

5.2.4. TRANSFORMATOR

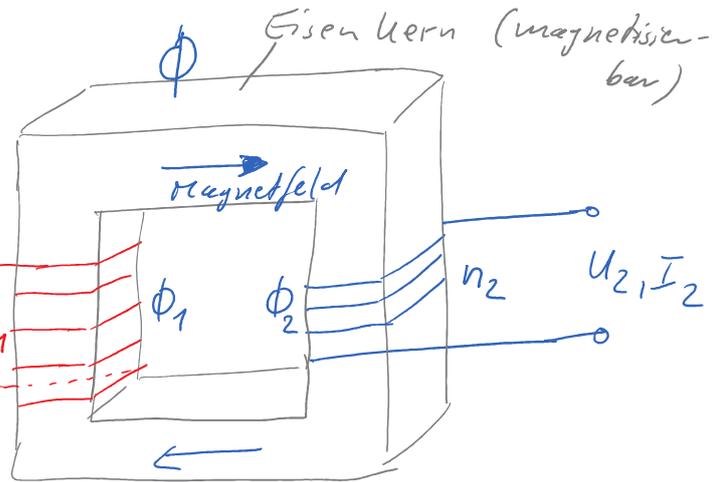
Magnetischer Fluss

↳ hauptsächlich durch Eisenkern

↳

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$$

(konst. Querschnitt)



Primärspule
"Kurzschluss"

Sekundärspule

$$U_{ind} = -U_1 = -n_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$U_2 = -n_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

↳ Maschenregel $U_1 + U_{ind} = 0$

$$\frac{U_2}{U_1} = - \frac{n_2}{n_1}$$

Hochspannungstrafos

Energieerhaltung

$$U_1 \cdot I_1 = P_1 = P_2 = U_2 \cdot I_2$$

$$\frac{I_2}{I_1} = - \frac{n_1}{n_2}$$

für unbelastete Trafos ($R_2 = 0$)

Schweißtrafo

5.3. LENZ'SCHE REGEL UND SELBSTINDUKTION

Dosenexplosion

Induktionsstrom fließt stets so, daß er der Ursache **entgegen** wirkt.

5.3.1. GENERATOR UND MOTOR

Gegen drehmoment Generator

Drehende Leiter schleife im Magnetfeld erzeugt Induktionsspannung

- **offener** Stromkreis (keine Last)
 - ↳ kein Strom
 - kein Effekt

- **geschlossener** Stromkreis (mit Last)

↳ induzierter Strom I_{ind}

↳ erzeugt Gegen drehmoment

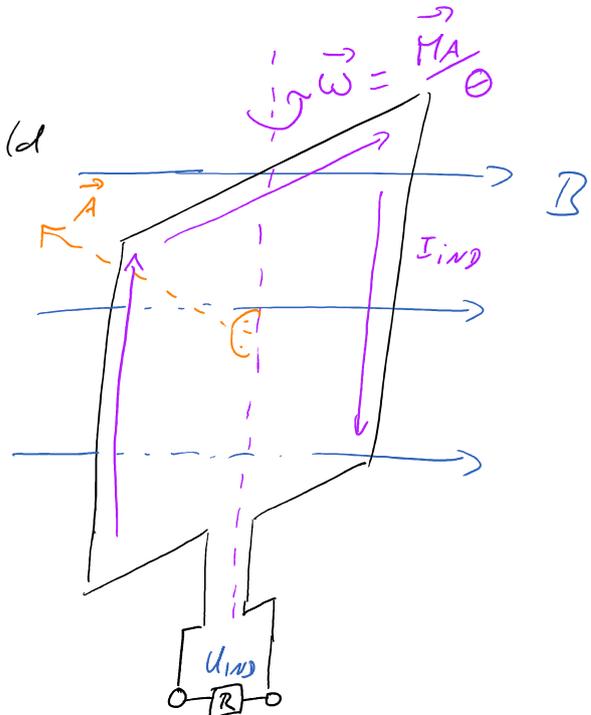
$$\vec{M}_G = \vec{m} \times \vec{B} = I \cdot \vec{A} \times \vec{B}$$

