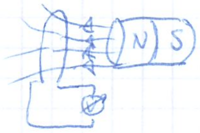
Induktion

Einleitung



Spannung wird erzeugt

magnetischer Fluss

$\phi_m = \vec{B} \cdot \vec{A}$

- wenn Magnetfeld zunimmt, nimmt auch magnetischer Fluss zu => Spannung
- Spannung, wenn sich mag. Fluss ändert

Induktionsgesetz: $U_{ind} = -\phi'(t) = -\dot{\phi}$

U_{ind} über F_L -> $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$

$W = F_L \cdot l = qvBl$

$U_{ind} = \frac{W}{q} = vBl$

U_{ind} über Induktionsgesetz -> $A = (x_0 - vt)\,l$

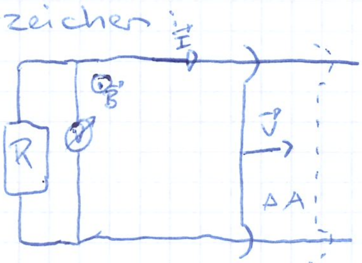
$\phi(t) = B(x_0 - vt)\,l$

$U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(x_0 - vt)Bl = vBl$

Lenz'sche Regel

Der Induktionsstrom ist so gerichtet, dass sein Magnetfeld der Flussänderung entgegenwirkt

Vorzeichen:



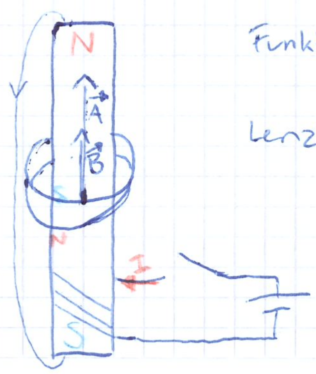
$\Delta A(t) = lvt \rightarrow A(t) = A_0 + lvt$

$\phi(t) = B \cdot (A_0 + lvt)$

$U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} B(A_0 + lvt) = -Blv < 0$

muss negativ sein, da Strom in negative Richtung fliesst (Hier)

fliegender Ring

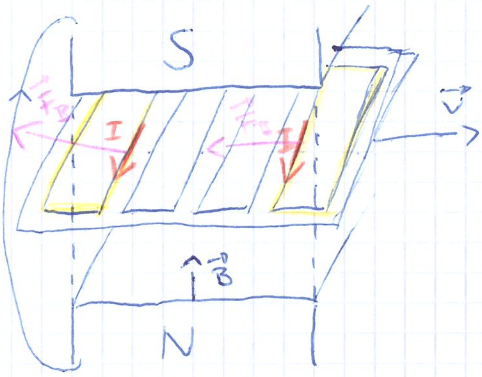


Funktion: Alu-ring magnetisiert und stösst sich dadurch ab

Lenz'sche Regel: Spule erzeugt Magnetfeld, dieses wird vom Eisen verstärkt. Im Ring wird ein Strom induziert. Strom wirkt entgegen, deshalb umgekehrtes Magnetfeld.

Wirbelstrom

Nutzen: Bremse, nicht erwünscht bei Motor (Wärme) -> Eisenkerne werden unterteilt und isoliert.



— es wird ein Strom in diesen Leiterschleifen induziert, da diese eine Flussänderung erfahren

$$U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} B(A_0 + lvt) = -Bvl$$

$$I_{ind} = \frac{U_{ind}}{R} = +\frac{Bvl}{R}$$

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

↳ Kraft auf stromdurchflossene Leiter

Lenzsche Regel: $\vec{B}_{ind}$ zeigt entgegen $\vec{B}$

$$\vec{F}_{bremsend} = l\vec{I} \times \vec{B} \overset{I \perp B}{=} lIB$$

$$= l\frac{lvB}{R}B = \frac{l^2B^2v}{R}$$

(Hier im Bsp. $2\times \vec{F}_{bremsend}$)

Wieso Wirbelstrom?

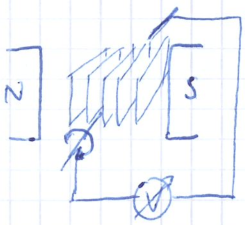
Nutzen als Bremse: keine Abnutzung und immer funktionsfähig, kann aber nicht bis 0 runterbremsen, da es für F_B einen Strom braucht.

Wechselstrom 1

Generator

erzeuger von elektrischer Energie

$$\phi_{max} = \vec{B}\cdot\vec{A} \underset{\vec{A} \parallel \vec{B}}{=} BA$$



$\varphi(t) = \omega \cdot t$

↳ weil Drehung ändert Winkel

$$\phi(t) = AB\cos(\omega t)$$

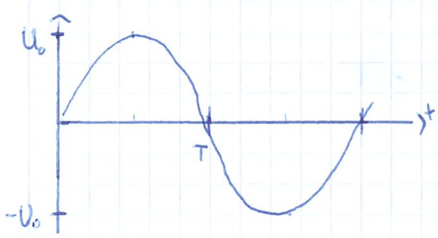
$$U_{ind}(t) = -N\frac{d}{dt}(AB\cos(\omega t)) = NAB\sin(\omega t)\cdot\omega$$

