

Gleichstrom

• Reihenschaltung: 

- $R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots$

- $L_{ges} = L_1 + L_2 + \dots$

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

• Parallelschaltung: 

- $R_{ges} = \frac{R_1 + R_2 + \dots}{R_1 + R_2 + \dots}$

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

- $C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots$

• Spannungsteiler

- $U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

- $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

• Stromteiler

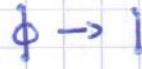
- $I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

• Widerstandsrechnung: $R(\vartheta = \vartheta_{\text{bezug}}) = \rho \cdot \frac{L}{A} = R(\vartheta = \vartheta_{\text{bezug}}) \cdot [1 + \alpha(\vartheta = \vartheta_{\text{bezug}}) \cdot (\vartheta - \vartheta_{\text{bezug}})]$

• Überlagerungssatz:

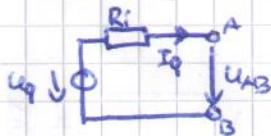
- Ersatzwiderstand:

- Spannungsquelle: 

- Stromquelle: 

} dann $R_{ges} = \dots$

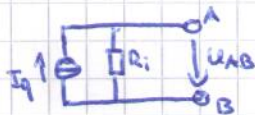
- Ersatzspannungsquelle:



- $U_q = U_{AB} \cdot U$

- $R_i = R_{ges}$

- Ersatzstromquelle:



- $I_q = \frac{U_{AB}}{R_i}$

- $R_i = R_{ges}$

- Bedingung: lineares elektrisches Netzwerk

- Überlagerung: Nur U, I , nicht P

Wechselstrom

◦ Kondensator:

$$- X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$- \underline{Z}_C = -j X_C = X_C \cdot e^{j(-90^\circ)}$$

$$- \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = j\omega C = \frac{1}{R} + j \frac{1}{X_C}$$

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

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

◦ Spule

$$- X_L = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

$$- \underline{Z}_L = j X_L = X_L \cdot e^{j90^\circ}$$

$$- \underline{Y}_L = \frac{1}{j\omega L} = \frac{1}{R} - j \frac{1}{X_L}$$

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

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

◦ komplex $\rightarrow$ reell ($|\underline{I}| \cdot e^{j\varphi}$)

$$\underline{I} = |\underline{I}| \cdot (\cos(\varphi) + j \sin(\varphi))$$

◦ reell $\rightarrow$ komplex ($a + jb$)

$$\underline{I} = |\underline{I}| \cdot e^{j \cdot \arctan(\frac{\text{Im}}{\text{Re}})}$$

◦ Phasen (verschiebung)

$$- \varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

$$- \varphi_C = -90^\circ \quad \begin{array}{c} \uparrow \underline{I} \\ \underline{U} \end{array}$$

$$- \varphi_L = +90^\circ \quad \begin{array}{c} \underline{U} \\ \uparrow \underline{I} \end{array}$$

$$- 90^\circ > \varphi > 0^\circ \rightarrow \text{ohm. induktiv}$$

$$- 0^\circ > \varphi > -90^\circ \rightarrow \text{ohm. kapazitiv}$$

◦ Leistungen

$$- \text{Leistungsfaktor: } \cos(\varphi) = \cos(\varphi_u - \varphi_i)$$

$$- \text{Wirkleistung: } P = \text{Re}(\underline{S}) = |\underline{S}| \cdot \cos(\varphi)$$

(wird in Wärme umgewandelt)

$$- \text{Scheinleistung: } S = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} = \frac{1}{2} \hat{U} \hat{I}$$

(Wirk- und Blindleistung)

$$- \text{Blindleistung: } Q = \text{Im}(\underline{S}) = |\underline{S}| \cdot \sin(\varphi) = Q_L + Q_C \quad (Q_C < 0!)$$

(wird hin und her geschoben)

$$\hookrightarrow Q > 0 \text{ var} \rightarrow \text{induktiv}$$

$$\hookrightarrow Q < 0 \text{ var} \rightarrow \text{kapazitiv}$$

Einschwingvorgänge

◦ Kondensator: $-||-$

$$- i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

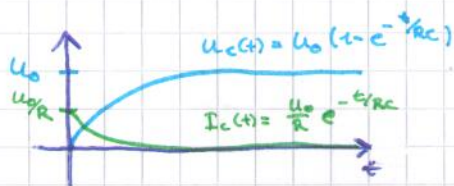
- Einschalten:

$$U = U_{R_1}(t) + U_{R_2}(t) + \dots + u_C(t)$$

$$U = (R_1 + R_2 + \dots) (i_C(t) + i_{\dots}(t)) + u_C(t)$$

$$U = (R_1 + R_2 + \dots) \left(C \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R_{\dots}} \right) + u_C(t)$$

$$\frac{U}{R_{ges}} = \underbrace{C \cdot R_{ges}}_{=\tau} \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$$

