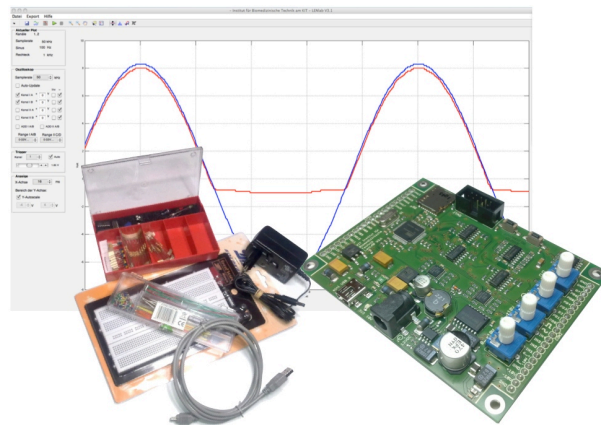


Kurs 3  
**Sensorik**



**Gruppe 30**

Vorname	Nachname	Matrikel-Nr.	u-Account	E-Mail
Shaavina	Ryvi	2502221	ugtyt	ugtyt@student.kit.edu
Pratham	Gupta	2395144	ufuxl	ufuxl@student.kit.edu
Yekta	Ahmadi Simab	2476855	unkho	unkho@student.kit.edu

6. Juni 2024

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabe: Temperaturmessschaltung</b>	<b>3</b>
1.1 Literaturrecherche . . . . .	3
1.1.1 a . . . . .	3
1.1.2 b . . . . .	3
1.2 Versuch . . . . .	4
1.2.1 Versuchsbeschreibung . . . . .	4
1.2.2 Dimensionierung der Messschaltung . . . . .	4
1.2.3 Ergebnisse und Diskussion . . . . .	6
<b>2 Aufgabe: Die Lichtschranke</b>	<b>8</b>
2.1 Literaturrecherche . . . . .	8
2.1.1 a . . . . .	8
2.1.2 b und d . . . . .	8
2.1.3 c . . . . .	8
2.2 Versuch . . . . .	9
2.2.1 Zeitlicher Verlauf von $U_{out}$ . . . . .	9
2.2.2 Der Kondensator . . . . .	10
2.2.3 Die Transistoren . . . . .	12
<b>3 Fragen zur Gesamtschaltung</b>	<b>15</b>

## Abbildungsverzeichnis

1 Schaltung mit dem ersten Lüfter . . . . .	5
2 Schaltung mit zwei Lüftern . . . . .	6
3 Leuchten der ersten LED . . . . .	6
4 Leuchten der ersten und zweiten LED . . . . .	6
5 Schaltbild einer Lichtschranke . . . . .	9
6 Zeitlicher Verlauf von $U_{out}$ . . . . .	9
7 Kondensatorschaltung auf LT Spice . . . . .	10
8 Aufbau der Kondensatorschaltung . . . . .	10
9 Entladungskurve des Kondensators . . . . .	11
10 Inverterschaltung . . . . .	12
11 Gesamtschaltung der Geschwindigkeitsmessanlage auf LT Spice . . . . .	13
12 Gesamtschaltung der Geschwindigkeitsmessanlage . . . . .	13
13 Messergebnisse . . . . .	14

## Tabellenverzeichnis

1 Vergleich der Werte von $U_{out}$ und $U_{out} = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$ . . . . .	11
--	----

# 1 Aufgabe: Temperaturmessschaltung

## 1.1 Literaturrecherche

### 1.1.1 a

Es gibt zwei Arten von Thermistoren mit unterschiedlicher Funktionsweise: NTC und PTC. NTC steht für "negative temperature coefficient". Diese Thermistoren haben einen temperaturabhängigen Widerstand, der bei erhöhter Temperatur sinkt. Man nennt sie auch Heißleiter. PTC steht für "positive temperature coefficient". Diese Thermistoren haben einen temperaturabhängigen Widerstand, der bei geringen Temperaturen sinkt. Man nennt sie auch Kaltleiter.

