

2. Versuchsaufbau - Übersicht

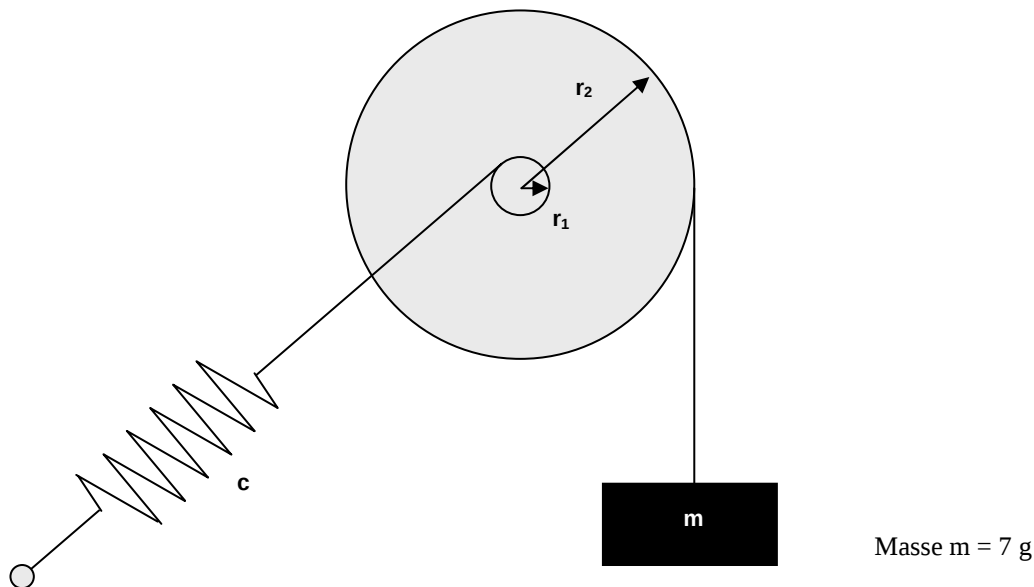


Abb. 1: Darstellung des Versuchsaufbaus

Die Anordnung besteht aus einer ortsfest aufgehängten Feder, an der ein Faden befestigt ist. Der Faden läuft über eine Scheibe mit einem Durchmesser r_1 . Ein zweiter Faden läuft über dieselbe Scheibe auf einem Radius r_2 . An diesen Faden ist die Masse m gekoppelt. Die Reibung der Masse m in der Luft kann vernachlässigt werden.

Die Scheibe ist an einer Achse befestigt, die von einem Gleichstrommotor angetrieben wird. Der Motor hat ein Trägheitsmoment. Er weist außerdem ein Reibungsmoment auf, das unabhängig von der Belastung proportional zur Drehzahl des Motors ist. Der Gleichstrommotor wird mit einer Batterie betrieben. Sie wird als lineare Gleichspannungsquelle beschrieben, die einen endlichen Innenwiderstand besitzt.

3. Gleichstrommotor als idealer Wandler

Zur Charakterisierung des Gleichstrommotors wurde die Kraft gemessen, die stationär auf einen Faden wirkt, wenn der Motor von einem Ankerstrom I_A durchflossen wird. Der Faden läuft dabei um den Radius r_1 . Tabelle 1 beschreibt den Zusammenhang zwischen Ankerstrom I_A und Kraft F .

Ankerstrom / mA	20	40	60
Kraft / N	0.80	1.65	2.39

Tabelle 1: Charakterisierung des Gleichstrommotors

Stellen Sie ein Modell des Wandlers auf, der den Ankerstrom in ein Antriebsmoment wandelt und stellen Sie für diesen idealen Wandler die Leistungsbilanz auf. Welche Größen beschreiben die Eingangsleistung, welche Größen beschreiben die Ausgangsleistung. Um welche Art von Wandler handelt es sich?

4. Elektrischer Teil

Der elektrische Stromkreis besteht aus Batterie und Gleichstrommotor. Geben Sie das Ersatzschaltbild für den elektrischen Stromkreis an.

Die Spannungsquelle zeigt folgende Strom-Spannungskennlinie. Bestimmen Sie aus diesen Werten den Innenwiderstand der Batterie als Mittelwert aus den Einzelmessungen.

Strom / mA	0	30	70
Spannung / V	8.9	8.5	8.0

Tabelle 2: Messung der Strom-Spannungskennlinie der verwendeten Batterie

Zur Berechnung des Serienwiderstandes und der Induktivität des Ankers vom Gleichstrommotor wurden bei angelegter Wechselspannung und unterschiedlichen Frequenzen der Effektivwert von Spannung und Strom bestimmt. Berechnen Sie aus den Effektivwerten die Induktivität und den Serienwiderstand des Ankers.

