

**Eigene Notizen:** nur handschriftlich in den gekennzeichneten Feldern, Textmarker sind überall zulässig

- **zulässig** sind weitere Formeln, stichwortartige Sachverhalte, Skizzen
- **nicht zulässig** sind komplette Herleitungen, Altaufgaben (ganz. o. teilw.), Abschriften aus Wikipedia u. ä.

## Formelsurium E-Technik

Stand: 01.02.2015

### Ladung, Strom, Spannung, Arbeit, Leistung

Kraft auf Ladung  $F = E \cdot Q$   $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

Arbeit  $W = P \cdot T$   $W = \int p(t) \cdot dt$

Ladung u. Strom  $Q = I \cdot T$   $Q = \int i(t) \cdot dt$

Arbeit u. Spannung  $W = Q \cdot U$   $W = Q \cdot \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$

Leistung  $P = I \cdot U$   $p(t) = i(t) \cdot u(t)$

Eigene Notizen

### Elektrisches Strömungsfeld

$$U = E \cdot \ell \quad U = \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$U = R \cdot I$$

$$P = I \cdot U = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

$$\rho = \frac{1}{e \cdot N \cdot b} = \frac{1}{\gamma}$$

$$R_x = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad \alpha_{\text{Cu}} = 0,0039 \text{ C}^{-1}$$

Eigene Notizen

## Elektrostatisches Feld

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \vec{E}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

technisch

$$Q = C \cdot U$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Verschiebungsstromdichte

$$U = \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$Q = D \cdot A \quad Q = \int \vec{D} \cdot d\vec{A}$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(Q \cdot U) = Q \cdot \frac{dU}{dt} + U \cdot \frac{dQ}{dt}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

$$J_v = \frac{dD}{dt}$$

Eigene Notizen

Eigene Notizen

## Magnetisches Feld

Durchflutung und  
magn. Spannungsabfall

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

technisch

$$\Psi = N \cdot \Phi = L \cdot I$$

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

$$R_m = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot \frac{\ell}{A}$$

$$\Theta = N \cdot I = \int \vec{H} \cdot d\vec{s} = V_{m1} + V_{m2}$$

$$\Phi = B \cdot A \quad \Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(\Psi \cdot I) = \Psi \cdot \frac{dI}{dt} + I \cdot \frac{d\Psi}{dt}$$

$$V_m = \Phi \cdot R_m$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

Eigene Notizen

Eigene Notizen

Kraft auf stromdurchflossenen Leiter

$$\vec{F}_I = I \cdot (\vec{\ell} \times \vec{B})$$

Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Gleichspannungsinduktion

$$U_i = \vec{\ell} \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Induktionsgesetz (techn. Form)

$$u_L = \frac{d\Psi}{dt}$$

Eigene Notizen

Kraft zwischen zwei parallelen Leitern

$$F = 2\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\ell}{r} \cdot I_1 \cdot I_2$$

Energiedichte

$$w_{\text{mag}} = \frac{1}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r} \cdot B^2$$

Grenzflächenkraft

$$\sigma = \frac{1}{2\mu_0} \cdot \left( \frac{1}{\mu_{rE}} - \frac{1}{\mu_{rL}} \right) \cdot B^2$$

1. KHR (Maschenumlauf-Gl.)

$$\sum U = 0$$

2. KHR (Knoten-Gl.)

$$\sum I = 0$$

Schaltungsumwandlungen

Reihenschaltung

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$$

$$C_{\text{ges}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$L_{\text{ges}} = L_1 + L_2$$

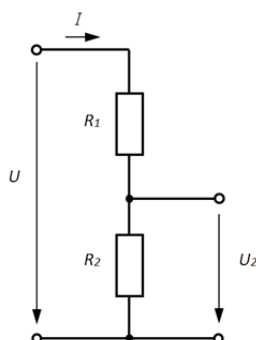
Parallelschaltung

$$R_{\text{ges}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2$$

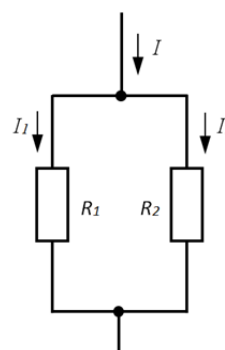
$$L_{\text{ges}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Spannungsteiler (unbelastet)