↳ entgegen dem antreibenden Drehmoment \vec{M}_A

↳ wächst mit $I_{ind} \propto \omega$

im Gleichgewicht

$$\vec{M}_A + \vec{M}_G = 0 \Rightarrow \omega = \text{const}$$



Gegen spannung Elektromotor

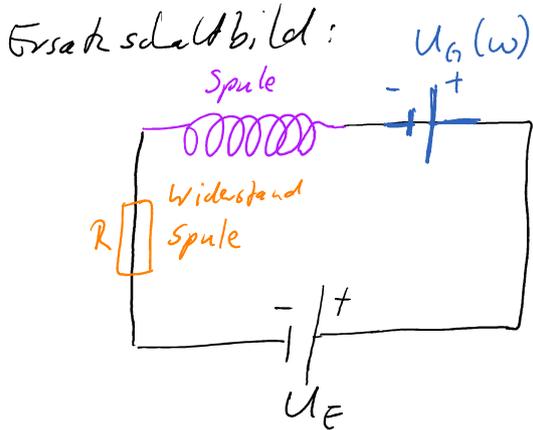
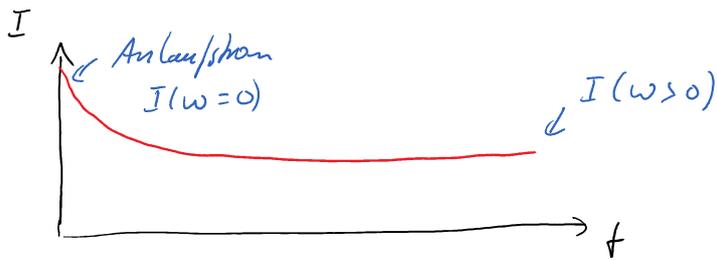
$$U_G = n \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

vgl. Generator

$$U_G \propto \omega$$

$$\text{Stillstand: } U_G = 0$$

drehende Motor : U_G wächst



Motor starten: ($w=0$)

$\hookrightarrow U_G = 0$

$\hookrightarrow I(w=0) = \frac{U_E}{R}$

Motor dreht sich

$\hookrightarrow U_G > 0$

$\hookrightarrow I(w > 0) = \frac{U_E - U_G}{R} < I(w=0)$

im GGW:

$$\vec{M}_{\text{Last}} + \vec{M}_{\text{ind}} = 0$$

5.3.2. WIRBELSTRÖME

Drehende & leitende Scheibe

\hookrightarrow Ladung kommt in den Bereich des Magnetfeldes

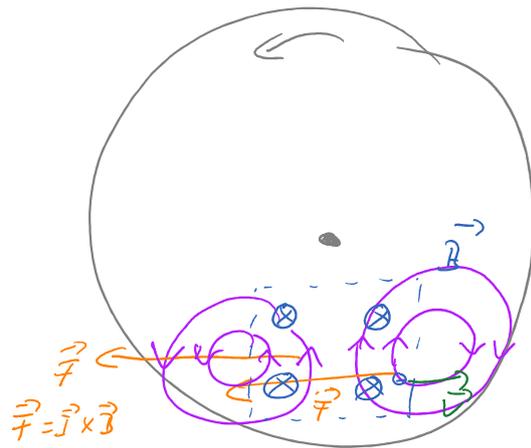
\rightarrow induzierte Kreisströme

$$\vec{B}_{\text{ind}} \uparrow \downarrow \vec{B}$$

\rightarrow Kraft $\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B}$

bremst die Drehbewegung ab

Wirbelstrombremse



Wirbelstrombremse

Induktion her:

Wirbelstrom im Topfboden

Widerstand

↳ Topf wird erhitzt

Gevärfeld (Isolator) bleibt kalt.