Frequenz / Hz	30	300
Strom / mA	54	40
Spannung / V	2.6	3.4

Tabelle 3: Messung von Effektivwerten für Ankerstrom und Ankerspannung bei unterschiedlichen Frequenzen

Stellen Sie mit dem Ersatzschaltbild für Motorstillstand die Übertragungsfunktion auf, die den Ankerstrom als Funktion der Leerlaufspannung der Batterie beschreibt

$$G_e(s) = \frac{I_A(s)}{U_{B0}(s)}$$

Gehen Sie dabei davon aus, dass alle Anfangsbedingungen zu null gesetzt sind. Erstellen Sie ein Simulink-Modell und stellen Sie das Einschaltverhalten des Ankerstroms für die berechneten Parameter und Motorstillstand dar.

Wie ändert sich das Modell, wenn sich der Motor dreht? Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild für diesen Fall.

4. Mechanischer Teil

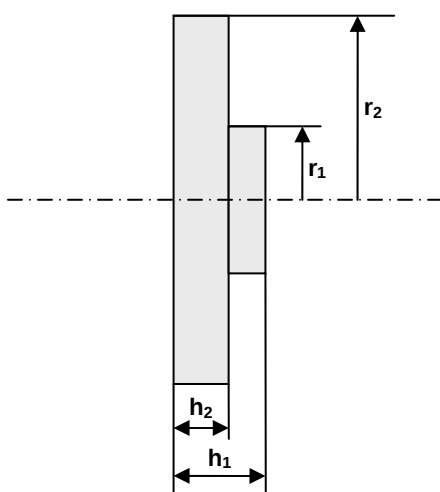
Die in dem Versuch eingesetzte Feder wurde durch Gewichte vermessen. Tabelle 4 zeigt die aufgenommene Auslenkung als Funktion des angehängten Gewichtes.

Gewicht / g	10	20	30
Auslenkung / mm	13.0	28.1	40.3

Tabelle 4: Charakterisierung der Feder

Berechnen Sie die Federkonstante der eingesetzten Feder unter der Randbedingung, dass sich die Feder linear verhält, als Mittelwert der Einzelmessungen.

Die in der Versuchsanordnung eingesetzte Masse m beträgt 7 g.



Geometrische Daten

Radius $r_1 = 5 \text{ mm}$

Radius $r_2 = 30 \text{ mm}$

Höhe $h_1 = 10 \text{ mm}$

Höhe $h_2 = 20 \text{ mm}$

Materialparameter

Dichte $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Abb. 2: Profil und Material der Scheibe

Bei einer Belastung wird die Feder um eine Strecke x_1 ausgelenkt. Dadurch dreht sich zum einen die Scheibe um einen Winkel φ , zum anderen bewegt sich die Masse m um eine Strecke x_2 .

Berechnen Sie die Strecke x_2 und den Winkel φ als Funktion von x_1 allgemein für r_1 und r_2 . Berechnen Sie die Übertragungsfaktoren durch Einsetzen der bekannten geometrischen Größen.

Bestimmen Sie das Trägheitsmoment J_S der Scheibe durch analytische Rechnung für die geometrischen Parameter h_1 , h_2 , r_1 , r_2 und die Dichte ρ . Setzen Sie anschließend die bekannten Parameter ein.

Der Gleichstrommotor hat ein Trägheitsmoment J_M und weist Reibung auf, die unabhängig von dem montierten Trägheitsmoment proportional zur Winkelgeschwindigkeit ω ist. Aufgrund der komplexen Geometrie des Gleichstrommotors kann das Trägheitsmoment nicht analytisch bestimmt werden. Mit dem Motor wurden aber zwei Versuche gemacht, bei denen der Verlauf der Ausgangsspannung für das Auslaufverhalten aufgezeichnet wurde. Bei einem Versuch war die Scheibe montiert, bei dem zweiten Versuch war die Scheibe demontiert. Bestimmen Sie analytisch aus dem Auslaufverhalten für die beiden Versuche das Trägheitsmoment und die Reibungskonstante des Motors.

