

Elektromagnetická indukcia



Vysvetlenie javu elektromagnetickej indukcie.

Indukovaná intenzita elektromorická a definovanie indukovaného elm. napätia.

Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie.

Lenzov zákon.

Jav vlastnej a vzájomnej indukčnosti

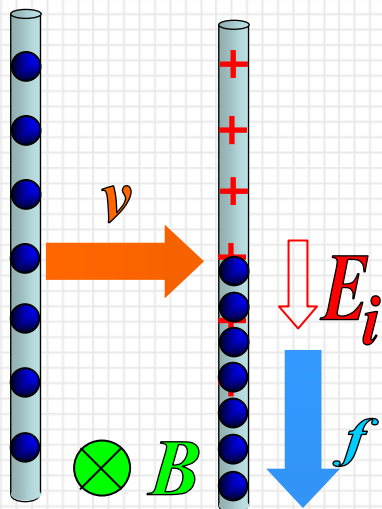
koeficient vlastnej a vzájomnej indukčnosti.

Vznik striedavého napätia, prúdu

a) vznik striedavého napätia a prúdu,

b) výkon striedavého prúdu a efektívna hodnota.

Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie (1)



Dôkaz elmag. indukcie
29. august 1831



$$\mathbf{f} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

$$\mathbf{E}_i = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Indukovaná intenzita

$$\mathbf{v} \times d\mathbf{l} = \frac{v dt \times d\mathbf{l}}{dt}$$

$$\mathbf{v} \times d\mathbf{l} = \frac{d^2 \mathbf{S}}{dt} \quad \begin{array}{c} \text{d}^2 \mathbf{S} \\ \uparrow \\ \text{dl} \\ \leftarrow \text{v dt} \end{array}$$

Indukované elektromotorické napätie... U_i

$$U_i = \oint \mathbf{E}_i \cdot d\mathbf{l} \longrightarrow = \oint (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

$$\longrightarrow = \oint \mathbf{B} \cdot (d\mathbf{l} \times \mathbf{v})$$

$$\longrightarrow = - \oint \mathbf{B} \cdot (\mathbf{v} \times d\mathbf{l})$$

$$\longrightarrow = - \oint \mathbf{B} \cdot \frac{d^2 \mathbf{S}}{dt}$$

$$\longrightarrow = - \frac{d}{dt} \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Faradayov zákon elmag. indukcie

Indukované EMN sa rovná zápornej časovej zmene indukčného toku v kovovej slučke.

$$U_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie (2)

3

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

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

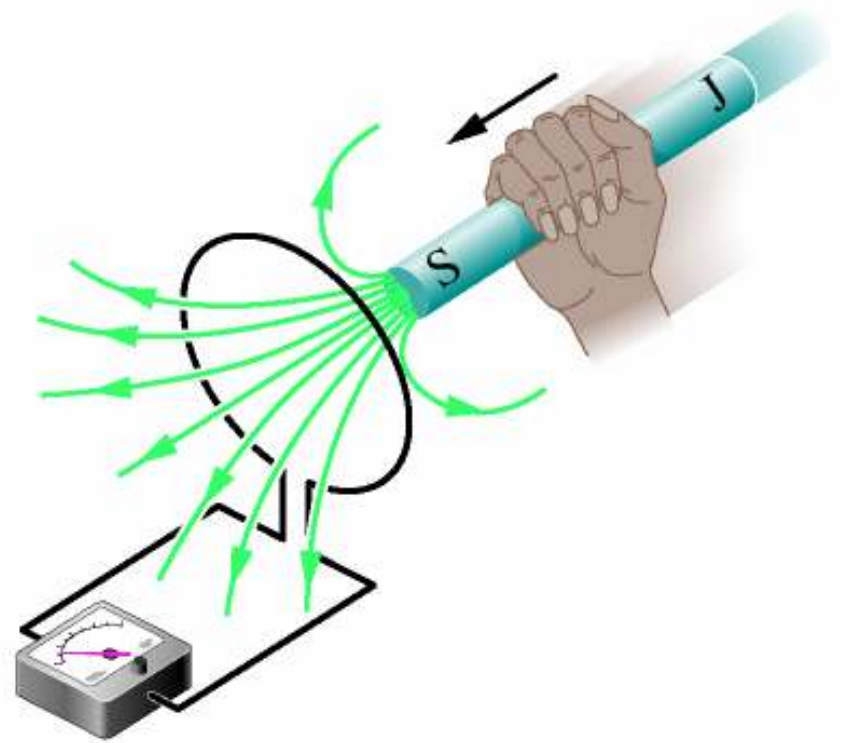
$$U_i = -\frac{d(B S \cos \alpha)}{dt}$$

Ako sa to dá dosiahnuť?

