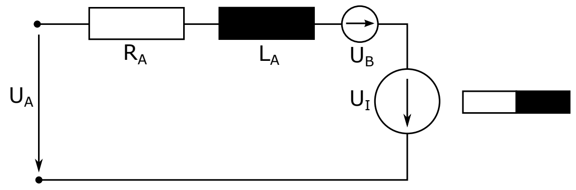
1 Permanenterregte Gleichstrommaschine

ESB



Größen

Flussdichte Permanentmagnet	B_M
Flussdichte Luftspalt	B_δ
Rotornutenzahl	Q
Lamellenzahl Kommutator	K
Bewickelbare Nutfläche	A_Q
Höhe Permanentmagnete	h_M
Magnetisch aktiver Winkel	β_M
Leiter pro Nut	z_Q
Nutfüllfaktor	k_Q
Anzahl paralleler Zweige	a
• Wellenwicklung	$a = 2$
• Schleifenwicklung	$a = 2 \cdot p$

Materialgrößen

Magnetischer Fluss: $\Phi = \iint BdA$
$B_\delta = -\mu_0 \frac{h_M}{\delta_{eff}} H_M = B_M \frac{A_M}{A_\delta}(1-\sigma)$
$B_M = -\mu_0 \frac{h_M}{\delta_{eff}} \frac{A_\delta}{A_M} \frac{1}{1-\sigma} H_M = -k_{SG} H_M$
Fläche Permanentmagnet: $A_M = \beta_M \frac{D_\delta}{2} l_i$
Fluss Permanentmagnet: $\Phi_M = B_M A_M$
Luftspaltfluss: $\Phi_\delta = (1-\sigma)\Phi_M$
Spannungskonstante: $k_u = 4 w_2 p$
Ankerwindungszahl: $w_2 = \frac{Q z_Q}{2a}$
Leiterquerschnittsfläche: $A_L = \frac{A_Q k_Q}{z_Q}$
Nebeneinanderliegende Spulenseiten pro Nut: $u = \frac{K}{Q}$
Spulenwindungszahl: $w_{SP} = \frac{z_Q}{2u}$
Drehmomentkonstante: $k_m = \frac{k_u}{2\pi}$
Wirkungsgrad: $\eta = \frac{P}{P_{el}} = \frac{P}{U_A \cdot I_A}$

Scherungsgerade

Scherungsgerade: $B_M = -k_{SG} H_M$
Materialkennlinie: $B_M = \mu_0 \mu_r H_M + B_r$
Schneiden von Materialkennlinie und Scherungsgerade
$\Rightarrow$Arbeitspunkt: $H_M = -\frac{1}{\mu_0\mu_r + k_{SG}} B_r$
Luftspaltfluss im Arbeitspunkt:

$$\Phi_{\delta P} = (1-\sigma)\frac{k_{SG}}{\mu_0\mu_r + k_{SG}} B_r l_M \frac{D_{I1}}{2} \beta_M$$

Maximal zulässiger Ankerstrom:

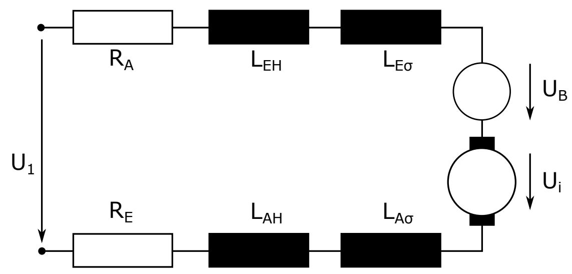
$$I_{2max} = \frac{\omega_2 \beta_M}{2\pi(h_M + \delta eff)} \left| (H''_M - H_{MP}) \frac{\mu_0\mu_r + k_{SG}}{k_{SG}} \frac{1}{1 + \frac{\delta_{eff}}{h_M}} \right|$$

Betriebsverhalten

$$\begin{aligned} U_i &= U_A - R_A I_A && \text{(ideal)} \\ U_i &= U_A - R_A I_A - 2 \cdot U_B && \text{(real)} \\ M_D &= k_m \Phi I_A \\ U_i &= k_u \Phi n \\ M_\Sigma &= m_L * M_R + J\frac{\delta\omega}{\delta t} \end{aligned}$$

