

Elektromagnetismus

Hlavní body - elektromagnetismus

- Lorenzova síla, hmotový spektrograf, Hallův jev
- Magnetická síla na proudovodič
- Mechanický moment na proudovou smyčku
- Faradayův zákon elektromagnetické indukce
- Elektrický generátor
- Střídavé proudy, efektivní hodnota
- Indukčnost, transformátor

Co je to magnetické pole?

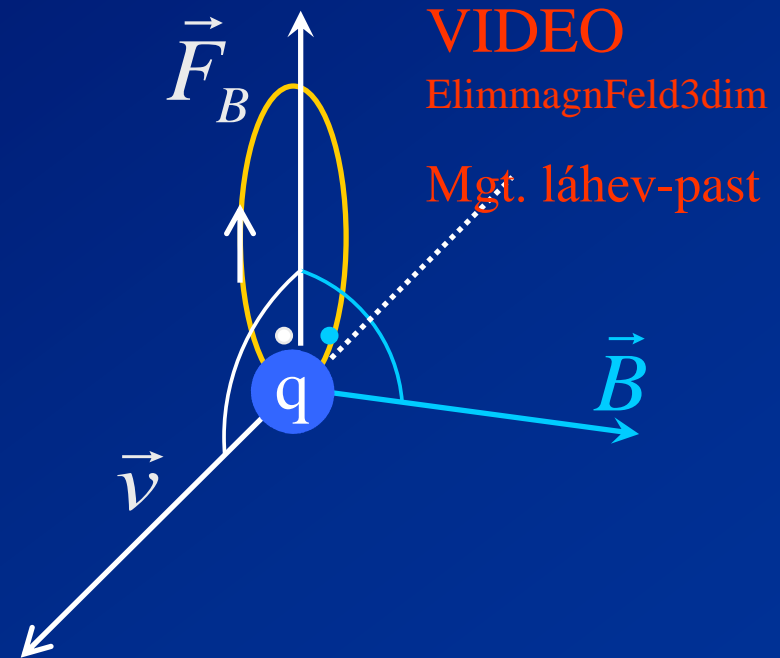
- Stejně jako u elektrického pole, magnetické pole si můžeme “osahat“ prostřednictvím interakce s nábojem. Na náboj mohou působit dvě síly:
 1. Elektrická síla, která je nezávislá na pohybovém stavu náboje
 2. Magnetická síla, která je na pohybovém stavu náboje závislá

Magnetická síla na pohybující se náboj

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Magnetická síla F_B je úměrná

- náboji q ,
- jeho rychlosti v
- a magnetické indukci B .



Vzhledem k vektorovému součinu je magnetická síla kolmá jak na rychlost, tak na indukci.

Síla kolmá na rychlost je silou dostředivou



pohyb po kružnici !!!

Síla na pohybující se náboj

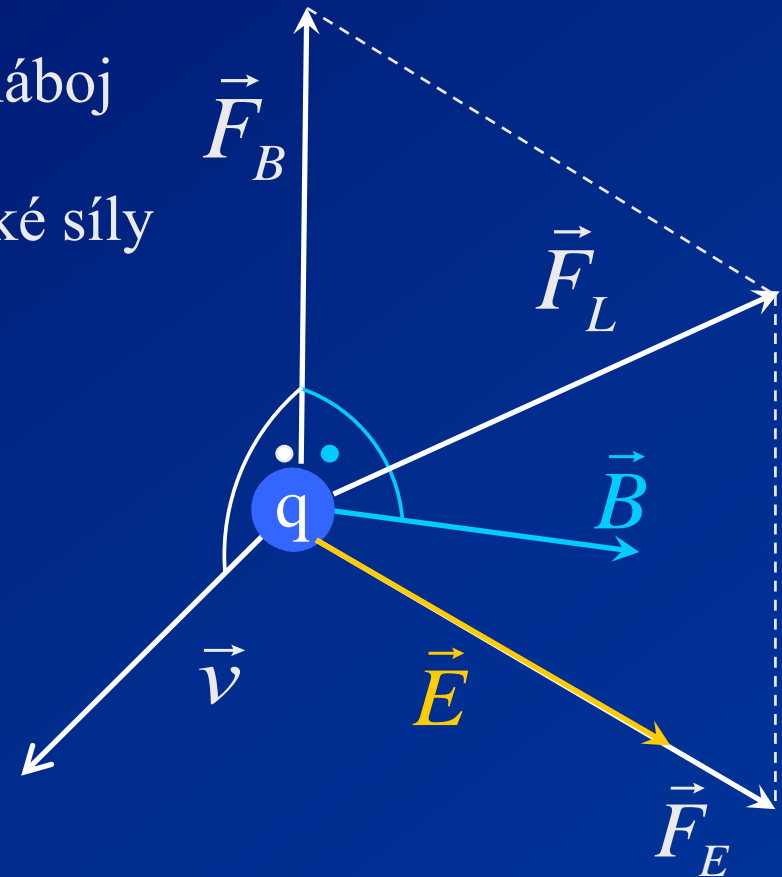
Celková možná síla působící na náboj se nazývá Lorenzova síla, je to kombinace elektrické a magnetické síly

