



HTBLuVA St. Pölten
Höhere Abteilung Elektrotechnik
3100 St. Pölten, Waldstrasse 3 Tel: 02742-75051-300
Homepage: <http://et.htlstp.ac.at> E-Mail: et@htlstp.ac.at



Projekt-Titel:

MAGNETSCHWEBEREGELUNG

Mitglieder:

LABENBACHER MICHAEL
NEULINGER DAVID
AUGUST LOIBL
EDER DANIEL

Projektort: HTBL u. VA in St. Pölten

Projektdatum: 27.2.2016

Projektnummer: 09

Projektgruppe: 1

Fach: Laboratorium

Jahrgang/Klasse: 2015/16 5AHET

Lehrer: Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Haager

Protokollführer: <i>Labenbacher Michael</i>	Unterschriften: 	Note:
---	--------------------------------	----------------------

Inhaltsverzeichnis

1. Magnetschweberegung	1
1.1. Einführung & Aufgabenstellungen	1
1.2. Verwendete Geräte & Betriebsmittel	4
1.3. Stellglied	5
1.4. Führungsgrößenaufschaltung	6
1.5. Soll-Istwert Vergleich	7
1.6. PD-Regler	8
1.7. Regelkreis	9
1.8. Sollwertvorgabe	11
A. Resümee	12
Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	14
Literaturverzeichnis	15
Abkürzungsverzeichnis	16

1. Magnetschweberegung

1.1. Einführung & Aufgabenstellungen

In diesem Projekt soll eine kleine ferromagnetische „Weltkugel“ mit Hilfe eines Elektromagneten in Schwebelage gehalten werden. Das Prinzip lässt sich folgendermaßen beschreiben:

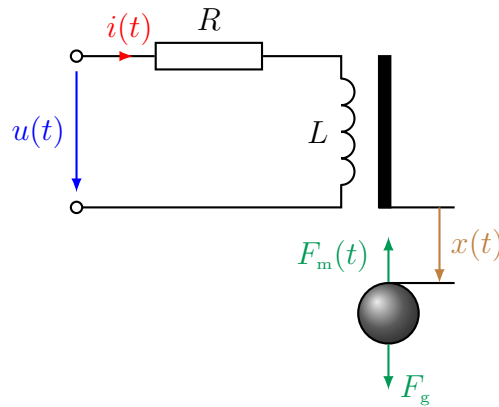


Abbildung 1.1.: Prinzip des Magnetschwebesystems

Es lässt sich erkennen, dass die Magnetkraft F_m , welche zum Strom im Elektromagneten quadratisch proportional ist, gleich groß wie die Schwerkraft F_g sein muss, damit die Kugel schwebt.

Mittels einer mehrfachen Näherung gilt für die magnetische Kraft, welche proportional zur Flussdichte ist:

$$F_m(t) = k \frac{i(t)^2}{x(t)^2} \quad (1.1)$$

$$F_g = m \cdot g \quad (1.2)$$

Laut dem Trägheitsgesetz, sowie der Maschengleichung gilt:

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (1.3)$$

$$m \cdot \ddot{x}(t) = m \cdot g - k \frac{i(t)^2}{x(t)^2} \quad (1.4)$$

Daraus ergeben sich nun die drei Zustandsgleichungen:

$$\dot{i}(t) = \frac{u(t) - R \cdot i(t)}{L} \quad (1.5)$$

$$\dot{x}(t) = v(t) \quad (1.6)$$

$$\dot{v}(t) = g - \frac{k \cdot i(t)^2}{m \cdot x(t)^2} \quad (1.7)$$

Dies führt nun auf eine Übertragungsfunktion von:

$$G_{\text{KD}}(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{-\frac{2}{Lx_0} \sqrt{\frac{gk}{m}}}{\left(s + \frac{R}{L}\right) \cdot \left(s - \frac{2g}{x_0}\right) \left(s + \frac{2g}{x_0}\right)} \quad (1.8)$$

, was zeigt, dass, wenn die Spannung steigt, die Position x sinkt und umgekehrt.

Die Aufgabe besteht nun darin, die Regelung für die magnetische Kugel nicht zu berechnen und dimensionieren, sondern schrittweise aufzubauen, wobei in den einzelnen Kapiteln erklärt wird wie dabei vorzugehen ist.

