
BACHELORARBEIT

Frau
Yisu Wang

**Entwicklung eines Ultraschallsensors
zur Erkennung von
mehreren Objekten**

2021

Fakultät: Ingenieurwissenschaften

BACHELORARBEIT

**Entwicklung eines Ultraschallsensors
zur Erkennung von
mehreren Objekten**

Autor/in:
Frau Yisu Wang

Studiengang:
Elektro- u. Informationstechnik

Seminargruppe:
EI17w1-B

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. M. Kuhl

Zweitprüfer:
B.Sc. K. Blümel

Einreichung:
26.08.2021 Chemnitz

Faculty of Engineering

BACHELOR THESIS

**Development of an ultrasonic sensor for
detection of multiple objects**

author:

Ms. Yisu Wang

course of studies:

Elektro- u. Informationstechnik

seminar group:

E117w1-B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. M. Kuhl

second examiner:

B.Sc. K. Blümel

submission:

26.08.2021 Chemnitz

Bibliografische Angaben

Wang, Yisu:

Entwicklung eines Ultraschallsensors zur Erkennung von mehreren Objekten

Development of an ultrasonic sensor for detection of multiple objects

55 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,

Fakultät: Ingenieurwissenschaften, Bachelorarbeit, 2021

Abstract

Ultraschallsensoren werden häufig in der Entfernungsmessung verwendet. Dieser Artikel beschreibt den Entwicklungsprozess von Ultraschallsensoren. Gleichzeitig wird die Funktion des Ultraschallsensors weiter ausgebaut, um mehrere Objekte erkennen zu können

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
1 . Einleitung	1
2 Aufgabenstellung	2
3 Konzept und Systementwurf	3
3.1 Anforderungen	3
3.2 Konzept	4
3.2.1 Messmethode	4
3.2.1.1 Puls-Echo-Methode	4
3.2.1.2 Frequency-modulated continuous-wave-Verfahren (FMCW)	6
3.2.2 Vergleich	8
3.2.2.1Einschränkung von der Puls-Echo-Methode	8
3.2.2.2Einschränkung von FMCW-Verfahren	9
3.2.3 Messung von mehreren Objekte	10
3.3 Systementwurf	12
3.4 Hardware	13
3.4.1 Sender	13
3.4.2 Empfänger	13
3.4.3 Controller	15
3.5 Auswahl der Hardware	16
3.5.1 Ultraschallsonde	16
3.5.2 Auswahl des Sendeverstärkers STC232 und Vergleich der Leistungsverstärker	17
3.5.3 Die Betriebsart des Empfängers wählt die im Labor vorhandenen TL084 und LT1363 zum Vergleich aus	17
3.5.4 Auswahl des Controllers	18
3.6 PCB-Plattenherstellung	19
3.7 Software	20
3.7.1 Die allgemeine Situation der Software	20
3.7.2 Software-Unterprogramm	20
3.7.3 Gesamtablaufplan der Software	21
4 Test und Simulation	26
4.1 Simulation	26
4.2 Prüfung	28
4.2.1 Einzelschaltungstest und Gesamtschaltungstest	28
4.2.2 Prüfung von Software und Hardware.	33
4.3 Analyse der Daten	43
4.4 Ursachenanalyse	45

5. Zusammenfassung	47
Anlagen	IV
Erläuterung der Begriffe	IV
Schematische Darstellung der ersten Schaltung	VI
Schematische Darstellung der zweiten Schaltung	VII
Gerber der ersten Leiterplatte	VIII
Gerber der zweiten Leiterplatte	IX
Programm	XI
Literaturverzeichnis	XVI
Abbildungsverzeichnis	XVII
Eigenständigkeitserklärung	XVIII

1 . Einleitung

Heutzutage wird die Entfernungsmessung in allen Bereichen des Lebens eingesetzt. Menschen nutzen die Ultraschall-Entfernungsmessung für viele Funktionen. Die wellenbasierte Entfernungsmessung wird nach der Art der Wellen in Ultraschall und elektromagnetische Wellen unterteilt.

Das Ultraschallprinzip ahmt das biologische Prinzip z. B. einer Fledermaus nach. Ultraschallaktoren senden intermittierende Ultraschallwellen aus. Die Entfernung zum Objekt wird durch die Messung der Zeit des Sendens der Ultraschallwellen und der Zeit des Empfangs der zurückkommenden Wellen berechnet.

Die Theorie der elektromagnetischen Distanzmessung unterscheidet sich von der Ultraschall-Distanzmessung. Beim Radar-Doppler-Prinzip werden kontinuierliche EM-Wellen (elektromagnetische Wellen) gesendet. Der Sensor berechnet den Abstand und die Geschwindigkeit des Objekts, indem er die Frequenz der ausgesendeten elektromagnetischen Welle und die Frequenz der empfangenen elektromagnetischen Welle misst und die entstehenden Unterschiede auswertet.

Jede der beiden Wellen hat ihre eigenen Eigenschaften. Ultraschallwellen sind einfach im Prinzip und Ultraschallsensoren benötigen weniger elektrische Komponenten. Allerdings kann nur das dem Sensor am nächsten liegende Objekt auf einmal gemessen werden. Wenn sich in der Nähe des Sensors Hindernisse befinden, kann dies die Genauigkeit der Messung stark beeinträchtigen. Und die gemessene Entfernung ist kleiner.

Radar-Entfernungsmesssysteme sind prinzipiell komplexer. Es können nicht nur mehrere Objekte auf einmal gemessen werden, sondern auch durch Hindernisse hindurch. Auch die Geschwindigkeit des Objekts relativ zum Sensor kann gemessen werden. Ein größerer Messbereich ist möglich. Allerdings ist der Aufbau von Radar relativ komplex und teurer in der Herstellung.

Ultraschallsensoren sind kleiner, einfacher und billiger zu bauen. Entwirft man einen Ultraschallsensor, der mehrere Objekte durch eine Messung identifizieren kann, kann dies die Kosten erheblich reduzieren.

In der Praxis ist es notwendig, zu versuchen, einen Ultraschallsensor zu machen, der mehrere Objekte messen kann.

2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe besteht darin, einen Ultraschallsensor zu entwickeln, der mehrere Objekte messen kann.

Nach der Analyse vorhandener Ultraschallsensoren im Praxismodul kann man neue Ultraschallsensoren aufbauen. Mehrere Aufgaben dieser Vervollständigung sind wie folgt.

- Auswahl geeigneter Komponenten und Schaltungen, damit der Sender das übertragene Signal stabil verstärkt. Gleichzeitig verstärkt der Empfänger stetig und führt Echosignale aus.
- Programmierung des Mikrocontroller.
- Hardware-Anteil wird simuliert und getestet
- Aufbau eines Ultraschallsensors
- Praktischer Test der Funktionsweise

3 Konzept und Systementwurf

3.1 Anforderungen

Das Prinzip der Ultraschall-Entfernungsmessung von Ultraschallsensoren wird analysiert und erforscht.

Auswahl einer geeigneten Methode der Ultraschall-Abstandsmessung und Aufbau eines Ultraschallsensors

- Messbereich: 20 cm bis 4 m
- Genauigkeit: 1 cm
- Ultraschall-Sensor Datenübertragungsverfahren : I²C
- Eigenschaften: Fünf Objekte können in einer Messung identifiziert werden. Gleichzeitige Messung der Entfernung von fünf Objekten zum Sensor.
- Die Größe des Ultraschallsensors beträgt : 53mm*33mm
- Die Arbeitsspannung des Ultraschallsensors beträgt:±5 V

3.2 Konzept

Die Frequenz des Schalls, den Menschen hören können, ist 20 Hz~20 kHz, das ist die hörbare Schallwelle. Der Ton jenseits dieses Frequenzbereiches, der Ton unter 20 Hz wird als niederfrequente Schallwelle bezeichnet, der Ton über 20 kHz wird als Ultraschall (Ultrasound) bezeichnet. Die Frequenz des allgemeinen Sprechens ist der Bereich 10 Hz-8 kHz. Ultraschallwellen haben eine gute Richtwirkung, ein starkes Durchdringungsvermögen, können leicht konzentrierte Schallenergie erhalten und können über große Entfernungen im Wasser übertragen werden. Ultraschall wird so genannt, weil seine untere Frequenzgrenze ungefähr der oberen Grenze des menschlichen Gehörs entspricht.

Ultraschall-Frequenzverteilung

Ultraschallwellen können sich in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern ausbreiten, wobei ihre Ausbreitungsgeschwindigkeiten unterschiedlich sind. Die Wellenform der sich im Medium ausbreitenden Ultraschallwelle hängt davon ab, welche Art von Kraft das Medium übertragen kann und wie die Ultraschallwelle am Medium angeregt wird.

3.2.1 Messmethode

3.2.1.1 Puls-Echo-Methode

Das Prinzip der Abstandsmessung des vorhandenen Ultraschallsensors besteht darin, die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen in der Luft als bekannte Bedingung zu verwenden. Man misst die Zeit, die die Schallwelle benötigt, um nach dem Auftreffen auf ein Hindernis zurück zu reflektieren. Entsprechend der Zeitdifferenz zwischen Senden und Empfangen wird die tatsächliche Entfernung vom Sendepunkt zum Hindernis berechnet.

Zunächst sendet der Ultraschallsender Ultraschallwellen in eine bestimmte Richtung aus. Die Zeitmessung beginnt zur gleichen Zeit wie die Startzeit, die Ultraschallwelle breitet sich in der Luft aus und kehrt sofort zurück, wenn sie unterwegs auf ein Hindernis trifft. Wenn der Ultraschallempfänger die reflektierte Welle empfängt, stoppt er sofort die Zeitmessung.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwelle in der Luft beträgt $C=340$ m/s. Anhand der vom Timer aufgezeichneten Zeit T in Sekunden kann der Abstand L in Metern zwischen dem Startpunkt und dem Hindernis berechnet werden, und zwar:

$L = C \cdot \frac{T}{2}$. Dies ist die sogenannte Zeitdifferenz-Entfernungsmethode oder Puls-Echo-Methode.

Das Strukturdiagramm des Sensorsystems basierend auf dem Puls-Echo-Verfahren ist unten zu sehen:

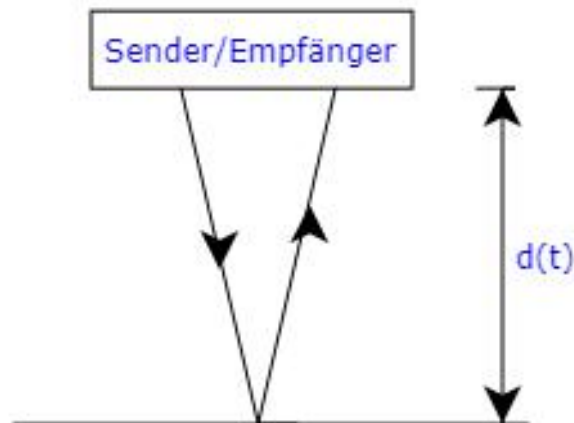


Abbildung3.2.1 Abbildung von Prinzip des Ultraschalls

Der Zusammenhang zwischen der gemessenen Laufzeit Δt und dem Abstand zwischen dem Objekt und dem Ultraschallsensor ist in der folgenden Gleichung.^[1] dargestellt:

$$d(t) = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \quad (\text{GL.3.1})$$

$d(t)$ – Abstand

c – Geschwindigkeit der Welle

Δt – Laufzeit

3.2.1.2 Frequency-modulated continuous-wave-Verfahren (FMCW)

Diese Methode ist das Prinzip des Doppler-Radars

Der Sender sendet eine kontinuierliche frequenzmodulierte elektronische Welle aus, die nach dem Auftreffen auf ein Hindernis zurückkehrt, und die Frequenz des Echosignals ändert sich im Vergleich zum gesendeten Signal.

Nachdem das Signal vom Mischer verarbeitet wurde, entsteht ein Signal, das einer Schwebung entspricht. Das Schwebungssignal hängt mit Geschwindigkeit und Frequenz zusammen. [2,3]

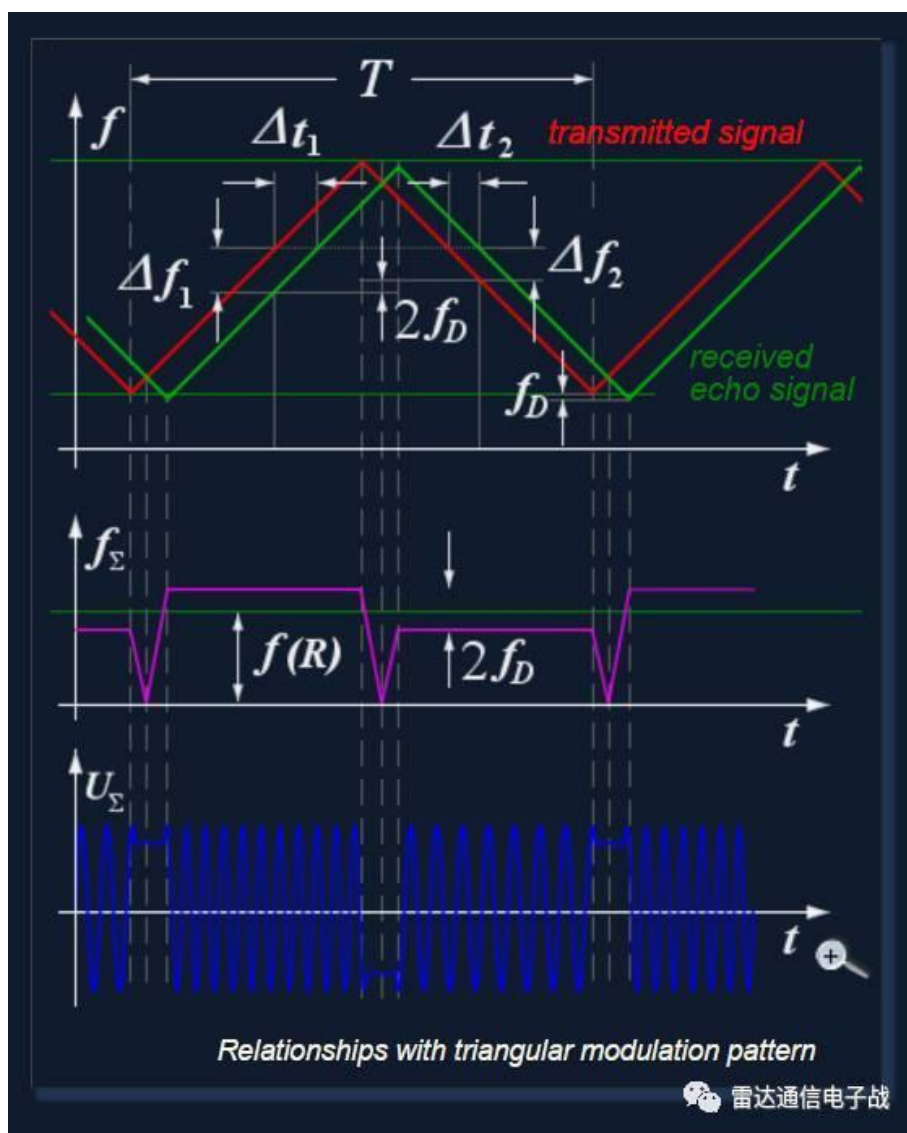


Abbildung 3.2.2 Prinzip von FMCW-Verfahren

<https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>

Bei der Anstieg Phase

Sender Signal^[3]

$$A(t) = a_0 \cos 2\pi(f_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot t^2) \quad (\text{GL.3.2})$$

a_0 – Amplitude
 f_0 – Anfangsfrequenz
 μ Anstieg von Frequenz

Empfänger Signal

$$B(t) = ka_0 \cos 2\pi[f_0 \cdot (t - \tau) + \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot (t - \tau)^2 + \varphi_0] \quad (\text{GL.3.3})$$

$$\tau = \frac{2(r-vt)}{c} \quad (\text{GL.3.4})$$

τ – Verzögerung beim Empfang des Echosignal
 φ_0 – Phasenverschiebung

Nach dem Mixer gibt es

$$C(t) = \frac{1}{2} ka_0^2 \cos 2\pi[(f_0 \tau - \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot \tau^2 + \mu t \tau) - \varphi_0] \quad (\text{GL.3.5})$$

Mit $\tau = \frac{2(r-vt)}{c}$ eingesetzt

$$C(t) = \frac{1}{2} ka_0^2 \{ \cos 2\pi [(\frac{2\mu r}{c} + \frac{\mu r v}{c^2} - \frac{2f_0 v}{c}) t - (\frac{2\mu v}{c} + \frac{2\mu v^2}{c^2}) t^2 + (\frac{2f_0 r}{c} - \frac{2\mu r^2}{c^2})] - \varphi_0 \} \quad (\text{GL.5.6})$$

r -Abstand des Objekts
 v -Geschwindigkeit des Objekts

Durch die Gleichung ist das Schwebungssignal auch eine FM-Signal. Aber die elektrische Welle hat die Geschwindigkeit $3 \cdot 10^8$ m/s. So kann das Glied $1/c^2$ vernachlässigt werden, es gilt

$$c(t) = \frac{1}{2} ka_0^2 \{ \cos 2\pi [(\frac{2\mu r}{c} - \frac{2f_0 v}{c}) t - (\frac{2\mu v}{c}) t^2 + (\frac{2f_0 r}{c})] - \varphi_0 \} \quad (\text{GL.3.7})$$

Und auch wegen normalerweise $v \ll c$ gilt das

$$c(t) = \frac{1}{2} ka_0^2 \{ \cos 2\pi [(\frac{2\mu r}{c} - \frac{2f_0 v}{c}) t + (\frac{2f_0 r}{c})] - \varphi_0 \} \quad (\text{GL.3.8})$$

So ist das Schwebungssignal ein Signal mit der Frequenz $f_+ = \frac{2\mu r}{c} - \frac{2f_0 v}{c}$. Auch bei

Absenkenden Phasen hat die Frequenz $f_- = \frac{2\mu r}{c} + \frac{2f_0 v}{c}$

Durch diese Frequenz kann man mit Gleichungen Entfernung und Geschwindigkeit ausrechnen.

$$r = \frac{cT}{8B} (f_- + f_+) \quad (\text{GL.3.9})$$

$$v = \frac{c}{4f_0} (f_+ - f_-) \quad (\text{GL.3.10})$$

3.2.2 Vergleich

Gleichzeitig wird die Messtheorie vorhandener Ultraschallsensoren und das Prinzip des Doppler-Radars verglichen.

3.2.2.1 Einschränkung von der Puls-Echo-Methode

Der Sender kann das Signal des Empfängers mit der Puls-Echo-Methode beeinflussen. Wenn sich der Empfänger sehr nahe am Objekt befindet, muss das Signal des Empfängers analysiert werden.