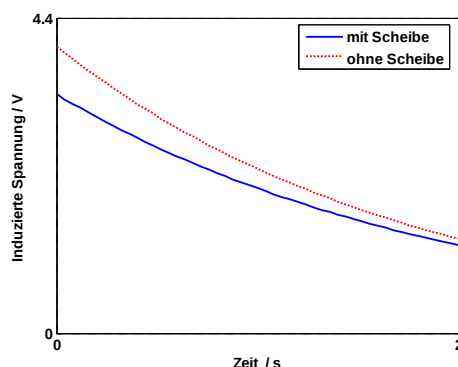


Abb. 3: Verlauf der Ausgangsspannung des Gleichstrommotors mit und ohne montierte Scheibe

6. Kopplung des mechanischen und elektrischen Teils

Zur Kopplung des mechanischen und elektrischen Teils soll das Gesamtsystem im Zustandsraum dargestellt werden. Stellen Sie dazu die Differentialgleichungen des Gesamtsystems auf und leiten Sie die Zustandsraum-Darstellung der Anordnung für folgenden Zustandsvektor her:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} \text{Ankerstrom} \\ \text{Geschwindigkeit der Masse } m \\ \text{Auslenkung der Masse } m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_A \\ v_2 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

Geben Sie die Gleichungen im Zustandsraum als allgemeine Gleichung und mit Zahlenwerten an. Simulieren Sie das die Sprungantwort auf einen Spannungssprung von 0 auf U_{BO} zum Zeitpunkt $t = 1$ s. Stellen Sie neben der Auslenkung x_2 der Masse m die Ausgangsgrößen Ankerstrom und Geschwindigkeit der Masse m dar.

7. Parameter-Identifikation

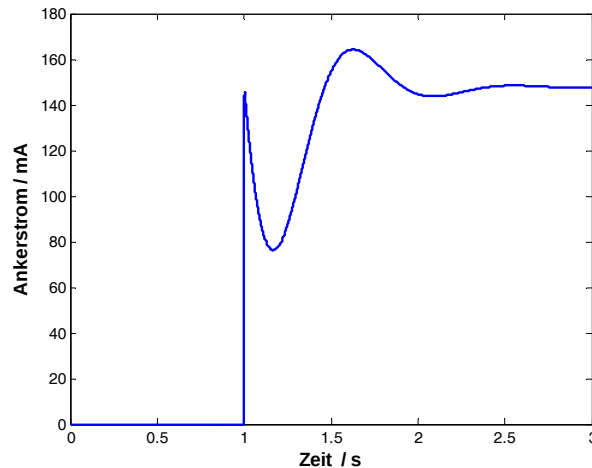


Abb. 4: Verlauf des gemessenen Ankerstroms bei einem Spannungssprung von 0 auf U_{BO}

Vergleichen Sie Ihr Simulationsergebnis mit dem gemessenen Einschwingverhalten, in dem Sie das Fehlerintegral

$$I = \int_0^{\infty} (i(t)_{A,\text{sim}} - i(t)_{A,\text{gem}})^2 dt$$

bestimmen.

Als Ursachen für die Abweichung der beiden Stromverläufe voneinander wird angenommen, dass die Reibung und das Trägheitsmoment des Gleichstrommotors zu ungenau bestimmt wurden. Führen Sie eine Variation der Parameter um die von ihnen berechneten Parameter durch und stellen Sie das Fehlerintegral für die Parameter als 3D-Grafik dar.

Optimieren Sie Ihr Modell, in dem Sie für das Trägheitsmoment des Motors J_M und Reibung des Motors ein Parameter-Identifikationsverfahren durchführen. Verwenden Sie dazu das aus der Vorlesung bekannte Minstep-Verfahren.

Beschreiben Sie das Verfahren der Parameteridentifikation und berechnen Sie die ideale Parameterkombination, mit der ein minimales Fehlerintegral erreicht wird. Stellen Sie den gemessenen und ideal simulierten Ankerstrom in einem Diagramm dar.

LÖSUNG

$$F_{\text{Gewicht}} = m \cdot g$$

$$F_{\text{Trägheit}} = m \cdot \ddot{x} \quad (x = \text{Auslenkung der Masse})$$

$$E_{\text{Masse}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad (v = \text{verallg. Strom})$$

$$F_{\text{Feder}} = c \cdot y \quad (y = \text{Auslenkung der Feder})$$

$$M_{\text{Scheibe}} = J \cdot \dot{\omega}$$

$$M_{\text{Reibung}} = D \cdot \omega$$

Bilanz :

$$M_F = F_F \cdot r_1 = c \cdot y \cdot r_1 = c \cdot r_1^2 \cdot \varphi$$

$$M_G = F_G \cdot r_2 = m \cdot g \cdot r_2$$

$$M_T = F_T \cdot r_2 = m \cdot r_2^2 \cdot \dot{\omega}$$

$$M_G = M_S + M_T + M_R + M_F$$

$$m \cdot g \cdot r_2 = J \cdot \dot{\omega} + m \cdot r_2^2 \cdot \dot{\omega} + D \cdot \omega + c \cdot r_1^2 \cdot \varphi = (J + m \cdot r_2^2) \cdot \ddot{\varphi} + D \cdot \dot{\varphi} + c \cdot r_1^2 \cdot \varphi$$

$$y = \varphi \cdot r_1 \quad x = \varphi \cdot r_2$$