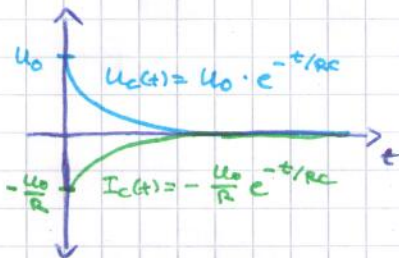


- Ausschalten:

$$0 = u_C(t) + i(t) (R_1 + R_2 + \dots)$$

ooo

$$0 = C \cdot R_{ges} \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$$



◦ Schwingkreis: (C und L)

- Resonanz: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$

◦ Spule: $-L-$

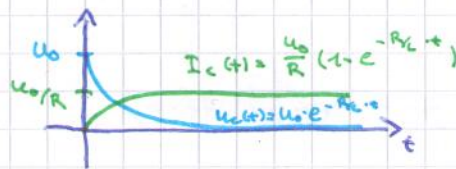
$$- u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

- Einschalten:

$$U = u_{R_1}(t) + u_{R_2}(t) + \dots + u_L(t)$$

$$U = i_L(t) (R_1 + R_2 + \dots) + u_L(t)$$

$$\frac{U}{R_{ges}} = \underbrace{\left(\frac{L}{R_{ges}} \right)}_{=\tau} \cdot \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t)$$

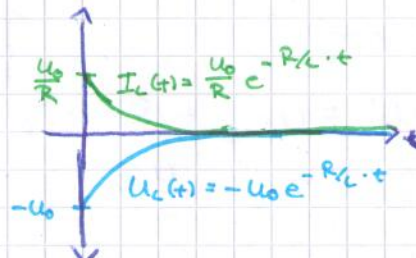


- Ausschalten:

$$0 = i_L(t) (R_1 + R_2 + \dots) + u_L(t)$$

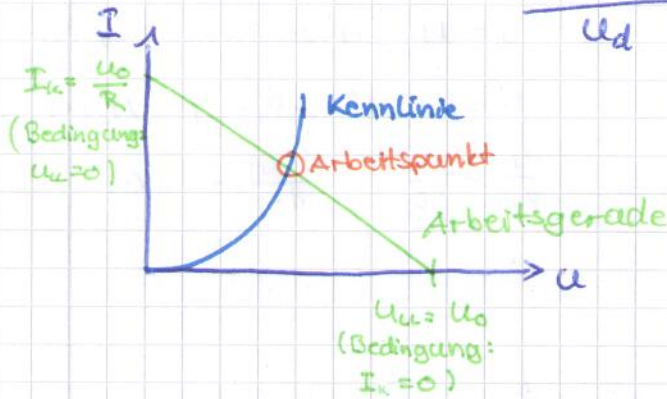
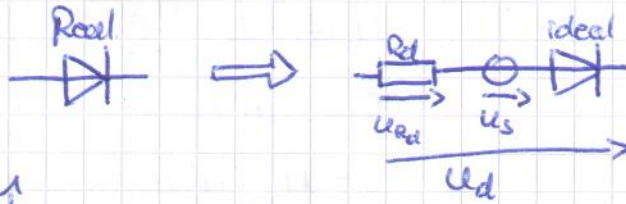
ooo

$$0 = \frac{L}{R_{ges}} \cdot \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t)$$



Dioden

- Differenzieller Widerstand: $R_D = \frac{\Delta u}{\Delta I}$



Bipolartransistoren

- Stromgesteuerte Stromquelle
- Funktion: Kleinsignalverstärker / Schalter
- Arbeitsgerade

$$- I_{CE} = \frac{U_{Bat} - U_{CE}}{R_{WCE}}$$

Bedingung 1: $U_{CE} = 0 \rightarrow I_{CE} = \frac{U_{Bat}}{R_{WCE}}$

$$- U_{CE} = U_{Bat} - U_{RCE}$$

Bedingung 2: $I_{CE} = 0 \rightarrow U_{CE} = U_{Bat}$

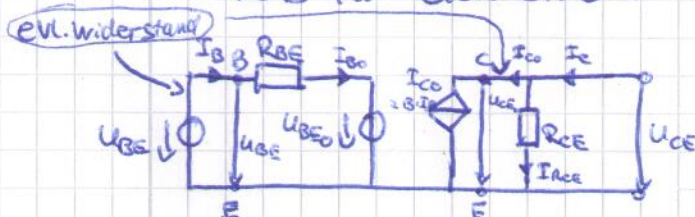
- generell:

$$- U_{BE} = U_{BE0} + R_{BE} \cdot I_B$$

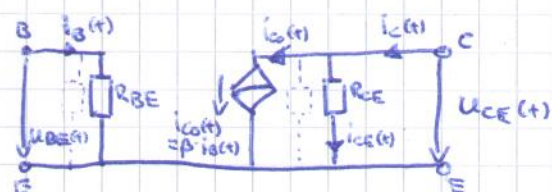
$$- I_C = I_{C0} + \frac{U_{CE}}{R_{CE}}$$

$$- V_p = V_u \cdot V_I$$

- ESB für Gleichstrom:



- ESB für Wechselstrom:



Vereinfachungen:

$$R_{BE} = 0 \Omega \rightarrow U_{BE} = U_{BE0}$$

$$R_{CE} = \infty \Omega \rightarrow I_C = I_{C0}$$

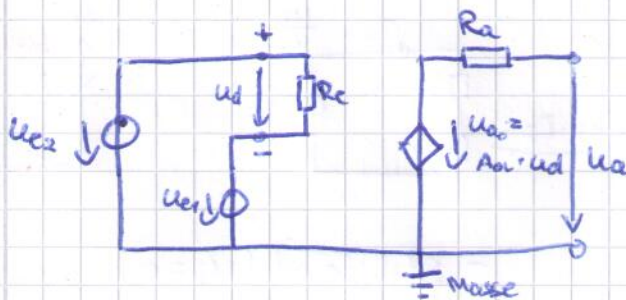
Prüfen, ob $R_a \gg R_b$

$\hookrightarrow R_a$ durch LL ersetzen

Operationsverstärker

- Spannungsgesteuerte Spannungsquelle
- ideal:
 - $R_e \rightarrow \infty \Omega \rightarrow$ keine Ströme im Eingang
 - $A_d \rightarrow \infty$
 - $R_a = 0 \Omega \rightarrow$ Ausgang verhält sich wie ideale Spannungsquelle
 - $0 \text{ Hz} \leq f \leq \infty \text{ Hz}$
 - $u_{e2} = u_{e1} \rightarrow u_a = 0 \text{ V}$
 - kein Rauschen
 - keine Temperaturabhängigkeit

- ESB:



+ : nicht inv. Eingang

- : inv. Eingang

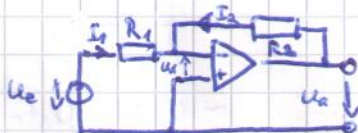
o Komparator



$$u_a = \begin{cases} u_{a, \max} = +U_{\text{Bet}} & \text{für } u_2 > u_1 \text{ bzw. } u_d > 0 \\ 0 \text{ V} & \text{für } u_1 = u_2 \text{ bzw. } u_d = 0 \\ u_{a, \min} = -U_{\text{Bet}} & \text{für } u_1 > u_2 \text{ bzw. } u_d < 0 \end{cases}$$

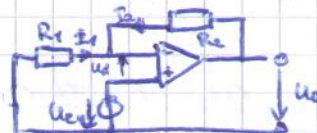
o Invertierender Verstärker

$$-V_u = -\frac{R_2}{R_1} \quad (\text{für } R_1 = R_2 \rightarrow \text{Invertiert})$$

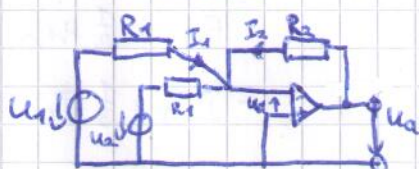


o nicht-invertierender Verstärker

$$-V_u = \frac{u_a}{u_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{für } R_2 = 0 \rightarrow \text{Impedanzwandler})$$