Zmenou veľkosti B v záвите

Zmenou plochy závitů S

Zmenou uhla medzi B a plochou závitů S



EMN sa indukuje pri zmene indukčného toku cez slučku (resp. pri zmene počtu indukčných čiar, ktoré prechádzajú slučkou)

Lenzov zákon

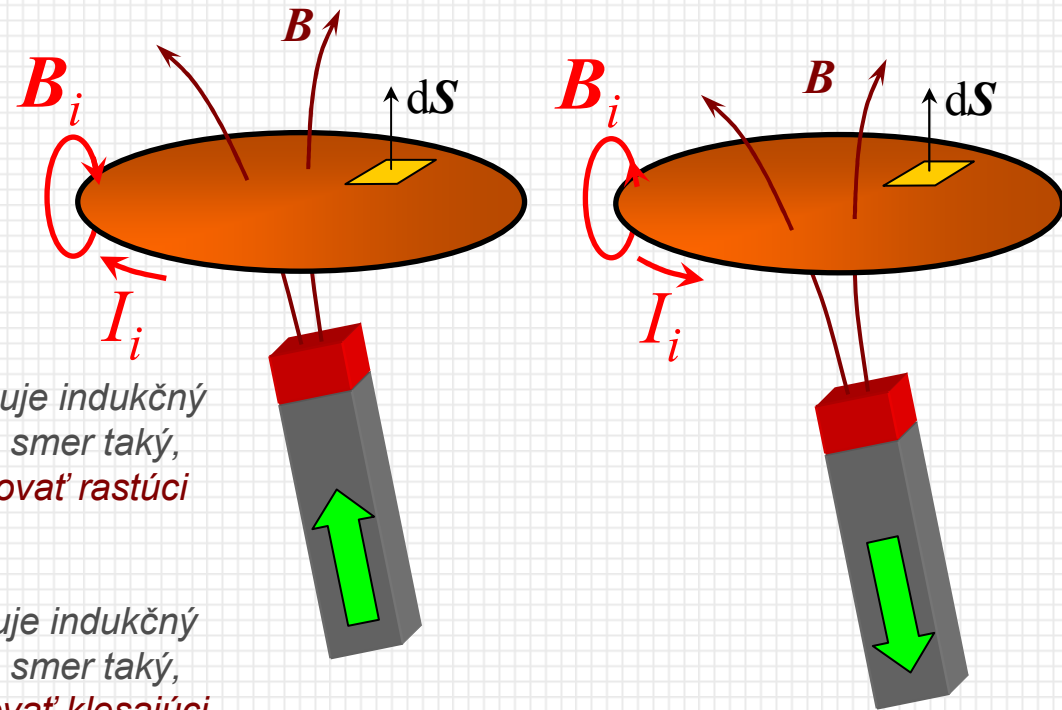
Pre výpočet veľkosti indukovaného EMN sa ignoruje znamienko $-$ vo Faradayovom zákone elmag. indukcie.

Lenzov zákon sa zaoberá orientáciou indukovaného prúdu vzhľadom na magnetické pole.

$$U_i = \boxed{-} \frac{d\Phi}{dt}$$

1) Pohybom magnetu ku slučke sa zvyšuje indukčný tok slučkou. Indukovaný prúd má potom smer taký, aby vyvolal mg. pole, ktoré bude **zoslabovať** rastúci indukčný tok.

2) Pohybom magnetu od slučky sa znižuje indukčný tok slučkou. Indukovaný prúd má potom smer taký, aby vyvolal mg. pole, ktoré bude **zosilňovať** klesajúci indukčný tok.



Lenzov zákon

Orientácia indukovaného prúdu (napätia) je taká, že ním vyvolaný indukčný tok kompenzuje zmenu indukčného toku, ktorá bola príčinou jeho vzniku.

Vzájomná indukčnosť

Zmena prúdu vo vodiči vyvolá zmenu magnetického poľa v okolí vodiča. Zmena poľa je zmenou indukčného toku cez plochu vodičom uzavretú. Táto indukuje vo vodiči indukované EMN. Toto je tzv. **samoindukcia**.

