

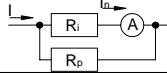
Leistung
 Mechanische Leistung $[W = Nm/s]$
 $P = \frac{W}{t} = M * 2 * \pi * n = M * \omega$
 Elektrische Leistung
 $P = U * I = I^2 * R = \frac{U^2}{R}$

Wirkungsgrad
 $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$

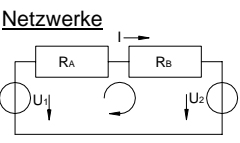
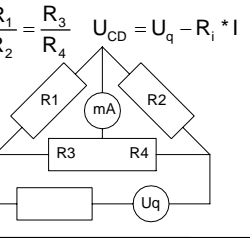
Kirschhoffsche Sätze: Reihenschaltung: $I = \text{konst.}; U = U_1 + U_2 + U_3 \dots; R = R_1 + R_2 + R_3 \dots$
 Parallelschaltung: $U = \text{konst.}; I = I_1 + I_2 + I_3 \dots; \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$

Spannungs- und Stromteilerregel
 SPTR: mehrere Widerstände müssen so zusammengefasst werden, daß nur noch in Reihe geschaltene vorhanden sind

$\frac{\Delta U}{U} = \frac{R_i}{R_i + R_v} \quad R_v = \frac{R_i * U}{\Delta U} - R_i$
 STTR: mehrere Widerstände nur noch eine Parallelschaltung zum Schluß
 $\frac{I_n}{I} = \frac{R_p}{R_p + R_i} \quad R_p = \frac{I_n - I}{I} * R_i$



Wheatstone'sche Brücke



Netzwerke
 Maschenregel [Summe aller Teilspannungen = 0]
 $I = \text{konst.}, \text{Reihenschaltung}$
 $0 = -U_1 + U_A + U_B + U_2 = -U_1 + R_A * I + R_B * I + U_2$
 $I = \frac{(U_1 - U_2)}{(R_A + R_B)}$
 Knotenpunktsatz
 $\sum I_{zu} = \sum I_{ab}; \sum I = 0$

Knotengleichung: $p = k - 1$ ($k = \text{Anzahl Knoten}$)
 Maschengleichung: $m = z - k + 1$ ($z = \text{Anzahl Zweige}$)

Wechselstromnetzwerke Zeitfunktion $u(t) = \hat{u} * \cos(\omega * t + \varphi); \omega = 2\pi f; \text{Scheitelwert } \hat{u} = \sqrt{2} * U$
 Effektivwert $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$ Mittelwert $\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt; f = \frac{1}{T}$ Verbraucherstrom $I = \frac{U_N}{Z} = \frac{\hat{u}}{Z * \sqrt{2}}$

Scheinwiderstand $[\Omega] Z = R + i \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = R + i(\omega L) = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} \right)^2}$

Stromdichte / Widerstand / Temperatureinfluß

Widerstand $[\Omega] R = \frac{U}{I} = \frac{U_q}{I_k} [k = \text{Kurzschlußstrom}]$

Temperaturabhängigkeit Widerstand
 $\Delta R = \alpha * R_K * \Delta \vartheta$ [$R_K = \text{Kaltwiderstand bei } 20^\circ C$]
 $R_W = R_K + \Delta R$ [$\alpha = \text{Temp.beiwert; Cu} = 0,004 * \frac{1}{K}, \text{Al} = 0,0047 * \frac{1}{K}$]
 $R_W = R_K * (1 + \alpha * \Delta \vartheta)$

Stromdichte $[A/mm^2] J = \frac{I}{A} [A = \text{Querschnitt Draht}]$

Leiterwiderstand $R = \frac{\rho * l}{A} = \frac{l}{\gamma * A}$

[$l = \text{Leiterlänge}; \rho = \text{spez. Widerstand Cu} = 17,5 m\Omega mm^2/m; \text{Al} = 26,5 m\Omega mm^2/m$]
 [$\gamma = \text{Leitfähigkeit Cu} = 8,93 g/cm^3$]

$\Theta_{end} = \frac{P_v}{A_w}$
 ($A_w = \text{Wärmeüberg.}$)

Magnetismus

Durchflutung $[A] \Theta = I * w$ [$w = \text{Anzahl Wicklungen}$]
 $[l = 2\pi * r$

