Aktorik Sensorik
Labor 1

Anton Kress (S872899), Jan Abel (S876662)

October 2020

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Ziel

Im 2. Labor im Modul Aktorik und Sensorik soll die Ankerinduktiviät L und die Reibungskonstante c_r eines Gleichstrommotors bestimmt werden.

2 Grundlagen und Theorie

3 Aufgabenstellung und Versuch

3.1 Bestimmung der Ankerinduktivität

Um die Ankeridnuktivität zu bestimmen muss der Motor gebremst sein, damit die induzierte Gegenspannung $U_{ind} = 0$ ist. Dann ergibt sich folgendes Schaltbild.

Abbildung 1: Mess-Schaltung Ankerinduktivität

Diese Schaltung kann durch folgende Maschengleichung beschrieben werden.

$$\begin{aligned} u(t) &= u_R(t) + u_L(t) \\ u(t) &= R \cdot i(t) + L\frac{di(t)}{dt} \\ u(t) &= (R + R_s) \cdot i(t) + L\frac{di(t)}{dt} \end{aligned} \tag{1}$$

Die Idee zur Bestimmung der Induktivität ist nun folgende. Die Schaltung wird mit einer sinusförmigen Wechselspannung betrieben. Über die Phasenverschiebung der Eingangsspannung und des Stromes kann die Induktivität bestimmt werden.

$$\begin{aligned} \underline{U} &= A \cdot e^{\jmath 0} \\ \underline{I} &= B \cdot e^{\jmath \varphi} \end{aligned} \tag{2}$$

Der Strom $i(t)$ wird indirekt über den Messwiderstand $R_s = 1\Omega$ bestimmt, da folgendes gilt.

$$i(t) = \frac{u_{Rs}(t)}{R_s} = u_{Rs}(t) \tag{3}$$

Der Phasenwinkel kann über die Impedanz $\underline{Z}$ berechnet werden.

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= (R + R_s) + \jmath\omega L \\ \varphi\{\underline{Z}\} &= \arctan\left(\frac{\omega L}{R + R_s}\right) \end{aligned} \tag{4}$$

Da nicht der Phasenwinkel φ sondern die Phasenverschiebung Δt gemessen wird, muss dieser noch umgerechnet werden.

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\Delta t}{T} \cdot 2\pi \\ \varphi &= \omega \Delta t = 2\pi f \Delta t \end{aligned} \tag{5}$$

Nun lässt sich die Induktivität L folgendermaßen berechnen.

$$L = \frac{(R + R_s)}{2\pi f} \cdot \tan(2\pi f \Delta t) \tag{6}$$

Da in der Messung die Phasenverschiebung Δt in Abhängigkeit von der Frequenz f gemessen worden ist, ergibt sich die Funktion $f_1(f)$.

$$\Delta t = f_1(f) = \frac{1}{2\pi f} \arctan\left(\frac{2\pi L}{R + R_s} f\right) \tag{7}$$

Um diese Funktion zu Linearisieren muss diese noch umgestellt werden.

$$\tan(2\pi f \Delta t) = f_2(f) = \frac{2\pi L}{R + R_s} f \tag{8}$$

Nun kann mittels der linearen Regression aus den beiden Vektoren die Steigung m bestimmt werden, aus der sich die Induktivität L berechnen lässt.

$$\begin{aligned} m &= \frac{2\pi L}{R + R_s} \\ L &= \frac{m \cdot (R + R_s)}{2\pi} \simeq 175.462 \mu\mathrm{H} \end{aligned} \tag{9}$$

