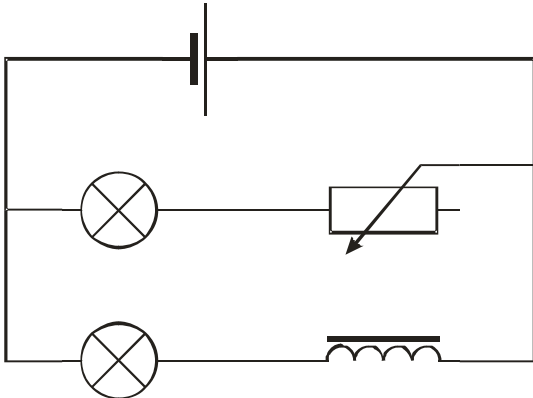


4.6.4 Cívka v obvodu střídavého proudu

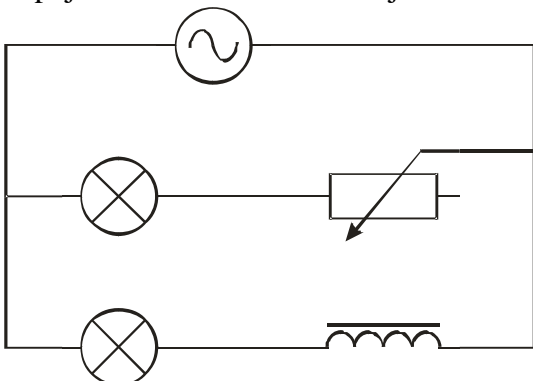
Předpoklady: 4511, 4601, 4602

Pomůcky: Pomůcky: dvě žárovky 6V, cívky 600 a 1200 závitů, železné jádro, reostat $100\ \Omega$.

Postavíme podobný obvod jako v minulé hodině, kondenzátor nahradíme cívkou.



Pokud chceme, aby obě žárovky svítily stejně, musíme na reostatu nastavit nenulový odpor (cívka je z dlouhého drátu, který má malý ale přesto nezanedbatelný ohmický odpor). Zapojíme do obvodu místo stejnosměrného zdroje střídavý.



Žárovka u cívky zhasne nebo svítí jen velmi málo.

Svit žárovky závisí na počtu závitů cívky a uzavření nebo neuzavření železného jádra \Rightarrow závisí na indukčnosti cívky \Rightarrow indukčnost cívky připojené ke zdroji střídavého napětí zmenšuje velikost procházejícího střídavého proudu.

Pedagogická poznámka: Pro první zapojení používám cívku 600 závitů na uzavřeném jádře. Žárovka zhasne, ale otevřením jádra je možné ji rozsvítit.

Proč?

U přechodového jevu cívka indukuje protinapětí, kterým se snaží zabraňovat změnám magnetického pole a tím zmenšuje nárůst proudu (u přechodového jevu se žárovka rozsvítí se zpožděním).

Střídavý proud se neustále mění \Rightarrow cívka stále indukuje protinapětí \Rightarrow neustále zmenšuje proud.

\Rightarrow **induktance** = „odpor“ cívky (zvětšuje se s indukčností cívky). Na čem závisí?

- Indukované napětí je přímo úměrné indukčnosti cívky \Rightarrow větší indukčnost \Rightarrow větší protinapětí \Rightarrow větší omezování proudu \Rightarrow větší induktance.

- Vyšší frekvence střídavého proudu \Rightarrow rychlejší změna magnetického toku v cívce \Rightarrow větší indukované protinapětí (je přímo úměrné časové změně magnetického toku) \Rightarrow cívka více omezuje proud \Rightarrow větší indukčnost.
- \Rightarrow Vzorec: $X_L = \omega L$ [Ω] (měří se opět v ohmech).
 $\omega = 2\pi f$ - úhlová frekvence, L - indukčnost cívky

Př. 1: Urči induktanci cívky o indukčnosti 0,1 H, zapojené do obvodu s frekvencí 50 Hz.

$$L = 0,1 \text{ H} \quad , \quad f = 50 \text{ Hz} \quad , \quad X_L = ?$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \Omega = 31,4 \Omega$$

Cívka bude mít induktanci $31,4 \Omega$.