2 Universalmotor

ESB



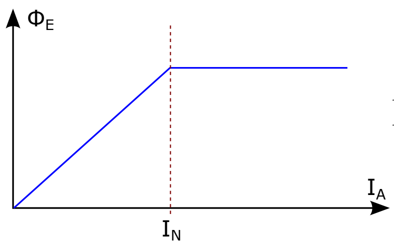
Systemgleichungen

$$\begin{aligned} M_D &= k_M \Phi_E I_A \\ U_i &= k_U \Phi_E n_A \\ \Phi_E &= k_\Phi I_A \\ U_1 &= R_{ges} I_A + 2 \cdot U_B + U_i \\ M_D - M_B &= J\frac{\delta\omega}{\delta t} \end{aligned}$$

Drehmoment-Drehzahl-Gleichung:

$$M_D = k_M k_\Phi \frac{(U_1 - 2 \cdot U_B)^2}{(R_{ges} \cdot k_U \cdot k_\Phi \cdot n_A)^2}$$

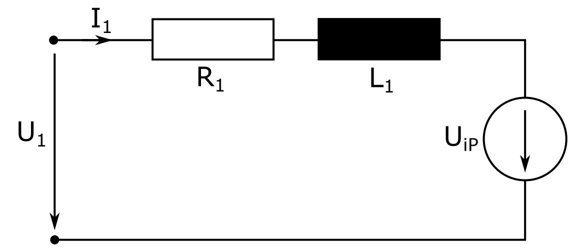
Verhalten



$I < I_N \rightarrow$ Reihenschlussverhalten
$I > I_N \rightarrow$ Nebenschlussverhalten

3 Permanenterregte Drehfeldmaschine

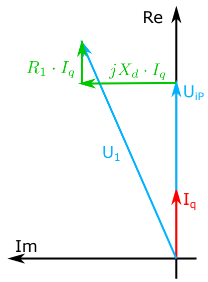
ESB



Größen

Strangzahl	m
Windungszahl pro Strang	w_1
Gesammter Wicklungsfaktor Grundwelle	ξ

Zeigerdiagramm



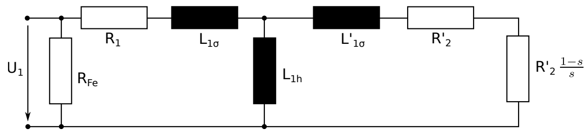
Betriebsverhalten

Verketteter Fluss: $\underline{\Psi}_1 = L_1 \underline{I}_1 + \underline{\Psi}_{PM}$
Längsfluss: $\Psi_d = L_d I_d + \Psi_{PM}$
Querfluss: $\Psi_q = L_q I_q$
Induzierte Spannung: $U_{iP} = \sqrt{2}\omega_1 \Psi_{PM} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f_{\text{mech}} \cdot \xi \cdot w_1 \cdot \hat{\Phi}_\delta$
Luftspaltfluss: $\hat{\Phi}_\delta = \iint B_\delta dA$
Strangspannung: $\underline{U}_1 = R_1 \underline{I}_1 + j\omega_1 L_1 \underline{I}_1 + \underline{U}_{iP}$
Synchrone Reaktanz: $X_d = \omega_1 L_1$
Drehmoment: $M_D = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\Psi_d \cdot I_q + \Psi_q \cdot I_d)$

$m_{ges}(t) = \sum\limits_m m(t) = \frac{1}{\omega}\sum\limits_m u_i(t) i_{strang}(t)$
Scheinleistung: $S_1 = m \cdot U_1 \cdot I_q$