### 1.1.2 b

Der NTC besteht aus Halbleitermaterial. Grundsätzlich kann man sagen, dass alle Halbleiter aufgrund der Bandlücke Heißleiter sind. Die Legierung enthält hierbei Metalloxide von Eisen, Kobalt, Mangan, Kupfer oder Nickel. Diese werden anschließend gepresst und gesintert. In der Regel werden NTC-Widerstände bevorzugt. Sie weisen eine hohe Sensitivität auf und sind somit ideal für kleine Temperaturbereiche geeignet. Allerdings haben NTCs eine stark nichtlineare Kennlinie, was einen großen Nachteil darstellt.

NTCs werden vor allem zur Temperaturmessung oder -überwachung eingesetzt. Beispielsweise werden in Fieberthermometern NTCs verwendet, da sie im Fieberbereich viel empfindlicher sind als PTCs. Außerdem finden sie in der Chemie, Biotechnologie, im Überhitzungsschutz und in vielen weiteren Bereichen Anwendung.

Ein geeigneter Temperaturbereich für die Nutzung von NTCs liegt bei  $-60^{\circ}\text{C}$  bis  $250^{\circ}\text{C}$ .

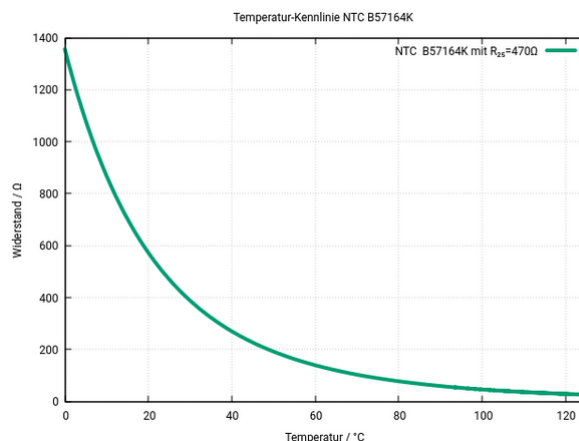
Die temperaturabhängigkeit des NTC-Widerstands lässt sich durch die B-Formel annähern:

$$R(T) = R_0 \cdot e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}\right)}$$

wobei:

$R_0$  der Widerstand bei der Referenztemperatur  $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$  ist.

$B$  eine Materialkonstante in der Einheit Kelvin ist.



## 1.2 Versuch

### 1.2.1 Versuchsbeschreibung

In diesem Experiment soll eine Lüftersteuerung mithilfe eines NTC-Widerstands und eines Transistors entwickelt werden. Der NTC wird dabei erhitzt, und bei Erreichen der Temperaturen 49°C und 78°C schalten sich nacheinander ein und dann zwei Lüfter ein. Die Lüfter werden in diesem Fall durch LEDs simuliert.

### 1.2.2 Dimensionierung der Messschaltung

Um die Temperaturmessschaltung zu gestalten, muss der NTC so gewählt werden, dass seine Selbsterwärmung durch den Messstrom minimal bleibt. Ein geeigneter Widerstand wird in Reihe mit dem NTC geschaltet, damit die Leistung im Temperaturbereich von 25°C bis 150°C unter 15 mW bleibt. Dies verhindert eine signifikante Selbsterwärmung.

Bei 150°C beträgt der kleinste Widerstand des NTC  $R_{150} \approx 193\Omega$  (aus dem Datenblatt).

Die Spannung am NTC bei maximaler Leistung wird berechnet als:

$$U = \sqrt{R \cdot P}$$

$$U = \sqrt{193\Omega \cdot 15\text{mW}} \approx 1,7\text{ V}$$

Der maximale Strom durch die Reihenschaltung ergibt sich zu:

$$I_{\max} = \frac{P}{U} = \frac{15\text{ mW}}{1,7\text{ V}} \approx 8,8\text{ mA}$$