Postřehy:

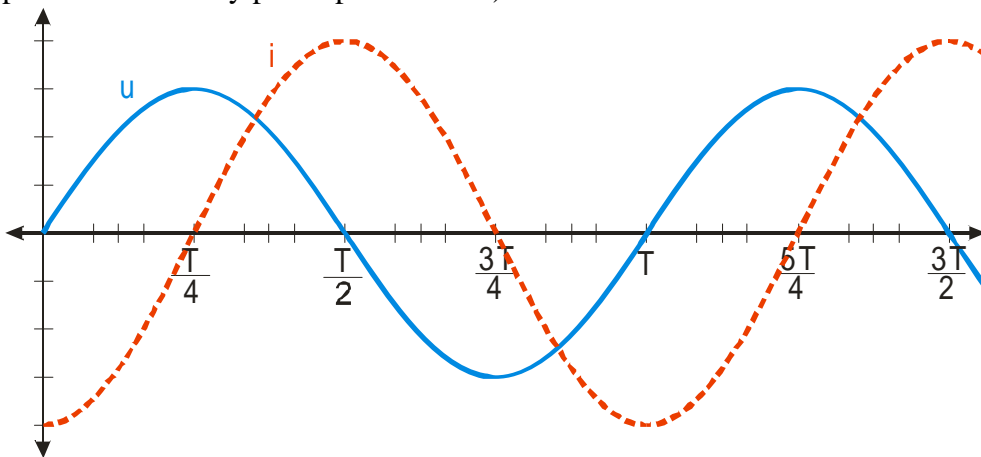
- Stejnoseměrný proud $\Rightarrow \omega = 0 \Rightarrow X_L = 0$ (jasné, když se proud nemění cívka nic neindukuje a nezmenšuje proud).
- Cívka kvůli indukčnosti nemění elektrickou energii na teplo (stejně jako při přechodovém jevu, kdy cívka elektrickou energii odebranou při zapnutí přeměnila na magnetickou a při vypínání ji opět vrátila do obvodu).

Cívka se nechová zcela shodně s odporem, zmenšuje odpor, ale nemění elektřinu v teplo \Rightarrow zřejmě existují i další rozdíly.

Fázový posun napětí a proudu na cívce

Není vidět okem, je jej možné zachytit pomocí osciloskopu nebo počítače.

Upozornění: v grafu není nakresleno napětí na zdroji, ale **napětí měřené na cívce** = napětí, které vzniká díky indukovanému napětí na cívce, toto napětí není analogií napětí, jak si ho představujeme u rezistoru při stejnosměrném proudu (tedy s napětím jako rozdílem tlaků, který je nutný, aby protlačil elektrický proud přes rezistor).



Proud v obvodu není ve fázi s napětím a zpožďuje se za ním o čtvrt periody (o $\frac{\pi}{2}$).

Mnemotechnická pomůcka pro zapamatování: „Cívka jako dívka – nejdřív napětí a pak proud“.

Pedagogická poznámka: Autor přiznává, že na rozdíl od kondenzátoru nedokáže podobně jednoduchým způsobem vysvětlit uvedený průchod proudu a napětí. Bude rád za radu.

Př. 2: Urči, jaký proud bude procházet cívkou o indukčnosti $L = 0,5 \text{ H}$, pokud jej zapojíme do normální elektrické sítě 230V/50Hz.

$$L = 0,5 \text{ H} \quad , \quad f = 50 \text{ Hz} \quad , \quad U = 230 \text{ V} \quad , \quad I = ?$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega \cdot L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

$$I = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} = \frac{230}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,5} \text{ A} = 1,5 \text{ A}$$

Cívkou bude procházet proud 1,5 A .

