Промјенљиво електрично и магнетско поље (Електромагнетска индукција).

Основи електротехнике 2

Предавање: 5. блок

ЈЕДНАЧИНЕ СТАЛНИХ МАГ. ПОЉА

– закон конзервације (одржања) маг. флукса

$$\oint_S \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$

– уопштени Амперов закон

$$\oint_C \vec{H}\,d\vec{l} = \sum_C I$$

– конститутивна релација

$$\vec{B} = \vec{B}(\vec{H})$$

ПРОМЈЕНЉИВО ЕЛЕКТРИЧНО И МАГ. ПОЉЕ

- електромаг. индукција

$$\oint_C \vec{E}\, d\vec{l} = 0$$ у електростатичком пољу

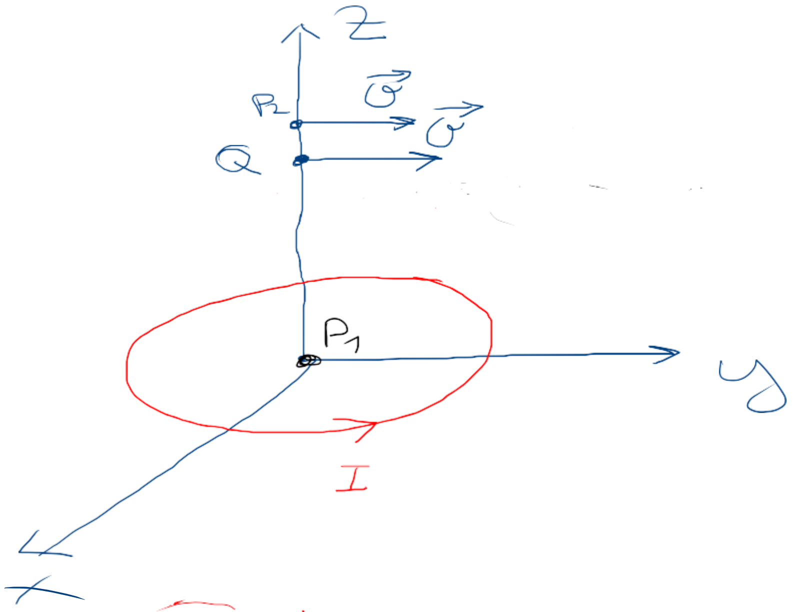
$$\oint_C \vec{E}\, d\vec{l} \neq 0$$ у општем случају када се ел. поље мијења у времену

$$\vec{F}_e = Q \cdot \vec{E}$$

$$\vec{F}_m = Q\,\vec{v} \times \vec{B}$$

Teb gokaga:

$B(t) \longrightarrow E(t)$



$$\vec{F}_m = Q\,\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_e = Q\,\vec{E}$$

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

ВЕКТОР ЈАЧИНЕ ИНДУКОВАНОГ ЕЛ. ПОЉА

Ел. поље има 2 узрочника:

– расподела ел. оптерећења
– електричне струје које се мењају у времену

Ове двије компоненте немају исту природу па ни особине али оне сугеришу да на наел. честицу дјелује сила облика $\vec{F} = Q\vec{E}$

$$\vec{F} = Q\vec{E} = Q(\vec{E}_{st} + \vec{E}_{ind})$$

статичка компон.

индукована компон.

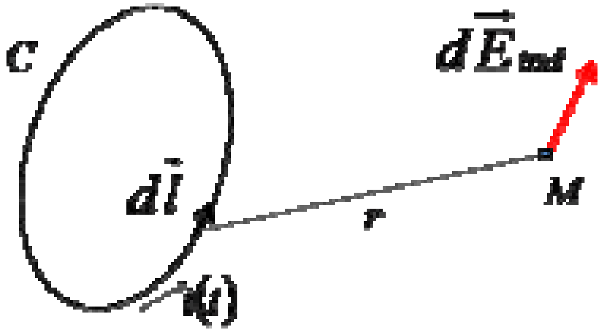
$$\vec{E}_{ind} = \vec{v} \times \vec{B}$$

