

4.7.4 Elektromagnetické kmitání, oscilační obvod

Předpoklady: 4603, 4604, 4605

Mechanické kmitání

například závaží na pružině:

- Vychýlíme závaží z rovnovážné polohy (dodáme mu potenciální energii) \Rightarrow pružina se snaží vrátit závaží zpátky do rovnovážné polohy a působí na něj silou \Rightarrow závaží se začne vracet do rovnovážné polohy a získává rychlost (potenciální energie závaží se zmenšuje, kinetická energie závaží se zvětšuje).
- Závaží prochází rovnovážnou polohou (potenciální energie je nulová, kinetická je na maximum), síla na něj nepůsobí, ale má rychlost a kvůli setrvačnosti pokračuje v pohybu na druhou stranu
- Během pohybu na druhou stranu ho pružina brzdí (kinetická energie se zmenšuje potenciální se opět zvětšuje), dokud se nezastaví v druhé maximální poloze. Pružina na něj však působí a začne ho opět vracet do rovnovážné polohy.

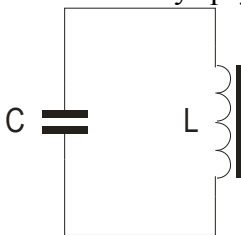
Tak se celý děj opakuje, dokud se energie, kterou závaží při vychýlení získalo, neztratí kvůli tření a odporu vzduchu.

Z hlediska energie: při kmitání se neustále přeměňuje potenciální energie pružiny na kinetickou energii závaží a naopak

Nyní máme k dispozici dvě elektrosoučástky, které umí shromažďovat energii:

- kondenzátor – shromažďuje elektrostatickou energii $E = \frac{1}{2} CU^2$
- cívka – shromažďuje magnetickou energii $E = \frac{1}{2} LI^2$

Obě součástky spojíme do elektrického obvodu:



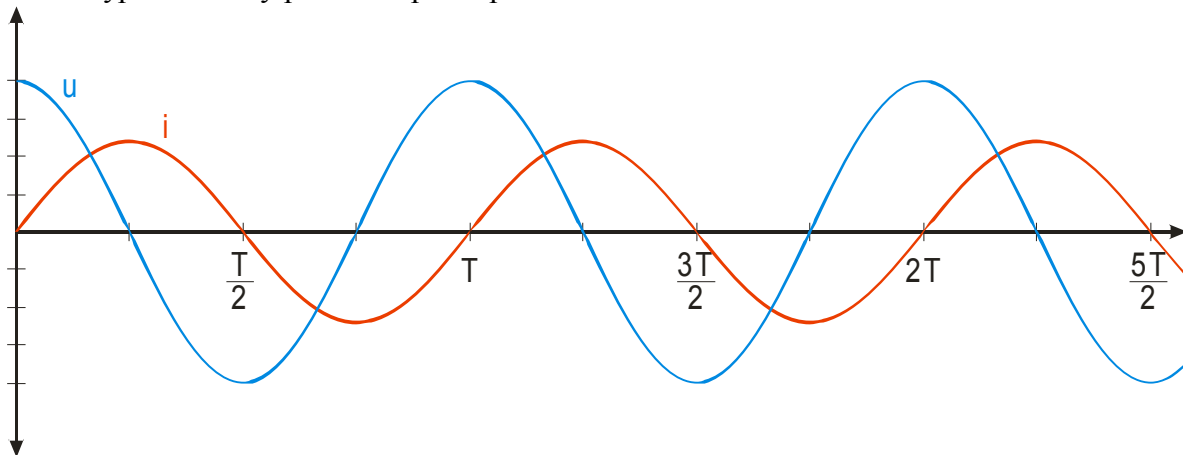
Musím dodat počáteční energii (podobně jako u pružiny jsem vychýlil závaží) \Rightarrow nabijeme kondenzátor a pak ho spojíme s cívkou.

