

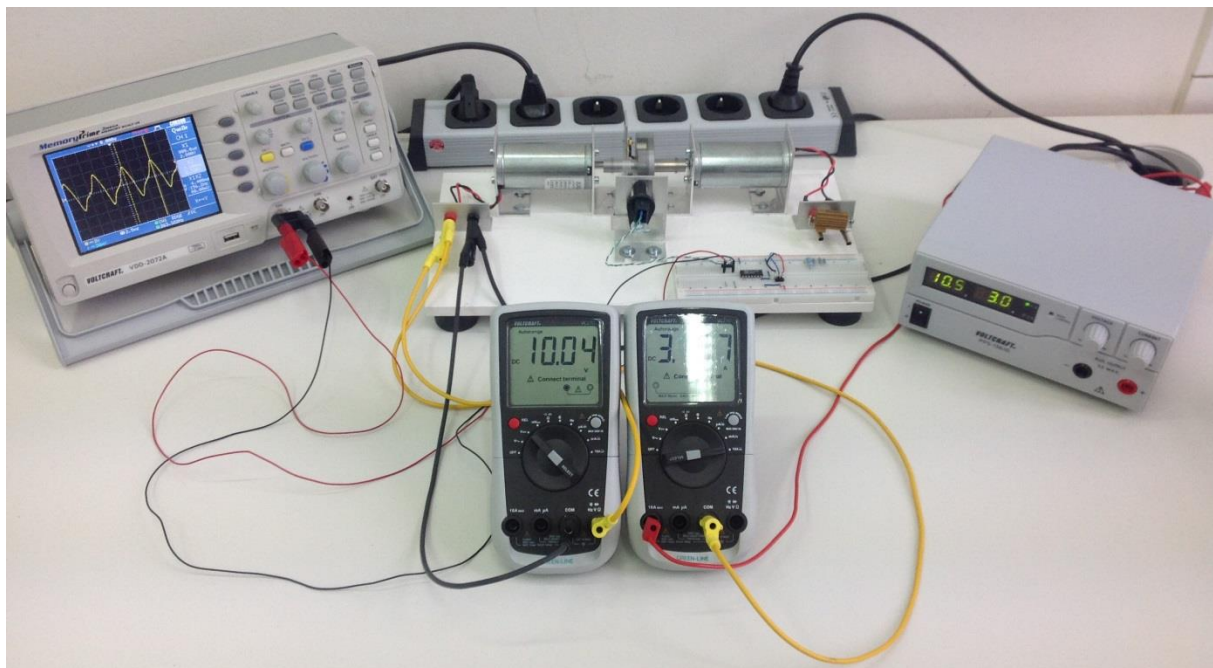


## Versuch 1: Motorkennlinie eines permanenterregten Gleichspannungsmotors

In einem modernen PKW sind viele Gleichstromantriebe verbaut.

Beispiele: Kühler-Lüfter-Motor, Scheibenwischermotor, Fensterhebermotor, Lüftermotor für Heizung/Klimaanlage, Sitzverstellung, elektromechanische Servolenkung...

Ziel dieses Versuches ist die Bestimmung der Momentenkennlinien eines unbekannten Gleichstrommotors mittels leicht messbarer elektrischer und mechanischer Größen und ihrer formelmäßigen Zusammenhänge, ohne direkte Messung des Drehmoments.