Feldstärke $[A/m] H = \frac{\Theta}{l} = \frac{I * w}{l}$ [$l = \text{Länge Feldlinien}$]

magnet. Widerstand $R_m = \frac{l}{\mu_0 * \mu_r * A_{Fe}}$

magnet. Fluß $[Vs] \Phi = B * A = \frac{\Theta}{R_m}$ bei Luftspalt $R_{mo} = \frac{\delta_{ges}}{\mu_0 * A_{Fe}}$

magnet. Flußdichte $[Vs/m^2] B = \frac{\Phi}{A} = \mu_0 * \mu_r * H$

absolute Permeabilität $[Vs/Am] \mu = \mu_0 * \mu_r = \frac{B}{H}$

magnet. Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 * 10^{-6}$

relative Permeabilität μ_r , bei Luft, CU, H2O... ≈ 1

Kraft im elektr. Feld $F = \epsilon_0 * A * E_0^2 * 0,5 \quad \epsilon_0 = 8,8542 * 10^{12} As/Vm$

Kraft an Grenzflächen $F = 2 * \frac{B^2 * A}{2 * \mu_0}$ (auch Haltekraft)

Kraft stromdurchfl. Leiter im M.feld $F = w_2 * I_2 * B * l \quad M = 2 * r * F$

Kraft zw. zwei stromdurchfl. Leiter $F = \frac{I_1 * I_2 * l * \mu_0}{2 * \pi * a}$ [$a = \text{Abstand}$]

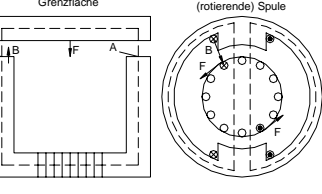
Spannungsinduktion $U = B * l * v$
 für rotierende Spule $U = 2 * B * l * v * w_2$
 für zwei Spulen Primärspule $U = \sqrt{2} * \pi * f_N * w_1 * \Phi$

Sekundärspule $\frac{U_2}{U_1} = \frac{w_2}{w_1}$

Selbstinduktion $L = \frac{w^2}{R_m}$

Gegeninduktion $M = \frac{w_1 * w_2}{R_m}$

$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R_W^2}$



Drehstromnetz

Sternschaltung $I_{str} = I \quad U_{str} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad S = 3 * I_{str} * U_{str}$

Dreieckschaltung $U_{str} = U \quad I_{str} = \frac{I}{\sqrt{3}} \quad S = 3 * I_{str} * U_{str}$

Wirkleistung $P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad P_b = P_{ASM} * \eta_b$

Scheinleistung $S = \sqrt{3} * U_N * I_L = \frac{P_N}{\cos \varphi}$

Blindleistung $Q = \sqrt{3} * U_N * I_L * \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2}$

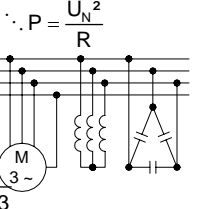
...bei Sternschaltung $Q_C = (-U_N)^2 * \omega_N * C \dots Q_L = \frac{U_N^2}{\omega_N * L} \dots P = \frac{U_N^2}{R}$

...bei Dreieckschaltung alles mal drei
 bei Kondensatoren $P_C = 0, \quad \text{Widerstände } Q_R = 0$

$P_{ASM} = \frac{P_b}{\eta_b} \quad S_{ASM} = \frac{P_{ASM}}{\cos \varphi_b} \quad Q_{ASM} = \sqrt{S_{ASM}^2 - P_{ASM}^2}$

$W = P * t \quad \cos \varphi = P_1 / S_1 \quad S_1 = U_1 * I \quad U_{1,1} = U_{1,1,2} / \sqrt{3}$

ASM
 Drehfelddrehzahl
 $N_D = \frac{f_N}{z_p}$
 Schlupf $s = \frac{N_D - N}{N_D}$
 $N_D = 1(3000 \text{ min}^{-1});$
 $2(1500); 3(1000);$
 $4(750); 5(600); 6(500)$

