



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

ELEKTRONIK PRAKTIKUM

Regelschaltungen

Authore:

Henrik JÜRGENS

Frederik STROTHMANN

Tutoren:

Hans-Peter KIND

Peter KNIELING

Marius WENSING

13. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Eichung des NTC-Sensors	2
2.1	Verwendete Geräte	2
2.2	Verwendete Formeln	2
2.3	Versuchsaufbau	2
2.4	Versuchsdurchführung	3
2.5	Messergebnisse	3
2.6	Auswertung	3
2.7	Diskussion	4
3	Regelschaltungen	4
3.1	Zweiwegregler	4
3.2	Zweiwegregler mit Hysterese	8
3.3	Proportionalregler	9
3.4	Proportionalregler mit Integrator	13
4	Fazit	18

1 Einleitung

In diesem Versuch werden Regelschaltungen untersucht, dies finden in den meisten heutzutage erhältlichen Geräten Anwendung, z.B. Computer und Autos. Es werden vier verschiedene Regelschaltungen untersucht, eine Zweiwegregelung, eine Zweiwegregelung mit Hysterese, eine Proportionalregelung und eine Proportionalregelung mit Integrator.

2 Eichung des NTC-Sensors

Im ersten Versuchsteil soll der NTC-Sensor für die nachfolgenden Messungen geeicht werden. Der NTC-Sensor ist ein Widerstand, der Exponentiell von der Temperatur abhängt.

2.1 Verwendete Geräte

Es werden ein NTC-Sensor, ein Kühlkörper, ein DMM, ein Heizwiderstand und ein Netzgerät verwendet.

2.2 Verwendete Formeln

Der Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur ist durch Gleichung 1 gegeben. R_{25} ist der Widerstand bei 25°C

$$R_{\text{NTC}}(T) = R_{25} \exp \left(-B \left(\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T} \right) \right) \quad (1)$$

2.3 Versuchsaufbau

1 ist der NTC, 2 ist der Kühlkörper und 3 der Heizwiderstand.

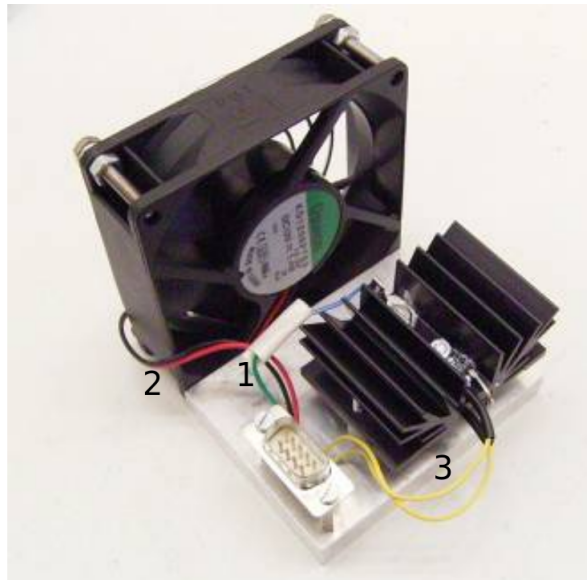


Abbildung 1: Aufbau zur Eichung des NTC¹

¹Abbildungsteile entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep7_14.pdf am 06.12.2014

2.4 Versuchsdurchführung

Es wurde der Versuchsaufbau wie in Abbildung 1 genommen und die grünen Kabel (der NTC) an ein DMM für die Widerstandsmessung angeschlossen. Danach wird der Heizwiderstand (das schwarze und das rote Kabel) an die 20V Gleichspannungsquelle des Netzgerätes angeschlossen. Dann wird das Digitalthermometer in die Bohrung des Heizwiderstandes gesteckt und die Messung des Widerstandes in Abhängigkeit der Temperatur begonnen.

2.5 Messergebnisse

Der Fehler der Temperatur wurde mit dem Ablesefehler bestimmt, er beträgt $0,1^\circ\text{C}$, da kein Fehler angegeben war. Der Fehler des Widerstandes wurde aus dem Ablesefehler und dem angegebenen Fehler bestimmt, er beträgt $60\text{ m}\Omega$ für alle Werte von $21,4^\circ\text{C}$ bis 58°C und für die Werte von 59°C bis 69°C beträgt der Fehler $6\text{ m}\Omega$.

T/ $^\circ\text{C}$	Widerstand/ Ω	T/ $^\circ\text{C}$	Widerstand/ Ω	T/ $^\circ\text{C}$	Widerstand/ Ω
21,4	11,68	38	4,83	55	2,11
22	11,34	39	4,58	56	2,04
23	10,64	40	4,40	57	1,96
24	10,02	41	4,20	58	1,88
25	9,47	42	4,02	59	1,821
26	9,00	43	3,85	60	1,734
27	8,57	44	3,64	61	1,699
28	8,09	45	3,45	62	1,602
29	7,70	46	3,28	63	1,568
30	7,32	47	3,14	64	1,476
31	6,94	48	3,01	65	1,421
32	6,59	49	2,85	66	1,388
33	6,33	50	2,72	67	1,347
34	5,95	51	2,62	68	1,280
35	5,57	52	2,51	69	1,263
36	5,31	53	2,38		
37	5,04	54	2,23		

Tabelle 1: Messdaten des Widerstandes in Abhängigkeit der Temperatur

2.6 Auswertung

In diesem Versuchsteil sollt der NTC-Sensor geeicht werden. Dafür wird der Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur gemessen. Die Messdaten werden dann geplottet und gefittet und mit der Theorie verglichen. Die Messdaten befinden sich in Tabelle 1, die Daten wurden mit Gleichung 1 gefittet. Die Theoriekurve wurde mit einem Wert von 3988°K für B geplottet (Angabe aus der Praktikumsanleitung entnommen). Es ergibt sich der Plot in Abbildung 2. Dabei ergibt sich B aus dem Fit mit $4239.75 \pm 36.02^\circ\text{K}$