$$\Phi \sim I$$

koeficient samoindukcie, resp. samoindukčnosť **L**

$$\Phi = LI$$

$$U = -L \frac{dI}{dt}$$

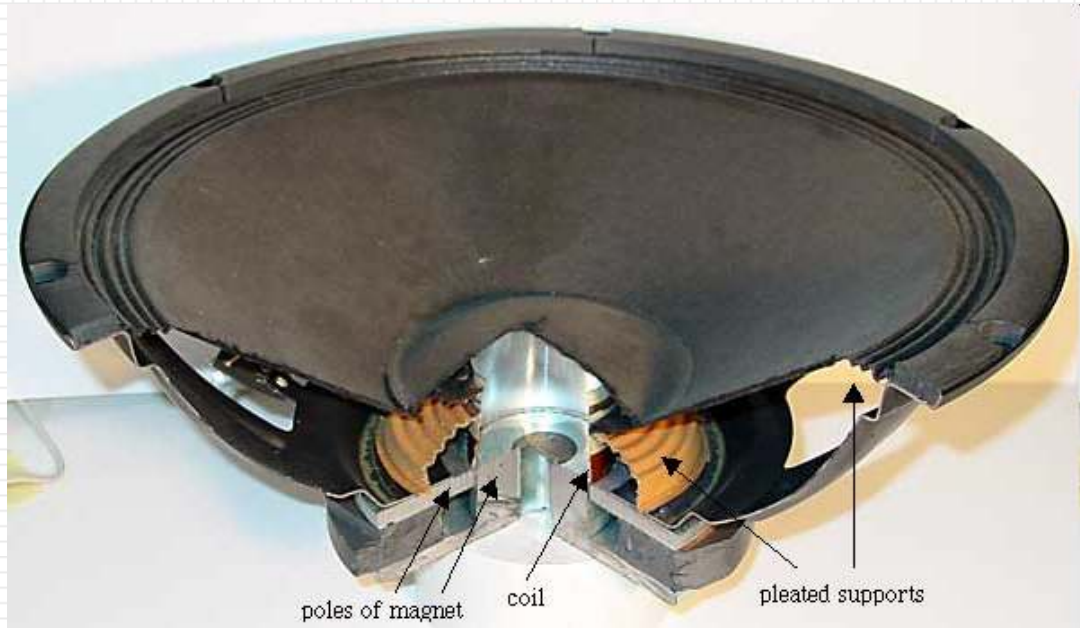
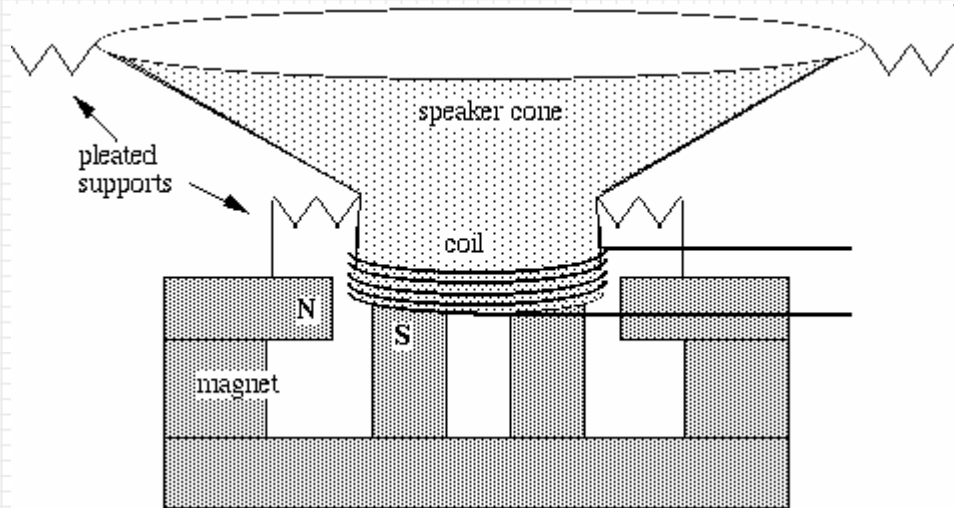
V prípade dvoch vodičov vedľa seba môže mg. tok z jedného vodiča indukovať prúd druhom. Takýto jav je **vzájomná indukcia**.

$$\Phi_{12} = L_{12}I \quad U_{12} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt}$$