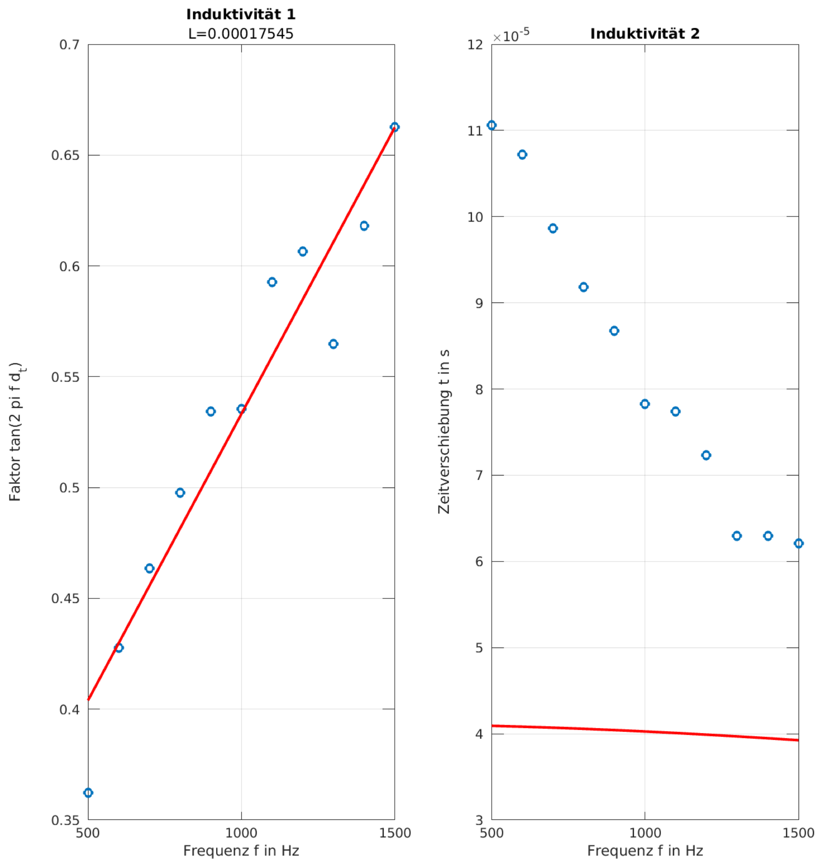

Abbildung 2: Plot der Aufgabe 1

3.2 Bestimmung der Reibungskonstanten

Die Reibungskonstante kann über folgende DGL berechnet werden. Die Summe der Drehmomente ergibt sich aus dem Drehmoment M_m abzüglich des Reibungsdrehmoments M_R und des Lastdrehmoments. Diese sind gleich der zeitlichen Änderung der Winkelgeschwindikeit $\frac{d\omega}{dt}$ multipliziert mit dem Trägheitsmoment J.

$$\begin{aligned} J\frac{d\omega}{dt} &= \sum M = M_m - M_R - M_L \\ J\frac{d\omega}{dt} &= \sum M = k_m \cdot i(t) - c_r\omega(t) - M_L \end{aligned} \tag{10}$$

Um die Reibungskonstante c_r nun zu bestimmen, ist es günstig das System im Leerlauf zu betrachten, da $M_L = 0$ und nach Abklingen des Einschaltvorgangs $\frac{d\omega}{dt} = 0$. Aus der DGL ergibt sich folgende einfache Gleichung.

$$0 = k_m \cdot i(t) - c_r \omega(t) \tag{11}$$

Daraus ergibt sich folgende Funktion.

$$\omega = f_3(i) = \frac{k_m}{c_r} i \tag{12}$$

Nun kann mittels der linearen Regression aus den beiden Vektoren die Steigung m bestimmt werden, aus der sich die Reibungskonstante c_r berechnen lässt.

$$\begin{aligned} m &= \frac{k_m}{c_r} \\ c_r &= \frac{k_m}{m} \simeq 3,24 \cdot 10^{-9} \frac{\mathrm{Nms}}{\mathrm{rad}} \end{aligned} \tag{13}$$