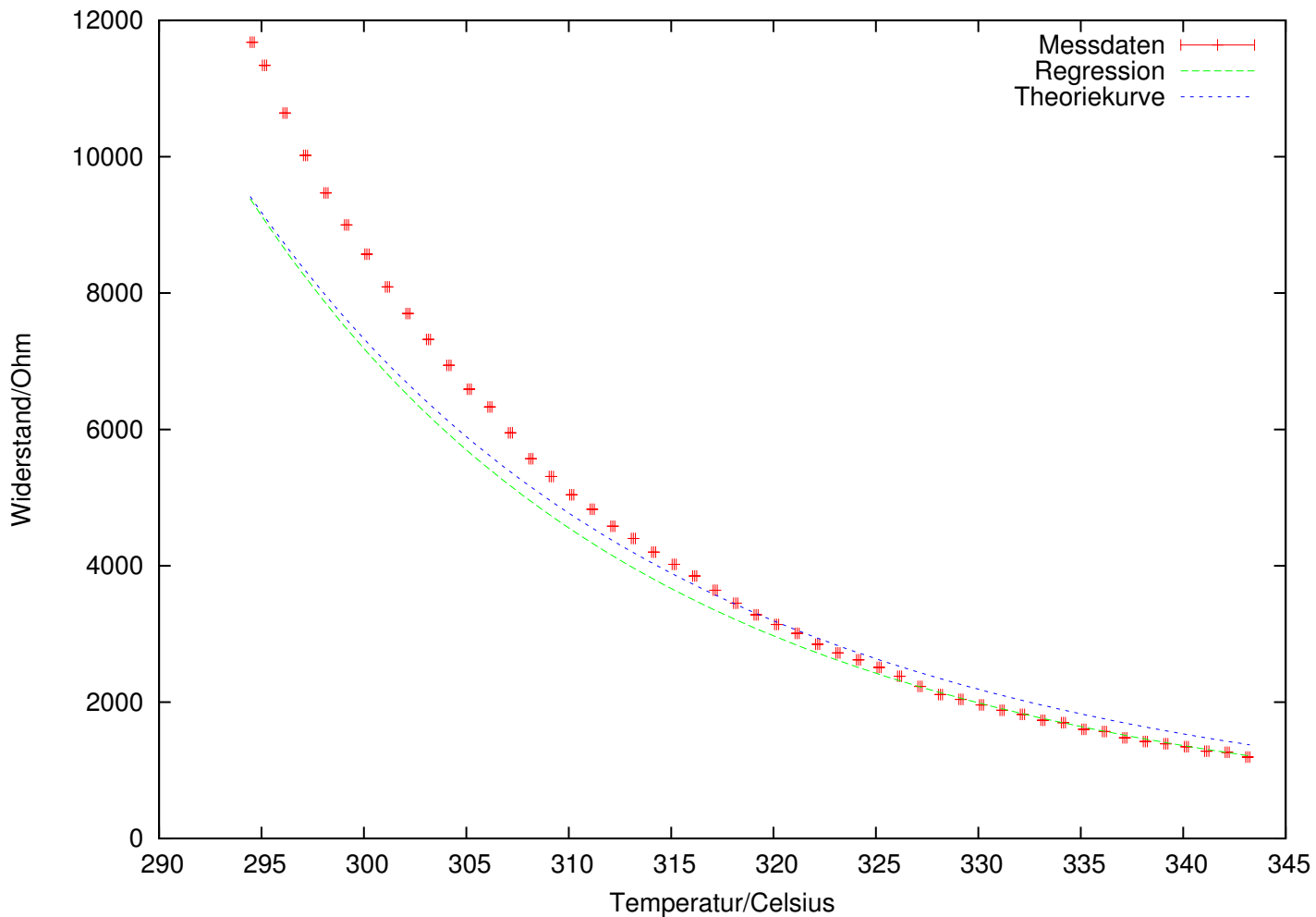


Abbildung 2: Graphische Auswertung Messdaten zur Eichung des NTC

2.7 Diskussion

Für B wurde ein Wert von 3988°K erwartet mit einem Fehler von $\pm 79,76^{\circ}\text{K}$, der bestimmte Wert weicht um 251°K ab. Diese große Abweichung vom erwarteten Wert resultiert aus dem schnellen aufheizen, wodurch sich die Wärme im Heizwiderstand nicht schnell genug ausbreiten konnte.

3 Regelschaltungen

In diesem Versuchsabschnitt werden verschiedene Regelschaltungen untersucht. Es werden Zweiwegregler, Zweiwegregler mit Hysterese, Proportionalregler und Proportionalregler mit Integrator untersucht.

3.1 Zweiwegregler

In diesem Versuchsteil wird die Temperaturregulierung mittels eines Zweiwegreglers untersucht. Dieser unterscheidet nur zwischen den Zuständen "Temperatur ist größer als der Sollwert" und "Temperatur ist kleiner als Sollwert" und reagiert dementsprechend (binäre Regelung). Der Vorteil eines Zweiwegreglers ist, dass er sehr einfach aufzubauen ist. Jedoch sind das ständige an- und ausschalten und die starken Schwankungen der Regelschaltung meistens unerwünscht.

Verwendete Geräte

Es werden ein Netzgerät, Widerstände, Kondensatoren, ein Oszilloskop, ein Op-Amp, ein Transistor, ein Lüfter und eine LED verwendet.

Versuchsaufbau

Die Werte der jeweiligen Bauteile sind im Schaltplan angegeben.

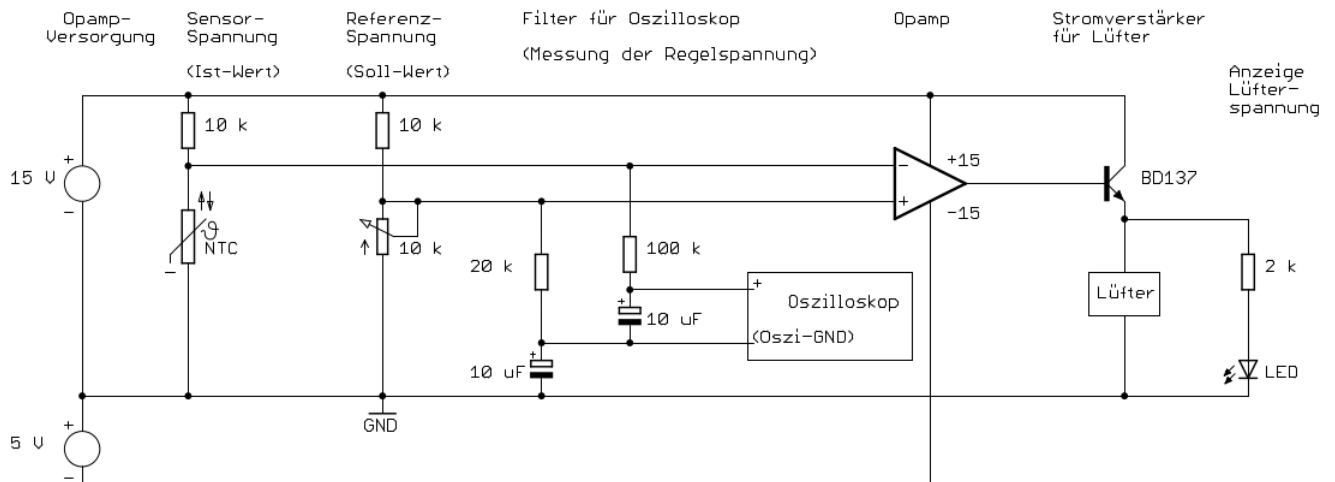


Abbildung 3: Schaltskizze des Zweiwegreglers²

Der Aufbau lässt sich auch vereinfacht darstellen (Abbildung 4). Im fortfolgenden werden nur die vereinfachten Schaltskizzen angegeben.

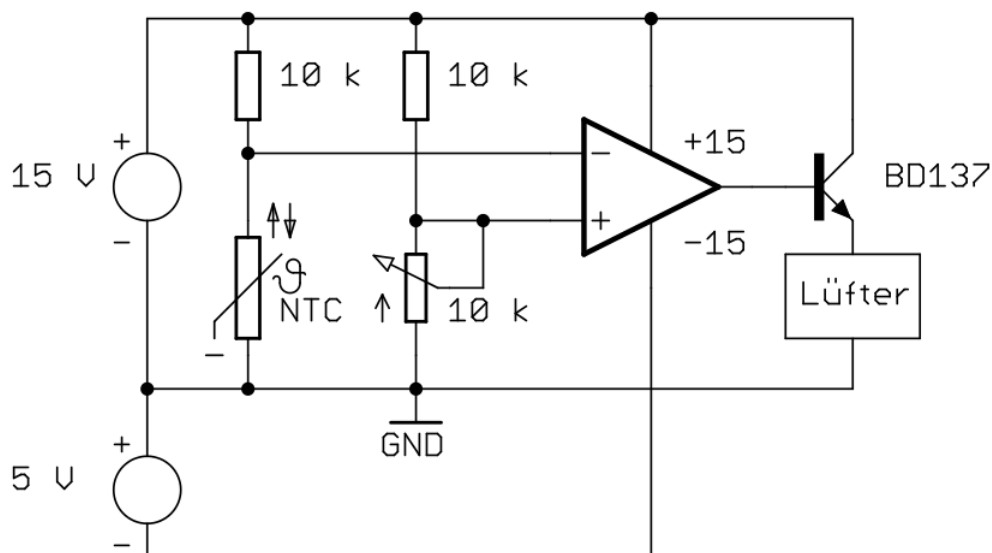


Abbildung 4: Vereinfachte Schaltskizze des Zweiwegreglers³

²Abbildungsteile entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep7_14.pdf am 06.12.2014

³Abbildungsteile entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep7_14.pdf am 06.12.2014

Versuchsdurchführung

Die Schaltung wird nach Abbildung 3 aufgebaut. Dann wird das Netzgerät eingeschaltet und der Hitzewiderstand solange erwärmt, bis eine Temperatur von 50°C auf dem Digitalthermometer angezeigt wird. Die Solltemperatur wird mit dem $10\text{k}\Omega$ Potentiometer so eingestellt. Wenn das Digitalthermometer 50°C anzeigt, wird die Spannung zwischen dem Invertierenden Eingang und der Masse gemessen. Der Temperaturverlauf soll dann in Abhängigkeit der Zeit gemessen werden. Dafür wird die Heizspannung auf den Maximalwert aufgedreht und das Netzgerät eingeschaltet. Alle 5 s wurde die Temperatur abgelesen. Die Messung beginnt ab dem Einschalten des Netzgerätes. Zum Schluss soll die Eingangsspannung des Op-Amp untersucht werden. Dafür wird das Netzgerät eingeschaltet und das Verhalten mit dem Oszilloskop aufgenommen.