Für das Verständnis wird gleich der Regelkreis, bestehend aus einem PD-Regler, aufgezeigt:

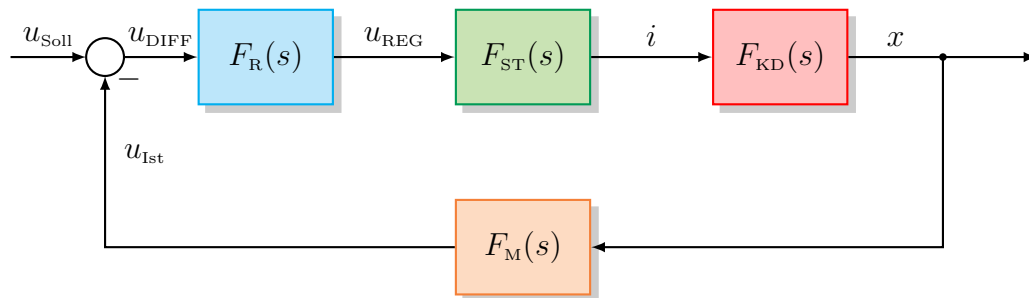


Abbildung 1.2.: Blockschaltbild der Magnetschweberegung

$F_R(s)$	Regler (+Führungsgrößenaufschaltung)
$F_{ST}(s)$	Stromverstärker
$F_{KD}(s)$	Kugeldynamik (Regelstrecke, sprich das zu regelnde System)
$F_M(s)$	Messglied (Lichtquelle & Solarzelle)

Es wird dabei die Ausgangsgröße, sprich die Position x , der Regelstrecke durch eine geeignete Messeinrichtung erfasst, um diesen Istwert mit dem eingespeisten Sollwert zu vergleichen. Dadurch kann die Regeldifferenz gebildet werden und der Regler wirkt dann über das Stellglied durch eine Veränderung der Stellgröße i auf die Strecke ein.

Das nichtlineare Übertragungsglied der Kugeldynamik wurde schon mit der Gleichung 1.8 beschrieben und zeigt, dass ein Schweben ohne Regelung instabil ist. Die Aufgabe in diesem Projekt besteht nun darin, eine Regelung schrittweise, nicht direkt mathematisch, zu entwickeln.

1.2. Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bez.	Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
FG1	Frequenzgenerator	VOLTCRAFT 7202 SWEEP/- FUNCTION GENERATOR	GA-01/03
N1	Netzgerät	DC-POWER SUPPLY $\pm 15\text{ V}/3\text{ A}$	GA-01/06
O1	Oszilloskop	Tektronix TDS 2004B	GA-01/04
P1	Schwebende Kugel	Gehäuse, Elektromagnet, ma- gnetische Kugel, Solarzelle, etc.	I13-2/2
V1	Multimeter	EXTECH	G-02.1/01

Tabelle 1.1.: Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Des Weiteren werden noch Operationsverstärker, Strippen, Kondensatoren, Widerstände, Transistoren und BNC-Strippen zur Durchführung dieses Versuches benötigt.

1.3. Stellglied

Das Stellglied ist im Prinzip ein Spannungspuffer mit Transistorverstärker in Kollektorschaltung, welcher die Stellgröße $i(t)$ für die Regelstrecke 1.1 liefert. Es wird sozusagen das leistungsschwache Signal vom Regler verstärkt, wobei die notwendige Stromänderung, relativ gesehen, schnell in die Spule eingeprägt werden muss, da große Verzögerungen die Stabilität gefährden.