4 Asynchronmaschine

ESB



Allgemeine Größen

Synchrone Drehzahl: $n_s = \frac{f}{p}$
Strangspannung: $U_1 = \frac{U_N}{\sqrt{3}}$
Statorinduktivität: $L_1 = L_{1H} + L_{1\sigma} = L_{1H} \cdot (1 + \sigma_1)$
Bezogene Rotorinduktivität: $L_2' = L_{1H} \cdot (1 + \sigma_2)$
Streuinduktivität: $L_\sigma = \sigma L_1$
Streuziffer Stator: $\sigma_1 = \frac{L_{1\sigma}}{L_{1H}}$
Streuziffer Gesamt: $\sigma = 1 - \frac{1}{(1+\sigma_1)(1+\sigma_2)}$
Nenndrehzahl: $n_N = n_s(1 - s_N)$
Nennleistung: $P_N = \omega M_N = 2\pi \cdot n_N \cdot M_N$
Leistung:
elektrisch aufgenommene Leistung: $P_{el} = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cos(\varphi)$
mechanisch abgegebene Leistung: $P_m = \omega_m \cdot M = 2\pi \cdot n \cdot M$
Luftspaltleistung im Nennbetrieb: $P_\delta = M_N \cdot 2\pi \cdot n_{\text{syn}}$
Rotor-Stromwärmeverluste: $P_{CuN} = s_N \cdot P_{\delta N}$
Eisenverluste: $P_{Fe} = \frac{3 \cdot {U_1}^2}{R_{Fe}}$

Klossche Gleichung

$$\frac{M_D}{M_k} = \frac{2 s_K \cdot s}{{s_K}^2 + s^2}$$

$$s_{1,2} = s_K \frac{M_K}{M_D} \pm \sqrt{\left(s_K \frac{M_K}{M_D}\right)^2 - {s_K}^2}$$

Drehmomentgleichung

$$M_D = 3 \cdot p \cdot (1 - \sigma) \cdot \frac{{U_1}^2}{\omega^2 L_\sigma} \left(\frac{s \cdot s_k}{\Delta\rho_1 \cdot {s_k}^2 + 2 \cdot s_k \frac{\rho_1}{\sigma}(1 - \sigma) + \Delta\rho_1 \cdot s^2} \right)$$

Bezogener Statorwiderstand: $\rho_1 = \frac{R_1}{\omega L_1} = \frac{R_1}{2\pi f_{el} L_1}$
$\Delta\rho_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_1}{\sigma}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + {\rho_1}^2}$
Bezogener Rotorwiderstand: $\rho_2 = \frac{R_2'}{\omega L_2'} = \frac{R_2}{\omega L_2}$
Kippmoment: $M_K = M_D(s_K) = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (1 - \sigma) \frac{{U_1}^2}{{\omega_{el}}^2 L_\sigma} \left(\frac{1}{\Delta\rho_1 + \frac{\rho_1}{\sigma}(1-\sigma)} \right)$
Kippschlupf: $s_K = \frac{\rho_2}{\sigma} \sqrt{\frac{1+{\rho_1}^2}{1+\left(\frac{\rho_1}{\sigma}\right)^2}}$

Komplexer Statorstrom

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\omega L_1} \cdot \frac{\rho_2 + js}{\rho_1\rho_2 - \sigma s + j(\rho_2 + s\rho_1)}$$

Zuleitungsstrom: $I_{ZL} = \sqrt{3} \cdot I_1$
Beim Anlaufen ist $s = 1$
Anlaufstrom: $I_{1A} = |\underline{I}_1|(s = 1) = \frac{U_1}{\omega L_\sigma} \sqrt{\frac{1+{\rho_2}^2}{(1-\frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\sigma})^2 + \left(\frac{\rho_1+\rho_2}{\sigma}\right)^2}}$

Phase:

$$\varphi_1 = \varphi_{1Z} - \varphi_{1N}$$

$$\varphi = \begin{cases} \arctan(\frac{b}{a}) & \text{für } a > 0 \\ \arctan(\frac{b}{a}) + \pi & \text{für } a > 0, b \geq 0 \\ \arctan(\frac{b}{a}) - \pi & \text{für } a > 0, b < 0 \end{cases}$$

Symmetrische Komponenten

$s_m + s_g = 2$
Gesamtes Drehmoment: $M_{D,ges} = M_m - M_g$
Drehmomentgleichung mit Kompensation: (Kippschlupf ändert sich)

$$M = 3 \cdot p \cdot (1 - \sigma) \cdot \frac{{U_1}^2}{\omega^2 L_1} \cdot \frac{\rho_2 \cdot s}{(\rho_1\rho_2 - \sigma s)^2 + (\rho_2 + s\rho_1)^2}$$