

Лекция №12

Средства измерения параметров
электрических цепей

РТ Цепи

- С сосредоточенными параметрами
 - $\lambda \gg L$
- С распределенными параметрами
 - $\lambda \approx L$

Цепи с сосредоточенными параметрами



$$Z(j\omega) = R + jX(\omega) = |Z(j\omega)| \cdot e^{j\Phi(\omega)}$$

$$|Z(j\omega)| = \sqrt{R^2 + X(\omega)^2} \quad \Phi(\omega) = \text{arctg}(X(\omega)/R)$$

$$X_L = \omega \cdot L \quad X_C = 1/(\omega \cdot C)$$



$$K(j\omega) = U_{\text{вых}}(j\omega)/U_{\text{вх}}(j\omega)$$

$$K(j\omega) = |K(j\omega)| \cdot e^{j\Phi(\omega)}$$

$$|K(j\omega)| = |U_{\text{ВЫХ}}(j\omega)|/|U_{\text{ВХ}}(j\omega)|$$

Классификация элементов цепей с сосредоточенными параметр.

- резистор
- конденсатор
- катушка индуктивности

имеют **эффективные** и **паразитные** параметры

Имеряемые параметры

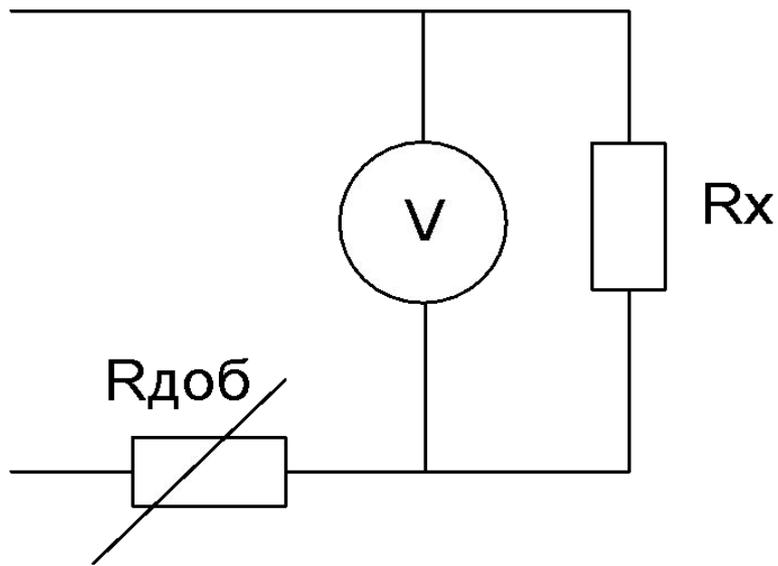
- Первичные
 - Сопротивление R
 - Проводимость Y
 - индуктивность L
 - емкость C
- Вторичные
 - добротность Q
 - тангенс угла потерь δ

Измерение активных сопротивлений

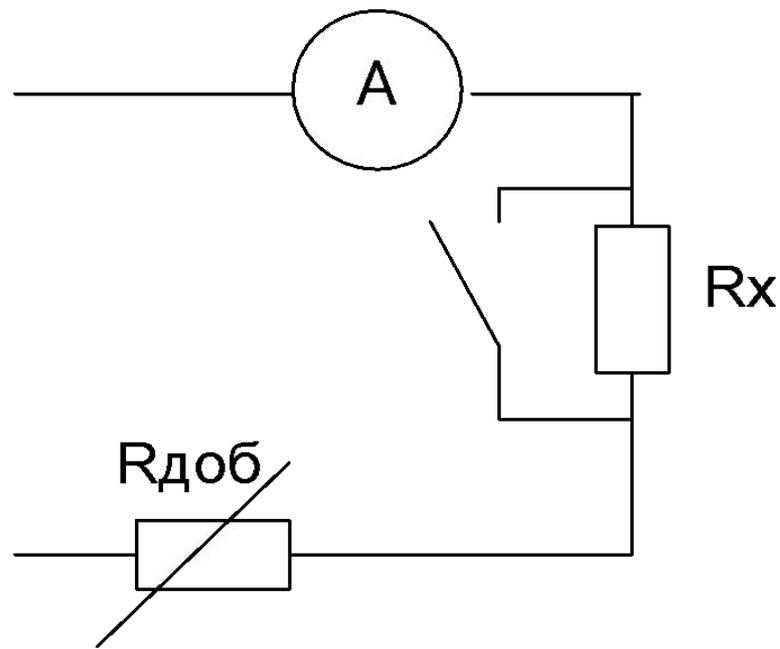
- на постоянном токе
- на переменном токе (при наличии индуктивностей с сердечниками)

