

4.2 Měření rezonanční křivky sériového a paralelního oscilačního obvodu

Prostudujte



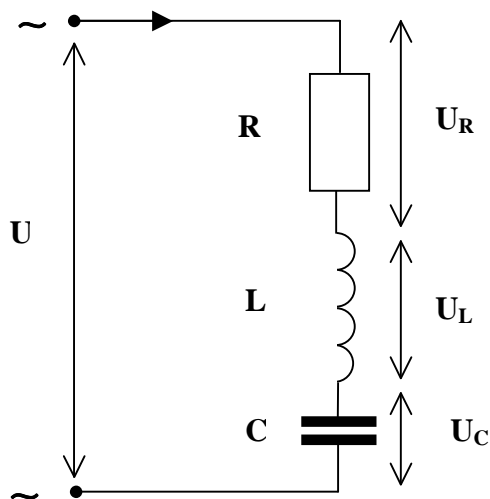
BROŽ, J. *Základy fyzikálních měření*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983, čl. 4.4.4.1a, 4.4.4.1b, 4.4.4.2.

Princip měření

U obvodů se střídavým proudem hrají důležitou roli rezonanční obvody s prvky: rezistor R , cívka L , kondenzátor C . Pro jejich vzájemnou kombinaci v obvodu se užívají zkratky: RLC , LC , RL , RC .

Rezistor, cívku a kondenzátor můžeme v základním zapojení vzájemně uspořádat do sériového nebo paralelního obvodu.

a) Sériový rezonanční obvod



Obr. 4.3: Náhradní schéma sériového obvodu

Impedance Z tohoto obvodu, v komplexní symbolice, je dána vztahem

$$\hat{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right), \quad (1)$$

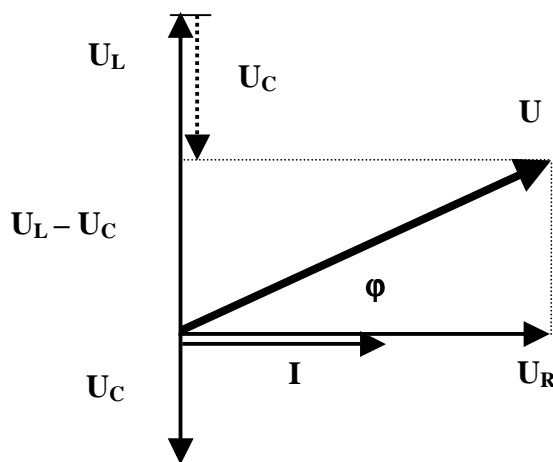
kde j je imaginární jednotka, ω je úhlová frekvence. Mezi proudem I a napětím U platí vztah

$$\hat{U} = \hat{Z} \cdot \hat{I}.$$

Sériový rezonanční obvod je tvořen cívkou, kondenzátorem a rezistorem. Protože skutečná cívka má i určitý ohmický odpor, někdy jej považujeme za součást obvodu. Náhradní schéma sériového obvodu je znázorněno na obr. 4.3.

Mezi efektivními hodnotami proudu a napětí dostáváme postupně vztah

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



Obr. 4.4: Fázorový diagram sériového RLC obvodu

Proud protékající obvodem je obecně fázově posunut vůči napětí o fázový posun φ , pro nějž z obr. 4.4 platí

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{I \cdot \omega L - I \frac{1}{\omega C}}{I \cdot R} = \frac{I \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{I \cdot R}$$

a odtud

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (3)$$

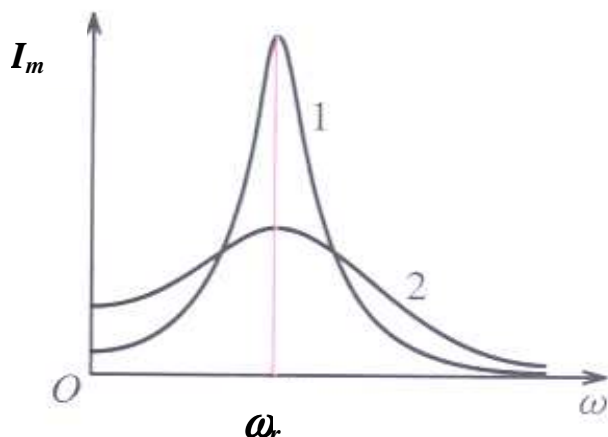
V sériovém obvodu dochází k napětové rezonanci. Impedance obvodu při rezonanci je minimální, efektivní hodnoty proudu dosahují svého maxima a fázový posun φ mezi proudem a napětím je nulový. Pak pro rezonanční úhlovou frekvenci bude platit