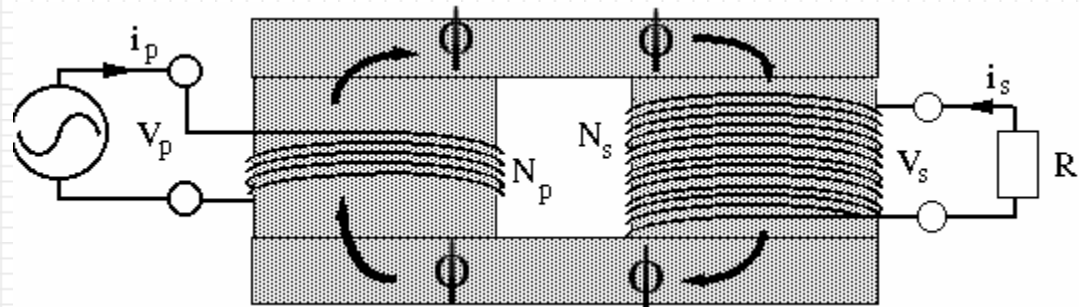
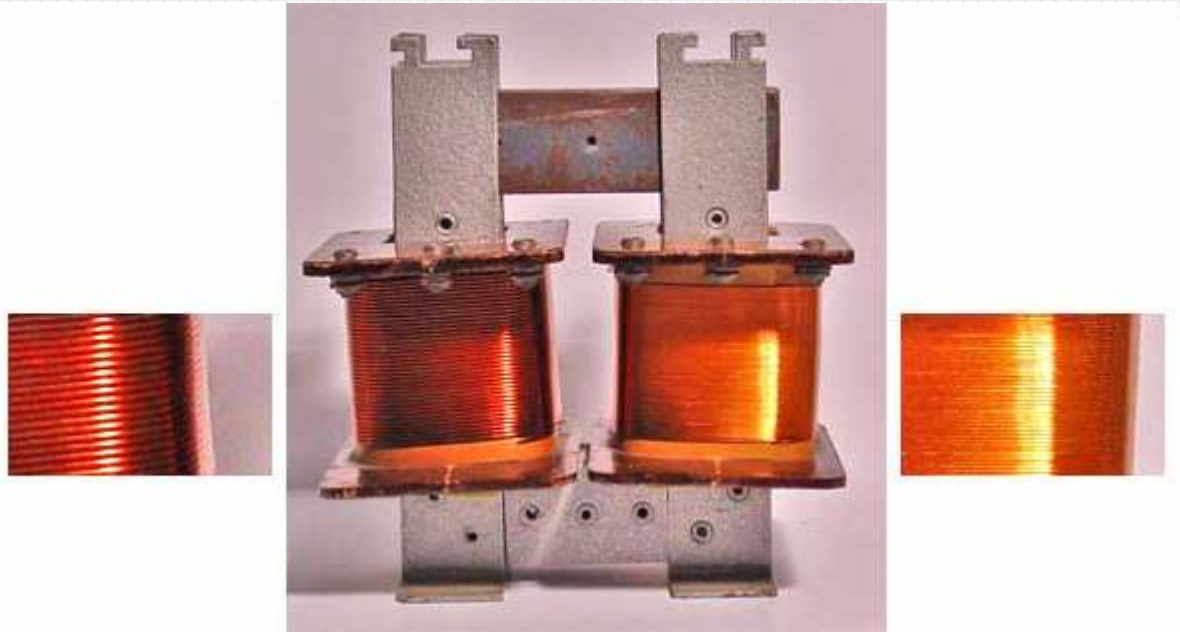
koeficient vzájomnej indukcie, resp. vzájomná indukčnosť **L_{12}**

Jednotka **H (Henry) (1A/s)**

Reproduktor



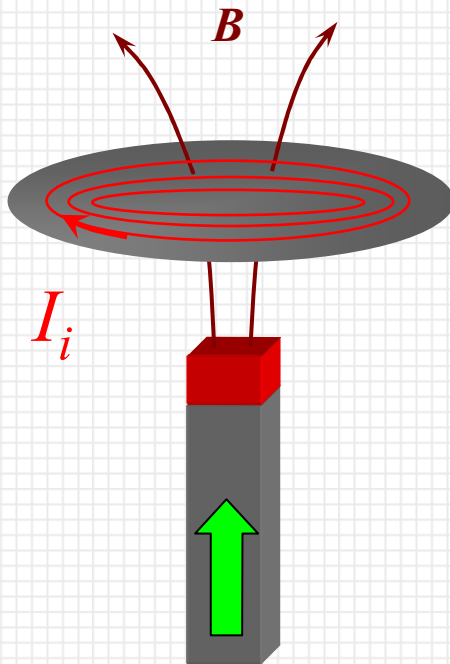
Transformátory



$$V_s/V_p = N_s/N_p$$

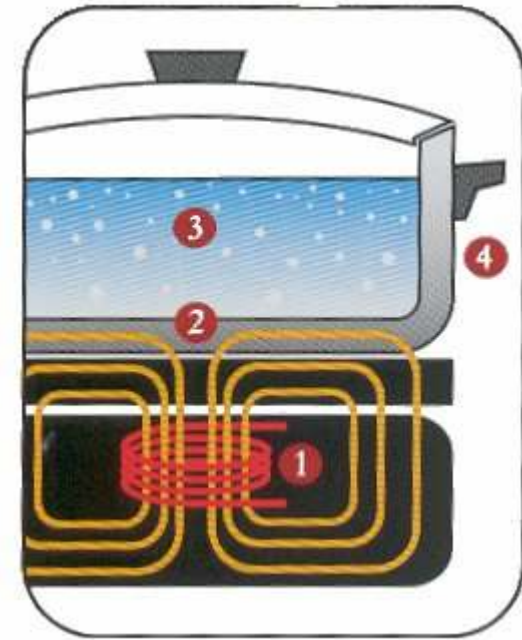
Vířivé prúdy (1)

Namiesto vodiča je kovová platňa orientovaná kolmo na smer s B .
V takom prípade sa v platni vo vodiči indukujú v súlade s
Lenzovým zákonom **vířivé prúdy**.