Die Dämpfung des Ultraschalls ist proportional zur Frequenzleistung. Je höher die Frequenz der Ultraschallwelle ist, desto höher ist der Dämpfungskoeffizient der Ultraschallwelle. Gleichzeitig, je höher die Frequenz der Ultraschallwelle ist, desto höher ist die Genauigkeit der Messung.

Ultraschallsensoren bestehen aus Ultraschallwellen als Träger. Die Geschwindigkeit der Ultraschallwellen in der Luft wird durch die Temperatur und Feuchtigkeit des Messortes beeinflusst.^[4]

Die relative Beziehung zwischen Schallgeschwindigkeit und Temperatur ist gegeben durch

$$c = 331,3 + (0,606 \cdot \vartheta) \text{ m/s} \quad (\text{GL.3.11})$$

c – Geschwindigkeit von Ultraschallwellen
 ϑ – Temperatur in Celsius

Die Außentemperatur kann einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Ultraschalls haben. Die durch die Messung des Objekts ermittelte Entfernung wird also aufgrund der Geschwindigkeit der Ultraschallwellen Fehler aufweisen.

3.2.2.2 Einschränkung von FMCW-Verfahren

Die Geschwindigkeit von Ultraschallwelle ist 340m/s. Die Geschwindigkeit ist relativ sehr viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit.

So ist die Gleichung von dem Schwebungssignal immer noch eine FM-Signal. Wenn das Objekt still ist, kann das FMCW-Verfahren eine Entfernungsmessung durchführen. Aber diese Methode ist komplizierter als die Plus-Echo-Methode, sodass keine Notwendigkeit besteht. Wenn ein Objekt sich bewegt, kann man, wie im Folgenden ausgeführt, nicht durch FFT eine bestimmte Frequenz ausrechnen und damit nicht mit FMCW Geschwindigkeit und Entfernung ausrechnen.

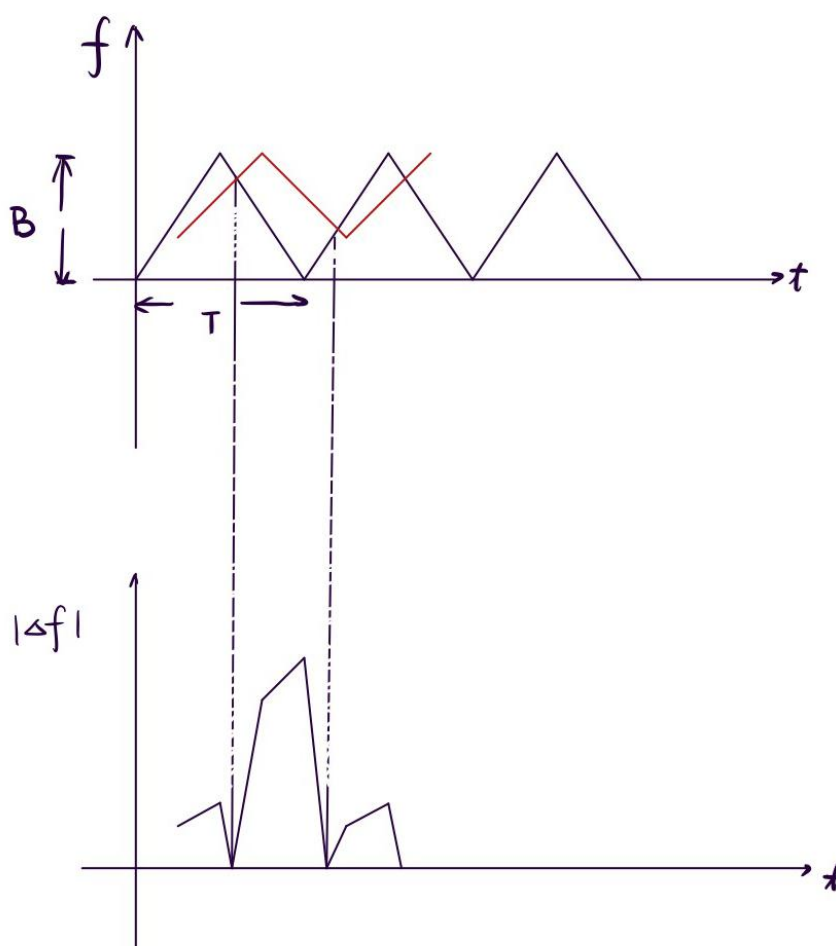


Abbildung 3.2.3 Einschränkung von FMCW-Verfahren

Noch bei Periodendauer T von der Frequenz gilt eine Gleichung:

$$R_m \gg \frac{c \cdot T}{2} \quad (\text{GL.3.12})$$

R_m – maximale messbar Abstand

In Projekt wird ein maximal messbarer Abstand bis zu 4 m gefordert. So kann man mit der Gleichung die Periodenzeit T ausrechnen. [5,6]

$$T \gg \frac{2R_m}{c} = \frac{2 \cdot 4m}{340 \frac{m}{s}} = 0,0235294s \quad (\text{GL.3.13})$$

Da die Geschwindigkeit von Ultraschallwellen vergleichsweise sehr gering ist, muss die Zeit der Periode sehr groß sein.

Es gibt noch ein technisches Problem. In Ultraschallwellen Sensoren nutzt man Piezoelemente. Das Piezoelement hat eine bestimmte Resonanzfrequenz. Und nur bei dieser Resonanzfrequenz kann das Piezoelement stabil und gut arbeiten. Im FMCW-Verfahren müssen Sender und Empfänger unterschiedliche Frequenzen erzeugen oder kennen.

Die Anforderung an den Sensor sind:

Messbereich 20-400 cm

Messen von Abstand und Geschwindigkeit

Mehrere Objekte messen können

Puls-Echo-Methode

Abschließend lässt sich feststellen, dass das prinzipiell günstig zu realisierende Puls-Echo-Verfahren generell für eine Messung größerer Distanzen mit entsprechend längeren Signallaufzeiten und geringen Anforderungen an die Präzision und Dynamik der Abstandserfassung gut geeignet ist. Die Plus-Echo-Methode hat eine Messdauer von ca. 0,33 s, d.h. zur Messung der Geschwindigkeit werden ca. 0,7 s benötigt.

Bei FMCW-Verfahren kann man mehrere Objekte messen, aber die Methode ist aufwendig, benötigt mehr Bauelemente und ist damit teuer aber ist gleichzeitig für Geschwindigkeitsmessungen der Objekte nicht geeignet, da eine Messung ca. 1 s dauert. Entsprechend wird die Puls-Echo-Methode gewählt.

3.2.3 Messung von mehreren Objekte

Bei einem Messvorgang erzeugen mehrere Objekte mehrere Echos. Die Zeit, zu dem Empfänger, hängt zudem von den unterschiedlicheren Abständen ab. Durch Messen der Spitzenwerte von Echos können mehrere Objekte identifiziert werden.

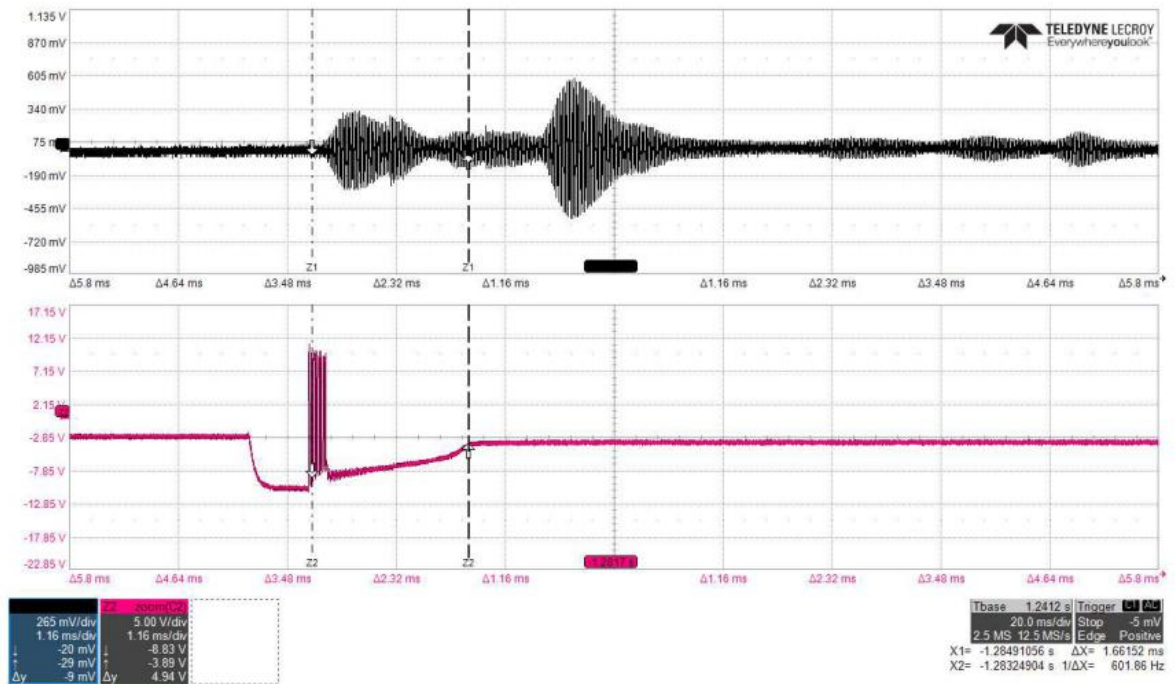


Abbildung 3.2.4 Messung von mehreren Objekte

Als Schlussfolgerung kann man sagen, entsprechend dem unterschiedlichen Abstandsverhältnis zwischen dem Objekt und dem Ultraschallsensor empfängt der Empfänger Echosignale mit mehreren unterschiedlichen Spitzen. Daraus lässt sich schließen, dass der Ultraschallsensor die Entfernung mehrerer Objekte durch unterschiedliche Spitzen des Echosignals messen kann.

3.3 Systementwurf

Durch die Studie in der Praktikumsphase wurde ein Ultraschallsensor entworfen, der mehrere Objekte messen kann. Dieser Ultraschallsensor besteht aus drei Teilen: Sender, Controller und Empfänger. Jedes Teil hat eine andere Funktion.

Sender

Eine 40 kHz-Rechteckwelle wird durch den Controller gesendet und durch den Verstärker verstärkt. Dann wird der Ultraschall durch den Ultraschall-Sender gesendet.

Empfänger

Das Echo wird durch den Ultraschallempfänger empfangen. Da die durch das Echosignal erzeugte Spannung relativ klein ist, wird ein Verstärker benötigt, um das Echosignal zu verstärken. Und das Echosignal muss analysiert werden, und schließlich wird jede Spitze gefunden.

Controller

Der Controller sendet ein 40 kHz-Rechteck-Sendesignal.

Er empfängt das vom Empfänger verarbeitete Echosignal und berechnet gleichzeitig die Zeit der einzelnen Spitzen.

Das Flussdiagramm des gesamten Sensors ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

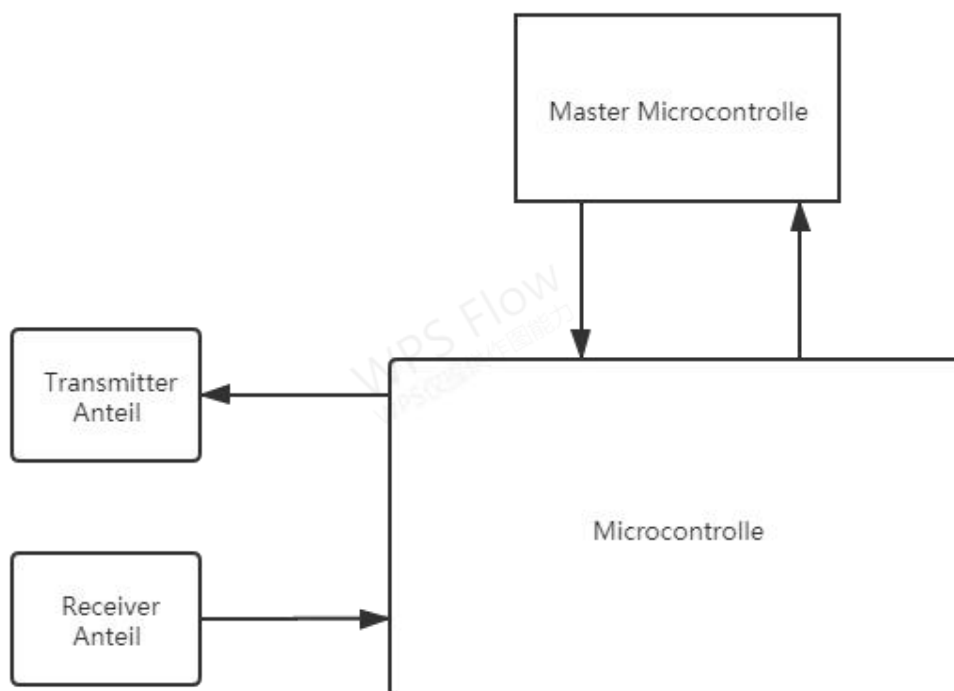


Abbildung 3.3.1 Systementwurf

3.4 Hardware

3.4.1 Sender

Wie bereits erwähnt, besteht der Sender des Ultraschallsensors aus einem Verstärker und einem Ultraschall-Wandler. Die Funktion des Ultraschallwandlers ist die Umwandlung des elektronischen Signals in ein Ultraschallsignal. Die Funktion des Verstärkers ist die Verstärkung des vom Controller gesendeten 40 kHz-Signals. Die Ausbreitung des Ultraschalls in der Luft verbraucht Energie. Je mehr Energie die Ultraschallwellen der gleichen Frequenz mit sich führen, desto weiter können sich die Ultraschallwellen ausbreiten^[7]. Man verstärkt das vom Controller gesendete Signal, damit die vom Ultraschall-Wandler erzeugte Ultraschallwelle mehr Energie hat. Die Ultraschallwellen breiten sich auch weiter aus, so dass der Ultraschallsensor weiter entfernte Objekte messen kann.



Abbildung 3.4.1 Sender

3.4.2 Empfänger

Der Empfänger dieser Bachelorarbeit unterscheidet sich von dem vorhandenen Ultraschallsensor. Der vorhandene Ultraschallsensor hat nur eine Verstärkungsfunktion. Der Empfänger dieser Bachelorarbeit besteht aus drei Teilen. Dies sind der Ultraschallwandlerteil, der Verstärkerteil und der Analyseteil.

Verstärkerteil: Die Spannung, die durch das Echosignal über den Quarzoszillator erzeugt wird, ist für den Controller zu klein. Sie ist ungünstig für die Identifikation und Ansteuerung des Controllers. Daher ist es notwendig, das Echosignal zu verstärken. Die Vergrößerung bestehender Ultraschallsensoren beträgt in der Regel das 80-200fache. Hier verwendet man eine 200-fache Vergrößerung.

Die Filterung wird nach der Verstärkung durchgeführt. Da der Ultraschall fünf Objekte identifizieren muss, müssen also fünf Maximalwerte identifiziert werden. Es gibt viele Möglichkeiten, die fünf Maximalwerte zu identifizieren. In diesem endgültigen Entwurf wurden zwei Methoden in Betracht gezogen.

Eine Methode besteht darin, einen Komparator direkt hinter das verstärkte Signal zu schalten. Der Komparator vergleicht die Spannung des Echosignals mit der kundenspezifischen Spannung. Wenn die Spannung des Echosignals größer als die kundenspezifische Spannung ist, wird es als Echo betrachtet. Ist das Echosignal kleiner als die benutzerdefinierte Spannung, wird es als kein Echo betrachtet. Das schematische Diagramm ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

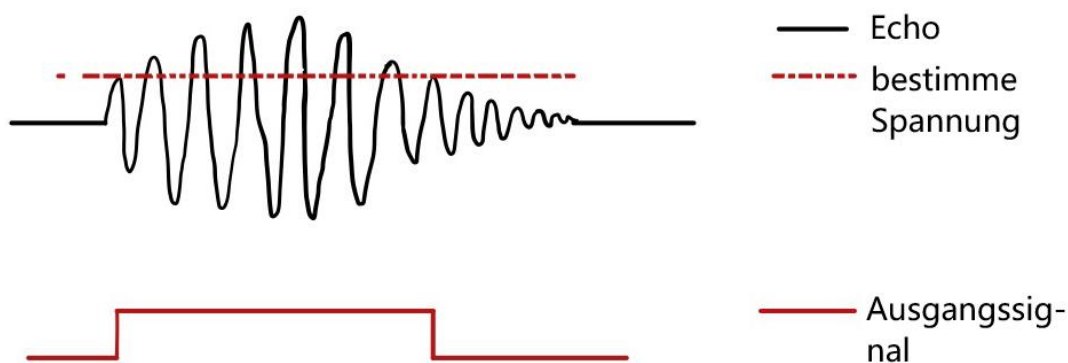


Abbildung 3.4.2 Prinzip von Komparator bei Empfänger

Der Vorteil dieser Erweiterung ist, dass der Aufbau relativ einfach ist, was für die Prüfung und die Fehlerkontrolle günstig ist. Wenn das Objekt jedoch weit vom Ultraschallsensor entfernt ist, kann das empfangene Echosignal nach der Verstärkung nicht größer als die kundenspezifische Spannung sein, so dass das Echosignal nicht erkannt werden kann. Das schematische Diagramm ist in der Abbildung unten dargestellt.

