

Jednofázové střídavé obvody, výkon střídavého proudu, kompenzace jalového výkonu

Návod do měření

Ing. Václav Kolář, Ph.D., Doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.,
poslední úprava 2011

Cíl měření:

- Praktické ověření vlastností reálných pasivních prvků rezistoru, cívky (reálného induktoru) a kondenzátoru (kapacitoru) v obvodech napájených střídavým harmonickým napětím.
- Ověření, že napětí a proudy ve střídavém obvodu je nutno počítat fázorově (vektorově), nikoli skalárně.
- Demonstrace a ověření principu kompenzace jalového odběru pomocí kompenzačního kondenzátoru.
- Praktické využití měření a vyhodnocování veličin pomocí PC s měřicí kartou a čidly napětí a proudů.

Zadání úlohy:

1) Měření v sériovém obvodu $R-L-C$.

- a) Zapojte obvod podle schématu na obr. 3. Spotřebič bude tvořen sériovým spojením rezistoru, cívky s železným jádrem (tlumivky) a kondenzátoru.

Pro jednu hodnotu napájecího napětí zadanou vyučujícím změřte proud protékající obvodem, činný výkon a úbytky napětí na jednotlivých pasivních prvcích.

Průběhy veličin a fázorový diagram sledujte na PC programem **fázoroskop** a **osciloskop**.

Fázorový diagram změřený počítačem uložte - jako obrázek (případně i změřené hodnoty jako data).

- b) Ohmmetrem změřte činný odpor použité cívky (podle obr. 4).

- c) Následně s výsledky měření proveďte tyto úkony:

- Z naměřených hodnot výpočtem určete:
 - fázový posuv φ mezi proudem a napětím,
 - indukční reaktanci X_L cívky a velikost indukčnosti L .
 - kapacitní reaktanci kondenzátoru X_C a velikost jeho kapacity C .
- Sestrojte skutečný fázorový diagram sériového obvodu $R-L-C$.
- Porovnejte vámi sestrojený fázorový diagram a fázorový diagram změřený počítačem.

2) Kompenzace jalového výkonu.

- a) Zapojte obvod podle obr. 5 se střídavým motorkem (bez kompenzačního kondenzátoru). Po kontrole zapojení vyučujícím nastavte střídavé napájecí napětí na hodnotu zadanou vyučujícím (zhruba 40 V).

- b) Pomocí měřicích přístrojů změřte napětí U , proud napájecího zdroje I_1 , proud motorku I_2 .

Na PC sledujte fázorový diagram proudů a napětí. Z PC odečtěte hodnotu činného výkonu P .

Fázorový diagram a hodnoty změřené pomocí PC uložte - jako obrázek.

- c) Do obvodu připojte kompenzační kondenzátor tak aby obvod nebyl plně vykompenzovaný (z několika kondenzátorů v přípravku zvolte jeden z menších). Opakujte měření z bodu b)

- d) Do obvodu připojte kompenzační kondenzátor aby byl obvod ideálně vykompenzován (z kondenzátorů v přípravku zvolte takovou kombinaci aby proud byl ve fázi s napětím). Opakujte měření z bodu b)

- e) Do obvodu připojte kompenzační kondenzátor tak aby obvod byl překompenzován (z kondenzátorů v přípravku zapojte co nejvíce). Opakujte měření z bodu b)

- f) V protokolu na závěr zhodnoťte jaký vliv mělo připojení kompenzačního kondenzátoru (stupňů 1, 2, a 3) na proud I_1 , I_2 a činný výkon P , a kdy byl obvod nejlépe vykompenzován.

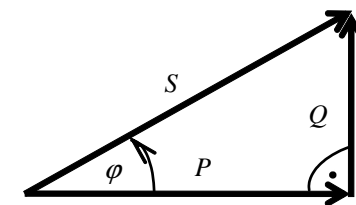
! Na měření si přineste USB flashdisk, nebo disketu !

