

Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	Praktikum elektrische Antriebe Bürstenloser Gleichstrommotor	Arbeitsblätter A 5 Blatt 1 von 5 Groß 10/10
---	---	--

	Blatt	Ausgabe
0 Inhaltsverzeichnis	1	Okt. '10
1 Schaltung des Versuchsaufbaus	2	Okt. '10
2 Berechnungsformeln	2	
3 Vorbereitung	3	Okt. '10
4 Versuchsdurchführung		
4.1 Leerlaufmessung	3	
4.2 Belastungsmessung	4	Okt. '10
5 Programmierung einer Rampe	4	
6 Protokollblätter		
6.1 Leerlaufmessung	5	Okt. '10

Die Exceltabelle mit den Diagrammen können auf Sie auf einen Speicher-Stick auslesen und mitnehmen. Bitte einen USB-Stick mitbringen.

Hinweise und Erläuterungen:

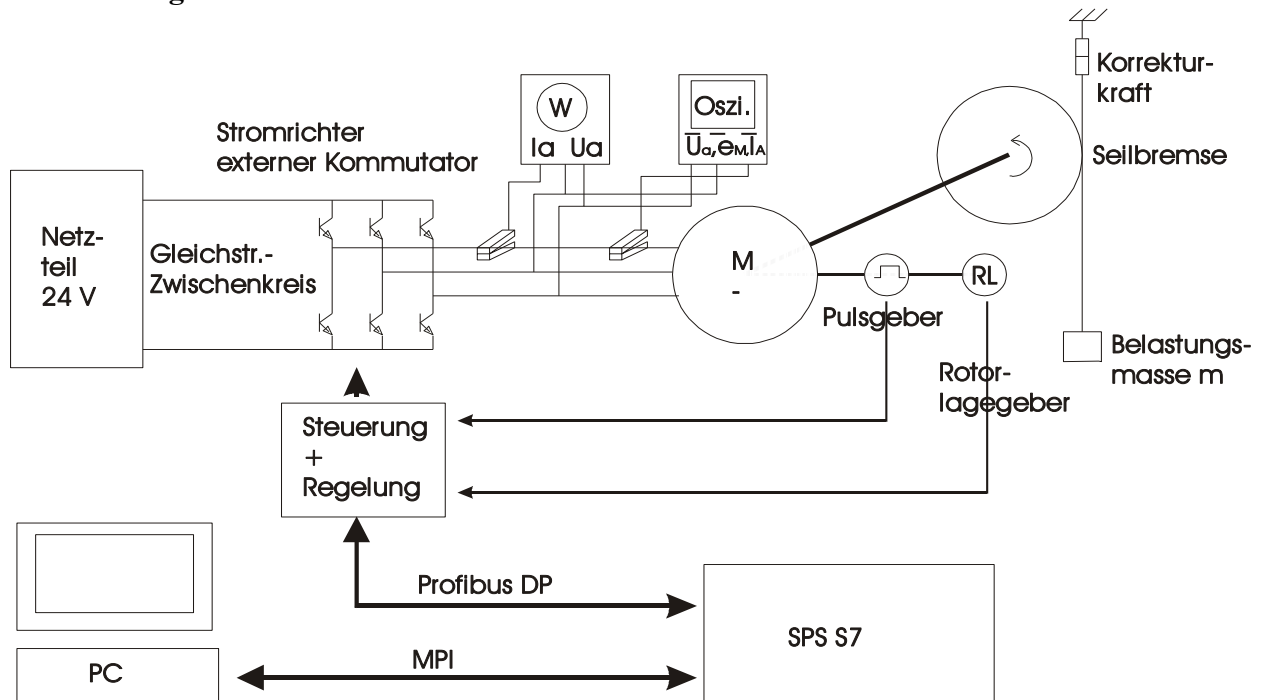
Vorlesungsmanuskript Dr. Zägelein. Allgemeine Unterlagen E 0.1,
Erläuterungen zum Versuch bürstenloser Gleichstrommotor E 5

Was Sie für den Bericht tun sollen (Aufgaben und Diagramme) ist im Text durch die Schriftart **Arial** hervorgehoben.

Achtung:

- Sie arbeiten mit gefährlicher Spannung!
- Keine blanken Anschlüsse berühren!
- Schaltungsänderungen nur in abgeschaltetem Zustand vornehmen!
- Drehende Teile nicht berühren!
- Gefahr durch Überdrehzahl und weggeschleuderte Teile!
- Erschwerte Verständigung durch Lärm.
- Inbetriebnahme erst nach Freigabe der Schaltung durch den Praktikumsleiter.