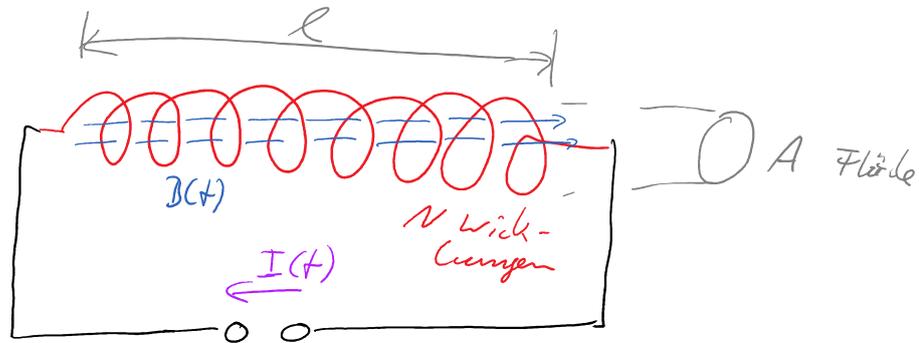
ICE 3 Wirbelstrombremse

5.3.3. SELBSTINDUKTION

Veränderlicher Strom / B-Feld

induziert Spannung

in Spule selbst.



$$B(t) = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot I(t)$$

$$\Phi_M(t) = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = B(t) \cdot A$$

⇒ Induktionsspannung

$$U_{IND} = -N \cdot \frac{d\Phi_M(t)}{dt} = -N \cdot A \cdot \frac{dB(t)}{dt} =$$

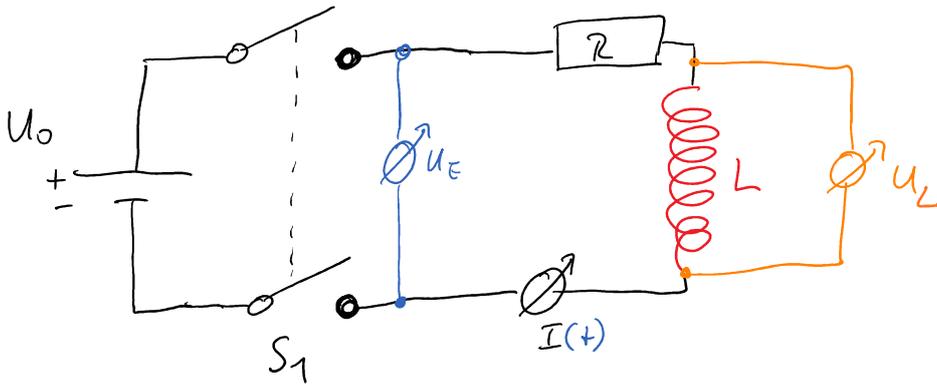
$$= -N^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{A}{l} \cdot \frac{dI(t)}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

mit (Selbst-) Induktivität

$$L = \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$

$$[L] = \frac{Vs}{A} = H \text{ (Henry)}$$

Spule ein- / ausschalten



Einschalten:

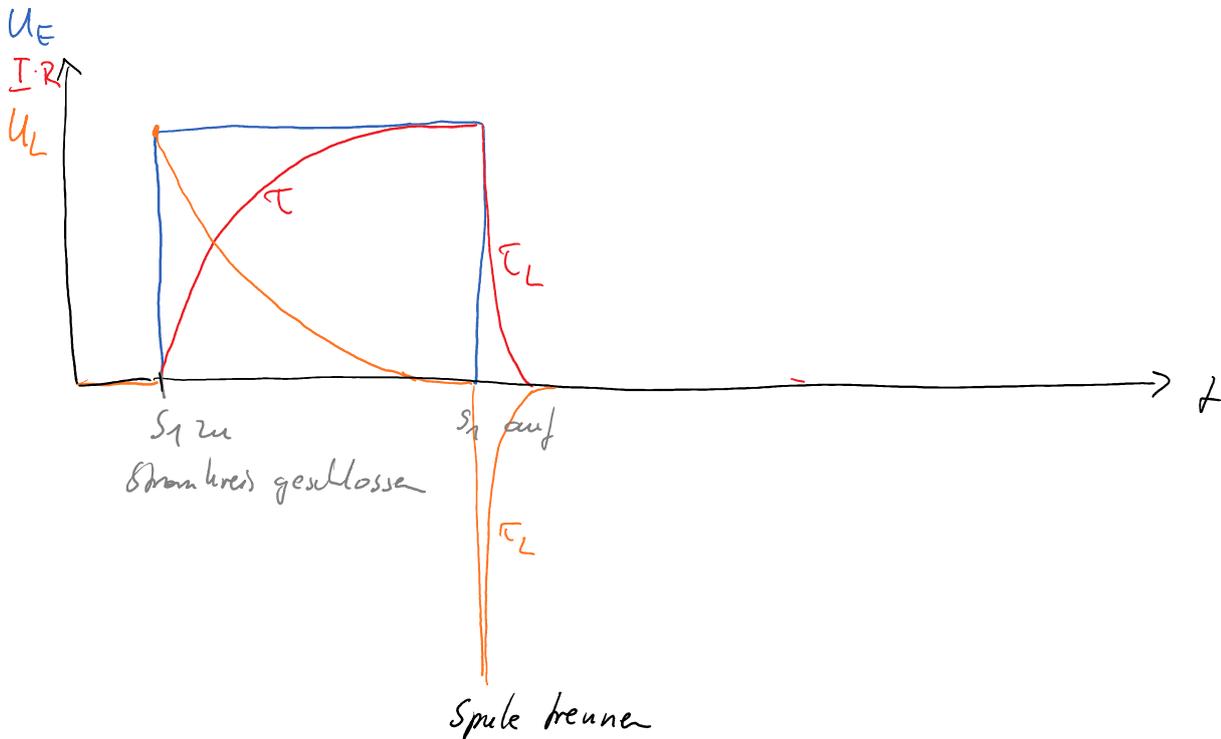
$$U_0 = I \cdot R - U_{ind} = I(t)R + L \frac{dI(t)}{dt}$$