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_E = q \vec{E}$$

$$\vec{F}_L = q[\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})]$$

Výsledná síla může a nemusí být kolmá na rychlost



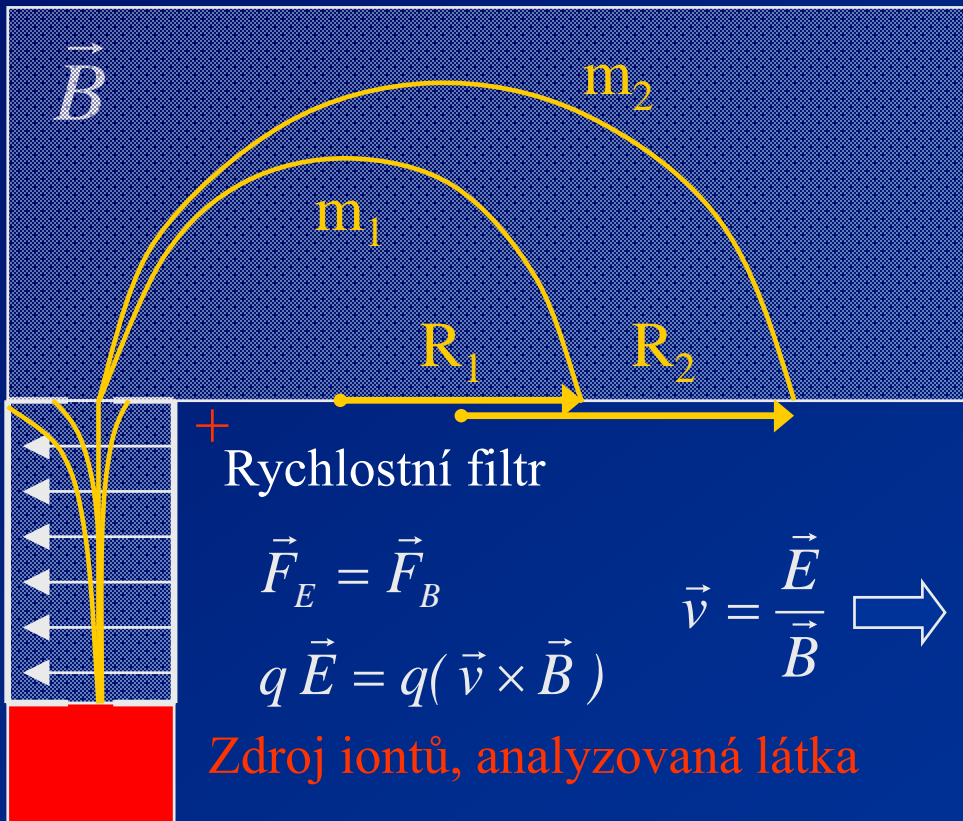
Příklad: Hmotový spektroskop

VIDEO

massenspektrograph

$$F_{OD} = F_B$$

$$m(\text{iontu}) \frac{v^2}{R} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