1 Schaltung des Versuchsaufbaus:



2 Berechnungsformeln:

Abgegebene Motorleistung $P_{\text{mech}} = M_{\text{Last}} \cdot \omega_M = M_{\text{Last}} \cdot 2\pi \cdot n_M$ oder $\frac{P_{\text{mech}}}{W} = \frac{\frac{M_{\text{Last}}}{Nm} \cdot \frac{n_M}{\text{min}^{-1}}}{9,55}$

M_{Last} = Belastungsdrehmoment, ω_M = Motorwinkelgeschwindigkeit, n_M = Motordrehzahl.

Zugeführte elektrische Leistung $P_{\text{el}} = P_A = \bar{u}_A \cdot \bar{i}_A = 2 \cdot \bar{u}_{\text{An}} \cdot \bar{i}_{\text{An}}$ $P_{\text{el}}^* = \sqrt{3} \cdot U_A \cdot I_A$

Wirkungsgrad $\eta_M = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{el}}}$ $\eta_M^* = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{el}}^*}$

Wichtig ist bei jedem Antrieb die Drehmomentbilanz:

Es gilt im stationären Betrieb:

Beschleunigungsdrehmoment $M_{\text{Beschl}} = J_{\text{Ges}} \cdot \frac{d\omega_M}{dt} = J_{\text{Ges}} \cdot \frac{2\pi \cdot dn_M}{dt}$ $M_M = M_{\text{Last}} + M_{\text{Beschl}}$
 $M_M = M_{\text{Last}}$

Spannungskonstante $K_E = \frac{\Delta \bar{e}_M}{\Delta \omega_M} = \frac{\Delta \bar{e}_M}{2\pi \cdot \Delta n_M} \text{ Einh. } \frac{Vs}{\text{rad}}$ $K_E^* = \frac{\Delta U_A}{\Delta n_M} \text{ Einh. } \frac{V}{1000 \text{ min}^{-1}}$

Drehmomentkonstante $K_T = \frac{\Delta M_M}{\Delta \bar{i}_{\text{An}}} \text{ Einh. } \frac{Nm}{A}$ $K_T^* = \frac{\Delta M_M}{\Delta I_A} \text{ Einheit } \frac{Nm}{A}$

Drehzahleneinheiten sind: $1 \text{ min}^{-1} = 10^{-3} (1000 \text{ min}^{-1}) = 1/60 \text{ s}^{-1}$.

Winkelgeschwindigkeitseinheiten sind: $1 \text{ rad s}^{-1} = 1/(2\pi) \text{ s}^{-1}$.

Werte mit * sind die hier nicht richtigen Größen aus den Messungen mit dem Effektivwertmessgerät.

Gemäß der Theorie des permanentenregten, bürstenlosen Gleichstrommotors sind die oben genannten Konstanten gleich der Motorkonstante c_M . Wird die Einheit bei K_E in Vs/rad und bei K_T in Nm/A angegeben, dann haben alle 3 Größen den gleichen Zahlenwert. Es gilt: $c_M = K_E = K_T$. Es ist Vs/rad = Nm/A.

Umrechnung von $V/1000 \text{ min}^{-1}$ in Vs/rad erfolgt durch Multiplikation mit $9,549 \cdot \text{s/rad} \cdot \text{min} (= 60\text{s}/(2\pi \cdot \text{min}))$.

Die Tachokonstante am Versuchsmotor ist $k_{\text{Tacho}} = \frac{\Delta U_{\text{Tacho}}}{\Delta n_M} = 0,627 \frac{V}{1000 \text{ min}^{-1}} = 0,627 \cdot 10^{-3} \frac{V}{\text{min}^{-1}} = 37,62 \cdot 10^{-3} \frac{V}{\text{s}^{-1}}$.

Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	Praktikum elektrische Antriebe Bürstenloser Gleichstrommotor	Arbeitsblätter A 5 Blatt 3 von 5 Groß 10/10
---	---	--

3 Vorbereitung

Vergleichen Sie das Funktionsprinzip des normalen Gleichstrommotors mit dem des bürstenlosen Gleichstrommotors (Manuskript Prof. Dr. Zägelein, Abschnitt 4).

Was sind die wesentlichen Unterschiede?

Welche Vorteile hat der bürstenlose gegenüber dem normalen Gleichstrommotor?

Berechnen Sie das Trägheitsmoment der Alu-Bremsscheibe mit den Abmessungen

Durchmesser	d ca. 210 mm
Dicke	$b = 22$ mm
Spez. Dichte	$\rho = 2,8 \cdot 10^3$ kg/m ³ .