- метод амперметра/вольтметра
- логометрический
- мостовой

Метод амперметра вольтметра



$$U = E_n \frac{R_x}{R_{доб} + R_x}$$



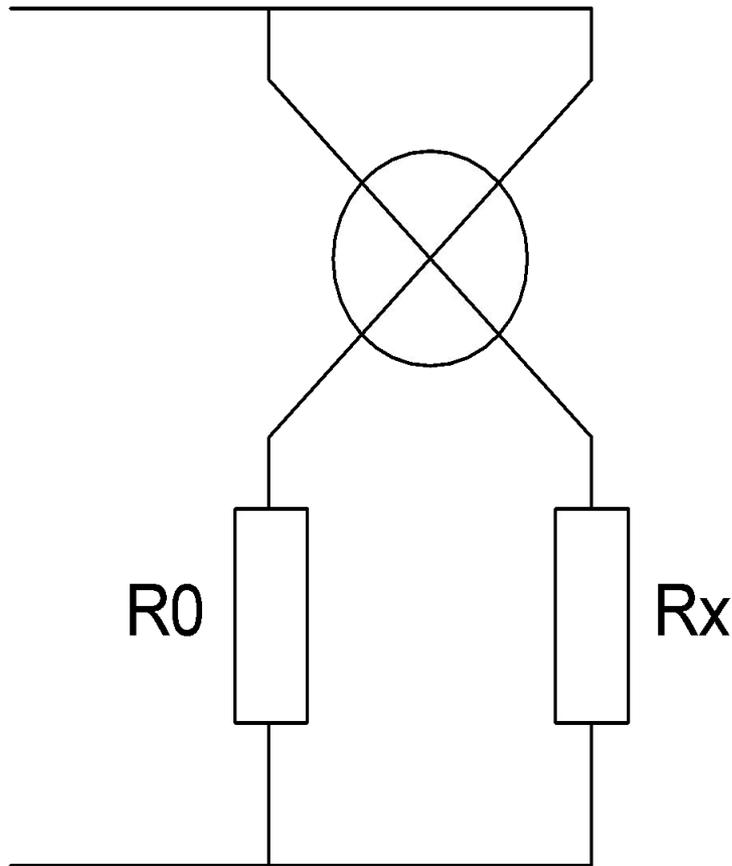
$$I = \frac{E_n}{R_{доб} + R_x}$$

Методические погрешности

$$\Delta R_x = -\frac{R_x^2}{R_x + R_v} \quad \delta R_x = -\frac{R_x}{R_x + R_v} 100$$

