

8. NESTACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE

Veličiny popisující magnetické pole se s časem mění.

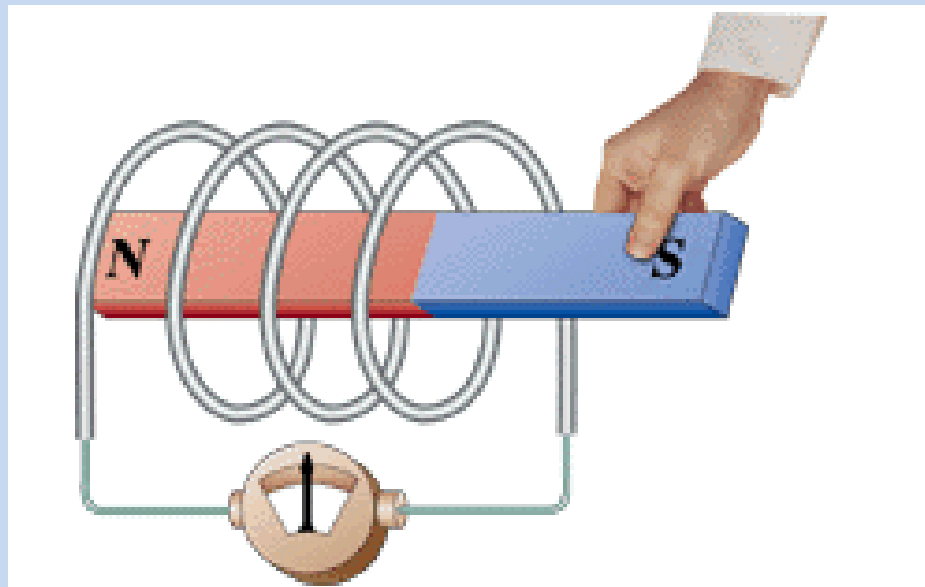
Zdrojem nestacionárního magnetického pole (NMP) je

- 1) nepohybující se vodič s časově proměnným proudem
- 2) pohybující se vodič s proudem
(časově proměnným nebo konstantním)
- 3) pohybující se permanentní magnet nebo elektromagnet

(pohyb je relativní...)

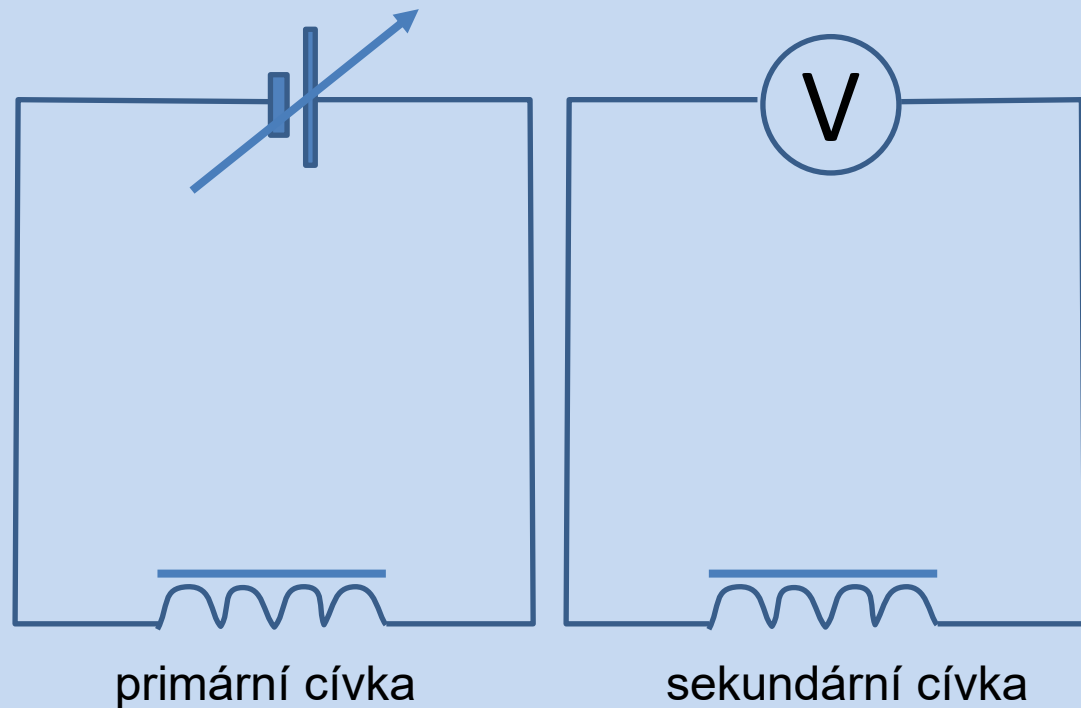
8. 1. ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

- Při vzájemném pohybu magnetu a cívky vzniká na koncích cívky **indukované elektromotorické napětí U_i** a uzavřeným obvodem protéká **indukovaný proud I_i**
- Rychlejší pohyb vyvolá větší napětí i větší proud.
- Příčinou je nestacionární magnetické pole.