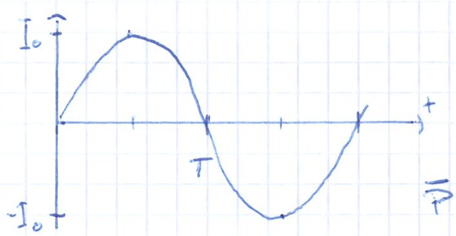
$$U_0 = U_{ind}'(t) = NAB\omega$$

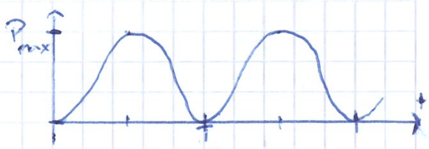
Maximum

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Mittlere Leistung und Effektivwerte







$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{1}{\Delta T}\int_0^T P(t)\,dt$$

$$= \frac{U_0 I_0}{2}$$

$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta T} \qquad \Delta E = \int_0^T P(t)\, dt$$

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

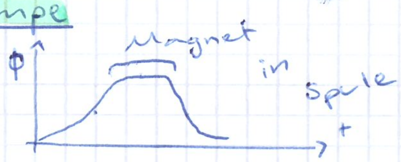
Integration $\sin^2(x)$:

$$\int \sin^2(x)\, dx = -\sin x \cdot \cos x + \int \underbrace{\cos^2 x}_{1-\sin^2 x}\, dx = -\sin x \cdot \cos x + x + \int -\sin^2 x\, dx$$

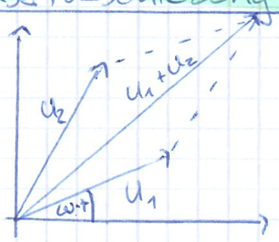
$$\int \sin^2 x\, dx = -\frac{1}{2} \sin x \cos x + \frac{1}{2} x + c$$

$$\bar{P} = U_{eff} \cdot I_{eff} \qquad U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \qquad I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

Schüttellampe

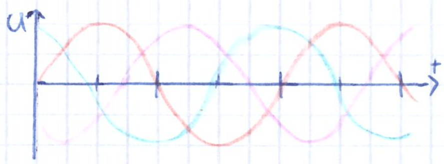


Phasenverschiebung und Zeigerdiagramm

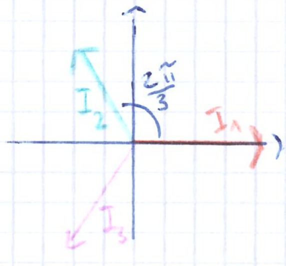


← Spannungen kann man addieren

Drehstrom

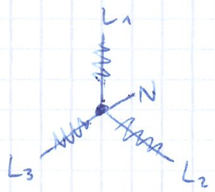


immer $\frac{1}{3}$ Periode verschoben



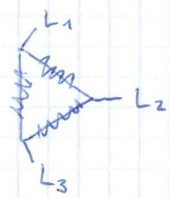
$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{0}$$

$\vec{U}_1 + \vec{U}_2 = 400V$ ← bei unseren Steckdosen



Sternschaltung

230V



Dreiecksschaltung

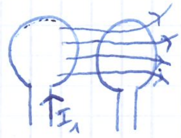
400V

← Nutzen: Anfahren mit Stern (braucht weniger Strom) und dann wird auf Dreieck umgeschaltet

Käfigläufer: in Dreieck, dieser dreht sich

Gegenseitige Induktion & Selbstinduktion

Gegenseitige Induktion



$\phi = \underbrace{L_{12}}_{\text{Proportionalitäts-konstante}} I_1$

$U = -\frac{d\phi}{dt} = -L_{12}\frac{dI_1}{dt}$

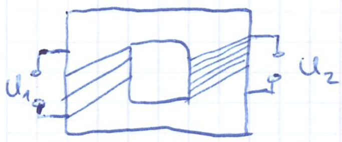
$[L_{12}] = \frac{V\cdot s}{A} = H$ (Henry)

Selbstinduktion

Strom fliesst durch Leiter -> Magnetfeld entsteht -> Effekt auf Leiter

Stecker ziehen: plötzliche Änderung des Flusses = Änderung Magnetfeld, diesem wird entgegengewirkt

Transformator



→ je mehr Windungen, desto grösser Spannung

→ $U_1 = -N_1 A \frac{dB}{dt}$ $\qquad U_2 = -N_2 A \frac{dB}{dt}$

↳ Spannung verhält sich wie Wicklungszahl $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Hochspannungsleitung: höhere Spannung = weniger Strom = weniger Verlust

$P = U I = R I^2$

Wechselstrom 2

Spannung & Strom sind zueinander phasenverschoben im Kondensator

Wieso: Kondensator geladen (U ist max), aber es fliesst kein Strom ⇒ Verschiebung um $\hat{=} \frac{\pi}{2}$

braucht komplexen Widerstand Z (Impedanz)

$U_K(t) = U_0 e^{i\omega t} = U_0 \cos(\omega t) + U_0 \sin(\omega t)\cdot i$

$I_K(t) = I_0 e^{i(\omega t - \varphi)}$

$U = R\cdot I$ wird zu $U = Z\cdot I$ ⇒ $U_0 e^{i\omega t} = Z\cdot I_0 e^{i(\omega t-\varphi)}$

Komplexe Zahlen

$i^2 = -1$ $\qquad |z| = \sqrt{x^2+y^2}$

$z = x + yi$ $\qquad \arg(z) \Rightarrow \tan\varphi = \frac{Im(z)}{Re(z)}$

$\varphi = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$

Polarform: $z = r\cdot e^{i\varphi}$ $\qquad r = |z|$ $\qquad z = r\cdot e^{i\varphi} = r(\cos\varphi + \sin\varphi\cdot i)$