Јачина инд. ел. поља у тачки да се посматрани тачке брзином $\vec{v}$ у односу на изворе маг. поља инд. $\vec{B}$

$$d\vec{E}_{ind} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{d\vec{l}}{r}$$

$$\vec{E}_{ind} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \oint_C \frac{di(t)}{dt} \frac{d\vec{l}}{r}$$

индукована електромоторна сила

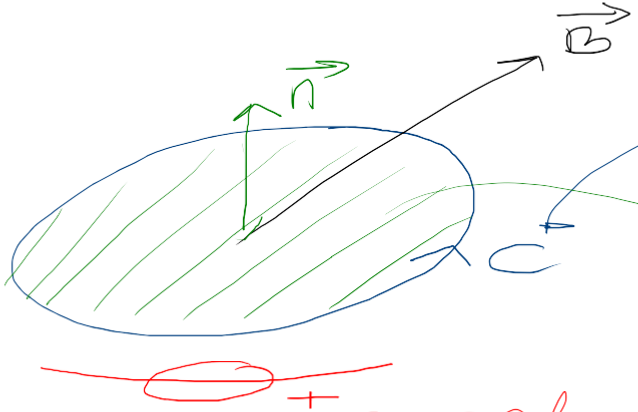


ФАРАДЕЈЕВ ЗАКОН ЕЛ. МАГ. ИНДУКЦИЈЕ

$$e_{ind}(t) = -\frac{d\Phi}{dt}$$

ФАРАДЕЈЕВ ЗАКОН ЕЛ. МАГ. ИНДУКЦИЈЕ

Φ – флукс кроз површ ослоњену на контуру



Бирамо произвољно ако није задато

површ ослоњена на контуру

e_{ind} ← реф. смер

прати смер контуре

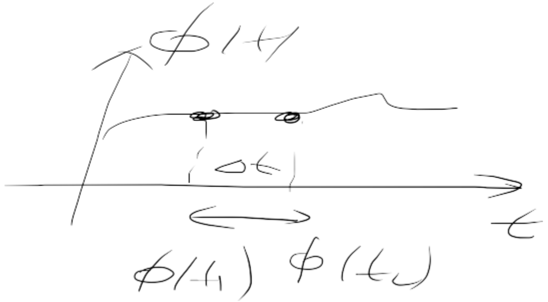
- Φлукс се повећава

$$\frac{d\Phi}{dt} > 0 \quad \text{јер је} \quad e_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} < 0$$

- Φлукс се смањује

$$\frac{d\Phi}{dt} < 0 \quad \text{јер је} \quad e_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} > 0$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \lim_{dt \to 0} \frac{\Phi(t+dt) - \Phi(t)}{dt}$$



$$\Delta\Phi = \Phi(t_2) - \Phi(t_1)$$

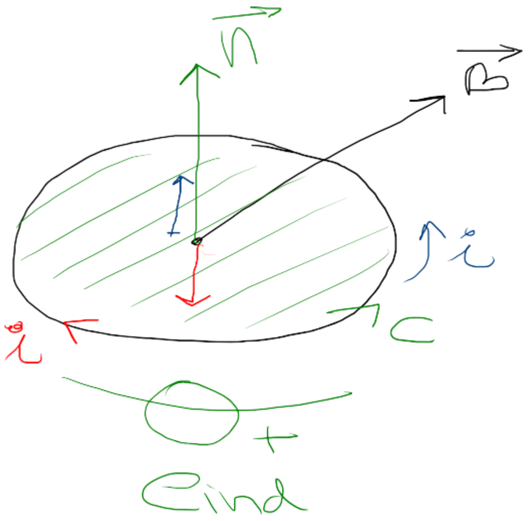
$$\Delta t \to dt$$

$$d\Phi = -$$

$$\boxed{\text{ЛЕНЦОВО ПРАВИЛО}}$$

$$\frac{d\Phi}{dt} \neq 0 \qquad \Phi = \int_S \underset{B(t)}{B}\, dS \underbrace{\cos\angle(\vec{B}, \vec{n})}$$

$$\frac{d\Phi}{dt}$$



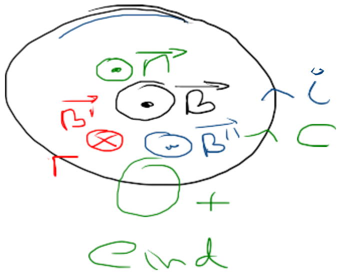
$$e_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