Elektromagnetickou indukci objevil Michael Faraday (1831)

- Při jakékoli změně proudu v primární cívce se v sekundární cívce indukuje napětí.
- Při zmenšení nebo vypnutí se voltmetr vychýlí na jednu stranu, při zvětšení nebo zapnutí na druhou.
- V případě dlouhodobě sepnutého vypínače se v sekundární cívce nebude indukovat žádné napětí.



Podle typu (tvaru) čar se fyzikální pole rozdělují na

- **zřídlové pole** (elektrické pole)
siločáry vystupují ze zdroje nebo vstupují do zdroje
(částice se pohybuje po uzavřené křivce a práce je nulová)
- **vírové pole** (magnetické pole)
s uzavřenými čárami (kolem magnetů)
(práce není nulová)
- *Charakteristickým znakem vírových polí je, že nemají klasický zdroj (jako je třeba náboj – neexistuje magnetický náboj), ale vystupují jako doprovodná pole polí zřídlových.*

8. 2. MAGNETICKÝ INDUKČNÍ TOK Φ

slouží pro kvantitativní popis elektromagnetické indukce.

Vyjadřuje úhrnný tok magnetické indukce \mathbf{B}

procházející určitou plochou S vymezenou závitem.

α – úhel, který svírá \mathbf{B} s normálou \mathbf{n} k ploše S

ω = úhlová rychlost otáčení závitu

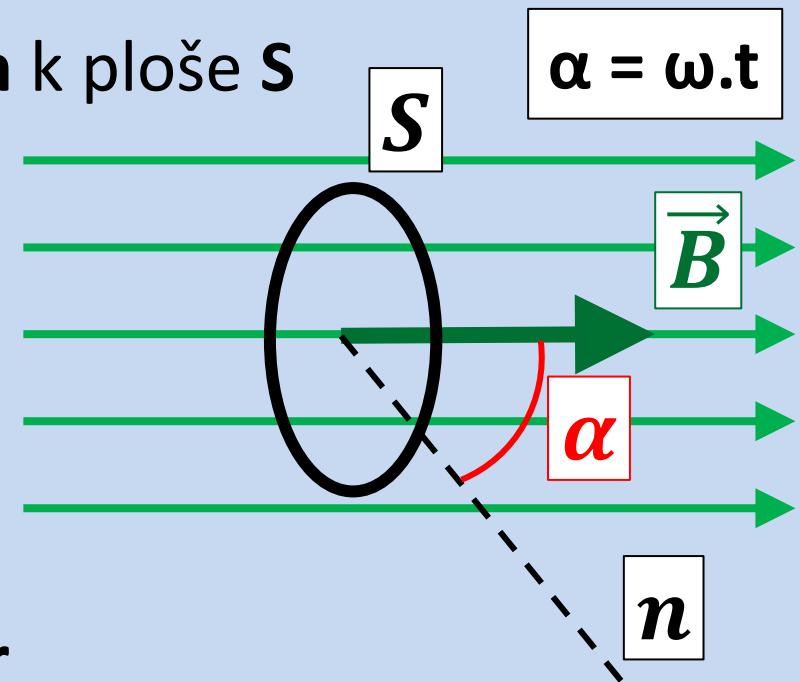
$$\mathbf{B} \parallel \mathbf{n} \quad \Phi = \max$$

$$\mathbf{B} \perp \mathbf{n} \quad \Phi = 0$$

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

$$[\Phi] = Tm^2 = Wb$$

weber



- napětí indukované v jednom závitu je malé \rightarrow N závitů \rightarrow

$$\Phi = NBS \cos \alpha$$

Wilhelm Weber

(Němec 1804 – 1891)



$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Pro NMP jsou charakteristické změny Φ (změnou B , S , α).

8. 3. FARADAYŮV ZÁKON ELEKTROMAGNETICKÉ INDUKCE

Změní-li se magnetický indukční tok uzavřeným vodičem za dobu Δt o $\Delta\Phi$, indukuje se ve vodiči elektromotorické napětí, jehož střední hodnota je

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Př.: Vodič v homogenním magnetickém poli.

Na koncích pohybujícího se vodiče se indukuje napětí.

Ve vodiči vzniká indukované pole o intenzitě E_i .