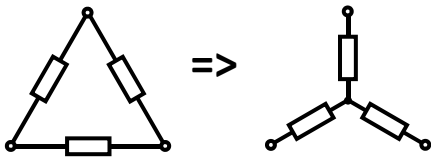
$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$$

Stromteiler



$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$$

### Dreieck => Stern Umwandlung

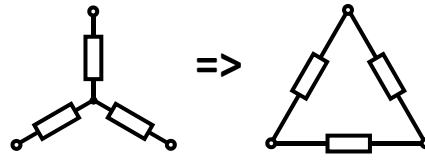


$$R_{10} = \frac{R_{31} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_{20} = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_{30} = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

### Stern => Dreieck Umwandlung



$$R_{12} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}}$$

$$R_{23} = R_{20} + R_{30} + \frac{R_{20} \cdot R_{30}}{R_{10}}$$

$$R_{31} = R_{30} + R_{10} + \frac{R_{30} \cdot R_{10}}{R_{20}}$$

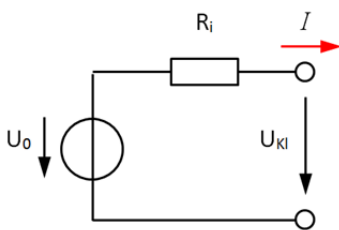
Sind alle Stern- bzw. Dreieck-Widerstände gleich groß, so gilt:

$$R_{10} = R_{20} = R_{30} = R_{\text{Stern}}$$

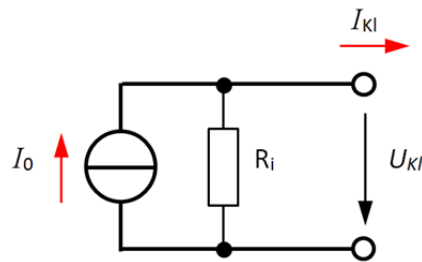
$$R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\text{Dreieck}}$$

$$R_{\text{Dreieck}} = 3 \cdot R_{\text{Stern}}$$

### Reale Spannungsquelle



### Reale Stromquelle



Eigene Notizen

### Effektivwert

$$F_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) \cdot dt}$$

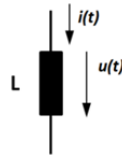
Eigene Notizen

## WS-Technik

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

### Induktivität



$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega t)$$

$$i(t) = -\sqrt{2} \cdot I \cdot \cos(\omega t)$$

$$U = X_L \cdot I$$

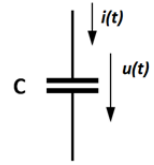
$$X_L = \omega \cdot L$$

Der Strom eilt der Spannung um  $\pi/2$  nach.

$$p(t) = I \cdot U \cdot \sin(2\omega t)$$

$$Q = I \cdot U$$

### Kapazität



$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega t)$$

$$i(t) = +\sqrt{2} \cdot I \cdot \cos(\omega t)$$

$$U = X_C \cdot I$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Der Strom eilt der Spannung um  $\pi/2$  voraus.

$$p(t) = I \cdot U \cdot \sin(2\omega t)$$

$$Q = I \cdot U$$

Eigene Notizen

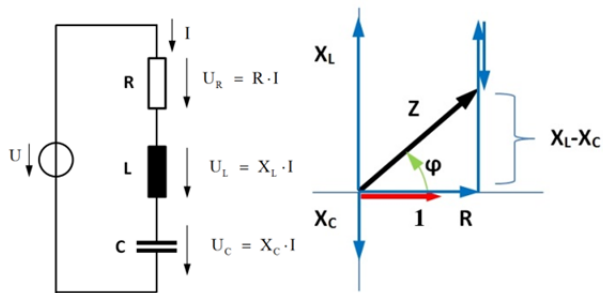
### Trafo

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

**Synchrondrehzahlen  
von Generatoren**  
(p = Polpaarzahl)

$$\frac{n}{\text{min}^{-1}} = \frac{3000}{p}$$

## RLC-Reihenschaltung



$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t)$$

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$U = Z \cdot I$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$p(t) = i(t) \cdot u(t)$$

