

Inchone

Grundlagen

Elektr. Arbeit
 $W = Q \cdot \int E ds = Q \cdot U$

Plattenkondensator
 $C = \frac{Q}{U}$
 $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{L}$
 ϵ : Dielektrizitätskonst./Permittivität
 A : Plattenfläche
 L : Plattenabstand

ideale Strom und U-Quelle

Elektr. Feldstärke
 $E = \frac{F}{Q}$

Leistung
 $P = \frac{W}{t} = \frac{Q \cdot U}{t}$

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

Spannung springt nicht

Parallell: $U_C = U_{ges}$
 $Q_{ges} = \sum Q_i = \sum C_i \cdot U$
Erkapazität: $C_{ges} = \frac{Q_{ges}}{U} = \sum C_i$

Elektr. Stromstärke
 $I = \frac{Q}{t}$
 $1A = 6,24 \cdot 10^{18} e^-$

Blindwiderstand
 X

Blindleistung
 $\frac{1}{X} = Y$

Impedanz
 $Z = R + jX$

Stromdichte
 $\vec{S} = \frac{\vec{I}}{A}$

Ohm'sches Gesetz
 $R = \frac{U}{I}$
 $\frac{1}{R} = G$ [Siemens]
Elektr. Leitwert

spezif. Widerstand
 $\rho = \frac{E}{S}$

spez. Leitfähigkeit
 $\frac{1}{\rho} = \sigma$

elektr. Widerstand
 $R = \frac{E \cdot L}{S \cdot A} = \rho \cdot \frac{L}{A}$
 L : Leiterlänge
 A : Leiterquerschnitt

Heißeleiter: $\oplus C \rightarrow \oplus R$: PTC
Kalteleiter: $\oplus C \rightarrow \ominus R$: NTC

Spule
 $u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} = N \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt}$ | $L = \mu_0 \mu_r N^2 \frac{A}{l}$
 μ : Permeabilität

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

Ein: $i_L(t) = \frac{U}{R} (1 - e^{-(R/L)t})$
Aus: $i_L(t) = \frac{U}{R} \cdot e^{-(R/L)t}$
Reihe: $L_{ges} = \sum L_i$

Parallel: $\frac{1}{L_{ges}} = \sum \frac{1}{L_i}$

reale I-Quelle

reale U-Quelle

Uq: Leerlaufspannung
U: Klemmenspannung
 $U = U_q - R_i \cdot I$
Iq: Kurzschlussstrom
 $I_q = \frac{U_q}{R_i}$
U: Klemmenspannung
I: Klemmspannung

Schwingkreise = Kombi aus C und L

- Wenn $X_L = X_C \Rightarrow$ Resonanzfall
 d.h. $\text{Im}(Z)$ erfüllt

RLC-Parallel

$Y = \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$
 $f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$
 $Z = R$ wenn $U(f_0)$
 $\Rightarrow I_{f_0} = \text{min.}$

RLC-Serie

$Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$
 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$ Resonanzfall
 $Z = R$ wenn $U(f_0)$
 $\Rightarrow R_{f_0} = \text{max}$
 $\Rightarrow I_{f_0} = \text{max}$

idealer Schwingkreis ohne R $\Rightarrow f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$ • mit R: gedämpft

Halbleiter

- mit Elemente der 4. HG
- bei $1^\circ C \rightarrow VB \rightarrow UB \Rightarrow$ Fehlstellen in VB
- Dotierung = gezielte Verunreinigung durch Fremdatome
 - p-dotiert: - 3 HG, Fremdatom, als Akzeptor, da nach Bindung 1 Defektelektron $\Rightarrow$ leitfähige Fehlstelle
 - n-dotiert: - 5 HG, Fremdatom als Donator, da ein e^- frei
- Sperrschicht:
 - e^- wandert zu p $\Rightarrow \ominus$ geladen
 - e^- geht weg von n $\Rightarrow \oplus$ geladen
- Diffusionspannung abh. von Material u. Dotierung
- Zenerspannung: Wenn U zu n.ghr $\Rightarrow$ Elektr. Feldstärke $\uparrow \Rightarrow$ hohe Energie $\Rightarrow$ G. wird frei $\Rightarrow$ I in $\oplus$ Richtung
- U_z unabh. von Strom

Signaldiode: schnell schaltend, Signalelemente

Hochleistungsdiode: Dargietechnik, schaltet große Ströme und Spannungen

Zenerdiode: Spannungsstabilisierung, Betrieb in Sperrichtung

LED: $VB \rightarrow LB$ • hohes $U_D \Rightarrow$ sichtbares Licht

Solarzelle: Lichtenergie $\rightarrow$ elektr. E

Kapazitätsdiode: $\ominus$ in Sperrschicht.