- B – magnetická indukce
- l – délka vodiče
- v – rychlost pohybu vodiče
- Δs – dráha vodiče
- ΔS – plocha opaná vodičem

$$F_m = Bev$$

$$U_i = E_i l \quad U_i = Bvl$$

$$F_e = E_i e$$

$$U_i = B \frac{\Delta s \cdot l}{\Delta t}$$

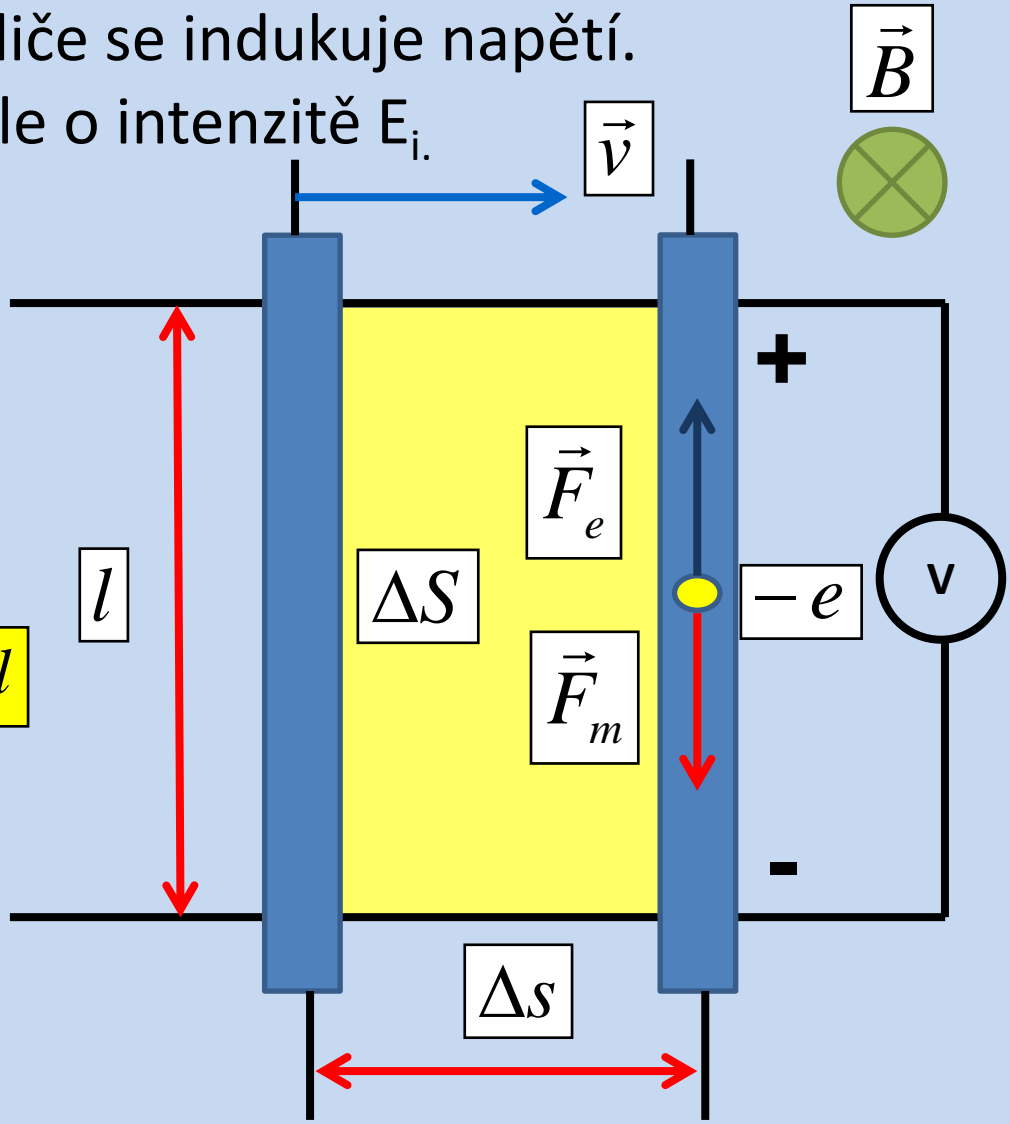
$$F_e = F_m$$

$$U_i = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$E_i e = Bev$$

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

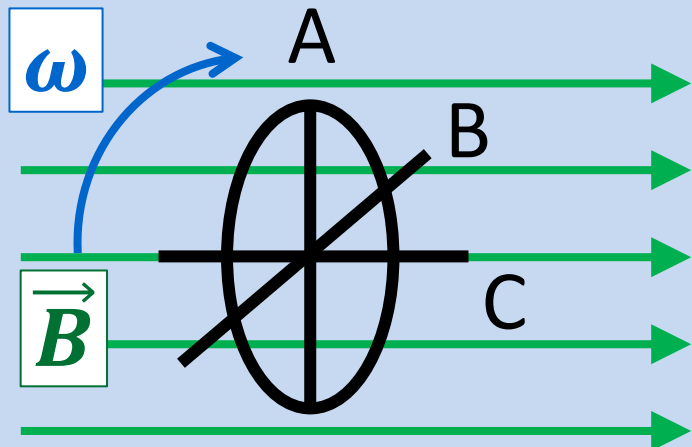
$$E_i = Bv$$



Pohybující se vodič je zdrojem napětí.

Př.: otáčející se závit v homogenním poli.

- V závitě vzniká indukovaný proud, jehož směr se periodicky mění.
- Napětí označujeme jako střídavé.