Teoretický rozbor:

Ad 1) V obvodech napájených střídavým harmonickým napětím sestavených z reálných prvků dochází k fázovému posuvu φ mezi fázory proudu a napětí, proto je nutno veškeré výpočty realizovat pomocí symbolicko-komplexní metody, která střídavé proudy, napětí, ale i výkony nahrazuje odpovídajícími fázory. Ve střídavých obvodech je kromě činného výkonu i výkon jalový a jejich fázorovým součtem je dán výkon zdánlivý. Mezi jednotlivými výkony platí následující vztahy (podle tzv. trojúhelníka výkonů-obr. č. 1):

$$\begin{aligned} P &= S \cdot \cos \varphi \\ Q &= S \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (1)$$

kde P je činný výkon (W),
 S zdánlivý výkon (V·A),
 Q jalový výkon (var),
 φ fázový posuv mezi napětím a proudem (°).



Obr. 1 Trojúhelník výkonů

Na obr. 2 je příklad fázorového diagramu pro sériový RLC obvod s reálnou cívkou.

Pro analýzu střídavých obvodů platí Ohmův zákon a I. a II. Kirchhoffův zákon. Zdroj střídavého napětí, rezistor i kondenzátor se v obvodech střídavého proudu průmyslového kmitočtu svými vlastnostmi přibližují ideálním obvodovým prvkům, ovšem reálnou cívku (tlumivku) je nutné vždy nahradit sériovým spojením ideálního induktoru a

ideálního rezistoru (který tvoří ohmický odpor vodiče z něhož je cívka navinuta). Tato sériová náhrada se pak projeví i ve fázorovém diagramu fázovým posunem mezi napětím a proudem, který u reálné cívky není celých 90° , ale méně.

Abychom mohli sestavit fázorový diagram obvodu s reálnou cívkou, musíme nejdříve vypočítat úbytek napětí na jeho odporu, (v diagramu na obr. 2 označen jako \underline{U}_{RL}). Vypočíte se podle vztahu (2). Toto napětí nemůže být ve skutečnosti v obvodu změřeno, můžeme ho pouze vypočítat.

Postup výpočtu pro úlohu 1:

a) Úbytek napětí (efektivní hodnotu) na odporu cívky \underline{U}_{RL} je nutno vypočítat pomocí Ohmova zákona z hodnoty proudu a ohmického odporu cívky změřeného Ohmmetrem.

$$\underline{U}_{RL} = R_L \cdot I \quad (\text{V}; \Omega, \text{A}) \quad (2)$$

b) Velikost indukční reaktance X_L se určí z hodnoty odporu cívky R_L a vypočítané velikosti impedance cívky Z_L , přičemž platí:

$$\begin{aligned} Z_L &= \frac{U_L}{I} \quad (\Omega; \text{V}, \text{A}); & X_L &= \sqrt{Z_L^2 - R_L^2} \quad (\Omega, \Omega, \Omega) \\ L &= \frac{X_L}{\omega} \quad (\text{H}; \Omega, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}); & \omega &= 2\pi \cdot f \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}; -, \text{Hz}) \end{aligned} \quad (3)$$

Při napájení z běžné sítě je frekvence $f = 50 \text{ Hz}$.

c) Výpočet kapacity kondenzátoru se provede analogicky s tím rozdílem, že kondenzátor se chová prakticky jako ideální prvek, takže do výpočtu nezahrnujeme jeho činný odpor:

$$\begin{aligned} X_C &= Z_C = \frac{U_C}{I} \\ C &= \frac{1}{\omega \cdot X_C} \quad (\text{F}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \Omega) \end{aligned} \quad (4)$$

Celková impedance zátěže je dána poměrem v obvodu změřených efektivních hodnot:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (\Omega; \text{V}, \text{A}) \quad (5)$$

d) Fázový posuv φ se určí z naměřených hodnot činného výkonu P a zdánlivého výkonu S , vypočteného z naměřených efektivních hodnot napětí U a proudu I :

$$\varphi = \arccos\left(\frac{P}{S}\right) = \arccos\left(\frac{P}{U \cdot I}\right) \quad (^\circ; \text{W}, \text{V}, \text{A}) \quad (6)$$

Ad 2) Kompenzací jalového příkonu spotřebiče s $R - L$ charakterem (např. motor) pomocí několikastupňového kompenzátoru C_K připojeného na jeho svorkách, snižujeme nežádoucí velikost celkového přenášeného proudu po vedení $I_1 \Rightarrow$ snižujeme hodnotu celkového zdánlivého příkonu $S_1 \Rightarrow$ zvyšujeme hodnotu účinníku $\cos \varphi$, zmenšujeme výkonové ztráty na vedení ΔP . To vše při stejné hodnotě přeneseného činného výkonu P ze střídavého zdroje do spotřebiče (motoru).