Da am NTC 1,7 V abfallen, fällt am unbekannten Widerstand bei einer Gesamtspannung von 3,3 V die Spannung:

$$3,3\text{ V} - 1,7\text{ V} = 1,6\text{ V}$$

Der minimale Widerstand, der in Reihe geschaltet werden muss, um die Selbsterwärmung zu minimieren, ist:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1,6\text{ V}}{8,8\text{ mA}} \approx 181,8\Omega$$

Um bei einer Temperatur von 49°C 0,7 V am Widerstand zu erreichen, wird der Widerstand des NTC bei dieser Temperatur aus der Kennlinie abgelesen und berechnet:

$$\frac{U_{NTC}}{U_{ges}} = \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R}$$

Der Widerstand des NTC bei 49°C beträgt etwa 3519Ω. So lässt sich der passende Widerstand berechnen durch:

$$R_1 = R_{NTC} \cdot \frac{U_{ges}}{U_{NTC}} - R_{NTC}$$

$$R = 3519\Omega \cdot \frac{3,3\text{ V}}{3,3 - 0,7\text{ V}} - 3519\Omega \approx 947\Omega$$

Die Schaltung soll um eine zweite Temperaturstufe erweitert werden, sodass eine weitere Leuchtdiode, die einen zusätzlichen Lüfter repräsentiert, bei 78°C (351.15K) eingeschaltet wird.

Vor die Basis der NPN-Transistoren wird ein Spannungsfolger geschaltet. Dies sorgt dafür, dass die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  zusammen mit dem NTC einen unbelasteten Spannungsteiler bilden. Der ursprüngliche Spannungsteiler der einstufigen Schaltung wird nun in zwei Teile aufgeteilt:  $R_1$  und  $R_2$  sowie den NTC-Widerstand. Damit die erste Temperaturstufe unverändert bleibt, müssen  $R_1$  und  $R_2$  zusammen weiterhin 947Ω betragen.

Um die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  so zu dimensionieren, dass die zweite Stufe bei 78°C schaltet, muss zuerst der Widerstand des NTC bei dieser Temperatur berechnet werden. Laut Formel beträgt der Widerstand bei 78°C etwa 1200Ω. Der Widerstand wird durch den Spannungsteiler berechnet:

$$\frac{U_{NTC} + U_{R1}}{U_{ges}} = \frac{R_{NTC} + R_1}{R_{NTC} + R_1 + R_2} \Rightarrow R_2 \approx 1200\Omega$$