okamžitá hodnota

$$u_i = U_m \sin \omega t \quad \alpha = \omega t$$

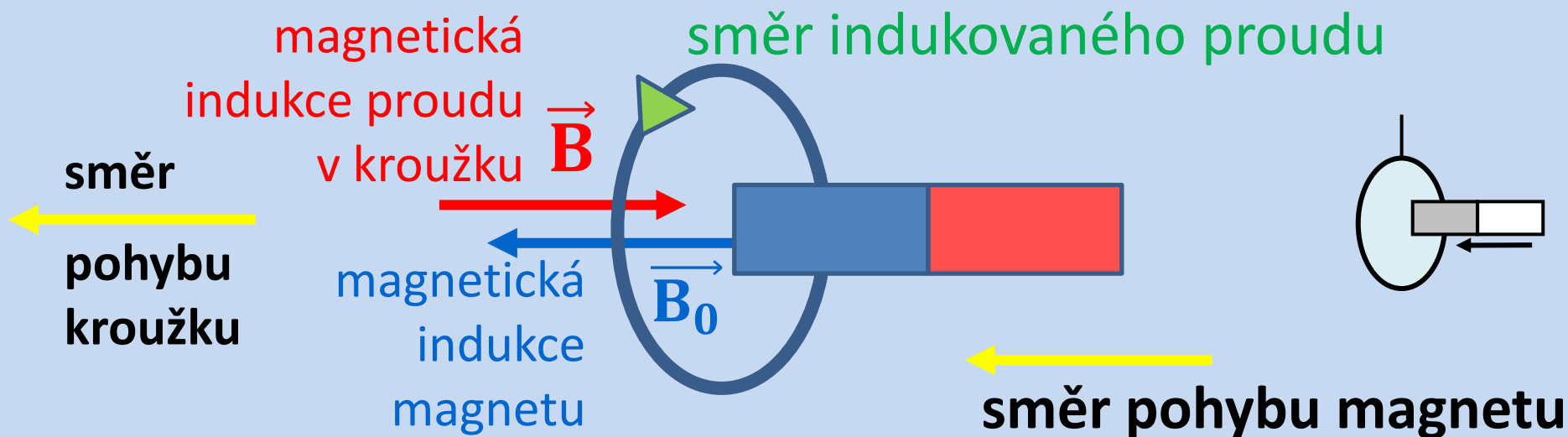
amplituda U_m maximální hodnota napětí

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Φ	α	U_i
0		
max		

8. 4. INDUKOVANÝ PROUD

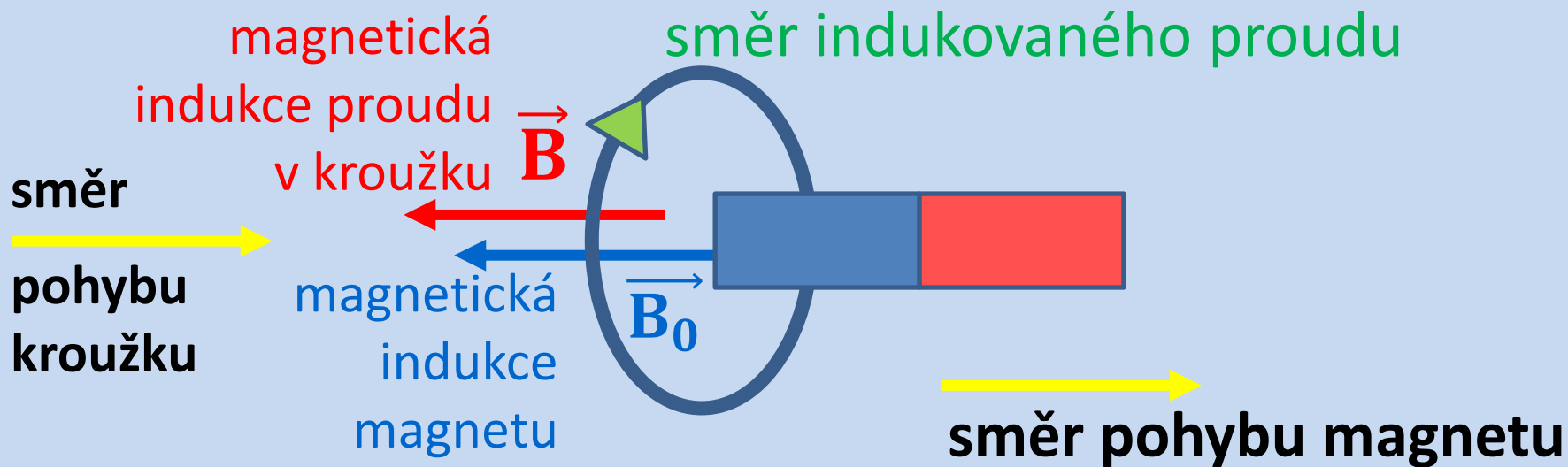
Př.: Vodivý kroužek pohyblivě zavěšený a magnet.



- Φ se zvětšuje $\Delta\Phi > 0$
- při zasunutí se kroužek a magnet odpuzují
- magnet svým mag. polem B_0 indukuje v kroužku proud takového směru, že jeho mag. pole B odpuzuje magnet

V uzavřeném obvodu o odporu R
vyvolá indukované napětí indukovaný proud.

$$I_i = \frac{U_i}{R}$$