Ideální cívka má pouze indukčnost, nemá žádný ohmický odpor (v obvodu stejnosměrného napětí neomezuje proud).

Reálná cívka má kromě indukčnosti i ohmický odpor (odpor drátu, ze kterého je namotaná) \Rightarrow

- Jaký proud bude procházet přes reálnou cívku z předchozího příkladu?
Určitě menší než 1,5 A podle výpočtu. Proudů bude bránit ještě obyčejný odpor.
- Jaký bude posun napětí a proudu?
Určitě menší než 90°.

Př. 3: Urči, při jaké frekvenci by ideální cívkou z příkladu 2 procházel proud 0,1 A. Napájecí napětí má hodnotu 230 V.

S rostoucí frekvencí se zvyšuje indukčnost \Rightarrow frekvence musí vyjít víc než 50 Hz.

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega \cdot L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

$$f = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot I \cdot L} = \frac{230}{2 \cdot \pi \cdot 0,1 \cdot 0,5} \text{ Hz} = 732 \text{ Hz}$$

Požadovaný proud bude procházet při frekvenci 732 Hz.

Př. 4: Urči indukčnost cívky z úvodního pokusu.

Máme zjištěný reálný odpor cívky (nastavení potenciometru u stejnosměrného proudu) 55 Ω .

Posuneme potenciometr tak, aby žárovky svítily stejně i při připojení na střídavý proud 50 Hz – 120 Ω .

Cívka „má“ ve střídavém obvodu odpor o 65 Ω větší – to je její indukčnost.

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{65}{2 \cdot \pi \cdot 50} \text{ H} = 0,2 \text{ H}$$

Indukčnost použité cívky je 0,2 H.

Poznámka: Jak zjistíme v příští hodině, není úvaha v předchozím příkladu zcela správná a indukčnost cívky je ve skutečnosti větší. To samé platí také pro příklad následující. Oba výsledky je proto nutné brát pouze jako velmi přibližné.

Př. 5: Proud procházející cívkou se nasazením na uzavřené železné jádro zmenšil z 0,35 A na 0,13 A. Urči relativní permeabilitu jádra. Napětí zdroje 20 V 50 Hz. Reálný odpor cívky je 55 Ω .

$$U = 20 \text{ V} , \quad f = 50 \text{ Hz} , \quad I_1 = 0,35 \text{ A} , \quad I_2 = 0,13 \text{ A} , \quad R = 55 \Omega , \quad \mu_r = ?$$

Zasunutím jádra se zvětší indukčnost cívky a tím i její indukčnost.

$$\text{Induktance cívky bez jádra: } X_{L1} = \frac{U}{I} - R = \frac{20}{0,35} - 55 \Omega = 2,1 \Omega$$

$$\text{Induktance cívky s jádrem: } X_{L2} = \frac{U}{I_2} - R = \frac{20}{0,13} - 55 \Omega = 99 \Omega$$

$$X_L = \omega \cdot L = \omega \cdot \mu \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

Cívka bez jádra: $X_{L1} = \omega \cdot L = \omega \cdot \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l}$, cívka s jádrem: $X_{L2} = \omega \cdot L_2 = \omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N^2 \cdot S}{l}$

Poměr obou induktancí: $\frac{X_{L2}}{X_{L1}} = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N^2 \cdot S}{l}}{\omega \cdot \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l}} = \mu_r$

$$\mu_r = \frac{X_{L2}}{X_{L1}} = \frac{99}{2,1} = 47$$

Relativní permeabilita železa v cívce je 47. Železo tedy není zdaleka nasycené.

Shrnutí: Odpor cívky ve střídavém obvodu je větší než v obvodu stejnosměrném, kvůli indukovanému protinapětí. Navíc způsobuje elektromagnetická indukce zpoždění proudu za napětím o čtvrt periody (o $\frac{\pi}{2}$).