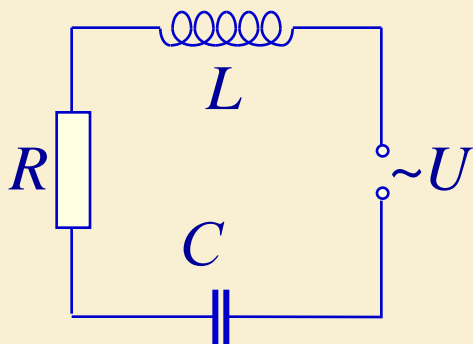
$$IR + \frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = U_m \cos \omega t$$

$$U_R + U_C + U_L = U_m \cos \omega t$$

$$U_R = IR = RI_m \cos(\omega t - \varphi) = U_{Rm} \cos(\omega t - \varphi)$$

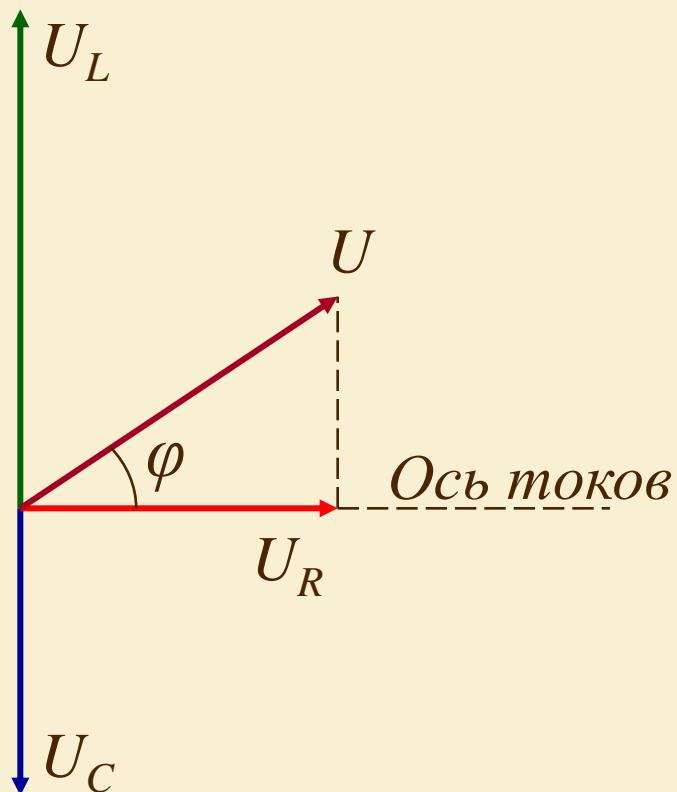
$$U_C = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t - \psi) = U_{Cm} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2})$$

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = -\omega LI_m \sin(\omega t - \varphi) = U_{Lm} \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2})$$