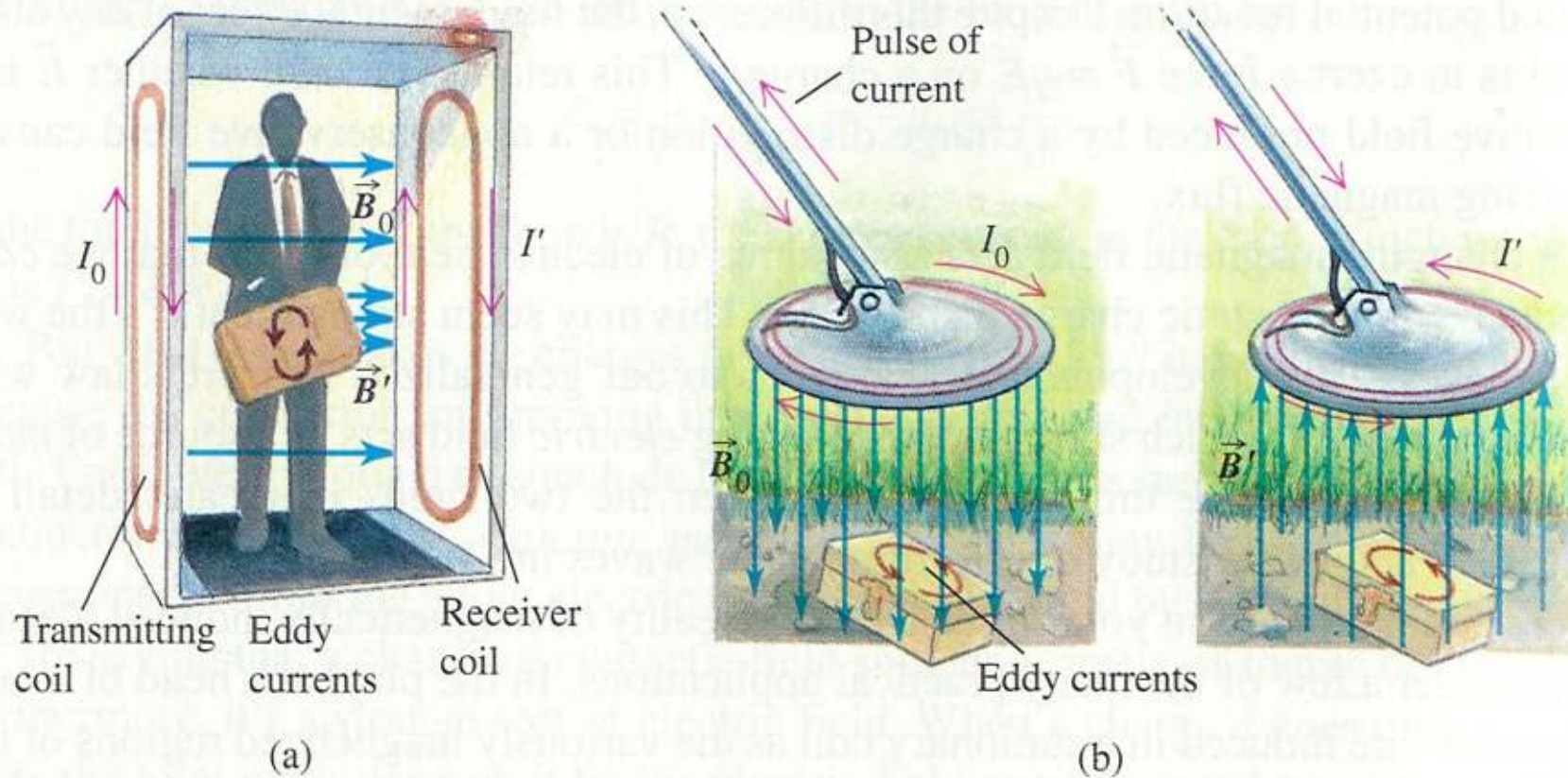
$$P = Ri^2$$

Indukovaný prúd môže spôsobiť ohrev vodiča (tzv.
indukčný ohrev, induction heating)



Podobným princípom vířivých prúdov fungujú elektromery, kde
kovová platňa s indukovanými vířivými prúdmi sa otáča. Tieto vířivé
prúdy sú vyvolané striedavým mg. poľom z cievok elektromera.

Ďalším príkladom vířivých prúdov sú transformátory, kde vířivé prúdy
spôsobujú nežiadúci ohrev v jadre. (zabránenie plechmi)



a) Detektor kovov na checkpointoch na letiskách generuje striedavé mg. pole. Toto indukuje vířivé prúdy vo vodivých objektoch, ktoré sa prenášajú cez detektor. Tieto vířivé prúdy zase generujú striedavé mg. pole, ktoré indukuje prúdy v prijímači detektora. b) Podobný je princíp prenosných detektorov kovov.