1° $\frac{d\Phi}{dt} > 0 \Rightarrow B(t) \nearrow$

dep $d\Phi > 0$

2° $\frac{d\Phi}{dt} < 0 \Rightarrow B(t) \swarrow$

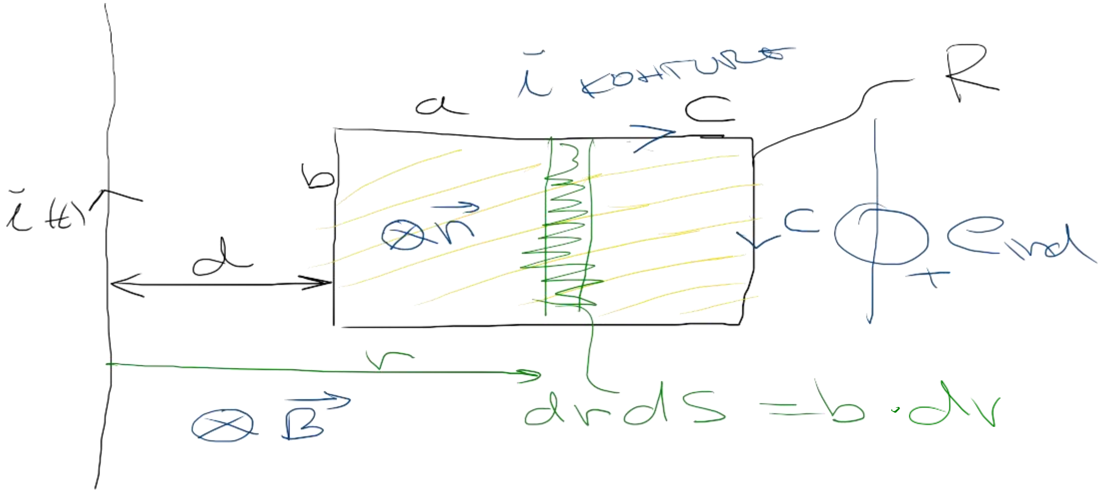
$d\Phi < 0$



$\frac{d\Phi}{dt} > 0$

$\frac{d\Phi}{dt} < 0$

– статичка индукција



$$\phi(t) = \int_{S_{нас}} \vec{B}\, d\vec{S} =$$

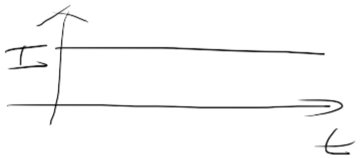
B(t)

$$\phi(t) = \frac{\mu_0 \cdot i(t)}{2\pi}\, b \int_d^{a+d} \frac{dr}{r}$$

$$\phi(t) = \frac{\mu_0 \cdot i(t)\, b}{2\pi} \ln\frac{a+d}{d}$$

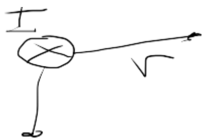
$$B(t) = \frac{\mu_0 \cdot i(t)}{2\pi r}$$

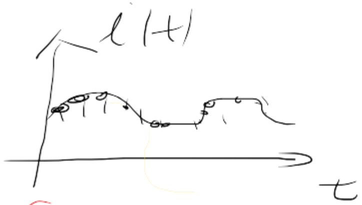
$$I \to B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$e_{ind} = -\frac{\mu_0 b}{2\pi}\frac{di(t)}{dt}\ln\frac{a+d}{d}$$





