

Wind: Betz'sches Gesetz $\eta = 0,593$ $[W] = \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^3}$
 Leistungsdichte $p = \frac{1}{2} \rho v^3$
 Leistung: $P = p \cdot A = p \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$
 Schnelllaufzahl $\lambda = \frac{\text{Umlaufgeschw. d. Rotors}}{\text{Winkelgeschw.}} = \frac{u}{v}$
 Drehzahlumkehrung $= v = \frac{\pi f d}{\lambda}$
 $E = P t$ $\eta = \frac{E_{\text{mittel}}}{E_{\text{max}}}$ $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

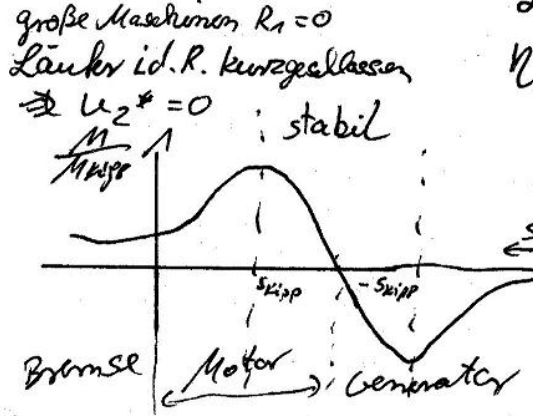
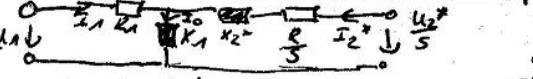
Wasser:	Turbinenarten:	
Pelton - große Fallhöhe - langsam drehend - hoher Wirkungsgrad im Teillastbereich $\beta = 90^\circ$	Francis große/mittlere Fallhöhe ab 30% Auslastung wirksam reversibel einsetzbar 10-100 m mittel 20-100 min ⁻¹ !!	Kaplan niedrige Fallhöhe schnelldrehend reversibel einsetzbar großer Volumenstrom Bsp.: Fluss

Widerstandskraft $F_w = c_w \frac{\rho}{2} v_1^2 A$
 direkte Netzkopplung:
 Drehzahl konst. (unflexibel aber günstig)
 indirekte:
 Drehzahl variabel, größere Kosten

$\eta_h = \frac{h_n}{h_0} = 1 - \frac{h_v}{h_0}$ $\eta_T = 1 - (1 - 2 \frac{v_0}{v_1})^2$ $v_0 = \text{Geschw. d. Turbine}$
 Eulersche Turbinengleichung: $h = \frac{v_0 v_1 \sin \beta}{g}$ $v_1 = 1 \cdot v \cdot \text{Wasser}$
 $P_{ab} = P v g \cdot h \cdot \eta$ $P_{auf} = P v g h \frac{1}{\eta}$ $V = \sqrt{2 g h}$
 Typen: Laufwasser: Kaplan-turb mit Leitschaufeln
 Speicher: 10m - km

Trfo: Umrechnung
 $R_2' = \frac{u_1^2}{u_2^2} R_2$ $I_2' = \frac{I_2}{u_2}$ $u_2' = u_1 u_2$
 Parallelschaltung:
 $I_{2A} = -I_{2B} = \frac{\Delta u}{Z_{2KA} + Z_{2KB}}$
 für Ausgleichstrom $= 0$
 $\Rightarrow \frac{I_{2A}}{I_{2B}} = \frac{Z_{2KB}}{Z_{2KA}}$ $\eta = \frac{P_1}{P_2}$

LL: $X_{1h} = \frac{u_1}{I_{10}}$ $R_{Fe} \approx \frac{u_2^2}{P_{Fe}}$
 KS: $I_N = \frac{S_N}{u_N}$ $X_{10} = \sqrt{\left(\frac{u_{1N} - u_K}{2 I_N}\right)^2 - R_1^2}$
 $R_1 = R_2' = \frac{P_{K2}}{2 I_{1N}}$
 $R_{cu} = R_{cuY} \left(\frac{u_Y}{S_Y}\right)^2$
 Asynchronmaschine: Ständer u. Läufer aus Dynamoblech geschichtet
 Synchron Drehzahl: $n_1 = \frac{f_1}{p}$ $s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{f_2}{f_1}$ $f_2 = s \cdot f_1$