$$= I \cdot U \cdot \cos(\varphi) - I \cdot U \cdot \sin(2\omega t + \varphi)$$

$$S = I \cdot U = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

$$Q = I \cdot U \cdot \sin \varphi$$

## Resonanzfall

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$b = |f_a - f_b|$$

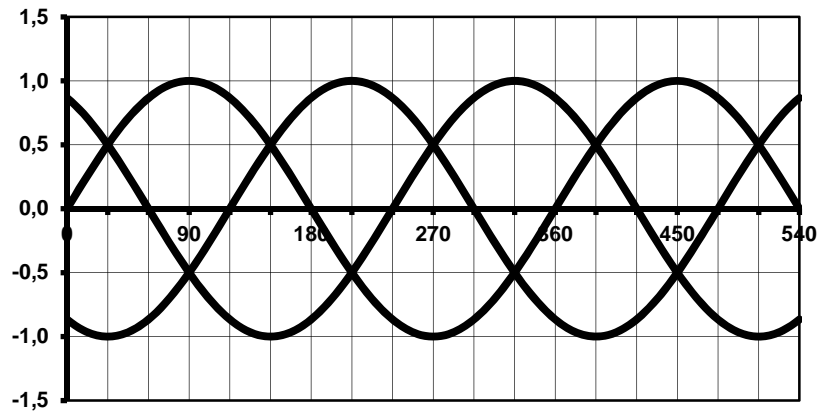
$$\begin{aligned} G &= \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} \\ &= \frac{X_L \cdot I}{R \cdot I} = \frac{X_C \cdot I}{R \cdot I} \\ &= \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} \end{aligned}$$

$$f_0 = b \cdot G$$

## RLC-Parallelschaltung

Eigene Notizen

## DS-Technik



$$u_{10}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{\text{str.}} \cdot \sin(\omega t)$$

$$u_{12}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{\text{verk.}} \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

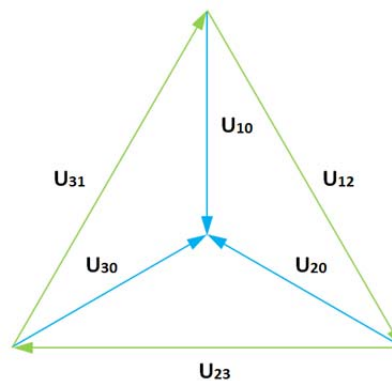
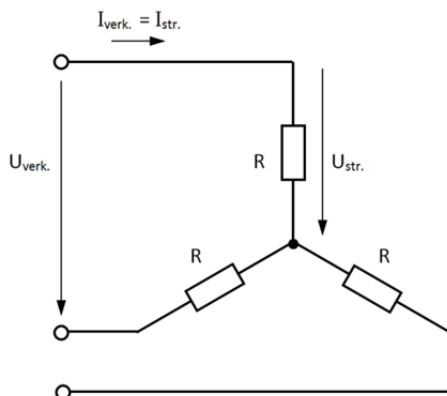
$$u_{20}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{\text{str.}} \cdot \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi)$$

$$u_{23}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{\text{verk.}} \cdot \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{30}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{\text{str.}} \cdot \sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi)$$

$$u_{31}(t) = \sqrt{2} \cdot U_{\text{verk.}} \cdot \sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi + \frac{\pi}{6})$$

### Sternlast

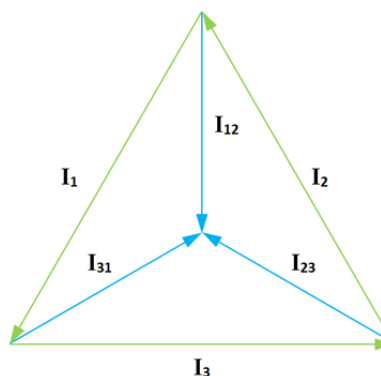
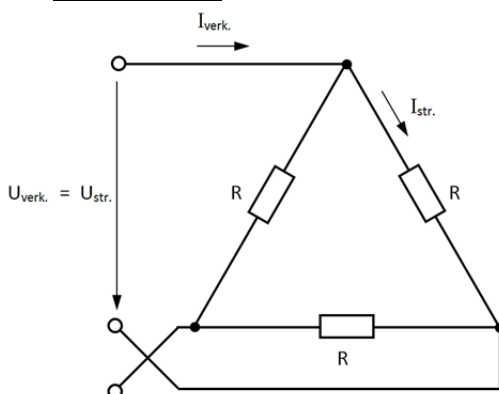


$$U_{\text{verk.}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{str.}}$$

$$I_{\text{verk.}} = I_{\text{str.}}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot I_{\text{verk.}} \cdot U_{\text{verk.}}$$

