

**Метрологія, стандартизація та
підтвердження відповідності електронної апаратури**

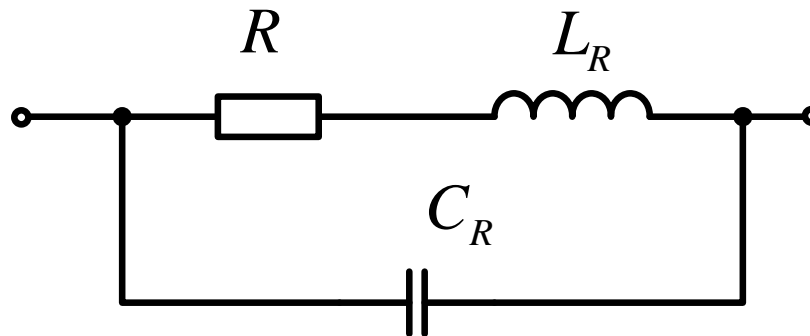
**Вимірювання параметрів компонентів кіл і
пристроїв**

Загальні положення

Мова йде про вимірювання параметрів лінійних пасивних двополюсників – резисторів, конденсаторів і котушок індуктивності.

Ці елементи характеризують основними та паразитними (супутніми) параметрами. Паразитні параметри потрібно враховувати при визначенні верхньої границі частоти змінного струму, який протікає даним елементом.

Для **резистора** основним параметром є опір електричному струму R , а паразитними – індуктивність виводів L_R та ємність між выводами C_R .

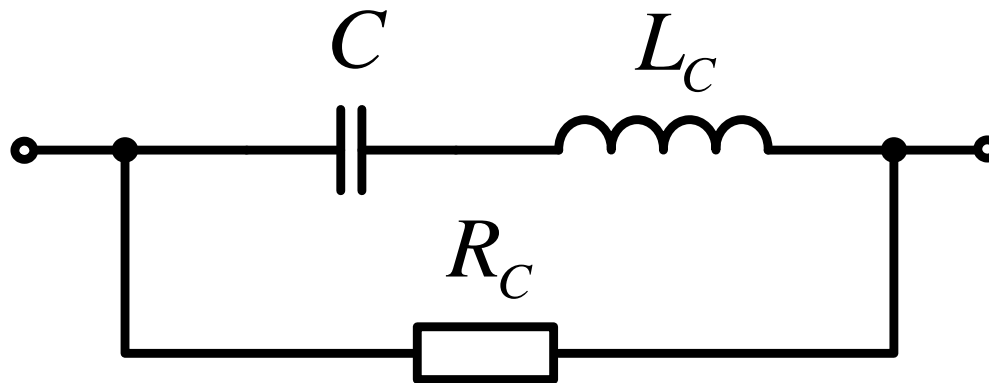


Еквівалентна схема резистора

У поверхневих резисторів значення паразитних параметрів значно менші, ніж у дровових.

Загальні положення

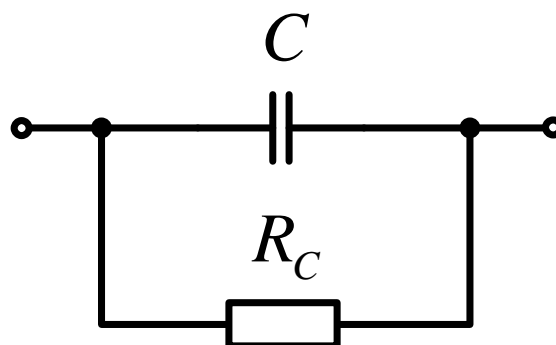
Основний параметр **конденсатора** – ємність C , а паразитні – індуктивність пластин і виводів L_C та опір втрат, головним чином у діелектрику R_C .



Повна еквівалентна схема конденсатора

Загальні положення

У більшості конструкцій конденсаторів індуктивність виводів маленька, і нею можна знехтувати. Тому еквівалентна схема спрощується – рисунок.



Еквівалентна схема конденсатора на НЧ (паралельна схема)

Комплексний опір конденсатора при цьому

$$\dot{Z}_C = \frac{R_C}{1 + i\omega R_C C},$$

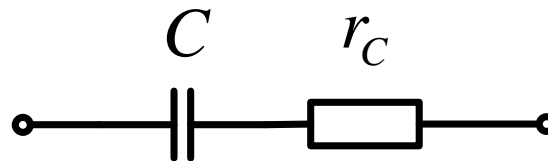
а тангенс кута діелектричних втрат

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega R_C C}.$$

Загальні положення

Еквівалентну схему конденсатора можна також описати послідовним з'єднанням ємності та опору r_C

$$r_C = \frac{1}{\omega^2 C^2 R_C}.$$



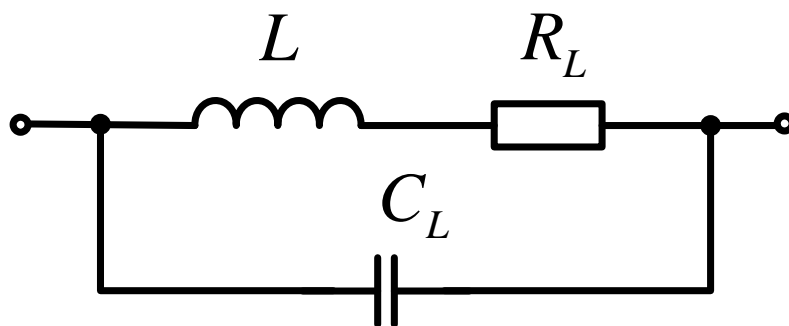
Еквівалентна схема конденсатора на НЧ (послідовна схема)