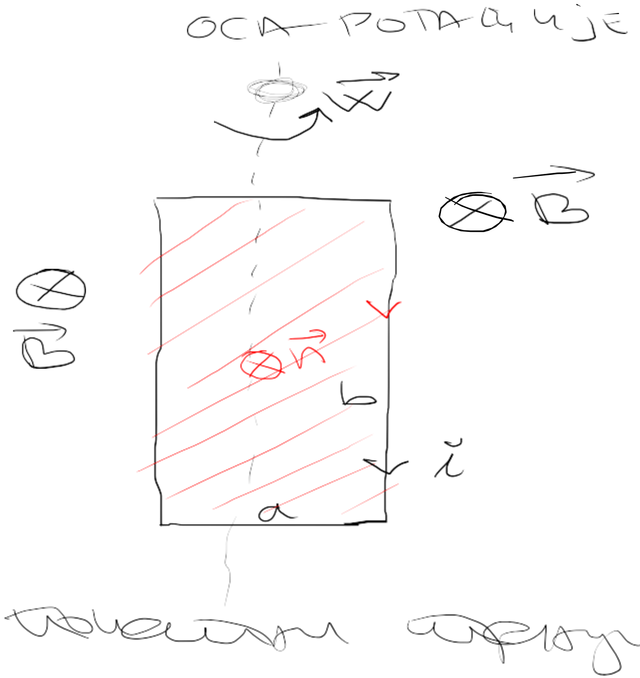
$$i_{контуре} = \frac{e_{ind}}{R}$$ ← отпор. контуре

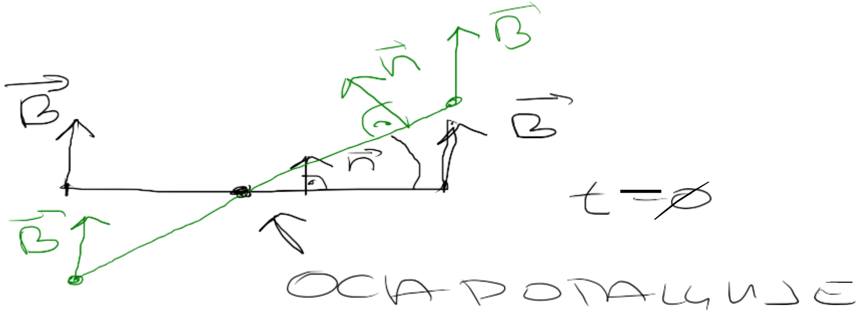
$$P_J(t) = R \cdot i^2_{контуре}(t)$$

$$e_{ind\, st} = -\frac{d}{dt}\int \vec{B}\, d\vec{S} = -\int \frac{d\vec{B}}{dt}\, d\vec{S}$$

- динамичка индукција

$B = const. \Rightarrow \Phi = \int B\,dS \underbrace{\cos\angle(\vec{B}, \vec{n})}_{\text{мијења се у датом}}$





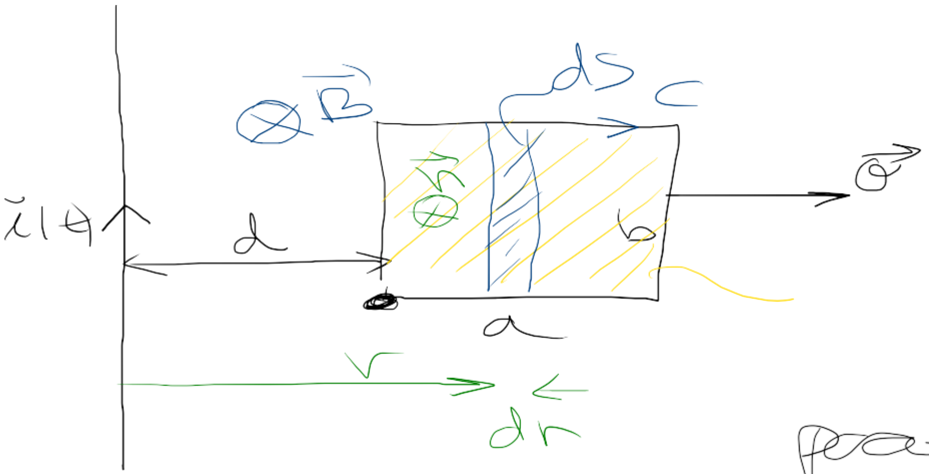
$$\Phi = \int B\,dS \underbrace{\cos\angle(\vec{B}, \vec{n})}_{\alpha = \omega t}$$