$$\Delta R_x = R_A \quad \delta R_x = -\frac{R_A}{R_x} 100$$

Логометрический метод



$$M_0 = M_x; \quad \Psi_0(\alpha) \cdot I_0 = \Psi_x(\alpha) \cdot I_x$$

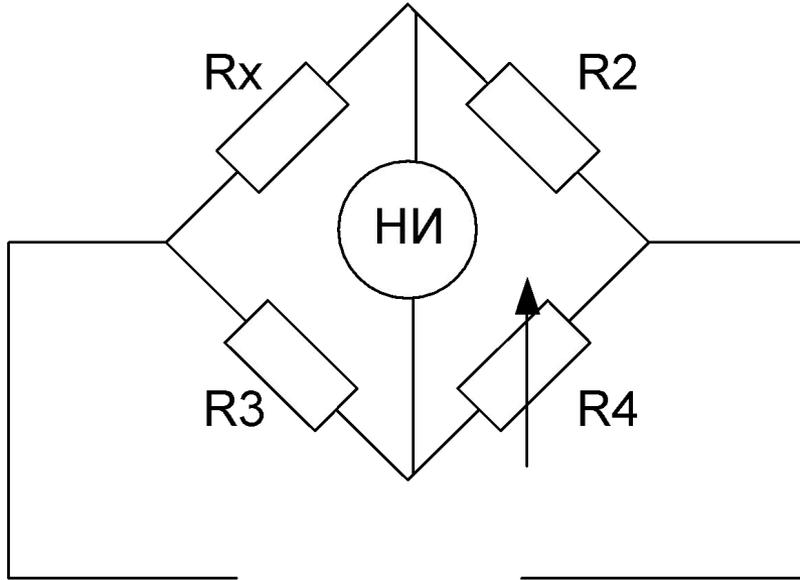
$$\alpha = F(I_1 / I_x) = F\left(\frac{R_p + R_x}{R_p + R_0}\right)$$

$$I_0 = \frac{E}{R_p + R_0}; \quad I_x = \frac{E}{R_p + R_x};$$

Мостовой метод

- сравнение с мерой
- ручная или автоматическая настройка
- высокая чувствительность
- широкий диапазон величин

4-плечий уравновешенный мост на постоянном токе

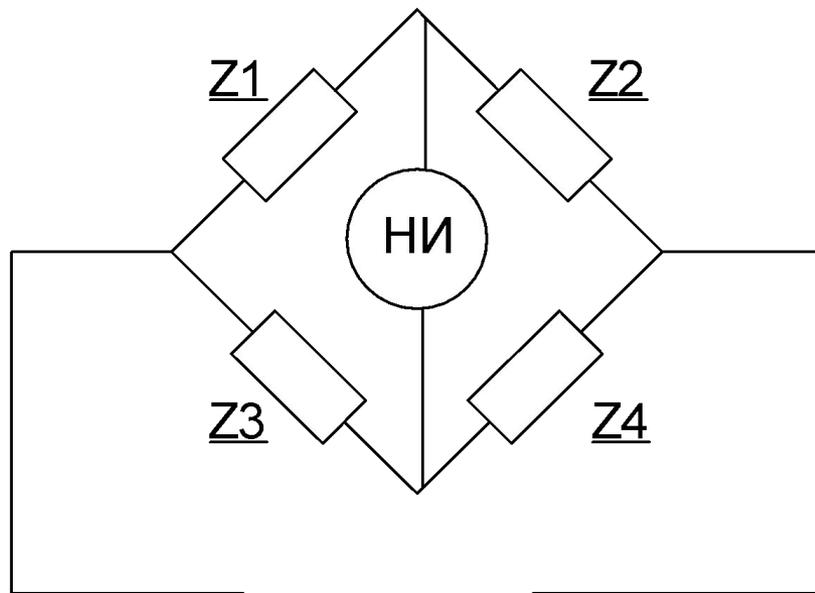


$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Методы измерения реактивных параметров