Co se bude dít:

- kondenzátor je zkratován přes cívku, začne se vybíjet, proud však neroste skokově (cívka indukuje protinapětí) \Rightarrow kondenzátor se vybíjí (a klesá jeho energie), přes cívku prochází zvětšující se elektrický proud, který vytváří zvětšující se magnetické pole (a zvětšuje energii obsaženou v cívce) \Rightarrow kondenzátor se vybije (napětí klesne na nulu), všechna energie přešla do cívky
- na deskách kondenzátoru není další náboj, který budil proud, proud však neklesne na nulu, protože cívka se snaží udržet aktuální stav (přechod proudu) a indukuje proud jdoucí stejným směrem jako dosud \Rightarrow kondenzátor se nabíjí na opačnou polaritu než na počátku (energie se stěhuje z cívky zpět do kondenzátoru)
- Proud se postupně zmenšuje a napětí na kondenzátoru roste \Rightarrow kondenzátor se nabije na stejné napětí, ale opačnou polaritu (energie se přestěhuje zpátky z cívky na kondenzátor) \Rightarrow a vše může začít znovu v opačném směru

vytvořili jsme **oscilační obvod**

Takto vypadá časový průběh napětí a proudu:



Př. 1: Rozhodni, ve kterých okamžicích bude kondenzátor nabitý na maximální hodnotu. Kdy je nejsilnější magnetické pole cívky?

Kondenzátor je nabitý na maximální napětí v okamžicích, kdy je největší okamžitá hodnota napětí \Rightarrow v časech $\frac{T}{2}$, T , $\frac{3T}{2}$...

Magnetické pole cívky je nejsilnější v okamžicích, kdy prochází největší okamžitá hodnota proudu \Rightarrow v časech $\frac{T}{4}$, $\frac{3T}{4}$, $\frac{5T}{4}$...

Děj v oscilačním obvodu je vidět na modelu na adrese <http://www.walter-fendt.de/ph11e/oscirc.htm>.

S jakou periodou bude obvod kmitat?

Určitě záleží na indukčnosti cívky a kapacitě kondenzátoru

Musí platit 2. Kirchhoffův zákon $\Rightarrow U_L = U_C$ (jiné napětí v obvodu není)

$I \cdot X_L = I \cdot X_C$ proud je všude stejný

$$X_L = X_C \text{ dosadíme: } X_L = \omega L, \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{LC}$$

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

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ vztah pro (vlastní) frekvenci oscilačního obvodu}$$

$$T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{LC} \text{ vztah pro periodu oscilačního obvodu} = \text{Thomsonův vztah}$$

\Rightarrow podobně jako u závaží na pružině nezáleží perioda na počátečním vychýlení, nezáleží perioda u oscilačního obvodu na počátečním napětí kondenzátoru (to určuje pouze amplitudu napětí při kmitání)

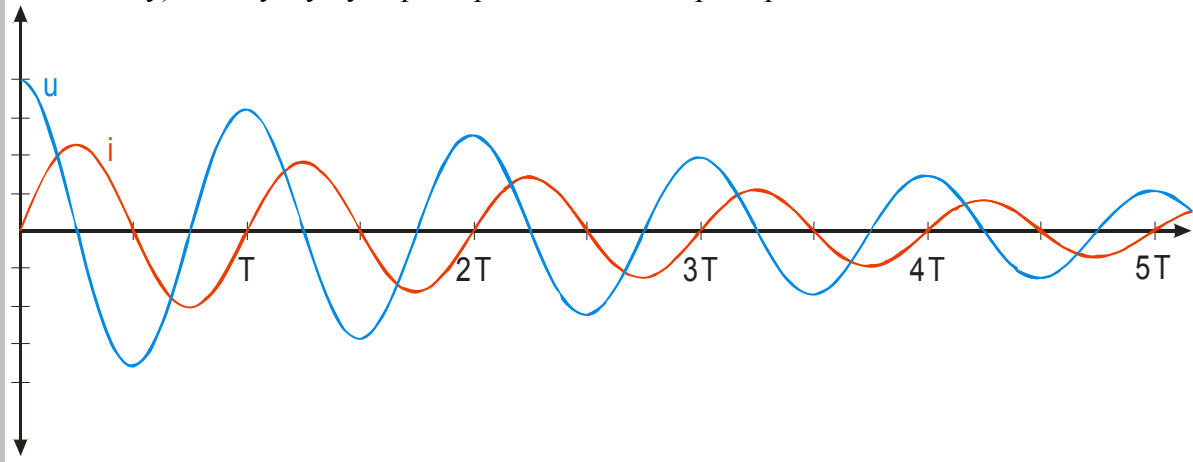
Př. 2: Urči vlastní frekvenci oscilačního obvodu, který bychom sestavili z našich nejoblíbenějších součástek: kondenzátor $2200 \mu\text{F}$ a cívka $0,2 \text{H}$.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,2 \cdot 2200 \cdot 10^{-6}}} \text{Hz} = 7,59 \text{Hz}$$