Magnetická levitácia

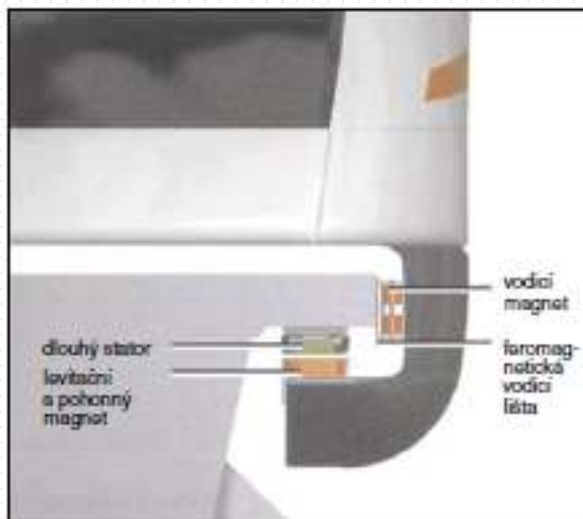
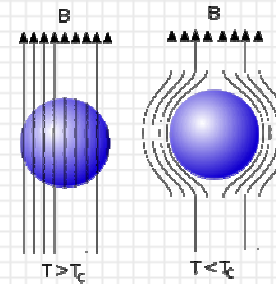
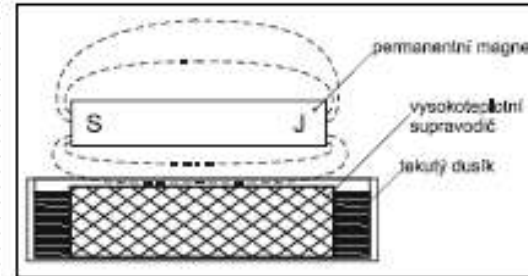
*Levitácia permanentných magnetov
(ložiská)*

*Levitácia diamagnetika, paramagnetika
(nehomogénne pole + diamagnetikum
resp. Supravodič – Meissnerov jav)*

*Levitácia transformačná
(striedavé B + elektricky vodivé teleso)*

*Levitácia elektromagnetická
(elektromagnet + feromagnet)*

Veľká nestabilita. Využíva sa radiaci obvod. (experiment s levitujúcou zemeguľou)



Striedavé napätie, prúd (harmonický)

Rotáciou závitov v mg. poli sa mení uhol. Treba určiť ako sa bude meniť **indukované napätie** a **indukovaný prúd** v takom prípade.

$$\begin{aligned}
 U_i &= -\frac{d\Phi}{dt} \longrightarrow = -\frac{d(\mathbf{B} \cdot \mathbf{S})}{dt} \longrightarrow = -\frac{d(BS \cos \alpha)}{dt} \quad \alpha = \omega t \\
 &= -\frac{d(BS \cos \omega t)}{dt} \longrightarrow = -BS \frac{d(\cos \omega t)}{dt} \longrightarrow = \omega BS \sin \omega t
 \end{aligned}$$