$\Delta U_{sperr} \Rightarrow \Delta Breiten_{sperr} \Rightarrow \Delta C$

DIODE

BIPOLARTRANSISTOR als WECHSELSTROMVERSTÄRKER

- ① Gleichstrombetrachtung $\Rightarrow$ HP einstellen
- ② Wechselstrombetrachtung $\Rightarrow$ Verstärkungsfaktor berechnen

Elektrische Maschine

Arbeitspunkt:

Gleichstrommaschine

- aus Rotor und Stator
- Stator sorgt für magnetisches Feld
 - permanent magnet
 - fremderregt
- F_L wirkt auf Anker (Spulen, Stromdurchfluss) $\Rightarrow$ Drehmoment des Rotors
- Drehzahländerung
 - ① $U_A \leftrightarrow \Omega$
 - ② $I_f \Rightarrow \Phi_{\text{Stator}} \Rightarrow \Phi_{\text{Rotor}}$

Magnet. Fluss
 $\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot A$

Magnet. Flussdichte / Magnetfeld
 $B = \mu_0 \mu_r \frac{H}{l}$
 μ : Permeabilität

Durchflutungsgesetz
 $\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum I_k$

Induktionsgesetz
 $u_i(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt}$

Lorentz:
 Kraft auf stromdurchflossenen Leiter in einem B-Feld
 $\vec{F}_L = B \cdot I \cdot l \cdot \vec{e} \times \vec{B}$
 $B \perp I \Rightarrow I \perp \vec{F}_L$

Generator
 $M_{el} < 0, \Omega > 0$ vorwärts
 $M_{el} > 0, \Omega < 0$ rückwärts G.

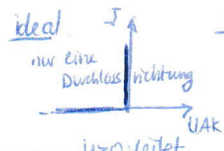
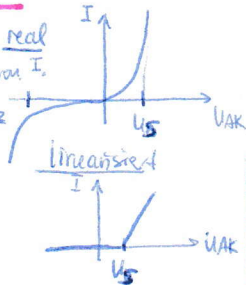
Motor
 $M_{el} > 0, \Omega > 0$ Motor
 $M_{el} < 0, \Omega < 0$ Motor

Ankerwindung: Erreg. + Anker
 Pol abwechseln $\Rightarrow u_i$

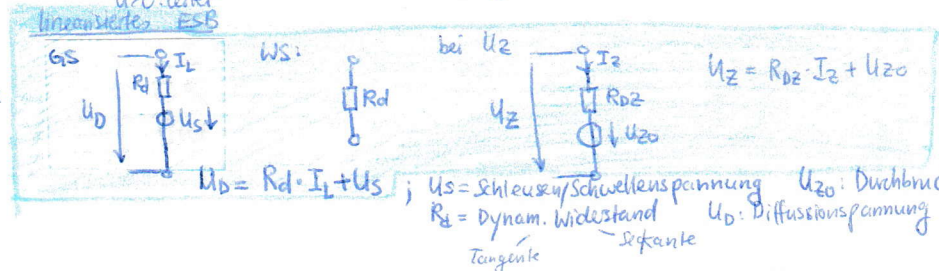
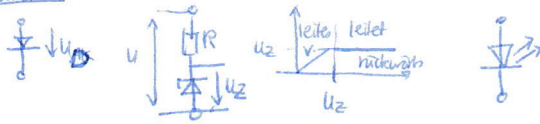
Es gilt
 $\Omega = \frac{U_A}{C \cdot \Phi} - \frac{R_A}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M_{el}$
 Anlauf: $n=0$, Leerlauf: $M=0$