## 1. Vorbetrachtungen zum Gleichspannungsmotor (vereinfachte Darstellung):

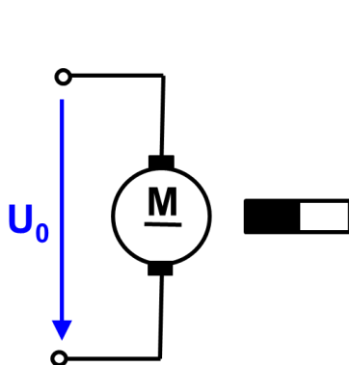


Bild 1: Schaltzeichen

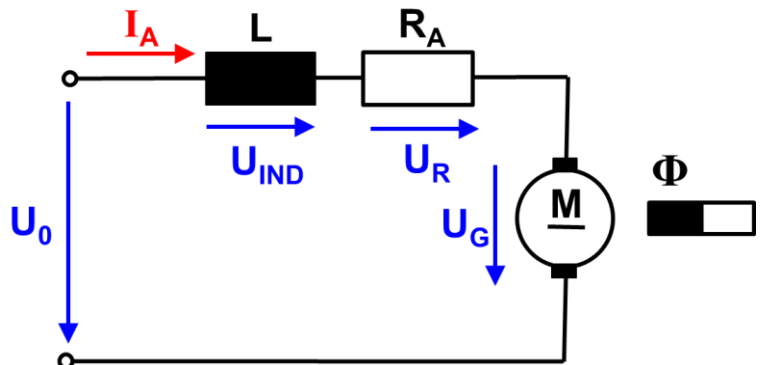


Bild 2: Ersatzschaltbild

$U_0$  = von außen angelegte Ankerspannung

$U_G$  = induzierte Spannung in der Ankerwicklung aufgrund der Bewegung der Leiterschleifen

$U_{IND}$  = Spannung aufgrund der Selbstinduktion der Ankerspule bei Stromänderung, es gilt:

$$U_{ind} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{dI_A}{dt} \quad \text{Gl. (1)}$$

$I_A$  = Ankerstrom

$\Phi$  = magnetischer Erregerfluß

$R_A$  = Summe aller Widerstände im Ankerkreis

$L_A$  = Ankerinduktivität

Wichtig:  $R_A$  hängt vom Betriebszustand ab und ist deshalb nicht direkt messbar. Der Kupferwiderstand der Induktivität ist dabei nur ein Teil von  $R_A$ !

Im Ersatzschaltbild (Bild 2) sind die elektrischen Eigenschaften des Gleichstrommotors nachgebildet. Bei der Rotation des Ankers in dem feststehenden Erregermagnetfeld wird in den Ankerleitern gemäß dem „Induktionsgesetz der Bewegung“ eine Spannung induziert, diese wird durch  $U_G$  symbolisiert.  $U_G$  hängt von der Drehgeschwindigkeit  $\omega$  ( $=2\pi n$ ) und dem magnetischen Fluß  $\Phi$  ab:

$$U_G = c \cdot \omega \cdot \Phi \quad \text{Gl. (2) mit } \omega = 2\pi n$$

$c$  ist eine feld- und geometrieabhängige „Maschinen-Konstante“

$\omega$  ist die Kreisfrequenz der Drehung,  $n$  ist die Drehfrequenz



Gemäß Maschenregel gilt in Bild 2:

$$U_{IND} + U_R + U_G - U_0 = 0 \quad \text{Gl. (3)}$$

mit  $U_{ind} = L \cdot \frac{dI_A}{dt}$  und  $U_R = R_A \cdot I_A$

wobei  $U_{IND}$  die beim Hochlauf in der Ankerinduktivität induzierte Spannung ist. Wenn die elektrische Zeitkonstante klein gegenüber der mechanischen Hochlaufzeitkonstanten ist, kann  $U_{IND} = 0$  gesetzt werden! Dies ist in der Praxis oft der Fall, deshalb gehen wir von dieser im Folgenden aus.

Damit ist die induzierte Spannung in der Ankerwicklung näherungsweise:

$$U_G = U_0 - R_A \cdot I_A \quad \text{Gl. (4)}$$

Aus Gl (4) wird mit Gl (2):

$$\omega \cdot c \cdot \Phi = U_G = U_0 - R_A \cdot I_A \quad \text{(Gl. 5)} \quad \text{oder} \quad n = \frac{U_G}{2\pi \cdot c \cdot \Phi} = \frac{U_0 - R_A \cdot I_A}{2\pi \cdot c \cdot \Phi} \quad \text{Gl. (6)}$$

weil gilt:  $\omega = 2\pi \cdot n$

Wie man sieht, ist die Drehzahl  $n$  eine Funktion von  $U_G$ , und zwar in Form einer Geradengleichung durch den Ursprung mit der Steigung

$$a = \frac{1}{2\pi \cdot c \cdot \Phi}.$$

Die Motordrehzahl  $n$  kann beeinflusst werden durch:

- Verändern der Ankerspannung  $U_0$
- Verändern des magnetischen Flusses  $\Phi$ . Bei permanenterregten Motoren, wie in unserem Fall, ist  $\Phi$  konstant und nicht beeinflussbar.