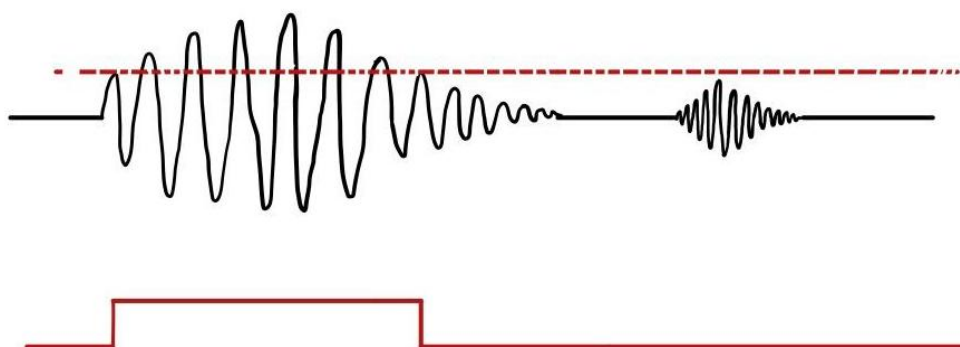


Abbildung 3.4.3 Einschränkung von Komparator bei Empfänger

Die zweite Methode ist, das verstärkte Signal durch die TF-Filter zu leiten. Sie wandeln das 40 kHz-Echosignal in ein niederfrequentes Signal um. Durch die Ableitung dieses niederfrequenten Signals kann der Wert des Nulldurchgangs der maximale oder minimale Wert sein. Die Maximal- und Minimalwerte werden durch Erkennung des Nulldurchgangs dieses Signals bestimmt. Der gesamte Vorgang ist in

der schematischen Darstellung dargestellt

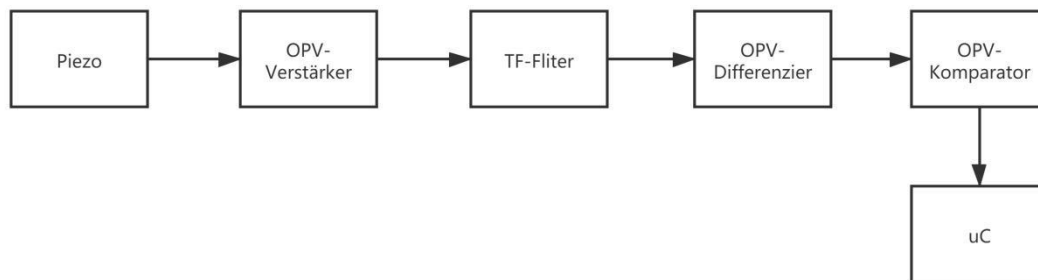


Abbildung 3.4.4 Empfänger

Da der Verstärker OPV verwendet, kann er auch OPV-Differenzierer und Komparator durch elektronische Komponenten bilden. Der gesamte Empfänger kann aus 4 OPVs zusammengesetzt werden. Das reduziert die Vielfalt der Anschaffung von elektronischen Bauteilen.

Der Vorteil dieser Struktur ist, dass es relativ genau sein wird, um entfernte Ziele zu messen. Aber die Struktur ist komplizierter.

3.4.3 Controller

Der Controller muss das Startsignal von der übergeordneten Steuerung annehmen und ein 40 kHz-Signal senden. Beim Senden des Signals beginnt der Zähler mit der Zeitmessung. Die Zählung erfolgt auf Basis des empfangenen Echosignals. Abschließend werden die Zähldaten an den oberen Controller gesendet.

3.5 Auswahl der Hardware

3.5.1 Ultraschallsonde

Ultraschallsonden (auch Ultraschallwandler genannt) bestehen hauptsächlich aus piezoelektrischen Plättchen, die Ultraschallwellen senden und empfangen können. Ultraschallsonden mit geringer Leistung werden meist zur Detektion eingesetzt. Es gibt viele verschiedene Strukturen, die sich in gerade Sonde (Longitudinalwelle), schräge Sonde (Transversalwelle), Oberflächenwellensonde (Oberflächenwelle), Lamb-Wellensonde (Lamb-Welle), Doppelsonde (eine Sonde Reflexion, eine Sonde Empfang) unterteilen lassen.

Das Herzstück der Ultraschallsonde ist ein piezoelektrischer Chip in seinem Kunststoff- oder Metallmantel. Es gibt viele Arten von Materialien, aus denen der piezoelektrische Chip besteht. Die Größe des Chips, wie z. B. der Durchmesser und die Dicke, sind ebenfalls unterschiedlich, so dass die Leistung jeder Sonde unterschiedlich ist, wir müssen ihre Leistung vor der Verwendung kennen. Zu den wichtigsten Leistungsindikatoren von Ultraschallsensoren gehören:

- (1) Arbeitsfrequenz. Die Arbeitsfrequenz ist die Resonanzfrequenz des piezoelektrischen Chip. Wenn die Frequenz der an seinen beiden Enden angelegten Wechselfspannung gleich der Resonanzfrequenz des Chips ist, ist die Ausgangsenergie am höchsten und die Empfindlichkeit am größten.
- (2) Arbeitstemperatur. Da der Curie-Punkt von piezoelektrischen Materialien im Allgemeinen relativ hoch ist, insbesondere wenn die Ultraschallsonde für die Diagnose eine geringe Leistung verwendet, ist die Arbeitstemperatur relativ niedrig, und sie kann für eine lange Zeit ohne Ausfall arbeiten. Die Temperatur von medizinischen Ultraschallsonden ist relativ hoch und erfordert eine separate Kühlanlage.
- (3) Empfindlichkeit. Hängt hauptsächlich von dem hergestellten Chip selbst ab. Der elektromechanische Kopplungskoeffizient ist groß, und die Empfindlichkeit ist hoch; im Gegenteil, die Empfindlichkeit ist niedrig.

TCT40-16R/T ist ein separater Ultraschallkopf zum Senden und Empfangen. Ein Paar ist in eine Empfangs- und eine Sendesonde aufgeteilt. Die Mittenfrequenz beträgt 40 kHz. Da der Transceiver getrennt ist, arbeitet der Empfangsfühler gleichzeitig mit dem Sendefühler, der Signale sendet. Reduzieren Sie den Blindzonenbereich des Ultraschallsensors.

Die Ultraschallsonde, die mit dem Transceiver integriert ist, besteht aus einer einzigen Sonde. Der Ultraschallwandler dient gleichzeitig als Sende- und Empfangsseite. Eine

solche Ultraschallsonde hat einen einfachen Aufbau und ein kleines Volumen. Der Nachteil ist jedoch, dass die Sonde nicht gleichzeitig Signale senden und empfangen kann. Dieses Problem führt dazu, dass der Ultraschallsensor für einen Teil der Zeit einen blinden Fleck bei der Messung hat.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei Ultraschallsensorprüfköpfen eine separate Ultraschallsonde als Wandler des Ultraschallsensors gewählt wird.

3.5.2 Auswahl des Sendeverstärkers STC232 und Vergleich der Leistungsverstärker

STC232 ist ein 5 V versorgter Mehrkanal-es-232-Treiber und -Empfänger. Er wandelt ein 0 -5 V TTL-Signal in ein -10 V bis 10 V COMS-Signal um. Der STC232ctr wird als Signalverstärker im Ultraschallsensor SRF10 eingesetzt. 40 kHz aufgrund der Frequenz des auftretenden Signals, diese Frequenz ist für die meisten OPVs zu schnell. Obwohl es einen Vergrößerungseffekt gibt, ist das Bild nach der Vergrößerung stark verzerrt. Das verzerrte Signal kann nicht als Eingangssignal für den Messwandler verwendet werden. Wenn ein OPV mit hoher Slew-Rate als Verstärker verwendet wird, sind die Kosten viel höher als beim STC232. Als Verstärker kann der STC232 einen guten Verstärkungseffekt erzielen und gleichzeitig die Kosten senken.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der STC232 als Transmitterverstärker ausgewählt wurde.

3.5.3 Die Betriebsart des Empfängers wählt die im Labor vorhandenen TL084 und LT1363 zum Vergleich aus

Bauelement für Hardware:

Man hat LT 1363 und noch TL081CN

	LT1363	TL081CN
Gain Bandwidth	70 MHz	4 MHz
Slew Rate	1000 V/ μ s	16 V/ μ s
Maximum Input offset voltage	150 mV	1 mV

Table3.5.1 Vergleich von zwei OPVs

Nach Simulation können beide OPVs als Verstärker gut funktionieren.

Aber in der Praxis funktioniert LT1363 nicht. Wegen der maximalen Offset Spannung, die 150 mV ist aber das Eingangssignal ist 10-50mV.

So ist das Bauelement LT1363 nicht passend, das Bauelement TL081CN sieht in der Praxis gut aus. Und TL081CN kann auch als OPV-Differenzier und Komparator gut arbeiten.

So wählt man TL081CN als Bauelement aus.

3.5.4 Auswahl des Controllers

Die Wahl des Controllers ist Arduino Uno. Der Arduino Uno hat viele Vorteile. Arduino Uno kann jederzeit programmiert werden. Er erleichtert Hardware- und Software-Änderungen. Gleichzeitig sind die Pins des Arduino Uno übersichtlich und groß, so dass es relativ einfach ist, die notwendigen Verbindungen zum Controller herzustellen. Gleichzeitig hat Arduino Uno aber auch Nachteile. Der Arduino Uno ist groß und muss über USB mit dem Computer verbunden werden.

3.6 PCB-Plattenherstellung

Erste Produktion

Die Leiterplatte wurde nach der ersten Entwurfszeichnung entworfen.

Die Größe der Leiterplatte beträgt 53.086 mm * 33.080 mm.

Die Leiterbahnbreite wird so gewählt, dass sie etwa 20 mils beträgt und für die Pins der entsprechenden elektronischen Komponenten geeignet ist. Gemäß den grundlegenden Designgewohnheiten ist die Breite des Erdungsdrahtes größer als die Breite der Stromversorgung und die Breite der übrigen Drähte. Der Erdungsdraht besteht aus Kupfer, der Stromversorgungsdraht ist 21 mils breit, und die übrigen Drähte sind 20 mils breit. Je nach Breite des Drahtes sind auch die Innen- und Außendurchmesser der Durchkontaktierungen unterschiedlich. Der Innen- und Außendurchmesser der Leistungsdrähte beträgt jeweils 28/58 mils, der Innen- und Außendurchmesser der übrigen Drähte jeweils 20/40 mils.

Zweite Produktion

Aufgrund der Designänderungen wird auch die Leiterplatte zur gleichen Zeit denselben Änderungen unterzogen. Gleichzeitig wird der Arduino Uno nicht im Chip-Modus angeschlossen, sondern direkt mit dem Programmierboard des Arduino Uno verbunden.

Die Größe der Platine ist 55,753 mm * 36,576 mm.

Arduino Uno Chips wurde gelöscht.

Der 16Mhz-Quarzoszillator wurde gelöscht..

OPV Differenzier und OPV Komparator wurden gelöscht.

Das Gehäuse der Diode wurde geändert

Pins passend für das Arduino Uno Board wurden hinzugefügt

3.7 Software

3.7.1 Die allgemeine Situation der Software

Bei der Programmierung des Controllers muss dieser die folgenden Funktionen erfüllen.

Er empfängt das Startsignal so schnell wie möglich.

Nach dem Empfang des Startsignals sendet er eine 40 kHz-Rechteckwelle, und der Zähler beginnt gleichzeitig mit der Zeitmessung.

Nach dem Empfang des verarbeiteten Signals wird die Zeit aufgezeichnet, zu der die fallende Flanke des Signals auftritt.

Es werden höchstens fünf Zeitpunkte der fallenden Flanke aufgezeichnet und die Informationsübertragung endet, oder die Informationsübertragung endet nach dem Empfang des Endsignals.

Die aufgezeichneten Daten werden über das I²C-Datenübertragungsformular an die übergeordnete Steuerung übertragen.

Der obere Controller steuert das Senden des Startsignals und des Endsignals.

Der obere Controller berechnet die Entfernung zwischen dem Ultraschallsensor und dem Objekt anhand der empfangenen I²C-Daten.

Die obere Steuereinheit zeigt die vom Ultraschallsensor gemessene Entfernung des Objekts separat auf dem Computer an.

3.7.2 Software-Unterprogramm

40 kHz-Rechteckwellensender Sendermodul

Eine 40,4 kHz-Rechteckwelle kann durch Debuggen der Schaltzeit des Mikrocontrollers erhalten werden. Dabei hat die gesendete Rechteckwelle jedes Mal 8 Zyklen.

Externes Interrupt-Modul akzeptieren

Das Interrupt-Funktionsformat von Arduino ist `attachInterrupt(interrupt, function, mode)`.

Die Funktion `attachInterrupt` wird verwendet, um den externen Interrupt zu setzen. Es gibt 3 Parameter. `Interrupt` steht für die Nummer der Interrupt-Quelle (Interrupt-Nummer), `function` für die Interrupt-Verarbeitungsfunktion und `mode` für den Trigger-Modus. Die spezifischen Bedeutungen sind wie folgt

Unterbrechungsnummer: Optional 0 oder 1, entsprechend den digitalen Pins 2 und 3 auf der UNO-Platine.

Funktion der Unterbrechungsverarbeitung: Geben Sie die Funktion der Unterbrechungsverarbeitung an, die ein Unterprogramm ist. Wenn eine Unterbrechung auftritt, wird die Unterroutine ausgeführt, und der Parameterwert ist ein Zeiger auf die Funktion.

Triggermodus: Es gibt die folgenden Typen

LOW Low-Pegel-Trigger

CHANGE Pegelwechsel, hoher Pegel wechselt zu niedrigem Pegel, niedriger Pegel wechselt zu hohem Pegel

RISING steigende Flanke Trigger

FALLING fallende Flanke Trigger

HIGH High-Pegel-Trigger

Durch die Einstellung des externen Interrupts kann die Identifizierung jeder fallenden Flanke realisiert werden. Wenn das Echo-Verarbeitungssignal eine fallende Flanke hat, wird ein externer Interrupt ausgelöst. Es muss eine Unterroutine für den externen Interrupt ausgeführt werden. Das Unterprogramm für den externen Interrupt beinhaltet die Aufzeichnung der aktuellen Zeit. Dann wird mit der Zeit der übertragenen Welle gerechnet, um die Dauer zu berechnen.

Oberes Controller-Unterprogramm

Die übergeordnete Steuerung berechnet die Entfernung des Objekts vom Ultraschallsensor anhand der Daten, die vom verarbeiteten Programm der unteren Ebene gesendet werden. Anschließend wird der berechnete Abstand sofort ausgegeben.

3.7.3 Gesamtablaufplan der Software

Das Hauptflussdiagramm des Controllers ist unten dargestellt.

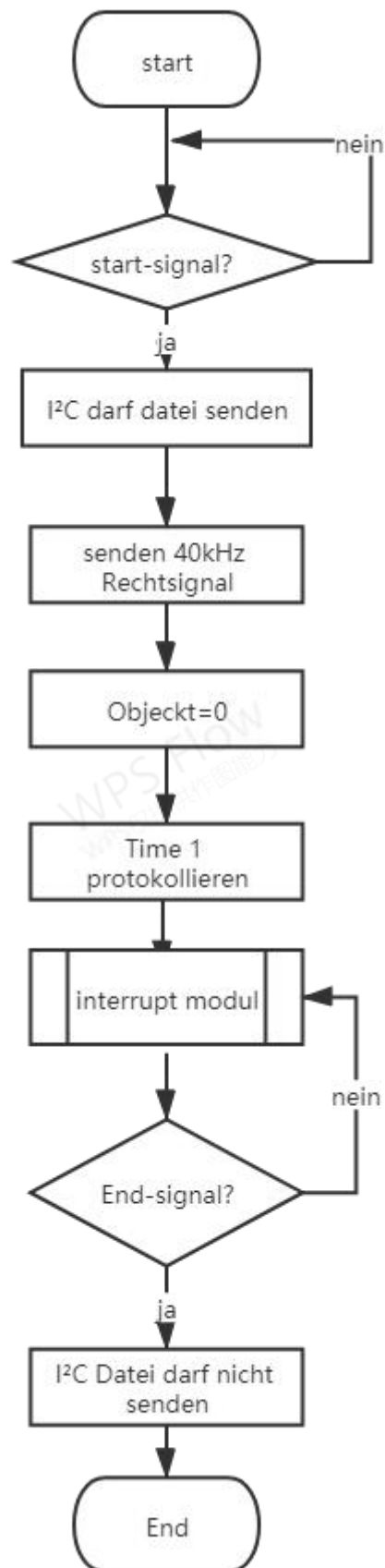


Abbildung 3.7.1 Hauptprogramm von Slave

Das Teilflussdiagramm des Controllers ist in der folgenden Abbildung dargestellt

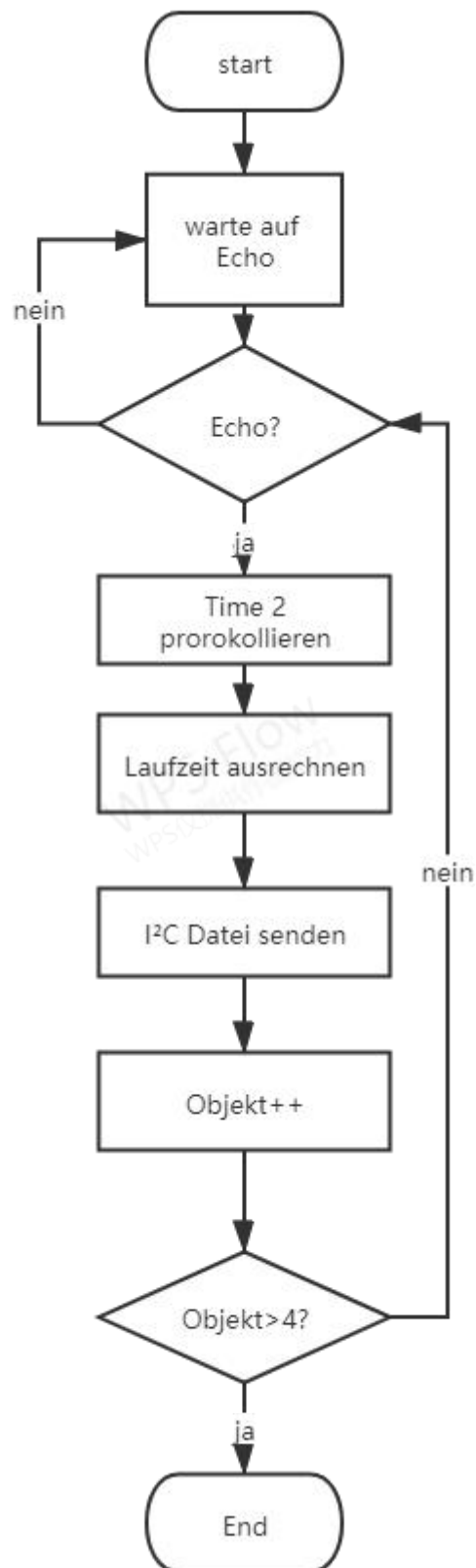


Abbildung 3.7.2 Unterprogramm von Slave

Das Hauptflussdiagramm der übergeordneten Steuerung ist in der folgenden Abbildung dargestellt



Abbildung 3.7.3 Hauptprogramm von Master

Flussdiagramm des oberen Controller-Unterprogramms

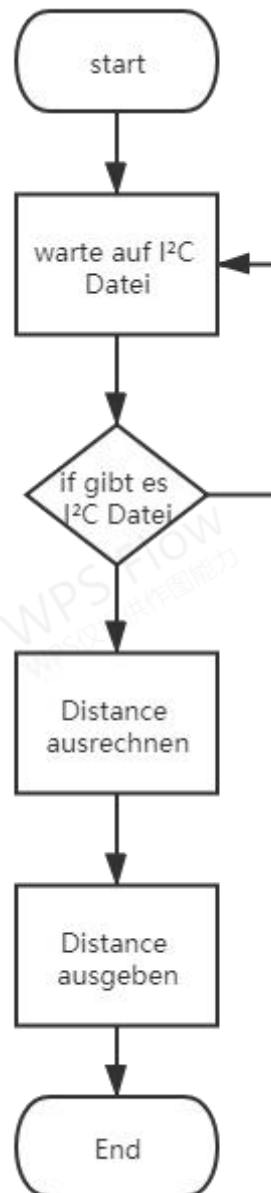


Abbildung 3.7.4 Unterprogramm von Master

4 Test und Simulation

4.1 Simulation

Die Simulation bezieht sich auf den Vorgang der Simulation der Schaltung, nachdem diese mit professioneller Software auf dem Computer aufgebaut wurde. Da dieser Vorgang am Computer durchgeführt wird, ist er im Vergleich zur eigentlichen Messung relativ einfach.