$$\Phi = Bab\cos\omega t$$

$$e_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow i = \frac{e_{ind}}{R} \Rightarrow P_j$$

$$e_{ind\,din} = \oint_C (\vec{v} \times \vec{B})\, d\vec{l}$$

- мирујућа (спољашња индукција)



$$\phi(t) = \int_{S_{na}C} \vec{B}\, d\vec{S}$$

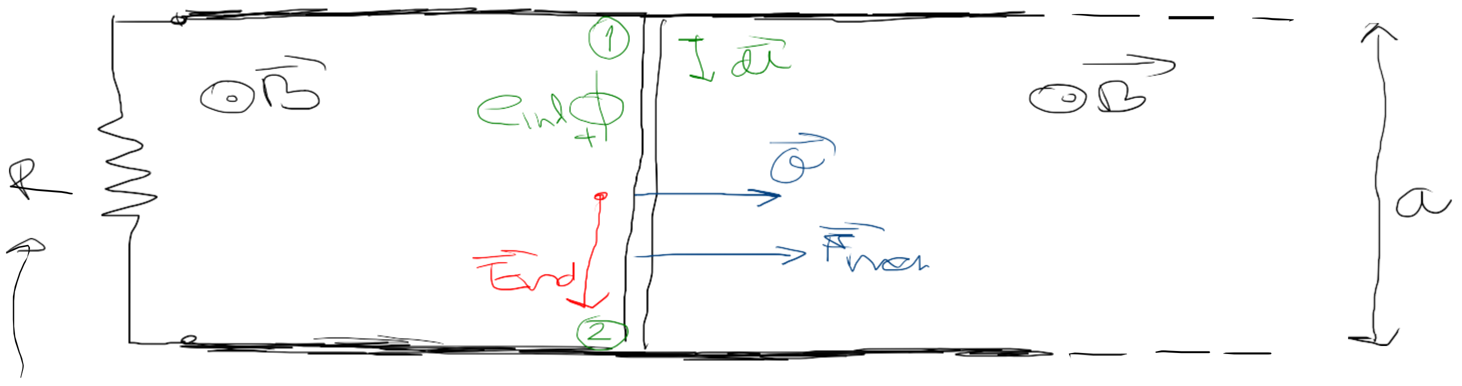
$$B(t) = \frac{\mu_0 i(t)}{2\pi r}$$

растојање контуре од проводника се мења

$$r = c + v_0(t)$$

$$dS = b \cdot dr$$

– Генератор временски const. ems који користи појаву ел. маг. индукције



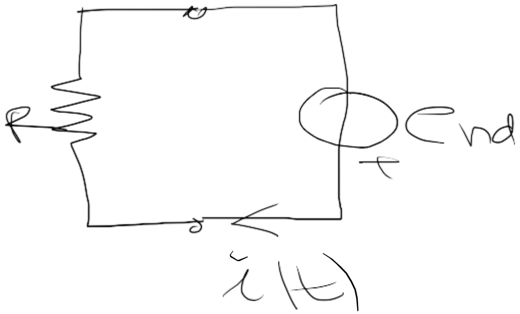
пријемник

$$\vec{E}_{ind} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$E_{ind} = vB$$

$$\varepsilon_{ind} = \int_1^2 \vec{E}_{ind}\, \vec{dl} = vBa \quad \text{јер је} \quad \sphericalangle(\vec{E}_{ind}, \vec{dl}) = 0$$

