

Flussänderung durch

a) Änderung von $\vec{B}(\vec{r}, t)$

↳ $\frac{dB}{dt} \neq 0$ Spule an/ausschalten

b) Änderung der durchdrungenen Fläche A

↳ $\frac{dA}{dt} \neq 0$ Leiterschleife verkleinern/vergrößern

c) Änderung der Orientierung zwischen \vec{A} und \vec{B}

$\frac{d}{dt}(\vec{e}_A \cdot \vec{e}_B) \neq 0$ Leiterschleife drehen

linguist. com / Ex 2 V 42

Wechselstromgenerator

Spule rotiert mit $\vec{\omega}$

↳ $\varphi(\vec{A}, \vec{B}) = \omega \cdot t$

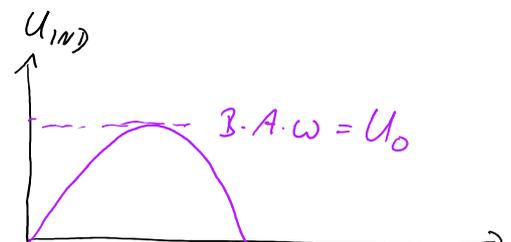
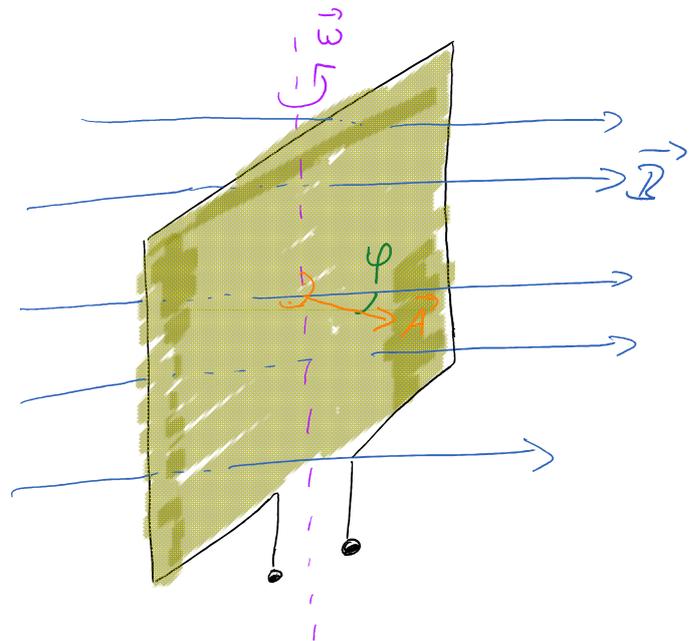
magnetischer Fluss

$$\hookrightarrow \Phi_m = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot A \cdot \cos \varphi$$

induzierte Spannung

$$U_{ind} = - \frac{d\Phi_m}{dt} = - B \cdot A \cdot \frac{d}{dt} \cos(\omega t)$$

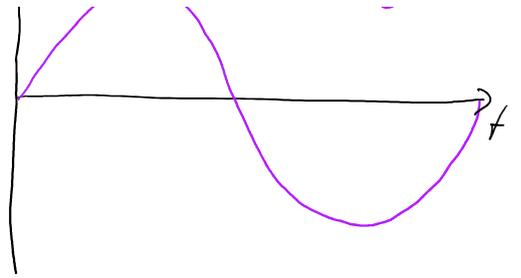
$$= \underbrace{+ B A \omega}_{U_0} \sin(\omega t)$$



$$\ddot{U}_0$$

bei N Windungen

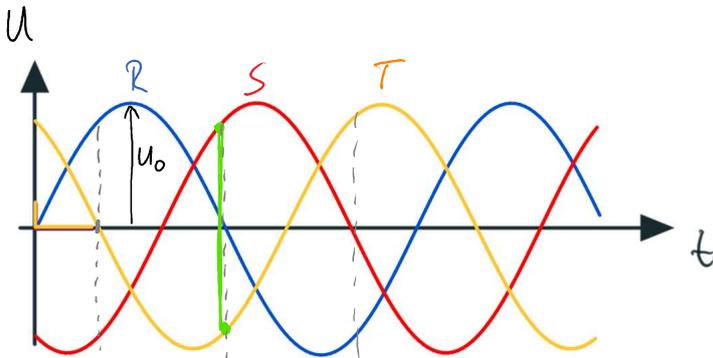
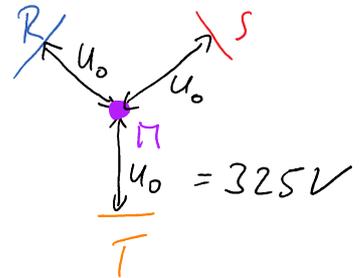
$$U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$



figur! .com / Ex 2 V 43 Versuch: Generatormodell

5.2. WECHSELSTROM UND DREHSTROM

Drei Phasen $\left\{ \begin{array}{l} R, S, T \text{ alt} \\ L_1, L_2, L_3 \text{ neu} \end{array} \right.$
 und Masse $\left\{ \begin{array}{l} M \text{ alt} \\ N \end{array} \right.$



$$\begin{aligned} R: U_R(t) &= U_0 \sin(\omega t) \\ S: U_S(t) &= U_0 \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ T: U_T(t) &= U_0 \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \end{aligned}$$