Berechnung des Drehmomentes  $M$  (Ohne Betrachtung innerer Verluste):

Das Drehmoment hängt mit der inneren Leistung  $P$  allgemein folgendermaßen zusammen:

$$M = P / \omega. \text{ Für die elektrische Leistung gilt allgemein } P = U \cdot I.$$

Die innere Leistung lässt sich mit  $P = U_G \cdot I_A$  angeben. Mit G. (2) ergibt sich allgemein das Drehmoment zu:

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_A \quad \text{Gl. (7)} \quad \text{mit } c = \text{Maschinenkonstante, } \Phi = \text{Erregerfluß, } I_A = \text{Ankerstrom}$$

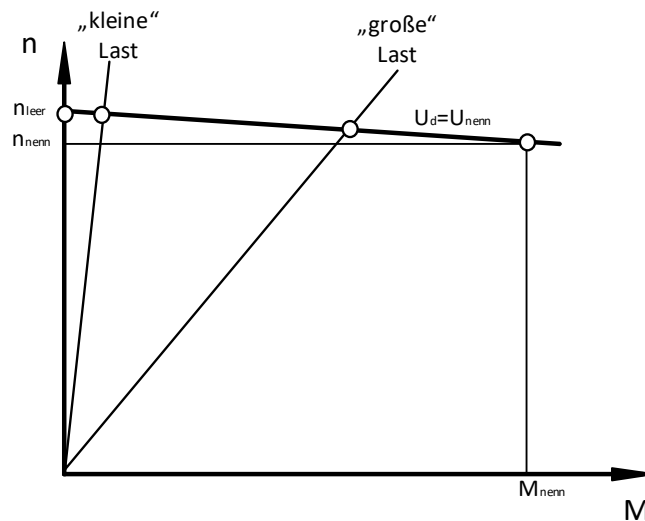


Bild 3: Idealisierte Drehzahl-Momenten-Kennlinie eines permanenterregten Gleichstrommotors

- $U_0$ : Ankerspannung (eingestellte Betriebsspannung,  $U_{nenn}$ : Nennspannung)
- $n$ : Drehzahl des Motors (i.A. U/min.)
- $n_{nenn}$ : Drehzahl bei Nennspannung
- $n_{leer}$ : Drehzahl des Motors ohne Last
- $M$ : Drehmoment des Motors (i.A. bei kleinen Antrieben in Ncm angegeben)
- $M_{nenn}$ : Drehmoment bei Nennspannung

Aus Gl (5) bzw. Gl (6) ergibt sich folgender Zusammenhang:

Wird die Ankerspannung  $U_0$  abgesenkt (erhöht), verringert (erhöht) sich die Drehzahl und die Drehzahlkennlinie wird, unabhängig von einer anliegenden Last, um diesen Betrag **parallel** nach unten (oben) **verschoben**.