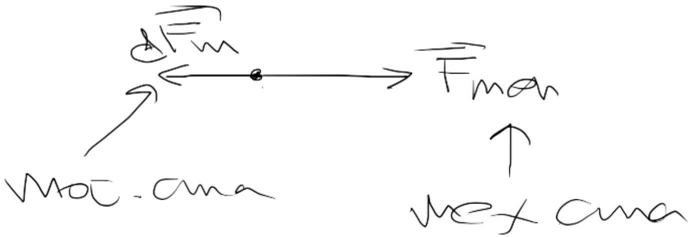
$\varepsilon_{ind} \longrightarrow \varepsilon_{ind}(t)$ мијења се у времену јер имамо $\vec{F}_{маг}$



$$i(t) = \frac{e_{ind}(t)}{R} = \frac{v B a}{R}$$

тя е добра и мот. сила

$$d\vec{F}_m = I\, d\vec{l} \times \vec{B}$$



изеднаквяване мот. и мех. сила

$$v = const.$$

$$\Downarrow$$

$$e_{ind} = vBa = const.$$

$$i = \frac{e_{ind}}{R} = \frac{vBa}{R} = I = const.$$

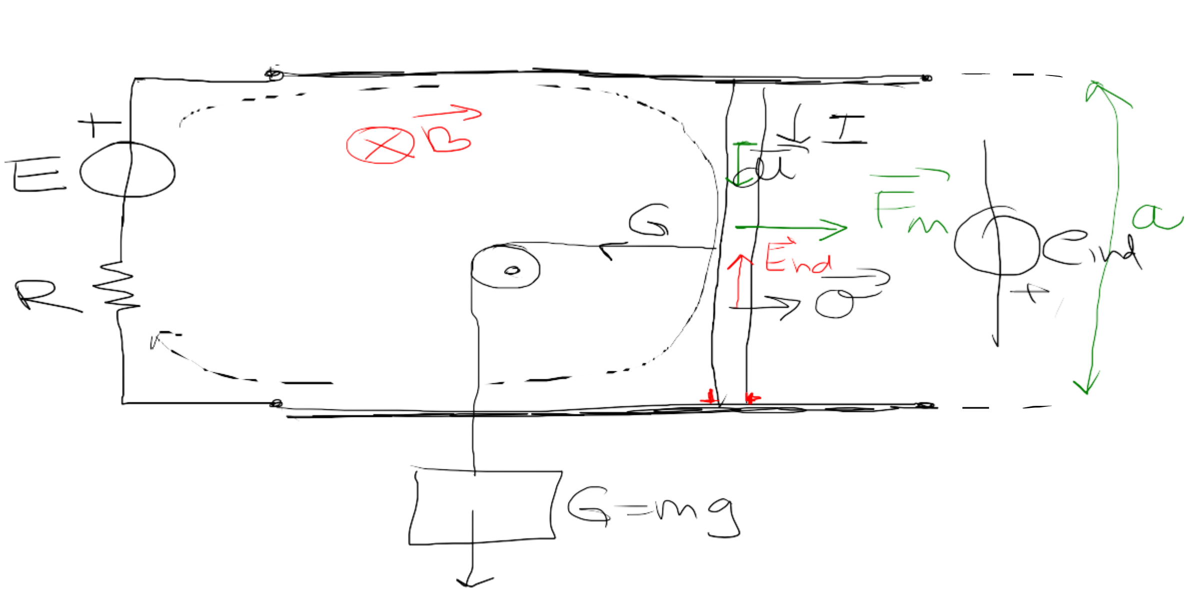
$$\Rightarrow F_m = const.$$

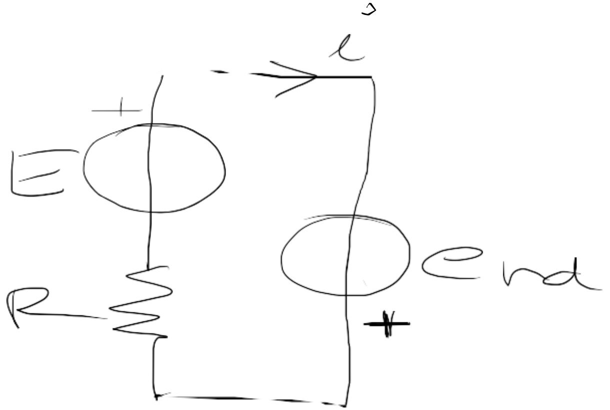
$$P_{мех} = \vec{F}_{мех} \cdot \vec{v} = P_j = \frac{e_{ind}^2}{R} = \frac{(vBa)^2}{R}$$