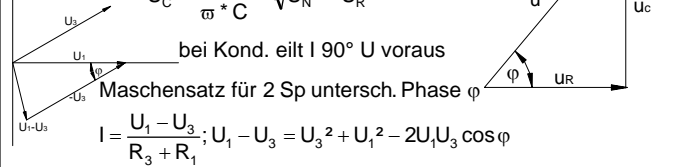


Scheinleistung $[VA] S = U_N * I = P / \cos \varphi$ Wirkleistung $P = U_N * I * \cos \varphi = R * I^2$

Blindleistung $[var] Q = U_N * I * \sin \varphi = \omega * I^2 = \sqrt{S^2 - P^2}$
 $\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} = \arccos \frac{U_R}{U} = \arcsin \frac{U_L}{U} = \arccos \frac{R}{Z}$

Induktivität (Reihe) $L = \frac{Q}{I^2 * \omega} = \frac{1}{\omega} * \sqrt{Z^2 - R^2};$ (Paral) $L = \frac{U_N}{Q * \omega}$

$L = \left[\frac{Vs}{A} = H \right] \quad \text{Sp.abfälle } U_R = I * R; U_L = I * \omega * L;$
 $U_C = \frac{I}{\omega * C} = \sqrt{U_N^2 - U_R^2}$



Kondensator

Kapazität $[As/V = F] C = \frac{Q}{U} = I * \frac{\Delta t}{\Delta U} = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d}$
 ($\epsilon_r = \text{Permeabilitätszahl; Luft} = 1$)

elektr. Feldstärke $[N/As] E = \frac{F}{Q} = \frac{U}{d};$ ($d = \text{Plattenabstand}$)

Anziehungskraft zw Platten $F = \frac{D * E}{2} * A = \frac{1}{2} * \epsilon_0 * E^2 * A = \frac{\epsilon_0 * A}{2d^2} * U^2$

Verschiebungsfeldstärke $[As/Vm] D = \epsilon_0 * \epsilon_r * E$

bei verschiedenen Stoffen zwischen Platten (Kond. in Reihe)
 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad C_1 = C_0 * \frac{U_0}{U_1}; \quad C_2 = \frac{d}{d - d_x} * C_0 [d_x = \text{Durchm. 2.WST}]$

$C_x = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}; \quad \epsilon_{r,x} = \frac{C_x * d_x}{A * \epsilon_0}$

Reiheng $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots; \text{Parallelg } C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots$

Ausgleichsvorgänge (nichtstationär)

Entladen Kondensator
 $u_{C0} = u_C(t=0s) = \sqrt{2} * U_N$
 $u_C(t) = U_{C0} * e^{-\frac{t}{T}}$
 $T = R * C = \ln \frac{u_{C0}}{u_C} * (-t)$

Spule
 $u_R(t) = U * \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$
 $u_L(t) = U * e^{-\frac{t}{T}}$
 $i(t) = I_{end} * \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$
 $T = \frac{L}{R}$
 $u = \hat{u} * \cos \omega t$
 $i = \hat{i} * \cos(\omega t + 90^\circ)$
Kond.Strom eilt Sp. voraus

ind. Blindwiderstand

$X_L = \omega_n * L$
 $L = \frac{\mu_0 * \mu_r * N^2 * A}{\ell}$
kap. Blindwiderstand
 $X_C = \frac{1}{\omega * C}$

Spielzeit
 $T_{SP} = \sum t$

Einschaltzeit
 $t_E = \frac{\text{Betriebszeit}}{\text{Spielzeit}}$

Betriebszeit
 $t_B = \sum t_{\text{eingeschalten}}$

Meßschaltung
 ohne Meßgerät $U_{2theor} = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$; mit Meßgerät $U_{2M} = U * \frac{R_2 || R_i}{R_1 + R_2 || R_i}$

Elektrische Antriebe

S1 => Dauerbetrieb, S2 => Kurvenbetrieb, S3 => Aussetzbetrieb

Antriebsleistung $P = M_{eff} * 2 * \pi * \bar{N} = m * g * v$

$M_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T_{SP}} * (M_1^2 * t_1 + M_2^2 * t_2)}$ bei S1 ist $t = T_{SP}$

Kranhubwerk
 (lose Rolle) $v_T = 2 * v_{max}$ $F_T = m_{max} * \frac{g}{2}$ $v_T = \pi * D_T * N_T$

