Aufgabe 34: *Gleichstrommotor*

Von einem fremderregten Gleichstrommotor sind die folgenden Daten bekannt.

Nennbetriebsdaten: $n_N = 3000\,\text{min}^{-1}$, $P_{\text{mech},N} = 100\,k\text{W}$, $\eta_N = 0.9$, $U_{F,N} = 200\,\text{V}$, $I_{F,N} = 2\,\text{A}$, $U_{A,N} = 600\,\text{V}$

Es werden stationäre Verhältnisse vorausgesetzt und es exisitieren keine mechanischen Reibungsverluste.

34.1 Skizzieren Sie das ESB des Ankers und des Fremderregers

Bestimmen Sie aus den Nennbetriebsdaten (Geben Sie dazu immer die grundlegenden Zusammenhänge an):

34.2 die Erregerverluste ($P_{V,F,N} = 400\,W$)

34.3 den Erregerwiderstand ($R_F = 100\,\Omega$)

34.4 die Ankerleistung ($P_{A,N} = 110.7\,kW$)

34.5 den Ankerstrom ($I_{A,N} = 185\,A$)

34.6 die Ankerverlustleistung ($P_{V,A,N} = 10.7\,kW$)

34.7 den Ankerwiderstand ($R_A = 0.31\,\Omega$)

34.8 die induzierte Spannung ($U_{ind,N} = 543\,V$)

34.9 die Konstante $c\Phi$ ($c\Phi = 1.73\,Vs$)

34.10 das Drehmoment M_N ($M_N = 318\,Nm$)

Jetzt wird der Motor im Leerlauf und im Anlauf betrachtet

34.11 Bestimmen Sie die Leerlaufdrehzahl. ($n_{st} = 3321\,min^{-1}$)

34.12 Bestimmen Sie den Stillstandsstrom. ($I_{A,st} = 1907\,A$)

34.13 Bestimmen Sie das Stillstandsmoment. ($M_{st} = 3290\,Nm$)

Die Leerlaufdrehzahl soll nun $n = 3000\,\text{min}^{-1}$ bei $U_A = 600\,\text{V}$ betragen.

34.14 Wie erreichen Sie das? ($c\Phi = 1.91\,Vs$)

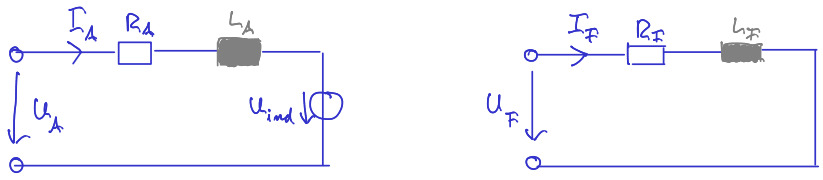
34.15 Geben Sie den Ankerstrom I_A an und bestimmen Sie den Erregerstrom I_F .
($I_A = 0\,A$, $I_F = 2.21\,A$)

Zurück zum Nennbetrieb. Es wird nun kurzzeitig die 1.2-fache Nennleistung ($P_{\text{mech}} = 1.2 \cdot P_{\text{mech},N}$) abverlangt.

34.16 Geben Sie den Zusammenhang zwischen P_{mech} und I_A allgemein an. Berechnen Sie den Ankerstrom I_A . ($I_A = 227\,A$)

Lösung

① Ersatzschaltbilder



Anker Erreger

im stationären (Gleichstrom-) Betrieb sind die beiden Spulen kurzgeschlossen

- L_A „weglassen"
- L_F „weglassen" (Gleichstrom erzeugt B-Feld des Stators in L_F)

NENNBETRIEB

② Erregerverluste:

$$P_{V,F} = U_F \cdot I_F \rightsquigarrow \boxed{P_{V,F,N} = 400\,W} = P_{F,N}$$

③ Erregerwiderstand

Im Ergebnis (stationär): $U_F = I_F R_F \rightsquigarrow \boxed{R_F = 100\,\Omega}$

