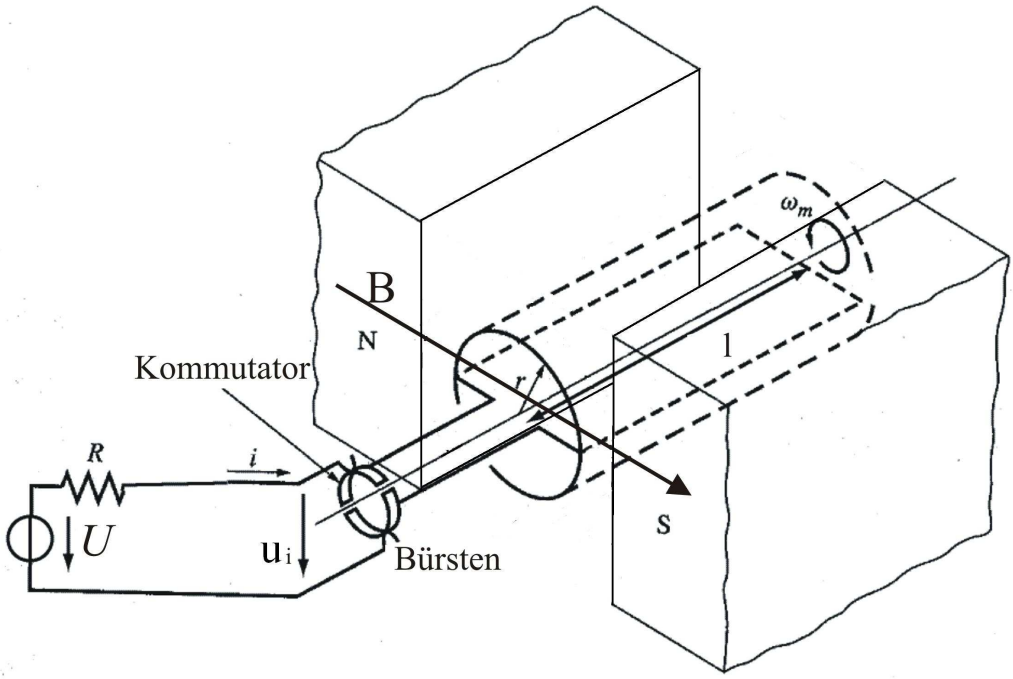
Übung Grundlagen der Elektrotechnik B

Aufgabe 1: Rotierende Leiterschleife

Betrachtet wird die im folgenden Bild dargestellte, in einem homogenen Magnetfeld rotierende Leiterschleife. Es seien folgende Daten bekannt:

$$B = 0{,}4\,\mathrm{T} \quad U = 30\,\mathrm{V}$$
$$I = 0{,}5\,\mathrm{m} \quad R = 0{,}4\,\Omega$$
$$r = 0{,}25\,\mathrm{m} \quad \omega = 500\,1/\mathrm{s}$$



Rotierende Leiterschleife

1. Arbeitet die Maschine als Motor oder Generator? Begründung?
2. Wie groß ist der mittlere Strom I_{AVG}? Wie groß ist die elektrische Leistung, die die Maschine aufnimmt bzw. abgibt? Wie groß ist die mechanische Leistung?
3. Wie würde sich der Strom I_{AVG} ändern, wenn die Rotorkreisfrequenz auf $550\,1/\mathrm{s}$ geändert werden würde? Findet jetzt, motorischer oder generatorischer Betrieb statt?
4. Wie würde sich der Strom I_{AVG} ändern, wenn die Rotorkreisfrequenz $450\,1/\mathrm{s}$ auf geändert werden würde? Findet jetzt, motorischer oder generatorischer Betrieb statt?

Ergebnisse:

1. $U < U_\mathrm{i} \Rightarrow$ generatorischer Betrieb
2. $I_\mathrm{AVG} = \frac{U}{R} - \frac{B2rl\omega}{R} \cdot \frac{2}{\pi} = -4,577\,\mathrm{A} \quad P_\mathrm{el,zu} = U \cdot I_\mathrm{AVG} = -137,31\,\mathrm{W} \quad P_\mathrm{mech} = \omega \cdot T_\mathrm{AVG} = -737,68\,\mathrm{W}$
3. $i(t) = \frac{U - u_\mathrm{i}(t)}{R}\ I_\mathrm{AVG} = -12,535\,\mathrm{A}$
4. $I_\mathrm{AVG} = \frac{U}{R} - \frac{B2rl\omega}{R} \cdot |\cos(\omega t)|_\mathrm{AVG} = 3,38\,\mathrm{A}$
   Jetzt befindet sich die Maschine im motorischen Betrieb und nimmt elektr. Leistung auf.

