

Hochschule Luzern

Technik und Architektur



RT+L

Versuch Furuta Pendel

Laborbericht

Autoren:

Luzian Raphael Aufdenblatten & Julian Bischof

Luzern, 4. September 2025

Inhaltsverzeichnis

I	Introduction	ii
	Introduction	ii
1	Chapter	1
1.1	Section	1
1.1.1	Subsection	1
2	Aufgaben	3
2.1	Aufgaben	3
2.1.1	Aufgabe 1	3
2.1.2	Aufgabe 2	4
2.1.3	Aufgabe 3	4

I | Introduction

Introduction ¹

Here goes your cool introduction.

¹This is a footnote

1

|

Chapter

1.1

Section

1.1.1

Subsection

Tabelle 1.1: Template Table

Column 1	Column 2	Column 3
Something	interesting using citations (?, ?)	great!
Something	interesting using an acronym TMPL! (TMPL!)	very nice!

Subsubsection

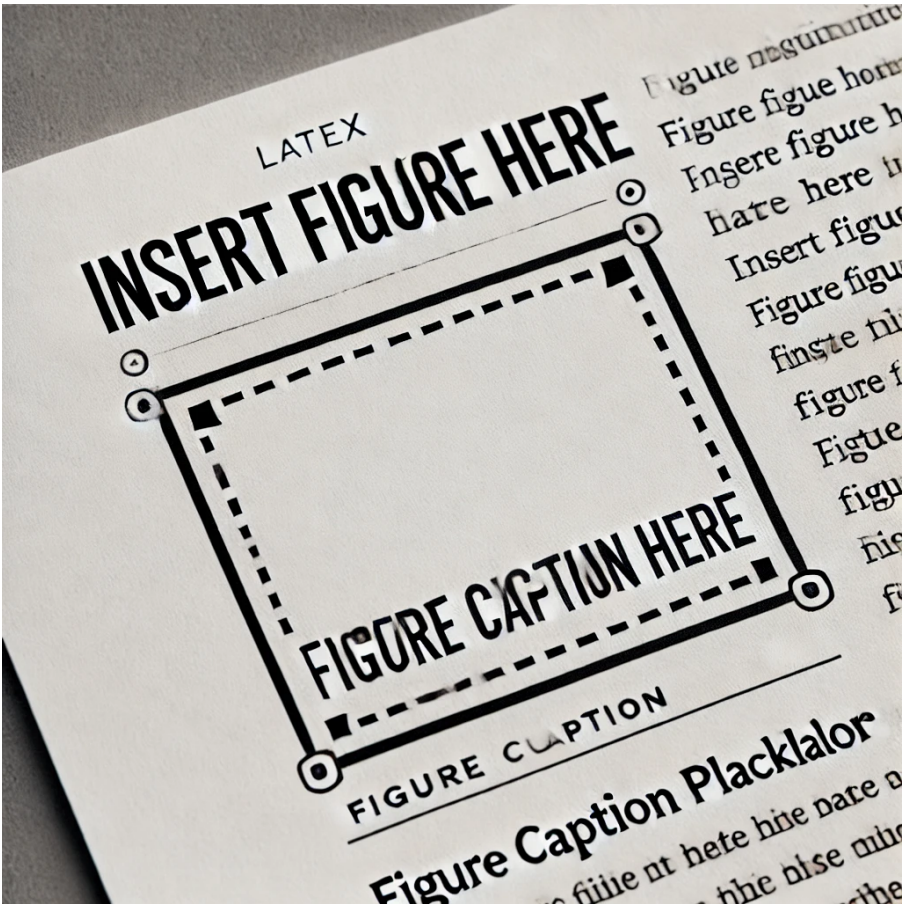


Abbildung 1.1: Template Figure

Paragraph

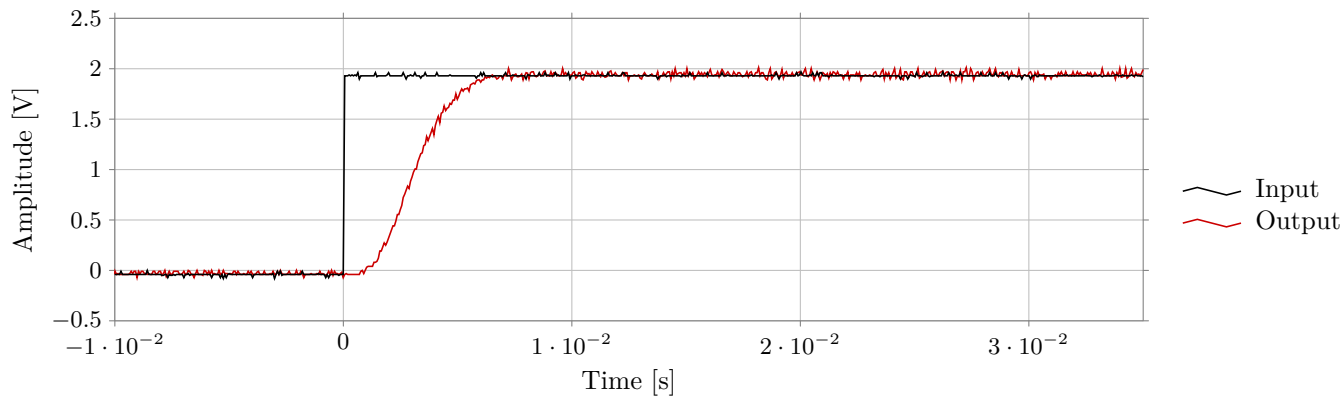


Abbildung 1.2: Template Plot

2 | Aufgaben

2.1 Aufgaben

2.1.1 Aufgabe 1

Abbildung 2.1 zeigt den Prozess ohne Regler. Der Prozess, in dem Fall der Elektromotor gemeinsam mit dem gesamten mechanischen Aufbau, nimmt als Eingangsgrösse eine Spannung $u(t)$ und setzt als messbaren Ausgang den Winkel θ des Pendels.