Zunächst muss man nur bestimmte elektronische Bauteile auswählen, die man verwenden möchte. Danach stellt man die richtigen Verbindungen zu den elektronischen Bauteilen her. Drittens stellt die Person den entsprechenden Eingang ein. Schließlich simuliert man die gesamte Schaltung, um zu prüfen, ob der Ausgangswert den Erwartungen entspricht. Wenn das Simulationsergebnis dem erwarteten Effekt entspricht, kann die Schaltung mit der nächsten tatsächlichen Messung fortfahren. Wenn die Simulationsergebnisse nicht den Erwartungen entsprechen, können die Schaltung oder die elektronischen Komponenten direkt am Computer geändert werden. Der Vorteil der Simulation besteht darin, dass keine große Anzahl elektronischer Bauteile gekauft und die eigentliche Messung nicht mechanisch wiederholt werden muss. Die Simulation verbessert die Effizienz der Arbeit erheblich und ist eine Software, die es wert ist, erlernt zu werden.

Alle elektronischen Komponenten müssen simuliert werden, weil es nicht klar ist, ob sie die erwartete Wirkung erzielen. Der Hardware-Teil in diesem Papier wurde simuliert.

Da das Echosignal nur schwer mit dem Computer bearbeitet werden kann, wird die analoge Schaltung in zwei Abschnitte unterteilt. Verstärkungseffekt und Filtereffekt einer analogen Schaltung. Ableitungseffekt und Vergleichseffekt der zweiten analogen Schaltung

Die verwendete Software ist LTpsice. Da es sich um eine kostenlose Simulationssoftware handelt, ist diese Software sehr studentenfreundlich. Da es sich jedoch um eine von der Firma It entwickelte Software handelt, sind die darin enthaltenen elektronischen Komponenten sehr begrenzt. Die elektronischen Komponenten, die in der Simulation ausgewählt werden, sind möglicherweise nicht die tatsächlichen elektronischen Komponenten. Aber die Menschen verwenden elektronische Komponenten, die denen ähnlich sind, die tatsächlich für die Simulation verwendet werden.

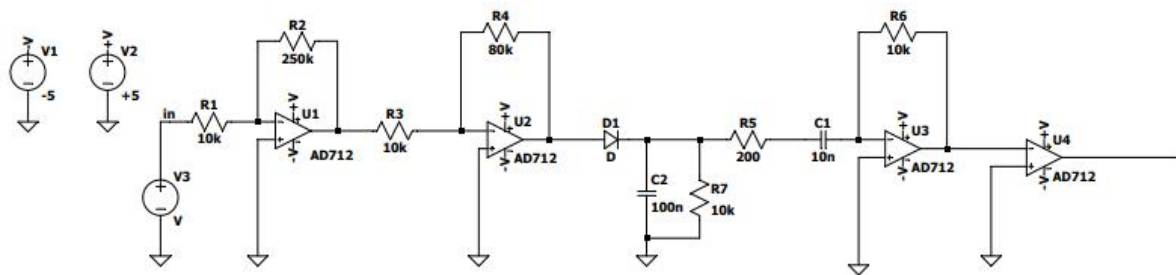


Abbildung 4.1.1 Gesamtschaltung vom Empfänger in der Simulation

Daraus ist ersichtlich, dass der erste und zweite Abschnitt in der Simulation gut getestet wurden. Die gewünschten Ergebnisse können erzielt werden und der nächste Schritt, die Prüfung der einzelnen Schaltungen, kann durchgeführt werden.

4.2 Prüfung

4.2.1 Einzelschaltungstest und Gesamtschaltungstest

Nach Fertigstellung der Simulationsschaltung wird nun jedes einzelne Teil getestet.

Das erste ist der Empfängerverstärkerteil

Im Labor wird aus zwei elektronischen Bauteilen TL081 und mehreren Widerständen ein Verstärker mit einer 200-fachen Vergrößerung aufgebaut.

Die Verstärkerschaltung ist in der Abbildung dargestellt.

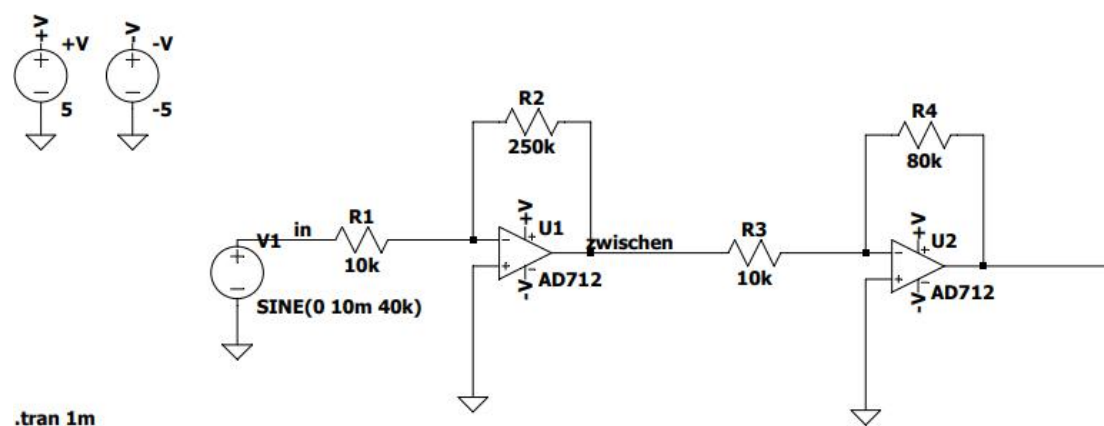


Abbildung 4.2.1Schaltung vom Empfängerverstärkerteil

Während des Experiments erzeugt ein Spannungsgenerator eine Sinuswelle mit einer Amplitude von 20 mV und einer Frequenz von 40 kHz. Diese Wellenform simuliert das Echosignal eines Ultraschallwandlers.

Der Schaltkreis, der aus TL081 besteht, ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Vergrößerungen der beiden OPVs sind 25-fach bzw. 8-fach. Multipliziert man die Verstärkung im linearen dieser beiden Verstärker, so erhält man eine 200-fache Vergrößerung.

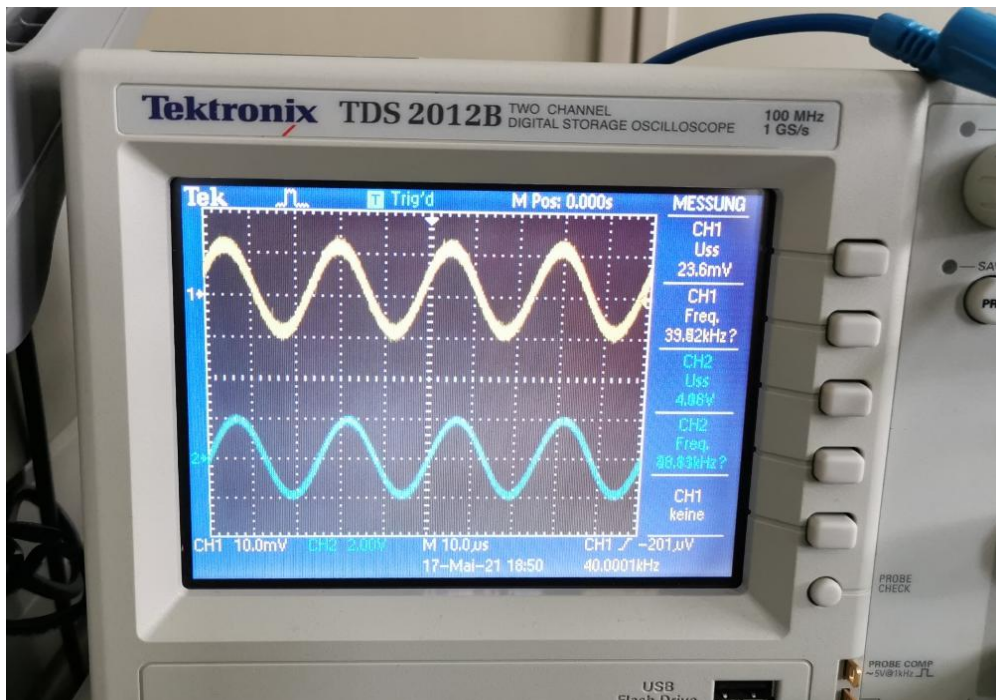


Abbildung 4.2.2 Ergebnis vom Empfängerverstärkerteil

Die folgende Abbildung zeigt die tatsächliche Schaltung und die Ergebnisse.

Das Eingangssignal ist eine Sinuswelle mit einer Amplitude von 20 mV und einer Frequenz von 40 kHz. Die Amplitude des Ausgangssignals beträgt 4 V und die Frequenz 40 kHz.

Es ist zu erkennen, dass der OPV normal funktioniert und die Anforderungen des Entwurfs erfüllt.

Gefolgt von dem Filterteil

Der Filterteil besteht aus Dioden, 10 k Ω Widerständen und 100 nF Kondensatoren.

Das Eingangssignal während des Experiments ist ein Rauschsignal mit einer Amplitude von 2 V.

Der Entwurfsschaltplan ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

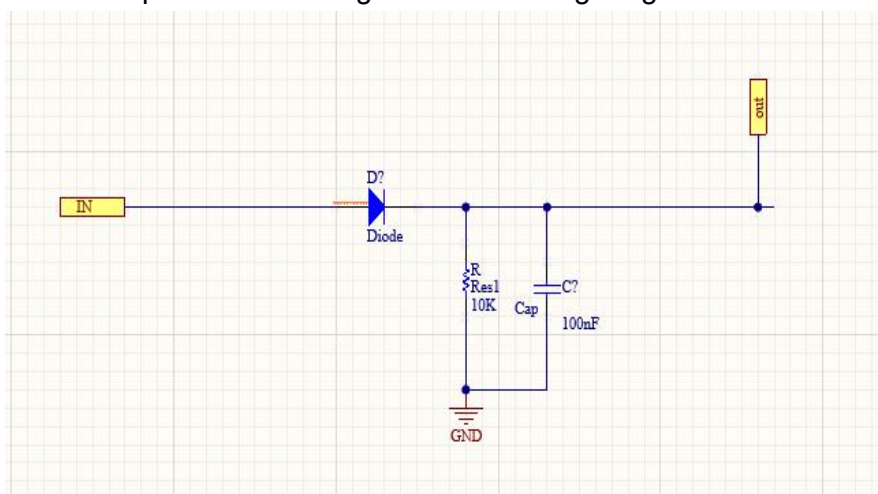


Abbildung 4.2.3 Schaltung vom TF-Filter

Die Versuchsergebnisse sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Nachdem das Rauschsignal den Filter durchlaufen hat, wird es zu einem Sägezahnsignal mit einer niedrigeren Frequenz. Es kann bestätigt werden, dass der Filter normal funktioniert und die Entwurfsanforderungen erfüllt.

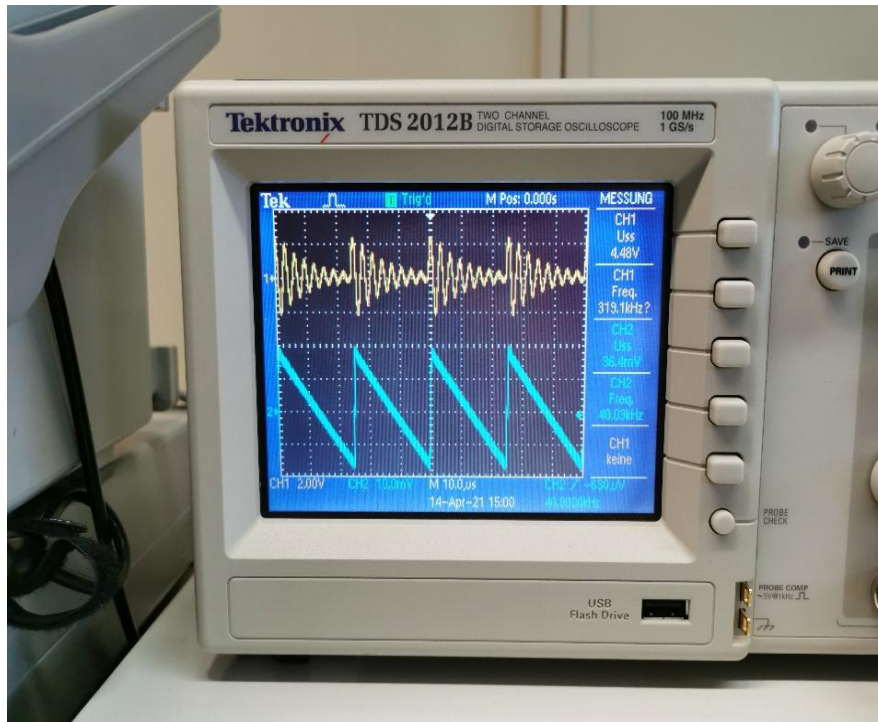


Abbildung 4.2.4 Ergebnis vom TF-Filter

Der dritte Teil der Ableitung

Der Ableitungsteil besteht aus OPV, 200 Ω Widerstand, 100nF Kondensator und 10 k Ω Widerstand. Der Entwurfsschaltplan sieht wie folgt aus

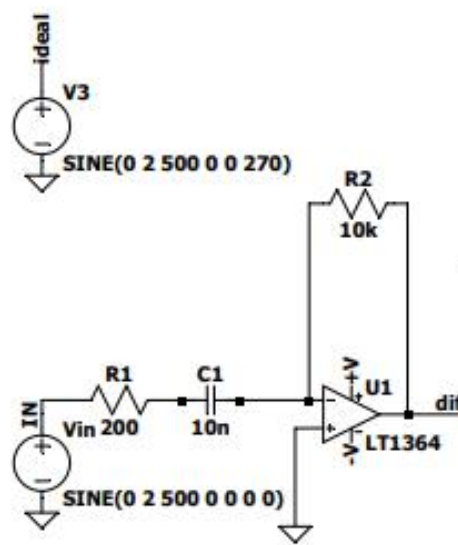


Abbildung 4.2.5 Schaltung von dem Ableitungsanteil

Das Eingangssignal während des Experiments ist ein 4 V 500 Hz Sinussignal. Dieses Signal simuliert das verstärkte und gefilterte Signal des Echosignals. Die Versuchsergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt

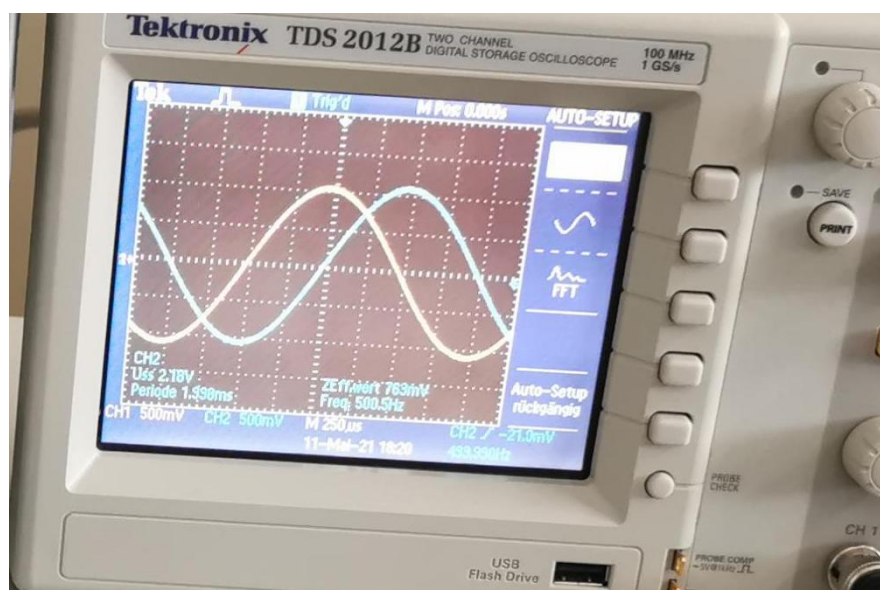


Abbildung 4.2.6 Ergebnis vom Ableitungsanteil

Das Eingangssignal wird genau abgeleitet. Die experimentellen Ergebnisse erfüllen die Anforderungen des Entwurfs.

Der vierte Teil ist der Vergleichsteil

Der Vergleichsteil besteht direkt aus einem einzigen OPV. Die Entwurfsschaltung ist unten abgebildet.

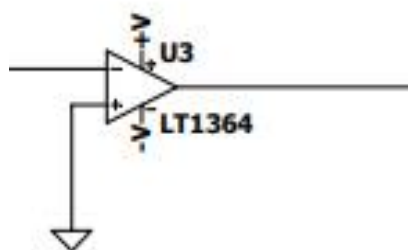


Abbildung 4.2.7 Schaltung vom Komparator

Er ist während des Experiments direkt mit dem Ableitungsteil verbunden. Das Eingangssignal ist das Echosignal nach der Ableitung. Das Ausgangssignal ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt

Die Versuchsergebnisse erfüllen die erwarteten Anforderungen.

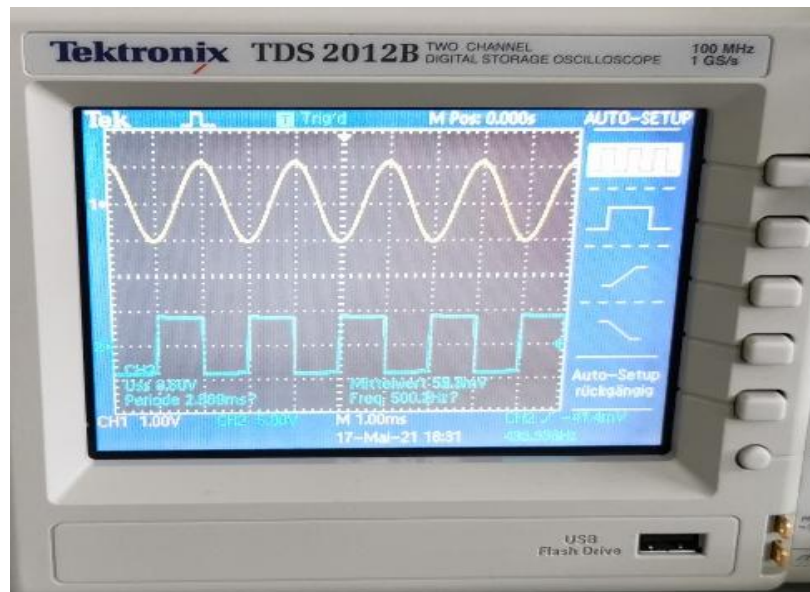


Abbildung 4.2.8 Ergebnis vom Komparator

Gesamttest

Die Versuche mit den einzelnen Schaltkreisen entsprechen den Erwartungen. Man führt einen Test des Gesamtempfängers durch.