Aufgabe 2: Mechanische und elektrische Leistung

Benutzen Sie die Gleichungen für die im Ankerkreis induzierte Spannung U_i und das vom Motor erzeugte Drehmoment T, um zu beweisen, dass die elektrisch umgesetzte Leistung $P_\mathrm{el} = U_\mathrm{i} I_\mathrm{A}$ der mechanisch erzeugten Energie P_mech entspricht.

Ergebnisse:

$P_\mathrm{el} = U_\mathrm{i} \cdot I_\mathrm{A} = \omega \cdot \Psi'_\mathrm{E} \cdot \frac{T}{\Psi'_\mathrm{E}} = \omega T = P_\mathrm{mech}$

Aufgabe 3: Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik Nebenschlussmotor

Ein Gleichstrom-Nebenschlussmotor mit folgenden Nenndaten

$$P_\mathrm{N} = 37,3\,\mathrm{kW}, \quad U_\mathrm{N} = 250\,\mathrm{V}$$

habe einen Ankerwiderstand von $R_\mathrm{A} = 0,06\,\Omega$. Bei einem Gesamtwiderstand von $R_\mathrm{E} = 50\,\Omega$ im Erregerkreis und Klemmenspannung U_N betrage die Leerlaufdrehzahl $n_0 = 1200\,\mathrm{min}^{-1}$.

1. Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild des Gleichstrom-Nebenschlussmotors im stationären Betrieb (d.h. $\frac{d}{dt} = 0$).
2. Bestimmen Sie den effektiven Verkettungsfluss ${\Psi_\mathrm{E}}'$ bei Klemmenspannung U_N.
3. Geben Sie die Motordrehzahl für einen Klemmstrom I_K von $100A$ und Klemmenspannung U_N an.
4. Tragen Sie für den betrachteten Verkettungsfluss ${\Psi_\mathrm{E}}'$ den Verlauf des erzeugten Drehmoments T über der Drehzahl n auf (Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie).
5. Nun werde ein zusätzlicher Widerstand R_V von $20\,\Omega$ in den Erregerkreis geschaltet. Wie groß ist jetzt die Motordrehzahl bei einem Klemmenstrom $I_\mathrm{K} = 100\,\mathrm{A}$ und Klemmenspannung U_N?
6. Erstellen Sie für diesen Verkettungsfluss $\tilde{\Psi}'_\mathrm{E}$ die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie.
7. Welche Auswirkung hat der Vorwiderstand auf die Drehmoment-Kennlinie? Weshalb wird er dennoch verwendet?

Ergebnisse:

3. $\Psi'_{\mathrm{E}} = \frac{U_{\mathrm{N}}}{\omega_0} = 1{,}99\,\mathrm{Vs}$
4. $n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot 60\frac{s}{\mathrm{min}} = 1172\,\mathrm{min}^{-1}$
5. $T(\omega) = \frac{\Psi'_{\mathrm{E}} \cdot U_{\mathrm{N}}}{R_{\mathrm{A}}} - \omega \frac{{\Psi'_{\mathrm{E}}}^2}{R_{\mathrm{A}}} = 8291{,}7\,\mathrm{Nm} - \omega \cdot 66\,\mathrm{Nms}$
6. $\tilde{\Psi}'_{\mathrm{E}} = 1{,}42\,\mathrm{Vs}$
7. $T = 5916{,}7\,\mathrm{Nm} - \omega \cdot 33{,}6\,\mathrm{Nms}$
8. Kennlinie wird flacher
   $\Rightarrow$ geringeres Anlaufmoment
   $\Rightarrow$ höhere maximale Drehzahl

Aufgabe 4: Problematik des Anlaufstroms

Ein fremderregter Gleichstrommotor mit einer Bemessungsspannung von $U_{\mathrm{N}} = 240\,\mathrm{V}$ besitze einen Ankerwiderstand von $R_{\mathrm{A}} = 0{,}2\,\Omega$. Im Nennbetrieb des Motors betrage der Ankerstrom $I_{\mathrm{AN}} = 50\,\mathrm{A}$. Nun werde bei still stehendem Rotor ($\omega = 0$) an die Motorklemmen Bemessungsspannung angelegt.