$u_1 = j X_1 I_0$ $I_0 = I_1 + I_2^*$
 Leistung: $P_D = 3 u_1 I_1 \cos \varphi_1$ $P_{mech} = P_D - P_{el} = (1-s) P_D$ $P_{el} = s \cdot P_D$
 $\eta_N = \frac{P_{ab}}{P_{auf}} = \frac{P_{mech}}{P_D} = 1 - s_N$ (Motor)
 $\frac{P_D}{P_{mech}} = \frac{1}{1-s_N}$ (Generator)
 $M = \frac{P_{mech}}{2 \pi n} = \frac{P_D}{2 \pi n_1} = \frac{3 P}{\omega_1} \frac{u_1^2}{s x_2^2 + \frac{s x_2^2}{R_2^2}}$
 $M_{kipp} = \frac{3 P}{\omega_1} \frac{u_1^2}{2 x_2^2}$
 $\frac{M}{M_{kipp}} = \frac{s_{kipp}}{s} + \frac{s}{s_{kipp}}$
 LL: $n = n_1$ $s = 0$
 KS: $n = 0$ $s = 1$ (Anfahrpunkt)
 Blindleistungskomponente

Übergang Motor $\rightarrow$ Generatorbetrieb bleibt Blindleistungserhalten
 im Inselbetrieb: Kondensatorbatterie zur Kompensation
 Motor: Rotor langsamer als Drehfeld $M > 0$ $n < 0$ $s > 1$
 Gen: Rotor schneller als Drehfeld $M < 0$ $n > n_1$ $s < 0$
 Bremse $M > 0$ $n < 0$ $s > 1$ Rotor entgegen Drehfeld
 Drehfeld verändern:
 f_1 durch Umrichter
 P mit polumschaltbaren Wicklungen
 S mit Voreisenstäben

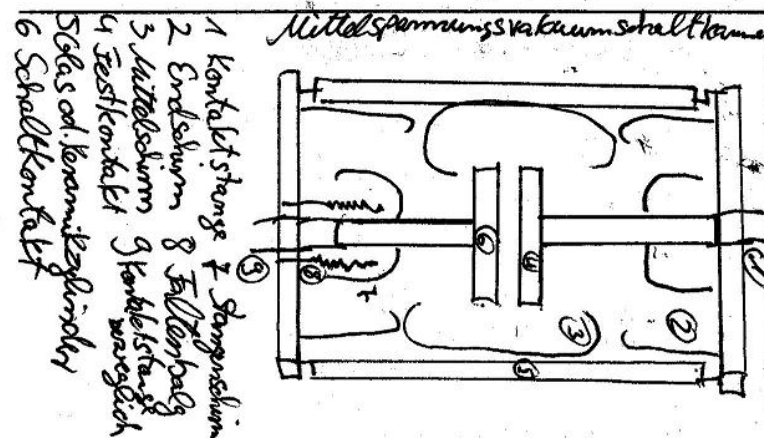
Synchronmaschine: LL: $\eta_N = \frac{f_N}{p}$ $I_0 = \frac{u_1}{X_1}$ $I_{F0} = \frac{u_N}{u_{mess}} \cdot I_F \cdot \frac{n_p}{n_N}$
 $K_c = \frac{I_{K0}}{I_N} = \frac{u_{Kst}}{X_{1N}}$
 aphasig: $u_p = \frac{u_N}{\sqrt{3}} \frac{I_F}{I_{F0}} \frac{n_p}{n_N}$ $X(f_1) = \frac{f_1}{f_2}$ $u_p = u + j X I$
 KS: $I = I_{K0} = \frac{u_p}{X}$ $M = \frac{P_D}{\omega_1} = \frac{3 u_{Nstr} I_N \cos \varphi}{\omega_1}$ $\beta_1 = \frac{2 \pi n_1}{60 s}$
 $\frac{M_{kipp}}{M_N} = \frac{u_p}{u_{Nstr}} \frac{K_c}{\cos \varphi}$ $M_{kipp} = \frac{3 P}{\omega_1} \frac{u_{Nstr} u_p}{X}$
 $\varphi_{Ganz} = \pm \frac{\pi}{2}$ $M = M_{kipp} \sin \varphi$
 Betrieb am Netz:
 $n = n_1$ $(u_N) = (u_{N1})$
 Phasenfolge RST-uvw
 φ Phase zw. Strom u. Spannung
 φ Polradewinkel

