

Ein Gleichstrommotor einer Sonderserie ist ausgeführt mit zwei Feldwicklungen. Eine davon ist für Nebenschlussbetrieb, die andere für Reihenschlussbetrieb ausgelegt. Die Daten des Motors sind:

- Nebenschlussbetrieb:

$$R_f = 55 \Omega$$

$$M_N = 250 \text{ Nm}, P_N = 41 \text{ kW}$$

$$\Phi_{NB} = 53,5 \text{ mVs} + 236,6 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_f$$
- Reihenschlussbetrieb:

$$R_r = 22,56 \text{ m}\Omega$$

$$\Phi_{RB} = 53,5 \text{ mVs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a$$

Alle nicht aufgeführten Verluste sowie die Ankerrückwirkung können vernachlässigt werden.

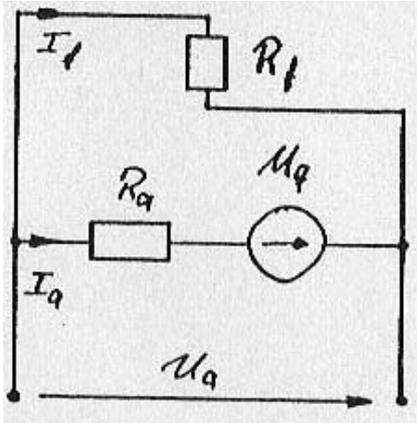
Der Motor wird von einer Gleichspannung $U_a = 220 \text{ V}$ gespeist.

Im Nennpunkt fließt bei beiden Betriebsarten ein Ankerstrom von $I_a = 200 \text{ A}$.

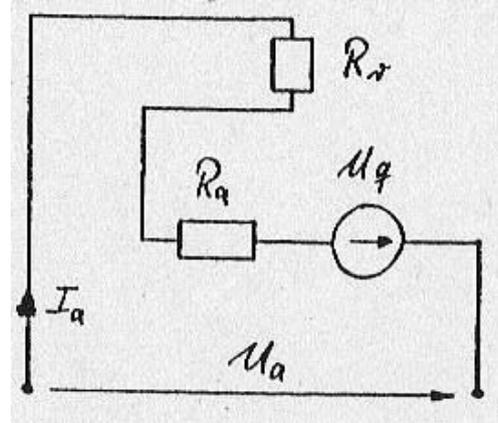
- a) Skizzieren Sie die Ersatzschaltbilder für Neben- und Reihenschlussbetrieb und tragen Sie alle benötigten Bezeichnungen ein!
- b) Berechnen Sie die Maschinenkonstante c , den Ankerwiderstand R_a und für beide Betriebsarten die Nenndrehzahl n_N .
- c) Wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_0 (beide Betriebsarten)?
- d) Berechnen Sie für Neben-, Reihen und Doppelschlussbetrieb für $M = 0$; $M = 100 \text{ Nm}$; $M = 200 \text{ Nm}$; $M = 300 \text{ Nm}$ die Drehzahlwerte und tragen Sie diese drei Kennlinien in ein $n = f(M)$ -Diagramm ein! (n -Achse bis 3000 min^{-1})

Musterlösung:

a) Nebenschlussmaschine



Reihenschlussmaschine



$$R_f = 55 \Omega$$

$$P_N = M \cdot \Omega = U_q \cdot I_a$$

$$R_r = 22,56 \text{ m}\Omega$$

Weil keine Reibungsverluste auftreten sollen, ist die durch das innere Moment aufgebrauchte Leistung gleich der mechanischen Leistung (Nennleistung bei Motorbetrieb).