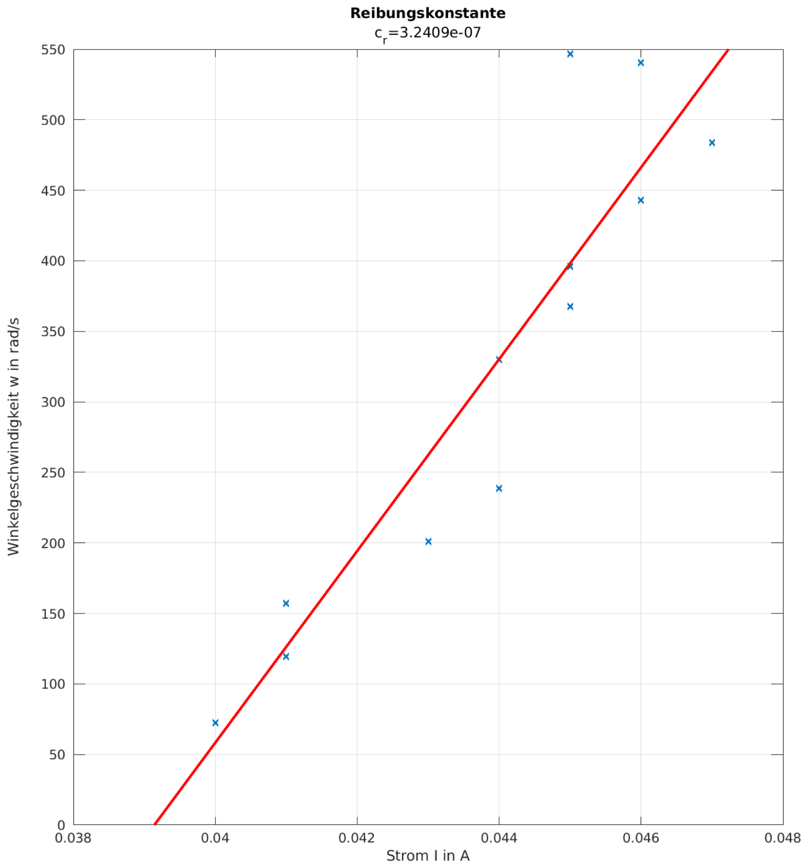

Abbildung 3: Plot der Aufgabe 1

4 Anhang

4.1 Aufgabenbeschreibung

1 Termin

In der ersten Laborübung sollen die Werte der Elemente des Ersatzschaltbildes eines permanent erregten Gleichstrommotors bestimmt werden.

Vorbereitung:
1. Um Parameter richtig identifizieren zu können, muss man viele Messungen durchführen. Nun ist die Frage, wie man einen statistisch relevanten Wert für einen Parameter aus vielen Messungen bekommt …
2. Recherchieren Sie nach der Methode der Kleinsten Quadrate und finden Sie heraus, wie diese Methode funktioniert.
3. Was ist ein Inkrementalgeber? Welche Typen davon gibt es? Wie funktioniert so ein Gereät? Lesen Sie bitte die Wikipedia Seiten dazu: https://en.wikipedia.org/wiki/Incremental_encoder und https://de.wikipedia.org/wiki/Inkrementalgeber).

1.1 Messung des Stillstandsdrehmomentes

Das vom Motor abgegebene Antriebsmoment ist über die Momentenkonstante $\boldsymbol{k_M}$ mit dem Motorstrom verknüpft. Ziel der ersten Teilaufgabe ist die Bestimmung dieser Konstante $\boldsymbol{k_M}$. Hierzu wird der Motorstrom mit Hilfe unseres Netzteiles von 0 A bis 2 A vorgegeben und das Drehmoment mit Hilfe der Federwaage gemessen. Der Motor wird bei dieser Messung im Stillstand betrieben. Die entstehende Kennlinie, die das Drehmoment über dem Motorstrom darstellt, wird in MATLAB gezeichnet und die Steigung dieser Kennlinie stellt die Konstante $\boldsymbol{k_M}$ dar.

1.2 Messung des Ankerwiderstandes *R*

Ein wesentlicher Teil des Modells der permanent erregten Gleichstrommaschine ist der Ankerwiderstand ***R***. Ziel dieser Teilaufgabe ist es, diesen zu bestimmen.
Welcher Teil des technischen Aufbaus des Motors liegt im Stromkreis, wurde aber bisher nicht berücksichtigt? Wenn dieses Bauteil weiter außen vor gelassen wird, welche Konsequenz hat das für die Durchführung der Messung des Ankerwiderstandes ***R***?
Schlagen sie nun eine geeignete Messung vor und bestimmen sie nach dieser den Ankerwiderstand ***R***.

1.3 Messung der Leerlaufkennlinie

Die induzierte Spannung $\boldsymbol{u_i}$ ist proportional zur Winkelgeschwindigkeit des Motors $\boldsymbol{\omega}$. Es gilt $\boldsymbol{u_i(t) = k_e \cdot \omega(t)}$. Ziel der zweiten Teilaufgabe ist die Bestimmung der Konstanten $\boldsymbol{k_e}$.
Wir geben mit Hilfe unseres Netzteiles die Motorspannung mit 0 V bis 12 V vor und messen die Drehzahl. Hierbei wird der Motor nicht belastet, d. h. er wird im Leerlauf betrieben. Die entstehende Kennlinie wird Leerlaufkennlinie genannt und wird mit Hilfe von MATLAB dargestellt. Die gesuchte Konstante $\boldsymbol{k_e}$ ist die Steigung dieser Kennlinie.
Zur Messung der Drehzahl verwenden wir einen Inkrementalencoder. Er wird an Timer 3 des Mikrocontrollers C167, der ein Inkrementalenkoder-Interface besitzt, angeschlossen und in Vierfachauswertung betrieben. Wir erhalten so eine Pulszahl von PZ = 2000 Pulsen pro Umdrehung. Die Abtastzeit der Interruptroutine, in der der Inkrementaldekoder ausgewertet wird, beträgt T = 1 ms.
Was ist der Unterschied zwischen Drehzahl und Winkelgeschwindigkeit? Welche Variablen werden für diese beiden Angaben benutzt?