Überlastfähigkeit
 $\frac{M_{kipp}}{M_N} = \frac{1}{\cos \varphi_N} \sqrt{K_c^2 + 2 K_c \sin \varphi_N + 1}$
 Thermische Grenzen
 $I_F \leq I_{FN}$
 $I \leq I_N$
 Betriebsbereiche:
 $I \cos \varphi > 0$ $\varphi > 0$ Wirkleistungsabgabe (Generator)
 $I \cos \varphi < 0$ $\varphi < 0$ " aufnahme (Motor)
 $I \sin \varphi > 0$ $u \cos \varphi > U$ Blindleistungsabgabe (übererregt)
 Kondensator
 $I \sin \varphi < 0$ $u \cos \varphi < U$ Blindleistungsaufnahme untererregt
 Spule

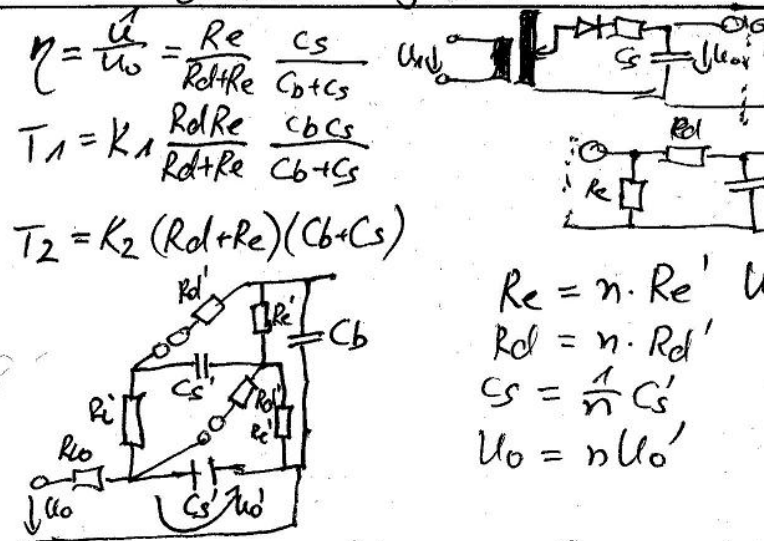
Thermodyn.:	isobar	isochor	isotherm	adiabat
	$p = \text{const}$	$V = \text{const}$	$T = \text{const}$	$pV^\gamma = \text{const}$
Q_{12}	$m c_p (T_2 - T_1)$	$m c_v (T_2 - T_1)$	$-W_{12}$	0
$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV$	$-p(V_2 - V_1)$ $-mR(T_2 - T_1)$	0	$p V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ $mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$	$p_2 V_2 - p_1 V_1$ $\frac{\gamma-1}{\gamma} mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$
ΔU	$m c_v (T_2 - T_1)$	$m c_v (T_2 - T_1)$	0	$m c_v (T_2 - T_1)$
$pV = mRT$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$pV = \text{const}$	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

$Q + W = \Delta U \quad C_p - C_v = R$
 $\frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad \eta_{\text{Carnot}} = \frac{W_{\text{mech}}}{Q_{\text{auf}}} \quad R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
 $R = \frac{\bar{R}}{M} \quad n = \frac{m}{M}$

$\eta_u = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad b_u = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} = \eta_u + 1$
 $\gamma_i = -\eta_u \quad b_i = 2 - b_u$
 Schutzbereich: $L_p = \frac{(U_{\text{max}} - U_d) \cdot v}{(2u/\Delta t)}$



Max-Generator $\eta = \frac{a}{u_0} < 1 \quad u_0' = u_{\text{eff}} \sqrt{2} \quad u_0 = n u_0' \quad n > \frac{1}{\eta}$
 Grundschaltung A