Messergebnisse

Der Fehler der Zeit wurde mit 0,5 s angenommen, da die Zeit von einer Person abgelesen wurde, während die andere Person die Temperatur abgelesen und protokolliert hat. Der Fehler der Temperatur wurde mit der Ablesungenauigkeit bestimmt und beträgt $0,1^{\circ}\text{C}$.

t/s	T/ $^{\circ}\text{C}$	t/s	T/ $^{\circ}\text{C}$
0	50,7	45	48,6
5	50,6	50	48,5
10	50,0	55	48,4
15	49,5	60	48,4
20	49,2	65	48,4
25	48,9	70	48,4
30	48,7	75	48,3
35	48,7	80	48,4
40	48,5	85	48,3

Tabelle 2: Messdaten der Temperatur in Abhängigkeit der Zeit für den Zweiwegregler

Auswertung

Im ersten Teil soll die Temperatur auf 50°C geregelt werden und die Spannung am invertiertem Eingang gemessen werden. Theoretisch ergibt sich die erwartete Spannung aus Gleichung 1, ausgewertet bei 50°C und bestimmten der Spannung über den Spannungsteiler NTC. Es ergibt sich ein Wert von 3,93 V. Gemessen wurde ein Wert von $3,88 \pm 0,06\text{V}$.

Im zweiten Teil sollte die Regelkurve aufgenommen werden. Der Plot der Messdaten ist in Abbildung 6 zu sehen.

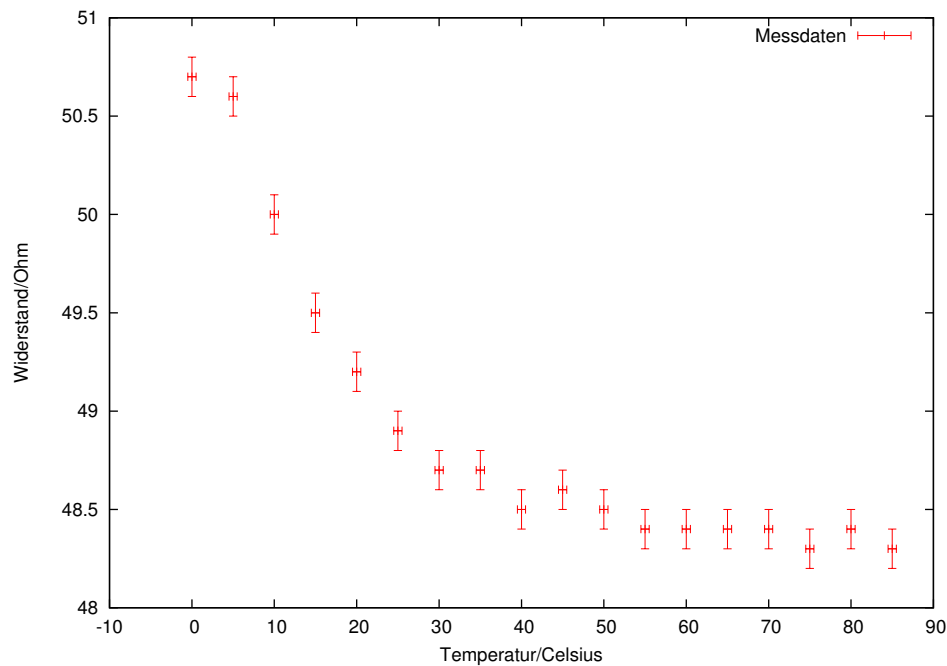


Abbildung 5: Graphische Auswertung der Regelkurve für den Zweiwegregler

Im dritten Versuchsteil soll das Verhalten der Eingangsspannung untersucht werden. Dafür wurde die Eingangsspannung mit dem Oszilloskop aufgenommen, der Verlauf ist in Abbildung ?? zu sehen.

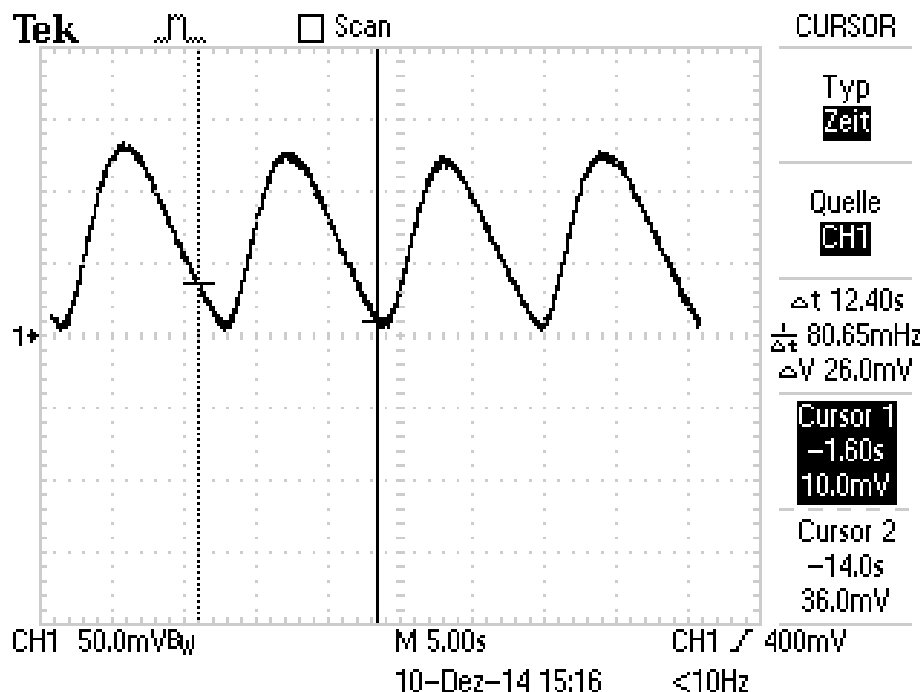


Abbildung 6: Eingasspannung

Diskussion

Die Spannung am invertiertem Eingang bei 50°C wurde mit $3,88 \pm 0,06V$ gemessen, erwartet wurde eine Wert von 3,93V. Der erwartete Wert liegt innerhalb des ersten Fehlerintervalls des gemessenen Wertes. Die Regelkurve zeigt, wie sich die Temperatur der Solltemperatur annähert und dann schwach um den Sollwert schwingt. Das Verhalten der Eingangsspannung war wie

erwartet, sobald die Solltemperatur überschritten wird steigt die Eingangsspannung und wenn die Solltemperatur unterschritten wird, fällt sie.

3.2 Zweiwegregler mit Hysterese

In diesem Versuchsteil wird die Regelung der Temperatur über eine Zweiwegreglung mit Hysterese untersucht. Der Vorteil dieser Schaltung ist, dass durch die Hysterese die Regelung erst etwas später eintritt.

Verwendete Geräte

Es werden ein Netzgerät, Widerstände, Kondensatoren, ein Oszilloskop, ein Op-Amp, ein Transistor und ein Lüfter verwendet.

Versuchsaufbau

Die Hysterese wird dadurch erreicht, dass Eingang und Ausgang mit einem Widerstand verbunden werden. Hier ist R_h der Widerstand und er hat einen Wert von $20\text{ k}\Omega$ bis $100\text{ k}\Omega$.