④ Ankerleistung

Es gilt für Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{mech,Nutz}}{P_{el}} = \frac{P_{mech,N}}{P_{A,N} + P_{F,N}}$

$$\rightsquigarrow P_{A,N} = \frac{P_{mech}}{\eta} - P_{N,F} = \frac{100\,kW}{0{,}9} - 400\,W \rightsquigarrow \boxed{P_{A,N} = 110{,}7\,kW}$$

⑤ Ankerstrom:

$$P_A = U_A \cdot I_A \rightsquigarrow I_{A,N} = \frac{107{,}1\,kW}{600\,V} \rightsquigarrow \boxed{I_{A,N} = 185\,A}$$

⑥ Ankerverluste

$$P_A = P_{mech} + P_{V,A} \rightsquigarrow P_{V,A} = P_A - P_{mech} = 110{,}7\,kW - 100\,kW$$

$$\rightsquigarrow \boxed{P_{V,A} = 10{,}7\,kW}$$

(7) Ankerwiderstand

$$P_{V,A} = U_{R_A} \cdot I_A \quad \rightsquigarrow \quad P_{V,A} = I_{A,N}^2 \cdot R_A \quad \rightsquigarrow \quad R_A = \frac{P_{V,A}}{I_{A,N}^2} = \frac{10{,}7\ \text{kW}}{(185\ \text{A})^2}$$

$$\rightsquigarrow \boxed{R_A = 0{,}31\ \Omega}$$

(8) Induzierte Spannung

Aus Ankerkreis $U_A = R_A \cdot I_A + U_{ind} \quad \rightsquigarrow \quad U_{ind,N} = U_{A,N} - R_A \cdot I_{A,N}$

$$\rightsquigarrow \boxed{U_{ind,N} = 542\ \text{V}}$$

(9) Konstante $c\phi$

$$U_{ind} = c\phi \cdot \Omega \quad \rightsquigarrow \quad c\phi = \frac{U_{ind}}{\Omega} = \frac{557\ \text{V}}{2\pi \cdot \frac{3000}{60} \cdot \frac{1}{\text{D}}}$$

$$\rightsquigarrow \boxed{c\phi = 1{,}73\ \text{V D}}$$

(10) Nenndrehmoment

$$M \cdot \Omega = P_{mech} \quad \rightsquigarrow \quad M = \frac{100\ \text{kW}}{2\pi \cdot \frac{3000}{60}\ \frac{1}{\text{D}}} \quad \rightsquigarrow \quad \boxed{M = 318\ \text{Nm}}$$

LEER- UND ANLAUF

Es gilt Kennlinie $\Omega = \frac{U_A}{c\phi} - \frac{R_A}{(c\phi)^2} M_{el}$

d.h. im Leerlauf ($M_{el} = 0$): $\Omega = \frac{U_A}{c\phi}$

im Stillstand ($\Omega = 0$): $M_{el} = c\phi \frac{U_A}{R_A}$ $(= c\phi I_A)$

(11) Leerlaufdrehzahl

aus $\Omega = \frac{U_A}{c\phi} \quad \rightsquigarrow \quad 2\pi n = \frac{U_A}{c\phi} \quad \rightsquigarrow \quad n = \frac{U_A}{2\pi\, c\phi} = \frac{600\ \text{V}}{2\pi\ 1{,}73\ \text{V}\frac{\text{min}}{60}}$

$$\boxed{n = 3321\ \text{min}^{-1}}$$

(12) Stillstandsstrom

aus $M_{el} = c\phi \cdot I_A$ und $M_{el} = c\phi \frac{U_A}{R_A}$ $\rightsquigarrow$ $I_{A,still} = \frac{U_A}{R_A}$

$$\boxed{I_{A,still} = 1307\ A}$$

(13) Stillstandsmoment

$$M_{St} = c\phi \cdot \frac{U_A}{R_A} \qquad \boxed{M_{St} = 3290\ Nm}$$

LEERLAUF BEI $n = 3000 \frac{1}{min}$, $U_A = 600\,V$

(14) Es gilt im Leerlauf $\Omega = \frac{U_A}{c\phi}$: d.h. es muss $c\phi$ geändert werden.