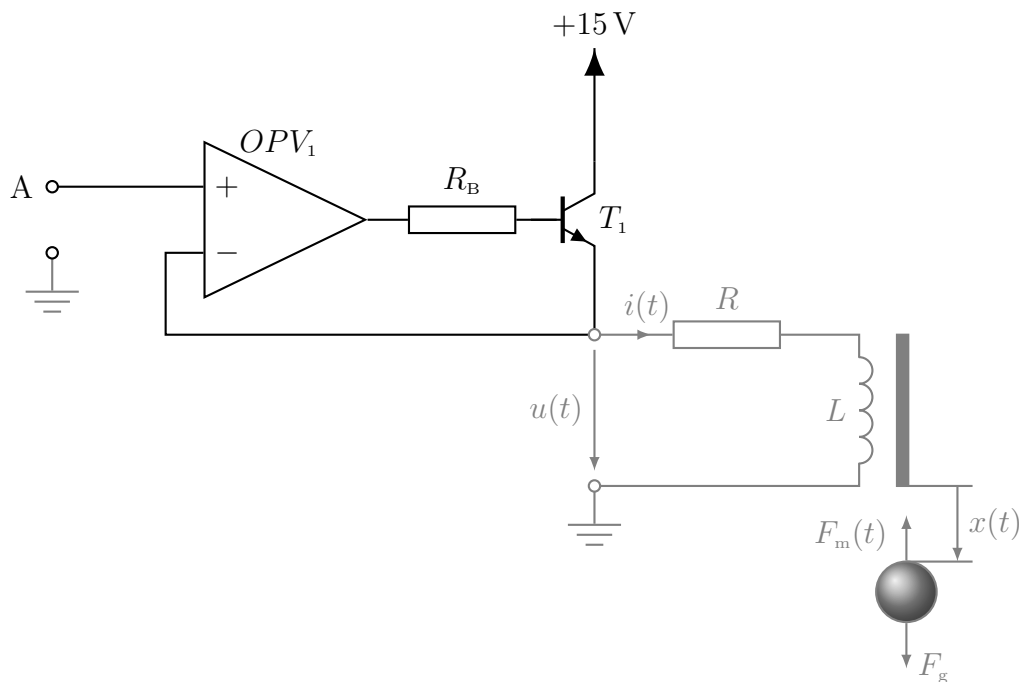


Abbildung 1.3.: Stellglied (Spannungspuffer mit einem Transistorverstärker in Kollektorschaltung)

Die Sprungantwort eines solchen Spannungspuffers ähnelt einem PT_1 -Element, sprich es liegt eine gewisse Zeitkonstante vor. Als Transistor wurde der BC140 npn Medium Power Transistor mit inkludiertem $180\,\Omega$ Basiswiderstand (R_B) von hps SystemTechnik (9118.15) verwendet und die Versorgungsspannung des Operationsverstärkers (OPV) wurde mit $+15\text{ V} / -15\text{ V}$ gewählt, wie bei allen kommenden Operationsverstärkern. Nach dem Aufbau der Schaltung kann eine Spannung am Eingang A angelegt werden, was dazu führen wird, dass die Kugel vom Elektromagneten stark angezogen wird. Hier sollte man merken, dass je nach Spannungshöhe die Position x_0 variiert. ($u(t) \gg \Rightarrow x_0 \ll$)

1.4. Führungsgrößenaufschaltung

Der Teil des Regelkreises kann auch als sogenannter Offset bezeichnet werden und dient zur Kompensation der Schwerkraft. Die Schaltung soll somit die Stellgröße im ausgeglichenem Zustand liefern.

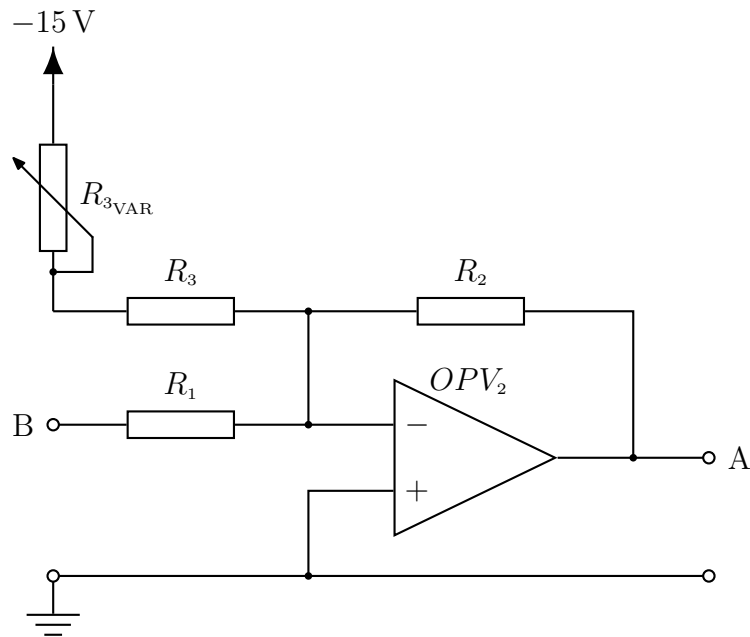


Abbildung 1.4.: Führungsgrößenaufschaltung (Offset durch einen Addierer)

Das Potentiometer ist dabei so einzustellen, dass die Kugel in einem gewünschten Abstand (erfahrungsgemäß ca. 5 mm unterhalb des Elektromagneten) im (labilen) Gleichgewicht sich befindet. \Rightarrow Schwerkraft wurde kompensiert.

