

Im Stillstand nimmt der Reihenschlussmotor den Strom

$$I_{AA} = \frac{U}{R_A + R_E} \gg I_{AN}$$

auf und entwickelt dabei das Stillstands- oder Anlaufmoment

$$M_{MiA} = c_{MC} \frac{U_A^2}{(R_A + R_E)^2} \gg M_{MiN} . \quad (5.16)$$

Da der erhöhte Anlaufankerstrom  $I_{AA} \gg I_{AN}$  bei derartigen Anwendungen kurzzeitig meistens zulässig ist, entwickeln Reihenschlussmotoren das größte Anlaufmoment verglichen mit Gleichstrommaschinen gleicher Baugröße. Sie werden daher bevorzugt bei erschwerten Anlaufbedingungen, z.B. als Anlasser im Kraftfahrzeug verwendet.

Im Überlastbereich, z.B. beim Einschalten, weichen aufgrund des hohen Stroms die realen Kennlinien oft durch Sättigungseffekte von den dargestellten idealen Verläufen derart ab, dass die Drehzahl mit zunehmender Belastung stärker absinkt. Aufgrund der Sättigung bleibt auch das Anlaufmoment  $M_{MiA}$  unter dem nach (5.16) berechneten Wert, was insbesondere bei den handgeführten Geräten wie Bohrmaschinen oder Handkreissägen mit Reihenschlussmotoren die Arbeitssicherheit verbessert. Daher werden diese so ausgelegt, dass die Polschuhe und das Statorjoch bei Nennbetrieb in Sättigung betrieben wird. Im Nennbetrieb und bei Strömen oberhalb des Nennstroms wird dann aufgrund der Sättigung

$$M_{Mi} \sim I_A ,$$

d.h. die Motoren weisen in diesem Betriebsbereich ein Nebenschlussverhalten auf.

Eine besondere Anwendung der Reihenschlussmaschine ist der sogenannte *Universalmotor*. Dieser Motor kann sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom betrieben werden, da aufgrund der Reihenschaltung von Anker- und Erregerwicklung der Ankerstrom und der Erregerfluss stets die passende Richtung zueinander aufweisen. Universalmotoren werden häufig in elektrischen Haushaltsgeräten und elektrischen Werkzeugen eingesetzt und sind daher weit verbreitet.

## 5.4 Aufgaben

Die Lösung der Aufgaben 1–3 dienen der Vertiefung der Inhalte des vorliegenden Kapitels und der Übung im Umgang mit Gleichstrommaschinen. Sie sind für die Versuchsdurchführung hilfreich aber nicht unbedingt erforderlich. Insbesondere die Lösung der Aufgabe 3 verbessert das Verständnis für die Bearbeitung der Aufgabe 4.

Die Aufgaben 4a), 5a) und 5b) sind zur Versuchsvorbereitung erforderlich. Die übrigen Aufgaben werden am Versuchstag im Labor bearbeitet. Verwenden und beachten Sie bei der Durchführung der Arbeiten am Prüfstand die dort verfügbare Dokumentation.

### Aufgabe 1

Für eine fremderregte Gleichstrommaschine werden vom Hersteller folgende Nenndaten angegeben:

$$U_{AN} = 200 \text{ V} \quad M_{MiN} = 2 \text{ Nm} \quad c_E \Psi_N = 6 \text{ Vs} \quad R_A = 8 \Omega \quad .$$

- a) Berechnen Sie bei Ankernennspannung die Leerlaufdrehzahl  $N_{N0}$  und die Nenndrehzahl  $N_N$  und skizzieren Sie die Drehzahl–Drehmomentkennlinie für den Bereich  $M_{Mi} \in [0 \quad M_{MiN}]$  in einem Diagramm.

- b) Skizzieren Sie die Drehzahl–Drehmomentkennlinie für  $U_A = 180 \text{ V}$  in das im vorhergehenden Aufgabenteil erstellte Diagramm.
- c) Mit welcher Maßnahme kann die Leerlaufdrehzahl über den Punkt  $N_{N0}$  hinaus gesteigert werden?
- d) Für die Maximaldrehzahl der Maschine im Leerlauf gilt  $N_{0\max} = 2600 \text{ min}^{-1}$ . Auf welchen Wert muss der Wert  $c_E \Psi_{\min}$  mindestens eingestellt sein, damit die Drehzahl  $N_{0\max}$  im Leerlauf nicht überschritten wird?
- e) Skizzieren Sie die Drehzahl–Drehmomentkennlinie durch den Punkt mit der Leerlaufdrehzahl  $N_{0\max} = 2600 \text{ min}^{-1}$  in das oben erstellte Diagramm ein.

