

## 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.

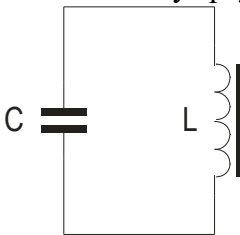
Tak se celý děj opakuje, dokud se energie, kterou závaží při vychýlení získalo, neztratí kvůli tření a odporu vzduchu.

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:



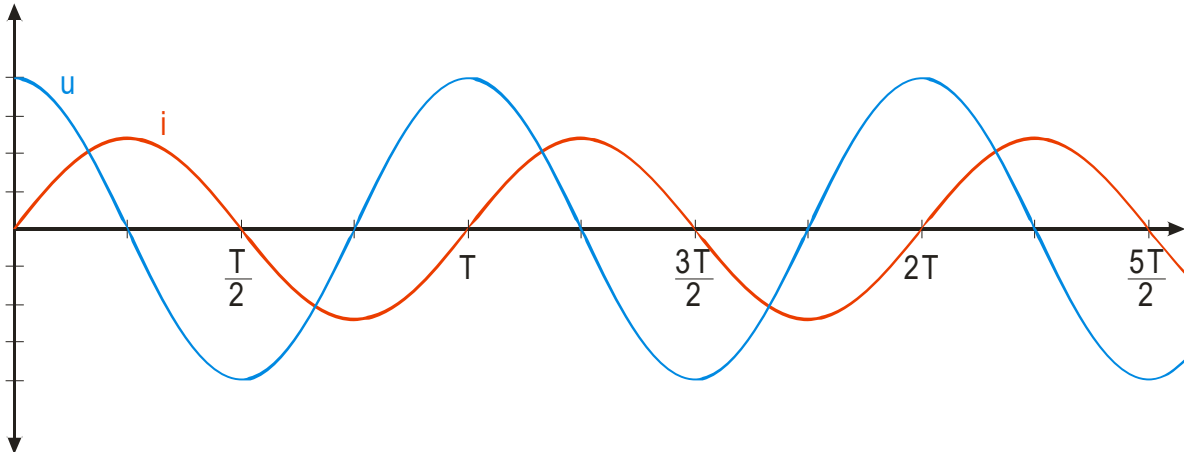
Musím dodat počáteční energii (podobně jako u pružiny jsem vychýlil závaží)  $\Rightarrow$  nabijeme kondenzátor a pak ho spojíme s cívkou.

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/osccirc.htm>.

S jakou periodou bude obvod kmitat?

Určitě závisí 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 nezávisí perioda na počátečním vychýlení, nezávisí perioda u oscilačního obvodu na počátečním napětí kondenzátoru (to určuje pouze amplitudu napětí při

kmitání)

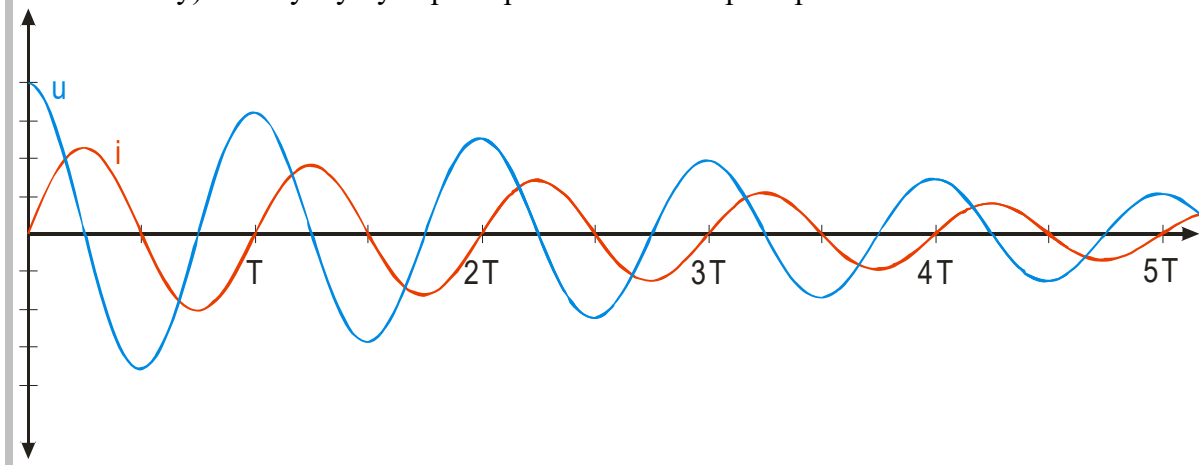
**Př. 2:** Urči vlastní frekvenci oscilačního obvodu, který bychom sestavili z našich nejoblíbenějších součástek: kondenzátor  $2200 \mu\text{F}$  a cívka  $0,2 \text{H}$  .

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

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  $10 \text{ nF}$ , 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  $954 \text{ kHz}$  (vysílač České Budějovice) nastaven přibližně na polovinu kapacity.

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

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

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 954000)^2 \cdot 250 \cdot 10^{-12}} \text{ H} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

Vzduchová cívka v přijímači má indukčnost  $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ H}$ .

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