$\rightsquigarrow$ $c\phi = \frac{U}{\Omega} = \frac{600\,V}{2\pi \cdot \frac{3000}{60}\,\Omega}$ $\rightsquigarrow$ $\boxed{c\phi = 1{,}91\ Vs}$

(15) Anker- und Erregerstrom

Ohne mechanische Belastung: aus $M_{el} = c\phi \cdot I_A$ $\rightsquigarrow$ $\boxed{I_A = 0\,A}$

Es gilt $I_F \sim \phi$ $\rightsquigarrow$ $c I_F \sim c\phi$

$c I_{FN} \sim c\phi_N$ $\rightsquigarrow$ $\frac{I_F}{I_{F,N}} = \frac{c\phi}{c\phi_N}$

$\rightsquigarrow$ $I_F = \frac{c\phi}{c\phi_N} \cdot I_{F,N} = \frac{1{,}91\,Vs}{1{,}73\,Vs} \cdot 2\,A$ $\rightsquigarrow$ $\boxed{I_F = 2{,}21\,A}$

ÜBERLASTBETRIEB

(16) Es gilt: $P_{mech} = \Omega \cdot M$. Dies liefert mit $U_{ind} = c\phi \cdot \Omega$

$M = c\phi \cdot I_A$

$$P_{mech} = U_{ind} \cdot I_A$$

aus ESB - Anker: $U_{ind} = U_A - R_A \cdot I_A$

$\rightsquigarrow$ $\boxed{P_{mech} = U_A I_A - R_A \cdot I_A^2}$

auflösen nach I_A:

$$I_A^2 - \frac{U_A}{R_A} I_A + \frac{P_{mech}}{R_A} = 0$$

$$I_A = \frac{U_A}{2R_A} \pm \sqrt{\left(\frac{U_A}{2R_A}\right)^2 - \frac{P_{mech}}{R_A}} = 354\,A - \sqrt{(354\,A)^2 - \frac{12 \cdot 100\,kW}{0{,}31\,\Omega}}$$

$$\rightsquigarrow \boxed{I_A = 227\,A}$$

Aufgabe 35: *Kleinmotor*

Von einem dauermagneterregten Kleinmotor sind nur die Daten $U_{\mathrm{AN}} = 12\,\mathrm{V}$, $M_{\mathrm{N}} = 0,2\,\mathrm{N\ m}$, $n_{0\mathrm{N}} = 2400\,\mathrm{min}^{-1}$ bekannt. Mit der Annahme $\eta = 60\%$ ist die Abgabeleistung P_{N} zu bestimmen. ($P_N = 30,2\ W$)

35.1 Bestimmen Sie $c\Phi$. ($c\Phi = 0.047\ Vs$)

35.2 Bestimmen Sie den Ankerstrom I_A . ($I_A = 4.19\ A$)

35.3 Bestimmen Sie die Ankerleistung und die Abgabeleistung. ($P_A = 50.3\ W$)

Lösung

Der Motor ist im nominalen Betrieb

Winkelgeschwindigkeit im Leerlauf bestimmen

$$\Omega_0 = 2\pi \cdot n_{0N} = 2\pi \cdot \frac{2400}{60} = \underline{\underline{251{,}3 \text{ Hz}}}$$

$c\phi$ bestimmen: Es gilt $\Omega = \frac{U_A}{c\phi} - \frac{R_A}{(c\phi)^2} M_{el}$

$\rightsquigarrow$ Leerlaufdrehzahl: $\Omega_0 = \frac{U_A}{c\phi}$ (beim Moment)

Es gilt für Ankerspannung: $U_A = c\phi \, \Omega_0$

$$\rightsquigarrow \quad c\phi = \frac{U_A}{\Omega_0} = \underline{\underline{0{,}047 \text{ Vs}}}$$

Hiermit folgt dann der Ankerstrom:

$$I_A = \frac{M_N}{c\cdot\phi} = \underline{\underline{4{,}19 \text{ A}}}$$

und es kann jetzt die Leistung P_{AN} bestimmt werden

$$P_{AN} = U_A \cdot I_A = \frac{U_A \cdot M_N}{\frac{U_A}{\Omega_0}} = M_N \cdot \Omega_0 = \underline{\underline{50{,}27 \text{ W}}}$$

Mit dem Wirkungsgrad η folgt dann

$$P_N = \eta \cdot P_{AN} = \underline{\underline{30{,}2 \text{ W}}}$$

Aufgabe 36: *Gleichstromgenerator*

Von einem Gleichstromgenerator sind die folgenden Nennbetriebsdaten bekannt.