Drehstrom-
motor

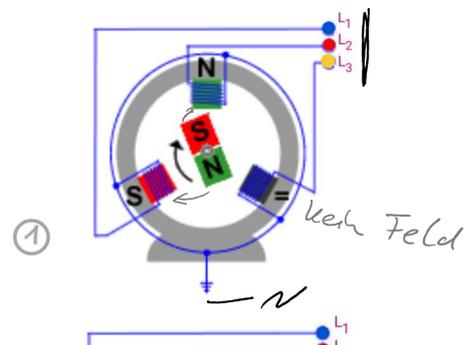
Jeweils $U_0 = 325V$ Wechselspannung gegen Masse

mit Phasenunterschied von $120^\circ = \frac{2}{3}\pi$ und

Frequenz $\omega = 2\pi \cdot 50\text{Hz}$

5.2.1 Drehstrommotor

Permanent magnet folgt Feldern der
3 Phase



3 Phase

• elektrische Leistung

$$P_{el} = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = \frac{1}{R} (U_2^2 + U_S^2 + U_T^2)$$

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

$$= \frac{U_0^2}{R} \left[\sin^2(\omega t) + \sin^2\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) + \sin^2\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \right] = \dots$$

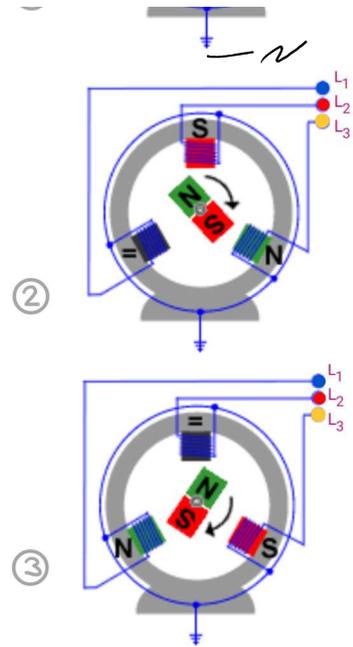
$$= \frac{3}{2} \frac{U_0^2}{R}$$

↳ unabhängig von Zeit t

• mech. Leistung

$$P_{mech} = \frac{d}{dt} (\Delta \varphi \cdot M) = \omega M$$

↳ konst.



5.2.2. Spannungen und Effektivwert

Spannung zwischen den Phasen,

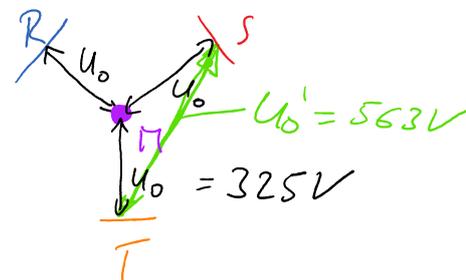
z.B. "T" und "S"

$$U' = U_S - U_T =$$

$$= U_0 \left[\sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) - \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \right]$$

Additionstheorem: $\sin A - \sin B = 2 \cdot \sin\left[\frac{1}{2}(A-B)\right] \cos\left[\frac{1}{2}(A+B)\right]$

$$= 2U_0 \sin\left[\frac{1}{2}\left(-\frac{2}{3}\pi + \frac{4}{3}\pi\right)\right] \cdot \cos\left[\frac{1}{2}\left(2\omega t - 2\pi\right)\right]$$



$$= 2U_0 \sin\left[\underbrace{\frac{1}{2}\left(-\frac{2}{3}\pi + \frac{4}{3}\pi\right)}_{\frac{1}{3}\pi}\right] \cdot \cos\left[\underbrace{\frac{1}{2}(2\omega t - 2\pi)}_{\omega t - \pi}\right]$$

$$= 2U_0 \sin\frac{\pi}{3} (-\cos \omega t)$$

↳ maximale Amplitude

$$U_0' = U_0 \cdot 2 \sin\frac{\pi}{3} = U_0 \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot U_0 = \underline{\underline{563V}}$$