Abbildung 2.1: Blockschaltbild Prozess

In Abbildung 2.2 ist der Regelkreis für den Armwinkel θ dargestellt. Dabei wird aus dem Regelfehler eine Spannung $u(t)$ erzeugt, mit welcher das Pendel entsprechend angesteuert wird.

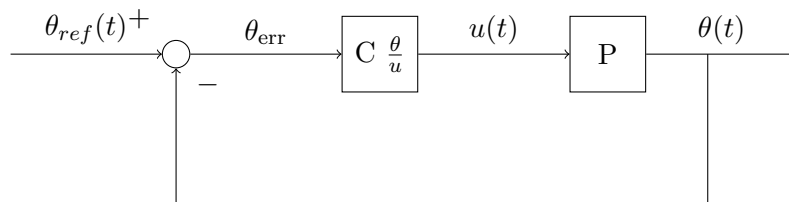


Abbildung 2.2: Regelkreis theta

In Abbildung 2.3 ist der gesamte Regelkreis gezeigt. Der äussere Regelkreis gibt dem inneren die Grösse θ vor, welcher dann wiederum dieses θ einzuregeln versucht, ohne dass das Pendel herabstürzt. Mit dieser Kaskadenregelung wird sowohl der Motorenwinkel φ als auch der Pendelwinkel θ geregelt.

Mit P2 wird der Motor modelliert und mit P1 das Armgelenk.

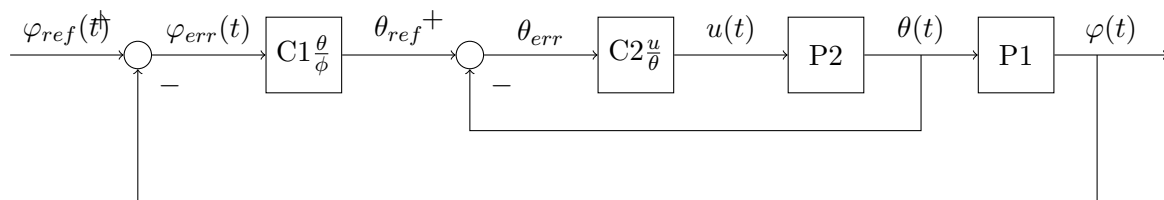


Abbildung 2.3: Regelkreis Pendel

2.1.2 Aufgabe 2

Der Prozess ist weder Stabil, noch linear. Daher ist bereits von Seiten der Vorbereitung auf diesen Versuch die linearisierte Übertragungsfunktion hergeleitet worden.

$$\ddot{\varphi}(t) = \frac{-\mu A_v - \frac{K_m^2 G}{R}}{J_A + m_2 L_1^2} \dot{\varphi}(t) + \frac{m_2 L_1 l_2}{J_A + m_2 L_1^2} \ddot{\theta}(t) + \frac{G K_m}{R (J_A + m_2 L_1^2)} u(t) \quad (2.1)$$

$$\ddot{\theta}(t) = \frac{m_2 L_1 l_2}{J_P} \ddot{\varphi}(t) - \frac{\mu P_v}{J_P} \dot{\theta}(t) + \frac{m_2 g l_2}{J_P} \theta(t) \quad (2.2)$$

Um die Berechnungen im folgenden zu vereinfachen, werden die linearisierten Übertragungsfunktionen wie folgt vereinfacht:

$$\ddot{\varphi}(t) = A \dot{\varphi}(t) + B \ddot{\theta}(t) + C u(t) \quad (2.3)$$

$$\ddot{\theta}(t) = \alpha \varphi(t) - \beta \dot{\theta}(t) + \gamma \theta(t) \quad (2.4)$$

Damit ergeben sich die Übertragungsfunktionen wie folgt:

$$\frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{C \alpha s}{s^3 - s^2(\beta + A) - s(\gamma - A\beta) + A\gamma} \quad (2.5)$$

$$\frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{C(s^2 - \beta s - \gamma)}{s^4(1 - \alpha B) - s^3(\beta + A) - s^2(\gamma - A\beta) + s A \gamma} \quad (2.6)$$

2.1.3 Aufgabe 3

Die Parameter sind entweder aus Datenblättern entnommen, oder aus Berechnungen hergeleitet. Die für das in den Aufgaben verwendete Modell verwendeten Parameter sind Tabelle 2.1 zu entnehmen.

Parameter	Wert
L_1	0.147425 m
l_2	0.116569 m
m_2	0.018 kg
R	0.74 Ω
k_m	21.4 $\times 10^{-3}$ Nm/A
G	$\frac{5625}{361}$

Tabelle 2.1: Parameteridentifikation