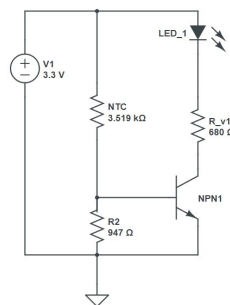


Abbildung 1: Schaltung mit dem ersten Lüfter

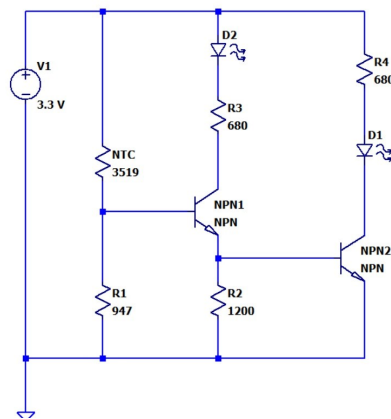


Abbildung 2: Schaltung mit zwei Lüftern

### 1.2.3 Ergebnisse und Diskussion

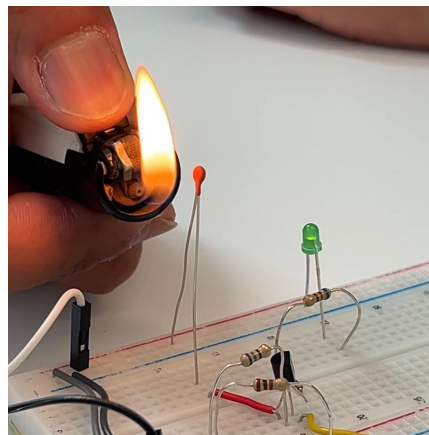


Abbildung 3: Leuchten der ersten LED

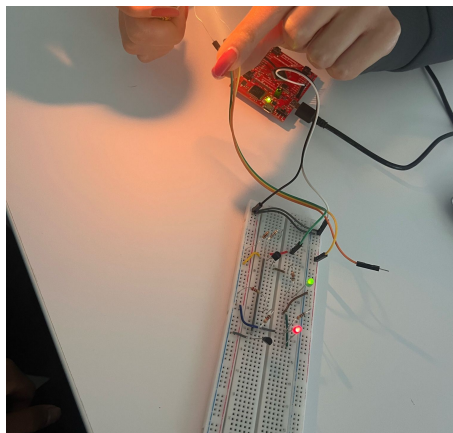


Abbildung 4: Leuchten der ersten und zweiten LED

Nach wenigen Sekunden leuchtete die grüne LED schwach auf. Nach etwa einer halben Minu-

te leuchteten beide LEDs stark. Der Versuch verlief insgesamt wie erwartet. Allerdings können wir nicht genau sagen, ob die LEDs tatsächlich bei genau 49°C und 79°C aufleuchteten, da wir die exakte Temperatur des Feuerzeugs nicht messen konnten.

## 2 Aufgabe: Die Lichtschranke

### 2.1 Literaturrecherche

#### 2.1.1 a

Es gibt drei unterschiedliche Bauweisen von Lichtschranken: Transmissionslichtschranken, Reflektionslichtschranken und Off-Axis-Lichtschranken.

#### 2.1.2 b und d

Die Transmissionslichtschranke besteht aus einem Sender, der Lichtquelle, und einem Empfänger, dem Phototransistor. Sobald ein Objekt zwischen dem Sender und dem Empfänger steht, wird dies aufgrund der Unterbrechung des Lichtstrahls direkt registriert. Der Vorteil dieser Bauweise liegt in der unmittelbaren Kommunikation zwischen Sender und Empfänger, während der Nachteil in der begrenzten Flexibilität bei der Anordnung der beiden Komponenten besteht.

Die Reflektionslichtschranke verfügt über einen Sender, einen Empfänger und einen Reflektor. Sie arbeitet ähnlich wie die Transmissionslichtschranke, wobei der Lichtstrahl unterbrochen wird. Das vom Sender erzeugte Licht wird am Reflektor zum Empfänger reflektiert. Der Vorteil dieser Bauweise ist die flexible Platzierung von Sender und Empfänger. Der Nachteil liegt im Zustand des Reflektors: Ist dieser falsch positioniert oder die Oberfläche verschmutzt, kann der Lichtstrahl nicht ideal zum Empfänger reflektiert werden.

Die Off-Axis-Lichtschranke verfügt ebenfalls über einen Sender und einen Empfänger. Im Gegensatz zur Transmissionslichtschranke stehen sie jedoch nicht direkt gegenüber, sondern der Lichtstrahl wird durch Medien wie Rauch gestreut. Diese Bauweise ermöglicht es beispielsweise, Rauch in der Luft zu erkennen. Der Vorteil dieser Bauform liegt, wie bei der Reflektionslichtschranke, in der flexiblen Anordnung von Sender und Empfänger. Der Nachteil besteht in der geringeren Präzision und der Empfindlichkeit gegenüber Partikeln in der Luft wie Staub oder ähnlichem.