- Мостовой
- Резонансный
- Цифровой

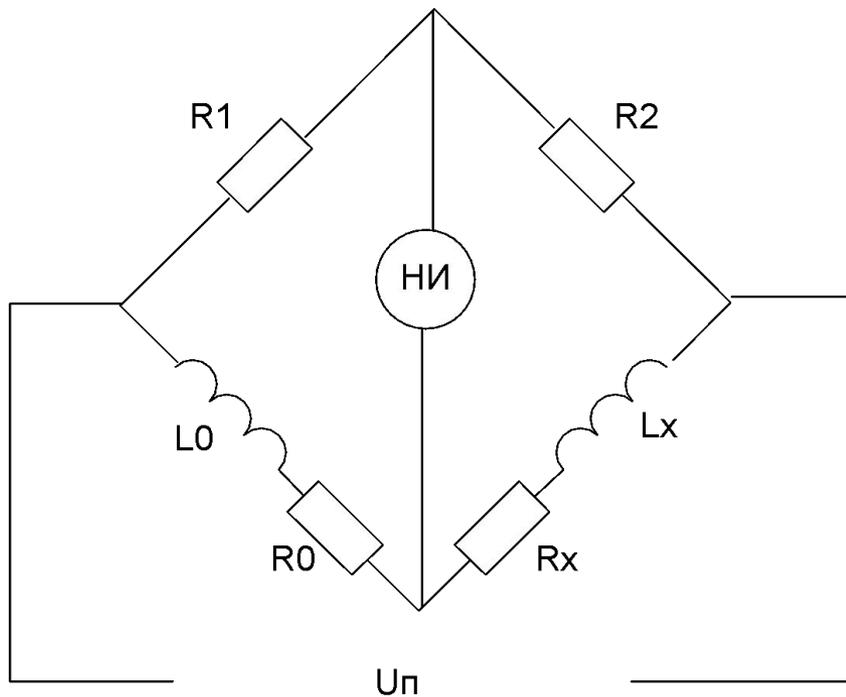
Мостовой метод



$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$$

Мостовой метод измерения L

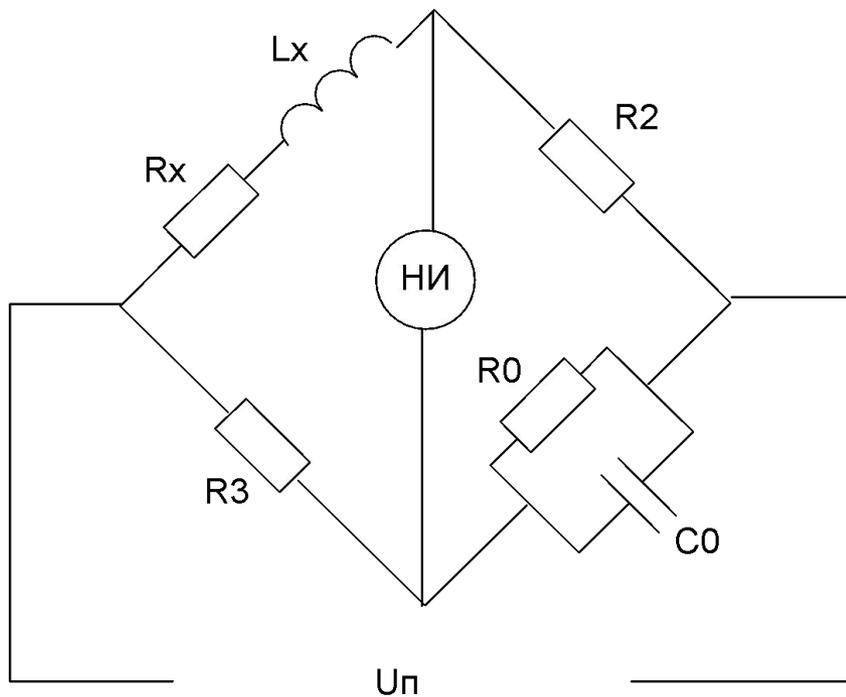


$$R_1(R_x + j\omega L_x) = R_2(R_0 + j\omega L_0)$$

$$L_x = L_0 \cdot R_2 / R_1;$$

$$R_x = R_0 \cdot R_2 / R_1;$$

Мостовой метод измерения L



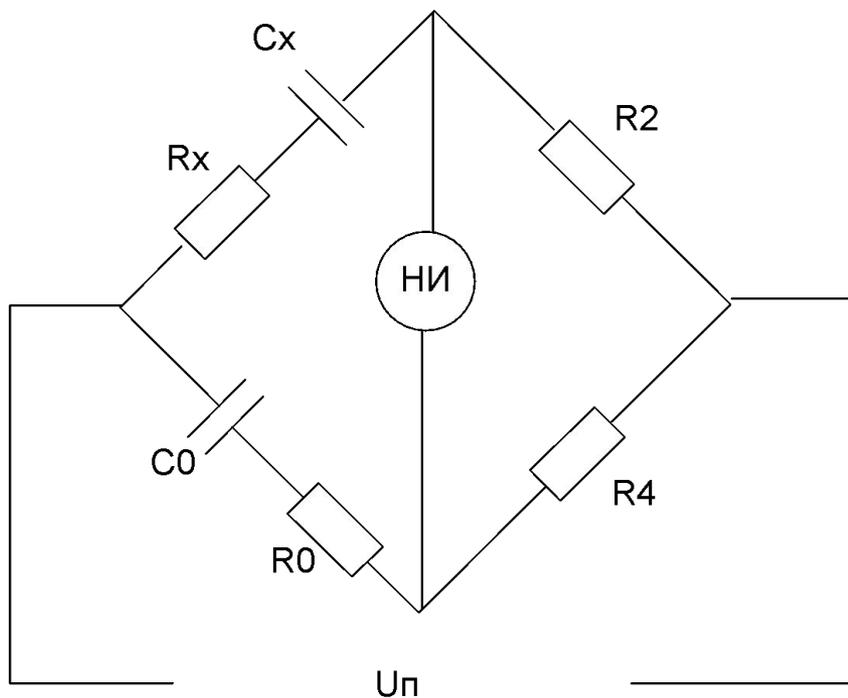
$$(R_x + j\omega L_x) = R_2 R_3 (1/R_0 + j\omega C_0)$$