$$U = U_R + U_C + U_L$$

$$U = U_m \cos \omega t;$$

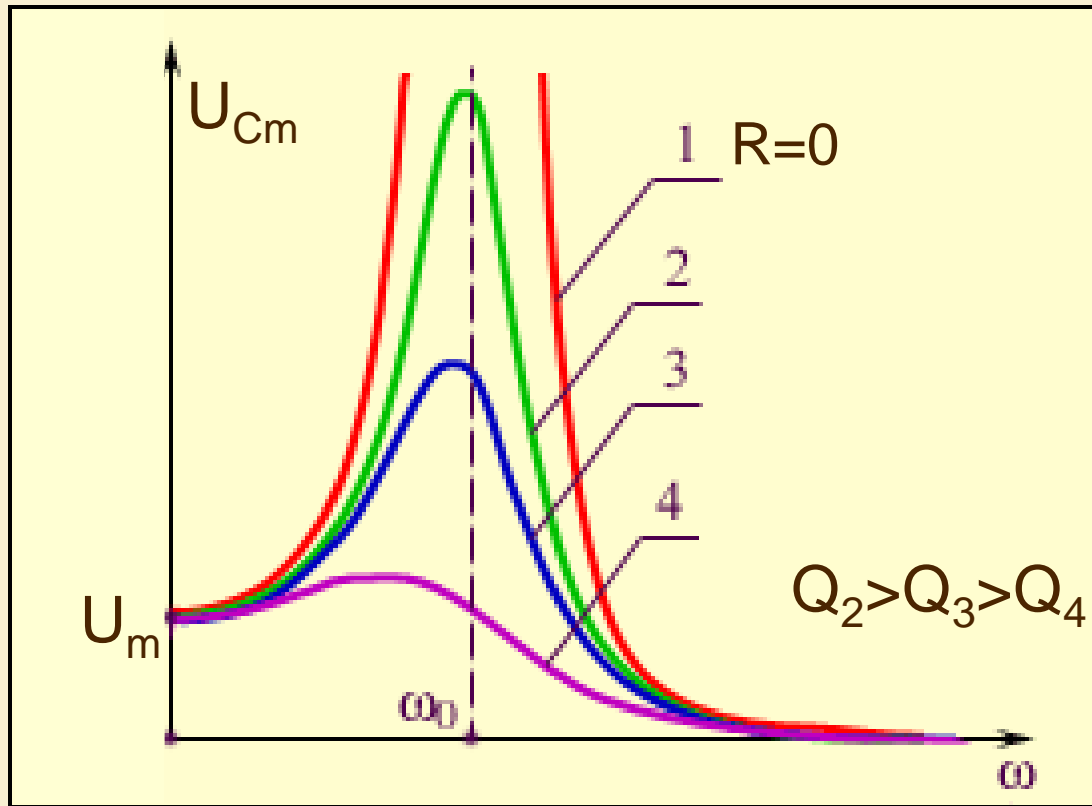


$$U_R = IR = U_{Rm} \cos(\omega t - \varphi)$$

$$U_L = U_{Lm} \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2})$$

$$U_C = U_{Cm} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2})$$

Резонансные кривые для заряда и напряжения на конденсаторе



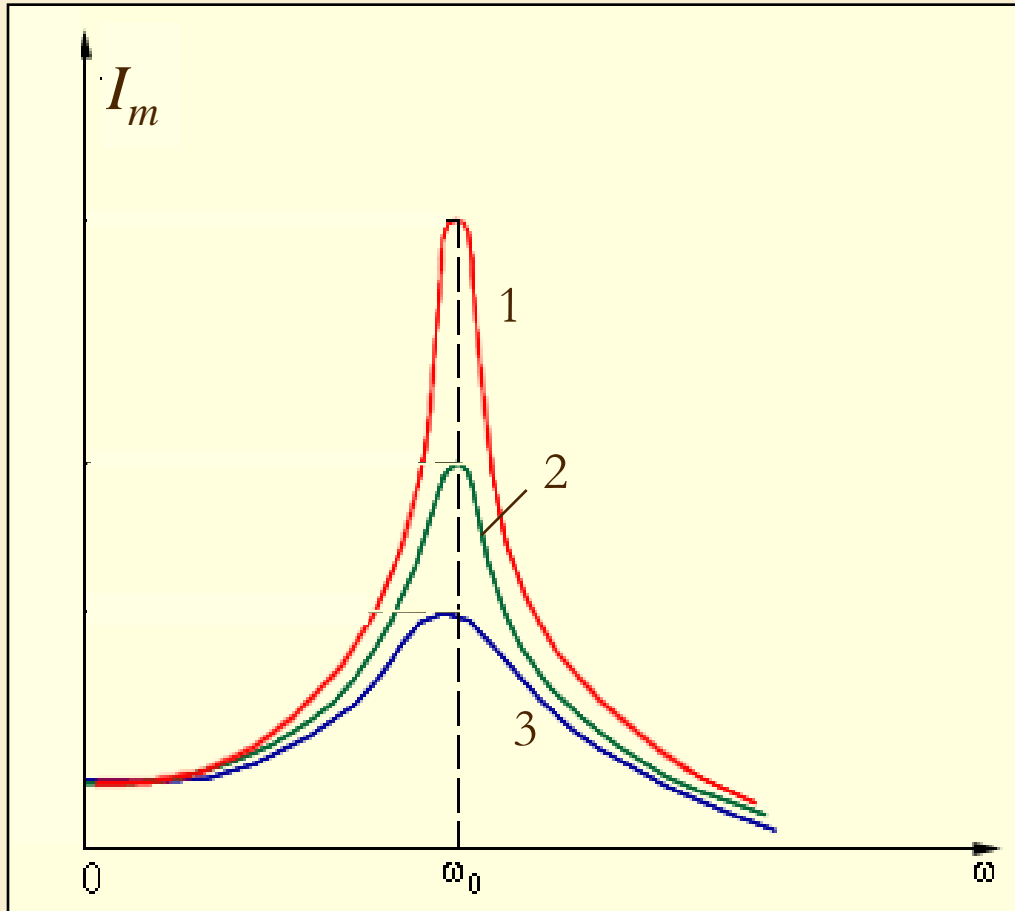
$$\omega_{U_{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$\omega_{U_{рез}} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$$

$$\omega_{U_{рез}} \leq \omega_0$$

- 1 - колебательная система без затухания;
2, 3, 4 – кривые при различной добротности