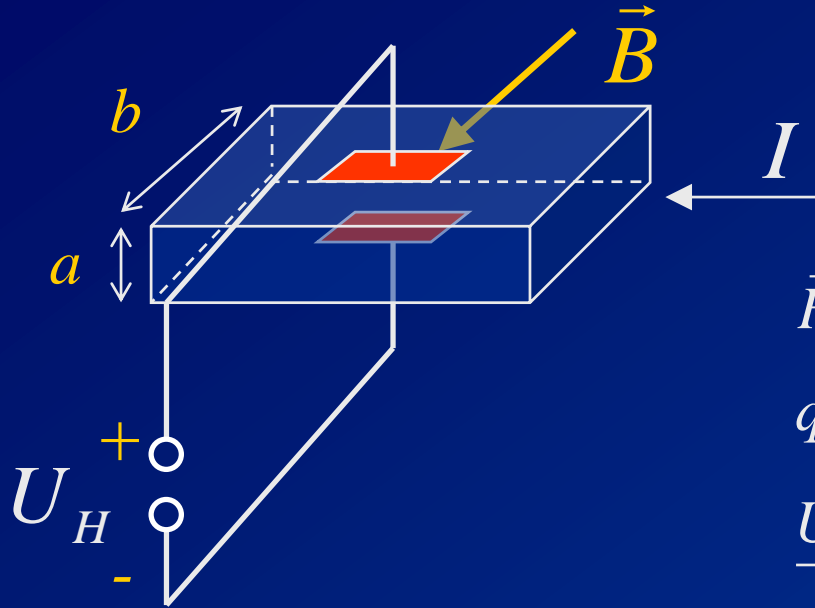
$$R = \frac{mv}{qB}$$

Poloha dopadu závislá na hmotnosti iontu



Rychlost nezávislá na hmotnosti iontu

Příklad: Hallův jev



V důsledku magnetické síly jsou elektrony stáčeny směrem dolu

$$\vec{F}_E = \vec{F}_B$$

$$q \vec{E} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\frac{U_H}{a} = (\vec{v} \times \vec{B}) \quad \leftarrow \quad v = \frac{I}{neab}$$

$$U_H = \frac{1}{ne} \frac{BI}{b}$$

Hallovo napětí U_H nám dává informaci o **koncentraci volných elektronů n** !

Magnetická úprava vody

Magnetická síla na proudovodič

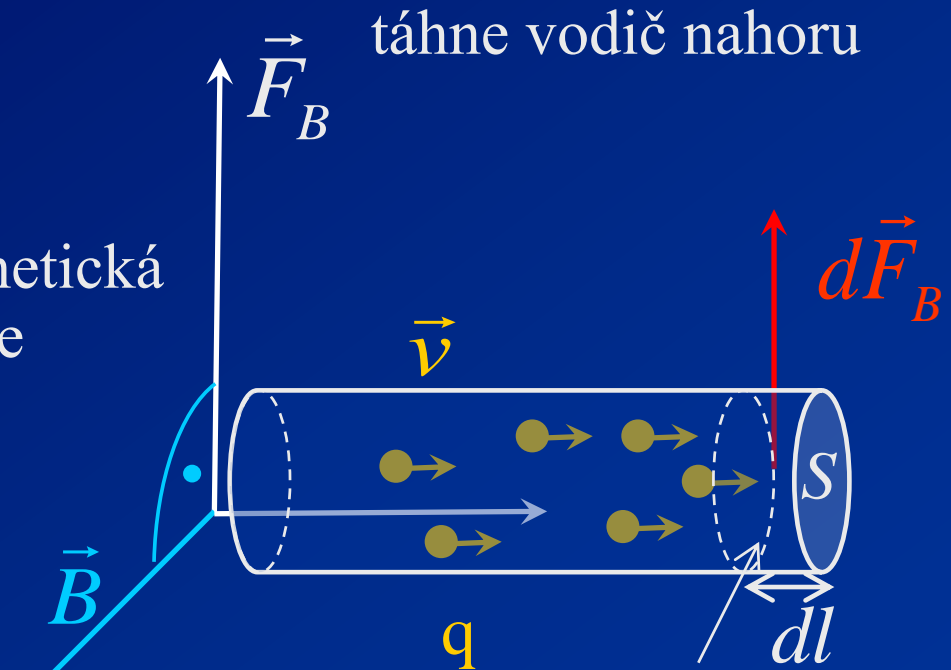
$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