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (4)$$

respektive

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (5)$$

Závislost proudu I na kmitočtu f znázorňujeme graficky rezonanční křivkou (proudovou rezonanční křivkou), která při rezonanci dosahuje svého maxima. Jako proměnnou volíme frekvenci, napětí udržujeme konstantní.



Obr. 4.5: Resonanční křivka sériového oscilačního obvodu

Na obr. 4.5 jsou znázorněny dvě křivky závislosti napětí v RLC obvodu na frekvenci procházejícího proudu při různých odporech. Křivky 1 a 2 ukazují vzrůst proudu při rezonanční frekvenci ω_r .

Resonanční křivka by měla být co nejúžší. Její šířku charakterizuje činitel jakosti, pro nějž platí

$$Q = \frac{2\pi f_r \cdot L}{R}$$

a měl by mít hodnotu přibližně 100.

Úkoly

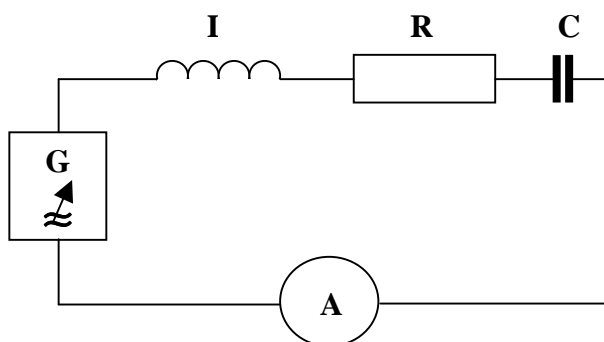
1. Určete rezonanční křivku sériového zapojení RLC prvků jako graf závislosti procházejícího proudu na frekvenci.
2. Určete rezonanční frekvenci.

Potřeby

RC generátor, cívka 600 Ω , kondenzátor 0,1 μF , odpory 100 Ω , 500 Ω , 1000 Ω , spojovací vodiče.

Postup měření

1. Zapojte sériový rezonanční obvod podle obr. 4.6.
2. Amplitudu napětí nízkofrekvenčního generátoru nastavte na maximum.
3. Postupně měňte velikost odporů v obvodu od 0 do 1 000 Ω a na RC generátoru nastavujte frekvenci od 2 do 10 kHz.



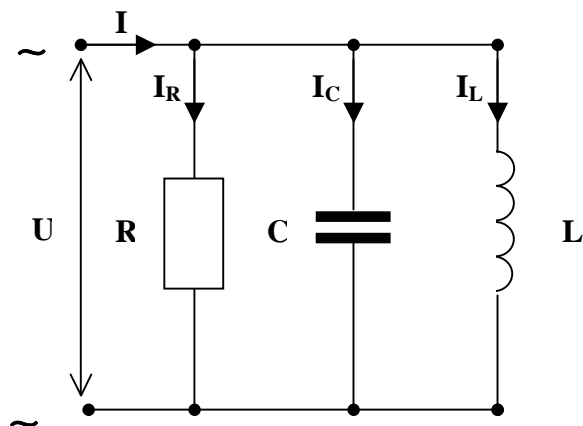
Obr. 4.6: Schéma zapojení sériového RLC obvodu

4. Při každém měření najděte rezonanční frekvenci, kdy proud procházející obvodem nabývá maximální hodnoty.
5. Proveďte potřebné množství měření především v blízkosti rezonanční frekvence.
6. Z naměřených hodnot sestrojte rezonanční křivku jako graf závislosti procházejícího proudu na frekvenci.
7. Porovnejte rezonanční frekvenci z grafu a frekvenci vypočtenou z Thomsonova vztahu.