Резонансные кривые для силы тока



$$\omega_{I_{рез}} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

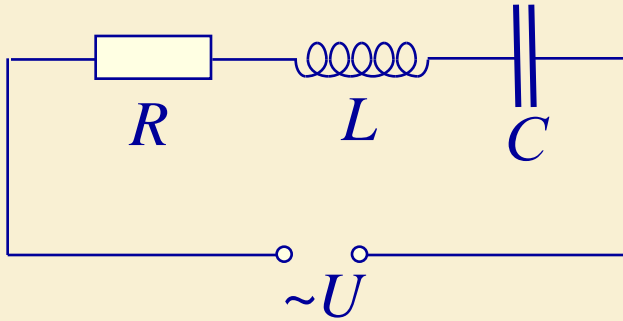
$$Q_1 > Q_2 > Q_3$$

Тема 9. Электрический колебательный контур

9.4. Вынужденные электрические колебания

9.5. Переменный ток. Импеданс.

Реактивное сопротивление



$$U = U_m \cos \omega t; \quad I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}$$

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

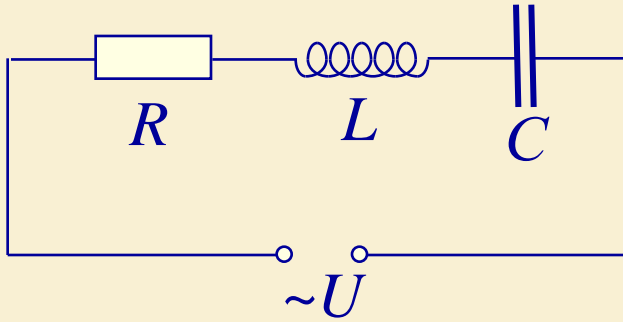
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

- полное электрическое сопротивление (импеданс)

R – активное сопротивление

$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

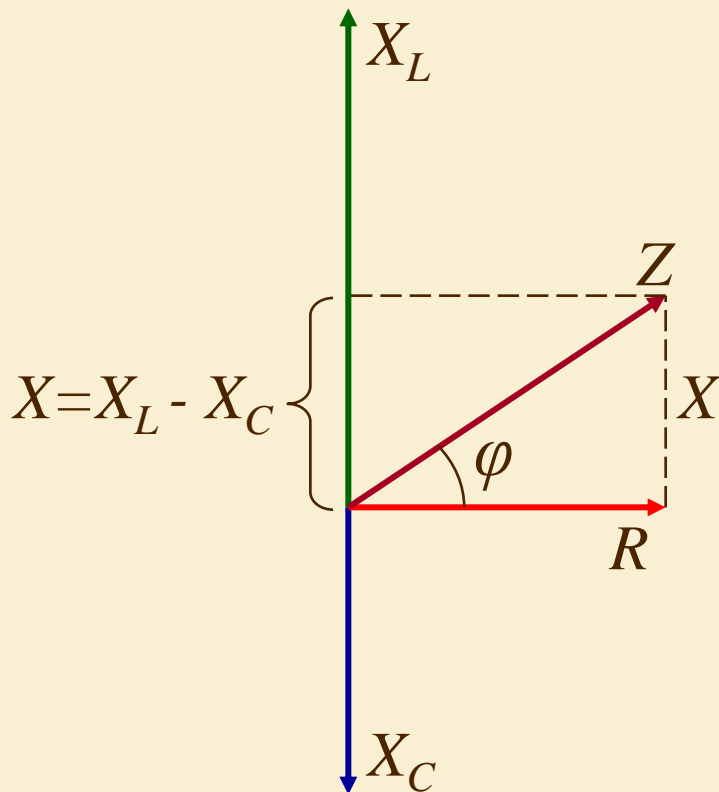
– реактивное сопротивление (реактанс)



$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = X_L - X_C$$

$X_L = \omega L$ — реактивное индуктивное сопротивление

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ — реактивное емкостное сопротивление



$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R} = \\ &= \frac{X}{R} = \frac{X_L - X_C}{R} \end{aligned}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\langle P \rangle = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi$$