Nennbetriebsdaten: $P_{\text{mech},N} = 50\,k\text{W}$, $\eta_N = 0.75$, $U_{F,N} = 300\,\text{V}$,
$I_{F,N} = 2\,\text{A}$, $U_{A,N} = 500\,\text{V}$, $I_{A,N} = 100\,\text{A}$, $n_N = 3000\,\text{min}^{-1}$

Es werden stationäre Verhältnisse vorausgesetzt und es exisitieren keine mechanischen Reibungsverluste.

36.1 Skizzieren Sie das ESB des Ankers und des Fremderregers

Bestimmen Sie aus den Nennbetriebsdaten: (Geben Sie dazu immer die grundlegenden Zusammenhänge an):

36.2 die Erregerleistung ($P_F = 600\,W$)

36.3 den Erregerwiderstand ($R_F = 150\,\Omega$)

36.4 die abgegebene Leistung ($P_{A,N} = 50\,kW$)

36.5 die Ankerverlustleist. ($P_{AV,N} = 16.1\,kW$)

36.6 den Ankerwiderstand ($R_A = 1.61\,\Omega$)

36.7 die induzierte Spannung ($U_{ind,N} = 661\,V$)

36.8 zugeführ. mech. Arbeit ($P_{mech} = 66.7\,kW$)

36.9 das Drehmoment M_N ($M_N = 210\,Nm$)

36.10 die Konstante $c\phi$ ($c\phi = 2.1\,Vs$)

Es wird nun ein Arbeitspunkt gewählt, der nicht dem Nennbetrieb entspricht.
Der Generator soll eine elektrische Leistung von $18\,\text{kW}$ bei einer Spannung $U_A = 220\,\text{V}$ liefern. Besimmen Sie

36.11 den Ankerstrom ($I_A = 81.8\,A$)

36.12 die Verlustleistung ($P_{VA} = 10.8\,kW$)

36.13 die induzierte Spannung ($U_{ind} = 352\,V$)

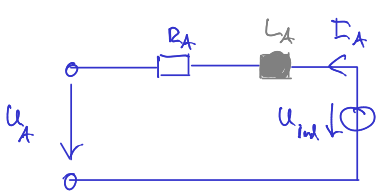
36.14 den Erregerstrom ($I_F = 1.07\,A$)

36.15 die Erregerspannung ($U_F = 160\,V$)

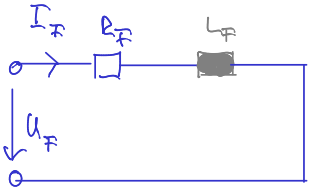
36.16 den Wirkungsgrad ($\eta = 62\,\%$)

Lösung

⑦ ESB



Anker



Fremderreger

$U_{ind} = U_A + R_A I_A$

im stationären Generatorbetrieb

NENNBETRIEB

② Energieleistung

$P_F = U_F I_F$ ⇝ $\boxed{P_F = 600\ W}$

③ Energieverbrauch

$U_{R_F} = I_F \cdot R_F$ ⇝ $R_F = \frac{U_F}{I_F}$ ⇝ $\boxed{R_F = 150\ \Omega}$

④ abgegebene elektrische Leistung

$P_{el,ab} = P_A$ ⇝ $P_A = U_{A,N} \cdot I_{A,N}$ ⇝ $\boxed{P_A = 50\ kW}$

⑤ Antriebsleistung

aus Wirkungsgrad: $\eta = \frac{\text{nutzbare Leistung}}{\text{gesamte aufgenommene Leistung}}$

$\eta = \frac{P_{A,N}}{P_{A,N} + P_{AV,N} + P_F}$ (vgl. Energieerhaltung)

⇝ $P_{AV,N} = \frac{P_{A,N}}{\eta} - P_{A,N} - P_F = \frac{50\ kW}{0,75} - 50kW - 600W$