b) Paralelní rezonanční obvod

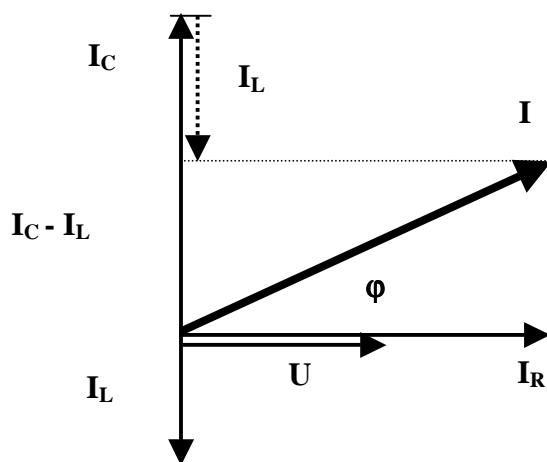
Podmínka rezonance v paralelním obvodu je dána stejným vztahem (4) resp. (5), jako v sériovém obvodu.

Náhradní schéma prvků RLC zapojených paralelně ukazuje obr. 4.7.



Obr. 4.7: Náhradní schéma paralelního obvodu

Fázorový diagram paralelně zapojených prvků RLC je na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Fázorový diagram paralelního obvodu

Napětí při paralelním zapojení RLC je na všech prvcích stejné. Pro proud procházející nerozvětvenou částí obvodu z fázorového diagramu platí

$$I^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2 = U^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2 \right],$$

takže pro proud dostáváme

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

a postupně pro impedanci obvodu

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

Při paralelní rezonanci je však proud v obvodu minimální. Napětí, které je na všech prvcích stejné, dosahuje maximálních hodnot.

Fázový posun mezi napětím a proudem je

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

Úkoly

1. Určete rezonanční křivku paralelního obvodu jako graf závislosti procházejícího proudu na frekvenci.
2. Určete rezonanční frekvenci.

Kontrolní otázky



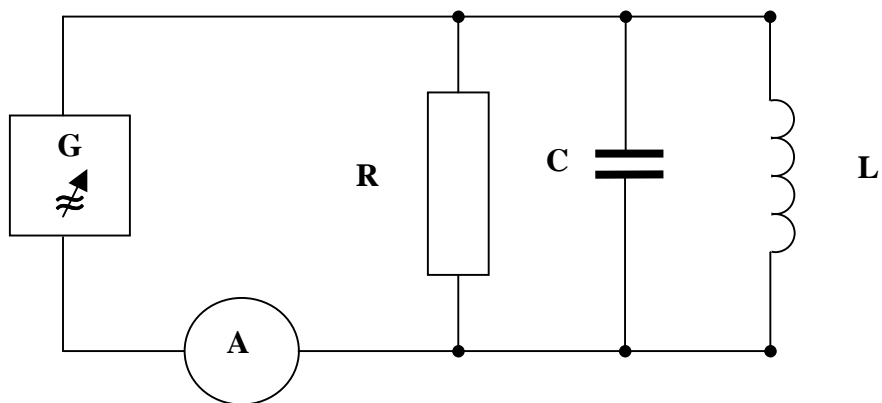
- Vysvětlete a doložte, z jakého důvodu se označuje sériová rezonance též jako napěťová a paralelní rezonance proudová

Potřeby

RC generátor, cívka 600 z/4 A, kondenzátor 0,1 μF, odpory 10 kΩ, 1 kΩ, 500 Ω, spojovací vodiče.

Postup měření

1. Zapojte paralelní rezonanční obvod podle obr. 4.9.
2. Amplitudu napětí nízkofrekvenčního generátoru nastavte na maximum.
3. Postupně měňte velikost odporů v obvodu od ∞, 10 kΩ, 1 kΩ, 500 Ω a na RC generátoru měňte frekvenci od 2 do 10 kHz.
4. Při každém měření najděte rezonanční frekvenci, kdy proud procházející obvodem nabývá minimální hodnoty.



Obr. 4.9: Schéma zapojení paralelního RLC obvodu

5. Proved'te potřebné množství měření především v blízkosti rezonanční frekvence.
6. Z naměřených hodnot sestrojte rezonanční křivku jako graf závislosti procházejícího proudu na frekvenci.

Poznámky



- Ve všech případech považujeme jednotlivé prvky v obvodech za ideální odpory, ideální indukčnost a kapacitu. Ve skutečnosti by se musely vzít v úvahu i ztrátové úhly kondenzátoru a cívky.