Für das Trägheitsmoment rotationssymmetrischer Teile gilt auf die Drehachse bezogen

$$J = \frac{1}{8} \cdot m \cdot d^2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot b \cdot \rho \cdot d^2 = \frac{\pi}{32} \cdot \rho \cdot b \cdot d^4.$$

Trägheitsmoment der Bremsscheibe: $J = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$ kg m².

Die Seilbremse wirkt auf einen Durchmesser von $d = 200$ mm. **Wie lautet die allgemeine Gleichung und die Gleichung mit den vorhandenen Größen für das Drehmoment?**

Allgemein: $M_{\text{Last}} = \dots\dots\dots$), mit den vorh. Größen $M_{\text{Last}} = \dots\dots\dots$

(Berücksichtigen Sie die Korrekturkraft F_{Korr} an der Seilfixierung.)

Überlegen Sie die Messfehlermöglichkeit durch die Effektivwertmessung von Strom, Spannung und Leistung mit dem Vielfachinstrument bezüglich der trapezförmigen Motorspannung \bar{u}_A und dem blockförmigen Ankerstrom \bar{i}_A . (Vergl. Erklärungen E 5, Punkt 2.)

(Hinweis: Wir untersuchen hier einen bürstenlosen Gleichstrommotor, der zwar 3 Stränge hat, aber kein Drehstrommotor ist! Es sind immer nur 2 Stränge stromführend.)

4 Versuchsdurchführung

4.1 Leerlaufmessung

Die Belastung an der Seilbremse ist näherungsweise zu Null zu machen (kein Gewicht in der Schale, Seil locker lassen).

Für die angegebenen Drehzahlen sind am Vielfachmessgerät die Effektivwerte der Motorspannung U_A , des Motorstroms I_A und der zugeführten Wirkleistung P_{el}^* zu messen und in die Excel-Tabelle einzutragen.

Ausarbeitung:

Aus dem Excel-Programm kann der Verlauf der Motorspannung U_A in Abhängigkeit der Drehzahl n_M als Diagramm ausgedruckt werden. **Berechnen Sie aus diesem Diagramm die Spannungskonstante K_E^* in V/1 000 min⁻¹ und in Vs/rad.** Linearisieren Sie dazu den Kennlinienverlauf und zeichnen Sie ein großes Steigungsdreieck ein.

Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik	Praktikum elektrische Antriebe Bürstenloser Gleichstrommotor	Arbeitsblätter A 5 Blatt 4 von 5 Groß 10/10
---	---	--

4.2 Belastungsmessung

Es sind Belastungsmessungen bei den Drehzahlen 540 min^{-1} , 900 min^{-1} und $1\,530 \text{ min}^{-1}$ mit den in der Excel-Tabelle angegebenen Belastungsmassen durchzuführen und die Messwerte einzutragen. Die Dachwerte des Ankerstroms \bar{i}_A sind am Oszilloskop zu messen. (Oszilloskop-Einstellanweisungen liegen am Versuchstisch aus.) Für die Nennbelastung mit $\bar{i}_A = 5,25 \text{ A}$ in der jeweils letzten Zeile der 3 Drehzahlstufen ist das Belastungsgewicht durch Probieren zu ermitteln.

Ausarbeitung:

Aus dem Excel-Programm werden die Kennlinien $M_M = f(I_A \text{ bzw. } \bar{i}_A)$ und $\eta_M^* = f(M_M)$ für die 3 Drehzahlen ausgedruckt.

Berechnen Sie für beide Funktionen $M_M(I_A)$ bzw. $M_M(\bar{i}_A)$ die Drehmomentkonstanten K_T^* und K_T aus den linearisierten Kennlinien mit Hilfe großer Steigungsdreiecke. Vergleichen Sie die beiden Werte. Welcher Wert ist der Richtige? Und warum? (Messfehler sind nicht die Ursache!)

Tragen Sie im Protokollblatt 6.1 die gemessenen Werte aus der Exceltabelle ein und **berechnen** \bar{u}_A mit der in 4.3 bei 540 min^{-1} gemessenen induzierten Gegenspannung aus $\bar{u}_A = \bar{e}_M + R_A \cdot \bar{i}_A$. (R_A zwischen 2 Motorklemmen ist etwa $0,5 \Omega$). **Berechnen Sie** dann die zugeführte elektr. Leistung $P_{el} = P_A = \bar{u}_A \cdot \bar{i}_A$, sowie mit der im Excel-Programm berechneten abgegebenen Leistung P_{mech} den Wirkungsgrad η_M . **Tragen Sie** dann η_M in das ausgedruckte Diagramm $\eta_M^* = f(M_M)$ ein und **vergleichen** die beiden Wirkungsgrade η_M und η_M^* bei 540 min^{-1} miteinander. **Benennen Sie die richtige Größe.**

4.3 Messung der induzierten Gegenspannung

Ermitteln Sie am Oszilloskop die Dachwerte der induzierten Gegenspannung $\bar{e}_M = 2\bar{e}_{Mn}$ für die Drehzahlen 540 min^{-1} , 900 min^{-1} und $1\,800 \text{ min}^{-1}$ und tragen diese Werte in die Exceltabelle ein. (Motor auf Drehzahl bringen, abschalten und am Oszilloskop die gespeicherte induzierte Gegenspannung ablesen. Oszilloskopeinstellung gemäß Vorlage.)