$$L_x = C_0 \cdot R_2 \cdot R_3;$$

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / R_0;$$

$$Q_x = \omega \cdot L_x / R_x = R_0 \cdot \omega \cdot C_0$$

Мостовой метод измерения С



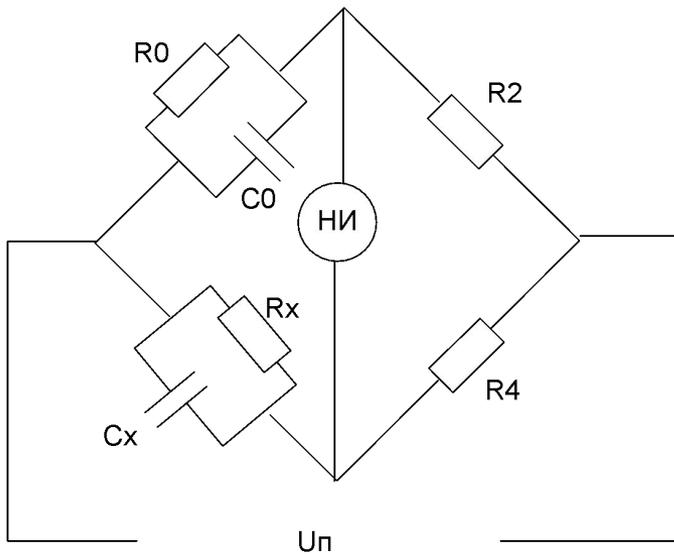
$$R_4 [R_x + 1/(j\omega C_x)] = R_2 [R_0 + 1/(j\omega C_0)]$$

$$C_x = C_0 \cdot R_4 / R_2;$$

$$R_x = R_2 \cdot R_0 / R_4;$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega \cdot C_x \cdot R_x = R_0 \cdot \omega \cdot C_0$$