lin. inhom.
DGL 1. Ordnung

↳ Lösung (vgl. Kondensator aufladen)

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad \text{mit} \quad \tau = \frac{L}{R}$$

I_0 (maximaler Strom)



Spule trennen

Stromkreis offen \rightarrow Widerstand Luft $R_L \gg R$

Entladestrom $I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau_L}}$

$$\tau_L = \frac{L}{R_L} \ll \tau$$

Entladestrom $I(t) = I_0 e^{-t/\tau_L}$ $\tau_L = \frac{L}{R} \ll \tau$

\uparrow
 $\frac{U_0}{R}$ vom Aufladen

Induzierte Spannung

$$U_L = -U_{ind} = L \cdot \frac{dI}{dt} = L \cdot \frac{U_0}{R} \frac{d}{dt} e^{-t/\tau_L}$$

$$= -L \cdot \frac{U_0}{R} \cdot \frac{R_L}{L} e^{-t/\tau_L}$$

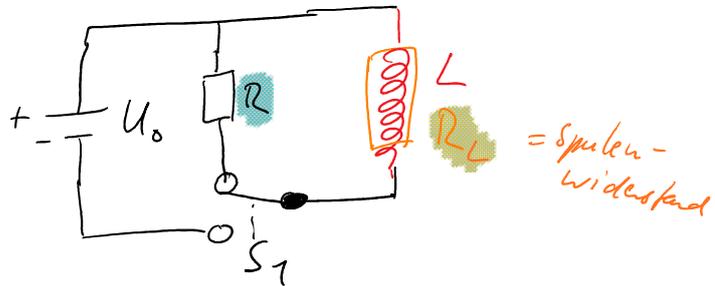
$$\Rightarrow U_L(t=0) = -U_0 \frac{R_L}{R} \quad |U_L(t=0)| \gg U_0$$

Spannungsspitze

5.3.4. ENERGIE IM MAGNETFELD

Energie in Spule

- Aufladen mit U_0
- Entladen über R



$$I_0 = \frac{U_0}{R_L} \Rightarrow I_{ind} = I_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad \text{mit } \tau = \frac{L}{R}$$

$$U_{ind} = I_0 \cdot R \cdot e^{-t/\tau}$$

↳ abgegebene Leistung

$$P(t) = U_{ind}(t) \cdot I_{ind}(t) = R \cdot I_0^2 e^{-2t/\tau}$$

↳ geleistete Arbeit $\hat{=}$ gespeicherte Energie

$$W = \int_0^{\infty} P(t) dt = R I_0^2 \int_0^{\infty} e^{-2t/\tau} dt = -R I_0^2 \frac{\tau}{2} e^{-2t/\tau} \Big|_0^{\infty} =$$