Das Eingangssignal ist ein 20 mV -Rauschsignal, und das folgende Signal wird nach der Gesamtschaltung erhalten.

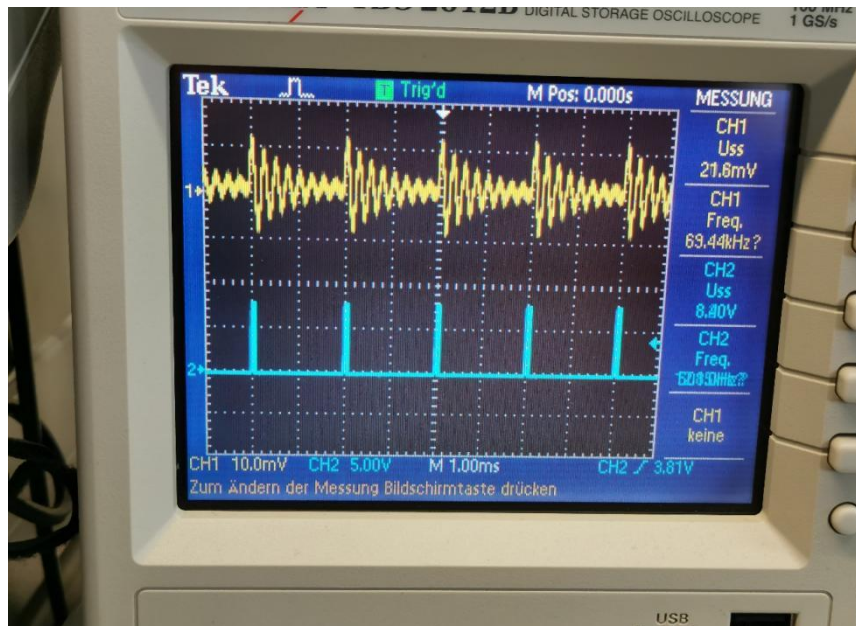


Abbildung 4.2.9 von dem Komparator

Aus dem Vergleich zwischen dem erhaltenen Signal und dem Eingangssignal ist ersichtlich, dass jede fallende Flanke den Maximalwert des Rauschsignals darstellt. Die gesamte Testschaltung erfüllt die Entwurfsanforderungen.

4.2.2 Prüfung von Software und Hardware.

Die Herstellung und das Lötender Leiterplatte sind abgeschlossen. Die Leiterplatte ist in der Abbildung dargestellt.

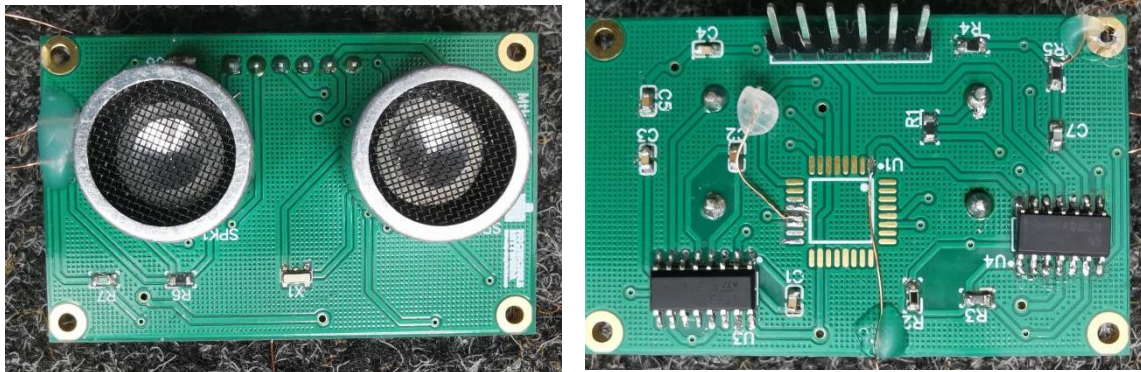


Abbildung 4.2.10 Vorseite und Rückseite der ersten Leiterplatte

Das Ultraschall-Entfernungssystem besteht aus 4 Teilen. Sie sind Ultraschallsensor, Netzteil, oberer Controller und PC.

Als Hauptteil des Systems besteht die Hauptfunktion des Ultraschallsensors darin, das Senden und Empfangen von Ultraschallwellen zu realisieren.

Die Funktion des Master Controllers besteht darin, den Ultraschallsensor zu steuern und die Entfernung zu berechnen.

Das Netzteil liefert die vom Ultraschallsensor benötigte Leistung.

Der PC wird als Datenanzeigebildschirm verwendet, um die Messdaten anzuzeigen

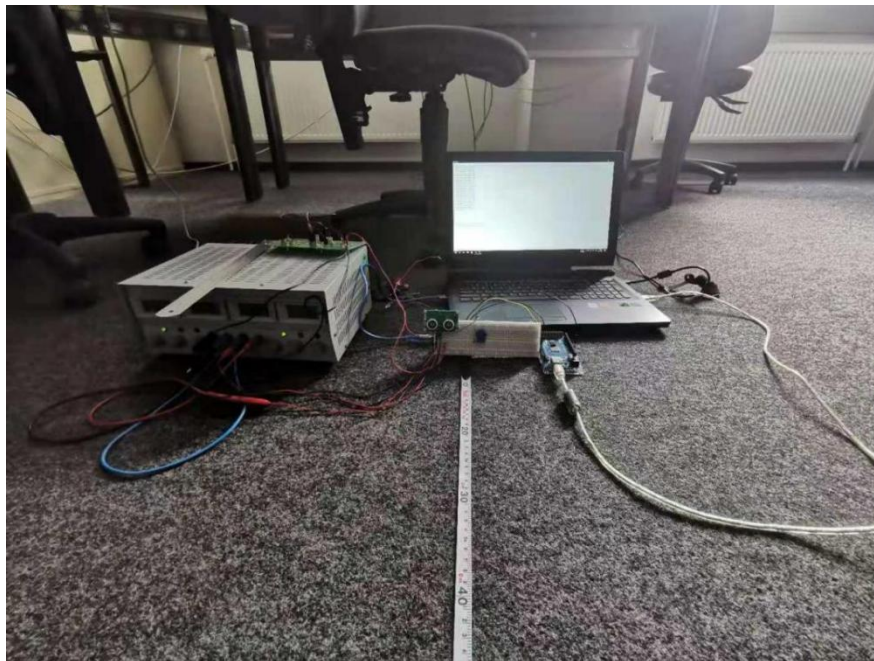


Abbildung 4.2.11 Schematische Darstellung des Experiments

Man testet die Platine und den Controller gleichzeitig. Es wurde festgestellt, dass das

erwartete Ergebnis des Entwurfs nicht erreicht werden konnte. Also misst man die Ausgangsergebnisse der einzelnen Teile.

Senderteil

Der Senderteil misst die Eingangs- und Ausgangssignale des Senders. Wie unten gezeigt. Die 40 kHz -Rechteckwelle wird nach dem Durchlaufen des Sendeteils verstärkt. Die Ergebnisse stimmen mit den experimentellen Erwartungen überein.

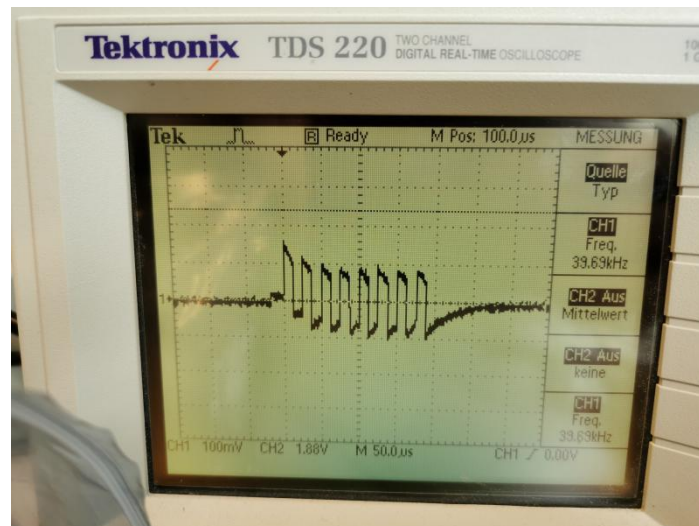


Abbildung 4.2.12 Eingangssignal vom Sender

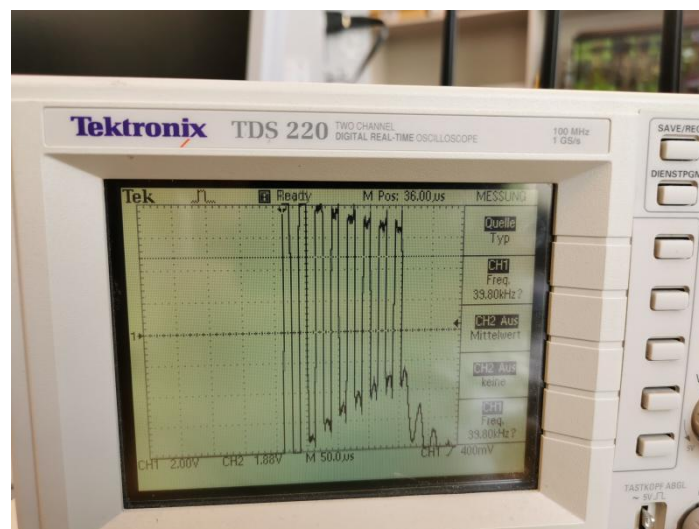


Abbildung 4.2.13 Ausgangssignal vom Sender

Empfängerteil

Man misst das Ausgangssignal und das Eingangssignal gleichzeitig. Das Eingangssignal ist zu klein, um es auf dem Oszilloskop anzuzeigen. Nur das Ausgangssignal kann gemessen werden. Das Ausgangssignal ist in der Abbildung dargestellt.

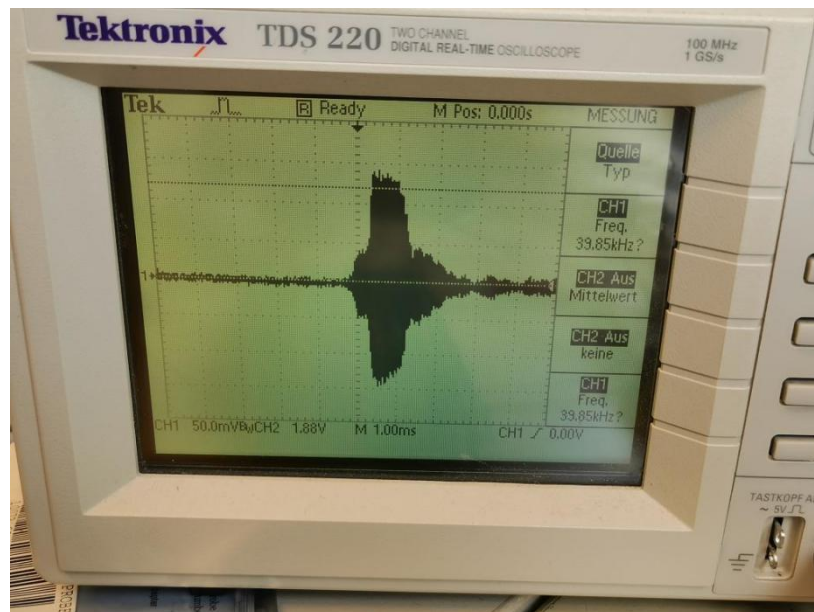


Abbildung 4.2.14 Ausgangssignal nach dem Verstärkeranteil vom Empfänger

Das Eingangssignal wird nach dem verstärkten Teil tatsächlich verstärkt, was mit den experimentellen Erwartungen übereinstimmt.

Filternder Teil

Durch Messung des Ausgangssignals und des Eingangssignals des Filters konnte festgestellt werden, dass der Filter nicht funktioniert. Nach Überprüfung der Werte der einzelnen Komponenten wurde festgestellt, dass die Diode defekt ist. Nachdem die Diode viele Male ausgetauscht wurde, ist sie immer noch defekt. Damit war bewiesen, dass es sich nicht um einen Unfall handelte. Also wurde die SMD-Diode durch eine deutlich größere mit höherer zulässiger Verlustleistung ersetzt. Der Filterteil funktioniert normal. Die Versuchsergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

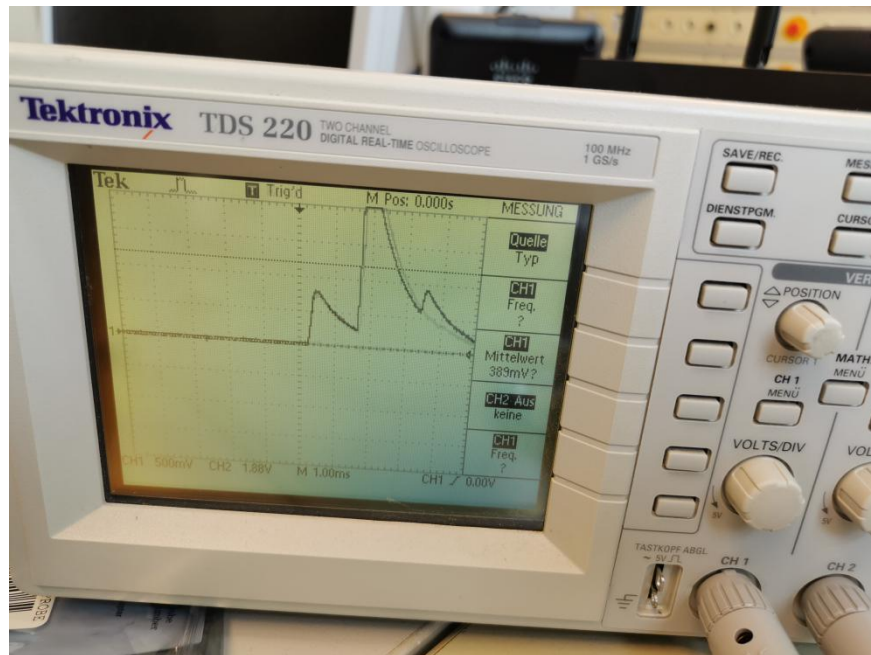


Abbildung 4.2.15 Signal nach dem TF-Filter

Fehleranalyse

Die gewählte Chipdiode ist relativ klein in Bezug auf Sperrstrom max und kann leicht durchbrochen werden.

Abgeleiteter Abschnitt

Der Ableitungsabschnitt ist nach dem Empfang des Signals vom Filter nicht stabil. Eine Überprüfung der Bauelemente zeigte, dass alle in Ordnung waren.

Fehleranalyse

Die OPV-Differenzierschaltung in ihrer Grundform weist zwei wesentliche Nachteile gegenüber der bisherigen OPV-Integratorschaltung auf. Zum einen gibt es Instabilität bei hohen Frequenzen, wie oben erwähnt, und zum anderen ist sie durch den kapazitiven Eingang sehr anfällig für zufällige Rauschsignale, und jedes Rauschen oder jede Oberwelle, die in der Quellschaltung vorhanden ist, wird stärker verstärkt als das Eingangssignal selbst. Dies liegt daran, dass der Ausgang proportional zur Steigung der Eingangsspannung ist, so dass einige Mittel zur Begrenzung der Bandbreite erforderlich sind, um die Stabilität des geschlossenen Regelkreises zu erreichen.

Da die einzelnen Schaltungen mit regelmäßigen Signalen experimentiert werden, ist das gesamte Eingangssignal für den Ableitungsabschnitt relativ stabil. In der Praxis kann die gefilterte Signalfrequenz jedoch je nach Echosignal jedes Mal über 500 Hz liegen, so dass der Ableitungsabschnitt versagt. Die Amplitude des gefilterten Signals ist klein, und das Signal wird leicht durch andere Signale auf derselben Platine

beeinflusst.

Da der abgeleitete Teil nicht verfügbar ist, kann der Vergleichsteil nicht getestet werden.

Die Lösung

So weit, bis der Filterabschnitt erfolgreich ist, wird das Ausgangssignal nach dem Filterteil direkt an den Controller geleitet. Es wurden Hardware- und Softwaretests durchgeführt. Nach Experimenten hat sich diese Lösung bewährt. Es können zwei Objekte gleichzeitig erkannt werden.

Die zweite Platine ist in der Abbildung unten gezeigt.