$$\Rightarrow v = \frac{F_{мех} \cdot R}{(aB)^2}$$

$$e_{ind} = vBa = \frac{F_{мех} \cdot R}{aB}$$

- линеарен мотор





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

$$d\vec{F_m} = I\vec{dl} \times \vec{B}$$

$$\vec{F_m} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

$$F_m = IaB$$

$$\vec{E_{nd}} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$e_{ind} = \int \vec{E_{nd}} \cdot \vec{dl} \leftarrow \cos\pi$$

$$e_{nd} = -vBa$$

$$i = \frac{E + e_{ind}}{R}$$

$$i = \frac{E - vBa}{R}$$

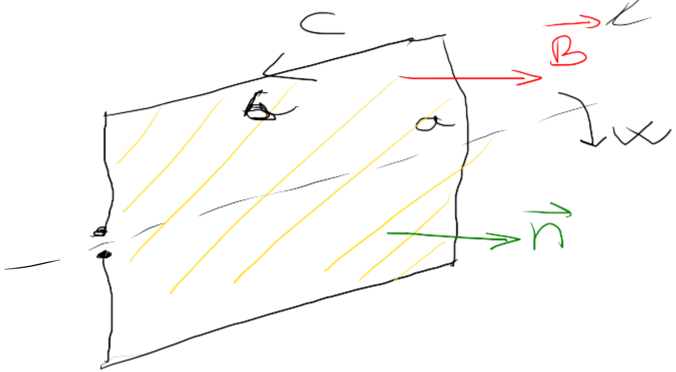
$$F_m = G = IaB$$

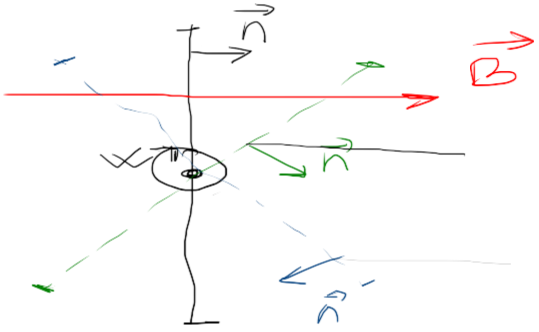
$$I = \frac{G}{aB} = \frac{E - vBa}{R}$$

$$\boxed{v = \frac{E - \frac{RG}{aB}}{aB}}$$

\- обратни генератор (алтернатор)

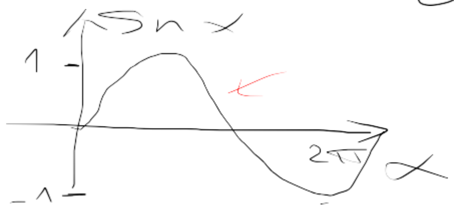
хомогенно

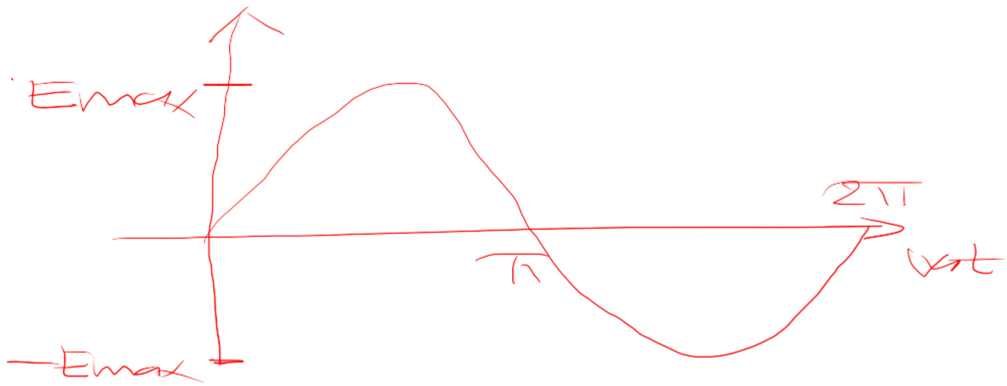




$$\phi(t) = \int_{S_{n,C}} \vec{B}\,d\vec{S} = Bab\cos\omega t$$

$$\mathcal{E}_{ind}(t) = -\frac{d\phi}{dt} = \underbrace{\omega Bab}_{E_{max}}\sin\omega t$$