1.4 Messung der Kennlinie des Leistungsverstärkers

Die Eingangsspannung des Leistungsverstärkers wird im Bereich von – 12 V bis + 12 V mit Hilfe des Netzteiles vorgegeben und die Ausgangsspannung mit Hilfe des Multimeters gemessen. Aus der Verstärkerkennlinie, in der mit MATLAB die Ausgangsspannung über der Eingangsspannung dargestellt wird, erhält man die Verstärkung ***A*** des Leistungsverstärkers.

Hinweis: Nehmen Sie genug Messpunkte auf, damit Sie mögliche Nichtlinearitäten der Kennlinie feststellen können

Beuth-Hochschule für Technik Berlin	Labor für Automatisierungstechnik	Übungsveranstaltung für Aktorik & Sensorik
Prof. Dr.-Ing. FJ Morales		4 von 10

4.2 Matlab Code

```
% Aktorik & Sensorik - WS 2020
%
% 2.1-2.3 Berechnung der Induktivität mittels des Phasenwinkels
%
% Datum:    12.11.2020
% Autoren:  Anton Kress,    S872899
%           Jan Abel,       S876662

clear
home
close all

FolderName = "./src/";
```

```
E_Name = "E.mat";
E = fullfile(FolderName, E_Name);
load(E);

R = 3.263586106324851;                 % Ankerwiderstand     in [V/A]
Rs = 1;                                % Messwiderstand      in [V/A]
delta_t = E(:,2);                      % Phasenverschiebung  in [s]
f = E(:,1);                            % Frequenzen          in [1/s]
freq=linspace(500,1500);               % Frequenz            in [1/s]

% Linearisierung
y = tan(2*pi*f.*delta_t);              % Y-Achse Faktor - einheitenlos

% Fitting
f1=polyfit(f, y, 1);
m=f1(1,1);

y1=polyval(f1,freq);

L = (m*(R+Rs))/(2*pi)

y2=atan((2*pi*L*f)/(R+Rs))./(2*pi*f);

figure(1)
subplot(1,2,1)
    plot(f,y, 'o', freq,y1,'r','linewidth',2);
    grid on;
    title('Induktivität 1')
    subtitle(['L=' num2str(L)])
    xlabel('Frequenz f in Hz')
    ylabel('Faktor tan(2 pi f d_t)')
subplot(1,2,2)
    plot(E(:,1), E(:,2), 'o', f, y2,'r','linewidth',2);
    grid;
    title('Induktivität 2')
    xlabel('Frequenz f in Hz')
    ylabel('Zeitverschiebung t in s')

% save current plot to img/-folder
imagePath = fullfile('../img/', mfilename);
print(imagePath,'-dpng');
```

```
% Aktorik & Sensorik - WS 2020
%
% 2.4 Berechnung der Reibungskonstanten
%
% Datum:    12.11.2020
% Autoren:  Anton Kress,    S872899
%           Jan Abel,       S876662

clear
home
close all

FolderName = "./src/";
Leerlauf_Name = "Leerlauf.mat";
Leerlauf = fullfile(FolderName, Leerlauf_Name);
load(Leerlauf);
```

```

Pz = 2000/(2*pi);       % Pulse Inkrementalgeber  in [inc/rad]
lambda = 1000/Pz;       % Umrechnungsfaktor       in [(ms rad)/(s
    inc)]
I = Leerlauf(:,2);      % Strom I_a               in [A]
INC = Leerlauf(:,3);    % INC per T               in [INC/ms]
w = lambda*INC;         % Winkelgeschwindigkeit   in [rad/s]
km = 0.022031575949394; % Momentenkonstante       in [Nm/A]

% lineares Fitting im Arbeitsbereich
f2 = polyfit(I(2:end), w(2:end), 1);
% Strom Vektor
x2 = linspace(0, 0.05);
% Winkelges. Vektor
y2 = polyval(f2, x2);
% Steigung m hat die Einheit [rad/(A s)]
m = f2(1);
% Reibungskonstante cr in [(Nm s)/rad]
cr = km*1/m

figure(1);
    plot(I,w,'x', x2, y2, 'r', 'linewidth', 2);
    title('Reibungskonstante');
    subtitle(['c_r=' num2str(cr)])
    grid;
    axis([0.038 0.048 0 550]);
    xlabel('Strom I in A');
    ylabel('Winkelgeschwindigkeit w in rad/s');

% save current plot to img/-folder
imagePath = fullfile('../img/', mfilename);
print(imagePath,'-dpng');
```