Тоді

$$\dot{Z}_C = r_C + \frac{1}{i\omega C}, \quad \operatorname{tg} \delta = r_C \omega C.$$

Загальні положення

Для **катушки індуктивності** (рисунок) основним параметром є індуктивність L , паразитними – опір втрат R_L та власна ємність катушки C_L .



Повна еквівалентна схема катушки індуктивності

Важливий параметр катушки – її власна резонансна частота:

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}}$$

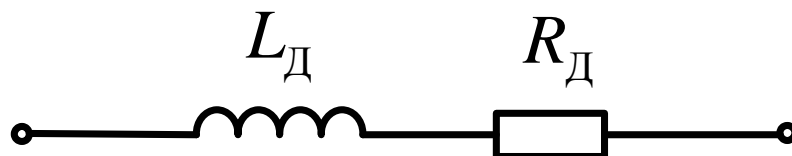
та добротність

$$Q = \omega L / R_L,$$

$\omega = 2\pi f$, f - частота струму в електрично му колі.

Загальні положення

При вимірюваннях використовують іншу еквівалентну схему котушки індуктивності – рисунок



Еквівалентна схема котушки індуктивності на НЧ

Показані на схемі параметри називають діючими:

$$L_D = \frac{L}{1 - (f/f_L)^2},$$

$$R_D = \frac{R_L}{[1 - (f/f_L)^2]^2}.$$

Звідси комплексний опір котушки індуктивності:

$$\dot{Z}_L = R_D + i\omega L_D.$$

Загальні положення

Якщо $f \leq 0,1f_L$ то з похибкою, меншою, ніж 1 %, можна вважати, що

$$L \approx L_d \text{ і } R_L \approx L_d.$$

Для відбирання чи перевірки резисторів, конденсаторів і котушок індуктивності вимірюють головним чином основні параметри, проте на високих частотах доводиться враховувати та вимірювати і паразитні.

Для таких вимірювань використовують методи:

- вольтметра та амперметра;
- мостовий;
- резонансний;
- дискретного підрахунку.

Метод вольтметра та амперметра

Цим методом вимірюють опір резистора на постійному струмові.

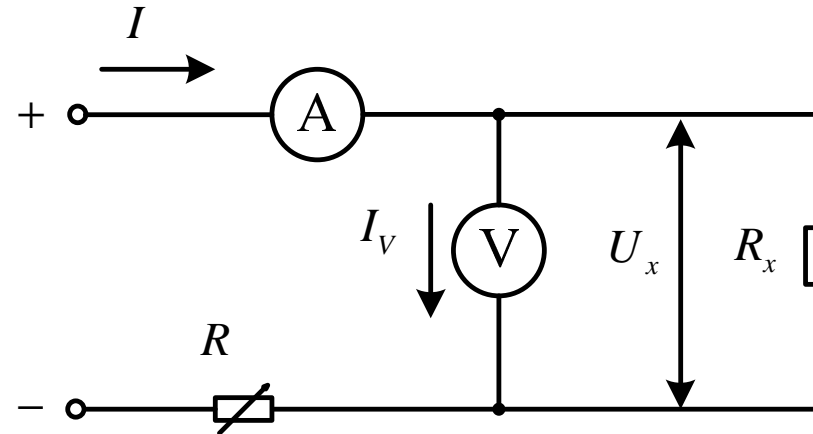


Схема для вимірювання малих опорів

Якщо $R_V \gg R_x$, то $R_x \approx U_x / I$.

Абсолютна методична похибка $\Delta R_x = -\frac{R_x^2}{R_x + R_V}$;

Відносна похибка $\delta = -\frac{R_x}{R_x + R_V}$.