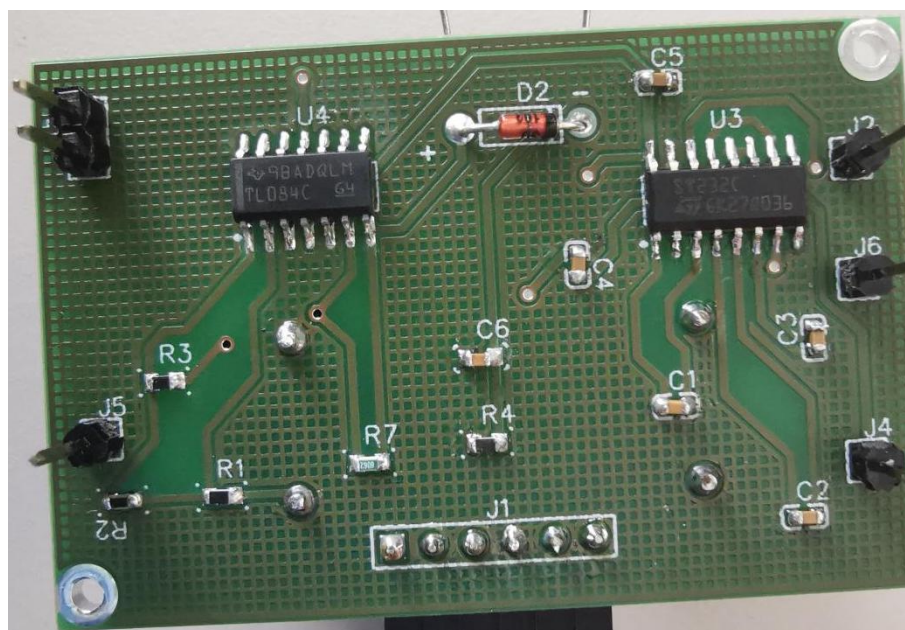
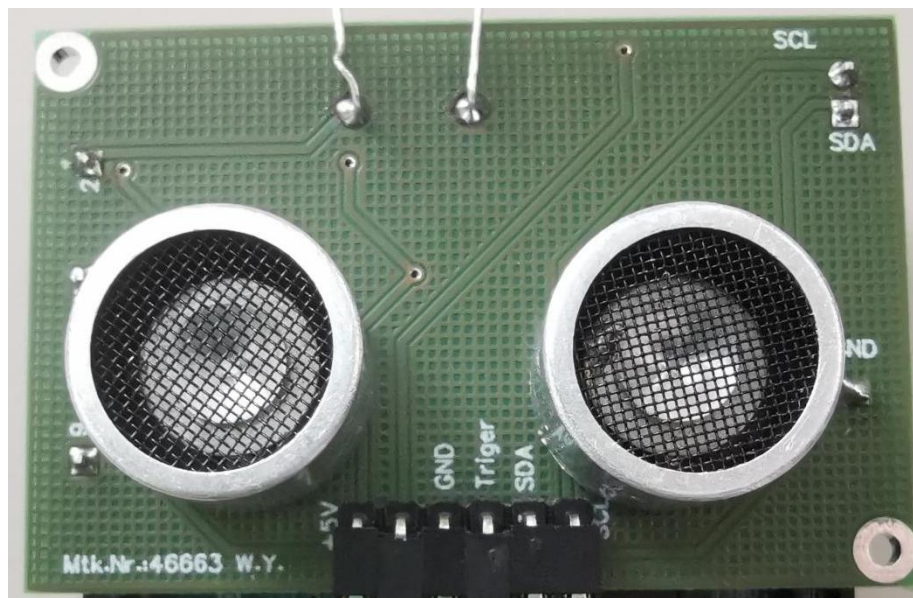


Abbildung 4.2.16 Vorderseite und Rückseite der zweiten Leiterplatte

Die Vorderseite der Leiterplatte besteht aus zwei Ultraschallwandlern. Diese beiden Ultraschallwandler werden als Sender und Empfänger von Ultraschallwellen verwendet.

Die Rückseite der Leiterplatte ist die gesamte Schaltung.

Unterhalb der Platine sind 6 Pins mit der Stromversorgung und Steuerung verbunden. Die 6 Pins sind +5 V , -5 V , GND, Trigger, SDA und SCL von links nach rechts. +5 V , -5 V und GND verbinden die erforderliche Stromversorgung. Trigger akzeptiert das Startsignal von der oberen Steuerung. SDA und SCL sind für das Informationsübertragungsverfahren I²C erforderlich.

Auf beiden Seiten der Platine befinden sich 6 Pins. Die Positionen dieser sechs Pins entsprechen den Anschlüssen von Arduino Uno. Man kann die Platine und Arduino Uno durch einfaches Einstecken verbinden.

Der Ultraschallsensor bestehend aus der Platine und Arduino Uno sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

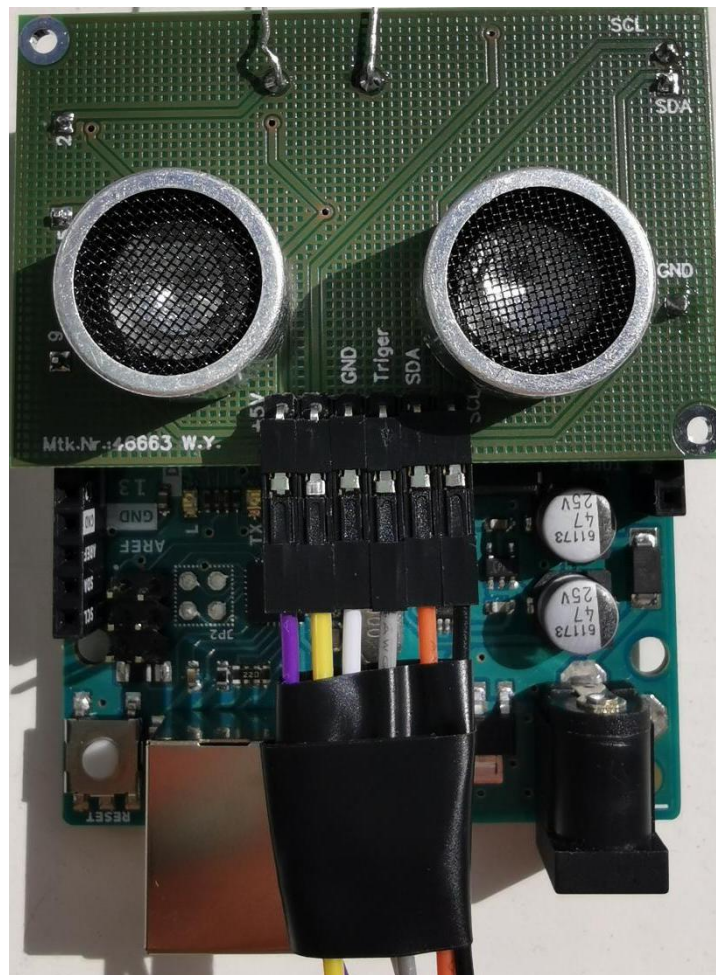


Abbildung 4.2.17 Draufsicht vom Ultraschallsensor

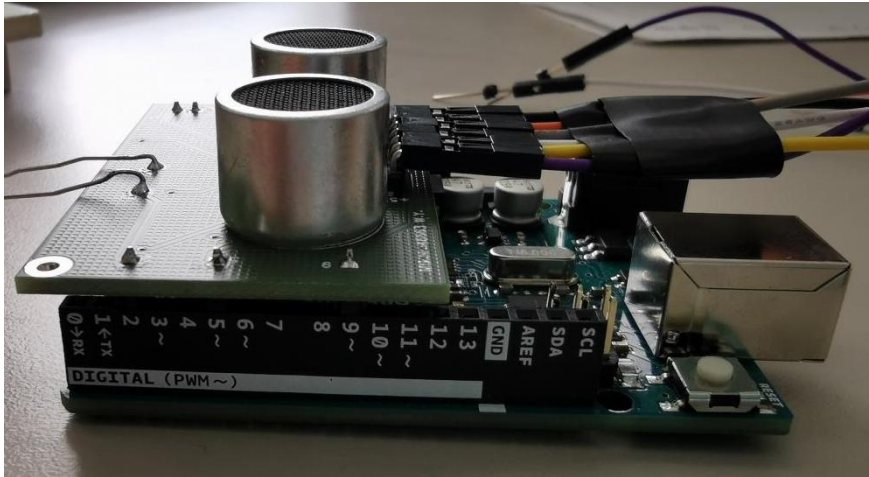


Abbildung 4.2.18 Seitenansicht vom Ultraschallsensor

Im Folgenden sind die experimentellen Testergebnisse des verbesserten Schemas aufgeführt

Das Messobjekt ist eine 410 mm * 210 mm große Metallplatte.

Die Metallplatte und der Sensor werden senkrecht zum Boden aufgestellt, zum messen werden die Positionen der Metallplatten verändert, wie auf dem Bild zu sehen ist.

Die folgenden Daten werden nach der Messung erhalten.

Der maximale Messbereich beträgt 200 cm..

Die Messgenauigkeit für ein einzelnes Objekt ist in der folgenden Tabelle angegeben:

Entfernung/cm	Messwerte/cm
10	11
20	18
30	29
40	40
50	50
60	59
70	70
80	80
90	89
100	99
110	109
120	119
130	127
140	139
150	149
160	158
170	167
180	176
190	188
200	197
210	/

Tabelle 4.2.1 Messwerte vom einzelnen Objekt

Der Messbereich eines einzelnen Objekts ist in der folgenden Tabelle und Abbildung dargestellt:

Entfernung/cm	Messbereiche links/cm	Messbereiche rechts/cm
10	22	-22
20	23	-23
30	21.5	-21.5
40	21.8	-21.8
50	21.5	-21.5
60	21	-21
70	25.4	-25.4
80	23.6	-23.6
90	21	-21
100	19.5	-19.5
110	19	-19
120	19.5	-19.5
130	18	-18
140	15	-15
150	8	-8
160	7	-7
170	6.8	-6.8
180	4	-4
190	2	-2
200	2	-2

Tabelle 4.2.2 Messbereiche vom einzelnen Objekt

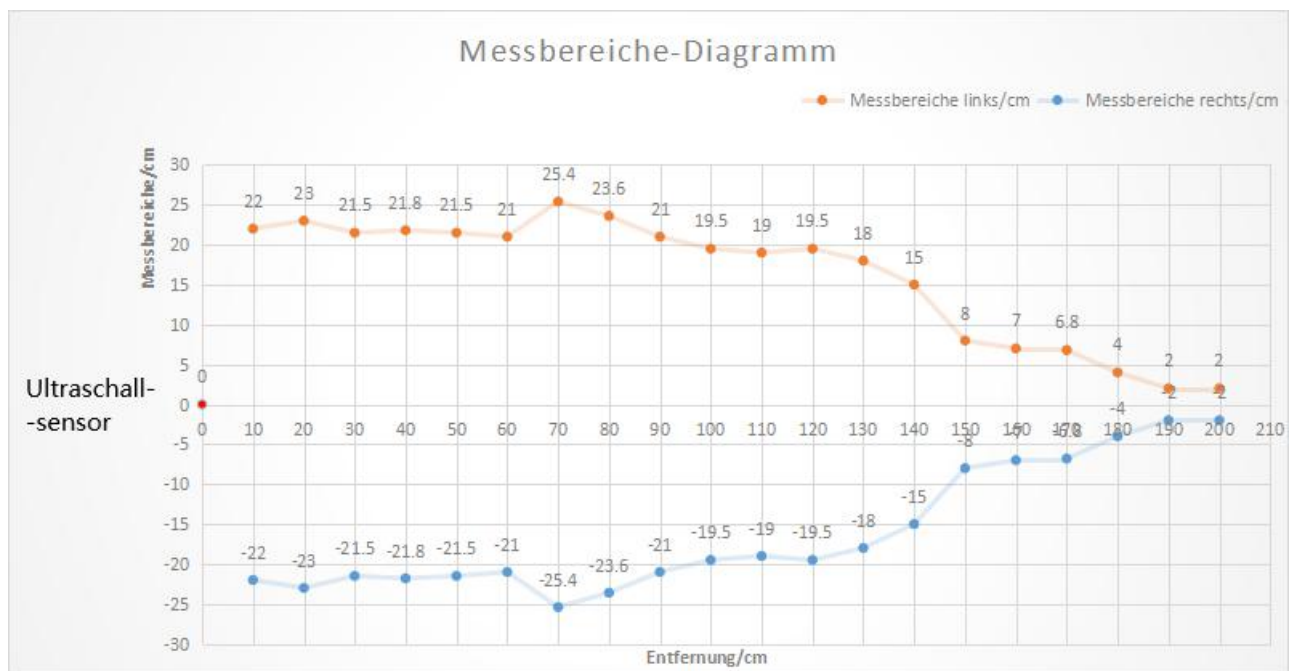


Abbildung 4.2.19 Messbereiche vom einzelnen Objekt

Messung von mehreren Objekten

Die Messobjekte sind eine 95 mm * 55 mm Kunststoffplatte und eine 210 mm × 297 mm Kunststoffplatte.

Messvorgang

Die kleine Kunststoffplatte bleibt still und die große Kunststoffplatte bewegt sich.

Die erhaltenen Daten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

1.Objekt		2.Objekt	
Abstand/cm	Messwert/cm	Abstand /cm	Messwert/cm
20	21	/	/
20	22	40	54
20	21	50	53
20	21	60	60
20	21	70	71

Tabelle 4.2.3 Messwerte von mehren Objekten 1

Die große Kunststoffplatte bewegt sich nicht, die kleine Kunststoffplatte bewegt sich.

Man erhält die Daten wie unten gezeigt.

1.Objekt		2.Objekt	
Abstand/cm	Messwert/cm	Abstand /cm	Messwert/cm
/	/	70	73
15	13	70	72
20	22	70	73
25	25	70	54
30	30	70	65
40	42	70	65
50	53	70	75

Tabelle 4.2.4 Messwerte von mehreren Objekten 2

4.3 Analyse der Daten

Die Fehlergenauigkeit eines einzelnen Objekts ist in der folgenden Tabelle und Abbildung dargestellt.

Entfernung/cm	Abweichung/cm	relative Abweichung/%
10	1	10.00%
20	-2	-10.00%
30	-1	-3.33%
40	0	0.00%
50	0	0.00%
60	-1	-1.67%
70	0	0.00%
80	0	0.00%
90	-1	-1.11%
100	-1	-1.00%
110	-1	-0.91%
120	-1	-0.83%
130	-3	-2.31%
140	-1	-0.71%
150	-1	-0.67%
160	-2	-1.25%
170	-3	-1.76%
180	-4	-2.22%
190	-2	-1.05%
200	-3	-1.50%
210	/	/

Tabelle 4.3.1 Abweichung vom einzelnen Objekt

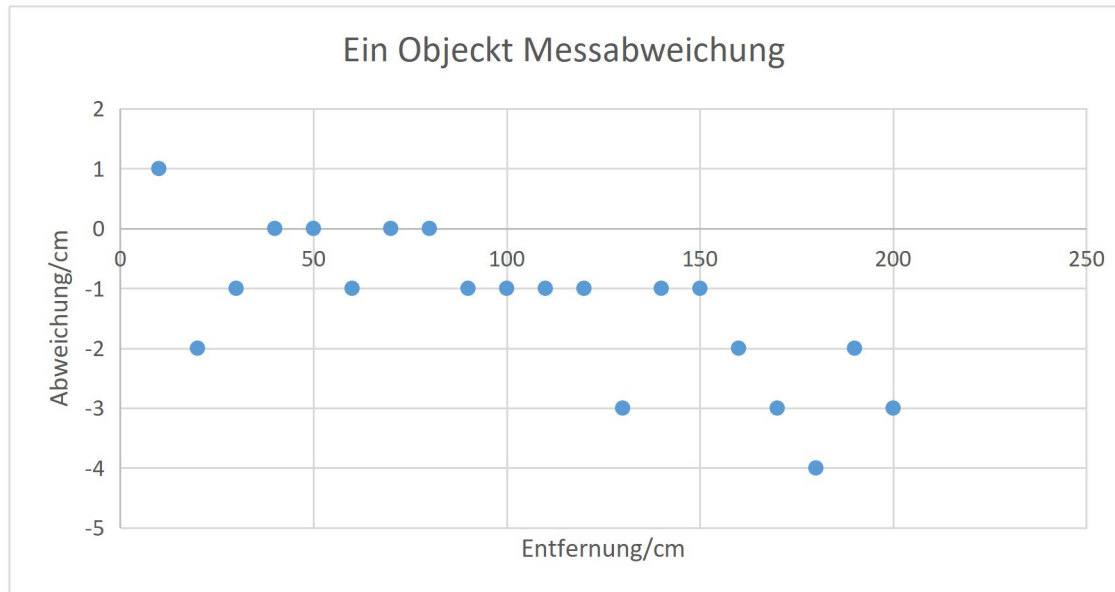


Abbildung 4.3.1 Abweichung vom einzelnen Objekt

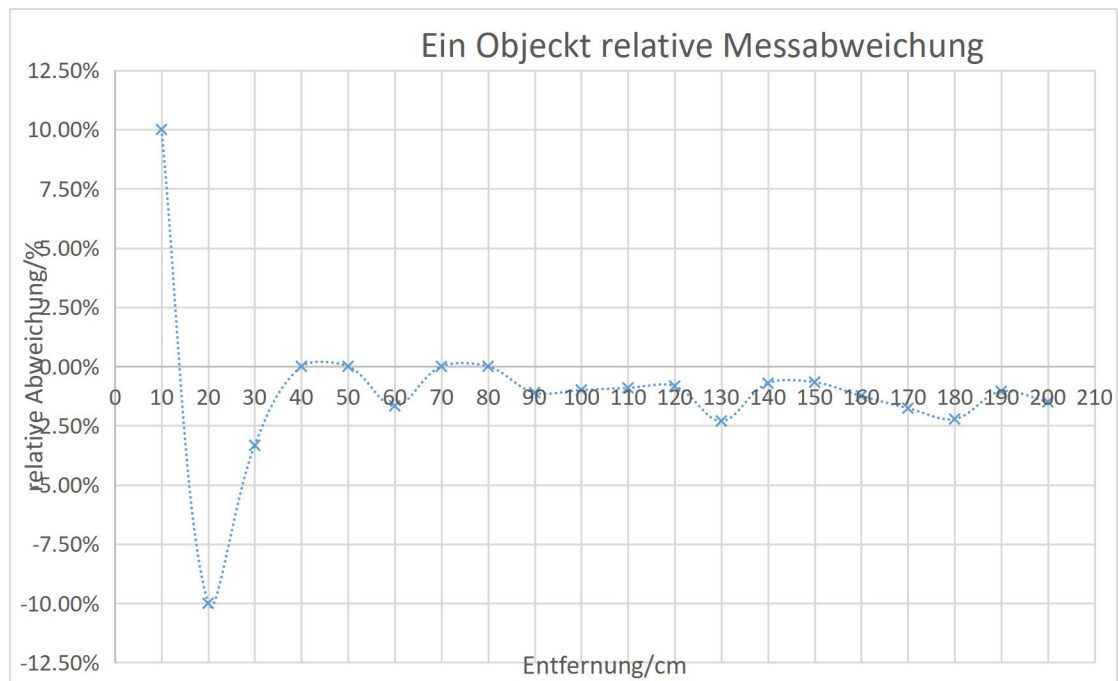


Abbildung 4.3.2 relative Abweichung vom einzelnen Objekt

Bei der Messung einzelner Objekte kann der Abstand zwischen 0 und 5 cm nicht genau gemessen werden. Das liegt daran, dass die gesendete Welle das Rücksignal beeinflusst. Der Empfänger empfängt die Welle von der Sendeseite, und das Rücksignal interagiert miteinander, was zu ungenauen Messungen zwischen 0-5 cm führt.

Zwischen 10-170 cm sind die Messungen genauer und können direkt gemessen werden, was bedeutet, dass der Ultraschallsensor richtig funktioniert.

170-200cm Dieser Bereich ist aufgrund der Abschwächung der Schallwellen mit großen Fehlern behaftet.

Bei der Messung eines einzelnen Objekts beträgt die weiteste Messdistanz 200 cm, bei der Messung mehrerer Objekte beträgt die weiteste Distanz jedoch nur etwa 100 cm.

Das liegt daran, dass das Echosignal des Objekts in größerer Entfernung schwach ist, wenn mehrere Objekte ein Echo erzeugen. Nach der Filterung kann der Controller das Echo des Objekts in größerer Entfernung nicht mehr erkennen.