Diode

• Kennlinie: real
 U_Z unabh. von I



Schaltbilder

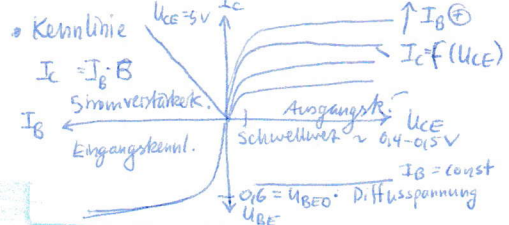


Bipolar Transistor

• Schaltsymbol

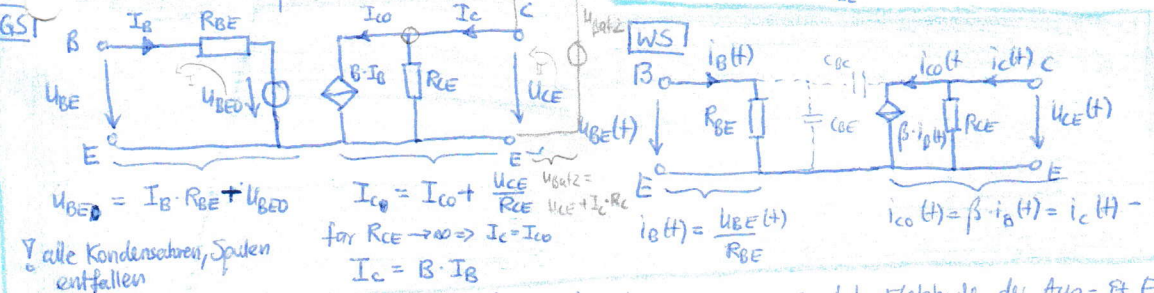


p. mit Locher
 n. mit e-überschuss, durch 5HG



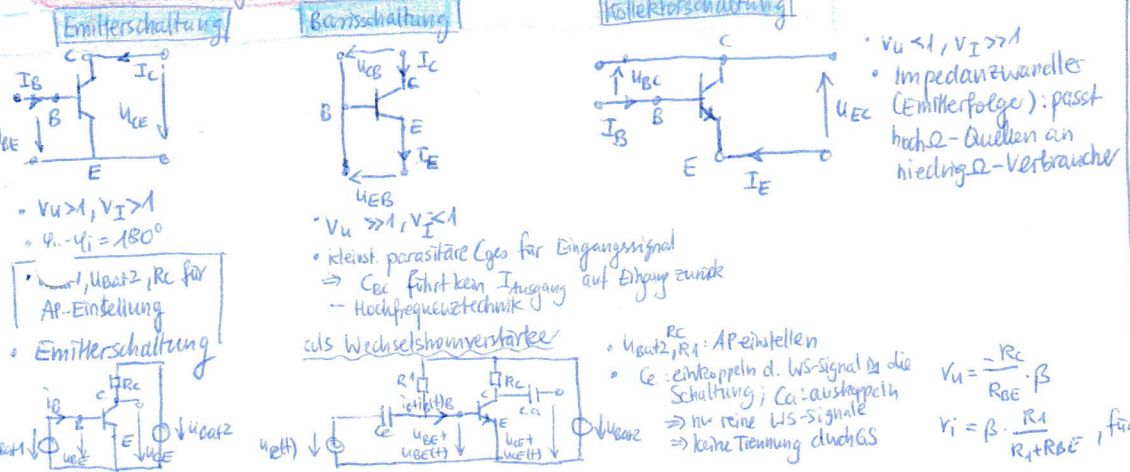
Funktion:
 Haupt: Signal verstärken $\rightarrow I_E \Rightarrow \Delta I_C$ bew U_{CE}
 - Schalter: offen at bestimmten U_{CE}
 $\Rightarrow$ niedrig $U_{CE} \Rightarrow I_C \rightarrow 0 \Rightarrow$ OFF
 $\Rightarrow U_{BE} = \text{max} \Rightarrow I_C > 0 \Rightarrow$ ON

varierte ESB d. Bipolartransistors



C_{BE}, C_{BC} : Sperrschichtkapazitäten
 vernachlässigbar bei mittleren HZ
 ESB bei Schalter anwend

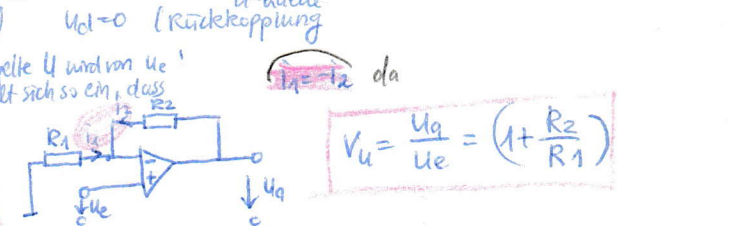
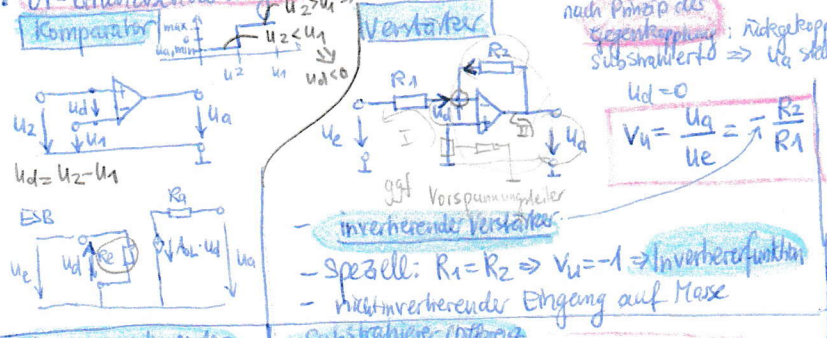
Grundschaltungen des Transistor



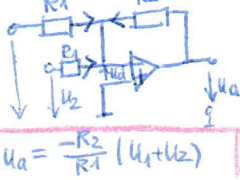
Leistungsverstärkung: $V_p = V_u \cdot V_i$
 zur Emitterschaltung
 recht: $U_{Bat2} = I_C \cdot R_C + U_{CE}$
 $I_C = \frac{U_{Bat2} - U_{CE}}{R_C}$ Arbeitsgerade
 links: $U_{BE} = U_{Bat1}$ gültige Kennlinie
 $V_u = \frac{U_a}{U_e} \approx \frac{I_C}{I_E} \cdot \frac{R_C}{R_E}$
 optimal: $U_{CE,AP} = U_{Bat} \cdot \frac{1}{2}$

Operativverstärker = mehrstufige Transistorverstärker. Ideal (= real): $R_i \rightarrow \infty, A_{OL}$ (Verstärkung) $\rightarrow \infty, R_a = 0$