Als Widerstandswerte wurden somit, nach der perfekten Einstellung des Potentiometers auf einen Abstand der Kugel von 5 mm, verwendet:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_{3\text{VAR}} = 100 \text{ k}\Omega / 47 \% \quad (\text{bzw. } R_{3\text{VAR}} = 47 \text{ k}\Omega)$$

Die Stabilisierung erfolgt im nachfolgendem Kapitel 1.6 mit Hilfe des Reglers.

1.5. Soll-Istwert Vergleich

Die Abstandsmessung erfolgt mittels einer Solarzelle und der Strom (Istwert) wird dann über einen Addierer mittels einem Sollwert, vorgegeben durch ein Potentiometer, verglichen. Die dafür entwickelte Schaltung zeigt folgende Form, wobei die Kugelposition durch die obere Kante der Solarzelle erfasst wird:

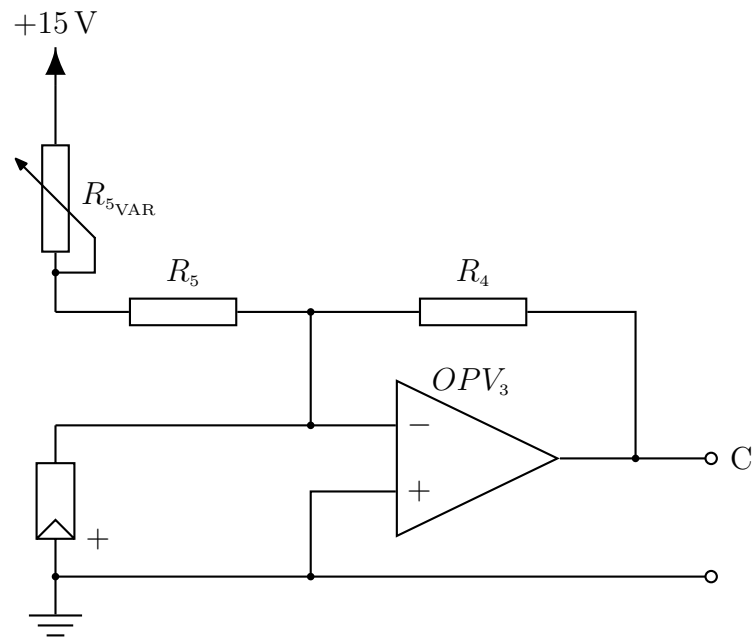


Abbildung 1.5.: Soll-Istwert Vergleich und Abstandsmessung

Nach dem hinzufügen dieser Schaltung muss das Potentiometer R_{5VAR} so eingestellt werden, dass, wenn sich die Kugel im (labilen) Gleichgewicht befindet, die Ausgangsspannung an C, sprich die Regelabweichung gleich 0 ist. Für die Widerstände wurden gewählt:

$$R_4 = 220 \text{ k}\Omega \quad R_5 = 47 \text{ k}\Omega \quad R_{5VAR} = 1 \text{ M}\Omega / 16,4 \% \quad (\text{bzw. } R_{5VAR} = 164 \text{ k}\Omega)$$

1.6. PD-Regler

Als Regler wird ein proportional-differential wirkender verwendet, welcher den P- & D-Anteil kombiniert, was bedeutet, dass der D-Anteil die Änderung der Regelabweichung $E(s)$ bewertet, um so die Änderungsgeschwindigkeit zu ermitteln und diese mit einem Faktor, dem P-Anteil, zu gewichten.

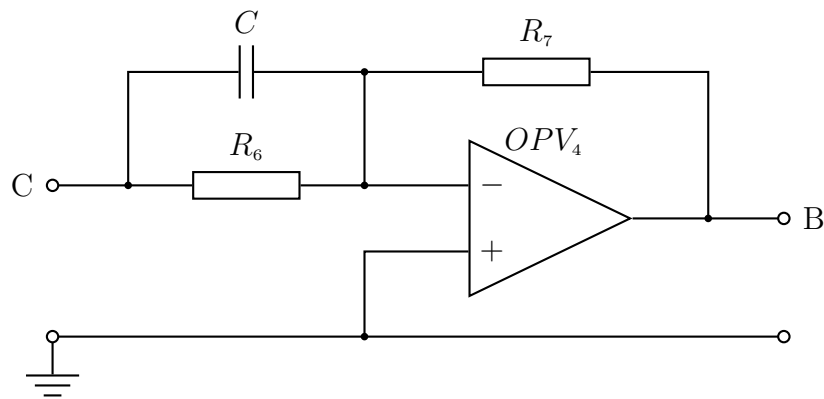


Abbildung 1.6.: PD-Regler

Dabei gilt:

$$F_R(s) = -k(1 + sT) \quad \text{mit } T = R_6 C, \quad k = \frac{R_7}{R_6} \quad (1.9)$$