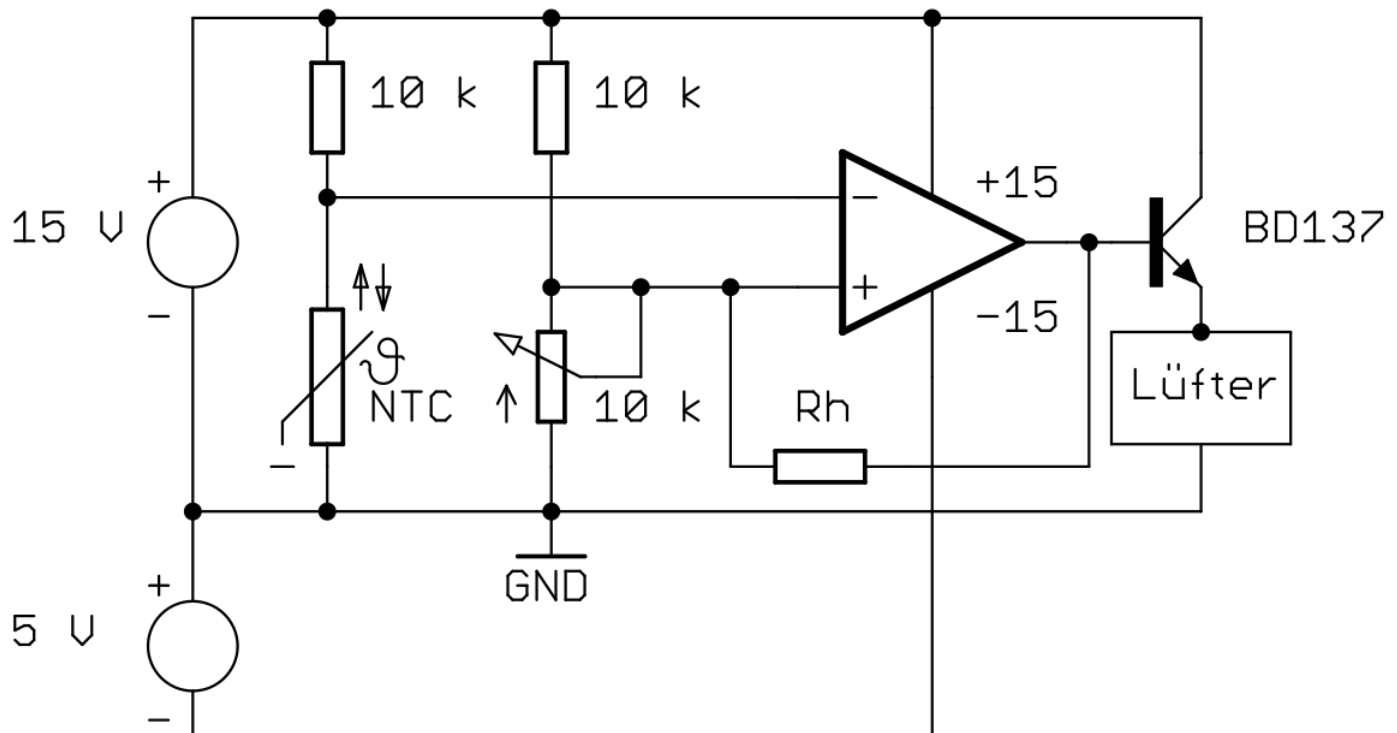


Abbildung 7: Vereinfachte Schaltskizze des Zweiwegreglers mit Hysterese⁴

Versuchsdurchführung

Zu erst wurde die Schaltung nach Abbildung 7 aufgebaut. Dann sollte die Eingangsspannung aufgenommen werden. Dafür wird das Netzgerät eingeschaltet und mit dem Oszilloskop die Eingangsspannung aufgenommen.

⁴Abbildungsteile entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep7_14.pdf am 06.12.2014

Auswertung

Die veränderten Umschaltunkte kommen dadurch zustande, dass durch die Rückkopplung auch nach Erreichen des Sollwertes noch ein Eingangssignal vorhanden ist. Das Verhalten der Eingangsspannung ist in Abbildung 8 zu sehen. Die Hysterese ist deutlich an Stellen mit starker Steigung zu sehen.

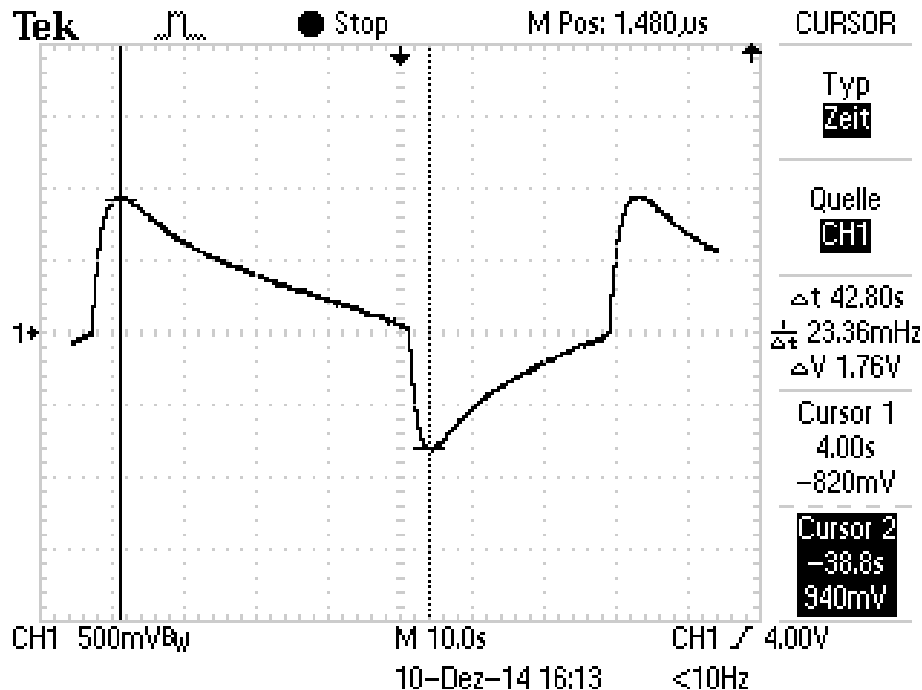


Abbildung 8: Graphische Auswertung der Regelkurve für den Zweiwegregler

Diskussion

Wie erwartet ergab sich durch die Hysterese ein verspäteter Einschalt- und Ausschaltzeitpunkt. Dies ist deutlich in Abbildung 8 zu sehen.

3.3 Proportionalregler

In diesem Versuchsteil wird der Proportionalregler untersucht, er ermöglicht eine kontinuierliche Regulierung der Drehzahl des Lüfters.

Verwendete Geräte

Es werden ein Netzgerät, Widerstände, Kondensatoren, ein Oszilloskop, ein Op-Amp, ein Transistor und ein Lüfter verwendet.

Versuchsaufbau

Um den Proportionalregler zu realisieren, wird der invertierende Eingang über einen Widerstand mit dem Ausgang rückgekoppelt. In dem Aufbau in Abbildung 9 wird der Widerstand R_f für die Rückkopplung verwendet, es handelt sich um einen $1\text{M}\Omega$. R_i ist ein $4,7\text{k}\Omega$ Widerstand.

