Entfernungsmessung

Mechatronische Aufgabe – Team 4

Im Modul „Mechatronische Systeme in der Anwendung“

von

Chris Papke & Ruslan Adilgereev

05.03.2024

Bearbeitungszeitraum: 01.02. – 05.03.2024

Matrikelnummer, Kurs: 4241442, TMT16GR3

Gutachter an der DHBW: Prof. Dr.-Ing. Tobias Flämig

**Inhaltsverzeichnis**

[Abstract IV](#_Toc523211433)

[Abbildungsverzeichnis VI](#_Toc523211434)

[Abkürzungsverzeichnis VII](#_Toc523211435)

[Formelverzeichnis VII](#_Toc523211436)

[1 Einleitung 1](#_Toc523211437)

[1.1 Motivation 1](#_Toc523211438)

[1.2 Aufgabe 4](#_Toc523211439)

[1.3 Messprinzip 7](#_Toc523211440)

[2 Anpassung des Messaufbaus 12](#_Toc523211441)

[2.1 Systemänderung 12](#_Toc523211442)

[Funktionsfähigkeit der eingeklebten Sensoren 13](#_Toc523211443)

[Anbindung des Sensors an das Gehäuse 15](#_Toc523211444)

[Einfluss des Materials auf die Ultraschallwellen 16](#_Toc523211445)

[2.2 Softwareanpassung 20](#_Toc523211446)

[Ablauf 20](#_Toc523211447)

[Register Auslesen 21](#_Toc523211448)

[Offset-Spannung 22](#_Toc523211449)

[Anzahl der Perioden bis zur Messung 23](#_Toc523211450)

[Timing der Messung 24](#_Toc523211451)

[3 Tests 25](#_Toc523211452)

[Überprüfen auf Dichtigkeit des Systems gegenüber Wasser 25](#_Toc523211453)

[Abschwächung des Signals im laufenden Betrieb 26](#_Toc523211454)

[Inbetriebnahme mit Silikon gefüllten Sensortaschen 27](#_Toc523211455)

[Temperaturmessung 29](#_Toc523211456)

[4 Zusammenfassung und Ausblick 30](#_Toc523211457)

[5 Literaturverzeichnis 33](#_Toc523211458)

Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1: Idealer Ablauf eines Kühlkreislaufs 2](#_Toc509306596)

[Abbildung 2: Mögliche Ist-Arbeitsweise des Kühlkreislaufs 3](#_Toc509306597)

[Abbildung 3: Möglicher Standort für den Datenlogger am Hauptwasserkühler 5](#_Toc509306598)

[Abbildung 4: Ultraschallmessprinzip 8](#_Toc509306599)

[Abbildung 5: Prinzip-Schaubild der Ultraschallmessung 11](#_Toc509306600)

[Abbildung 6: Querschnitt des Datenloggers 13](#_Toc509306601)

[Abbildung 7: Oszilloskop-Aufnahme der gesendeten und empfangenen Signale 14](#_Toc509306602)

[Abbildung 8: Abschwächung des empfangenen Signals 15](#_Toc509306603)

[Abbildung 9: Querschnitt der neuen Sensoranbindung 16](#_Toc509306604)

[Abbildung 10: Querschnitt mit durchgebohrter Sensoranbindung 18](#_Toc509306605)

[Abbildung 11: Abdichtung der Sensoren 18](#_Toc509306606)

[Abbildung 12: Inbetriebnahme der neuen Anbindung 19](#_Toc509306607)

[Abbildung 13: Alternative Abdichtung 20](#_Toc509306608)

[Abbildung 14: Veränderung des Interrupt-Pins nach der Berechnung 22](#_Toc509306609)

[Abbildung 15: Offset-Spannung 23](#_Toc509306610)

[Abbildung 16: Ergebnisse der Ultraschallmessung 24](#_Toc509306611)

[Abbildung 17: Datenlogger auf dem Wasserpumpenprüfstand 26](#_Toc509306612)

[Abbildung 18: Abreisen der Verbindung bei hoher Pumpendrehzahl 27](#_Toc509306613)

[Abbildung 19: Geschlossene Taschen mit Silikon 28](#_Toc509306614)

[Abbildung 20: Veränderung der Temperatur 29](#_Toc509306615)

[Abbildung 21: Datenlogger 2.0 32](#_Toc509306616)

Abkürzungsverzeichnis

ca. *Circa*

HWK *Hauptwasserkühler*

OEM *Original Equipment Manufacturer*

TDC *Time to Digital Converter*

Formelverzeichnis

[Formel 1: Laufzeit des Schalls durch ein Medium 8](#_Toc509385482)

[Formel 2: Wirksame Strömungsgeschwindigkeit 8](#_Toc509385483)