### Dreiecklast



$$U_{\text{verk.}} = U_{\text{str.}}$$

$$I_{\text{verk.}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{str.}}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot I_{\text{verk.}} \cdot U_{\text{verk.}}$$

Falls R durch Z,  $\varphi$  ersetzt:

$$P = \sqrt{3} \cdot I_{\text{verk.}} \cdot U_{\text{verk.}} \cdot \cos \varphi$$

Eigene Notizen

**GM**

$$U_i = (k_1 \cdot \Phi_E) \cdot \Omega$$

$$M = (k_1 \cdot \Phi_E) \cdot I_A$$

$$U_A = R_A \cdot I_A + U_i$$

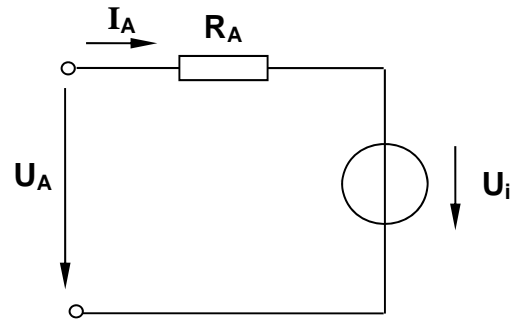
$$I_A \cdot U_A = R_A \cdot I_A^2 + I_A \cdot U_i$$

$$P_{el} = P_V + P_i$$

$$P_{el} = I_A \cdot U_A$$

$$P_V = R_A \cdot I_A^2$$

$$P_i = I_A \cdot U_i$$



$$\Omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

$$P_{mech} = \Omega \cdot M$$

$$P_{mech} = P_i$$

$$\Omega \cdot M = I_A \cdot U_i$$

Quad. Gl.

$$x^2 + p \cdot x + q = 0$$

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$\Omega = \frac{U_A}{(k_1 \cdot \Phi_E)} - \frac{R_A}{(k_1 \cdot \Phi_E)^2} \cdot M$$

$$= \Omega_0 - m \cdot M$$

$$M_B = M_M - M_L = \Theta \cdot \frac{d\Omega}{dt}$$

$$E_{rot} = \frac{1}{2} \cdot \Theta \cdot \Omega^2$$

Eigene Notizen

**Eigene Notizen:** nur handschriftlich, Textmarker sind überall zulässig

- **zulässig** sind weitere Formeln, stichwortartige Sachverhalte, Skizzen
- **nicht zulässig** sind komplette Herleitungen, Altaufgaben (ganz. o. teilw.), Abschriften aus Wikipedia u. ä.



Eigene Notizen: nur handschriftlich in den gekennzeichneten Feldern, Textmarker sind überall zulässig

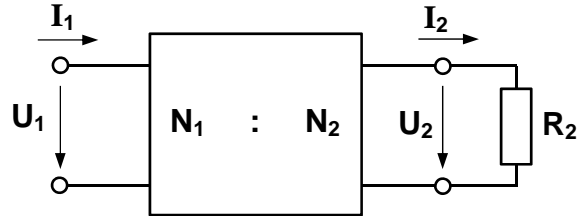
- zulässig sind weitere Formeln, stichwortartige Sachverhalte, Skizzen
- nicht zulässig sind komplette Herleitungen, Altaufgaben (ganz o. teilw.), Abschriften aus Wikipedia u. ä.