V tomto případě působí magnetická síla F_B prostřednictvím náboje (elektronů) **na celý vodič**

$$d\vec{F}_B = (n dV) q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$d\vec{F}_B = (\vec{i} \times \vec{B}) dV$$

$$d\vec{F}_B = (\vec{i} \times \vec{B}) S dl$$



objem dV

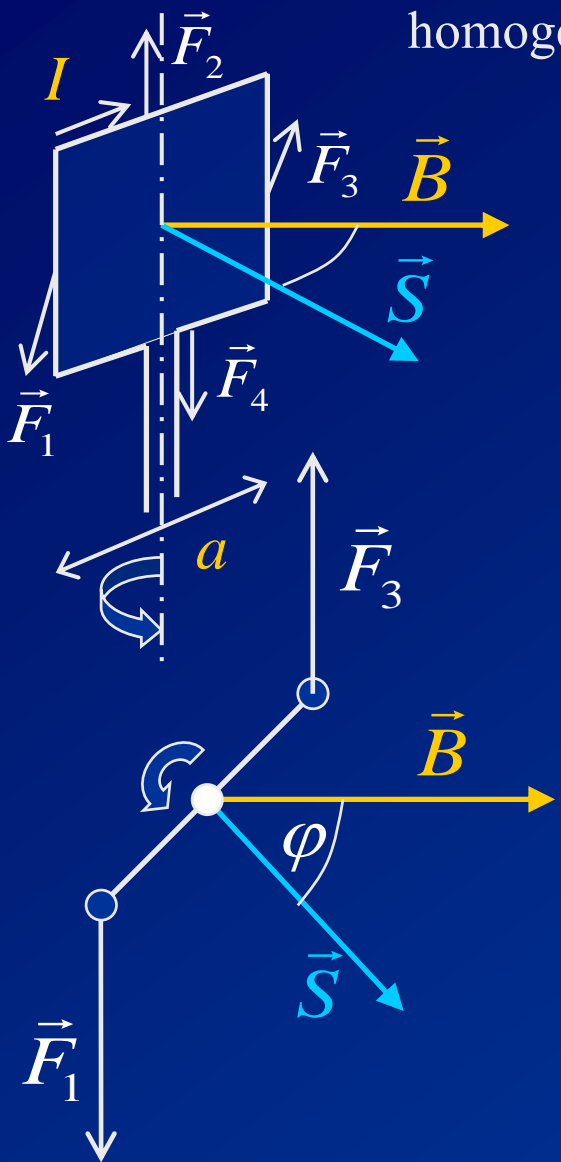
koncentrace n

$$d\vec{F}_B = I(\vec{dl} \times \vec{B})$$

Tichá ponorka

Mechanický moment na proudovou smyčku

Čtvercová smyčka o hraně a , kterou protéká proud I v homogenním mgt. poli \vec{B}



Rozbor sil:

F_2 a F_4 netvoří moment na smyčku v žádné její poloze a navzájem se ruší

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_3 = I \cdot \vec{a} \times \vec{B} \quad d\vec{F} = I(d\vec{l} \times \vec{B})$$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{\vec{a}}{2} \times 2\vec{F}_3$$

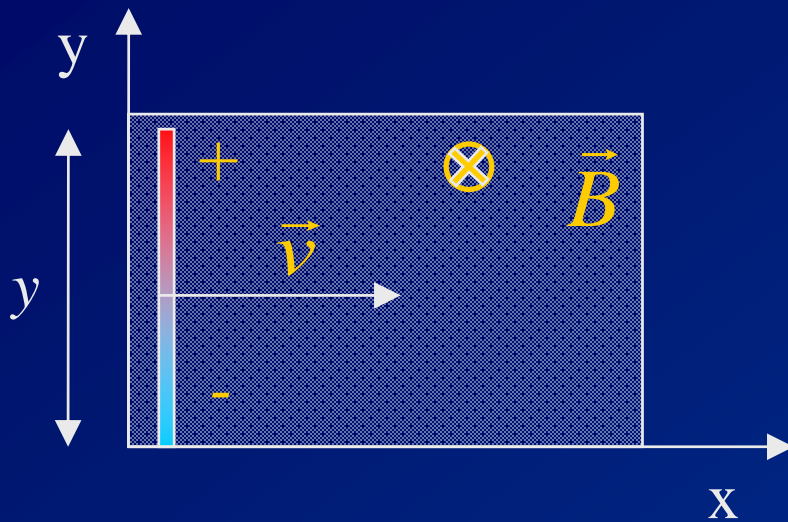
$$\vec{M} = I \cdot \vec{S} \times \vec{B} \implies \vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$

Pro N - násobnou smyčku

$$\vec{M} = NI \cdot \vec{S} \times \vec{B}$$

Základní princip elektromotoru

Faradayův zákon elektromagnetické indukce



Tyčka délky a se pohybuje v homogenním mgt. poli \vec{B} rychlostí \vec{v} . Na volné elektrony působí magnetická síla, která se po chvíli dostane do rovnováhy se vznikající silou elektrickou od vznikajícího elektrického pole

$$\vec{F}_E = \vec{F}_B$$

$$e \vec{E} = e(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{E} = (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$U_{i,y} = \vec{y} \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$U_{i,y} = -\vec{B} \cdot (\vec{v} \times \vec{y})$$