Мостовой метод измерения C



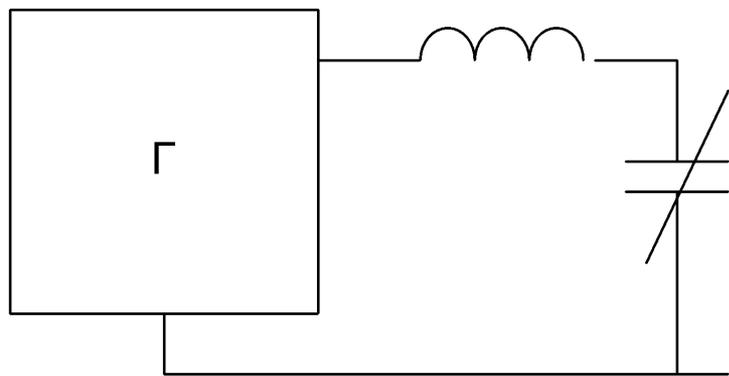
$$R_4 R_x [1 + j\omega C_0 R_0] = R_2 R_0 (1 + j\omega C_x R_x)$$

$$C_x = C_0 \cdot R_4 / R_2;$$

$$R_x = R_2 \cdot R_0 / R_4;$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = 1 / (\omega \cdot C_x \cdot R_x) = 1 / (R_0 \cdot \omega \cdot C_0)$$

Резонансный метод



$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x(C_{\vartheta1} + C_{Lx})}};$$

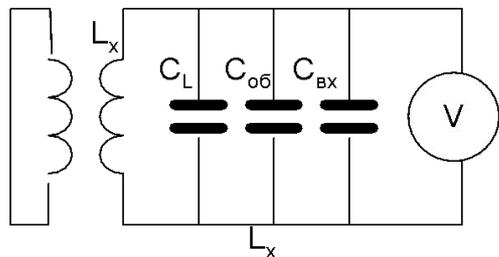
$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x(C_{\vartheta2} + C_{Lx})}}$$

$$f_{p1} = K \cdot f_{p2}$$

$$L_x = \frac{K^2 - 1}{(2\pi f_{p1})^2 (C_{\vartheta2} - C_{\vartheta1})}$$

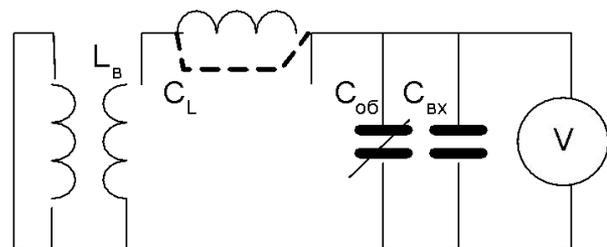
$$C_{Lx} = \frac{C_{\vartheta2} - C_{\vartheta1} K^2}{K^2 - 1}$$

Измерение L



100 мкГн,

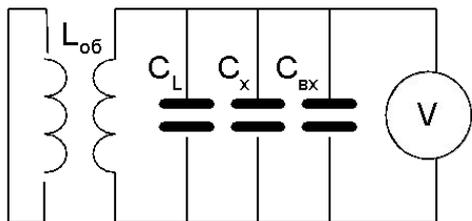
$$L_x = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (C + C_L)}$$



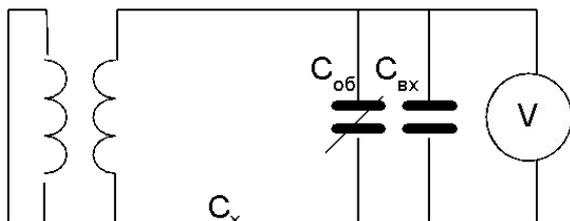
10 мкГн

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_B C_{об1}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_B + L_x)C_{об2}}}$$