## Formelsurium EMAN

Stand: 14.02.2015

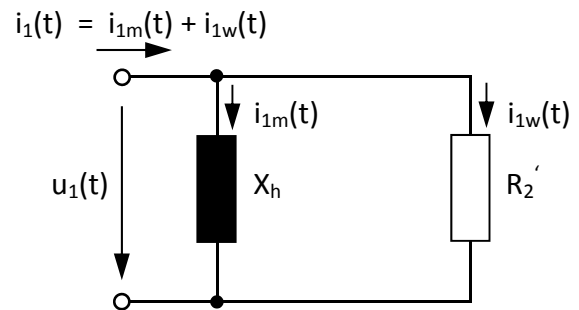
### Trafo

ideal 
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$



mit Hauptreaktanz  
und transf. Wdst.

$$R_2' = R_2 \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$



Eigene Notizen

### Drehfeldmaschinen

**Synchrondrehzahlen  
von Generatoren**  
(p = Polpaarzahl)

$$\frac{n}{\text{min}^{-1}} = \frac{3000}{p}$$

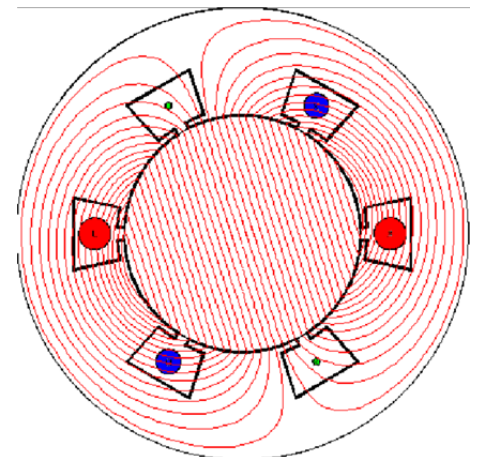
Drehfelderzeugung

$$\underline{B}_1 = \hat{B} \cdot \cos(\omega t) \cdot e^{j0}$$

$$\underline{B}_2 = \hat{B} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\underline{B}_3 = \hat{B} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \cdot e^{j\frac{4\pi}{3}}$$

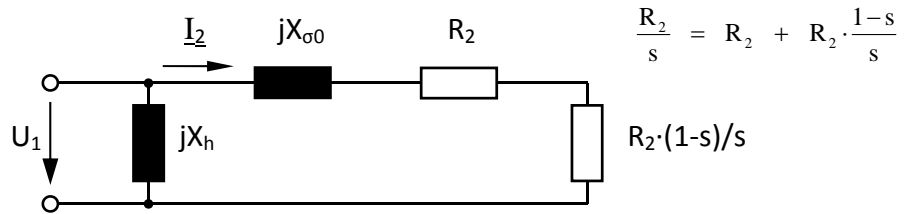
$$\underline{B} = \underline{B}_1 + \underline{B}_2 + \underline{B}_3 = \frac{3}{2} \cdot \hat{B} \cdot e^{j\omega t}$$



## ASM

Schlupf  $s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$   $n = n_s \cdot (1-s)$   
 $\Omega = \Omega_s \cdot (1-s)$

1-phasiges ESB  
(je Strang!)



Rotor-

Leistungsgleichung

$$\underbrace{\underline{I}_2 \cdot \underline{U}_1}_{\text{Scheinlsg.}} = \underbrace{j \cdot X_{\sigma 0} \cdot \underline{I}_2^2}_{\text{Blindlsg.}} + \underbrace{R_2 \cdot \underline{I}_2^2}_{\text{Verlustlsg.}} + \underbrace{R_2 \cdot \frac{1-s}{s} \cdot \underline{I}_2^2}_{\text{mech. Lstg.}}$$

Für alle 3 Stränge

Luftspalt(wirk-)leistung  $R_2 \cdot I^2 + \frac{1-s}{s} \cdot R_2 \cdot I^2 = \frac{R_2}{s} \cdot I^2 = P_L$

$$P_V + P_{\text{mech}} = P_L$$

$$s \cdot P_L + (1-s) \cdot P_L = P_L$$

$$P_L = \frac{R_2}{s} \cdot I^2$$

$$P_V = s \cdot P_L = R_2 \cdot I^2$$

$$P_{\text{mech}} = (1-s) \cdot P_L = \frac{R_2}{s} \cdot I^2$$

Mit  $P_{\text{mech}} = \Omega \cdot M = (1-s) \cdot P_L$

$$M = \frac{(1-s) \cdot P_L}{\Omega}$$

$$= \frac{(1-s) \cdot P_L}{(1-s) \cdot \Omega_s} = \frac{P_L}{\Omega_s} \Rightarrow P_L \sim M$$

Fazit: Für ein bestimmtes Drehmoment M ist eine bestimmte Luftspaltleistung  $P_L$  erforderlich und zwar unabhängig von der Drehzahl / dem Schlupf.