Oscilační obvod sestavený ze zadaných součástek by měl frekvenci $7,59 \text{Hz}$

Př. 3: Graf časového průběhu napětí a proud v oscilačním obvodu nezachycuje skutečný stav v reálném obvodu. Čím se bude reálný graf od našeho idealizovaného lišit?

Reálný obvod určitě nebude kmitat věčně. Určitě v něm existují ztráty (kvůli odporu vodičů a vinutí cívky) \Rightarrow výchylky napětí i proudu se budou postupně zmenšovat až ustanou.



Takové kmitání se nazývá tlumené.

Dodatek: Kromě výchylky ovlivňuje odpor v oscilačním obvodu i frekvenci kmitání a to podle

$$\text{vzorce } \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \text{ kde } \delta = \frac{R}{2L} .$$

Pokud chceme kmitání udržet můžeme:

- na konci každého cyklu připojit kondenzátor ke zdroji počátečního napětí a dobýt ho na původní napětí (pak ale kmitání nebude harmonické) (analogie rozhoupávání houpačky rodičem, vždycky do ní strčí, když je u něj)
- připojit obvod ke zdroji harmonického napětí \Rightarrow obvod pak kmitá s frekvencí zdroje = **nucené kmitání**

Výchylka nuceného kmitání závisí na výchylce zdroje a na rozdílu mezi frekvencí zdroje a vlastní frekvencí obvodu = **rezonance** (opět analogie s mechanickým kmitáním)

Rezonance oscilačního obvodu se využívá při ladění rozhlasových a televizních stanic. Oscilační obvod naladěný na frekvenci požadované stanice (nastavený tak, aby se jeho vlastní frekvence rovnala frekvenci požadované stanice) je připojen ke zdroji harmonického napětí (anténě, která z prostoru zachytává vlnění všech stanic a mění ho na proud), díky rezonanci se rozkmitá proudem z naladěné stanice více než proudy z jiných stanic. K dalšímu zpracování odebereme tento zesílený proud o správné frekvenci.

Př. 4: K postavení nejjednoduššího rozhlasového přijímače pro vysílání na středních vlnách jsou

potřeba kromě vysokohmových sluchátek tři součástky: kondenzátor řádově 10 nF , vysokofrekvenční diodu a ladící kondenzátor v rozsahu $0 - 500 \text{ pF}$. Cívku, která je součástí ladícího oscilačního obvodu, si konstruktér namotá sám. Urči indukčnost takové vzduchové cívky o 60 závitů, pokud je ladící kondenzátor při příjmu stanice Praha na frekvenci 954 kHz (vysílač České Budějovice) nastaven přibližně na polovinu kapacity.

Stačí dosadit do vzorce: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{LC}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 954000)^2 500 \cdot 10^{-12}} \text{ H} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

Vzduchová cívka v přijímači má indukčnost $5,6 \cdot 10^{-5} \text{ H}$.

Shrnutí: Obvod s cívku a kondenzátorem má tendenci ke kmitání, které je velmi podobné mechanickému kmitání.