#### 2.1.3 c



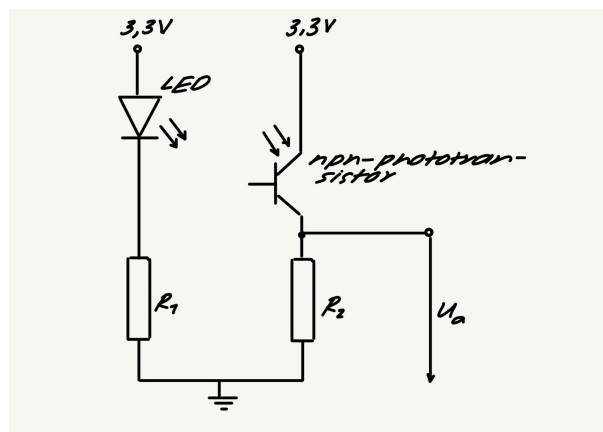


Abbildung 5: Schaltbild einer Lichtschranke

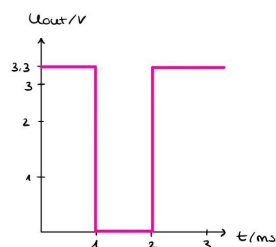
## 2.2 Versuch

### 2.2.1 Zeitlicher Verlauf von $U_{out}$

Die Lichtschranke besteht aus einem Phototransistor, der an eine Spannung von 3,3V angeschlossen ist. Ein Widerstand verbindet den Ausgang mit dem GND. Wenn kein Hindernis die Lichtschranke unterbricht, bleibt der Transistor leitend und die Spannung am Ausgang beträgt 3,3V. Wird die Lichtschranke durch ein Objekt unterbrochen, sperrt der Transistor und die Ausgangsspannung sinkt auf 0V, da der Widerstand den Ausgang mit GND verbindet.

Ein Objekt, das sich mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s bewegt, legt in einer Millisekunde eine Strecke von 1 cm zurück.

Während der ersten Millisekunde bleibt die Lichtschranke daher frei. In der zweiten Millisekunde wird die Lichtschranke durch das Objekt blockiert. Ab der dritten Millisekunde ist die Lichtschranke wieder frei. Das Diagramm zeigt die Ausgangsspannung der Lichtschranke im Verlauf der Zeit.

Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf von  $U_{out}$

### 2.2.2 Der Kondensator

Um die theoretischen und praktischen Werte bei der Entladung eines Kondensators zu vergleichen, wird eine Schaltung mit einem Kondensator und einem Widerstand, wie in der Aufgabenstellung, aufgebaut. Zuerst wird der Kondensator aufgeladen, und nach dem Öffnen des Schalters entlädt er sich über den Widerstand. Die Spannung wird mit Hilfe eines Spannungsfollowers gemessen, um sicherzustellen, dass die Messung die Schaltung nicht beeinflusst.