Mit  $P_V = s \cdot P_L \Rightarrow s = \frac{P_V}{P_L}$

Fazit: Bei vorgegebenem Drehmoment / Luftspaltleistung lässt sich der Schlupf s durch gezielte Veränderung der Verlustleistung  $P_V$  einstellen.

Eigene Notizen

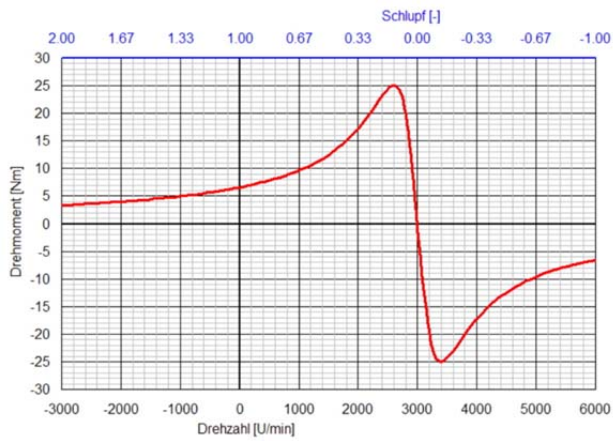
### Schlupf-Drehmoment-Verhalten (Kloss'sche Gl.)

$$\frac{M}{M_K} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

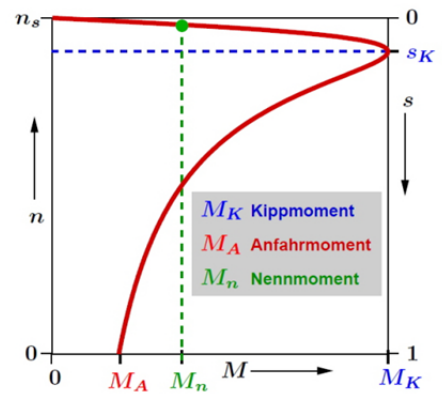
mit

$$M_K \sim U_1^2$$

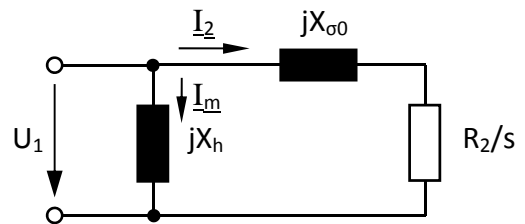
$$s_K = \frac{R_2}{X_{\sigma 0}}$$



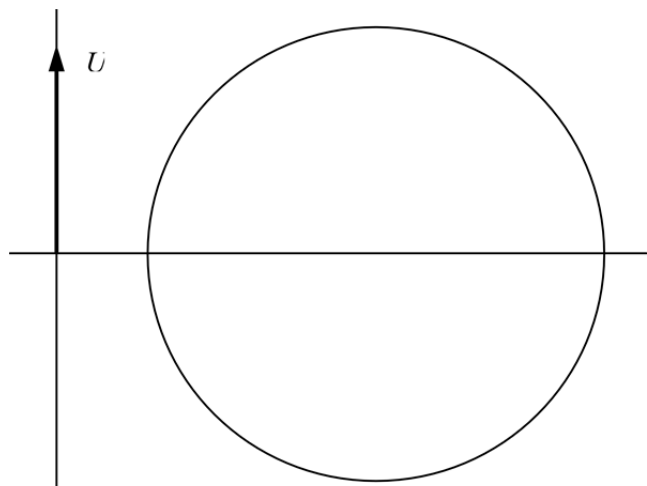
Theoretische Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie einer 2-poligen 3 kW 50 Hz Asynchronmaschine.