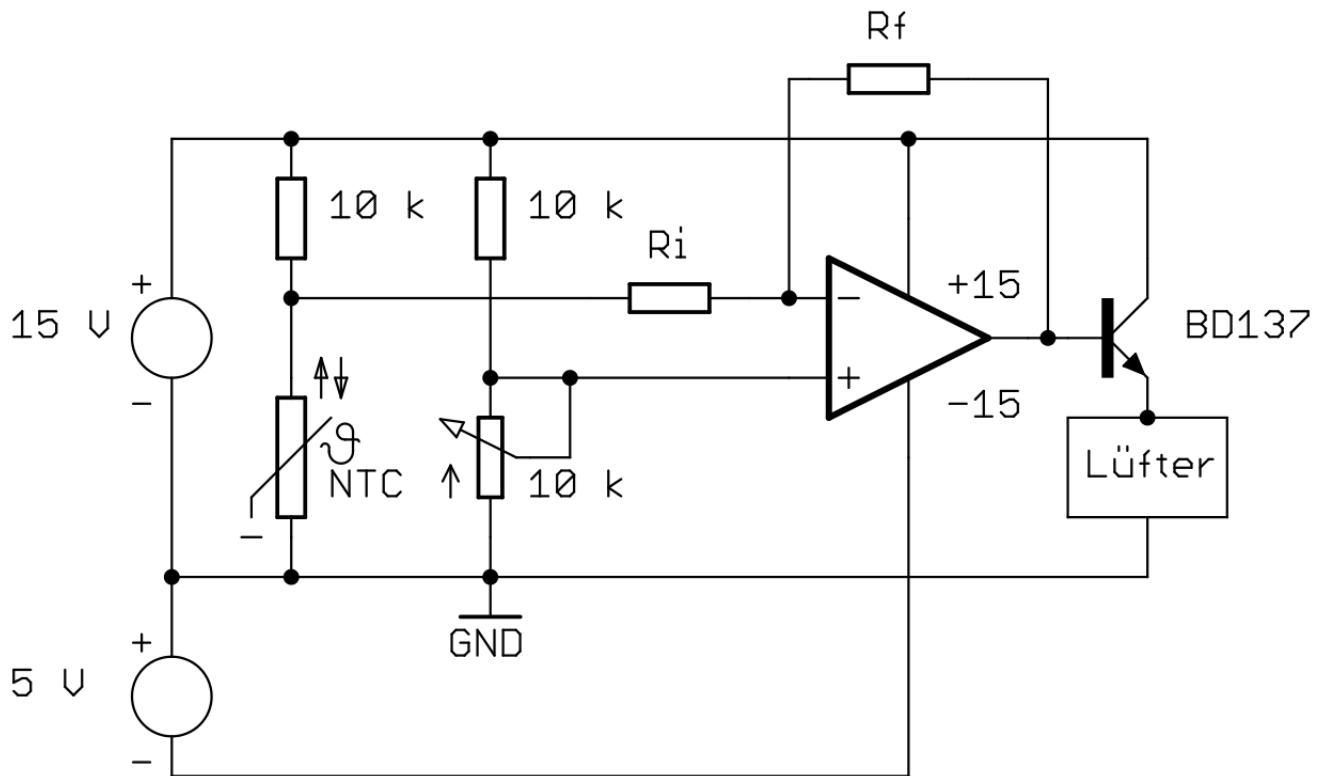


Abbildung 9: Vereinfachte Schaltskizze des Proportionalreglers⁵

Versuchsdurchführung

Die Schaltung vom Zweiwegregler wird zum P-Regler umgebaut, indem ein Rückkopplungswiderstand R_f von $1\text{ M}\Omega$ und ein Eingangswiderstand R_i von $4,7\text{ k}\Omega$ eingefügt wird.

Messergebnisse

Der Fehler der Temperatur wurde mit dem Ablesfehler bestimmt, er beträgt $0,1\text{ }^\circ\text{C}$, da kein Fehler angegeben war. Der Fehler des Widerstandes wurde aus dem Ablesfehler und dem angegebenen Fehler bestimmt, er beträgt $60\text{ m}\Omega$ für alle Werte von $21,4\text{ }^\circ\text{C}$ bis $58\text{ }^\circ\text{C}$ und für die Werte von $59\text{ }^\circ\text{C}$ bis $69\text{ }^\circ\text{C}$ beträgt der Fehler $6\text{ m}\Omega$.

t/s	T/ $^\circ\text{C}$	t/s	T/ $^\circ\text{C}$
0	71,1	90	42,4
10	69,0	100	42,0
20	64,4	110	41,7
30	59,5	120	41,5
40	55,1	130	41,5
50	51,2	140	41,4
60	47,9	150	41,4
70	45,3	160	41,4
80	43,3		

Tabelle 3: Messdaten der Regelkurve, für den P-Regler

⁵Abbildungsteile entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep7_14.pdf am 06.12.2014

Auswertung

Nach der Formel für die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes des NTC (Formel 1) wird der Widerstand für 51, 50 und 49 °C errechnet und die Abfallende Spannung über den Spannungsteiler bestimmt. Daraus kann die Spannungsdifferenz ΔU von 50 nach 49 bzw. nach 51°C errechnet werden. Dies ergibt den Verstärkungsfaktor k , da $\Delta T = 1\text{ °C}$ und $\Delta U = k\Delta T$. Für k wurde 0,11 V/K errechnet. Für den Plot der Temperatur als Funktion der Zeit nach Tabelle 3 ergibt sich:

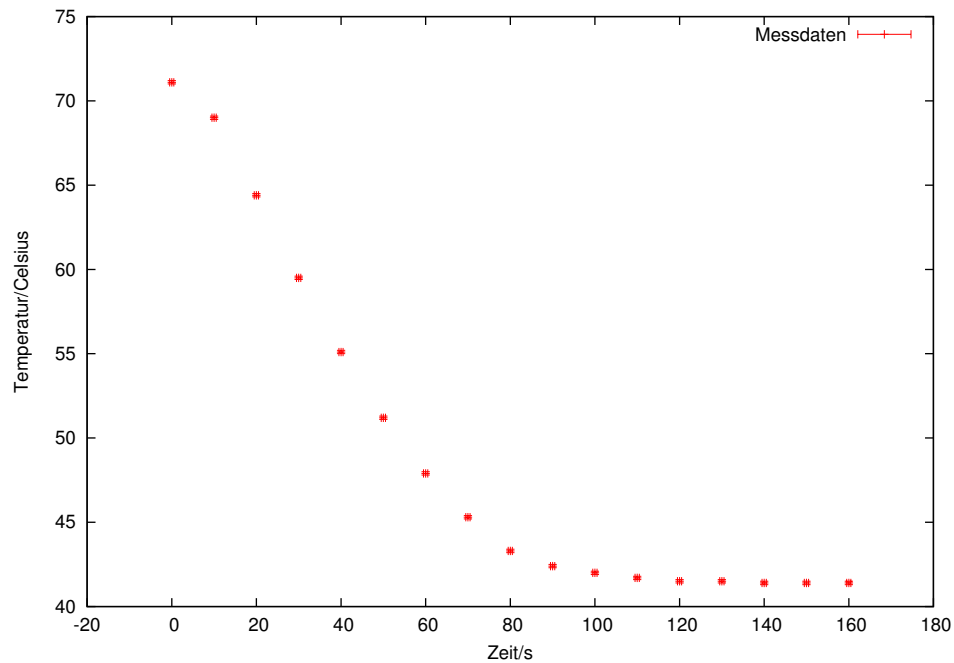


Abbildung 10: Temperatur als Funktion der Zeit beim P-Regler

Nach dem Erreichen der Solltemperatur schwankt diese nur minimal.

Mit dem Oszilloskop wird die Änderung der Ausgangsspannung als Funktion der Regelung (V gegen t) aufgezeichnet.

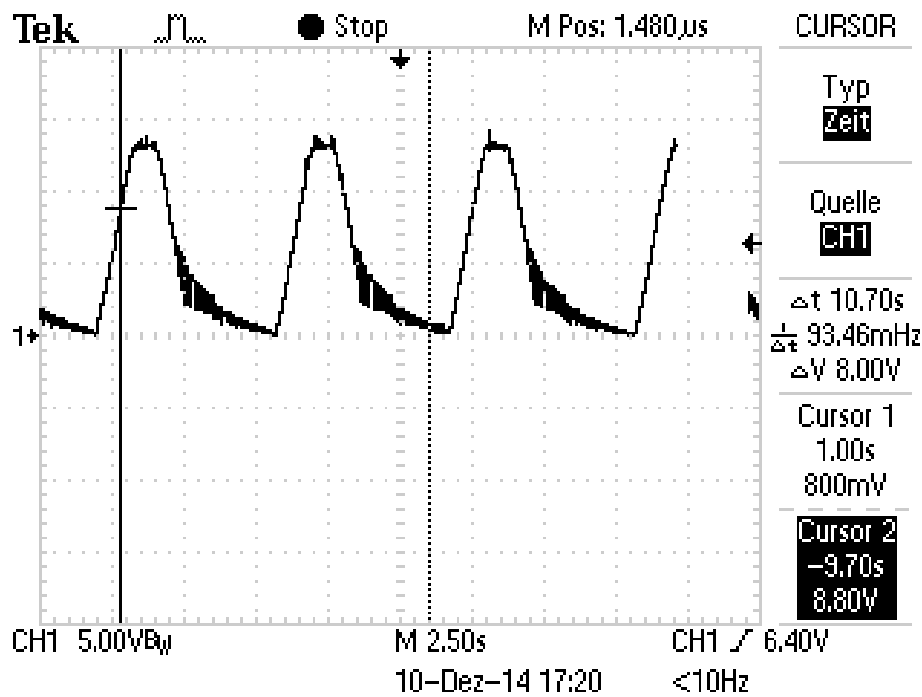


Abbildung 11: Spannungsverlauf beim P-Regler

Da ein Widerstand von $1\text{ M}\Omega$ verwendet wurde, ist kaum eine Verbesserung aufgrund der Verstärkung zu sehen.