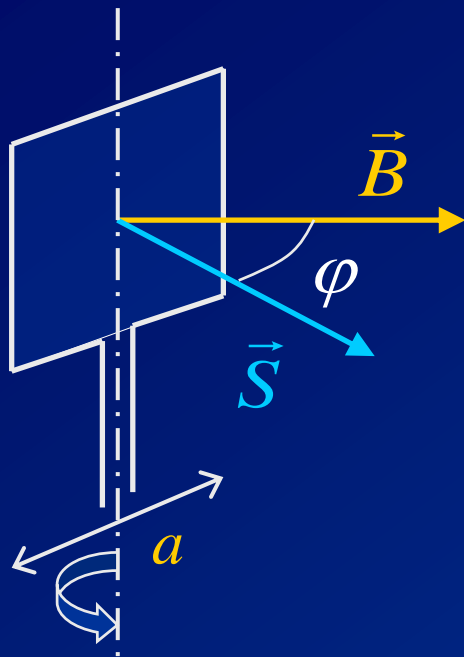
$$U_{i,y} = -\vec{B} \cdot \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{y} \right) = -\vec{B} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt}$$

Indukované elektromotorické napětí je úměrné časové změně magnetického toku Φ **Skalární součin!**

$$U_i = - \frac{d(\vec{S} \cdot \vec{B})}{dt} = - \frac{d(\Phi)}{dt}$$

$$[\Phi] = \text{Wb}, \text{ Weber}$$

Faradayův zákon - elektrický generátor



Časová změna vektoru indukce \vec{B}
nebo plochy \vec{S}

$$U_i = - \frac{d(\vec{S} \cdot \vec{B})}{dt} = - \frac{d(\Phi)}{dt}$$

$$\Phi = \vec{S} \cdot \vec{B} = B \cdot S \cdot \cos \varphi$$

Rovnoměrný otáčivý pohyb: $\varphi = \omega t$

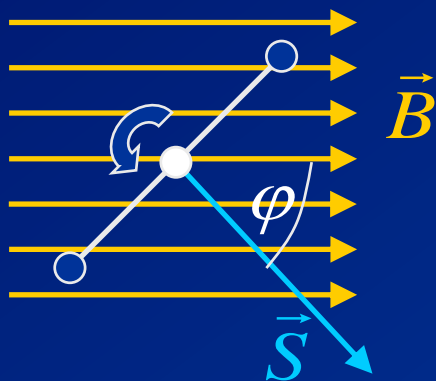
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t$$

$$U_i = - \frac{d(\Phi)}{dt} = B \cdot S \cdot \omega \sin \omega t$$

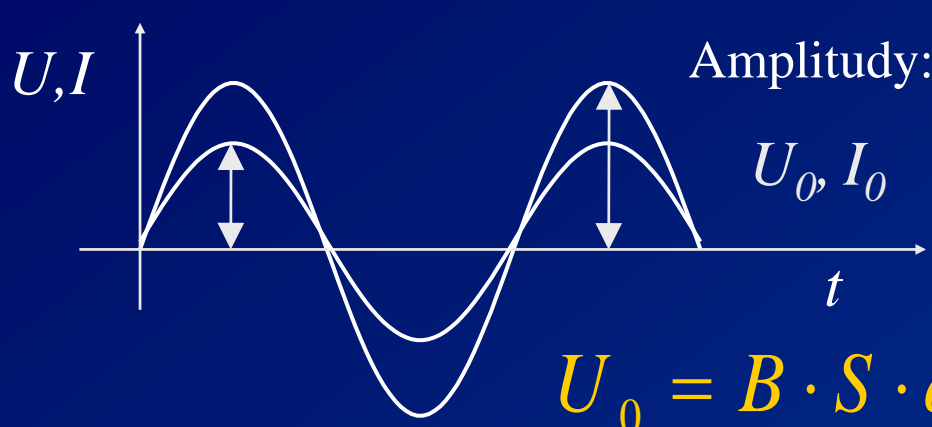
Ukázka

$$U_i = U_0 \sin \omega t$$

Střídavé napětí, které máme v síti!