$\eta_G = \frac{m_{max} * g * v_{max}}{m_{max} * g * v_{max} + M_R * 2\pi N_M} = \frac{P_{bG}}{P_{bG} + P_{VR}}$

$P_{bG} = m_{max} * g * v$; $P_M = \frac{P_{bG}}{\eta_G}$; $P_{VR} = P_M - P_{bG}$

$M_R = \frac{P_{VR}}{2\pi N_M}$; $M_{MVOLL} = \frac{P_{bG}}{2\pi N_M}$; $M_{MHeben} = M_{MVOLL} + M_R$

IPxy (international Protection)

x	Eindringen fest Fremdkörper	gegen Berühren mit 0	nicht geschützt
0	nicht geschützt	nicht geschützt	1 senkrecht Tropfen
1	≥ 50 mmø	Handrücken	2 Tropfen ∠ 15°
2	≥ 12,5 mmø	Finger	3 Sprühwasser
3	≥ 2,5 mmø	Werkzeug	4 Spritzwasser
4	≥ 1 mmø	Draht	5 Strahlwasser
5	staubgeschützt	Draht	6 starkes Strahlwasser
			7 zeitweiliges untertauchen
			8 dauerndes untertauchen

Drehstromantrieb

Kloßsche Formel
 $\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$ ($M = M_b$) ; s_b bei ASM ; bei $s \ll s_b$ $s = \frac{M}{M_k} * \frac{s_k}{2}$; Drehfeldumkehr $s' = s - 2$

Lösungsbeispiel $M_k / M_b = 3 : \frac{1}{3} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} : 6 = \frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} : 6 = \frac{s^2}{s_k s} + \frac{s_k^2}{s_k s} : 0 = s_k^2 - 6s_k s + s^2 :$

$s_k = -\left(-\frac{6s}{2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{6s}{2}\right)^2 - s^2}$ bei $M_b / 2 \rightarrow s_k / 2$

$s = 0$ synchron ; $s = 1$ Stillstand ; $s > 1$ Gegenlauf

Zusatzwiderstand
 $R_z = R_r * \left(\frac{s_k}{s_{ko}} - 1\right)$

Operationsverstärker

passiver RC - Tiefpaßfilter
 $R_F = \frac{T}{C_F} - R_i$; $T = R * C = (R_i + R_F) * C_F$

$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1/j\omega C_F}{1/j\omega C_F + (R_i + R_F)} = \frac{1}{1 + j\omega T_F}$

Frequenzgang
 $G_F(j\omega) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{U_a}{U_e}$

rel. Schaltungsfehler $f_{SCH} = \frac{U_{2M} - U_{2theor}}{U_{2theor}}$; **rel. Meßfehler** $f_{KL} = \pm \text{Klasse\%} * \frac{\text{Meßbereich}}{U_{2theor}}$

ungünstigster Fall $f_{max} = f_{SCH} + f_{KL}$

Messung Impulsspannung
 Drehepulsinstrument → aritm. Mittelwert $u = \frac{1}{T_{SP}} (U_{max} * t_{max} + U_{min} * t_{min})$ Bsp := $\frac{1}{7T} (10V * 2T + 10V * 4T)$

Dreheiseninstrument → Effektivwert $U = \sqrt{\frac{1}{T_{SP}} (U_{max}^2 * t_{max} + U_{min}^2 * t_{min})}$

mit Zweipulsgleichrichter angezeigte Spannung $U_d = 0,9 * U_N$

TN/TT - System
 $R_A = \frac{U_L}{I * \Delta n}$

Gleichstromantrieb

aufgen. elektr. Leistung $P_{elb} = U_{AB} * I_{AB} + P_{err}$

Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_b}{P_{elb}}$

$U_{AB} = U_E + I_A * R_A = R_A * I_{Ab} + k_m \phi_m * \omega = R_A * I_{Ab} + k_m \phi_m * 2\pi * N_b$

$N_0 = \frac{U_{AB}}{2\pi k_m \phi_m}$; $M_R = k_m \phi_m * I_{A0}$ (I_{A0} Stromstärke im Leerlauf)