1. Wie groß ist der sich einstellende Ankerstrom I_{AK} des Motors (Anlaufstrom)?
2. Drücken Sie den Anlaufstrom in Prozent des Bemessungsstromes I_{AN} aus.
3. Berechnen Sie den (Vor-)Widerstand R_{VA}, der in Reihe zum Ankerkreis geschaltet werden muss, um den Anlaufstrom auf 150% des Bemessungsstromes I_{AN} zu begrenzen.
4. Welche Ankerspannung ${U_{\mathrm{A}}}'$ muss nun an die Klemmen des Motors angelegt werden, damit bei gleicher mechanischer Belastung ($T, P_{\mathrm{mech}} = \mathrm{const.}$) und gleichem Erreger-Verkettungsfluss ${\Psi_{\mathrm{E}}}'$ dem Netz Bemessungsstrom entnommen wird?
5. Berechnen Sie die Verlustleistung P_{V} und den Wirkungsgrad η des Motors mit und ohne Vorwiderstand unter der Voraussetzung, dass Bemessungsstrom aufgenommen wird und die mechanische Belastung unverändert bleibt. Was schließen Sie aus den Ergebnissen?

Ergebnisse:

Lösung zu Aufgabe 4: Problematik des Anlaufstroms

1. $I_{\mathrm{AK}} = 1200\,\mathrm{A}$
2. $\frac{I_{\mathrm{AK}}}{I_{\mathrm{AN}}} = 2400\,\%$
3. $R_{\mathrm{V}} = 3\,\Omega$
4. $U'_{\mathrm{A}} = 390\,\mathrm{V}$
5. ohne R_{V}: $P_{\mathrm{V}} = 500\,\mathrm{W}$ $\quad \eta = 95{,}8\,\%$
   mit R_{V}: $P'_{\mathrm{V}} = 8000\,\mathrm{W}$ $\quad \eta = 59\,\%$

Aufgabe 5: Problematik des Anlaufstroms

Ein fremderregter Gleichstrommotor habe folgende Nenndaten:

$$P_N = 4,8\,\text{kW}, \quad U_N = 125\,\text{V}, \quad n_N = 1800\,\text{min}^{-1}$$

Der Ankerstrom im Nennpunkt betrage $I_{AN} = 40\,\text{A}$. Bei still stehendem Rotor stelle sich derselbe Ankerstrom ein, wenn an den Motorklemmen eine Spannung von $U = 5\,\text{V}$ angelegt wird.

1. Berechnen Sie den Ankerstrom I_{AK} bei stehendem Rotor, wenn die Bemessungsspannung U_N über den Motorklemmen angelegt wird.
2. Berechnen Sie den (Vor-)Widerstand R_V, der in Reihe zum Ankerkreis geschaltet werden muss, um den Anlaufstrom I_{AK} im Ankerkreis auf den doppelten Bemessungsstrom I_{AN} zu begrenzen.
3. Berechnen Sie den Verkettungsfluss $\Psi_E{}'$.
4. Welche Drehzahl n stellt sich ein, wenn der Motor mit zugeschaltetem Vorwiderstand R_V bei Bemessungsspannung U_N betrieben wird. Das Belastungsmoment T sei als unverändert anzunehmen.

Ergebnisse:

1. $I_{AK} = 1000\,\text{A}$
2. $R_V \approx 1,44\,\Omega$
3. $\Psi'_E \approx 0,637\,\text{Vs}$
4. $n \approx 948,89\,\text{min}^{-1}$

Aufgabe 6: Gleichstrom-Nebenschlussmotor

An den Motorklemmen eines Gleichstrom-Nebenschlussmotors liege die Bemessungsspannung von $U_N = 250\,\text{V}$ an. Im unbelasteten Fall stelle sich eine Drehzahl von $n_0 = 1000\,\text{min}^{-1}$ ein. Der Ankerwiderstand betrage $R_A = 0,2\,\Omega$, der Widerstand im Erregerkreis betrage $R_E = 250\,\Omega$.

1. Bestimmen Sie den Verkettungsfluss $\Psi_E{}'$ bei Bemessungsspannung U_N.
2. Bestimmen Sie die Drehzahl n des belasteten Motors bei einem Ankerstrom von $I_A = 50\,\text{A}$, wenn der Motor weiterhin mit Bemessungsspannung betrieben wird.

Ergebnisse:

1. $\Psi'_E = 2,387\,\text{Vs}$
2. $n \approx 960\,\text{min}^{-1}$

Aufgabe 7: Gleichstrom-Nebenschlussmotor

Die von einem Gleichstrom-Nebenschlussmotor bei Bemessungsspannung $U_N = 220\,V$ aufgenommene elektrische Leistung betrage $P_{el} = 11\,kW$. Unbelastet stelle sich eine Drehzahl von $n_0 = 1150\,min^{-1}$ ein. Der Ankerwiderstand R_A betrage $0,5\,\Omega$, der Widerstand im Erregerkreis $R_E = 110\,\Omega$.