Die Kennlinie $\bar{e}_M(n_M)$ wird im Excel-Diagramm $U_A(n_M)$ ausgedruckt. **Berechnen Sie** aus dieser Funktion die Spannungskonstante K_E in Vs/rad des Motors. (Linearisieren, großes Steigungsdreieck.) **Vergleichen Sie** die Werte von K_E^* und K_E . **Welcher Wert ist der Richtige? Und warum?** (Messfehler sind hier nicht gemeint!) **Vergleichen Sie** K_E mit K_T . **Stimmt die Gleichung** der Motorkonstanten $c_M = K_E = K_T$?

In den Exceldiagrammen $M_M = f(n_M)$ und $P_{mech} = f(n_M)$ ist der Bemessungs- und ein Teillastbetrieb dargestellt. **Wie lässt sich dieses Lastverhalten beschreiben?** (Vergl Erläuterung E 4, Bl. 4.)

Ist die Drehmomentcharakteristik des bürstenlosen Gleichstrommotors dafür geeignet?

Tragen Sie im $M_M = f(n_M)$ -Diagramm die Spannungsgrenzkurve aus E 5, Bild 1 ein.

Was passiert, wenn am Bemessungspunkt $0,48 \text{ Nm}$, $1\,500 \text{ min}^{-1}$ (Spannungsgrenze) das Lastdrehmoment erhöht wird?

5 Programmierung einer Rampe

Programmieren Sie im Verfahrssatz 3 einen Fahrbefehl mit z.B. 100 Umdrehungen, max. Drehzahl ca. 1400 min^{-1} , das sind etwa 80 % der max. Drehzahl. Der Motor fährt einen trapezförmigen Drehzahl/Zeit-Schritt, den Sie am Oszilloskop (neue Einstellung!) abspeichern können. **Ermitteln** Sie aus dem linearen Abschnitt der Anstiegsrampe den Drehzahlanstieg $\Delta n_M / \Delta t$. **Berechnen Sie** mit der Tachokonstante k_{Tacho} (Blatt 2) die Drehbeschleunigung und mit dem berechneten Trägheitsmoment das Beschleunigungsdrehmoment. Es ist

$$\frac{\Delta U_{\text{Tacho}}}{\Delta t} = \frac{\Delta n_M}{\Delta t} \cdot k_{\text{Tacho}} = \frac{\Delta U_{\text{Tacho}}}{\Delta t_{\text{Tacho}} \cdot k_{\text{Tacho}}} = \dots \frac{\text{s}^{-1}}{\text{s}}$$

und
$$M_{\text{Beschl}} = J_{\text{Ges}} \cdot \frac{2\pi \cdot \Delta n_M}{\Delta t} = \dots \text{Nm.}$$

Wie groß ist das Verhältnis Beschleunigungsdrehmoment zu Bemessungsdrehmoment = 0,48 Nm und **was lässt sich daraus aussagen?**

$$\frac{M_{\text{Beschl}}}{M_{\text{M Bem}}} = \dots$$

Das ermittelte Beschleunigungsdrehmoment können Sie im $M_M = f(n_M)$ - Diagramm als Grenzlinie **einzeichnen**. So wird neben der Spannungsgrenze auch die Stromgrenze sichtbar.

6 Protokollblätter

6.1 Belastungsmessung mit 540 min^{-1} :

Belastungs- masse m/g	Drehmoment $M_M =$ $M_{\text{Last}}/\text{Nm}$ (Exceltab.)	Motor- strom \bar{i}_A/A (Exceltab.)	Klemmen- spannung \bar{u}_A/V	Zugeführte Leistung $P_{\text{el}} = P_A/\text{W}$ $P_A = \bar{u}_A \cdot \bar{i}_A$	abgegebene Motorleistung P_{mech}/W (Exceltabelle)	Wirkungs- grad η_M	Wirkungs- grad η_M^* (Exceltab.)
0							
150							
300							
450							
(Bei $\bar{i}_A = 5,25\text{A}$)							

Bitte drucken Sie auch die Messwerttabelle aus und fügen sie dem Bericht bei.