Aus Erfahrungswerten wurden typische $10\text{ k}\Omega$ -Widerstände und eine Kapazität von $4,7\text{ }\mu\text{F}$ verwendet, was zu einer Zeitkonstante von 47 msec führt.

1.7. Regelkreis

Der fertig aufgebaute Regelkreis ist in der Abb. 1.7 ersichtlich, wobei die Rückkoppelung durch die Lichtquelle, Kugelposition & Solarzelle erfolgt:

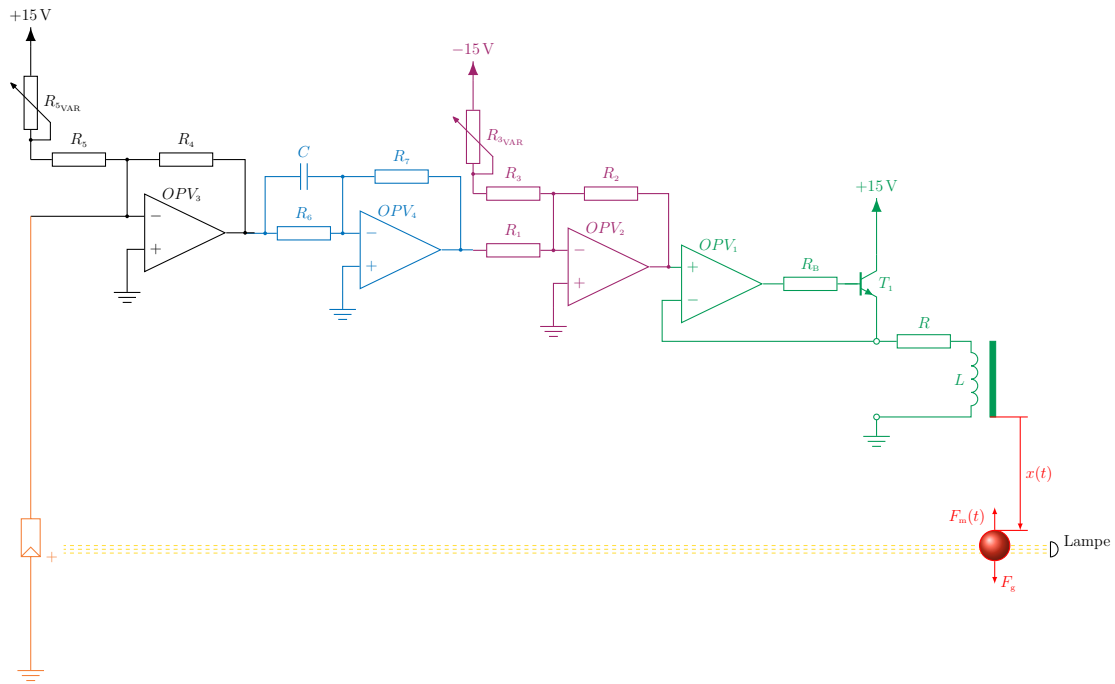


Abbildung 1.7.: Regelkreis der Magnetschweberegelung

Nach dem erfolgreichem Aufbau des Regelkreises wird die magnetische Kugel, oder ähnliches, in Schwebelage, ca. 5 mm unter dem Elektromagneten, gehalten, was auch in der nachfolgenden Abbildung 1.8 ersichtlich ist.

Das folgende Bild zeigt auch, dass das in Schwebelage zu haltende Material nicht rund oder rechteckig sein muss, jedoch mit zunehmender Unregelmäßigkeit der Oberfläche der ausgelegte Regelkreis immer instabiler wird.