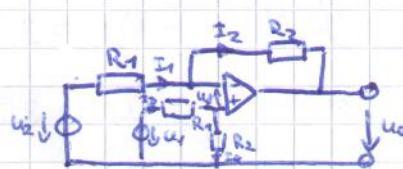


o Addierer



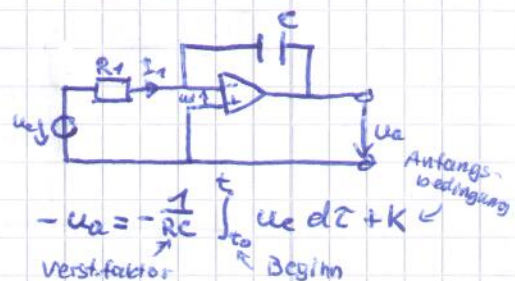
$$-u_a = -\frac{R_3}{R_1} (u_1 + u_2)$$

o Subtrahierer



$$-u_a = \frac{R_3}{R_1} (u_1 - u_2)$$

o Integrierer



$$-u_a = -\frac{1}{R_1 C} \int_{\text{Begin}}^t u_e d\tau + K$$

verstärker
Anfangsbedingung

Elektische Maschinen

◦ elektrische Seite

- GS: $P_{el} = U \cdot I$
- WS: $P_{el} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$
- DS: $P_{el} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi)$

◦ mechanische Seite

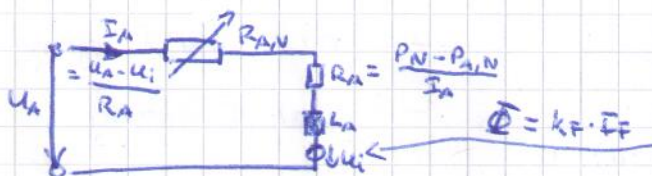
$$- P_{mech} = \Omega M = 2\pi \cdot f \cdot M = \Omega (M_1 - M_2)$$

◦ Wirkungsgrad: $\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el, auf}} = \frac{P_{mech}}{P_{mech} + P_{vert}} = \frac{P_{el, auf} - P_{vert}}{P_{el, auf}}$

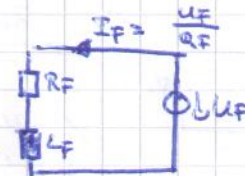
$$= \frac{P_N}{P_{NV} + P_{F,N}} = \frac{P_{el, ab}}{P_{el, ab} + P_{VA} + U_F \cdot I_F} \leftarrow \text{Erregerverluste}$$

◦ Gleichstrommaschine

- Anker



- Erreger



- Arbeitspunkt



- Betrieb:

$$- M_{el} = c \Phi \cdot I_A \quad - c = \frac{2N}{\pi p}$$

$$- U_i = U_A - I_A \cdot R_A = c \Phi \cdot \Omega$$

$$- \Omega = \frac{U_A}{c \Phi} \pm \frac{R_A}{(c \Phi)^2} \cdot M_{el} \quad (+ \text{Generator} \quad - \text{Motor})$$

Leerlauf

- Stillstand ($U_i = 0$)

$$- I_{A, st} = \frac{U_{A, V}}{R_A}$$

$$- M_{st} = \frac{I_{A, st}}{I_{A, N}} \cdot M_N$$

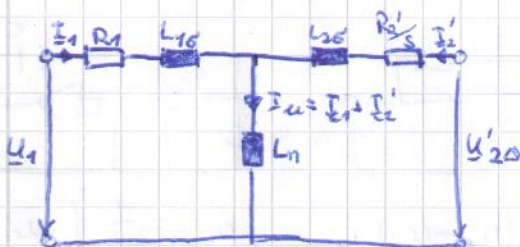
◦ Asynchronmaschine

- generell

$$- n_{syn} = \frac{f_1}{z_p}$$

$$- s = \frac{n_{syn} - n}{n_{syn}} = \frac{n_{syn} - n}{n}$$

$$- \cos(\varphi) = \frac{P}{S}$$



- Dreieckschaltung

$$- I_L = \sqrt{3} I_{str}$$

$$- U_L = U_{str}$$

$$- P_{el\Delta} = 3 U_{str} \cdot I_{str} \cdot \Delta$$

$$- P_{el\Delta} = 3 P_{el\Delta}$$

$$- I_{L\Delta} = 3 I_{L\gamma}$$

- Sternschaltung

$$- I_L = I_{str}$$

$$- U_L = \sqrt{3} U_{str}$$

$$- P_{el\gamma} = 3 U_{str} \cdot I_{str} \cdot \gamma \cdot \cos(\varphi)$$

$$- P_{el\gamma} = \frac{1}{3} P_{el\Delta}$$

$$- I_{L\gamma} = \frac{1}{3} I_{L\Delta}$$