

Indukcja elektromagnetyczna

Z doświadczenia wiadomo, że zmienne w czasie pole magnetyczne $\vec{B}(\vec{r}, t)$ jest źródłem zmiennego w ogólności w czasie i przestrzeni pola elektrycznego $\vec{E}(\vec{r}, t)$.

Prawo indukcji elektromagnetycznej - prawo indukcji Faradaya

$$\oint_{\gamma} \vec{E}(\vec{r}, t) \cdot d\vec{r} = - \frac{d}{dt} \int_{S_{\gamma}} \vec{B}(\vec{r}, t) \cdot d\vec{s}$$

\mathcal{E}
siła elektromotoryczna indukcji, siła SEM ind.

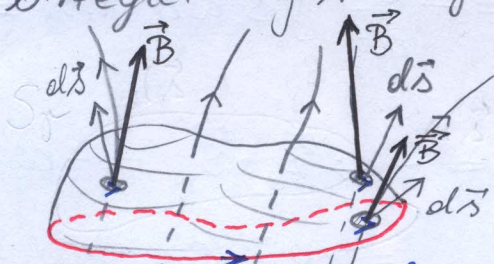
$\Phi_B(t)$ - strumień pola $\vec{B}(\vec{r}, t)$

lub w skrócie

$$\mathcal{E} = - \frac{d}{dt} \Phi_B \quad \text{- prawo indukcji Faradaya}$$

Uwagi:

1. Krzywa zamknięta γ jest krzywą pomysłową, po to, aby obliczyć wartość całki krzywoliniowej po lewej str. (*)
2. Powierzchnia S_{γ} jest dowolną powierzchnią, której brzegiem jest krzywa zamknięta γ .



γ kierunek biegu krzywej γ jest dowolny, ale stosownie do niego zwrot wektorów $d\vec{s}$ zadaje śmiało przewodnictwa.

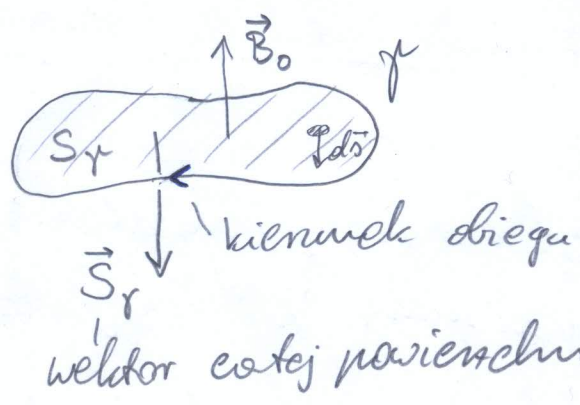
3. $[\mathcal{E}] = \frac{V}{m} \cdot m = V$ (volt)

jednostka napięcia

Prawo indukcji można praktycznie wykorzystać, mianowicie, gdy krzywą γ jest np. pętla z drutu, która obejmuje zmienne w czasie pole $\vec{B}(\vec{r}, t)$ to wtedy \mathcal{E} jest sumą napięć powstających na końcach odcinków o długości dl (patrz lewa str. *). Napięcia te sumują się do wartości \mathcal{E} i w drucie płynie prąd elektryczny o natężeniu $I = \mathcal{E}/R$, gdzie R - opór pętli z drutu.

Przykłady:

1. Niech γ będzie płaską pętlą z drutu oraz



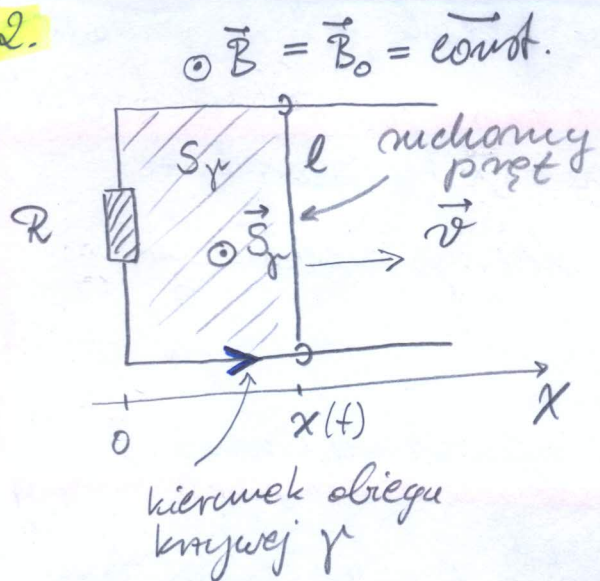
$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_0 \omega t$, $[\omega] = \frac{1}{s}$
i $\vec{B}_0 \perp$ pow. S_γ

wtedy

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= - \frac{d}{dt} \int_{S_\gamma} \vec{B}(\vec{r}, t) \cdot d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \int_{S_\gamma} (\vec{B}_0 \omega t) \cdot d\vec{s} = \\ &= - \frac{d}{dt} (\vec{B}_0 \omega t) \underbrace{\int_{S_\gamma} d\vec{s}}_{\vec{S}_\gamma} = - \omega \vec{B}_0 \cdot \vec{S}_\gamma = - \omega (-B_0 S_\gamma) = \\ &= \omega B_0 S_\gamma \end{aligned}$$

Stąd $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \omega B_0 \frac{S_\gamma}{R}$, R - opór pętli γ

2.