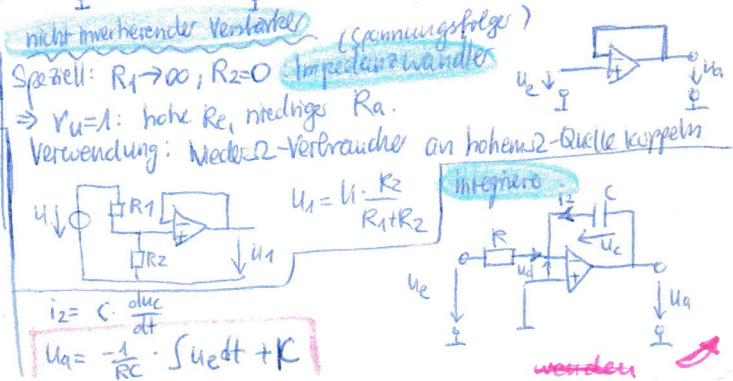
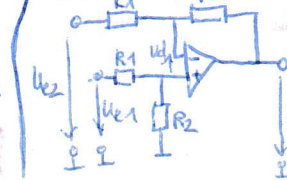
OP-Grundschaltungen



schleier invertierender

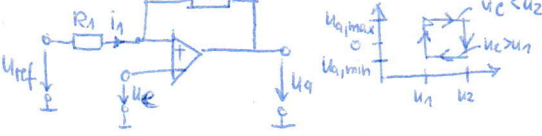


Subtrahierender Verstärker



Operationsverstärker P-E-I Prinzip d. Mitkopplung: Signalausgang wird zurückgeführt über Rückkopplung auf den nicht-invertierenden Eingang (2)

Invertierendes Schmitt-Trigger (Invert. Komparator mit Hysterese)

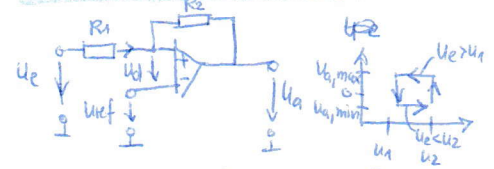


$$U_e < \frac{R_1 \cdot U_{a,max} + R_2 \cdot U_{ref}}{R_1 + R_2} = U_2 \text{ (obere Schaltschwelle)}$$

$$U_e > \frac{R_1 \cdot U_{a,min} + R_2 \cdot U_{ref}}{R_1 + R_2} = U_1 \text{ (untere Schwelle)}$$

$$U_d = \frac{R_1 \cdot U_a + R_2 \cdot U_{ref}}{R_1 + R_2} - U_e$$

Nichtinvertierender Schmitt-Trigger



U_{ref} z.B. Zenerdiode

$$U_e > U_{ref} \cdot (1 + \frac{R_1}{R_2}) - U_{a,max} \cdot \frac{R_1}{R_2} = U_1 \text{ (untere Schaltschwelle)}$$

$$U_e < U_{ref} \cdot (1 + \frac{R_1}{R_2}) - U_{a,min} \cdot \frac{R_1}{R_2} = U_2 \text{ (obere Schwelle)}$$

$$U_d = \frac{R_1 \cdot U_a + R_2 \cdot U_e}{R_1 + R_2} - U_{ref}$$

Elektrische Maschinen

Allgemeingültige Formeln

elektr. A. P_{el} Motor $\leftrightarrow$ Generator mech. Leistung

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{\text{genutzte Leistung}}{\text{gesamte zugeführte Leistung}}$

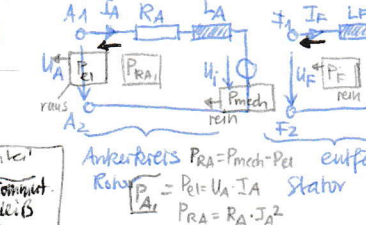
$P = I \cdot U = J^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \Leftrightarrow R = \frac{P}{I^2} = \frac{U^2}{P}$ $\frac{60}{s} \cdot \frac{1}{min} \leftarrow \frac{1}{s} \leftarrow \frac{1}{min}$

$P_{mech} = 2\pi \cdot n_N \cdot M_N = P_N \cdot \Omega = 2\pi \cdot n$

Gleichstrommaschine

ESB als MOTOR als Generator

$C = \frac{U_i}{I_A}$
 $C \cdot \Phi = \frac{M_{el}}{I_A}$



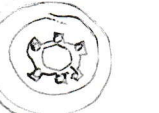
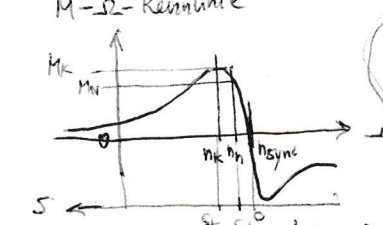
permanent magnet. oder fremderregt

$I_A \cdot R_A$
 $U_A = U_{ref} + U_i$
 $U_i = U_A + U_{RA}$
 $I_{F,AP} = I_{F,N} \cdot \frac{C \cdot \Phi_{AP}}{C \cdot \Phi_N}$
 $M_{AP} = C \cdot \Phi_{AP} \cdot I_{A,AP}$

Anlauf $\Rightarrow n=0$
 Leerlauf $\Rightarrow M_{el}=0 \Rightarrow \Omega = \Omega_0$
 $n_0 = n_N \cdot \frac{U_{A,N}}{U_{A,0}}$
 Nenn $\Rightarrow M_{el} = M_N$
 Anschalten: $I_{A,N} = \frac{U_{A,N}}{R_A} < I_{A,N}$
 $\frac{\Omega_N}{\Omega_0} = \frac{n_N}{n_0} = \frac{U_{i,N}}{U_{i,0}}$ (da $\Phi = const$)