⇝ $\boxed{P_{AV,N} = 16,1\ kW}$

⑥ Ankerwiderstand

$P_{AV} = I_A^2 \cdot R_A \quad \rightsquigarrow \quad R_A = \frac{P_{AV}}{I_A^2} \quad \rightsquigarrow \quad \boxed{R_A = 1{,}61\ \Omega}$

⑦ Induzierte Spannung

aus Ankerkreis: $U_{ind} = U_A + R_A I_A \quad \rightsquigarrow \quad \boxed{U_{ind} = 661\ V}$

⑧ zugeführte mechanische Arbeit

Weg 1.) aus $P_{mech,i} = \Omega \cdot M$ mit $U_{ind} = c\phi \cdot \Omega$, $M = c\phi \cdot I_A$

$\rightsquigarrow P_{mech,i} = U_{ind} \cdot I_A \quad \rightsquigarrow$

$\rightsquigarrow P_{mech} = P_{mech,i} + P_F \qquad \boxed{P_{mech} = 66{,}7\ kW}$

Weg 2 direkt $\quad P_{mech} = \underbrace{P_A + P_{AV}}_{P_{mech,i}} + P_F$

$P_{mech} = 50\ kW + 16{,}1\ kW + 0{,}6\ kW \quad \rightsquigarrow \quad \boxed{P_{mech} = 66{,}7\ kW}$

⑨ Nenndrehmoment

aus $P_{mech,i} = U_{ind} \cdot I_A = M \cdot \Omega$

$\rightsquigarrow M = \frac{U_{ind} I_A}{2\pi \frac{n}{60}} \quad \rightsquigarrow \quad \boxed{M_N = 210\ Nm}$

⑩ Maschinenkonstante

$U_{ind} = c\phi \cdot \Omega \quad \rightsquigarrow \quad c\phi = \frac{U_{ind}}{\Omega} = \frac{661\ V}{2\pi \frac{3000}{60\ \Omega}}$

$\Omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60}$

$\boxed{c\phi = 2{,}1\ V\Omega}$

ANDERER ARBEITSPUNKT

(11) Ankerstrom

Es gilt $P_{el,ab} = U_A \cdot I_A \quad \rightsquigarrow \quad I_A = \frac{P_{el,ab}}{U_A} = \frac{18\,kW}{220\,V}$

$$\boxed{I_A = 81{,}8\,A}$$

(12) Verlustleistung Anker

$P_{VA} = U_{R_A} \cdot I_A \quad \rightsquigarrow \quad P_{VA} = R_A \cdot I_A^2 = 1{,}61\,\Omega \cdot (81{,}8\,A)^2$

$$\boxed{P_{VA} = 10{,}8\,kW}$$

(13) Induzierte Spannung

$U_{ind} = U_A + R_A \cdot I_A \quad \rightsquigarrow \quad U_{ind} = 220\,V + 1{,}61\,\Omega \cdot 81{,}8\,A$

$$\boxed{U_{ind} = 352\,V}$$

(14) Erregerstrom

$U_{ind} \sim I_F \quad \rightsquigarrow \quad \frac{U_{ind}}{U_{ind,N}} = \frac{I_F}{I_{F,N}}$

$\rightsquigarrow \quad I_F = \frac{U_{ind}}{U_{ind,N}} \cdot I_{F,N} = \frac{352\,V}{661\,V} \cdot 2\,A \quad \rightsquigarrow \quad \boxed{I_F = 1{,}07\,A}$

(15) Erregerspannung

$$U_F = R_F \cdot I_F \quad \rightsquigarrow \quad U_F = 150\,\Omega \cdot 1{,}07\,A$$

$$\boxed{U_F = 160\,V}$$

zweiter Weg (ohne R_F)

$$\frac{U_F}{I_F} = \text{const.} \quad \rightsquigarrow \quad U_F = \frac{U_{FN}}{I_{FN}} \cdot I_F = \frac{300\,V}{2\,A} \cdot 1{,}07\,A = \underline{\underline{160\,V}}$$

(16) Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{el,ab}}{P_{el,ab} + P_{VA} + P_F} \quad \rightsquigarrow \quad \eta = \frac{18\,kW}{18\,kW + 10{,}8\,kW + 160\,V \cdot 1{,}07\,A} = 0{,}62$$

$$\boxed{\eta = 62\,\%}$$