- Hausanschluss: **Drehstrom** ("Kraftstrom")
- Steckdose: **Wechselstrom**



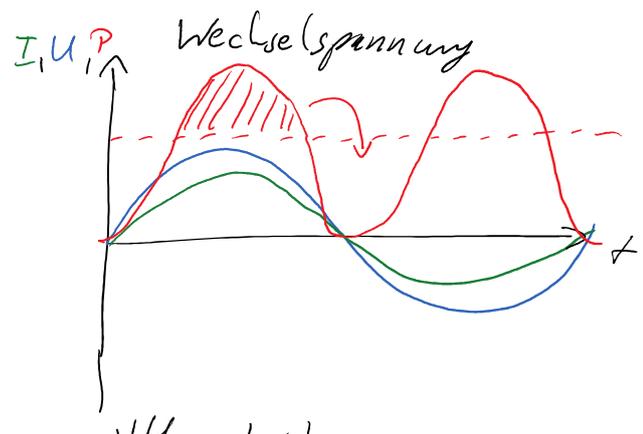
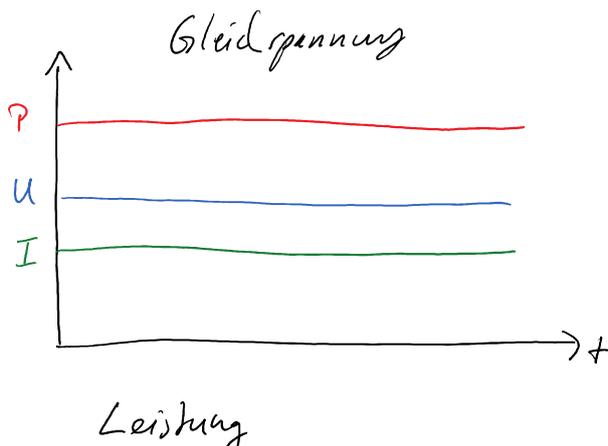
früher: Schmelzsicherung



heute: Leistungsschutzschalter

Effektivwert:

welche Gleichspannung erzeugt im Mittel dieselbe Leistung?



Leistung

$$P_{el} = U \cdot I = \text{const}$$

mittlere Leistung

$$P_{eff} = \frac{1}{2} P_{max}$$

Wechselstrom

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

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

$$U(t) = \overset{\text{const}}{R} \cdot I(t)$$

$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

mittlere Leistung

$$P_{eff} = \underbrace{\langle P(t) \rangle}_{\text{zeitliches Mittel}} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt = U_0 \cdot I_0 \cdot \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt}_{\frac{1}{2}}$$

$$\hookrightarrow P_{eff} = \frac{1}{2} U_0 I_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} U_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} I_0 = U_{eff} \cdot I_{eff}$$

$$= U_{eff} \quad = I_{eff}$$

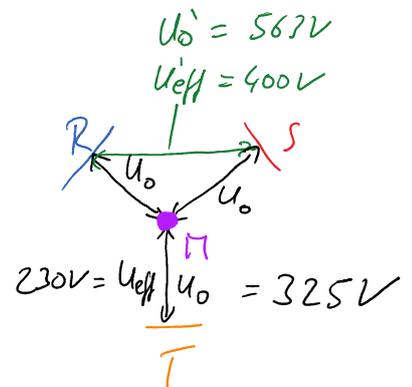
Effektivwerte:

• Wechselstrom : $U_0 = 325V$

$$\Rightarrow U_{eff} = 230V$$

• Drehstrom : $U_0 = 563V$

$$\Rightarrow U_{eff} = \sqrt{3} U_{eff} = 400V$$



5.2.3. Hochspannungsnetz

effektive Spannungen
in Überlandleitungen

$$U_{eff} = 110kV = 110'000V (!)$$

$$220kV$$



$$U_{\text{eff}} = 110 \text{ kV} = 110'000 \text{ V (!)}$$

$$220 \text{ kV}$$

$$380 \text{ kV}$$



Material: Kupfer

$$\hookrightarrow \rho = 3 \cdot 10^{-8} \frac{\Omega}{\text{m}} \Rightarrow \text{auf } 10 \text{ km} : R = 3 \Omega$$

Ohmscher Verlust ($P_{el} = U \cdot I$)

$$\Delta P_{el} = \Delta U \cdot I = R \cdot \underline{I^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \frac{R \cdot I^2}{U \cdot I} = \frac{R \cdot I \cdot U}{U^2} = P_{el} \cdot \frac{R}{U^2}$$

$$\text{z.B. } P_{el} = 10 \text{ kW}$$

$$\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \begin{cases} 56\% & \text{für } U = 230 \text{ V} \\ 0,6 \cdot 10^{-6} & \text{für } U = 220 \text{ kV} \end{cases}$$

D Mittelwert : 5,7%