Střídavé proudy



$$U_0 = B \cdot S \cdot \omega$$

$$U = U_0 \sin \omega t$$

$$I = I_0 \sin \omega t$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Amplituda je úměrná úhlové frekvenci!

$$f = 50\text{Hz}$$

Napětí / proud udávané/měřené pro rozvodnou síť nejsou amplitudy,
ale **efektivní hodnoty střídavého proudu** =

= hodnotě proudu stejnosměrného o stejném výkonu

$$U_{ef} = 230\text{V}, 400\text{V}$$

Střídavé proudy – efektivní hodnota

Efektivní hodnoty střídavého proudu =

= hodnoty proudu stejnosměrného o stejném výkonu

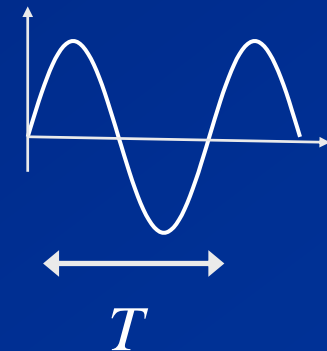
Výkon el. proudu: $P = UI = RI^2 = U^2/R$

Práce el. proudu: $W = RI^2 t$

$$RI_{ef}^2 T = \int_0^T RI_0^2 dt = \int_0^T RI_0^2 \sin^2(\omega t) dt = \int_0^T RI_0^2 \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} dt =$$

$$= \int_0^T RI_0^2 \left[\frac{t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4\omega} \right]_0^T = \frac{RI_0^2 T}{2}$$

⇒ $I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$

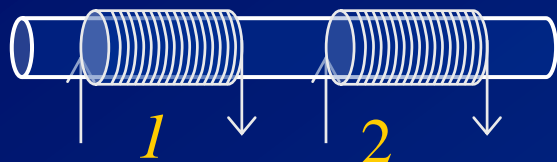


$$P = I_{ef} U_{ef} = RI_{ef}^2 = \frac{U_{ef}^2}{R}$$

$$U_{ef} = 230V, 400V$$

Indukčnost

Časově proměnný proud cívkou vyvolá indukované napětí v téže cívce, nebo v druhé cívce



$$U_i = -N \frac{d(\Phi)}{dt}$$

B uvnitř cívky:

$$U_i = -NS \frac{d(B)}{dt}$$

$$\leftarrow B = \frac{\mu_0 IN}{l}$$

$$U_i = -\frac{\mu N^2 S}{l} \frac{d(I)}{dt}$$

indukčnost :

Vlastní indukčnost cívky:

$$U_{i1} = -L \frac{d(I)}{dt}$$

$$L = -\frac{\mu N_1^2 S}{l}$$

Vzájemná indukčnost cívek:

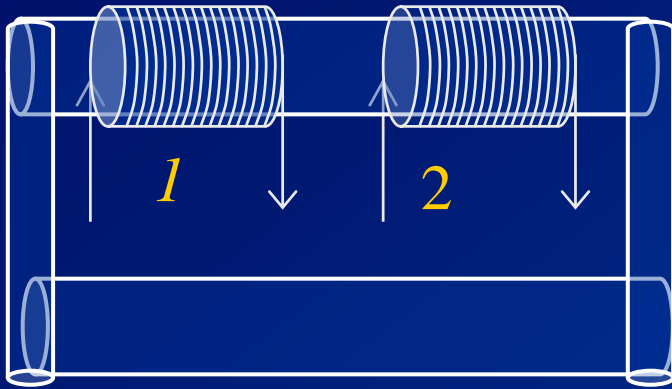
$$U_{i2} = -M \frac{d(I)}{dt}$$

$$M = -\frac{\mu N_1 N_2 S}{l}$$

[H] Henry

Transformátor

Časově proměnný proud cívkou vyvolá indukované napětí v druhé cívce



$$U_{i1} = -N_1 \frac{d(\Phi)}{dt}$$

$$U_{i2} = -N_2 \frac{d(\Phi)}{dt}$$

$\frac{d(\Phi)}{dt}$ je stejné pro obě cívky !

$$\frac{U_{i1}}{N_1} = \frac{U_{i2}}{N_2}$$



Proč se transformuje napětí?

Přenášejme výkon: $P = UI$

Při vyšším napětí proudí vedením o odporu R menší proud I a jsou na něm tedy i nižší ztráty $P = RI^2$