### Stromortskurve (Heylandkreis)



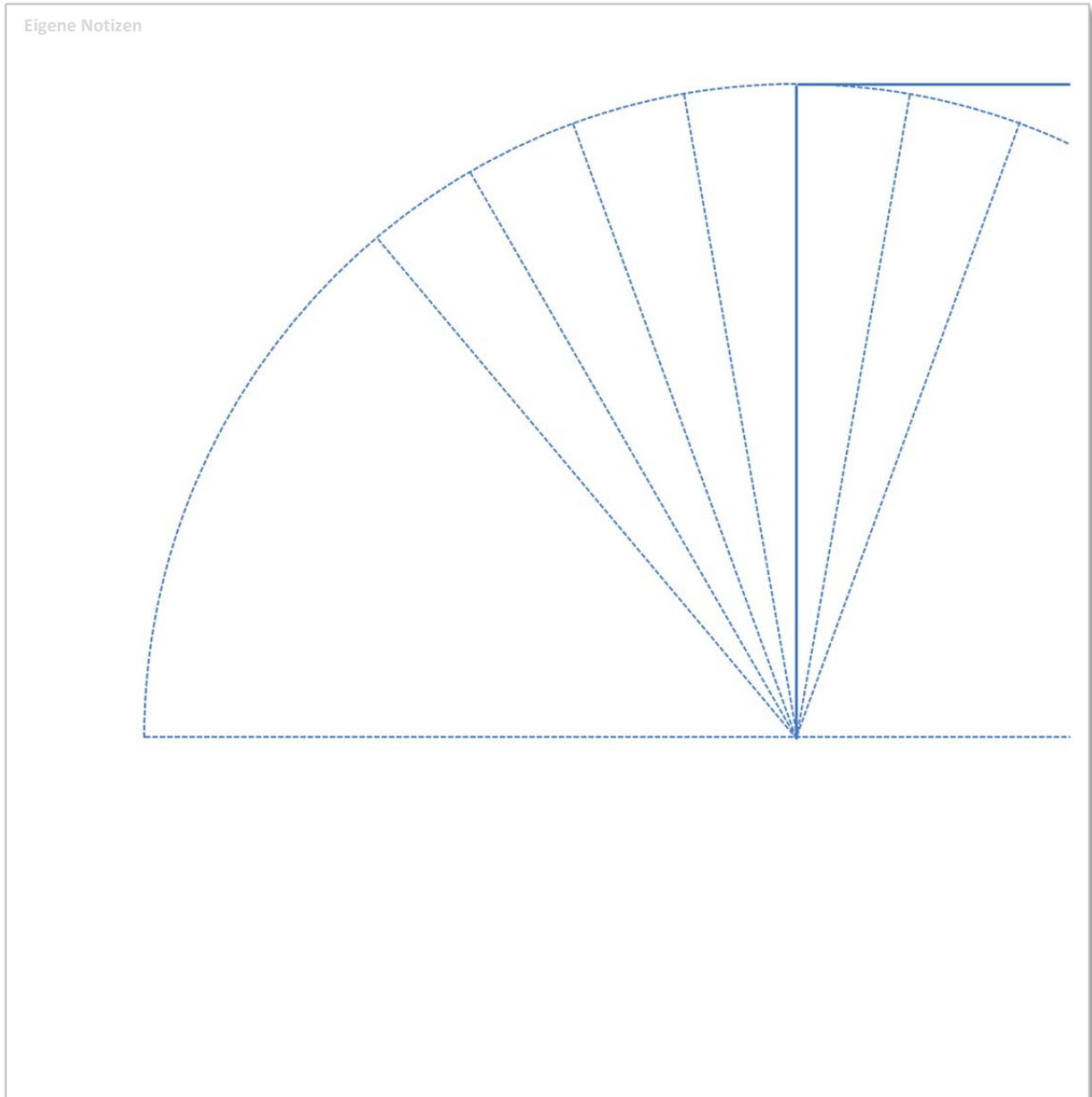
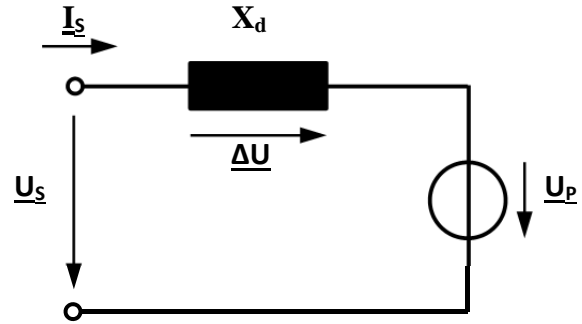
Eigene Notizen