Asynchrongenerator - Schläufer / Käfigläufer

- Synchrondrehzahl: $n_0 = n_{sync} = \frac{f \cdot 60}{P}$ (Polpaarzahl)
- Winkelgeschwindigkeit: $\Omega_{sync} = \frac{2\pi \cdot f}{P}$



Schlupf s, mit abweichender Drehzahl von nsync

$$s = \frac{\Omega_{sync} - \Omega}{\Omega_{sync}} = \frac{n_{sync} - n}{n_{sync}} = 1 - \frac{n}{n_{sync}}$$

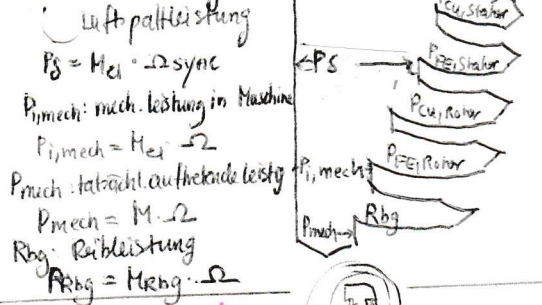
Klassische Formel: Zusammenhang Drehmoment und Drehzahl

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

Leistungen

$P_{aufgem} = 3 \cdot U_{str} \cdot I_{str} \cdot \cos(\varphi_N) = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi_N)$
 $S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L = 3 \cdot U_{str} \cdot I_{str}$
 $Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin(\varphi_N) = 3 \cdot U_{str} \cdot I_{str} \cdot \sin(\varphi_N) = \sqrt{S^2 - P^2}$

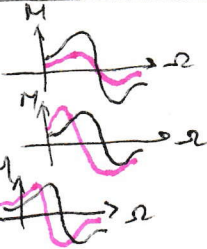
Verlustleistungen



M_{el} : inneres elektr. Moment
 $M_{el,N} \approx M_N + M_{Rbg}$ (?)

Drehzahlstellverhalten

- $\odot U \Rightarrow$ Kurze Packer
- $\odot M_{KIN}$
- $\odot f \Rightarrow$ steiler
- $\Rightarrow \oplus M_{el}$
- $\Rightarrow \ominus n_{sync}$
- $\odot U \Rightarrow \ominus n_{sync}$



Anlaufvermögen $\gamma = \frac{M_K}{M_N}$

Vorteile:

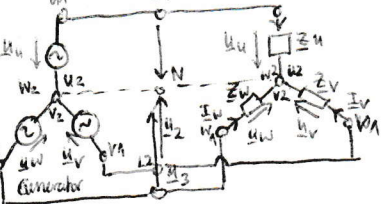
- Aufbau
- Robust
- Wartung
- Preis

Nachteile:

- n von f abh.
- nicht line.
- Steuerung, regeln

Synchrongenerator

Sternschaltung



$I_u + I_v + I_w = 0 = I_N$

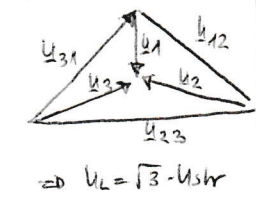
Strangspannung $U_u, U_v, U_w = U_1, U_2, U_3$

= Sternspannung

Strangströme $I_u, I_v, I_w = I_{str}$

Symmetrisch

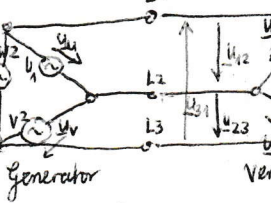
Spannungsdreieck



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

$U_1 = U_{str} \cdot e^{-j0^\circ}$
 $U_2 = U_{str} \cdot e^{-j120^\circ}$
 $U_3 = U_{str} \cdot e^{-j240^\circ}$
 $U_{12} = U_1 - U_2 = U_{str} \cdot (1 - e^{-j120^\circ})$
 $= U_{str} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j30^\circ}$
 $U_{23} = U_2 - U_3 = U_{str} \cdot (e^{-j120^\circ} - e^{-j240^\circ})$
 $= U_{str} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j150^\circ}$
 $U_{31} = U_3 - U_1 = U_{str} \cdot (e^{-j240^\circ} - 1)$
 $= U_{str} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j90^\circ}$

Dreieckschaltung



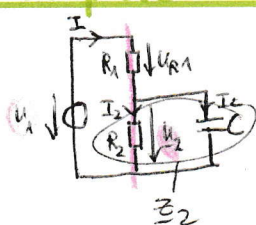
- $U_u + U_v + U_w = 0$
- U_{12}, U_{23}, U_{31} Außenleiterspannung, selber U_L
- Strangspannung $U_u, U_v, U_w \hat{=}$ Außenleiterspannung
- Leitungsströme I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} ; selber I_L
- Strangströme I_u, I_v, I_w ; $I_{str} = I_{str} \cdot \sqrt{3}$

Symmetrisch

- $I_{str} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_L$
- $U_{str} = U_L$

Beispiele

Wenn Strom kein reell $\Rightarrow$ in Phase mit U



$$Z_2 = R_2 \parallel X_C = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 - \frac{j}{\omega C}} = \frac{R_2}{1 + jR_2\omega C}$$