## Aufgabe 2

Für eine permanentmagneterregte Gleichstrommaschine gibt der Hersteller folgende Daten an:

Nennspannung	$U_{AN}$ :	1.8	V	Leerlaufstrom	$I_{A0}$ :	35.1	mA
Leerlaufdrehzahl	$N_{N0}$ :	11100	$\text{min}^{-1}$	Nenndrehzahl	$N_N$ :	7950	$\text{min}^{-1}$
Anhaltmoment	$M_{AH}$ :	2.32	mNm	Nennmoment	$M_N$ :	0.682	mNm

Das Anhaltmoment  $M_{AH}$  ist dasjenige Drehmoment, bei dem der Motor bis zum Stillstand abgebremst wird.

- a) Zeichnen Sie die Drehzahl–Drehmomentkennlinie bei Nennspannung und für  $U_A = 0.9 \text{ V}$ . Zeichnen Sie den Nennpunkt ein.
- b) Der Leerlaufstrom  $I_{A0}$  beschreibt den Strom, der bei Nennspannung ohne ein äußeres Lastmoment an der Welle in den Ankerwicklungen fließt. Diskutieren Sie die Ursache für diesen Strom.
- c) Nun wird  $I_{A0} = 0$  angenommen. Bestimmen Sie aus den oben angegebenen Daten die Parameter  $c_E \Psi$  und  $R_A$  des Motors.

## Aufgabe 3

Für eine permanentmagneterregte Gleichstrommaschine gibt der Hersteller folgende Daten an:

Nennspannung	$U_{AN}$ :	24	V	Leerlaufstrom	$I_{A0}$ :	0.5	A
Leerlaufdrehzahl	$N_{N0}$ :	3600	$\text{min}^{-1}$	Nenndrehzahl	$N_N$ :	3300	$\text{min}^{-1}$
Nennstrom	$I_{AN}$ :	4.9	A	Nennmoment	$M_N$ :	270	mNm

- a) Bestimmen Sie die Parameter  $R_A$  und  $c_E \Psi$  der Maschine unter der Annahme, dass  $I_{A0} = 0$  gilt.
- b) Bestimmen Sie die Parameter  $R_A$  und  $c_E \Psi$  unter Berücksichtigung des angegebenen Leerlaufstroms.
- c) Bestimmen Sie das Reibmoment  $M_R$  der Maschine unter der Annahme, dass das Reibmoment über den gesamten Drehzahlbereich konstant ist.
- d) Die Maschine wird nun an einem Prüfstand betrieben und durch eine andere Maschine mit einer Drehzahl  $N = 3000 \text{ min}^{-1}$  angetrieben. An die Klemmen der Gleichstrommaschine wird ein Spannungsmessgerät angeschlossen. Welche Spannung zeigt dieses Messgerät an?

### Aufgabe 4

Für die fremderregte Gleichstrommaschine aus dem Labor Antriebstechnik sollen die Parameter  $c_E \Psi_N$  und  $R_A$  durch Messung von Prozessgrößen ermittelt werden. Als Messgrößen stehen der Ankerstrom  $I_A$ , die Ankerspannung  $U_A$  und die Drehzahl  $N$  zur Verfügung.

- a) Entwickeln Sie ein Verfahren, mit denen die gewünschten Größen berechnet werden können. Beschreiben Sie dazu, welche Messgrößen in welchen Betriebspunkten verwendet werden und geben Sie die Beziehungen zur Berechnung der jeweiligen Parameter aus den Messgrößen an. Berücksichtigen Sie beim Entwurf der Verfahrens Ihre Überlegungen zur Lösung der Aufgabe 3.

Die Messung der Prozessgrößen  $I_A$  und  $N$  ist mit Fehlern behaftet. Zur Verbesserung der Schätzergebnisse für die Parameter  $c_E \Psi_N$  und  $R_A$  sollen daher für jede Berechnung mindestens 3 Messungen durchgeführt werden. Der Schätzwert für einen Parameter ergibt sich dann aus dem Mittelwert der Parameter, die mit den Messdaten aus den einzelnen Messungen berechnet wurden.