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

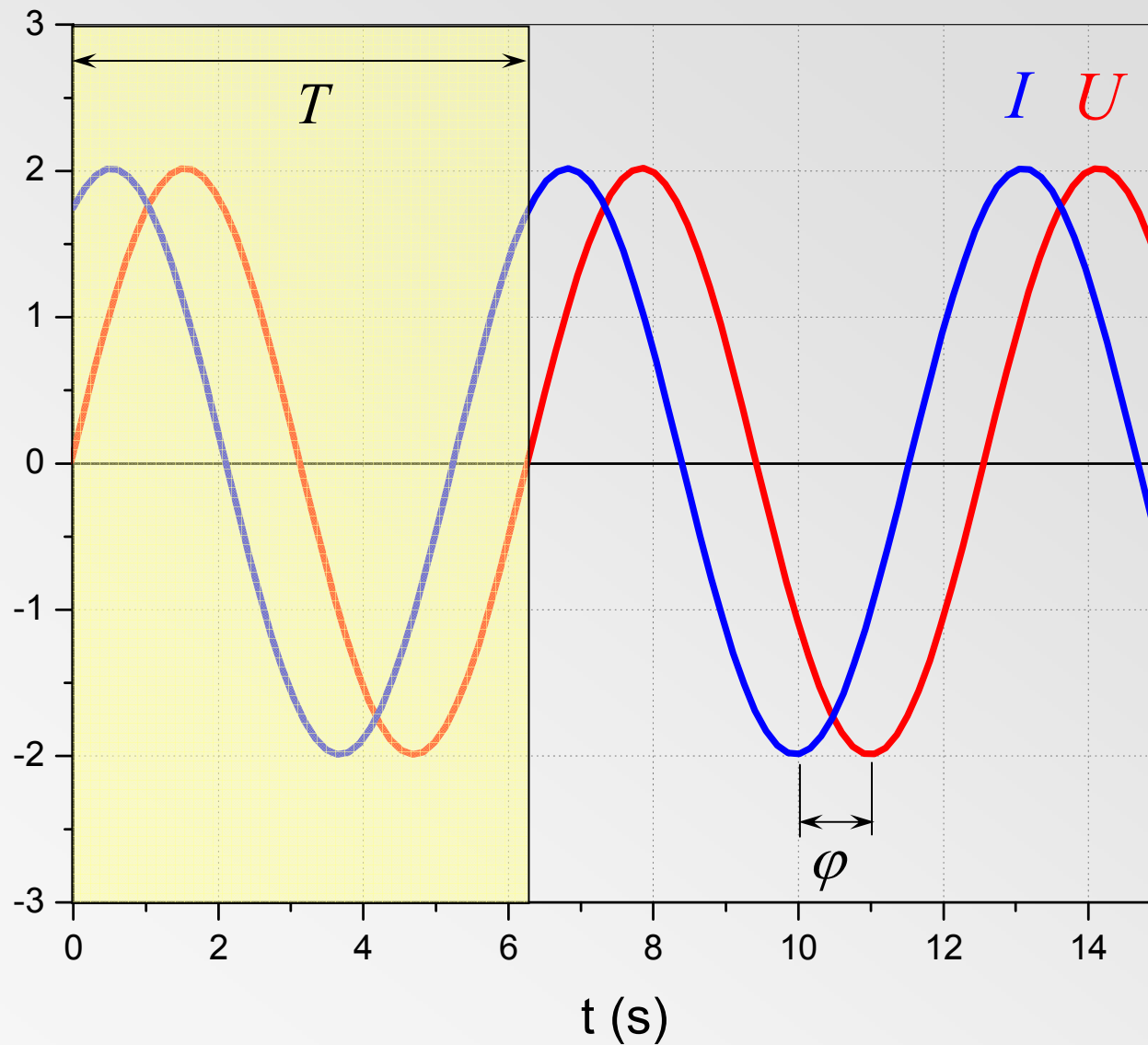
$$U_0 = \omega BS$$

$$I_i = \frac{U_i}{R} \longrightarrow = \frac{U_0 \sin \omega t}{R}$$

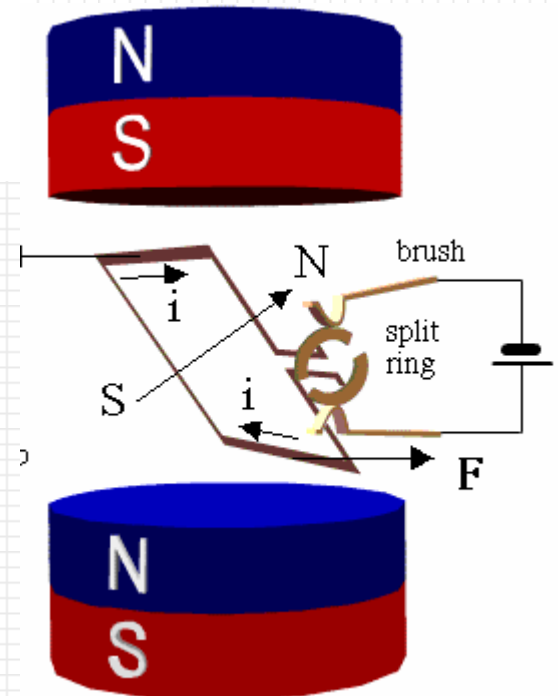
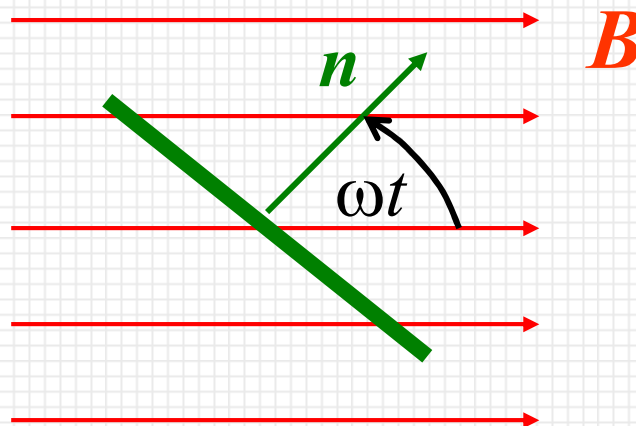
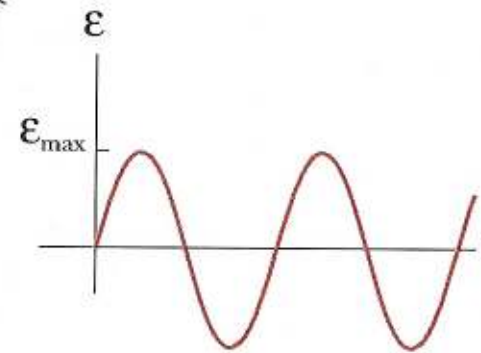
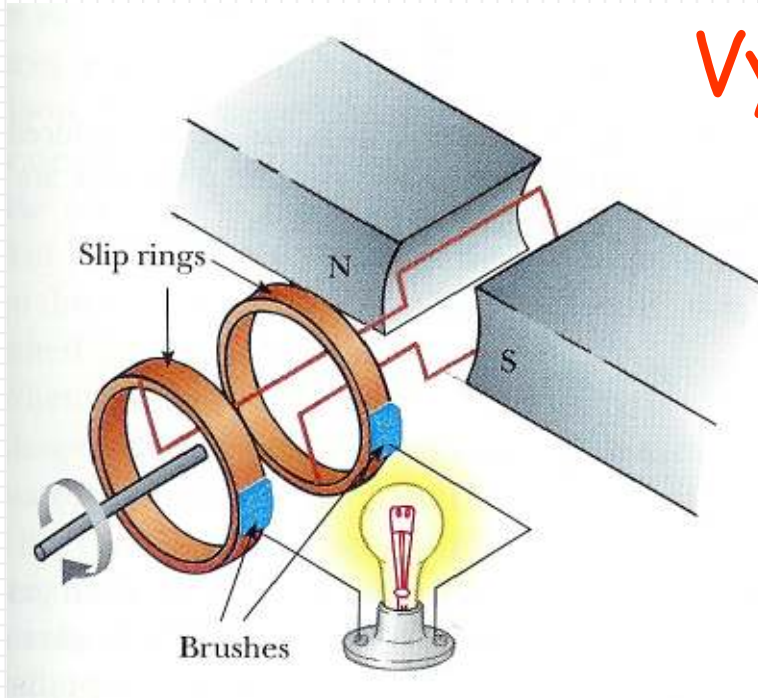
$$I_i = I_0 \sin \omega t$$