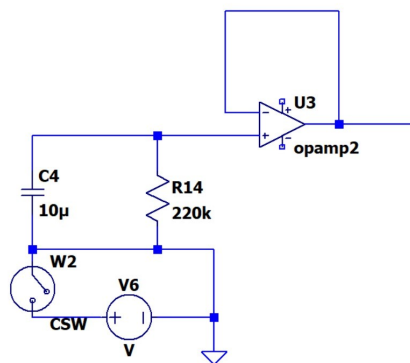


Abbildung 7: Kondensatorschaltung auf LT Spice

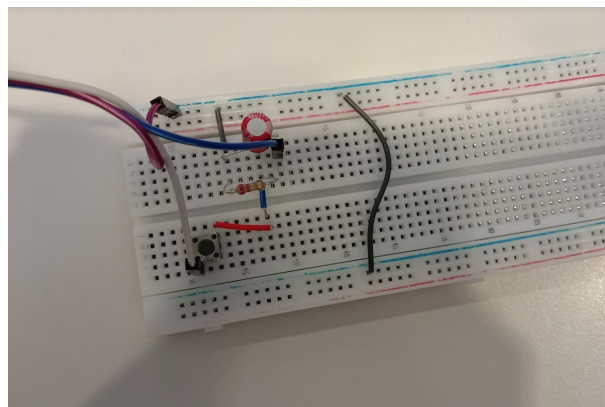


Abbildung 8: Aufbau der Kondensatorschaltung

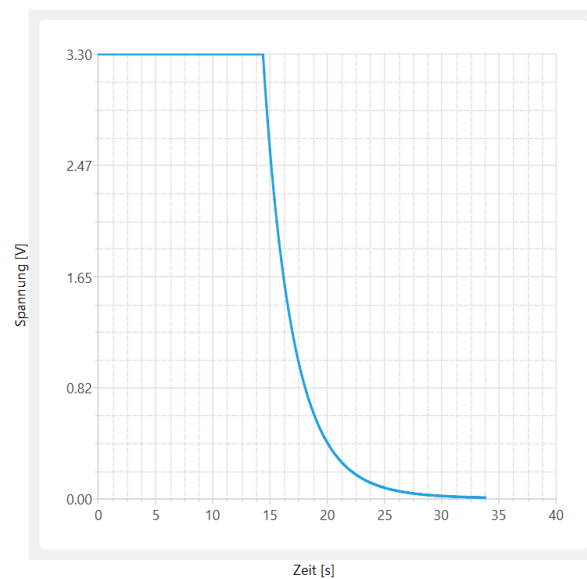


Abbildung 9: Entladungskurve des Kondensators

$t$ [s]	Gemessene Werte von $U_{out}$ [V]	Berechnete Werte von $U_{out}$ [V]
14	3,3	3,3
15	2,47	2,09
16	1,65	1,33
17	0,99	0,84
18	0,66	0,54
19	0,49	0,34

Tabelle 1: Vergleich der Werte von  $U_{out}$  und  $U_{out} = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$ 

Die Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Ausgangsspannungen können unter anderem durch Ablesefehler und Rundungsfehler entstehen, da die Abweichungen nicht allzu groß sind. Zudem gibt es immer Toleranzunterschiede bei den Bauteilen in der realen Schaltung, sodass geringfügige Abweichungen zu erwarten sind. Weitere mögliche Fehlerquellen sind Temperaturabhängigkeiten der Bauteile und Alterungseffekte. Außerdem haben wir die 5 Sekunden ab den 14 Sekunden abgelesen, da der Kondensator noch nicht vollständig entladen war und somit kein sinnvoller Vergleich möglich gewesen wäre.

### 2.2.3 Die Transistoren

Der Kondensator  $C_1$  soll geladen werden, sobald ein Körper die Lichtschranke passiert. Zur Umsetzung wird ein Transistor zusammen mit einem Widerstand verwendet. Fließt Strom von der Lichtschranke, schaltet der Transistor durch und lädt den Kondensator. Eine Diode sorgt dafür, dass der Strom nur in eine Richtung fließt, um zu verhindern, dass beim Entladen Strom zur Lichtschranke zurückfließt. Damit dient die Diode als Schutzmechanismus.

Um die bisherigen Ergebnisse zu kombinieren und die Schaltung optimal zu nutzen, wurde die Inverterschaltung angewendet. Diese Inverterschaltung wird zweimal in die vorhandene Schaltung eingebaut. Wenn die erste Lichtschranke erstmals durchbrochen wird, wird der Kondensator aufgeladen und anschließend langsam über einen Widerstand entladen. Die verbleibende Ladung im Kondensator erlaubt Rückschlüsse auf die Dauer des Vorgangs und damit, bei einer festgelegten Strecke, auf die Geschwindigkeit des Körpers.

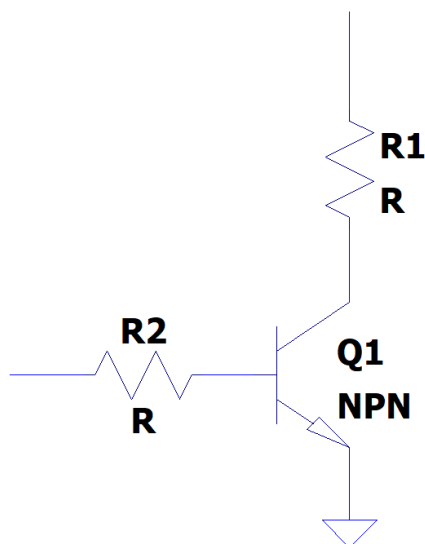


Abbildung 10: Inverterschaltung

Für die Untersuchung wurden unterschiedliche Geschwindigkeiten gewählt. Die Lichtschranken sind 8 cm voneinander entfernt. Nach jedem Durchgang wurde die Spannung an Kondensator  $C_2$  gemessen. Diese Spannung ermöglicht es, die Zeit zu ermitteln, die der Körper für die Strecke zwischen den beiden Lichtschranken benötigt hat.