- Φ se zmenšuje $\Delta\Phi < 0$
- při vysunutí se kroužek a magnet přitahují
- vzniká proud opačného směru než při zasunutí a jeho magnetické pole působí proti vysunutí magnetu

Lenzův zákon (1834)

indukovaný elektrický proud má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně, která ho vyvolala.

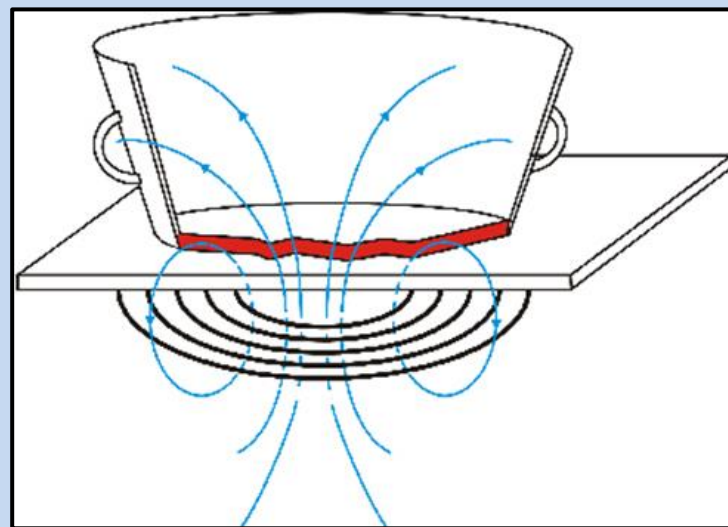
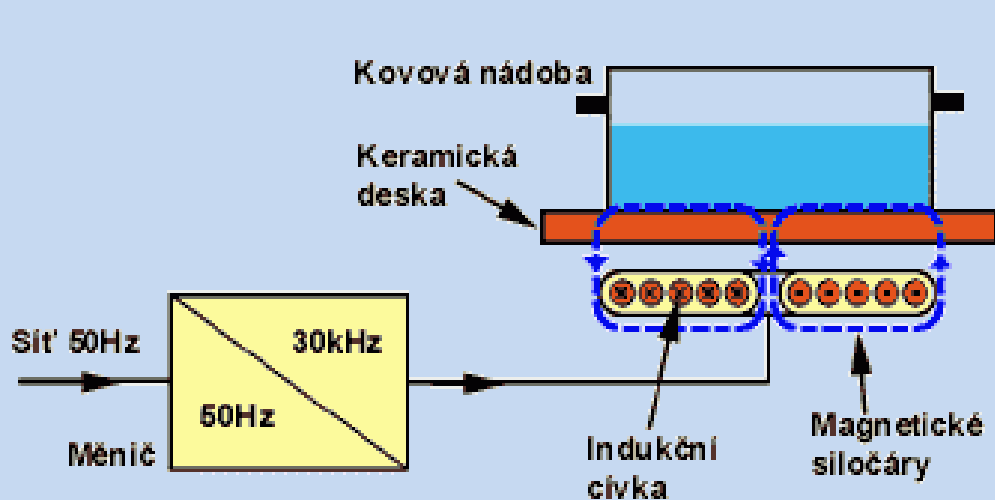
$$U_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Indukované proudy vznikají nejen ve vodičích tvaru drátů, ale i v masivních vodičích (plechy, desky, hranoly, ...), které jsou v proměnném magnetickém poli.

