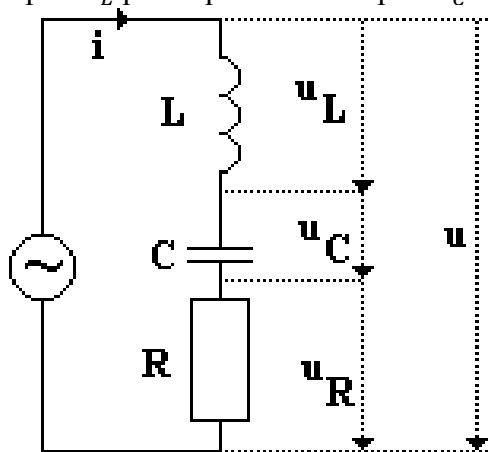


## Střídavý proud (SŠ)

Sériový obvod  $RLC$ 

## Fyzikální princip

Obvod střídavého proudu může mít současně odpor, indukčnost i kapacitu. Pokud jsou tyto prvky v sérii, nazýváme tento složený obvod střídavého proudu jako obvod s  $RLC$  v sérii. Schéma takového obvodu je na obr. 1. Prvky obvodu prochází stejný proud, ale napětí na jednotlivých prvcích se liší, jak hodnotou, tak vzájemnou fází. Napětí  $u_R$  má stejnou fázi jako proud, napětí  $u_L$  proud předbíhá a napětí  $u_C$  se za proudem zpožďuje.



Obr. 1: Schéma sériového  $RLC$  obvodu, převzato z [3].

Odpor  $R$  rezistoru v obvodu střídavého proudu je stejný jako v obvodu stejnosměrného proudu a nazývá se rezistancí. Lze tedy vypočítat dle vzorce:

$$R = \frac{U_R}{I}, \quad (1)$$

kde  $U_R$  a  $I$  jsou efektivní hodnoty napětí a proudu. Cívka se ve střídavém obvodu chová jako prvek s odporem a definujeme pro ni veličinu  $X_L$ , která se nazývá indukčnost a platí pro ni vztah:

$$X_L = \omega L, \quad (2)$$

kde  $L$  je indukčnost cívky a  $\omega$  úhlová frekvence střídavého obvodu. Opačné účinky než cívka má v obvodu střídavého proudu kondenzátor s kapacitou  $C$ . Podíl napětí a proudu v tomto případě nazýváme kapacitance  $X_C$  a platí vztah:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (3)$$

Pro proud procházející sériovým obvodem s  $RLC$  prvky platí vztah:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (4)$$

Zvláštní případ nastává u obvodu s  $RLC$  v sérii, je-li při dané frekvenci indukčnost stejně velká jako kapacitance ( $X_L = X_C$ ). Tento případ označujeme jako rezonance střídavého obvodu a rezonanční frekvenci  $f_0$  určíme ze vztahu:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \Rightarrow$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (5) \quad \Rightarrow$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (6)$$

## Cíl

1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Sériový obvod RLC*.
2. Experimentálně najít rezonanční frekvenci  $f_0$  pro sériový *RLC* obvod.
3. Ze vztahu (6) vypočítat indukčnost cívky  $L$ .
4. Ověřit fázové posuny v obvodech s odporem  $R$ , indukčností  $L$  a kapacitou  $C$ .
5. Vypracovat protokol o měření.

## Pomůcky

Počítač s připojením na internet.