1. Bestimmen Sie den Verkettungsfluss $\Psi_E{}'$ bei Bemessungsspannung.

   Berechnen Sie im Nennpunkt:

2. - die Motordrehzahl n_N,
3. - das erzeugte Drehmoment T_N
4. - und den Wirkungsgrad η_N des Motors.

Ergebnisse:

1. $\Psi'_E \approx 1,81\,Vs (1,827?)$
2. $n = \approx 1034,1\,min^{-1}$
3. $T_N = 86,88\,Nm$
4. $\eta_N = 85,5\,\%$

Aufgabe 8: Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik Reihenschlussmotor

Ein Gleichstrom-Reihenschlussmotor habe folgende Nenndaten:

$$P_N = 7,9\,kW, \quad U_N = 230\,V, \quad n_N = 1200\,min^{-1}$$

Im Nennpunkt betrage der Klemmenstrom des Motors $I_N = 36\,A$. Der Ankerwiderstand betrage $R_A = 0,2\,\Omega$, der Widerstand der Erregerwicklung $R_E = 0,1\,\Omega$. Gehen Sie davon aus, dass das Statoreisen ungesättigt ist (d.h. die Erregung $\Psi_E{}'$ sei proportional zum Strom I durch die Erregerwicklung).

1. Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Reihenschluss-Gleichstrommotors und stellen Sie die Maschengleichungen für den dynamischen und stationären Betrieb auf.
2. Berechnen Sie die wirksame Erregerinduktivität $L_E{}'$.
3. Geben Sie die Drehzahl n und das erzeugte Drehmoment T bei einem Klemmenstrom des Motors von $I = 24\,A$ an. Dabei werde die Klemmenspannung unverändert gelassen ($U = U_N$). Berechnen Sie die abgegebene mechanische Leistung P_{mech}.
4. Skizzieren Sie die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie des Reihenschlussmotors mit der Klemmenspannung U als Parameter.
5. Was passiert, wenn der Motor entlastet wird ($T = 0$)?
6. Wie kann das Drehmoment in seiner Richtung umgekehrt werden?

Ergebnisse:

1. dynamisches ESB:
   Maschengl.: $U = R_\mathrm{E} \cdot i + L_\mathrm{E} \cdot \dot{i} + R_\mathrm{A} \cdot \dot{i} + L_\mathrm{A} \cdot \dot{i} + U_\mathrm{i}$

   stationäres ESB:
   Maschengl.: $U = (R_\mathrm{E} + R_\mathrm{A}) \cdot I + U_\mathrm{i}$

2. $L'_\mathrm{E} = 48,45\,\mathrm{mH}$
3. $n = 1830\,\mathrm{min}^{-1} \quad T = 27,9\,\mathrm{Nm} \quad P_\mathrm{mech} = 5,35\,\mathrm{kW}$
4. $T(\omega) = L'_\mathrm{E} \cdot \frac{U^2}{(R+L'_\mathrm{E}\omega)^2}$
5. Motor dreht hoch und wird mechanisch zerstört.
6. Umkehrung nur durch Umpolen der Erregerwicklung

Aufgabe 9: Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik Reihenschlussmotor

Ein Gleichstrom-Reihenschlussmotor habe folgenden Nenndaten:

$$P_\mathrm{N} = 7,64\,\mathrm{kW}, \quad U_\mathrm{N} = 230\,\mathrm{V}, \quad n_\mathrm{N} = 1200\,\mathrm{min}^{-1}, \quad I_\mathrm{N} = 37\,\mathrm{A}$$

Der Widerstand der Ankerwicklung betrage $R_\mathrm{A} = 0,4\,\Omega$, der Widerstand der Erregerwicklung $R_\mathrm{E} = 0,2\,\Omega$. Gehen Sie davon aus, dass das Statoreisen ungesättigt ist.

1. Berechnen Sie die wirksame Erregerinduktivität $L_\mathrm{E}{}'$.
2. Bestimmen Sie die Drehzahl n und das erzeugte Drehmoment T sowie die abgegebene Leistung P_mech für einen Klemmenstrom von $I = 20\,\mathrm{A}$ und eine Klemmenspannung U_N.
3. Im unbelasteten Fall ($T = 0$) fließe bei einer Klemmenspannung U_N ein Klemmenstrom $I_0 = 1$ A. Welche Leerlaufdrehzahl n_0 ergibt sich nun?

Ergebnisse:

1. $LE' \approx 44,41\,\mathrm{mH}$
2. $P_\mathrm{mech} \approx 4,36\,\mathrm{kW}$
3. $n_0 \approx 49326,92\,\mathrm{min}^-1$