$k_m \phi_m = \frac{U_{AB} - R_A * I_{Ab}}{2\pi * N_b}$

Wirkungsgradkennlinie
 $\eta \left(\frac{M}{M_b}\right) = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{M_b * (M/M_b) * 2\pi N_0 * (1 - 0,122(M/M_b))}{P_{err} + U_{AB} * I_{A0} * (M/M_b)}$

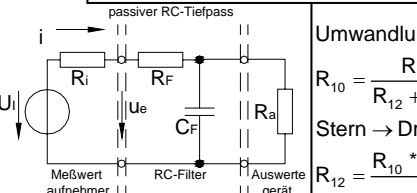
Hochlauf
 $M_M - M_W = F_I * J_M * \frac{d\omega}{dt} = F_I * J_M * \frac{dN}{dt} * 2\pi$
 $t_{an} = \frac{2\pi * J_M * F_I * N}{(M_M - M_W) * 60s}$

Auslauf $M_M = 0$ wenn Motor abgedockt
 mit Motor $t_{br} = \frac{2\pi * J_M * F_I * N}{(-M_M - M_W) * 60s}$

Amplitude und Phasengang

$\lg|G_F| = -\lg\sqrt{1 + (j\omega T_F)^2}$
 $\varphi_F = -\arctan(\omega T_F)$; $\omega = 2\pi f$

Amplitude
 $\hat{u}_a = G_F * \text{Amplitude (in V)}$



Umwandlung Dreieck → Sternschaltung

$R_{10} = \frac{R_{12} * R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$; $R_{20} = \frac{R_{12} + R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$; $R_{30} = \frac{R_{23} + R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$

Stern → Dreieckschaltung
 $R_{12} = \frac{R_{10} * R_{20} + R_{10} * R_{30} + R_{20} * R_{30}}{R_{30}}$; $R_{13} = \frac{R_{10} * R_{20} + R_{10} * R_{30} + R_{20} * R_{30}}{R_{20}}$; $R_{23} = \frac{R_{10} * R_{20} + R_{10} * R_{30} + R_{20} * R_{30}}{R_{10}}$

Digitale Schalttechnik

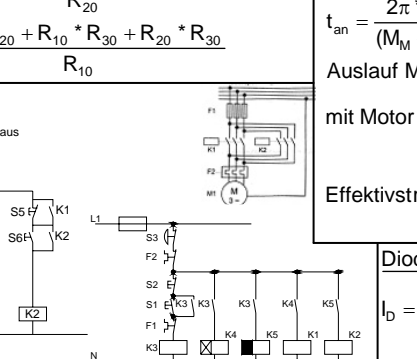
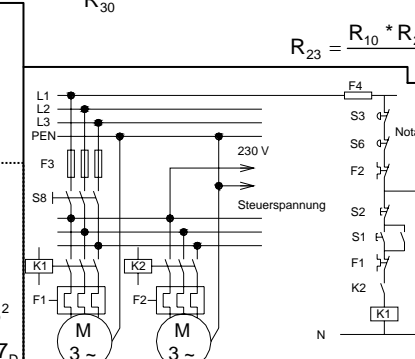
De Morgan $\overline{A * B} = \overline{A} + \overline{B}$; $\overline{A + B} = \overline{A} * \overline{B}$; $\overline{\overline{A}} = A$; $\overline{A + \overline{B}} = \overline{A} * B$; $\overline{\overline{A} * \overline{B}} = A + B$

Dezimal → Binär
 $4_D = 1 * 2^2 + 0 * 2^1 + 0 * 2^0 = 100_B$
 $19_D = 1 * 2^4 + 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 10011_B$

Binär → Dezimal
 $1010_B = 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 0 * 2^0$

Hexadezimal → Binär (Dual)
 $9_H = 9_D * 16^0 = 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 0 * 2^1 + 1 * 2^0 = 1001_B$
 $B_H = 11_D * 16^0 = 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 1011_B$

0(0),1(1),2(2),3(3)...9(9)
A(10),B(11),C(12),D(13)
E(14),F(15),10(16),11(17)
...14(20)
AFD9_H = 10 * 16^3 + 15 * 16^2 + 13 * 16^1 + 9 * 16^0 = 45017_D



Anlaufwiderstand

$R_z = \frac{U_{AB} - I_{A0} * R_a}{I_{A0}}$