$$M_N = 250 \text{ Nm}$$

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_a$$

$$U_a = U_q + R_a \cdot I_a$$

$$U_q = c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$U_a = U_q + (R_a + R_r) \cdot I_a$$

$$\Phi_{NB} = 53,5 \text{ mVs} + 236,6 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_f$$

$$\Phi_{RB} = 53,5 \text{ mVs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a$$

$$\text{b) } U_a = R_f \cdot I_f$$

$$\Rightarrow I_f = \frac{U_a}{R_f} = \frac{220 \text{ V}}{55 \Omega} = 4 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \Phi_{NB}(I_f) = 1 \text{ Vs}$$

$$\Phi_{RB}(I_{aN}) = 0,9535 \text{ Vs}$$

$$c = \frac{M_{N,NB}}{\Phi_{NB} \cdot I_{aN}} = \frac{250 \text{ Nm}}{1 \text{ Vs} \cdot 200 \text{ A}} = \underline{\underline{1,25}}$$

$$\Rightarrow M_{N,RB}(I_{aN}) = c \cdot \Phi_{RB} \cdot I_a = 238,4 \text{ Nm}$$

Hier wird angenommen, dass die von Neben- und Reihenschlusswicklung hervorgerufenen Flüsse in geometrisch gleicher Weise mit dem Ankerstrom wechselwirken. Beide Wicklungen werden mit derselben Maschinenkonstante beschrieben.

$$U_{qN,NB} = \frac{P_{N,NB}}{I_a} = \frac{41 \text{ kW}}{200 \text{ A}} = 205 \text{ V}$$

$$U_{qN,RB} = U_a - (R_a + R_r) \cdot I_{a,N} = 200,5 \text{ V}$$

$$R_a = \frac{U_a - U_{qN,NB}}{I_{aN}} = \frac{220 \text{ V} - 205 \text{ V}}{200 \text{ A}} = \underline{\underline{75 \text{ m}\Omega}}$$

$$\Rightarrow P_{N,RB} = U_{qN,RB} \cdot I_a = 40,1 \text{ kW}$$

$$\Omega_{N,NB} = \frac{P_{N,NB}}{M_{N,NB}} = \frac{41 \text{ kW}}{250 \text{ Nm}} = 164 \text{ s}^{-1}$$

$$\Omega_{N,RB} = \frac{P_{N,RB}}{M_{N,RB}} = \frac{40,1 \text{ kW}}{238,4 \text{ Nm}} = 168,2 \text{ s}^{-1}$$

$$\Rightarrow n_{N,NB} = \frac{\Omega_{N,NB}}{2\pi} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = \underline{\underline{1566 \text{ min}^{-1}}}$$

$$\Rightarrow n_{N,RB} = \frac{\Omega_{N,RB}}{2\pi} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = \underline{\underline{1606 \text{ min}^{-1}}}$$

c) $\Phi_{0,NB} = 1 \text{ Vs}$

$$U_q = U_a, I_a = 0$$

$$\Phi_{0,RB}(I_a = 0) = 53,5 \text{ mVs}$$

$$\Omega_{0,NB} = \frac{U_q}{c \cdot \Phi_{0,NB}} = \frac{220 \text{ V}}{1,25 \cdot 1 \text{ Vs}} = 176 \text{ s}^{-1}$$

$$\Omega_{0,RB} = \frac{U_q}{c \cdot \Phi_{0,RB}} = 3289,7 \text{ s}^{-1}$$

$$\Rightarrow n_{0,NB} = \underline{\underline{1681 \text{ min}^{-1}}}$$

$$\Rightarrow n_{0,RB} = \underline{\underline{31415 \text{ min}^{-1}}} \text{ (theoretisch)}$$

d) Im Nebenschlussbetrieb ist der Fluss konstant und der Ankerstrom ist proportional zum Moment:

$$I_a = \frac{M}{c \cdot \Phi} = \frac{M}{1,25 \cdot 1 \text{ Vs}} = \frac{M}{1,25 \text{ Nm}} \text{ A} \quad \text{und es gilt: } U_q = U_a - R_a \cdot I_a \quad \text{und} \quad \Omega = \frac{U_q}{c \cdot \Phi}$$

Im Reihenschlussbetrieb steigt das Moment quadratisch mit dem Ankerstrom:

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_a = c \cdot (53,5 \text{ mVs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a) \cdot I_a \Rightarrow \frac{M}{c \cdot 4,5 \text{ m}\Omega\text{s}} = I_a^2 + I_a \cdot 11,89 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_a = -5,9 \text{ A} \pm \sqrt{35,34 \text{ A}^2 + \frac{177,8 \cdot M}{\text{Nm}} \text{ A}^2} \quad \text{und es gilt: } U_q = U_a - (R_a + R_r) \cdot I_a$$

Im Doppelschlussbetrieb wirkt sowohl der Fluss der Feldwicklung im Nebenschluss (bei konstantem Feldstrom) als auch der ankerstromabhängige Fluss des Reihenschlusses. Der konstante Anteil der linearisierten Flusskennlinien stellt den remanenten Fluss der gesamten Wicklungsanordnung dar und muss nicht doppelt berücksichtigt werden:

$$\Phi_{DB} = 53,5 \text{ mVs} + 236,6 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot 4 \text{ A} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a = 1 \text{ Vs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a$$

Auch hier steigt das Moment quadratisch mit dem Ankerstrom:

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_a = c \cdot (1 \text{ Vs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a) \cdot I_a \Rightarrow \frac{M}{c \cdot 4,5 \text{ m}\Omega\text{s}} = I_a^2 + I_a \cdot 222,2 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_a = -111,1 \text{ A} \pm \sqrt{12345 \text{ A}^2 + \frac{177,8 \cdot M}{\text{Nm}} \text{ A}^2} \quad \text{und es gilt: } U_q = U_a - (R_a + R_r) \cdot I_a$$

Nebenschluss	Reihenschluss	Doppelschluss
$\Phi_{NB} = 1 \text{ Vs}$	$\Phi_{RB} = 53,5 \text{ mVs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a$	$\Phi_{DB} = 1 \text{ Vs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a$
$I_a(M=0) = 0$ $n = 1681 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=0) = 0$ $n = 31415 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=0) = 0$ $n = 1681 \text{ min}^{-1}$
$I_a(M=100 \text{ Nm}) = 80 \text{ A}$ $\Phi = 1 \text{ Vs}$ $U_q = 214 \text{ V}$ $n = 1635 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=100 \text{ Nm}) = 127,5 \text{ A}$ $\Phi = 0,627 \text{ Vs}$ $U_q = 207,6 \text{ V}$ $n = 2529 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=100 \text{ Nm}) = 62,5 \text{ A}$ $\Phi = 1,281 \text{ Vs}$ $U_q = 213,9 \text{ V}$ $n = 1276 \text{ min}^{-1}$
$I_a(M=200 \text{ Nm}) = 160 \text{ A}$ $\Phi = 1 \text{ Vs}$ $U_q = 208 \text{ V}$ $n = 1589 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=200 \text{ Nm}) = 182,7 \text{ A}$ $\Phi = 0,876 \text{ Vs}$ $U_q = 202,2 \text{ V}$ $n = 1764 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=200 \text{ Nm}) = 107,7 \text{ A}$ $\Phi = 1,485 \text{ Vs}$ $U_q = 209,5 \text{ V}$ $n = 1078 \text{ min}^{-1}$
$I_a(M=300 \text{ Nm}) = 240 \text{ A}$ $\Phi = 1 \text{ Vs}$ $U_q = 202 \text{ V}$ $n = 1543 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=300 \text{ Nm}) = 225,1 \text{ A}$ $\Phi = 1,066 \text{ Vs}$ $U_q = 198 \text{ V}$ $n = 1419 \text{ min}^{-1}$	$I_a(M=300 \text{ Nm}) = 145,2 \text{ A}$ $\Phi = 1,653 \text{ Vs}$ $U_q = 205,8 \text{ V}$ $n = 951 \text{ min}^{-1}$

Anmerkung: In der gedruckten Klausursammlung wurde im Doppelschlussbetrieb – abweichend von dem hier gewählten Ansatz – der remanente Flussanteil doppelt eingerechnet:

$$\Phi_{DB} = 53,5 \text{ mVs} + 236,6 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot 4 \text{ A} + 53,5 \text{ mVs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a = 1,053 \text{ Vs} + 4,5 \text{ m}\Omega\text{s} \cdot I_a$$