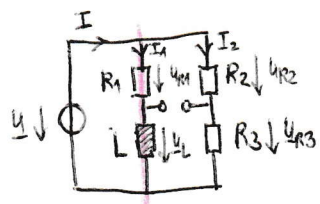
Spannungsteilerregel

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_2}{R_1 + Z_2}$$

Zeiger:

$$\varphi_{12} = \text{d.h. zwischen } U_1, U_2, \text{ von } U_1 \rightarrow U_2$$

$$\Rightarrow \varphi_{12} = \arctan\left(\frac{\text{Im}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}{\text{Re}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}\right)$$



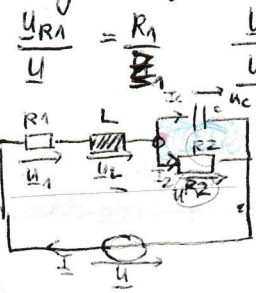
$$Z_1 = R_1 + jX_L$$

$$Z_2 = R_2 + R_3$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2}$$

Spannungsteilerregel



Zeiger:

$$U_{R1}, U_L, U, U_{R2}, U_{R3}$$

$$\frac{U_{R1}}{U} = \frac{R_1}{Z_1}$$

$$\frac{U_{R2}}{U} = \frac{R_2}{Z_2}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

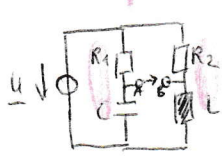
$$I = I_C + I_2$$

$$I_C = \frac{U_2}{-jX_C}$$

$$U_2 = U_C$$

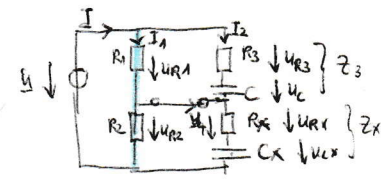
$$U_1 = R_1 \cdot I$$

$$U = U_1 + U_L + U_2$$



$$U_{AB} = U_C - U_L$$

$$\text{oder } = U_{R2} - U_{R1}$$

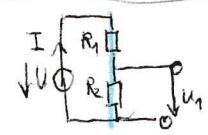


$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = Z_2 \cdot I_1$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_3 + Z_4}$$

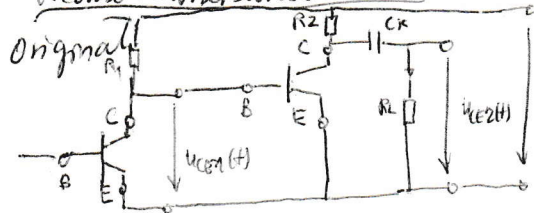
$$U_4 = Z_4 \cdot I_2$$



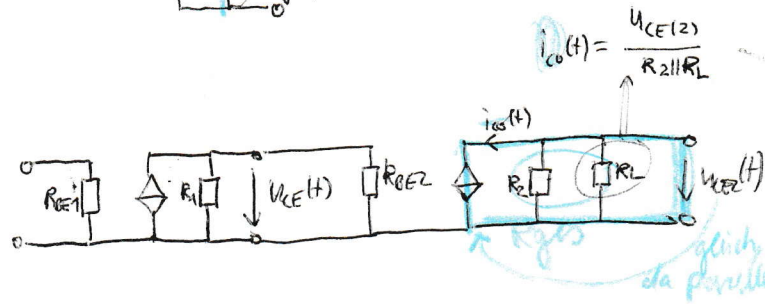
$$I = \frac{U}{R_{ges}}$$

$$U = R_1 \cdot I + U_1$$

Wechselstromersatzschaltplan

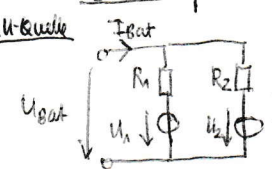


(k $\rightarrow \infty$)



Ersatzspannungsquelle

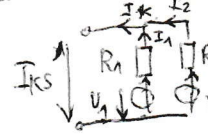
Zu Aufgabe



Quelle deaktivieren: (Kurzschluss)

$$\Rightarrow R_i = R_1 \parallel R_2$$

Quelle aktivieren: Kurzschlussstrom an den Klemme



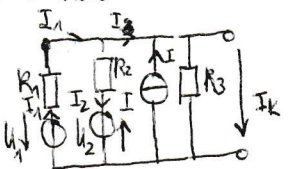
$$I_K = I_2 + I_1$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$U_{LL} = R_i - I_{Ks}$$

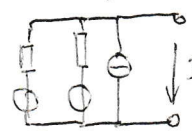
1x U_{bat} x I-Quelle



Quelle deaktivieren

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$$

Kurzschließen des Ausgangs, bzw. der Klemmen



$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

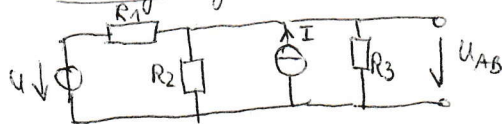
$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 + I - I_K = 0$$