[Formel 3: Laufzeit in Strömungsrichtung 9](#_Toc509385484)

[Formel 4: Laufzeit entgegen der Strömungsrichtung 9](#_Toc509385485)

[Formel 5: Laufzeitdifferenz mit v' 9](#_Toc509385486)

[Formel 6: Vereinfachte Laufzeitdifferenz 9](#_Toc509385487)

[Formel 7: Strömungsgeschwindigkeit 9](#_Toc509385488)

[Formel 8: Frequenz der ersten Messung 10](#_Toc509385489)

[Formel 9: Frequenz der zweiten Messung 10](#_Toc509385490)

[Formel 10: Frequenzdifferenz 10](#_Toc509385491)

[Formel 11: Strömungsgeschwindigkeit 10](#_Toc509385492)

[Formel 12: Volumenstrom 11](#_Toc509385493)

1. Einleitung

Das Ultraschall-Entfernungsmessverfahren basiert auf der Verwendung von Ultraschallwellen, die Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörbereichs (über 20 kHz) aufweisen. Diese Wellen werden entweder pneumatisch oder elektrisch (beispielsweise piezoelektrisch) erzeugt. Da Schallwellen sich nur in Materie ausbreiten können, erfolgt die Nutzung in der Automatisierungs- oder Automobiltechnik hauptsächlich in Luft. Ein wesentlicher Aspekt der Ultraschallmessung ist die Abhängigkeit der Schallausbreitungsgeschwindigkeit von Umgebungsbedingungen, insbesondere von der Lufttemperatur, da für Messungen die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls herangezogen wird. In der Automobiltechnik findet man Ultraschallsensoren meist angewandt als Parksensor.

Das Kernprinzip der Ultraschall-Entfernungsmessung besteht darin, dass ein Ultraschall-Sender Impulse aussendet, die von einem Objekt reflektiert werden. Diese reflektierten Wellen werden dann von einem Empfänger aufgefangen. Die Zeit, die zwischen dem Aussenden des Impulses und dem Empfang des Echos verstreicht, wird gemessen. Da die Schallgeschwindigkeit bekannt ist, lässt sich aus der Laufzeit des Ultraschallimpulses die Entfernung zum reflektierenden Objekt berechnen.

In der Praxis werden häufig Ultraschall-Abstandssensoren eingesetzt, bei denen Sender und Empfänger im selben Gehäuse untergebracht sind. Solche Sensoren sind in der Lage, Objektabstände über die Laufzeit von Ultraschallimpulsen und die bekannte Schallgeschwindigkeit zu ermitteln.

* 1. Aufgabenstellung

Das Ziel dieses Projekts besteht darin, die Entfernung zwischen einem Sensor und einem Objekt mittels Ultraschalltechnologie zu messen, wobei der Messbereich zwischen 0,1 Meter und 3,0 Meter liegen soll. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die Gesamtaufgabe in mehrere Teilbereiche aufgeteilt.

1. Der Programmablaufplan soll in einem Struktogramm dargestellt werden
2. Realisieren eines Programms zur Entfernungsmessung zwischen 0,1 m und 0,8 m und Anzeige auf dem LCD-Display
3. Erweiterung der Messung auf 3 m
4. Schwierigkeiten bei Messung von sehr kleinen Distanzen aufzeigen. Programmerweiterung auf Distanzen bis 0,03 m.
5. Physikalische Grundlage

In diesem Abschnitt sollen die physikalischen Grundlagen vorgestellt werden, die zur Bearbeitung der Aufgaben notwendig sind. Vor allem dreht es sich um die Entfernungsmessung mittels Ultraschallwellen und deren Erzeugung.

* 1. Piezoelektrischer Effekt

Der piezoelektrische Effekt beschreibt die Fähigkeit bestimmter Materialien, elektrische Ladung zu erzeugen, wenn sie mechanisch verformt (gedrückt oder gezogen) werden. Ebenso können diese Materialien sich verformen, wenn ein elektrisches Feld angelegt wird. Dieser Effekt tritt auf, weil die atomare Struktur der Materialien keine Symmetrie in Bezug auf ihre elektrische Ladungsverteilung besitzt, was bei Druck oder Zug zu einer Verschiebung der Ladungen führt. Diese einzigartige Eigenschaft macht piezoelektrische Materialien besonders nützlich für Sensoren, die Druck, Schall oder Vibrationen in elektrische Signale umwandeln können, sowie für Aktuatoren, die elektrische Signale in mechanische Bewegung umsetzen.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Diagramm, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Wenn das elektrische Feld hochfrequent mit 40 kHz Wechselspannung angelegt wird, gerät der Kristall in Schwingung. Wird er an eine geeignete Membran gekoppelt, kann diese Ultraschallwellen aussenden.