Gleichzeitig kann man sehen, dass der Fehler zunimmt, wenn der Abstand zwischen zwei Objekten 30 cm beträgt. Das liegt daran, dass das Echosignal jedes Objekts aus einer Schwingungsphase und einer Schwächungsphase besteht. Wenn der Abstand zwischen zwei Objekten 30 cm beträgt, beeinflussen sich die Abschwächungsphase der vorherigen Welle und die Anlaufphase der nächsten Welle gegenseitig, was zu Messfehlern führt. Wenn der Abstand zwischen zwei Objekten weniger als 30 cm beträgt, kann der Ultraschallsensor nur das Objekt in der Nähe des Sensors erkennen. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung der Wellen von zwei Objekten kann der Ultraschallsensor nur ein Objekt erkennen.

Gleichzeitig wurde bei der Messung festgestellt, dass der Messdatenfehler relativ groß ist, wenn die zu messende Metallplatte nicht vollständig parallel zum Sensor liegt. Wenn der Messabstand weit ist und die Metallplatte nicht vollständig parallel zum Sensor liegt, werden die Daten nicht gemessen. Dies liegt daran, dass das gesendete Ultraschallsignal und das von der Metallplatte reflektierte Signal nicht in der gleichen horizontalen Ebene liegen. Der Empfänger kann das vom Objekt reflektierte Signal nicht empfangen.

4.4 Ursachenanalyse

1. ein Nachbeben der Sonde. Auch wenn es sich um einen geteilten Ultraschallwandler handelt, vibriert der Sendekopf nach Beendigung der Arbeit noch eine Weile weiter, was ein physikalischer Effekt ist, d. h. ein Nachbeben. Dieses Nachbebensignal wird sich auch nach außen hin ausbreiten. Diese Nachbebenwelle dringt dann durch die Schale und die umgebende Luft direkt zum Empfangskopf und stört die Detektion

2. ein Nachbeben des Gehäuses. Genau wie beim Läuten einer Glocke kommt die Energie immer noch vom Senderkopf. Nach dem Ende der Emission wird das Nachbeben der Schale direkt auf den Empfangskopf übertragen. Natürlich ist diese Zeit sehr kurz, aber es hat sich eine Interferenz gebildet. Außerdem ändern sich bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen die Härte und die Form der Schale, das Nachbeben ist mal lang, mal kurz, mal ist die Störung groß, mal ist die Störung klein.

3. Reflexionsproblem.

Wenn das zu erfassende Objekt immer im richtigen Winkel steht, wird der Ultraschallsensor den richtigen Winkel ermitteln. In der Praxis werden jedoch leider nur sehr wenige Objekte richtig erkannt. Abbildung 4.4.1 zeigt einige Beispiele.

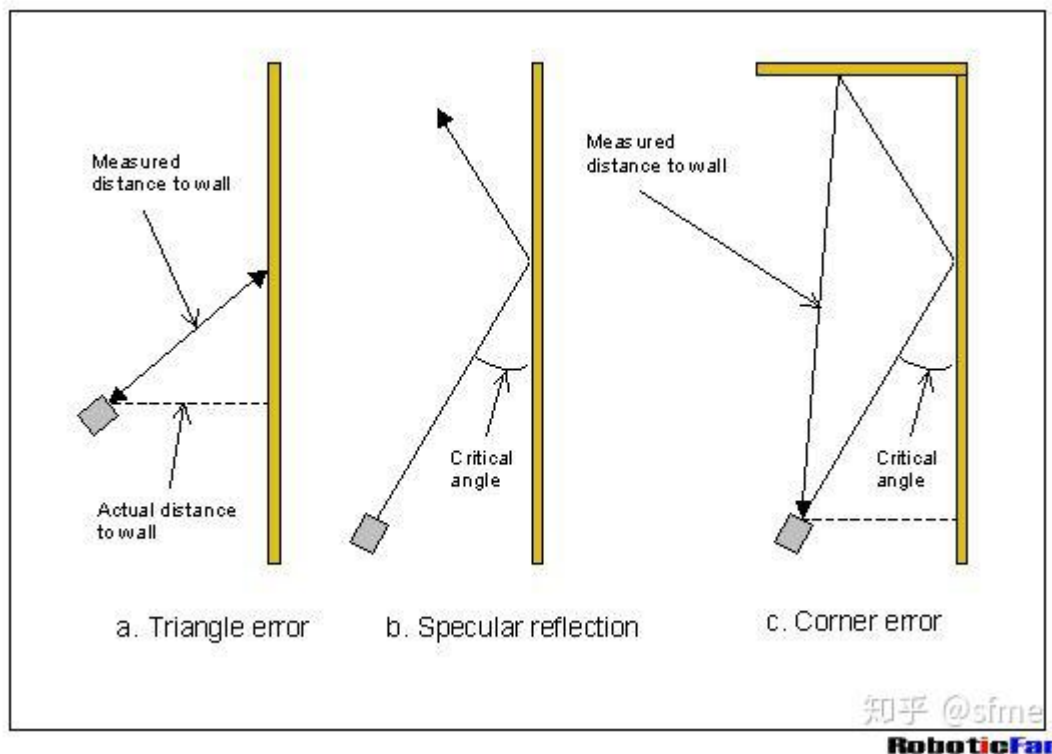


Abbildung 4.4.1

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/66758311>

Der Fall in Abb. 4.4.1.a wird als Dreiecksfehler bezeichnet. Wenn sich das gemessene Objekt in einem bestimmten Winkel zum Sensor befindet, besteht ein Dreiecksfehler zwischen dem erfassten Abstand und dem tatsächlichen Abstand.

Die Situation in Abb. 4.4.1.b wird als spiegelnde Reflexion bezeichnet, was dem gleichen Problem entspricht wie die Reflexion von Licht. Bei einem bestimmten Winkel wird die ausgesendete Schallwelle von der Spiegelfläche eines glatten Objekts reflektiert, so dass kein Echo erzeugt und keine Entfernungsmessung vorgenommen werden kann. Zu diesem Zeitpunkt ignoriert der Ultraschallsensor das Vorhandensein des Objekts.

Die Situation in Abbildung 4.4.1.c kann als Mehrfachreflexion bezeichnet werden. Dieses Phänomen tritt häufiger auf, wenn Ecken von Wänden oder ähnlichen Strukturen erfasst werden. Die Schallwellen werden mehrmals zurückgeworfen, bevor sie vom Sensor erfasst werden, so dass der tatsächliche Erfassungswert nicht dem tatsächlichen Entfernungswert entspricht.

5. Zusammenfassung

Ultraschallsensoren können einzelne Objekte identifizieren. Der Messfehler eines einzelnen Objekts beträgt ± 3 cm und die größte Erkennungsentfernung beträgt 200 cm. Der Ultraschallsensor kann zwei Objekte erkennen. Der längste Abstand zwischen zwei Objekten beträgt 100 cm. Wenn der Abstand zwischen zwei Objekten mehr als 30 cm beträgt, beträgt der Fehler etwa 1 cm.

Anlagen

Erläuterung der Begriffe

OPV

Ein Operationsverstärker (englisch: Operational Amplifier, abgekürzt OP, OPA, op-amp, op-amp) ist ein gleichstromgekoppelter Spannungsverstärker mit differenziellem Eingang und in der Regel unsymmetrischem Ausgang (Differential-in, single-ended output)[1] und hoher Verstärkung (gain). In dieser Konfiguration kann der Operationsverstärker ein Ausgangspotenzial (gegen Masse) erzeugen, das hunderttausendmal größer ist als die Potentialdifferenz am Eingang.

Es ist üblich, einen Operationsverstärker zu verwenden, dessen Ausgang mit dem invertierenden Eingangsknoten verbunden ist, um eine Gegenkopplungskonfiguration zu bilden. Der Grund dafür ist, dass die Spannungsverstärkung eines Operationsverstärkers sehr groß sein kann, vom Hundert- bis zum Zehntausendfachen, und die Verwendung einer Gegenkopplung den stabilen Betrieb der Schaltung gewährleistet. Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein Operationsverstärker nicht in einer Konfiguration mit positiver Rückkopplung angeschlossen werden kann. Im Gegenteil, in vielen Systemen, in denen oszillierende Signale erzeugt werden, sind Operationsverstärker in einer Konfiguration mit positiver Rückkopplung häufig anzutreffen

OPV Differentiator

Der Differentiator ist eine Schaltung mit Operationsverstärker dessen Grundschaltung der invertierende Verstärker ist. Der Eingangswiderstand ist durch einen Kondensator ersetzt. Dadurch bekommt die Schaltung einen zeitabhängigen Faktor.

Mit zunehmender Frequenz nimmt die Ausgangsspannung ebenfalls zu. Der Differentiator zeigt sein Hochpassverhalten. Das gilt aber nur bei oberwellenfreien Spannungen. Also bei Sinusspannungen. Sobald man ein Rechtecksignal an den Eingang legt, reagiert der Differentiator anders.

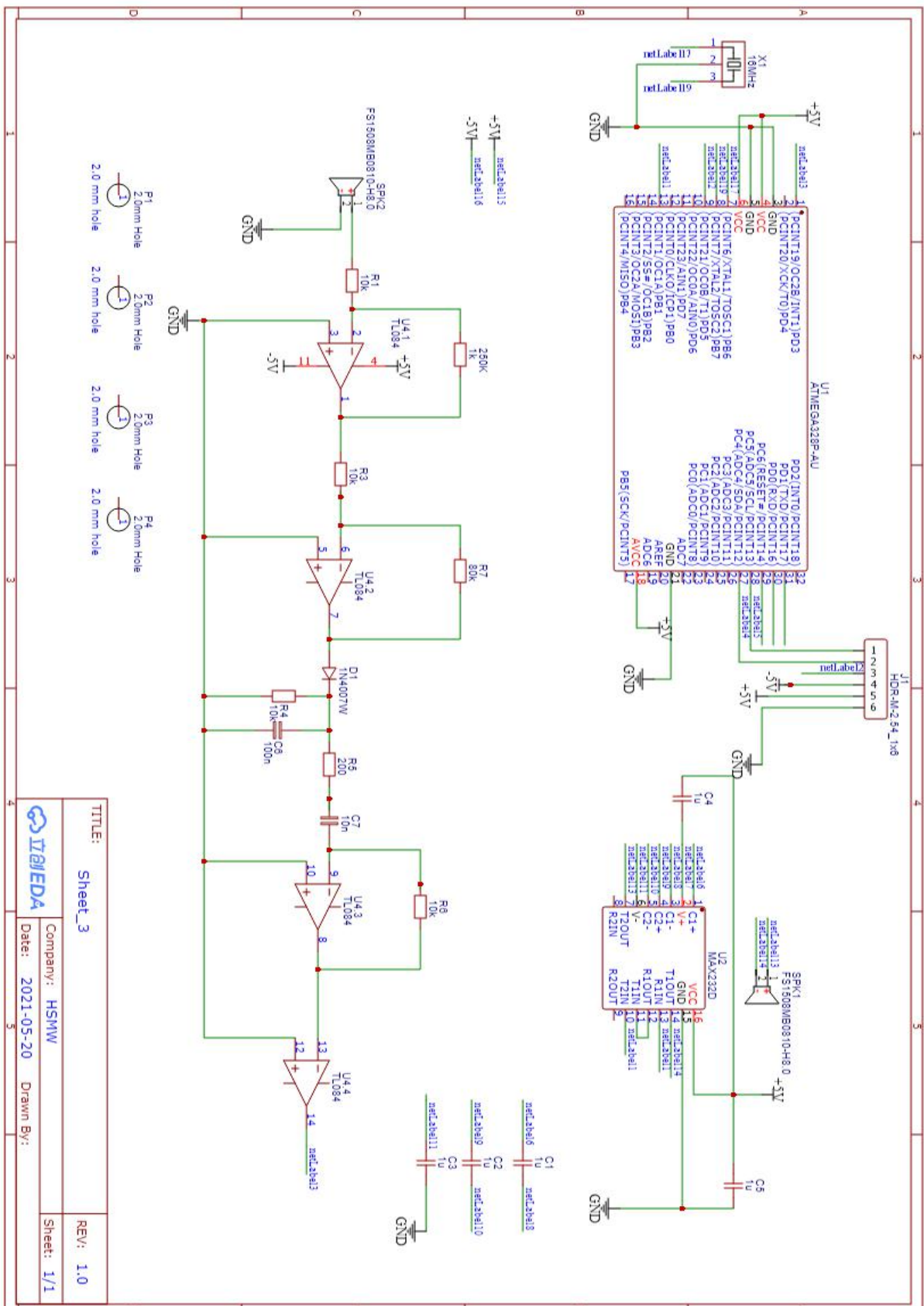
OPV-Komparator

Ein Komparator ist typischerweise eine Schaltung mit Operationsverstärker. Ein Operationsverstärker eignet sich als Komparator im Bereich niedriger Frequenzen und hat die Eigenschaft von Kippschaltungen, die beim Über- oder Unterschreiten der Referenzspannung U_{ref} definierte Spannungswerte am Ausgang annehmen. Diese Spannungswerte sind durch die Betriebsspannung $+U_B$ und $-U_B$ vorgegeben. Wird die Referenzspannung U_{ref} an den positiven Eingang gelegt, so wird die Ausgangsspannung invertiert.

TF-Filter

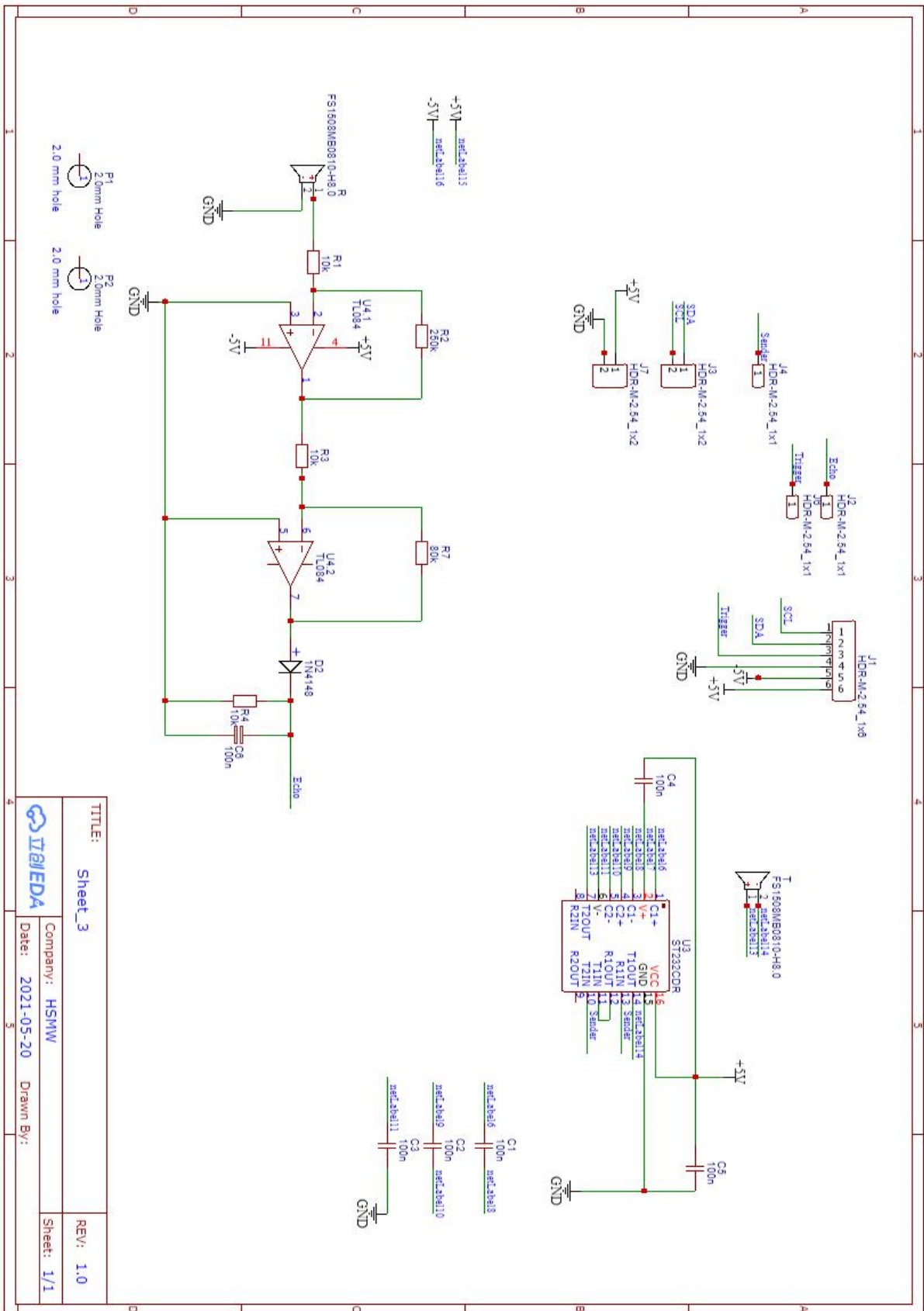
Ein Hüllkurvendemodulator wird im einfachsten Fall mittels einer Diode als Gleichrichter für das Eingangssignal realisiert. Diese lässt nur eine Polarität des hochfrequenten Empfangssignales passieren, sodass nur noch die obere Hälfte der Hochfrequenzschwingungen verbleibt. Danach folgt ein Tiefpass zur Entfernung des hochfrequenten Trägersignals. Als Ergebnis entsteht wieder das ursprüngliche Modulationssignal, wie zum Beispiel Sprache, Musik oder Morsezeichen. Das Signal ist lediglich von einer Gleichspannung (dem mittleren Pegel der Hochfrequenz) überlagert, die durch einen nachfolgenden Koppelkondensator entfernt werden kann.