- b) Entwerfen Sie in einer Excel-Arbeitsmappe ein Excel-Arbeitsblatt in das Sie die im Versuch aufgenommenen Messwerte eintragen und mit dem die gewünschten Parameter aus den Messwerten bestimmt werden.

Bestimmen Sie damit die Parameter  $c_E \Psi_N$  und  $R_A$ .

### Aufgabe 5

Für die fremderregte Gleichstrommaschine aus dem Labor Antriebstechnik soll die Magnetisierungskennlinie, d.h. die Kennlinie  $c_E \Psi(I_E)$  der Erregerspule bestimmt werden.

- a) Entwickeln Sie ein Verfahren, mit dem die Magnetisierungskennlinie ermittelt werden kann.
- b) Die Messungen zur Bestimmung der Magnetisierungskennlinie erfordern offensichtlich eine Änderung des Erregerstroms  $I_E$ . Was muss dabei abhängig von der Betriebsart der Maschine beachtet werden?
- c) Erweitern Sie Ihre Excel-Arbeitsmappe um ein weiteres Arbeitsblatt, mit dem Sie aus den Messdaten die Magnetisierungskennlinie ermitteln können. Bestimmen Sie damit die Magnetisierungskennlinie.
- d) Zeichnen Sie den Nennpunkt in die gemessene Magnetisierungskennlinie ein und begründen Sie, warum der Nennfluss in diesem Bereich festgelegt wird. Vergleichen Sie dazu die beiden Arbeitspunkte  $I_{E1} = I_{EN}$  und  $I_{E2} = \frac{1}{2} I_{EN}$ :
1. Bestimmen Sie den für einen Betrieb mit Nennmoment erforderlichen Ankerstrom jeweils für  $I_{E1}$  und  $I_{E2}$ .
  2. Bestimmen Sie graphisch anhand der gemessenen Kennlinie die Änderung  $\Delta c_E \Psi$  die sich im jeweiligen Arbeitspunkt bei einer Änderung von  $I_E$  um  $\pm 50 \text{ mA}$  ergibt.

Beurteilen und begründen Sie anhand dieser Ergebnisse, welcher der beiden Arbeitspunkte günstiger ist.

## Aufgabe 6

Bestimmen Sie aus den Daten auf dem Leistungsschild der fremderregten Gleichstrommaschine aus dem Prüfstand das Nennmoment und den Wirkungsgrad im Nennpunkt .

## Aufgabe 7

- a) Messen Sie die Drehzahl–Drehmomentkennlinie der fremderregten Gleichstrommaschine aus dem Labor Antriebstechnik.
- b) Berechnen Sie mit den in der Aufgabe 4 ermittelten Parametern eine Drehzahl–Drehmomentkennlinie und zeichnen Sie diese in das gemessene Kennlinienfeld ein. Vergleichen Sie die berechneten und gemessenen Verläufe und diskutieren Sie die Unterschiede bzgl. der Genauigkeit der Messwerte.

# Aufgabe 4

→ Fremderregte Gleichstrommaschine

geg:  $I_A =$                       ges:  $c_E \psi_N = ?$   
 $U_A =$                                $R_A = ?$   
 $N =$

$$U_A = R_A I_A + U_i = R_A I_A + c_E \psi N$$

$$N = \frac{U_A}{c_E \psi} - \frac{2\pi R_A}{c_E^2 \psi^2} M_{mi} = \frac{U_A}{c_E \psi} - \frac{2\pi R_A}{c_E^2 \psi^2} \cdot \left( \frac{1}{2\pi} \cdot c_E \psi I_A \right)$$

$$\rightarrow R_A = \frac{U_A - c_E \psi N}{I_A}$$

$$N = \frac{U_A}{c_E \psi} - \frac{2\pi \left( \frac{U_A - c_E \psi N}{I_A} \right)}{c_E^2 \psi^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot c_E \psi I_A$$

$$= \frac{U_A}{c_E \psi} - \frac{U_A - c_E \psi N}{c_E \psi} =$$



$$N = \frac{U_A}{c_E \psi} - \frac{\left( \frac{U_A - c_E \psi N}{I_A} \right)}{c_E^2 \psi^2} \cdot c_E \psi I_A$$

$$= \frac{U_A}{c_E \psi} - \frac{U_A - c_E \psi N}{c_E \psi} = \frac{U_A - (U_A - c_E \psi N)}{c_E \psi} = \frac{c_E \psi N}{c_E \psi} = N$$