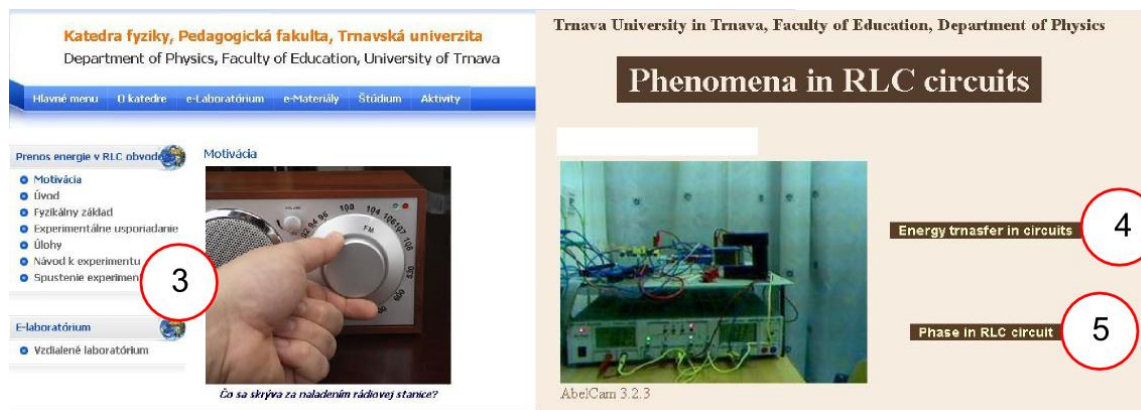
## Schéma



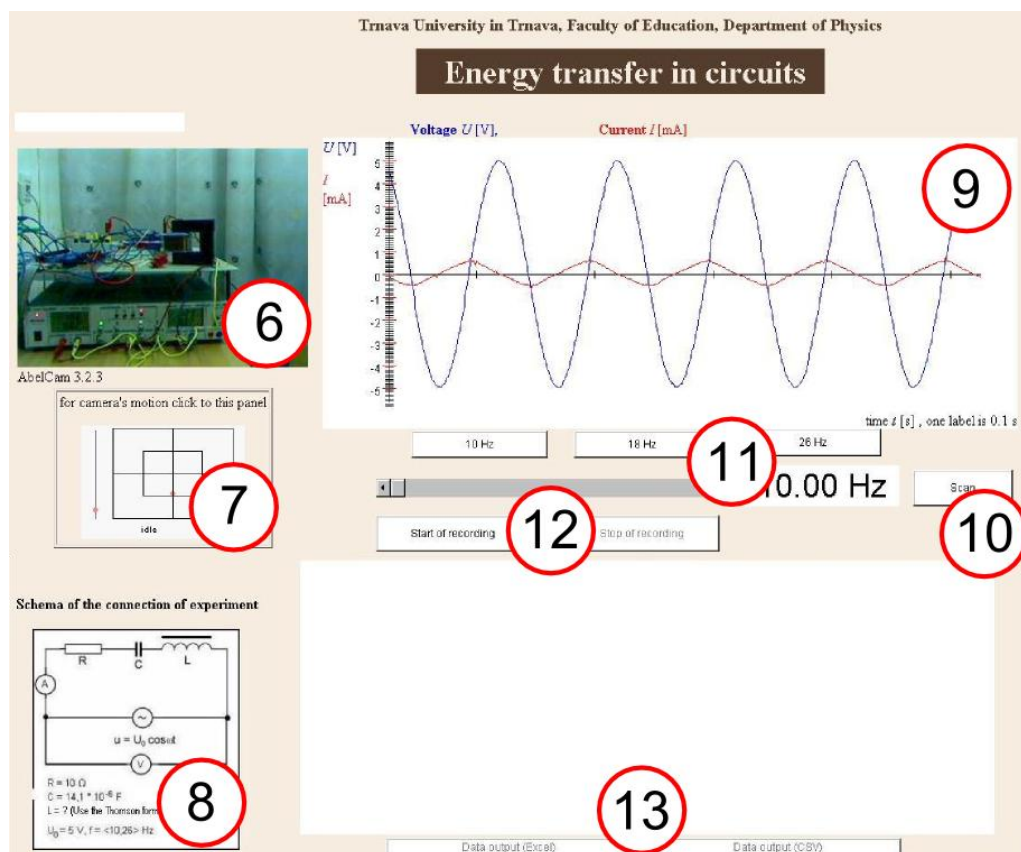
Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Na webové stránce <http://kf.truni.sk/> (viz obr. 2) zvolte v horní liště záložku „*e-Laboratórium*“ (číslo 1) a poté zvolte experiment s názvem „*Oscilácie v RLC obvode*“ (číslo 2). Na nové webové stránce (viz obr. 3, vlevo) si můžete přečíst základní informace o experimentu. Pokud chcete přejít k samotnému měření, musíte kliknout na nápis „*Spustenie experimentu*“ (číslo 3). Na další stránce (viz obr. 3, vpravo) zvolte možnost „*Energy transfer in circuits*“ (číslo 4) a otevře se vám stránka, z které lze měnit parametry experimentu (viz obr. 4). V levé části této stránky je on-line obraz na tento experiment (číslo 6). Máte zde možnost pohybovat kamerou (číslo 7) a přečíst si parametry experimentu (číslo 8). V pravé části stránky je graf (číslo 9), který zobrazuje časový diagram napětí (modrá křivka) a proudu (červená křivka) v *RLC* obvodu.

