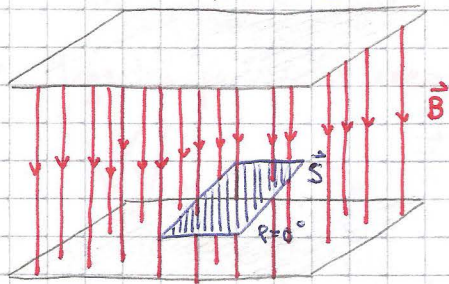


# INDUKCIJA, MAGNETNA ENERGIJA TULJAVE, EL. TRANSFORMATOR, VEZJA Z AC TOKOM

## ► Magnetni pretok

$$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \varphi \quad [\Phi_m] = Vs = Wb \quad (\text{weber})$$

Magnetni pretok je merilo za šl. mag. silnic skozi izbrano ploskev.



(Če je ploskev nagnjena  
potrebujemo skalarni produkt.)

Magnetne silnice so sklenjene zanke.



Magnetni pretok skozi  
je vedno enak nič: poljubno sklenjeno ploskev

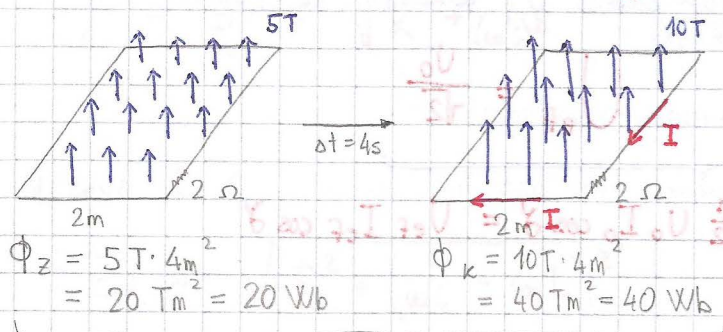
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \oint_S d\Phi_m = 0$$



► **Indukcija** pojav, povezan s spremembo mag. pretoka

⇒ ni pomembno, kateri parameter pretoka se spremeni ( $B$ ,  $S$  ali  $\varphi$ )

- **LENZOVO PRAVILO:** ob spremembi magnetnega pretoka se pojavi inducirana napetost, ki požene tok v tisti smeri, da zmanjšuje spremembo magnetnega pretoka.



$$\Phi_z = 5T \cdot 4m^2 = 20 Tm^2 = 20 Wb$$

$$\Phi_k = 10T \cdot 4m^2 = 40 Tm^2 = 40 Wb$$

$$\Delta \Phi = \Phi_k - \Phi_z = 20 Wb$$

el. tok, ki steče, ustvari dodatno inducirano mag. polje

$B \uparrow$  ind. polje kaže v nasprotni smeri od  $B$

$B \downarrow$  ind. polje kaže v smeri, da zmanjša zmanjševanje  $B$

$$U_i = -N \cdot \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} = - \frac{20 Wb}{4s} = -5V$$

$$U_i = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{U_i}{R} = \frac{-5V}{2\Omega} = -2,5A$$

smer toka določimo s pravilom desne roke, ind. mag. polje mora kazati proti  $B$

- **INDUCIRANA NAPETOST**

$$U_i = - \frac{d\Phi_m}{dt} = -N \cdot \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

MINUS, ker nasprotuje spreminjanju pretoka

(KIRCHHOFF'S FORMULA)

št. zank (npr. pri tuljavi)

- **Magnetni pretok skozi tuljavo**

$$\Phi_m = N \Phi_1 = NBS = N \frac{\mu_0 NI}{l} S = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} I$$

$$\Phi_m = L \cdot I$$

$$\Rightarrow U_i = - \frac{d\Phi_m}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

mag. pretok skozi tuljavo

inducirana napetost na tuljavi

- **Magnetna energija tuljave**

$$W_m = \frac{1}{2} L I^2 \quad (\text{splošna enačba za energijo mag. polja})$$

$$W_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

volumska gostota mag. energije tuljave

- **INDUKTIVNOST TULJAVE**

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} \quad [L] = \frac{Vs}{A} = H \quad \text{Henry}$$

- **Izmenična napetost/tok, AC vezja**

$$U = U_0 \cos(\omega t)$$

$U_0$  ... amplituda napetosti  
 $\omega = 2\pi \nu$  ... krožna frekvenca

V splošnem dodamo še fazni premik (zakasnitev med tokom in napetostjo):

$$U = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$0 < \varphi < \pi$ : napetost v fazi prekriteva tok  
→ drugače zaostaja

$\varphi = 0$ : tok in napetost sta v fazi

Za ohmski upornik velja Ohmov zakon, zato:

$$I = I_0 \cos(\omega t) \quad (\text{če je v vezju samo upornik})$$



► AC: električna (povprečna) moč

$$\bar{P} = \frac{U_0 I_0}{2} \cos \varphi \quad \varphi = 0: \text{dobimo } \bar{P}_{\max} = \frac{U_0 I_0}{2}$$

► AC: efektivni tok in efektivna napetost

Če bi upejali povprečni tok, bi znašal 0; analogno za napetost.

$$I_{\text{ef}} = \sqrt{\overline{I^2(t)}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U_{\text{ef}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} U_0 I_0 \cos \varphi = U_{\text{ef}} I_{\text{ef}} \cos \varphi$$