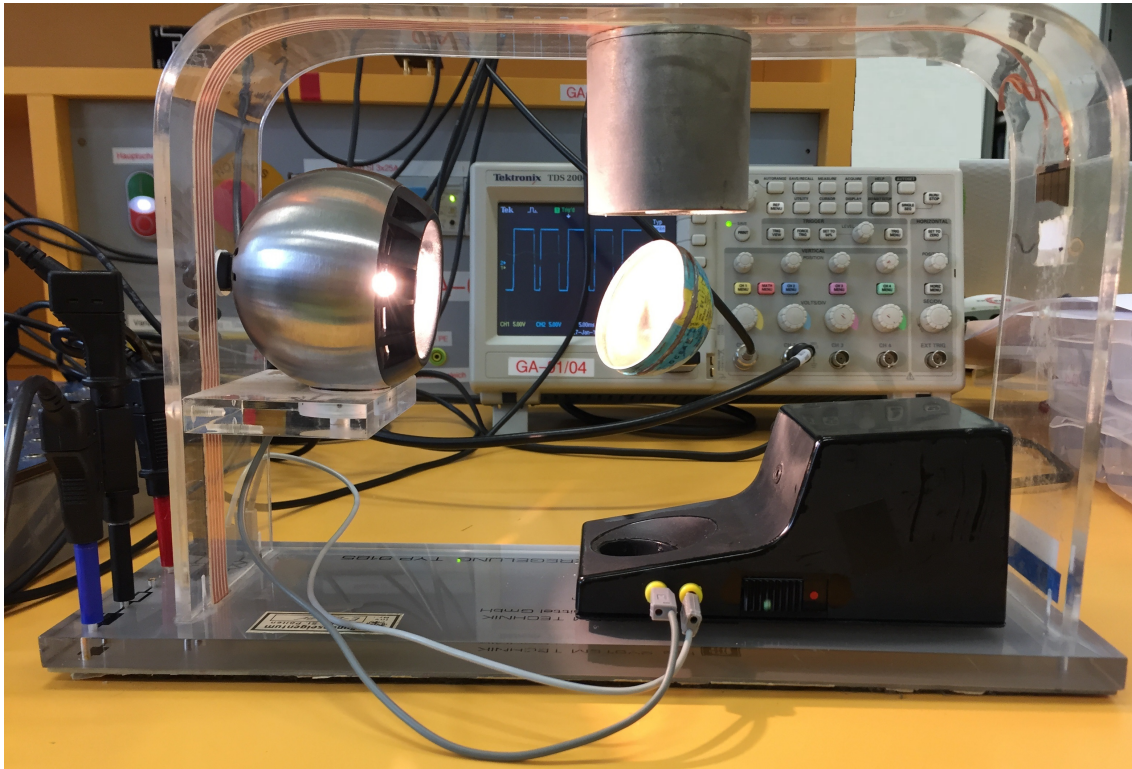


Abbildung 1.8.: Photo der schwebenden, magnetischen, „halben Weltkugel“

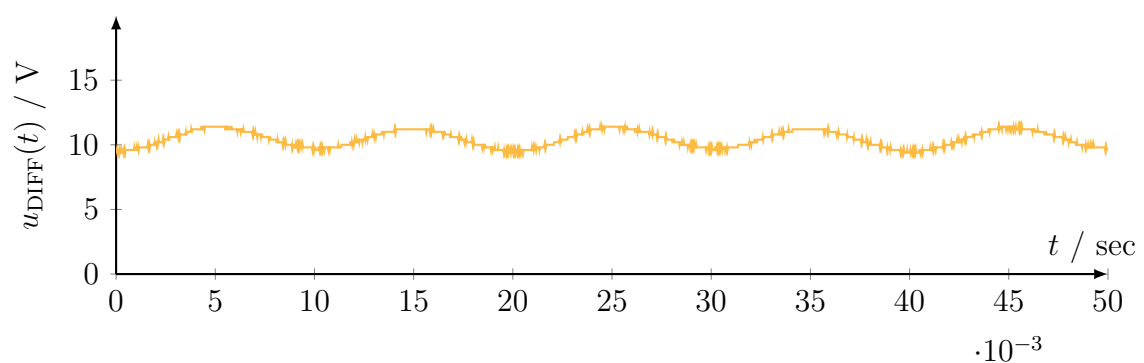


Abbildung 1.9.: Oszilloskopaufnahme der Regelabweichung $u_{\text{DIFF}}(t)$

1.8. Sollwertvorgabe

Im nächsten Schritt kann während die Kugel schwebt der Sollwert beispielsweise sinusförmig verändert werden, was dazu führt, dass sich die Kugelposition vertikal gesehen ebenfalls sinusförmig mit verändert.