Tlačítkem „Scan“ (číslo 10) můžete rychle zjistit (přibližnou) hodnotu rezonanční frekvence. Pomocí tlačítek nebo posuvníku (číslo 11) můžete měnit hodnotu frekvence v intervalu 10 až 28 Hz. Tlačítka „Start of recording“ a „Stop of recording“ (číslo 12) můžete zaznamenávat měřené hodnoty a pomocí tlačítka „Data output“ (číslo 13) je stahovat např. do Excelu a dále s nimi dle libosti pracovat.

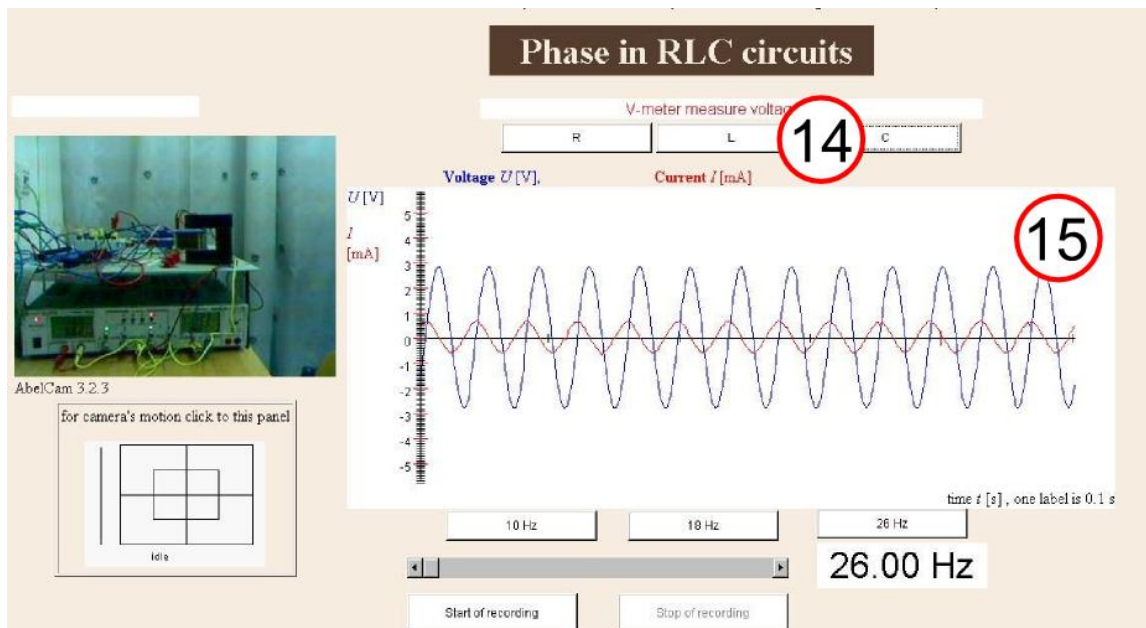


Obr. 3: Webová stránka, z ktorej lze experiment vzdáleně ovládat.



Obr. 4: Webová stránka, z ktorej lze experiment vzdáleně ovládat.