Измерение С

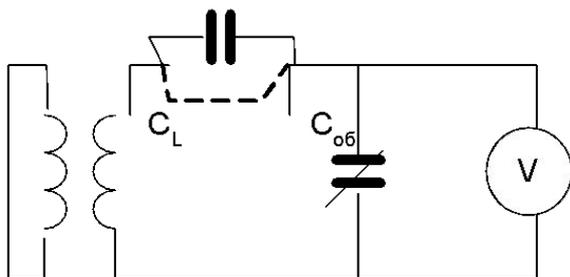


$$C_x = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L_{об}} - C_L - C_{BX}$$



$$C_{об\min} < C_x < C_{об\max}$$

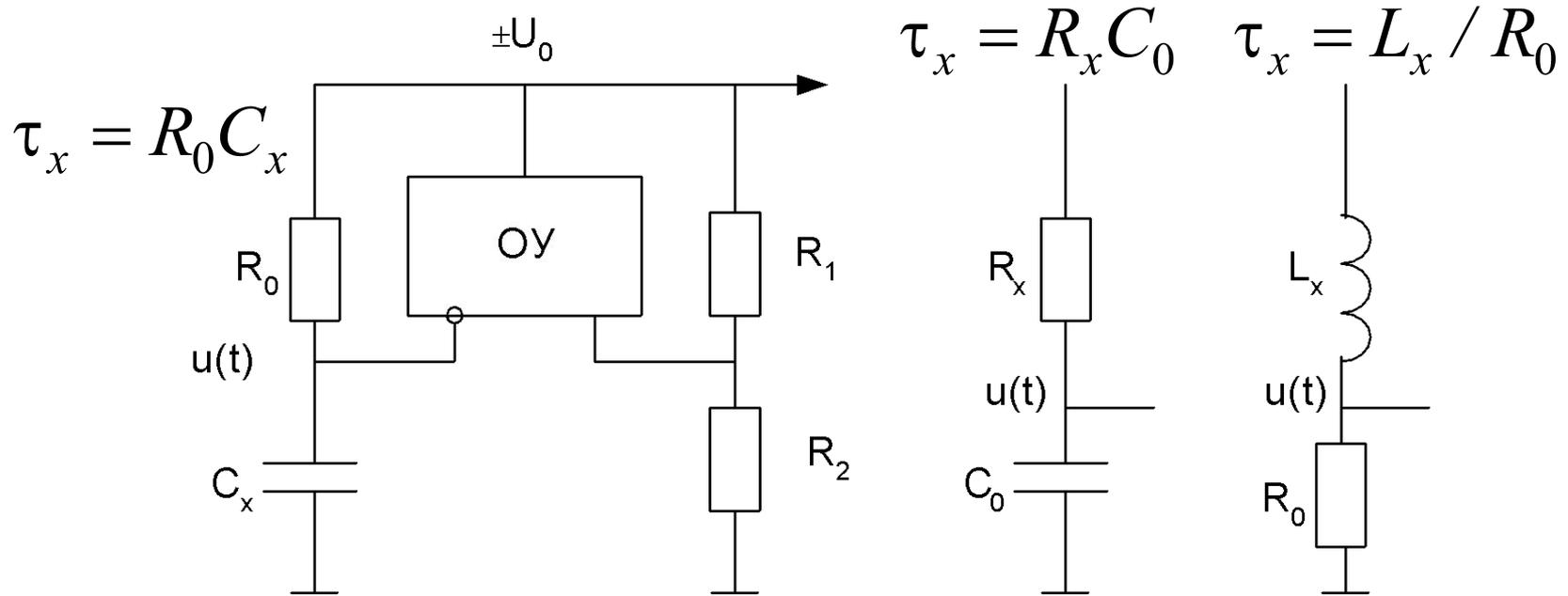
$$C_x = C_1 - C_2$$



$$C_x = \frac{C_{об1} \cdot C_{об2}}{C_{об1} - C_{об2}} \quad C_x > C_{об\max}$$

$$d = R \cdot \omega_0 \cdot C_0 = \frac{C_2 - C_1}{2C_0}$$

Метод дискретного счета



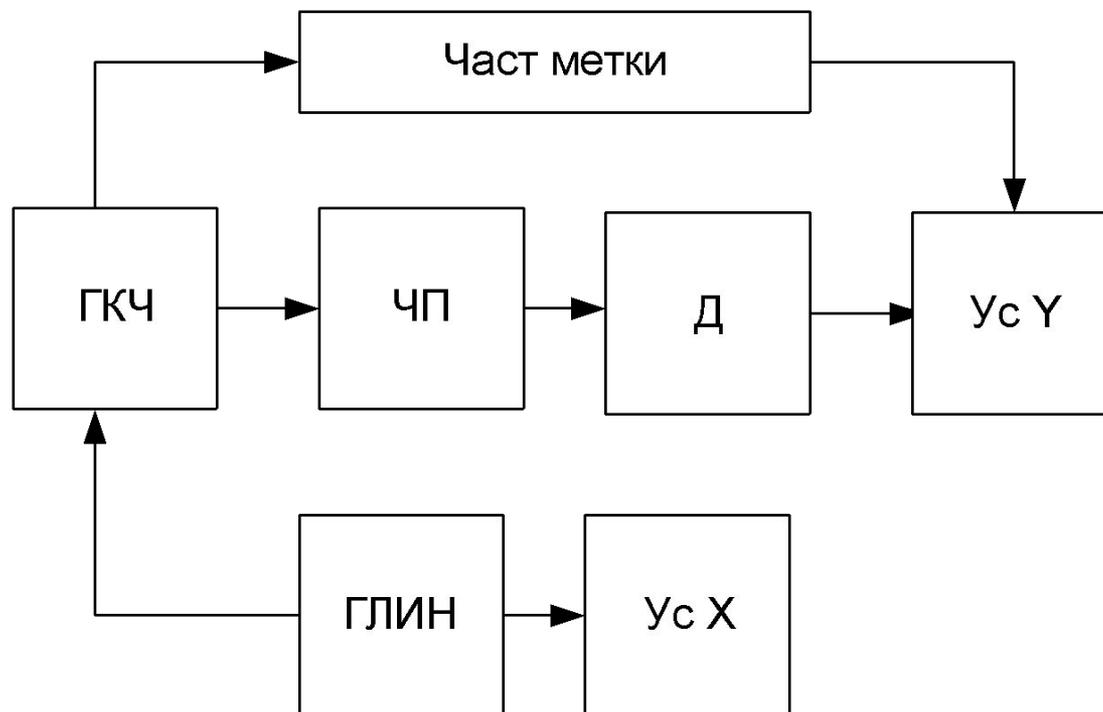
$$u(t) = U_0(1 + \beta)(1 - e^{-t/\tau_x}) - \beta U_0$$

$$\beta = R_2 / (R_1 + R_2) \quad T_x = T_1 + T_2 = 2\tau_x \cdot \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$

Измерители АЧХ

- Генератор + Вольтметр
- Панорамный измеритель
- Погрешности
 - измерения амплитуды
 - измерения частоты
 - нелинейность
- Выходное сопротивление для активных - большое, для пассивных - малое

Панорамный измеритель АЧХ



Заключение

- Методы измерения параметров цепей в основном косвенные
- Измерения параметров цепей сводятся к измерению реакции на воздействие
- Рабочие формулы следуют из законов теории цепей

Контрольные вопросы

- Поясните сущность метода аперметра – вольтметра.
- Какие требования предъявляются к сигналу, вырабатываемому ГКЧ в составе панорамного измерителя АЧХ?
- Чем определяется способ включения эталонных индуктивностей и емкостей в измерительный мост?
- Запишите уравнение резонанса для LC контура.
- Каким образом измеряют емкость резонансным методом?