Můžeme si je představit v podobě vírů,
vířivé (Foucaultovy) proudy.

Jean Bernard Leon Foucault (F 1819 - 1868).

- způsobují ztráty energie
- elektrická energie se mění na vnitřní energii → využití – indukční ohřev



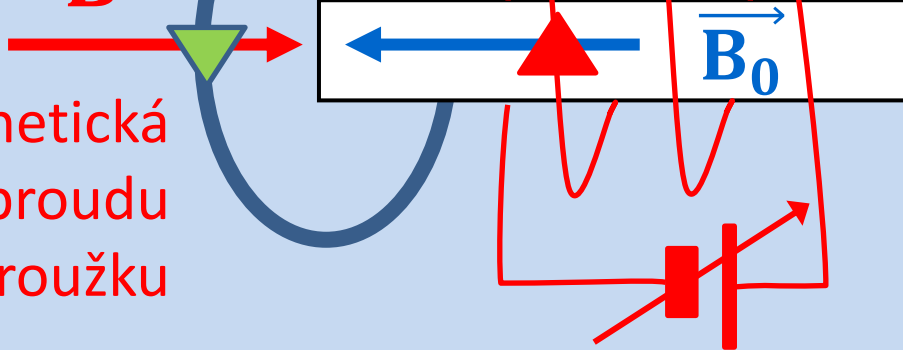
Př.: cívka

směr indukovaného proudu

směr pohybu
kroužku



\vec{B}



magnetická indukce
proudu v cívce

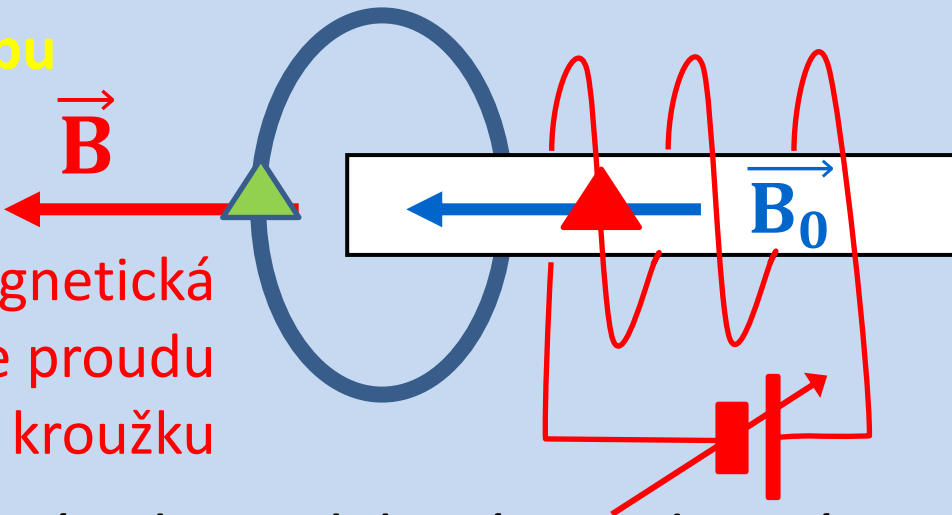
magnetická
indukce proudu
v kroužku

- při zapnutí nebo zesílení proudu v cívce se v kroužku indukuje **proud opačného směru** než v cívce,

směr pohybu
kroužku



\vec{B}



magnetická indukce
proudu v cívce

magnetická
indukce proudu
v kroužku

- při vypnutí nebo zeslabení proudu v cívce se v kroužku indukuje **proud souhlasný** se směrem proudu v cívce

8. 5. VLASTNÍ INDUKCE

Po sepnutí spínače

- \check{Z}_1 – se rozsvítí okamžitě
- \check{Z}_2 – později

Příčinou je vznik indukovaného elektrického napětí v cívce, které má opačný směr než napětí zdroje.