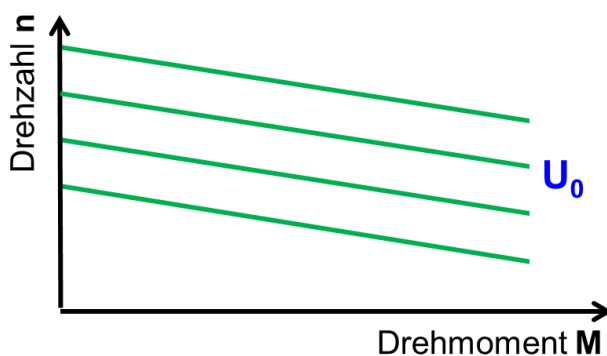


Bild 4: Kennlinienfeld



## 2. Ablauf:

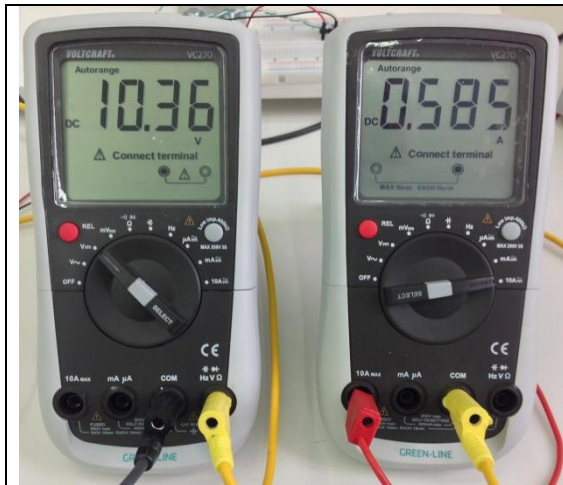
- Bilden Sie 2er Gruppen.
- Bereiten Sie den Versuch zu Hause vor, verschaffen Sie sich einen Überblick!
- Falls Hausaufgaben zur Vorbereitung gegeben sind: Bearbeiten Sie diese vorab zu Hause (so weit möglich). Diese Ausarbeitung müssen Sie namentlich kennzeichnen und abgeben (jeder Teilnehmer)!
- Bringen Sie ggf. einen eigenen, leeren USB-Stick zum Abspeichern notwendiger Oszilloskopbilder mit, alternativ eine gute Digitalkamera zum Abfotografieren des Bildschirms.
- Führen Sie die Versuche während der Laborveranstaltung durch.
- **WICHTIG 1: Vor jeder Inbetriebnahme einer Schaltung den Aufbau durch den Laborbetreuer abnehmen lassen! Nach jeder Messung den Betreuer gegenzeichnen lassen.**
- **WICHTIG 2: Das Netzgerät (und auch das Oszilloskop) bleibt während der Versuche eingeschaltet. Beim Umbauen wird die Spannung auf 0 Volt eingestellt. GRUND: Ständiges EIN- und Ausschalten schadet den Geräten.**
- Schreiben Sie im Nachgang einen Versuchsbericht, in dem Sie die geforderten Aufgaben bearbeiten. Abgabe spätestens eine Woche nach Durchführung des Laborversuchs. Die von Ihnen ermittelten Messwerte (Tabellen aus diesem Skript) sind als Anhang mit abzugeben.
- Zu beachten: Diagramme, Maßeinheiten, physikalische Größen, Zahlenwerte z.B. in Tabellen sind normgerecht anzugeben. Siehe gegebene Unterlagen.



### 3. Geräte und Material:

	<p><b>Versuchsträger</b> mit Motor, Generator, Zahnkranz, Sensoren, Steckbrett</p> <p>Links: Motor (unser Messobjekt)</p> <p>Mitte: Zahnkranz mit 4 Zähnen vor dem Zahnkranz: Induktiver Drehzahlsensor ( „Impulsgeber“)</p> <p>Rechts: angetriebener Motor als <b>Generator</b> im „Leerlauf“.</p>
	<p><b>Generator im Lastbetrieb,</b></p> <p>Wenn der Generator mit einem Lastwiderstand <math>R_L</math> beschaltet wird, befindet er sich im Lastbetrieb.</p>
	<p><b>Labornetzteil</b> zur Spannungsversorgung des Motors (Ankerspannung <math>U_0</math>).</p> <p>Anschluss für die Motorspannung <math>U_d</math> auf der Rückseite des Gerätes.</p> <p>Einstellgröße: <math>U_0=8...14V</math></p>
	<p><b>Digitales Speicheroszilloskop:</b></p> <p>Drehzahlmessung mittels Signal des induktiven Aufnehmers.</p> <p><b>Achtung:</b> Bei jeder Messung die Frequenz mit den Cursors ausmessen!</p>





#### Zwei Digitalmultimeter:

Links: Messung der Motorspannung  $U_0$   
Es gilt der hier gemessene Wert, nicht der am Netzgerät abgelesene Wert.

Rechts: Messung des Motorstroms (= Ankerstrom)  $I_A$   
(10A- Messbereich)



#### Leistungswiderstände:

Links:  $R_1 = 1\Omega$

Rechts:  $R_2 = 0,5\Omega$

#### Anmerkung:

Da auf dem Typenschild des zu untersuchenden Gleichstrommotors die Drehzahl  $n$  in 1/min und das Drehmoment  $M$  in Ncm angegeben wird, verwenden wir ebenfalls diese Einheiten.