Um die Schaltung zu realisieren, werden die Widerstände  $R_5, R_6$  und  $R_7$  berechnet. Die Werte für  $U_F, I_F, U_{BE}$  und  $U_{CE}$  wurden aus dem Datenblatt der Lichtschranke übernommen.

Die Berechnung der Widerstände ist wie folgt:

$$R_5 = \frac{U_0 - U_{CE} - U_{BE}}{I_B} = \frac{3.3 \text{ V} - 0.6 \text{ V} - 0.9 \text{ V}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 360 \Omega$$

$$R_6 = \frac{U_0 - U_{CE}}{I_C} = \frac{3.3 \text{ V} - 0.6 \text{ V}}{100 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 27 \Omega$$

$$R_7 = \frac{U_0 - U_F}{I_F} = \frac{3.3 \text{ V} - 1.25 \text{ V}}{60 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 34.2 \Omega$$

In der Schaltung wurden ungefähr die berechneten Widerstandswerte verwendet. Konkret haben wir  $R_5 = 470 \Omega$ ,  $R_6 = 33 \Omega$  und  $R_7 = 47 \Omega$  eingesetzt.

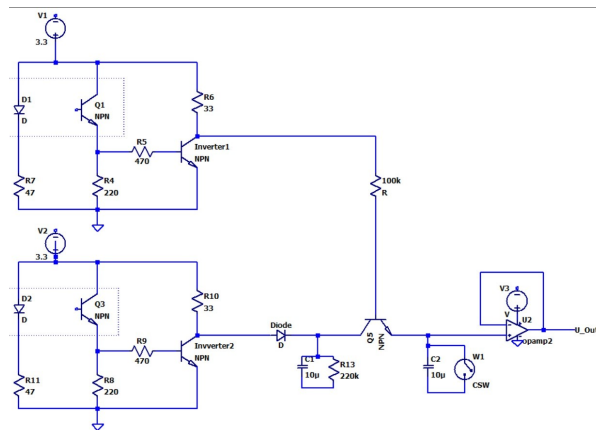


Abbildung 11: Gesamtschaltung der Geschwindigkeitsmessanlage auf LT Spice

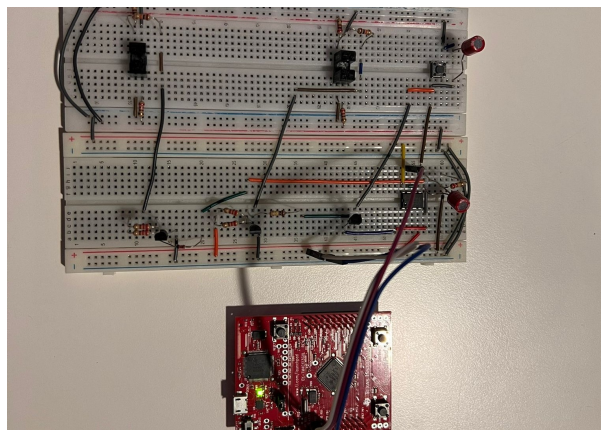


Abbildung 12: Gesamtschaltung der Geschwindigkeitsmessanlage

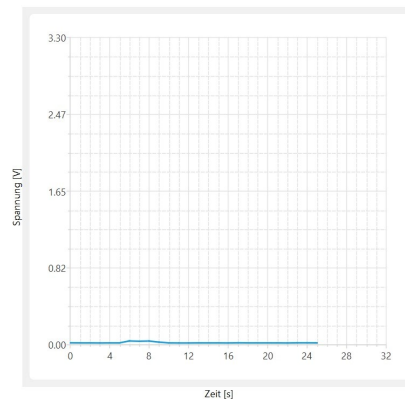


Abbildung 13: Messergebnisse

Der Spannungsverlauf unserer Messung zeigt sehr kleine Spannungswerte. Im Zeitraum von etwa vier bis fünf Sekunden beobachten wir eine leicht erhöhte Spannung, da zu dieser Zeit ein Objekt die Lichtschranke durchquert. Nachdem das Objekt die Lichtschranke passiert hat, sinkt die Spannung wieder auf Null. Trotz mehrfachen Umsteckens und Umbaus der Schaltung sowie der Verwendung unterschiedlicher Objekte und Geschwindigkeiten, erhielten wir nur geringe Veränderungen im Spannungsverlauf. Da die Spannungswerte zu gering waren, war es uns nicht möglich, das exakte Zeitintervall zu messen, weil es nicht eindeutig erkennbar war, wann das Objekt die Lichtschranke passiert. Aus diesem Grund konnten wir keine zuverlässigen Geschwindigkeiten berechnen.

Mögliche Fehlerquellen können die Lichtschranke selbst sein, welche eventuell nicht empfindlich genug ist, sodass Spannungsänderungen nicht detektiert werden können. Da der Raum nicht abgedunkelt werden konnte, kann es sein, dass Fremdlicht die Messung gestört hat und somit durch andere Lichtquellen beeinflusst wurde.

---