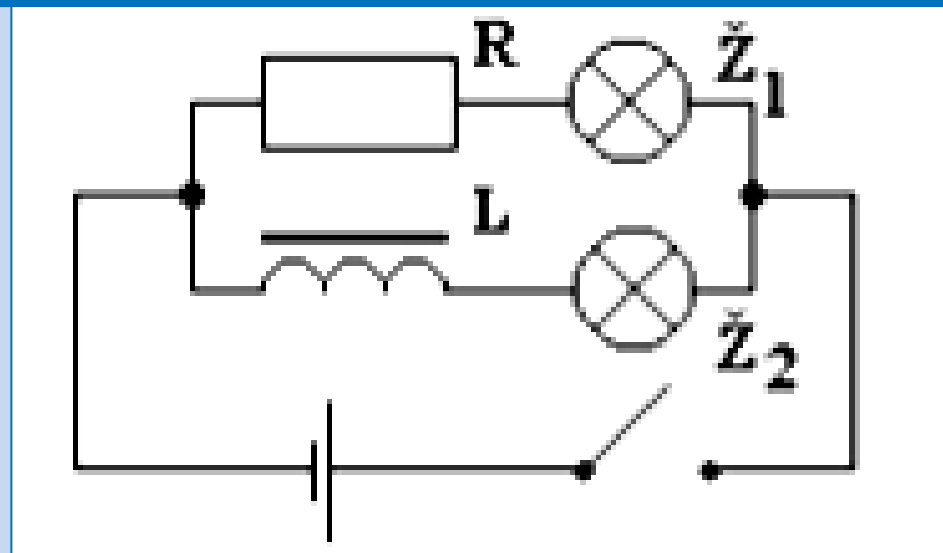
Zvětšuje se I , zvětšuje se B , magnetické pole je nestacionární

Proud nedosáhne okamžitě plné hodnoty, ale narůstá až do hodnoty určené odporem cívky.

Nastane ustálený stav a indukované elektrické pole zaniká.

Vlastní indukce

Indukované elektrické pole vzniká ve vodiči i při změnách mag. pole, které vytváří proud procházející vlastním vodičem.



Je-li $\mu_r = \text{konst.}$,

pak magnetický indukční tok cívkou (vodičem):

$$\Phi = L.I$$

L – indukčnost cívky (vodiče)

Změní-li se za Δt proud o ΔI pak

$$\Delta\Phi = L.\Delta I$$

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L = -U_i \frac{\Delta t}{\Delta I} \quad [L] = V \frac{s}{A} = \frac{Wb}{A} = H$$

Henry – vodič má indukčnost 1 H, jestliže se v něm při změně proudu o 1A za 1s indukuje napětí 1V.

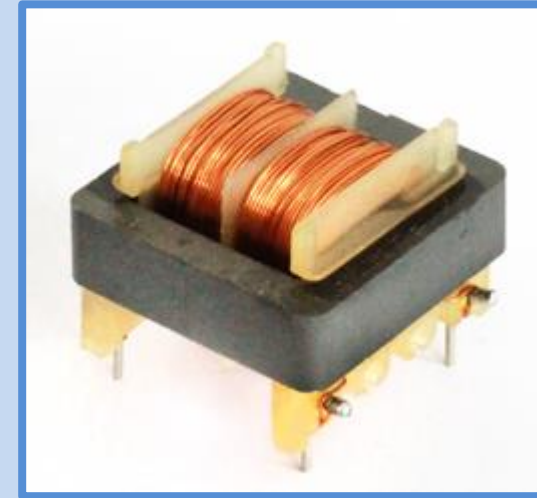
Čím větší je L, tím narůstá proud pomaleji.

Indukčnost cívky bez jádra je mnohem menší než s jádrem.

$$L_{\text{s jádrem}} \gg L_{\text{bez jádra}}$$

Tlumivka

cívka s uzavřeným
feromagnetickým jádrem.



Indukčnost cívky délky l s N závitů o obsahu plochy závitu S :

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

Indukčnost přímého vodiče lze zanedbat.

8. 6. PŘECHODNÝ DĚJ

pozorujeme při zapnutí a vypnutí proudu obvodu.