Dies kann durch folgende Einspeisung am Summierpunkt des Soll-Istwert Vergleichs geschehen:

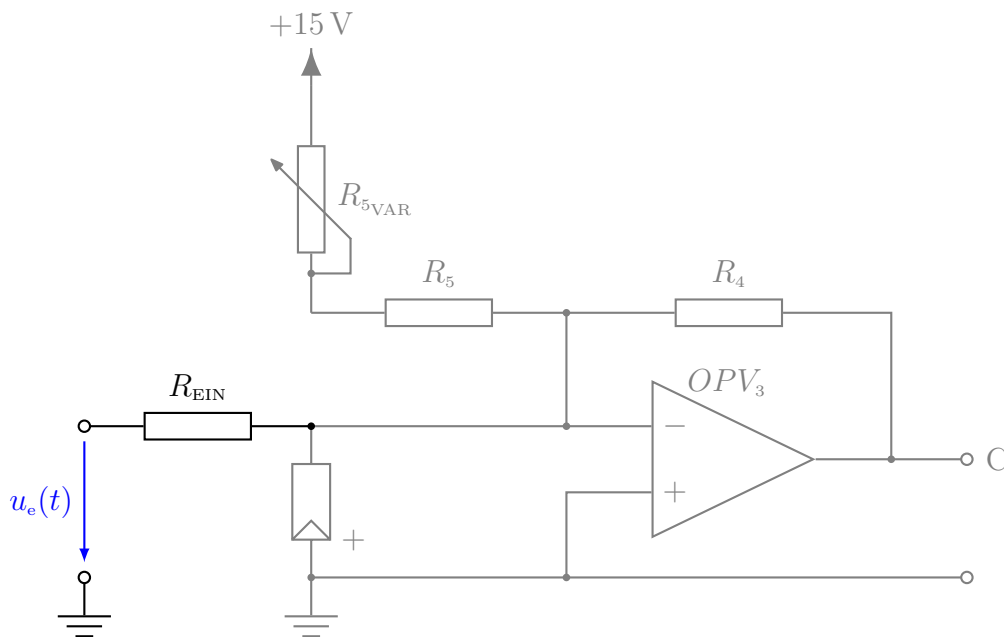


Abbildung 1.10.: Sollwertvorgabe

Als R_{EIN} wurde ein $216\text{ k}\Omega$ -Widerstand verwendet und als Eingangsspannung wurden bis zu 800 mV angelegt, was eine, fürs menschliche Auge, ersichtliche vertikale, sinusförmige Bewegung der magnetischen Kugel ergab.

Des Weiteren können auch andere Kurvenformen angelegt werden, wobei sich dann die Kugel dementsprechend mit bewegt.

A. Resümee

Durch diesen Versuch konnten wir feststellen, wie die einzelnen Komponenten eines Regelkreises wirken. Des Weiteren zeigte sich, dass magnetisches Schweben ohne einer Regelung instabil ist, was auch aus der Gleichung 1.8 hervorgeht.



Abbildung A.1.: Abschließendes „Team“photo

Abbildungsverzeichnis

1.1. Prinzip des Magnetschwebesystems	1
1.2. Blockschaltbild der Magnetschweberegung	3
1.3. Stellglied (Spannungspuffer mit einem Transistorverstärker in Kollektorschaltung)	5
1.4. Führungsgrößenaufschaltung (Offset durch einen Addierer)	6
1.5. Soll-Istwert Vergleich und Abstandsmessung	7
1.6. PD-Regler	8
1.7. Regelkreis der Magnetschweberegung	9
1.8. Photo der schwebenden, magnetischen, „halben Weltkugel“	10
1.9. Oszilloskopaufnahme der Regelabweichung $u_{\text{DIFF}}(t)$	10
1.10. Sollwertvorgabe	11
A.1. Abschließendes „Team“photo	12

Tabellenverzeichnis

1.1. Verwendete Geräte & Betriebsmittel	4
---	---

Literaturverzeichnis

- [1] **Wilhelm Haager:** Regelungstechnik. Wien 2007, 2. Auflage,
Hölder-Pichler-Tempsky GmbH Verlag, ISBN: 978-3-203-02565-4

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bez.	Bezeichnung
BNC	Bayonet Neill–Concelman
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur
Dr.	Doktor
etc.	et cetera
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HTBL u. VA	höhere technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt
Nr.	Nummer
OPV	Operationsverstärker