Norm Blitzstoßspannung (12/50 μs)
 $T_1 = t_1 \pm 30\% \quad R_D = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_{\text{Kreis}}}{C_{\text{Kreis}}}}$
 $T_2 = t_2 \pm 20\% \quad C_{\text{Kreis}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$
 $\hat{u} = \hat{u} \pm 3\% \quad L_{\text{Kreis}} = 1 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \text{ Länge d. Stromkreises}$

Durchschlagsfestigkeit

 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2}{r_1}$
 $E_{\text{torm}} = E_2 \sin \epsilon = E \cos \epsilon$
 $E_{\text{norm}} = E \cdot \sin \epsilon = \frac{E_2 r_2}{r_1}$

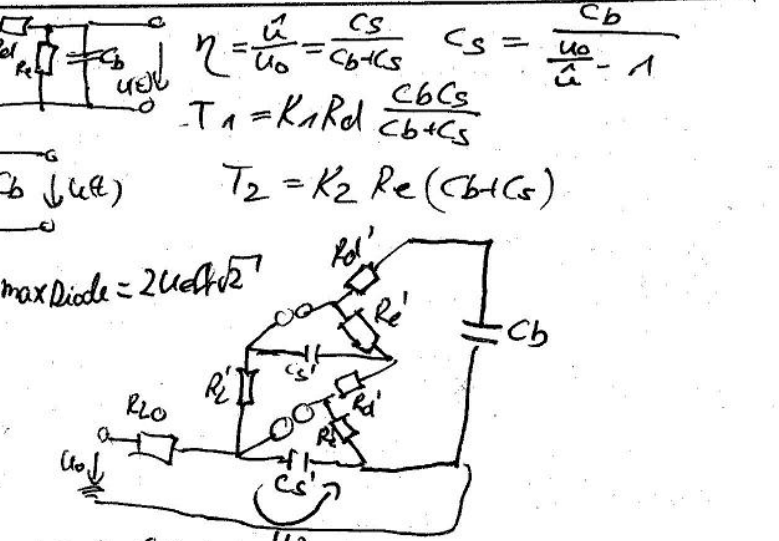
Hochspannungsführung
 radial:
 $E = \frac{U}{r \ln(\frac{R}{r})} \quad \hat{U}_{LE} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n \quad X_{n+1} = X_n \frac{r_{n+1}}{r_n}$
 radial konzentrisch verteilte Zylinder
 $X_{n+1} = X_n \frac{r_{n+1}}{r_n} \quad X_2 = X_1 \frac{r_2}{r_1}$
 $E_n(r) = \frac{U}{r_0 X_1 E_n} \approx \left(\frac{\ln(\frac{r_i}{r_{i-1}})}{E_i X_i} \right) \quad X_3 = X_2 \frac{r_3}{r_2} = X_1 \frac{r_3}{r_1}$

axial: $S_{n+1} = S_n \frac{X_{n+1}}{X_n} \frac{r_n}{r_{n+1}} \quad Y_1 = Y_0 + S_1$

 $E_\Delta = \frac{1}{\Delta} \hat{u}$

Inhomogenität: $\eta = \frac{E_0}{E_{\text{max}}} = \frac{\hat{u}}{S \cdot E_{\text{max}}}$
 $p = \frac{s+r}{r} \quad q = \frac{R}{r}$
 s: Schlagweite, Elektrodenabstand
 r: Kleinst Radius, R größer
 $\eta = 10^{\frac{a}{b}-1} \quad a = \text{Strecke zum Punkt} \quad b = \text{u insgesamt}$

B
 $\eta = \frac{u}{u_0} = \frac{C_S}{C_B + C_S} \quad C_S = \frac{C_B}{\frac{u_0}{\hat{u}} - 1}$
 $T_1 = K_1 R_d \frac{C_B C_S}{C_B + C_S} \quad T_2 = K_2 R_e (C_B + C_S)$



Schaltstoßspannung
 $T_1 = 250 \pm 20\% \quad T_2 = 2500 \pm 60\%$