Pokud chcete ověřit fázové posuny v obvodech s odporem  $R$ , indukčností  $L$  a kapacitou  $C$ , tak se musíte vrátit na předcházející stránku (viz obr. 3, vpravo) a kliknout na nápis „Phase in RLC circuits“ (číslo 5). Na nové stránce (viz obr. 5) si nejprve zvolíte, zda chcete měřit  $R$ ,  $L$  nebo  $C$  (číslo 14) a v grafu (číslo 15) můžete sledovat (ověřovat) časový diagram napětí a proudu pro různé frekvence.



Obr. 5: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

## Postup měření

1. Zapněte počítač a připojte se na internet. Experiment je umístěn na webové stránce <http://kf.truni.sk/> (viz obr. 2-5).
2. Pokud by se na této webové stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte tento experiment v jiném webovém prohlížeči a zkontrolujte, zda máte nainstalovány nejnovější verzi programu JAVA, která je zdarma dostupná např. na stránce <http://java.com/>.
3. Pokud je vše v pořádku lze přejít k měření. Nejprve se seznámte s ovládáním experimentu a proveďte jedno zkušební měření, kde se seznámíte s funkcemi jednotlivých tlačítek (Scan, 18 Hz apod.).
4. Nejprve najděte rezonanční frekvenci  $f_0$  pro sériový *RLC* obvod. Vyberte si experiment „*Energy transfer in circuits*“ (viz obr. 3, vpravo). Kliknutím na tlačítko „Scan“ se ve spodní části stránky vygeneruje graf v rozmezí 18 – 27 Hz, kde červená křivka představuje proud v obvodu. Pro rezonanční frekvenci  $f_0$  je amplituda proudu maximální a fázový posun  $\varphi = 0$ .
5. Po tomto přibližném stanovení  $f_0$ , nastavujte (pomocí posuvníku, číslo 11, obr. 4) co nejpřesněji hodnotu frekvence, aby byla splněna podmínka  $\varphi = 0$  (tj. fázový rozdíl mezi střídavým napětím a proudem je nulový). Hodnotu rezonanční frekvence  $f_0$  si zapište. Hodnoty můžete odečítat přímo z webové stránky, nebo si je můžete stáhnout např. do Excelu a zde s nimi dále pracovat.
6. Nyní si z webové stránky opište hodnoty  $R$  a  $C$  pro daný experiment a s využitím vztahů (5), (6) a vztahu  $\omega_0 = 2\pi f_0$  vypočítejte indukčnost  $L$  cívky v *RLC* obvodu.
7. Nyní ověříme fázové posuny v obvodech s odporem  $R$ , indukčností  $L$  a kapacitou  $C$ . Vyberte si experiment „*Phase in RLC circuits*“ (viz obr. 3, vpravo). V horní části stránky si zvolte měření napětí na  $R$  a sledujte graf, který zobrazuje časový diagram napětí (modrá křivka) a proudu (červená křivka) pro různé frekvence. Poté prozkoumejte časové diagramy pro  $L$  i  $C$ . Každý z diagramů popište a zaměřte se především na rozdílné fázové posuny  $\varphi$  jednotlivých grafů.
8. Vypracujte protokol o měření, který má standardní části: Úvod, Teoretická část, Experimentální část (naměřená data, grafy, výpočty a tabulky), Závěr a Zhodnocení měření.

## Doplňující otázky

1. Z jakých prvků se skládá  $RLC$  obvod?
2. Za jakých podmínek nastává rezonance v  $RLC$  obvodu?
3. V jakých jednotkách se uvádí odpor  $R$ , indukčnost  $L$  a kapacita  $C$ ?
4. Vysvětlete pojem impedance  $Z$ ?
5. Pokuste se provést podobný experiment ve své školní laboratoři fyziky. Jaké pomůcky budou k tomuto pokusu potřeba?

## Použitá literatura

- [1] Lepil, O., Šedivý, P.: *Fyzika pro gymnázia. Elektřina a magnetismus*. Prometheus, Praha, 2000.
- [2] <http://kf.truni.sk/> [on-line] [cit. 2011-8-30].
- [3] Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky*. [on-line] [cit. 2011-8-30]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/>.
- [4] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika. Část 3. Elektřina a magnetismus*. VUTIUM, Brno, 2006.