$$I_0 = \frac{\omega BS}{R}$$

Výkon harmonického striedavého prúdu



Výroba elektrického prúdu



Výkon harmonického striedavého prúdu

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T UI dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_0 I_0 \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) dt$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U_0 I_0 (\sin^2 \omega t \cos \varphi - \sin \omega t \cos \omega t \sin \varphi) dt$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U_0 I_0 \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \cos \varphi - \sin \omega t \cos \omega t \sin \varphi \right) dt$$

$$P = \frac{1}{2T} \int_0^T U_0 I_0 \cos \varphi dt$$

$$P = \frac{U_0 I_0 \cos \varphi}{2}$$

Efektívna hodnota striedavého prúdu, napätia

$$RI_e^2 = \frac{1}{T} \int_0^T RI^2 dt$$

Efektívna hodnota striedavého prúdu je taká, ktorá na odpore s hodnotou R spôsobí rovnaké teplo ako striedavý prúd

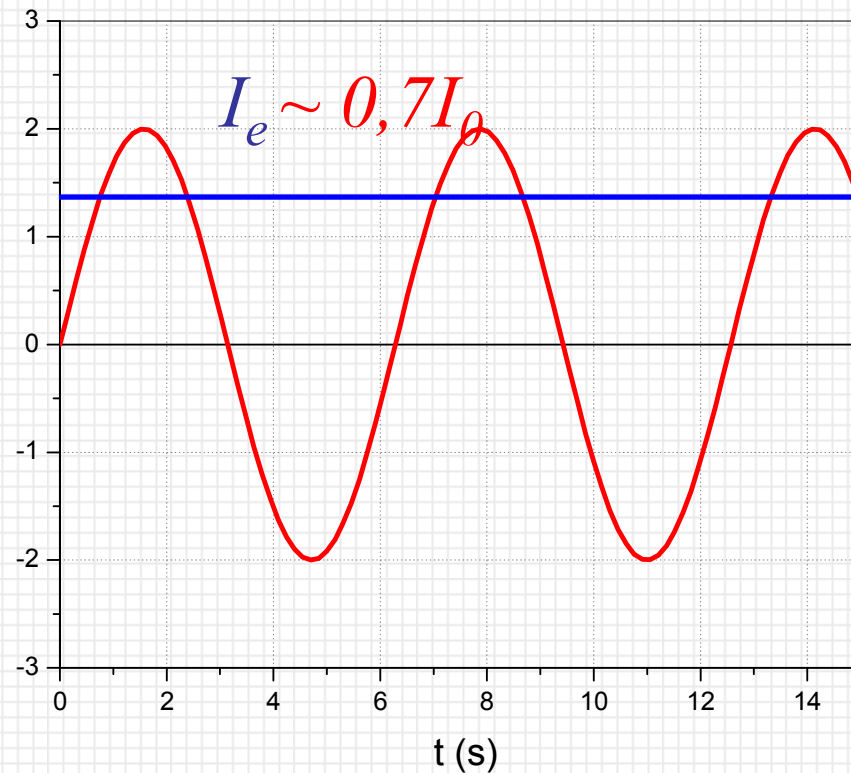
$$I = I_0 \sin \omega t$$

$$I_e^2 = \frac{1}{T} \int_0^T I_0^2 \sin^2 \omega t dt$$

$$I_e^2 = \frac{I_0^2}{T} \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt$$

$$I_e^2 = \frac{I_0^2}{2} \quad I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

$$I_e \cong 0,7I_0$$



Efektívna hodnota striedavého napätia

$$U_e = RI_e$$

$$U_e = \frac{RI_0}{\sqrt{2}}$$

$$U_e = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

$$U_e \cong 0,7U_0$$

$$U_e = RI_e$$

$$P = \frac{U_0 I_0 \cos \varphi}{2}$$

$$P = U_e I_e \cos \varphi$$