γ - to obwód o oporze R z ruchomą poprzeczką o długości l

S_γ - pole powierzchni obwodu (pole pow.).

$$\begin{aligned} \Phi_B &= \int_{S_\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{S_\gamma} \vec{B}_0 \cdot d\vec{s} = \vec{B}_0 \cdot \int_{S_\gamma} d\vec{s} = \\ &= \vec{B}_0 \cdot \vec{S}_\gamma = B_0 S_\gamma \end{aligned}$$

lecz $S_\gamma = l x(t)$

stąd $\mathcal{E} = - \frac{d}{dt} \Phi_B = - B_0 l \frac{dx(t)}{dt} = - B l v_x$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = - \frac{B l}{R} v_x$$

Uwaga: Znak prądu (+ lub -) oznacza, że prąd płynie zgodnie (+) lub przeciwnie (-) do kierunku obiegu krzywej γ .

Tutaj strumień pola \vec{B} przez pow. S_γ zmienia się NIE na skutek zmiany pola \vec{B} (bo ono jest stałe w czasie), lecz na skutek zmiany pow. S_γ spowodowanej ruchem przęta. Siła SEM indukcji powstaje wyłącznie w ruchomym odcinku i jest równa napięciu albo całego obwodu.

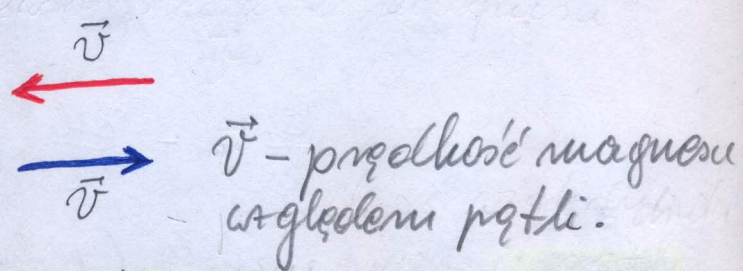
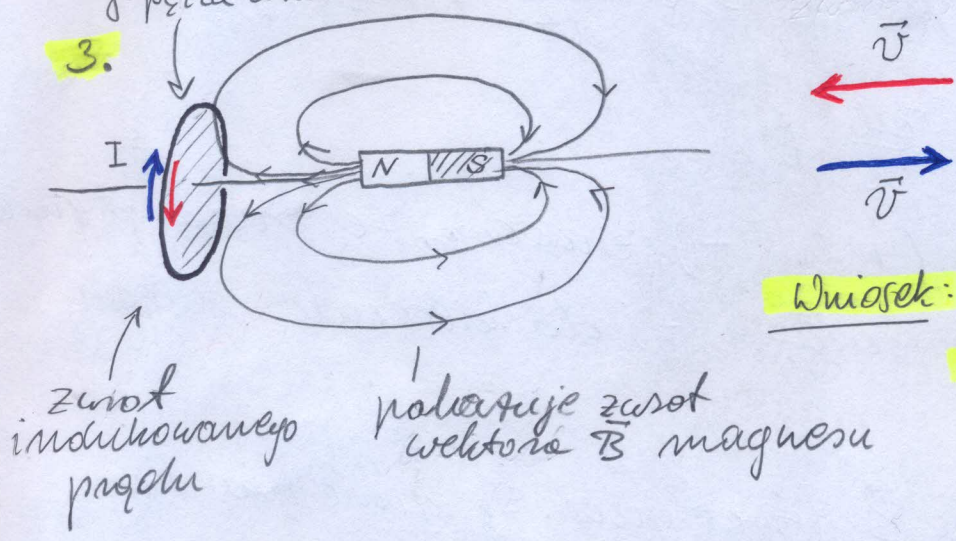
Czyli - ogólnie - zmienność w czasie strumienia Φ_B jest spowodowana zmiennością w czasie pola \vec{B} lub/i zmiennością w czasie pow. S_γ .

Reguła Lenza - wyjaśnia znak „-” w prawie indukcji (13)

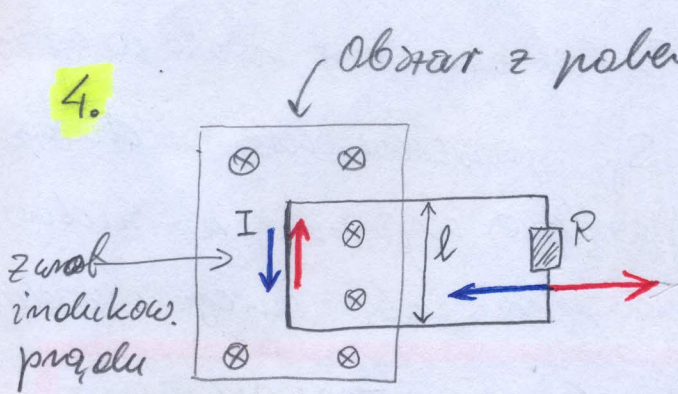
Indukowany w obwodzie prąd ma taki zwrot, że przeciwdziała przyczynie, który ten prąd wywarł.
(reguła Lenza jest zgodna z prawem zachowania energii)

Przeanalizuj powyższe przykłady 1. i 2. pod tym kątem.

Dobitnie ilustrują regułę Lenza kolejne przykłady:



Wniosek:
Ruch względny pętli i magnesu jest hamowany



$$\vec{F}_l = l \vec{I} \times \vec{B}$$

\vec{v} obrotu (wysuwany z, lub wsuwany do obszaru pola \vec{B})

Wniosek:
Cały, zwrót indukowanego prądu jest taki, że ruch ramki jest hamowany przy wsuwaniu do, bądź wyprowadzeniu z obszaru pola.