SM

„Motor“-ESB

$$\begin{aligned}\underline{I}_S &= \frac{\underline{\Delta U}}{jX_d} \\ &= -j \cdot \frac{U_S}{X_d} + j \cdot \frac{U_P}{X_d}\end{aligned}$$



Komplexer Operator  $j = -(1/j)$

$$e^{j\alpha} = \cos(\alpha) + j \cdot \sin(\alpha)$$

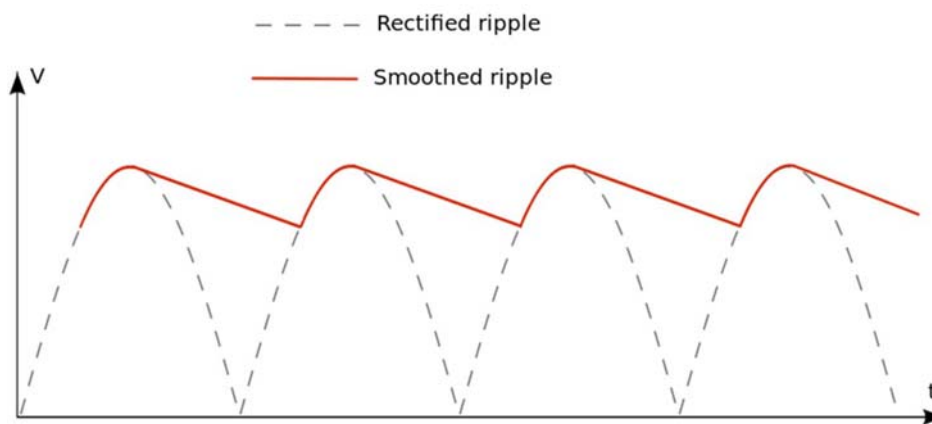
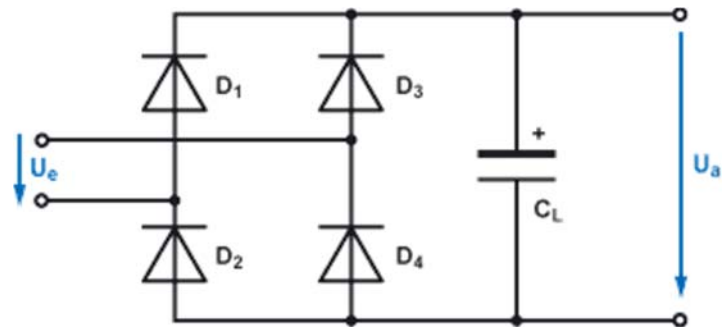
Kosinussatz  $a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\alpha)$

Eigene Notizen zum Thema Windkraftgeneratoren



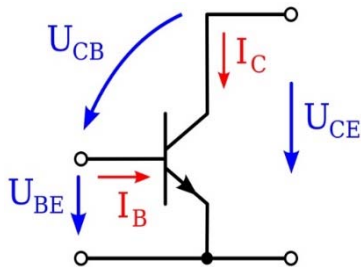
### Gleichrichter-Schaltungen

B2 mit Glättungs-Kondensator

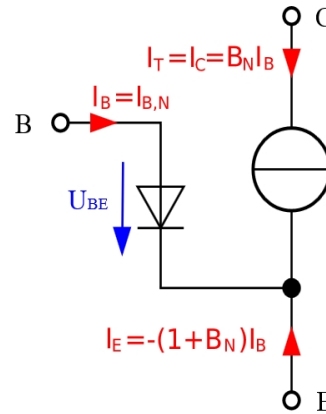


Eigene Notizen

### Bipolarer Transistor



Schaltsymbol



Einfachstes ESB

### Transistor-Verlustleistung im Sättigungszustand

$$P_{vTr} = I_B \cdot U_{BE} + I_C \cdot U_{CEsat}$$

#### Eigene Notizen

PWM-Berechnungsansatz

$$P_{Lav} \cdot T = P_{Lmax} \cdot \Delta t$$