#### 4. Aufgaben:

##### Studierende:

Name	Matrikelnr.

##### 4.1. Aufnahme von Motordrehzahl $n$ und Motorstrom (= Ankerstrom) $I_A$ :

„Leerlauf“ (kleine Last): offener Generatorausgang (Buchsen am Generator rechts)

Unter Last: Leistungswiderstände  $R_1$ ,  $R_2$  am Generatorausgang

Einstellgröße  $8V \leq U_0 \leq 14V$  in 0,5 V-Schritten: Multimeter zur Spannungsmessung

Ankerstrom  $I_A$ : Multimeter zur Strommessung

Messwert	$U_0$ in V	„Leerlauf“		Unter Last für $R_1$ und $R_2$			
		$n_0$ in 1/min.	$I_{A0}$ in A	$n_1$ in 1/min.	$I_{A1}$ in A	$n_2$ in 1/min.	$I_{A2}$ in A
1	8,0						
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							

Tabelle 1

##### Betreuer:

--





#### 4.2. Bestimmung von $c \cdot \Phi$

Der Term  $c \cdot \Phi$  liefert uns die Voraussetzung zur Berechnung des Drehmomentes **M** aus dem Motorstrom (=m Ankerstrom) **I<sub>A</sub>**:

Für einen permanenterregten Gleichspannungsmotor (unser Messobjekt) ist der Faktor  $c \cdot \Phi$  konstant. In Gl (6) ist der Zusammenhang zwischen Drehzahl **n** und Ankerspannung **U<sub>0</sub>** beschrieben. Leider ist die Größe **R<sub>A</sub>** nicht direkt messbar und damit  $R_A \cdot I_A$  nicht zu bestimmen.

Um dennoch  $c \cdot \Phi$  hinreichend genau berechnen zu können, müssen wir einen Zustand nutzen, in dem  $I_A = 0$  gesetzt werden kann.

Damit reduziert sich Gl (6) auf 
$$n = \frac{1}{2\pi \cdot c \cdot \Phi} \cdot U_0$$

Dieses ist eine Geradengleichung mit der Steigung  $a = \frac{1}{2\pi \cdot c \cdot \Phi}$

Nehmen Sie aus 4.1 Ihre Messwerte für den „Leerlauf“ (hier ist **I<sub>A</sub>** minimal, also näherungsweise = 0 zu setzen!) und bestimmen Sie mit Hilfe der Methode der linearen Regression die Steigung **a** und damit den Faktor  $c \cdot \Phi$

**Ergebnis (Zahlenwert und Einheit):**  $c \cdot \Phi =$

**Betreuer:**

--



#### 4.3 Berechnung der Drehmomente $M$ aus den gemessenen Strömen $I_A$

Benutzen Sie dazu die gemessenen Ströme (Tabelle 1),  
den oben ermittelten Wert  $c \cdot \Phi$  und die Gl. (7).

Mess- wert	$U_d$ in Volt	„Leerlauf“		Unter Last für $R_1$ und $R_2$			
		$n_0$ in 1/min.	$M_{\text{leer}}$ in Ncm	$n_1$ in 1/min.	$M_{\text{last1}}$ in Ncm	$n_2$ in 1/min.	$M_{\text{last2}}$ in Ncm
1	8,0						
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							

Tabelle 2

**Betreuer:**



#### 4.4 Konstruktion der Drehzahl-Momenten-Kennlinie:

- Tragen Sie Ihre Messwerte aus Tabelle 2 („Leerlauf“, Last 1, Last 2) in ein Diagramm  $n=f(M)$  ein und erzeugen Sie die drei Geraden.
- Konstruieren Sie die Drehzahl-Momenten-Kennlinien für  $U_0=10V, 12V, 14V$  (entsprechend Bild 3).
- Vergleichen Sie in Ihrer Kennlinie für  $U_0 = 12V$  das Drehmoment  $M$  mit dem Nennmoment  $M_{nenn}$  auf dem Typenschild des Motors.

**Typenschild:**  $U_{nenn}=12V$ ,  $n_{nenn}=3300 \text{ U/min}$ ,  $M_{nenn}=6,5Ncm$

- Bestimmen Sie die Haltemomente  $M(n=0)$  aus den 3 Kennlinien.