Durch die Änderung der Solltemperatur am Potentiometer setzt die Regelschaltung ein.

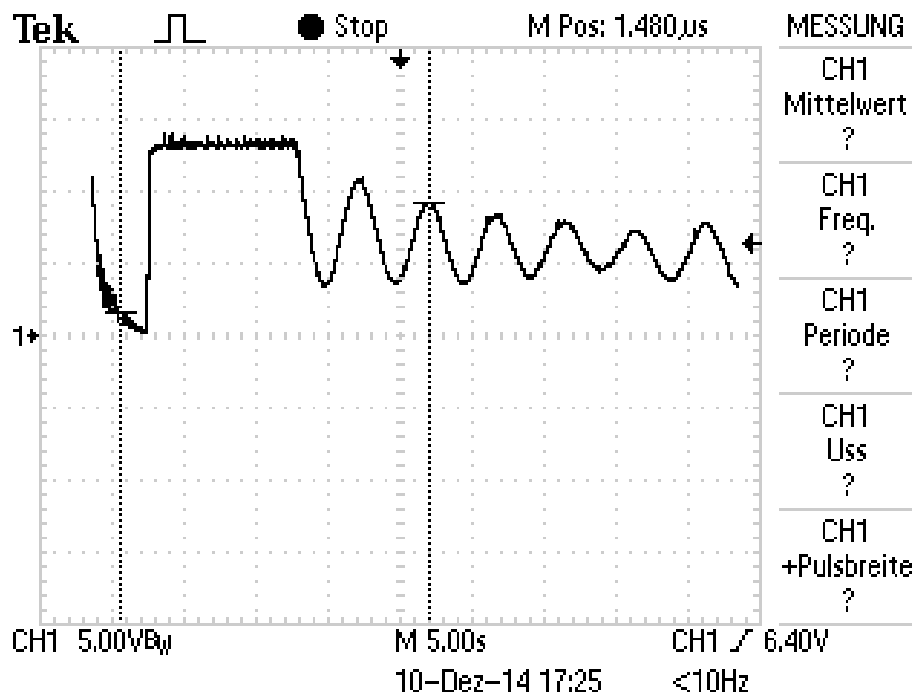


Abbildung 12: Änderung der Solltemperatur P-Regler

Es ist zu erkennen, dass die Schaltung die Solltemperatur nach kurzer Zeit einstellt, wobei die Schwankung um den Sollwert deutlich zu erkennen ist.

Diskussion

Die Eigenschaften der Proportionalreglerschaltung konnten in diesem Versuchsteil bestätigt werden, wobei die kontinuierliche Regelung des Ausgangssignals vermutlich mit einem niedrigeren Rückkopplungswiderstand besser gelungen wäre. (kleinerer Verstärkungsfaktor)

3.4 Proportionalregler mit Integrator

In diesem Versuchsaufbau wird ein Proportionalregler mit Integrator untersucht. Durch den Integrator können Schwingungen der Regelung ausgeglichen werden, zudem ist die Regelwirkung bei einem Verzug der Wirkung stärker.

Anmerkung:

Der zweite und der dritte Versuchsteil wurden in diesem Versuchsabschnitt vertauscht, da sich dadurch eine bessere Übersicht ergibt.

Verwendete Geräte

Es werden ein Netzgerät, Widerstände, Kondensatoren, ein Oszilloskop, ein Op-Amp, ein Transistor und ein Lüfter verwendet.

Versuchsaufbau

Um dem Proportionalregler einen Integrator hinzuzufügen wird ein Kondensator in Reihe zu R_f geschaltet, C beträgt dabei $100\mu\text{F}$. damit das Signal nicht wegläuft wird ein $100\text{M}\Omega$ Widerstand parallel zu C geschaltet.

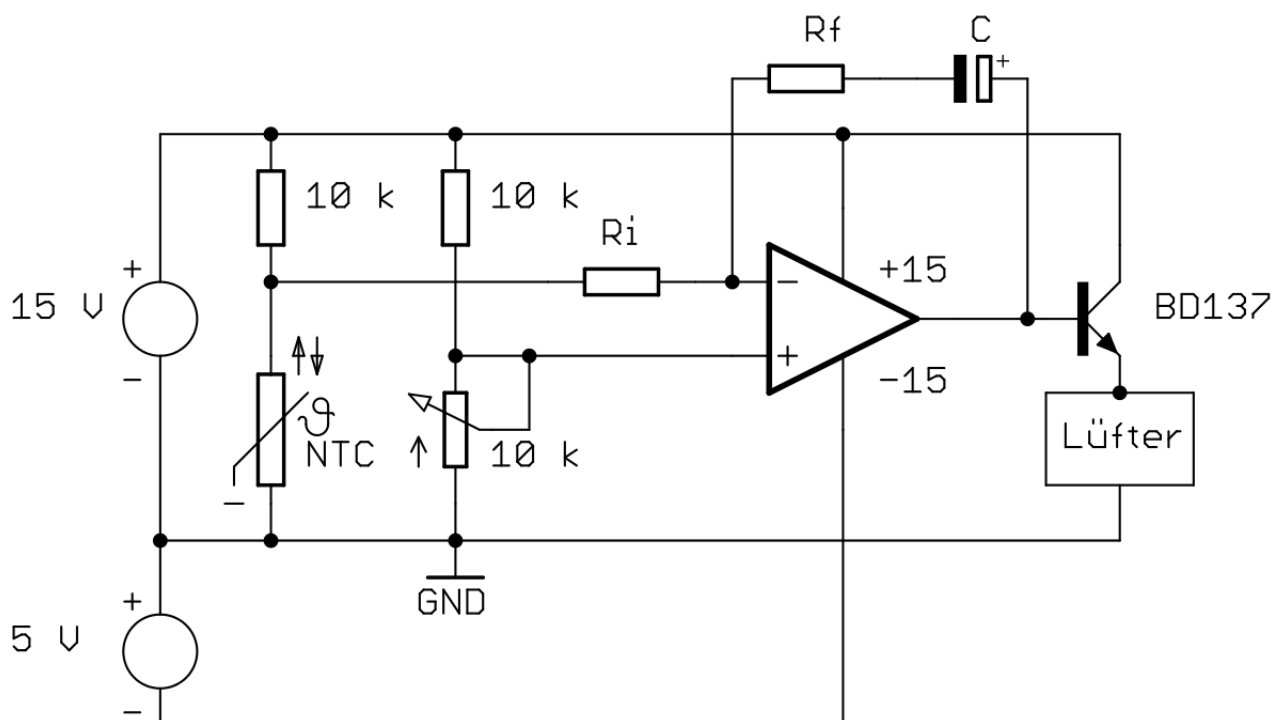


Abbildung 13: Vereinfachte Schaltskizze des Proportionalreglers mit Integrator⁶

⁶Abbildungsteile entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep7_14.pdf am 06.12.2014

Versuchsdurchführung

Es wird die Schaltung nach Abbildung 13 aufgebaut. Zuerst soll die Regelkurve aufgenommen werden. Dafür wird der Lüfter von der Schaltung abgekoppelt (der Stromkreis blieb über Kurzschlussbrücken geschlossen) und das Netzgerät eingeschaltet. Sobald sich der Heizwiderstand auf etwa 70°C eingestellt hat, wird der Lüfter wieder angeschlossen und die Temperaturkurve aufgenommen.

Danach soll die Ausgangsspannung mit dem Oszilloskop beobachtet werden. Dafür wird nichts an dem vorherigen Zustand der Schaltung geändert, es wird lediglich die Kurve auf dem Oszilloskop aufgenommen.