► AC: impedanca

Tok zapisemo z Eulerjevo formulo:  $I = I_0 e^{i\omega t}$  (na koncu gledamo samo realni del)

• OHMSKI UPORNIK  $\varphi = 0$

$$U(t) = RI(t) \Rightarrow U_0 e^{i\omega t} = R I_0 e^{i\omega t}$$

• KONDENZATOR

$$e = \int I dt = \int I_0 e^{i\omega t} dt = \frac{I_0}{i\omega} e^{i\omega t}$$

če smo  $I$  zapisali s kosinusno fun. časa, je napetost na kond. sinusna funkcija

$$U = \frac{e}{C} = \frac{I_0}{i\omega C} e^{i\omega t} \Rightarrow U = \frac{I_0}{\omega C} \sin(\omega t) = \frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$Z_C = \frac{1}{i\omega C} \text{ IMPEDANCA KONDENZATORJA}$$

! Fazna razlika med  $U$  in  $I$  na kondenzatorju je  $-\frac{\pi}{2}$ . ( $U$  zamuja za  $I$  /  $I$  prehiteva  $U$ )

• TULJAVA

$$U = L \frac{dI}{dt} = i\omega L I_0 e^{i\omega t}$$

$$Z_L = i\omega L \text{ IMPEDANCA TULJAVE}$$

če smo  $I$  zapisali s kosinusno fun. časa, je  $U$  na tuljavi sinusna funkcija

$$U = -\omega L I_0 \sin(\omega t) = \omega L I_0 \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

! Fazna razlika med  $U$  in  $I$  na tuljavi je  $\frac{\pi}{2}$ . ( $I$  zamuja za  $U$  /  $U$  prehiteva  $I$ )

► AC: vezja

• vezava LC (zaporedno vir sinusne napetosti, kondenzatorji, tuljava)

Impedance sestevamo: (tok skozi zaporedno vezane el. je enak)

$$Z = \frac{1}{i\omega C} + i\omega L = i\left(\frac{-1}{\omega C} + \omega L\right) \text{ skupna impedanca}$$



- vezava RC (zap. sin. nap. vir, ohmski upornik, Kondenzator)

$U = U_0 \cos(\omega t)$  napetost vira

$$I = U_0 \cdot \frac{\cos(\omega t + \varphi)}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}}, \quad \varphi = \arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$$

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}$$

skupna  
impedanca

impedanca upornika je enaka njegovi upornosti

- vezava RLC (zap. sin. nap. vir, upornik, Kondenzator, tuljava)

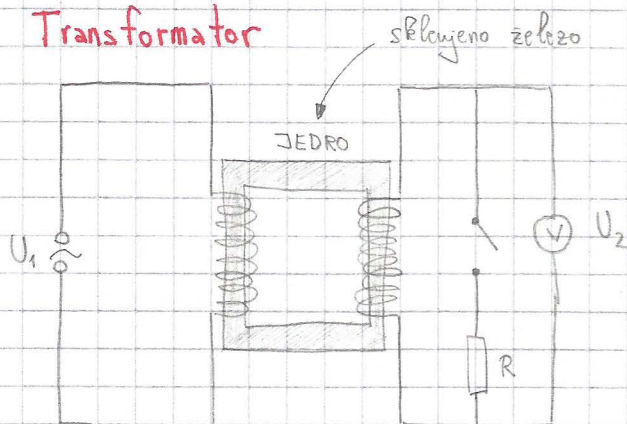
$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$$I = I_0 \cos(\omega t)$$

$$U = U_0 \cos(\omega t + \varphi) = |Z| I_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

## ► Transformator



razmerje **amplitud napetosti** na obeh straneh transformatorja je enako **razmerju števila obojev**

$$\frac{U_{20}}{U_{10}} = \frac{N_2}{N_1}$$

Transformatorji so naprave za **spreminjanje amplitude in toka** pri izmeničnem toku.

$B = B_0 \cos(\omega t)$  mag. polje v jedru - polje skozi obe tuljavi

$$\Phi_{m1} = N_1 B_0 S \cos(\omega t)$$

$$\Phi_{m2} = N_2 B_0 S \cos(\omega t)$$

št. obojev / primarne tuljave

št. obojev / sekundarne tuljave

S ... prerez obeh tuljav

$$U_1 = - \frac{d\Phi_{m1}}{dt} = N_1 B_0 S \omega \sin(\omega t)$$

$$U_2 = - \frac{d\Phi_{m2}}{dt} = N_2 B_0 S \omega \sin(\omega t)$$

Obe napetosti **nikata sočasno** in med njima **ni faznega zamika**.

Samo v **idealnem primeru** (brez izgub) velja:  $\frac{I_{20}}{I_{10}} = \frac{N_1}{N_2}$

Ko sklenemo stikalo:

$$U_{10} I_{10} = U_{20} I_{20} = \frac{U_{20}^2}{R} = \frac{(U_{10} N_2 / N_1)^2}{R}$$

$$I_{10} = U_{10} \left( \frac{N_2 / N_1}{R} \right)^2$$

Vpeljemo **efektivni upor**:

$$R_{ef} = R \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$U_{10} = I_{10} R_{ef}$$