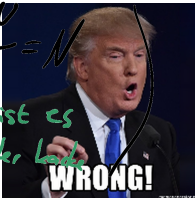
Dann ist es halt kacke

$$N = \frac{R_A I_A + U_i}{c_E \psi} - \frac{2\pi R_A}{c_E^2 \psi^2} \cdot \frac{c_E \psi I_A}{2\pi} = \frac{R_A I_A + U_i}{c_E \psi} - \frac{R_A I_A}{c_E \psi} = \frac{U_i}{c_E \psi} = \frac{c_E \psi N}{c_E \psi} = N$$

$$N_{No} = \frac{U_{AN}}{c_E \psi_N} \Rightarrow$$

$$c_E \psi = \frac{U_{AN}}{N_{No}} \rightarrow \text{Leerlauf}$$

$$R_A = \frac{U_A - c_E \psi N}{I_A} = \frac{U_A - \frac{U_{AN}}{N_{No}} N}{I_A} = \frac{U_A - U_{AN} \frac{N}{N_{No}}}{I_A} \rightarrow \text{stationär}$$



## Aufgabe 5

$$a) (C_E = 2 Z_P \frac{W_A}{2\pi^2} = Z_P \frac{W_A}{\pi^2})$$

$$I_E \sim \frac{U_A}{N}$$

$$\psi_E C_E = \frac{U_A}{N}$$

## Aufgabe 6

$$3000 \text{ min}^{-1} = 50 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Nennmoment} = ? = M_N$$

$$\text{Wirkungsgrad im Nennpunkt} = ? = \eta_N$$

$$N = \frac{U_A}{C_E \psi} - \frac{2\pi R_A}{C_E^2 \psi^2} M_{Mi}$$

$$N - \frac{U_A}{C_E \psi} = - \frac{2\pi R_A}{C_E^2 \psi^2} M_{Mi}$$

$$M_N = + \left( N - \frac{U_A}{C_E \psi} \right) \cdot \frac{1}{\frac{2\pi R_A}{C_E^2 \psi^2}} = \frac{N - \frac{U_A}{C_E \psi}}{\frac{2\pi R_A}{C_E^2 \psi^2}} = \frac{N - \frac{U_A}{C_E \psi}}{\frac{2\pi \cdot \frac{U_A - C_E \psi N}{I_A}}{C_E^2 \psi^2}}$$

$$\eta_N = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{550 \text{ W}}{U_A \cdot I_A} = \frac{550 \text{ W}}{180 \text{ V} \cdot 4,5 \text{ A}} = 67,9 \%$$

$$M_N = \frac{50 \text{ s}^{-1} - \frac{180 \text{ V}}{3,03 \text{ Vs}}}{\frac{2\pi \cdot \frac{180 \text{ V} - (3,03 \text{ Vs} \cdot 50 \text{ s}^{-1})}{4,5 \text{ A}}}{(3,03 \text{ Vs})^2}} = -0,093 \text{ Nm}$$

$$U_A = R_A \cdot I_A + U_i$$

$$U_A = R_A I_A + \underbrace{C_E \omega N}_{U_i}$$

$$\hookrightarrow C_E \omega N = \frac{U_A}{N}$$

$$C_E \omega N = U_A - R_A I_A$$

$$C_E \omega = \frac{U_A - R_A I_A}{N} \quad I_A = \frac{U_A - C_E \omega N}{R_A}$$

$$I_A = \frac{M_{mi}}{L_{m\psi}} \Rightarrow \frac{2\pi M_N}{C_E \psi} = I_A$$

$$P = 2\pi \cdot M \cdot N$$

$$M_N = \frac{P_N}{2\pi N_N} = \frac{550W}{2\pi \cdot 50 \frac{1}{s}} = 1,75 Nm$$

$$I_{A,E1} = \frac{2\pi M_N}{C_E \psi} = \frac{2\pi \cdot 1,75 Nm}{3,03 V_s} = 3,63 A$$

$$I_{A,E2} = \frac{2\pi \cdot 1,75 Nm}{2,5 V_s} = 4,40 A$$

## Aufgabe 7

Eigene Linie bei 60V berechnen und in Screenshot überlagern