Postup výpočtu pro úlohu 2:

a) Zdánlivé výkony

$$S_1 = U \cdot I_1$$

$$S_2 = U \cdot I_2$$

b) Účinník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S_2}$$

c) Fázový posun

$$\varphi_1 = \arccos(\cos \varphi_1)$$

$$\varphi_2 = \arccos(\cos \varphi_2)$$

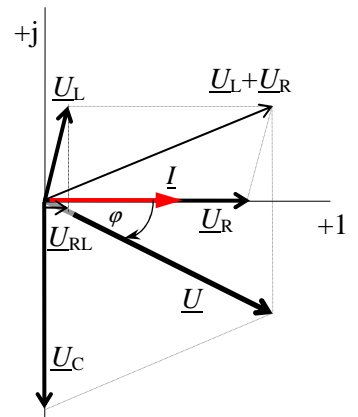
d) Jalový výkon

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2}$$

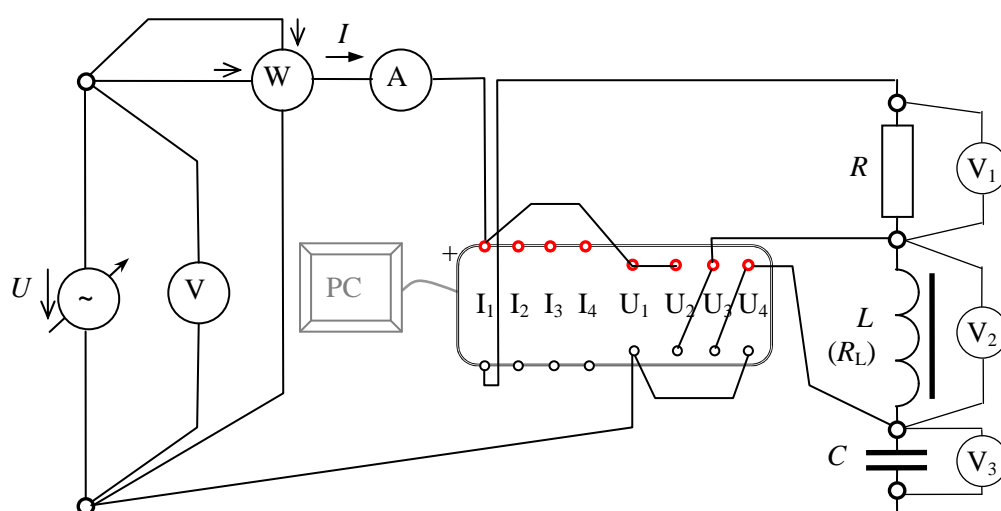
e) Kompenzační jalový výkon kompenzačního kondenzátoru

$$Q_K = Q_2 - Q_1$$

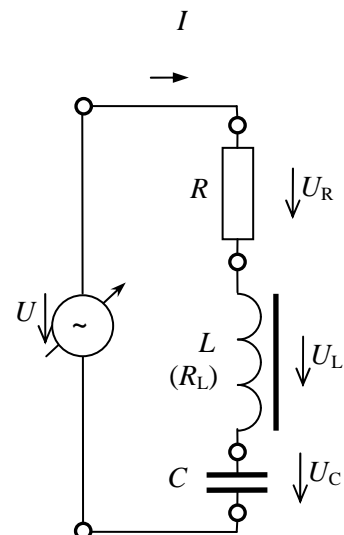


Obr. 2 - Fázorový diagram pro sériový obvod $R-L-C$ (s reálnou cívkou)

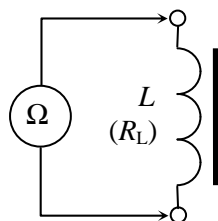
Schéma zapojení pro úlohu 1 – sériový obvod RLC