### 3 Fragen zur Gesamtschaltung

Wenn der Kondensator  $C_1$  vollständig geladen ist und die Kapazität von  $C_1$  und  $C_2$  gleich ist ( $C_1 = C_2$ ), kann maximal die Hälfte der Ladung von  $C_1$  auf  $C_2$  übertragen werden. Dies geschieht aufgrund des Ladungsausgleichs, der durch die Potenzialdifferenz zwischen den beiden Kondensatoren entsteht. Eine größere Ladungsübertragung ist wegen des Ladungserhaltungssatzes nicht möglich.

Die Messergebnisse von  $U_{\text{ergebnis}}$ , also der Spannung an Kondensator  $C_2$ , erlauben Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit des Körpers. Dies wird erreicht, indem die Ladungsmenge auf  $C_2$  analysiert wird, die zeigt, wie lange  $C_1$  sich entladen hat, bevor die zweite Lichtschranke durchbrochen wurde. Es gibt jedoch mehrere Fehlerquellen, die berücksichtigt werden müssen. Ein zu schnelles Objekt kann dazu führen, dass der Ladungsausgleich zwischen den Kondensatoren nicht vollständig erfolgt. Ein zu langsames Objekt bewirkt hingegen, dass sich  $C_2$  bereits wieder entlädt, bevor der Vorgang abgeschlossen ist. Zusätzlich können Ladungsverluste über den Entladungswiderstand auftreten. Kleine Basisströme durch den Transistor  $T_1$  könnten ebenfalls die Messergebnisse beeinflussen, obwohl diese durch den Widerstand  $R_B$  minimiert werden. Um genaue Ergebnisse zu gewährleisten, muss  $C_2$  vor jeder Messung vollständig entladen werden, da Restladungen das Ergebnis verfälschen könnten.

## Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.starkerstart.uni-frankfurt.de/43759138/FB09-Musikwissenschaften-Richtiges-Zitieren.pdf>, Abrufdatum: 30. November 2016.
- [2] [https://de.wikibooks.org/wiki/LaTeX-Kompendium:\\_F&Auml;jr\\_Mathematiker](https://de.wikibooks.org/wiki/LaTeX-Kompendium:_F&Auml;jr_Mathematiker), Abrufdatum: 16.04.2021
- [3] Atmel Corporation. 32-bit ATMEL AVR Microcontroller AT32UC3B0256. <http://www.atmel.com/devices/at32uc3b0256.aspx>, Abrufdatum: 15. Oktober 2013.
- [4] I. N. Bronštejn, K. A. Semendjajew, G. Musiol und H. Mühlig (Hrsg.). *Taschenbuch der Mathematik*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 8. Auflage, 2012.
- [5] R. E. Kalman. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. In: *Transactions of the ASME—Journal of Basic Engineering*, Bd. 82 (D), S. 35–45, 1960.