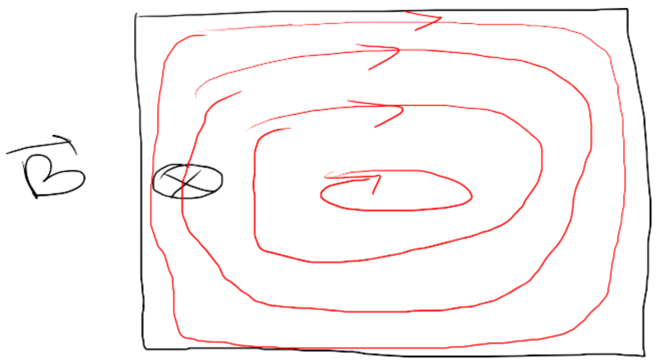
ВРТЛОЖНЕ СТРУЈЕ

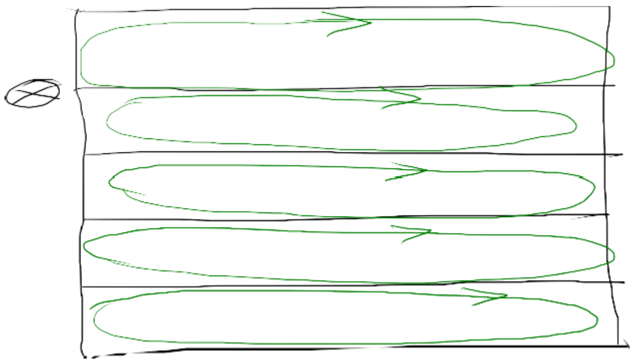
или вихорне или фукоове струје

$d = 0{,}35 \div 0{,}5\ mm$

$f = 50\ Hz$

$\omega = 2\pi f$





Запреминска густина средње снаге губитака

$$\frac{(P_j)_{sr}}{V_{lema}} = \frac{1}{24}\,\sigma\,\omega^2 d^2 B_m^2$$

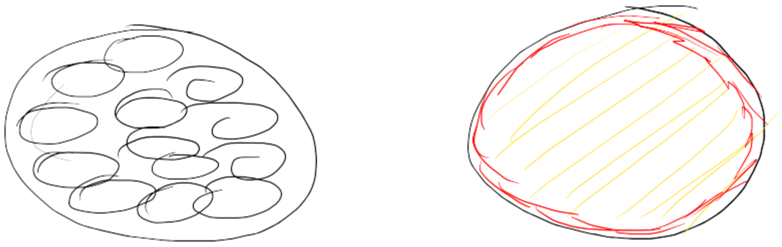
σ – спец. проводност лима

ω – кружна учестаност

d – дебљина лима

B_m – амплитуда вектора B

подушками объект



или один объект

Максвелове једначине

- Фарадејев закон ел. маг. индукције

$$\oint_C \vec{E}\,d\vec{l} = -\int_{S\text{ на }C} \frac{d\vec{B}}{dt}\,d\vec{S}$$

- Уопштени Амперов закон

$$\oint_C \vec{H}\,d\vec{l} = \int_{S\text{ на }C} \vec{J}\,d\vec{S}$$

- Уопштени Гаусов закон

$$\oint_S \vec{D}\,d\vec{S} = \int_V \rho\,dV$$

- Закон конзервације маг. флукса

$$\oint_S \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$

МАКСВ. ЈЕДНАЧИНЕ

+ $\oint_S \vec{J}\,d\vec{S} = -\int \frac{d\rho}{dt}\,dV$

+ $D = D(E)$, $J = J(E)$, $B = B(H)$

$$\oint_S \vec{J}\, d\vec{S} = 0$$

Уопштени Амперов закон

$$\oint_C \vec{H}\, d\vec{l} = \int_S \left(\vec{J} + \frac{d\vec{B}}{dt} \right) d\vec{S}$$

Максвелова допуна