1. zapneme proud, indukuje se napětí $U_i = - U_e$

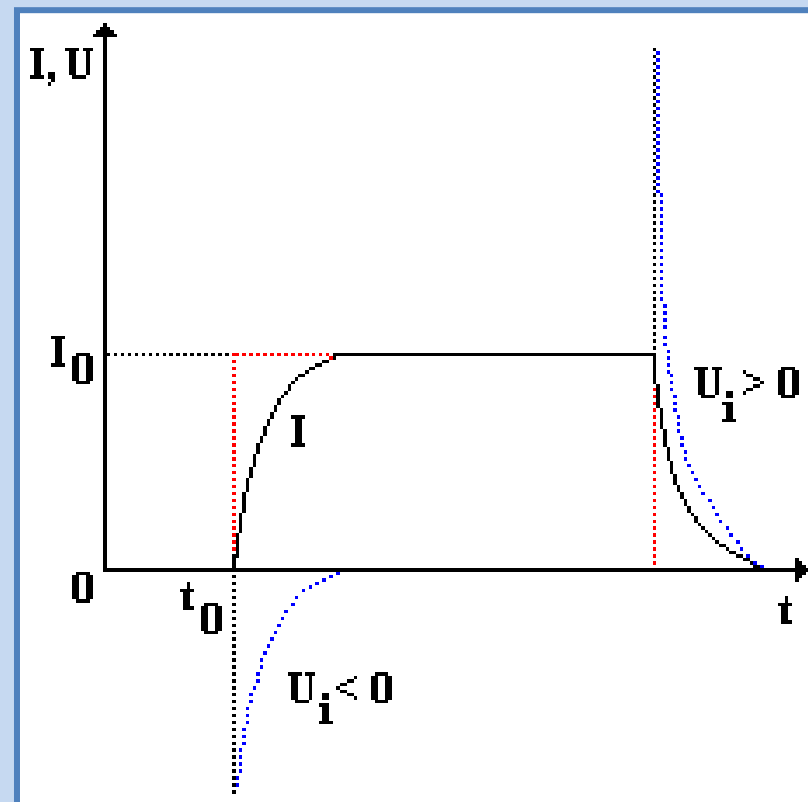
$$I = \frac{U_e + U_i}{R} = \frac{U_e - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}$$

Čím $\uparrow L$, tím narůstá proud pomaleji.

2. nastane ustálený stav s proudem I_o

$$I_o = \frac{U_e}{R}$$

3. při přerušení obvodu se indukuje napětí stejné polarity, jako má zdroj, ale podstatně větší. Proud nezanikne okamžitě, ale postupně $U_i \gg U_e$ (záblesk).



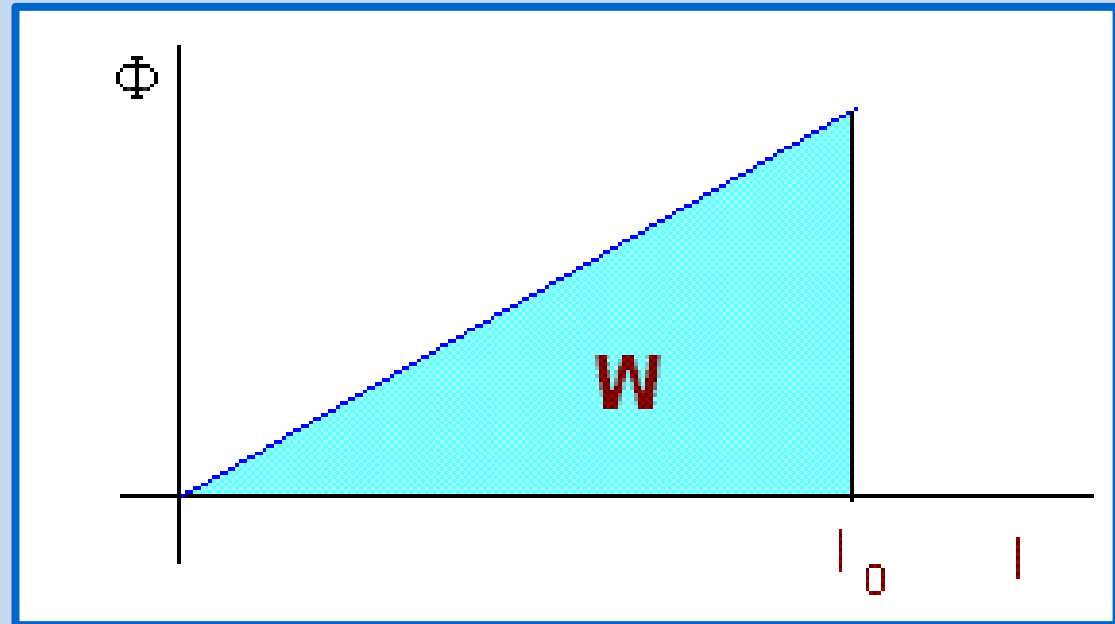
Přechodný děj souvisí se změnou energie.

Magnetický indukční tok Φ , vznikající v cívce, je přímo úměrný proudu v cívce.

$$\Phi = L \cdot I$$

Energie magnetického pole cívky – bez jádra

$$E_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$



8. NMP - příklady

Sbírka úloh pro střední školy (modrozelená)

5.kapitola

291 – 295 – promyslet

296 – 301, 305, 314 – 317 písemně na zvláštní papír A4.

K nahlédnutí:

<http://reseneulohy.cz/cs/fyzika/elektrina-a-magnetismus>