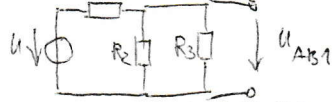
$$I_K = I - I_1 + I_2$$

$$U_0 = R_i \cdot I_K$$

Überlagerungssatz



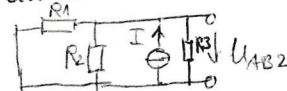
1. I-Quelle deaktivieren



Spannungsteilerregel

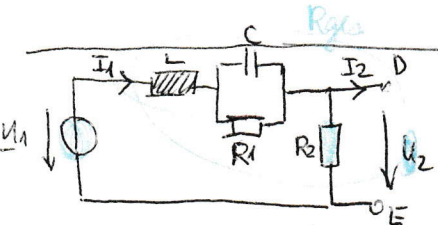
$$\frac{U_{AB1}}{U} = \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

2. U-Quelle deaktivieren



$$U_{AB2} = (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) \cdot I$$

$$U_{AB} = U_{AB1} + U_{AB2}$$



$$Z_{ges} = R_2 + j\omega L + (R_1 \parallel C)$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_{ges}}$$

Spannungsteilerregel

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{Z_{ges}}$$

Grundlagen - Formelsammlung

$I = \frac{S}{t}$ $E = \frac{W}{Q}$ $U = E \cdot l$ techn. I: $\oplus \rightarrow \ominus$ $\mu = 10^{-6}$

Gleichstrom

- Ohmsches Gesetz: $R = \frac{U}{I}$ $U = R \cdot I$ $I = \frac{U}{R}$
 $\frac{1}{R} = G$ (elektr. Leitwert, Siemens S)
- Drabt: $R = \frac{E \cdot l}{S \cdot A} = \rho \cdot \frac{l}{A} = \frac{U}{I}$ ~~Stromdichte~~
- Parallelschaltung: $\Sigma I = I_{ges}$ $U_i = U_{ges}$ $\frac{1}{R_{ges}} = \Sigma \frac{1}{R_i}$ Stromteilerregel: $\frac{I_1}{I_{ges}} = \frac{R_{ges}}{R_1}$
- Reihenschaltung: $\Sigma U_i = U_{ges}$ $I_i = I_{ges}$ $R_{ges} = \Sigma R_i$ Spannungsteilerregel: $\frac{U_1}{U_{ges}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
- Speziell: $(R_1 + R_2) \parallel (R_3 + R_4) = \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2) + (R_3 + R_4)}$
- Stromdichte $S = \frac{I}{A}$ spez. Leitfähigkeit $\sigma = \frac{1}{\rho}$ spez. Widerstand $\rho = \frac{E}{S}$
- Knoten: unabhängige Knotengleichungen $KG = K - 1$ K : Knoten = mind 3 Ströme zu/abfließen
- Masche: unabhängige Maschengleichungen $MG = \Sigma - KG = \Sigma (k - 1)$ Σ : Zweig = Verbindung zw. 2 Knoten
- Leistung $P = \frac{W}{t} = \frac{Q}{t} \cdot U = I \cdot U = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ [Watt] elektr. Arbeit $W = \int_a^b F(E) ds = Q \cdot \int_a^b E \cdot ds$ [Joule] = $Q \cdot U$
- KULT: Kurzschluss $\rightarrow u=0$, Leerlauf $\rightarrow i=0$ SPAR: V-Memo $\rightarrow$ Parallel, A-Memo $\rightarrow$ Reihe
- Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{genutzt}}{P_{zugefuehrt}}$ reale U-Quelle: $U_q - R_i \cdot I$ reale I-Quelle: $I_q - \frac{U}{R_i}$
- Methode d. Ersatzspannungsquelle: $R_i = R_{ges}$ $U_{LL} = R_i \cdot I_{KS}$
- 1. Kurzschluss d. U-Quellen und Leerlauf d. I-Quellen (z.B. Quellen wegdenken $\Rightarrow R_i = R_{ges}$)
- 2. Alle Quellen aktivieren (alle anderen Verbraucher ohne Quellen $\Rightarrow 0$) $\Rightarrow$ Ankleimweite I_{KS} oder U_{LL} bestimmen