Schematische Darstellung der ersten Schaltung



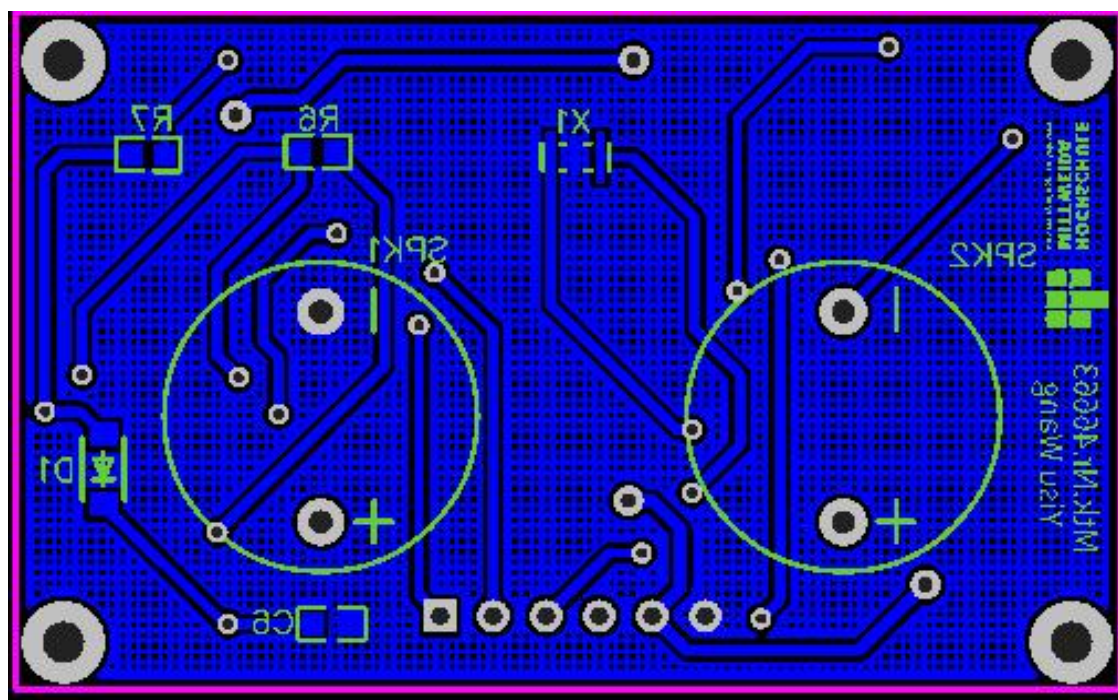
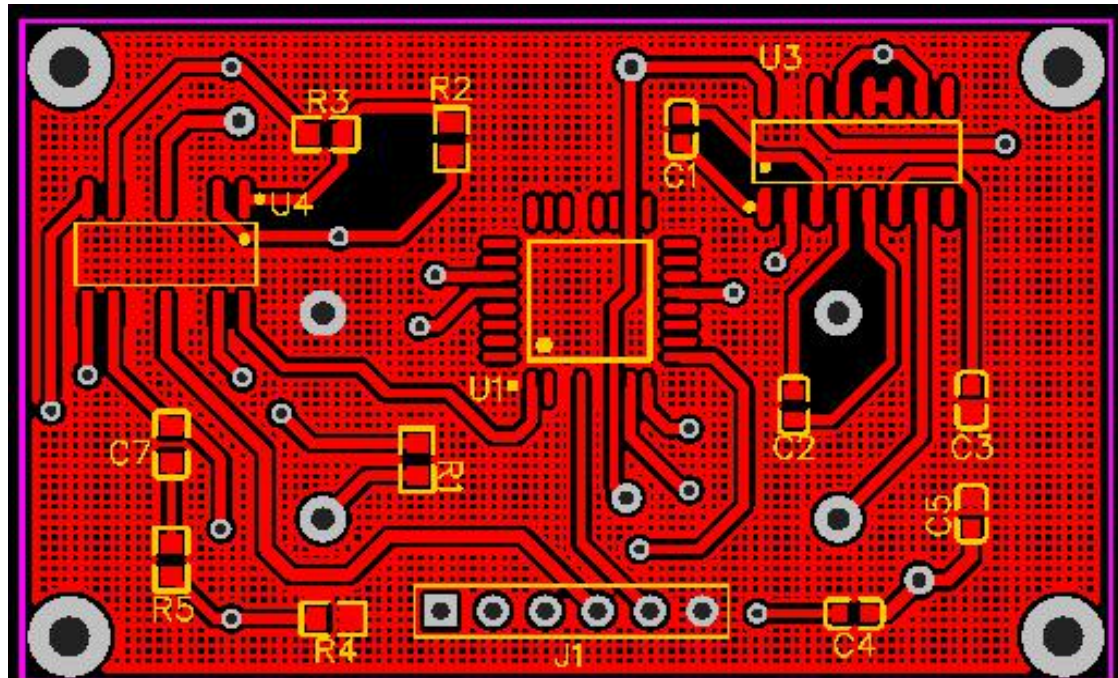
TITLE:	Sheet_3	REV:	1.0
	Company: HSMW	Sheet:	1/1
Date: 2021-05-20	Drawn By:		

Schematische Darstellung der zweiten Schaltung

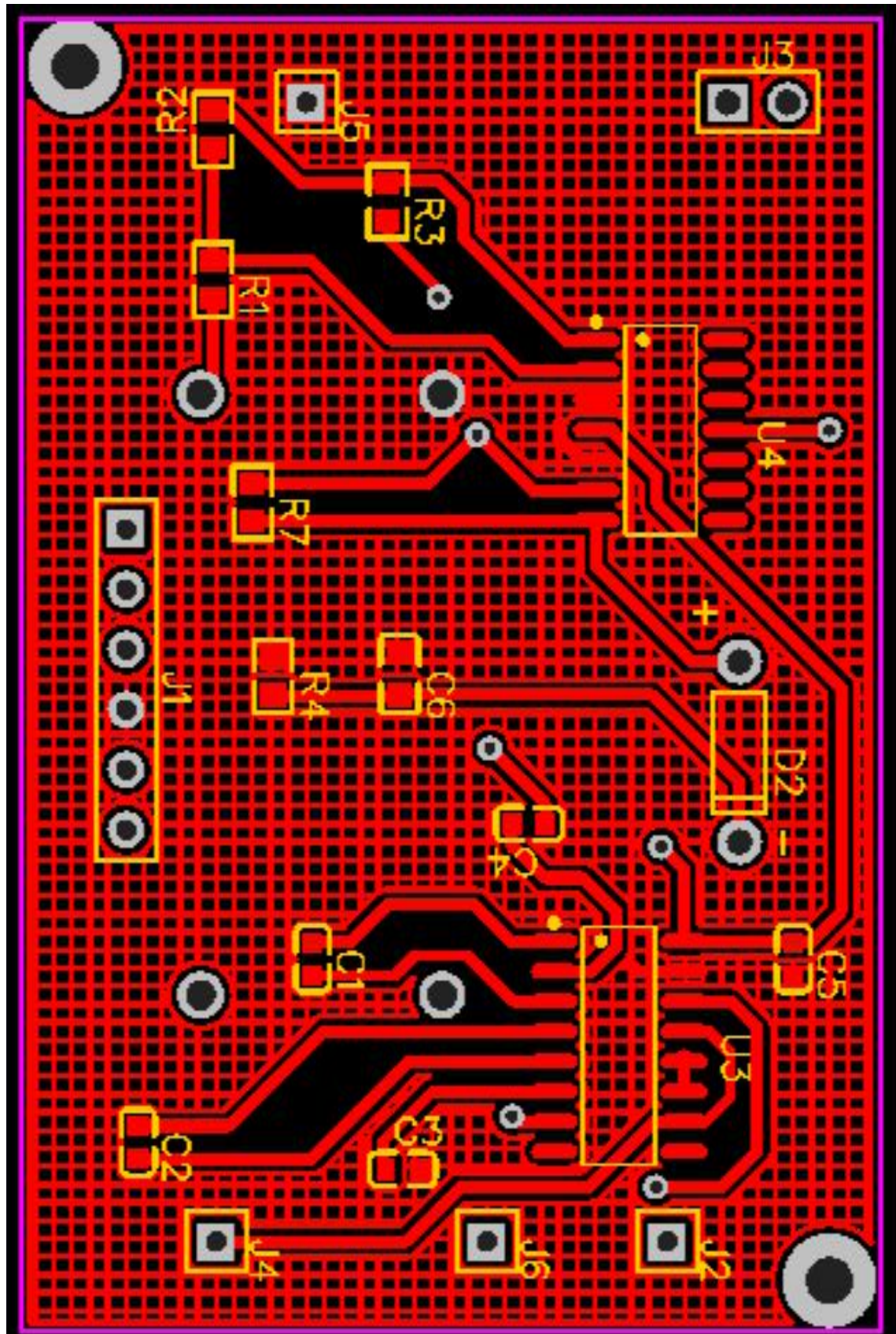


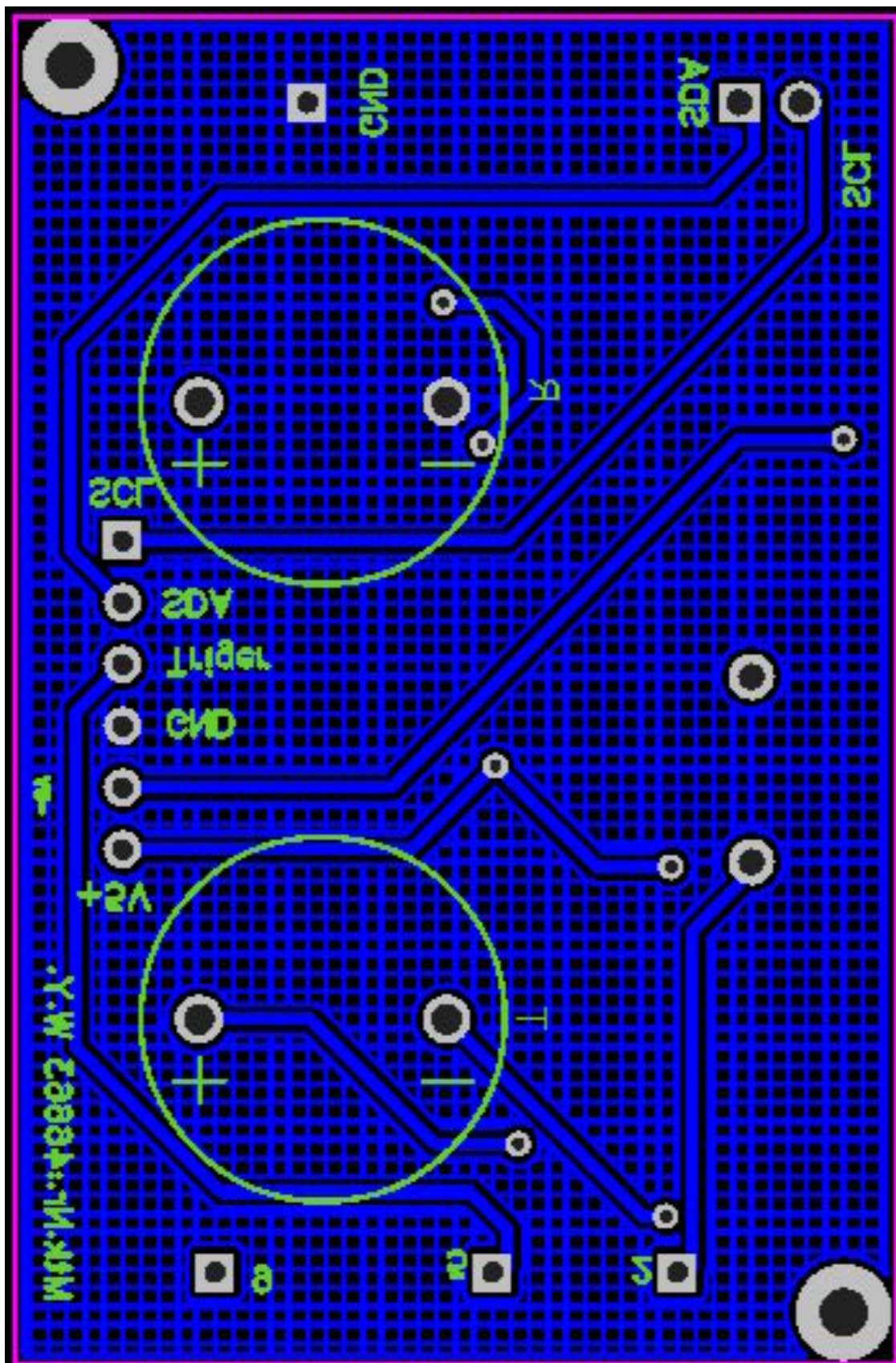
TITLE:	Sheet_3	REV:	1.0
		Company: HSNW	
Date:	2021-05-20	Drawn By:	
		Sheet:	1/1

Gerber der ersten Leiterplatte



Gerber der zweiten Leiterplatte





Programm

Master

```
#include <Wire.h>

#define IIC_A 4 //definiert Trigger pin
/*#define IIC_B 5
#define IIC_C 6
#define IIC_D 7
#define IIC_E 8
*/
unsigned char val = 0;
unsigned char iic[10] = {0};
void setup() {
    Wire.begin(); // als Master in iic
    Serial.begin(9600); // Ausgaben einstellen

    pinMode(IIC_A, OUTPUT); //Pin auf Low stellen
    digitalWrite(IIC_A, LOW);
    /*pinMode(IIC_B, OUTPUT);
    digitalWrite(IIC_B, LOW);
    pinMode(IIC_C, OUTPUT);
    digitalWrite(IIC_C, LOW);
    pinMode(IIC_D, OUTPUT);
    digitalWrite(IIC_D, LOW);
    pinMode(IIC_E, OUTPUT);
    digitalWrite(IIC_E, LOW);
    */
}

void loop() {
    IIC_Read(IIC_A); //Messen
    delay(1000); //warten 1s
    /* IIC_Read(IIC_A);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_B);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_B);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_C);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_C);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_D);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_D);
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_E);
```

```
    delay(1000);
    IIC_Read(IIC_E);
    delay(1000);
    */
}

void IIC_Get() {
    val = 0;
    Wire.requestFrom(8, 10);    // iic Übertragung
    while (Wire.available()) { // wenn es gibt Datei dann
        unsigned char c = Wire.read(); //einlesen Datei
        iic[val] = c;
        val++;
    }

    char count = 0;
    for (char num=0;num<10;num++){
        if(iic[num]>=255){
            count++;
        }
    }
    if(count>=6){
        Serial.println("nichr Verbinden");
    }
    else{
        if (iic[0] * 256 + iic[1] != 0 ) {
            unsigned long L1=(iic[0] * 256 + iic[1]); //Charge to Long
            L1=L1*17/1000;                               //Ausrechnen Entfernung
            Serial.print(L1);                           //Ausgeben Entfernung
            Serial.print("cm, ");                       //Ausgeben Einheit
        }
        if (iic[2] * 256 + iic[3] != 0 ) {
            unsigned long L2=(iic[2] * 256 + iic[3]);
            L2=L2*17/1000;
            Serial.print(L2);
            Serial.print("cm, ");
        }
        if (iic[4] * 256 + iic[5] != 0 ) {
            Serial.print((iic[4] * 256 + iic[5])); //Ausgeben Laufzeit
            Serial.print("us, ");
        }
        if (iic[6] * 256 + iic[7] != 0 ) {
            Serial.print((iic[6] * 256 + iic[7]));
            Serial.print("us, ");
        }
    }
}
```

```
if (iic[6] * 256 + iic[7] != 0 ) {
    Serial.print((iic[6] * 256 + iic[7]));
    Serial.print("us, ");
}
if (iic[8] * 256 + iic[9] != 0 ) {
    Serial.print((iic[8] * 256 + iic[9]));
    Serial.print("us, ");
}

Serial.println(" ");
}

void IIC_Read(char iic_bit) {
    for (val = 0; val < 18; val++) {
        iic[val] = 0;
    }
    val = 0;
    digitalWrite(iic_bit, HIGH);
    delay(25);
    switch (iic_bit) {
        case IIC_A: Serial.print("A: "); break;
        /*case IIC_B: Serial.print("B: "); break;
        case IIC_C: Serial.print("C: "); break;
        case IIC_D: Serial.print("D: "); break;
        case IIC_E: Serial.print("E: "); break;
        */
    }
    IIC_Get();
    digitalWrite(iic_bit, LOW);
}
```

Slave

```

#include <Wire.h>D

#define PWM_OUT 9           // Ultraschall Outputpin
#define PWM_IN 2           // Ultraschall Inputpin
#define HOST 5             // Trigger
#define NOP do { __asm__ __volatile__ ("nop"); } while (0)
volatile byte iic_state = LOW; // iic status
unsigned long T1;          // Zeitpunkt 1
unsigned char time_5[10]; // Laufzeit
unsigned long T2[8];      // Lauzeit
unsigned char num = 0;

void setup() {
  pinMode(PWM_IN, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PWM_IN), clock, RISING);
  pinMode(HOST, INPUT);

  Wire.begin(8);           // Wire beginnen
  Wire.onRequest(iic_Event); // request

  pinMode(PWM_OUT, OUTPUT);
  digitalWrite(PWM_OUT, LOW);
}

void loop() {
  if (digitalRead(HOST) == HIGH) { // wenn Master trigger high ist
    num = 0; // num auf Null stellen
    for (char i = 0; i < 10; i++) { // Laufzeit auf Null stellen
      time_5[i] = 0;
    }
    T1 = micros(); // Markiert start Zeit
    PWM_40K();
    iic_state = HIGH; // iic kann Übertragung
    delay(25); // warten 25ms
    while (digitalRead(HOST) == HIGH); // warte auf Endsignal
    iic_state = LOW; // iic kann nicht Übertragung
  }
}

void clock() {
  T2[num] = micros() - T1; // Laufzeit=EchoZeit-Startzeit
  num++;
  change();
}

```



```
void iic_Event() {          // iic Dateisenden
  if (iic_state == HIGH)
  {
    for (char i = 0; i < 10; i++) {
      Wire.write(time_5[i]);
    }
  }
}

void change() {
  for (char i = 0; i < 5; i++) {
    time_5[i * 2] = T2[i] / 256;
    time_5[i * 2 + 1] = T2[i] % 256;
  }
}

void PWM_40K() {
  for(char i=0;i<8;i++){
    digitalWrite(PWM_OUT,HIGH);
    NOP;NOP;NOP;NOP;NOP;NOP;

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(PWM_OUT,LOW);
    NOP;NOP;NOP;NOP;NOP;NOP;
    delayMicroseconds(10);
  }
}
```

Literaturverzeichnis

[1] ZHAO Lang-tao, ZHAO Yong-hua, CHAI Qing. A Research on High-precision Ultrasonic Distance Measurement. **Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China**,2015,37(03):112-114.

[2] Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar (FMCW Radar)
<https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>

[3] LI Jian. 24GHz Forschung zur Signalverarbeitungstechnologie von FM-Dauerstrichradar **Nanjing Universität für Wissenschaft und Technologie**;2017

[4] wikipedia. Speed of sound https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound

[5]Grough P T.Continuous transmission FM sonar with one octave bandwidth and no blind time.**IEE Proc Part F**,1984,131(3);270

[6]Tapson J. Wavemode Locking:a new measurement modality for proximity sensors.**Ultrasonics**,1998,36(1-5):53

[7]wxdzz, Antwort darauf, warum die Ultraschallmodule alle 40 kHz sind
<https://www.zhihu.com/question/313577083>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung3.2.2	6
https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html	
Abbildung4.4.1.....	46
https://zhuanlan.zhihu.com/p/66758311	

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Vorname Nachname