Obr. č. 3 - Schéma zapojení pro měření v sériovém R - L - C obvodu



Zjednodušené principiální schéma



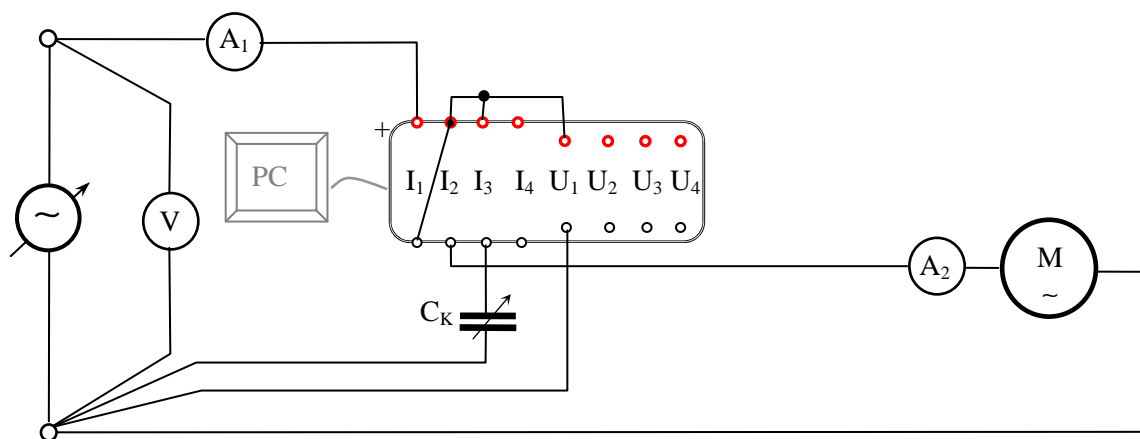
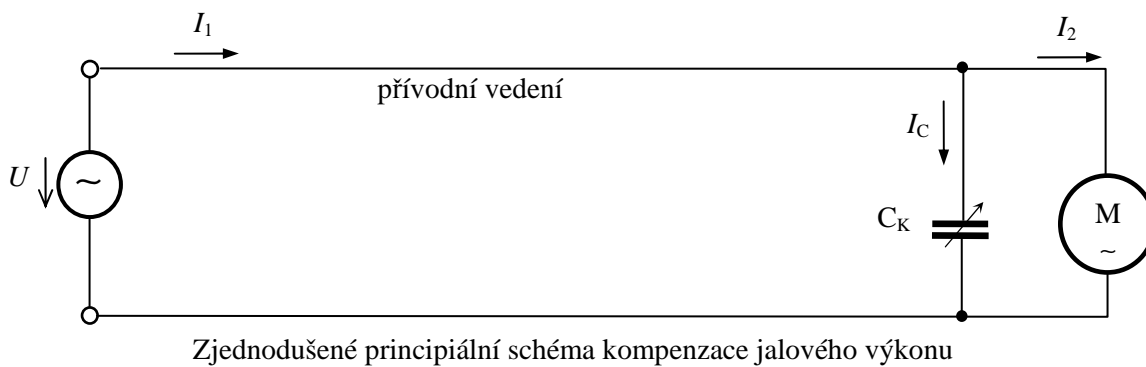
Obr. č. 4 – Měření činného odporu cívky ohmmetrem

Tabulky naměřených a vypočtených hodnot pro úlohu 1 – sériový obvod RLC :

Naměřeno						Vypočteno								
U	U_R	U_L	U_C	I	P	U_{RL}	Z_L	X_L	L	$Z_C=X_C$	C	Z	S	φ
(V)	(V)	(V)	(V)	(A)	(W)	(V)	(Ω)	(Ω)	(H)	(Ω)	(F)	(Ω)	(VA)	($^{\circ}$)

Odpor cívky změřený ohmmetrem	R_L (Ω) :	
-------------------------------	----------------------	--

Schéma zapojení pro úlohu 2 – kompenzace jalového výkonu



Obr. č. 5 – Schéma zapojení pro měření kompenzace jalového výkonu jednofázového spotřebiče

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro úlohu 2 – kompenzace jalového výkonu :

Měření					Vypočteno									Zapojení obvodu
U (V)	I_1 (A)	I_2 (A)	P (W)	C (μF)	S_1 (V.A)	S_2 (V.A)	$\cos \varphi_1$ (-)	$\cos \varphi_2$ (-)	φ_1 ($^\circ$)	φ_2 ($^\circ$)	Q_1 (var)	Q_2 (var)	Q_K (var)	
														bez kompenzace
														malá kompenzace (nedokompenzováno)
														ideální kompenzace
														velká kompenzace (překompenzováno)