Wechselstrom

- $u(t) = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi_u)$ $i(t) = \hat{i} \sin(\omega t + \varphi_i)$ $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$ X : Blindwiderstand
- LCI: bei Spule eilt i voraus (gegen Uhrzeigersinn), bei C eilt i voraus ($+\frac{\pi}{2} \rightarrow 90^\circ$)
 - Kondensator: $X_C = \frac{1}{\omega C}$ $C = \epsilon \cdot \frac{A}{x}$ A : Plattenfläche, x : Plattenabstand
 - bei GS $\Rightarrow$ LL $-j \cdot X_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$ $\Rightarrow X_C = -j\omega C$ $-j \cdot j = 1$
 - Integral $= -\frac{1}{\omega}$ $\Rightarrow X_C = e^{-j90^\circ}$
 - Parallel C: $Q_{ges} = \Sigma Q_i = \Sigma C_i \cdot U$ $C_{ges} = \Sigma C_i = \frac{Q_{ges}}{U}$ $U_i = U_{ges}$
 - Reihe C: $Q_{ges} = Q_i$ $\frac{1}{C_{ges}} = \Sigma \frac{1}{C_i} = \frac{U}{Q}$ $U_{ges} = \Sigma U_i = \Sigma \frac{Q}{C_i}$
 - Spule: $X_L = \omega \cdot L$ $L = \mu_0 \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$ N : Windungszahl, l : Spulenlänge
 - bei GS $\Rightarrow$ KS $j \cdot X_L = j \cdot \omega L$ $\Rightarrow X_L = j\omega L$
 - Ableiten $= +\frac{1}{T}$
 - R-L-Serienschaltung: $U_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$ $i_L(t) = \frac{U}{R} (1 - e^{-R/L t})$ $U_L(t) = U \cdot e^{-R/L t}$
 - Ann: $i_L(t) = \frac{U}{R} (1 - e^{-R/L t})$ $U_L(t) = U \cdot e^{-R/L t}$
 - Parallel: $\frac{1}{L_{ges}} = \Sigma \frac{1}{L_i}$ Reihe: $L_{ges} = \Sigma L_i$
 - Rechteck: $P = 0$ bei L, C $P = S \cdot \cos(\varphi)$ bei R $= U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$
 - Scheinleistung $S = P + jQ = U \cdot I^*$ $S = |S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = |U| \cdot |I|$ [Scheinleistung] = VA
 - (nicht komplex rechnen!) $Q = U \cdot I \sin(\varphi)$ $\Rightarrow$ bei L [var] $\Rightarrow$ bei C [var] $\Rightarrow$ bei R [W]
 - komplexe Zahlen Rechenregel: $\underline{z} = \text{Re}(\underline{z}) + j \cdot \text{Im}(\underline{z}) = |\underline{z}| \cdot e^{j\varphi}$ $\varphi = \arctan(\frac{\text{Im}(\underline{z})}{\text{Re}(\underline{z})})$ $\varphi = \arctan(\frac{\text{Im}(\underline{z})}{\text{Re}(\underline{z})}) + \pi$ (180°)
 - $\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2 = (a_1 + jb_1)(a_2 + jb_2) = (a_1 a_2 - b_1 b_2) + j(a_1 b_2 + a_2 b_1)$ $\underline{z}_1 = \frac{|\underline{z}_1|}{|\underline{z}_2|} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$ $\frac{1}{\underline{z}} = \underline{y}$ Admittanz
 - $\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2 = (r_1 e^{j\varphi_1})(r_2 e^{j\varphi_2}) = r_1 r_2 e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$ $\underline{z} = \underline{z}^* = |\underline{z}|$
 - Zeigerdarstellungen: L, C, I, U, R und I, R in Phase
 - Bei Reihe: mit I anfangen; U_{ges} gesucht
 - Parallel: mit U anfangen; I_{ges} gesucht
 - Insbesondere bei Wechselgrößen: sinusgrößen
 - Sch: Bedingung: gleiche Frequenz
 - zeigt zeitl. Verlauf der Wechselgrößen dar

Leistungen

- $\underline{S} = P + jQ = U \cdot I^*$ $\Rightarrow S = |S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = |U| \cdot |I|$ [Scheinleistung] = VA
- (nicht komplex rechnen!) $Q = U \cdot I \sin(\varphi)$ $\Rightarrow$ bei L [var] $\Rightarrow$ bei C [var] $\Rightarrow$ bei R [W]
 - komplexe Zahlen Rechenregel: $\underline{z} = \text{Re}(\underline{z}) + j \cdot \text{Im}(\underline{z}) = |\underline{z}| \cdot e^{j\varphi}$ $\varphi = \arctan(\frac{\text{Im}(\underline{z})}{\text{Re}(\underline{z})})$ $\varphi = \arctan(\frac{\text{Im}(\underline{z})}{\text{Re}(\underline{z})}) + \pi$ (180°)
 - $\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2 = (a_1 + jb_1)(a_2 + jb_2) = (a_1 a_2 - b_1 b_2) + j(a_1 b_2 + a_2 b_1)$ $\underline{z}_1 = \frac{|\underline{z}_1|}{|\underline{z}_2|} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$ $\frac{1}{\underline{z}} = \underline{y}$ Admittanz
 - $\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2 = (r_1 e^{j\varphi_1})(r_2 e^{j\varphi_2}) = r_1 r_2 e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$ $\underline{z} = \underline{z}^* = |\underline{z}|$
 - Zeigerdarstellungen: L, C, I, U, R und I, R in Phase
 - Bei Reihe: mit I anfangen; U_{ges} gesucht
 - Parallel: mit U anfangen; I_{ges} gesucht
 - Insbesondere bei Wechselgrößen: sinusgrößen
 - Sch: Bedingung: gleiche Frequenz
 - zeigt zeitl. Verlauf der Wechselgrößen dar
 - Kombi Parallel + Reihe $\rightarrow$ (1) beim Parallel anfangen mit $I \rightarrow I_{ges} \Rightarrow$ Reihe Ohm $\Rightarrow$ muss parallel zu I_{ges}
 - U_C und I_C sind nicht parallel. Gebraucht beobachten: parallel SB teilen denselben U
 - $Q < 0$ und $P \neq 0 \Rightarrow$ ohm-kapazitiv
 - $Q > 0$, $P \neq 0 \Rightarrow$ ohm-induktiv