Метод вольтметра та амперметра

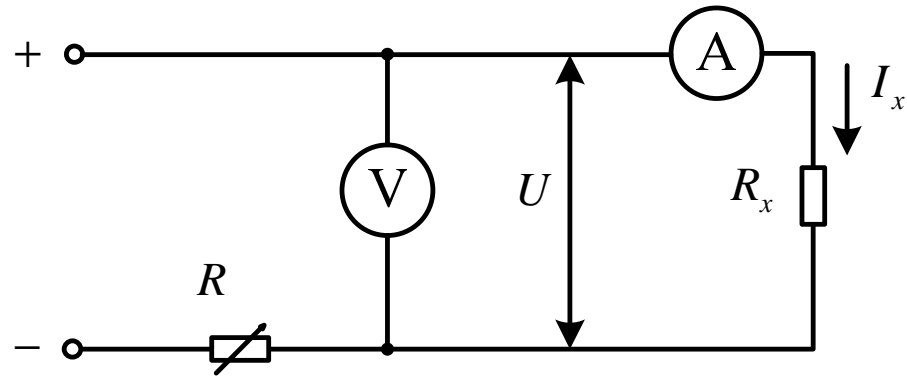


Схема для вимірювання великих опорів

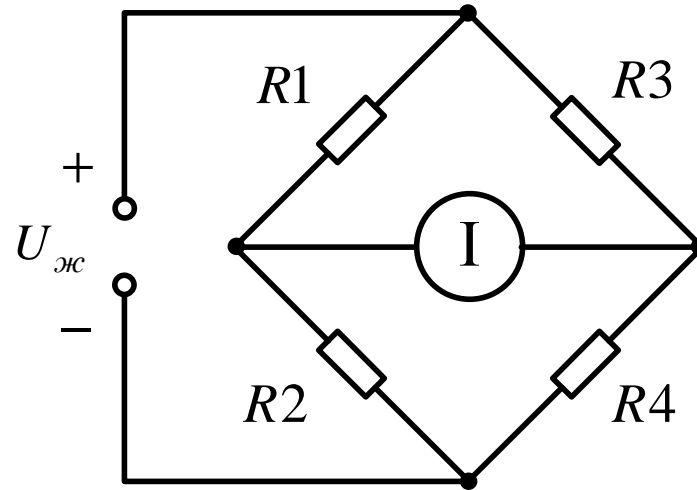
Якщо $R_A \ll R_x$, то $R_x \approx U/I_x$.

Абсолютна методична похибка $\Delta R_x = R_A$;

Відносна похибка $\delta = \frac{R_A}{R_x}$.

Мостовий метод

Одинарний міст постійного струму – рисунок.



У момент рівноваги мосту

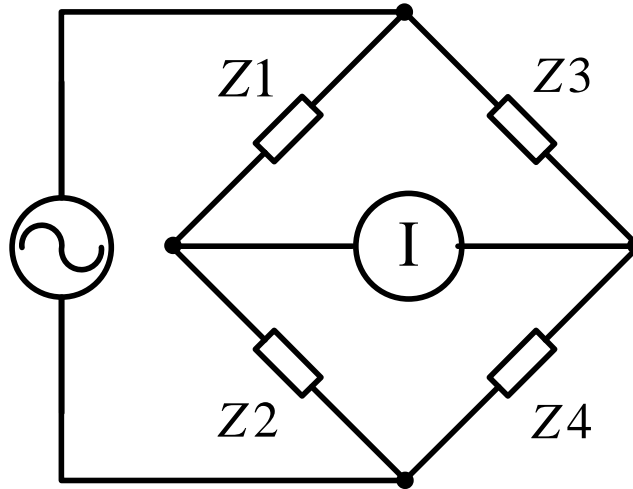
$$R_1 R_4 = R_2 R_3,$$

струм через індикатор I дорівнює нулю. Тоді, якщо невідомий опір $R_1 = R_x$, то

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

Мостовий метод

Одинарний міст змінного струму – рисунок.



Умова рівноваги такого мосту:

$$\dot{Z}_1 \dot{Z}_4 = \dot{Z}_2 \dot{Z}_3 \Leftrightarrow |\dot{Z}_1| e^{i\varphi_1} |\dot{Z}_4| e^{i\varphi_4} = |\dot{Z}_2| e^{i\varphi_2} |\dot{Z}_3| e^{i\varphi_3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} |\dot{Z}_1| |\dot{Z}_4| = |\dot{Z}_2| |\dot{Z}_3|; \\ \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3. \end{cases}$$

Мостовий метод

Це означає, що **міст змінного струму потрібно врівноважувати за активною та реактивною складовими плечей**, тобто рівновага здійснюється за модулями та фазами.

При цьому потрібно витримати такий **порядок включення двополюсників відносно один одного:**

- у протилежних плечах повинні бути реактивності протилежних знаків (наприклад, якщо у першому плечі індуктивний опір, то у четвертому плечі – ємнісний опір, у двох інших плечах – активні опори);
- у суміжних плечах повинні бути реактивності одного знаку (наприклад, якщо у першому плечі індуктивний опір, то у третьому плечі – також індуктивний опір, у двох інших плечах – активні опори);
- одночасно у всі плечі можна включати опори однакового характеру.

Інакше такий міст не збалансувати!

Резонансний метод та метод дискретного підрахунку

Принцип резонансного методу: визначення резонансної частоти коливального контура, який складається зі зразкового та вимірюваного елементів.

У момент резонансу

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Одна з величин у правій частині відома (це зразковий елемент, його шкалу проградуєвано), інша – вимірювана. Коливальний контур має проградуєвану частотну шкалу, тому легко дізнатись частоту резонансу.

Принцип методу дискретного підрахунку: вимірювання кількості періодів затухаючих коливань у контурі ударного збудження.