Dann wird die Solltemperatur und die Heizleistung geändert, um zu sehen, ob die Regelschaltung schnell auf die geänderten Werte reagiert. Dafür soll das $10\text{k}\Omega$ Potentiometer auf einen neuen Wert eingestellt (ändern der Solltemperatur) und die Betriebsspannung am Netzgerät gesenkt werden. Die Ausgangsspannung wird dann mit dem Oszilloskop aufgenommen.

Im letztem Abschnitt sollen Bauteile des Aufbaus variiert werden und die Ausgangsspannung auf dem Oszilloskop beobachtet werden. Zuerst wird die Spannung am Netzgerät wieder auf den Maximalwert eingestellt. R_f wird durch einen $470\text{k}\Omega$ Widerstand ersetzt und das Netzgerät wird angeschaltet. Sobald die Solltemperatur erreicht wird, wird die Ausgangsspannung mit dem Oszilloskop aufgenommen. Dann wird R_f durch einen $470\text{k}\Omega$ Widerstand und R_i durch einen $10\text{k}\Omega$ Widerstand ersetzt und das Netzgerät eingeschaltet. Sobald die Solltemperatur erreicht wird, wird die Ausgangsspannung mit dem Oszilloskop aufgenommen.

Messergebnisse

Der Fehler der Zeit wurde mit $0,5\text{s}$ angenommen, da die Zeit von einer Person abgelesen wurde, während die andere Person die Temperatur ablesen musste. Der Fehler der Temperatur wurde mit der Ableseungenauigkeit bestimmt und beträgt $0,1^{\circ}\text{C}$.

t/s	T/ $^{\circ}\text{C}$	t/s	T/ $^{\circ}\text{C}$
0	70,9	75	43,0
5	70,5	80	42,2
10	69,0	85	41,0
15	66,6	90	40,5
20	64,1	95	40,0
25	61,3	100	39,7
30	59,1	105	39,6
35	56,7	110	39,4
40	54,3	115	39,3
45	52,3	120	39,2
50	50,3	125	39,1
55	48,4	130	39,1
60	47,0	135	39,1
65	45,6	140	39,1
70	44,4	145	39,1

Tabelle 4: Messdaten der Regelkurve für die PI-Regler

Auswertung

Im ersten Teil sollte die Regelkurve aufgenommen werden. Bei der Messung ergaben sich die Werte in Tabelle 4, der Plot der Messdaten ist in Abbildung 14 zu sehen.

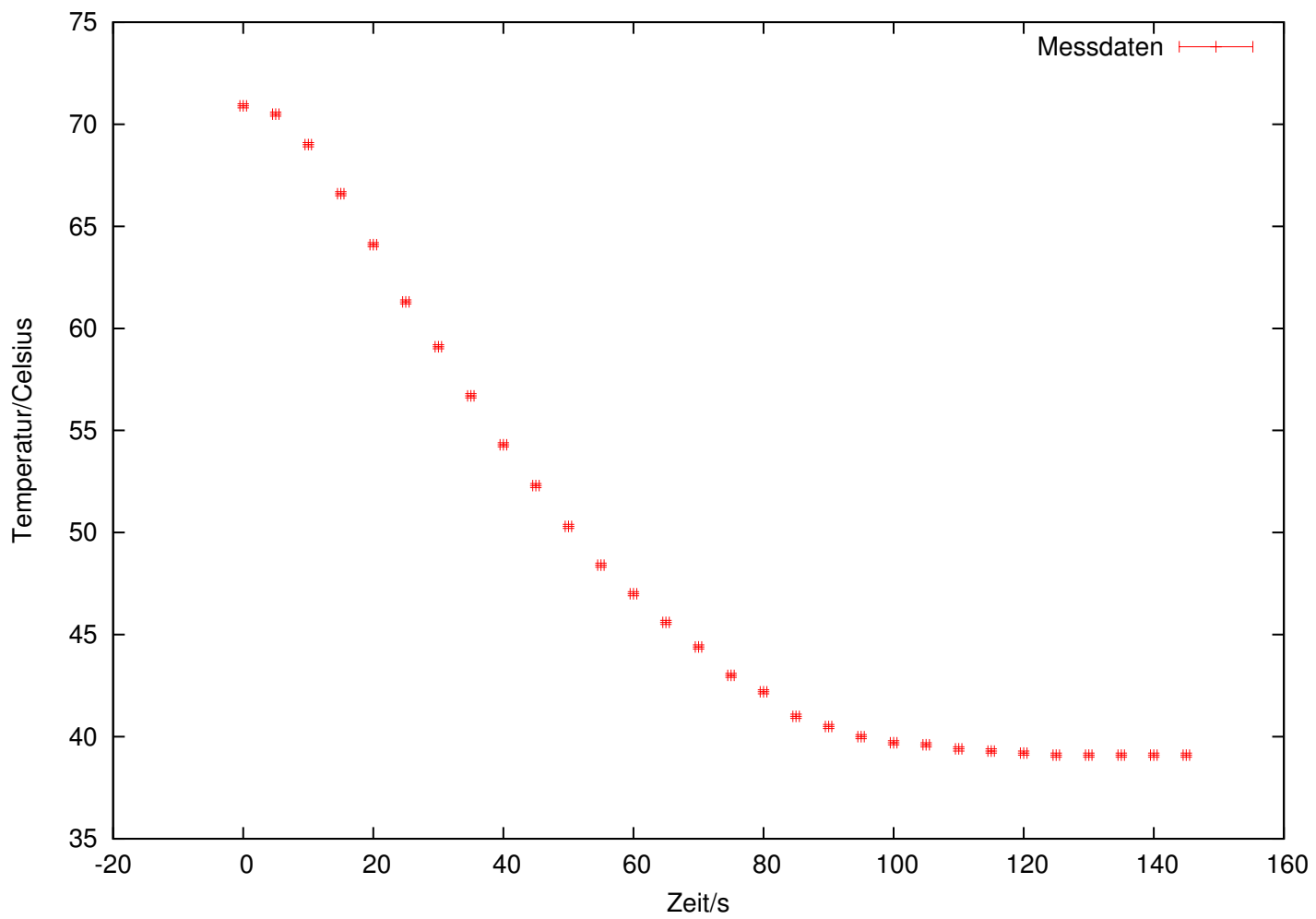


Abbildung 14: Graphische Auswertung der Regelkurve für den PI-Regler

Dann sollte die Ausgangsspannung mit dem Oszilloskop beobachtet werden. Dabei ergab sich der Verlauf in Abbildung 15.

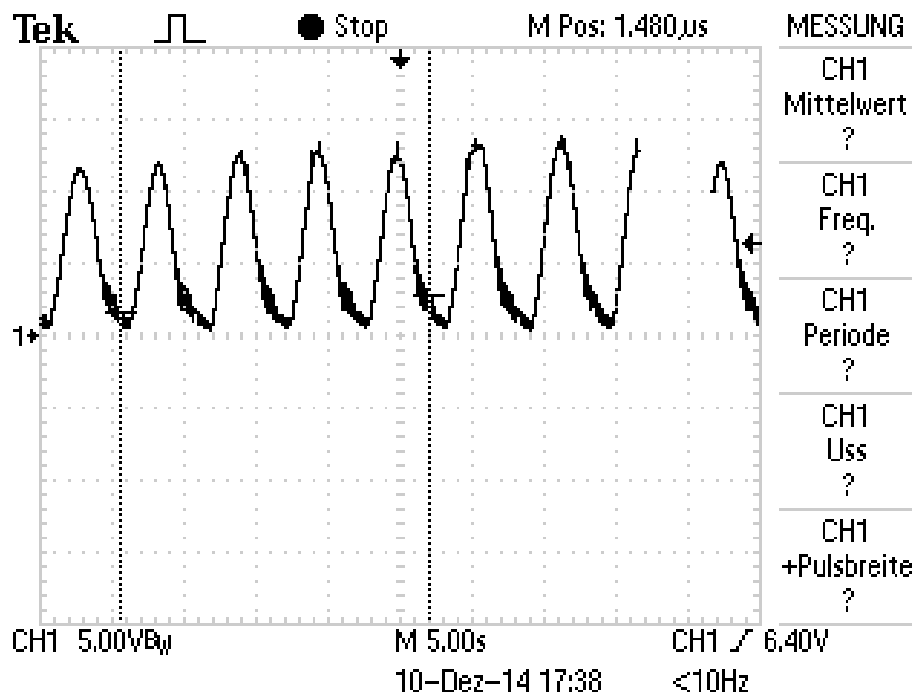


Abbildung 15: Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Regelung

Im Versuchsteil danach sollte die Solltemperatur und die Heizleistung geändert werden. Der Verlauf der Ausgangsspannung ist in Abbildung 16 zu sehen.

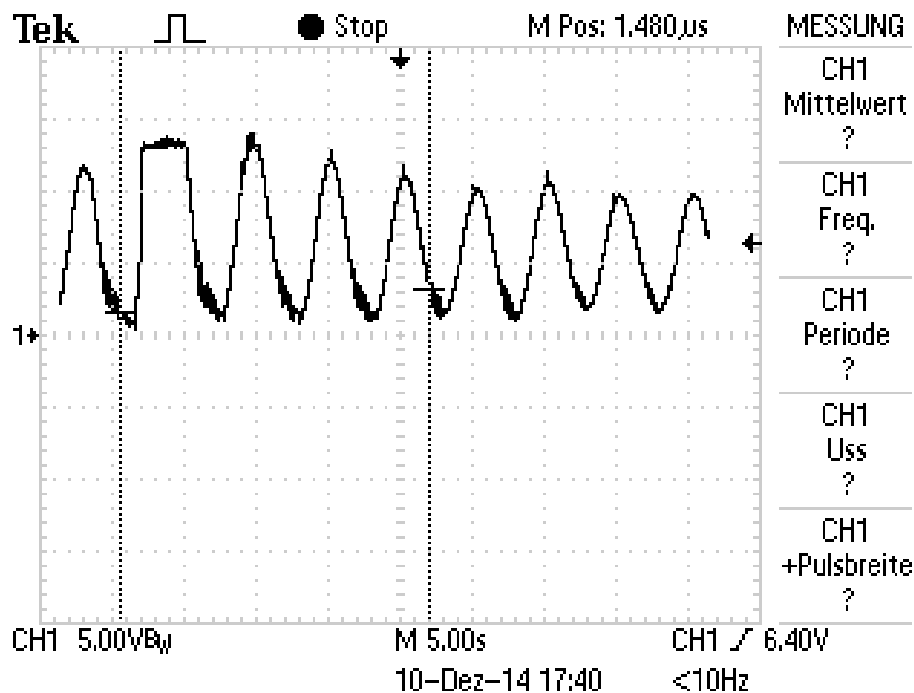


Abbildung 16: Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Regelung

Im letztem Versuchsteil sollten Bauelemente der Schaltung variiert werden, dafür wurde einmal R_f durch einen $470\text{k}\Omega$ Widerstand ersetzt, die Ausgangsspannung ist in Abbildung 17 zu sehen.

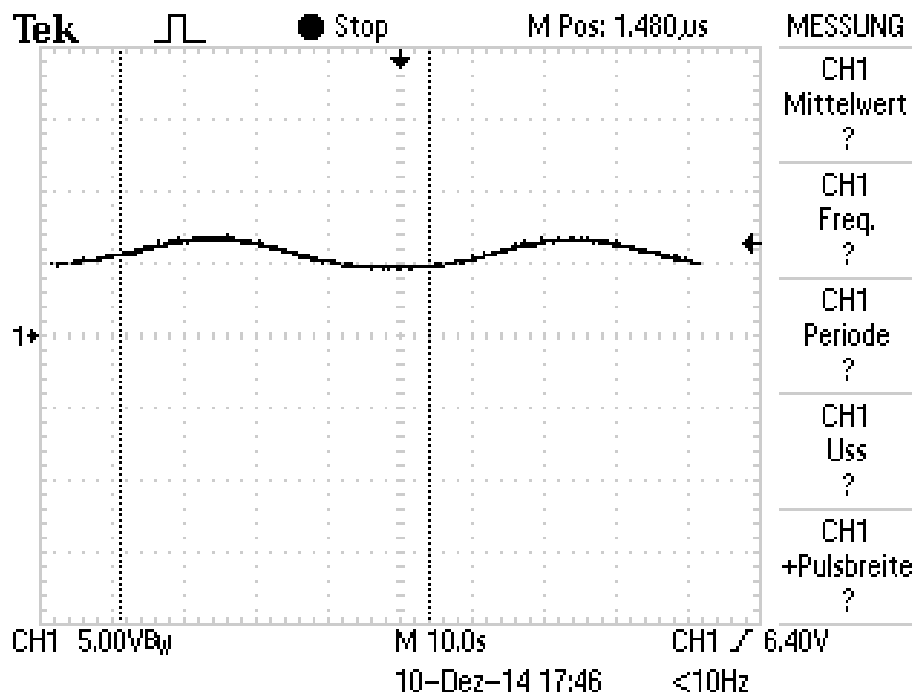


Abbildung 17: Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Regelung

Dann wurde R_f durch einen $470\text{ k}\Omega$ Widerstand und R_i durch einen $10\text{ k}\Omega$ Widerstand ersetzt. Der Verlauf der Ausgangsspannung ist in Abbildung 18 zu sehen.

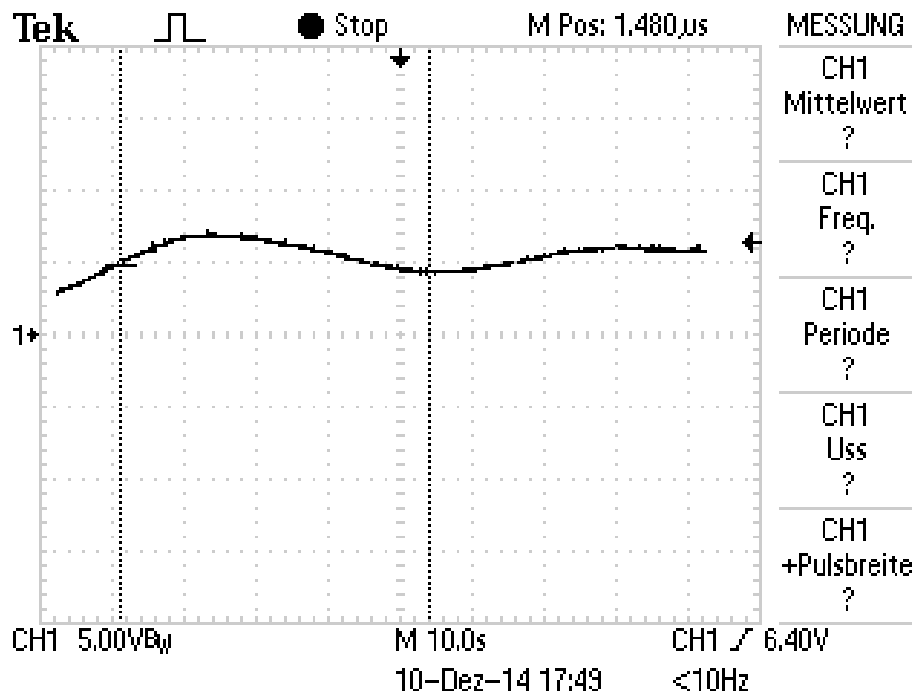


Abbildung 18: Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Regelung

Diskussion

Anhand der Regelkurve ist deutlich zu sehen, dass die Schaltung die Solltemperatur, sobald sie erreicht wurde, gut hält und keine Schwingung ausführt. Da die Werte für R_f und R_i nicht geändert wurden ist auch hier bei der Aufnahme des Ausgangssignals keine Verbesserung zu erkennen. Beim ändern der Solltemperatur und der Heizleistung ist deutlich zu sehen, wie der

Lüfter zu erst mit voller Leistung läuft und sich dann einschwingt. Bei den variierten Bauteilen lässt sich eine deutlich flachere Kurve sehen, dies liegt an den niedrigeren Widerständen, die verwendet wurden.

4 Fazit

Bei dem Versuch zeigten alle Schaltungen die erwünschten Regeleigenschaften. Bei der Eichung des NTC hätte ein besseres Ergebnis erzielt werden können, wenn der Aufheizvorgang langsamer durchgeführt worden wäre. Dennoch ist der erwartete exponentielle Verlauf deutlich zu erkennen.