* 1. Berechnung der Entfernung

Das vom Sensor ausgesandte Signal wird mit einer konstanten Geschwindigkeit durch die Luft übertragen, reflektiert nach einer gewissen Strecke an einer Oberfläche und wird von einem Ultraschalldetektor nach einer Zeit erfasst. Zur Berechnung des Abstandes zwischen Sensor und Gegenstand wird der Zusammenhang dieser drei physikalischen Größen genutzt.

Wenn man nun nach der Strecke umstellt, erhält man folgenden Zusammenhang.

Wie oben bereits beschrieben, ist die Streck der zurückgelegte Weg des Schalls vom Sender zum Empfänger. Da sich in unserem Aufbau Sender und im Empfänger im selben Gehäuse befinden legt der Schall den doppelten Weg der Entfernung des Gegenstandes zurück. Das muss bei der Kalkulation der Strecke beachtet werden. Somit gilt für die Distanz des Messobjektes zum Sensor folgender Zusammenhang.

Als Geschwindigkeit wird die Schallgeschwindigkeit und Luft bei 20°C und einem Umgebungsdruck von 1013 hPa mit herangezogen.

Ein Bild, das Text, Karte Menü, Zahl, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Quelle: Tab 7.1 – Physik für Ingenieure - 13. Auflage

1. Ausstattung

Um die Aufgaben zu lösen, wurde jedem Teilnehmer des Teams ein Set zur Verfügung gestellt welches aus Hardware als auch Software besteht. Nachfolgend werden die Bestandteile kurz vorgestellt.

* 1. XC886 Entwicklungsboard

Im Kern des Boards befindet sich ein Mikrocontroller mit einem Mikroprozessor aus der 8051-Serie von Infineon. Die Programmierung des Boards erfolgt über einen USB-Anschluss, der ebenfalls zur Versorgung mit Betriebsspannung genutzt wird. Eine LED (LED1) dient als Indikator für die Betriebsspannung. Außerdem verfügt das Board über ein LC-Display, das vier Zeilen mit je 20 Zeichen anzeigen kann. Oben am Board sind die Ports 0, 1 und 3 mit je 8 Bits zu sehen und teilweise nach außen geführt. Diese können flexibel als Ein- oder Ausgänge konfiguriert werden. Einige dieser Bits sind mit LEDs verbunden, während die restlichen Bits von Port 0 und 1 für interne Programmierschnittstellen genutzt werden, z.B. für den Anschluss des Displays. Dies ermöglicht eine visuelle Darstellung der logischen Zustände der Portanschlüsse. Zudem sind 2mm-Buchsen vorhanden, über die Trainingsmodule mittels 2mm-Steckkabel angeschlossen werden können. Das Board enthält auch zwei analoge Potentiometer (AN4 und AN5), mit denen ein 0-5V-Signal erzeugt werden kann, das zur Steuerung anderer Komponenten dient. Diese Potentiometer sind an einen 10-Bit-Analog-Digital-Wandler angeschlossen, was die Ausgabe eines Digitalwerts von 0 bis 1023 bei der Ablesung dieser Eingänge ermöglicht. Zusätzliche Anschlussbuchsen dienen der Versorgung weiterer Module mit 5V sowie der Vereinheitlichung der Masseverbindung (GND). Für die Programmierung des Mikrocontrollers wird die Entwicklungssoftware Keil verwendet.

* 1. Ultraschallmodul SRF04

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, basiert die Entfernungsmessung auf dem Piezoelektrischen Effekts mit einem Sender und einem Empfänger auf einem Board. Laut Datenblatt wird eine Spannungsversorgung mit 5 V und 30 mA benötigt. Damit diese bereitgestellt werden kann, muss das Board extern über ein beigelegtes Netzteil versorgt werden. Der Ultraschall befindet sich mit 40 kHz weit über dem hörbaren Bereich von 20 kHz. Es hat einen Messbereich laut Datenblatt von 3 cm bis zu 3 m und kann einen Besenstiel mit 3 cm Durchmesser in einem Abstand von 2 m sicher erkennen.

Ein Bild, das Elektronik, Schaltung, Elektronisches Bauteil, Elektrisches Bauelement enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Das Board verfügt über 4 Anschlüsse. Einen für die 5 V Versorgungsspannung, einen, um die Verbindung zum Ground des Netzteils herzustellen. Die anderen beiden dienen der Bedienung des Sensors. Der Trigger Anschluss ist der Input des Boards. Der Echo-Pulse Pin dient als Output.

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

In der Darstellung wird der Ablauf der Messung dargestellt. Zuerst muss der Trigger-Pin mit einem mindestens 10 us langen 5 V Puls vom Microcontroller versorgt werden um eine Messung zu starten. Nachdem das Ultraschallmodul den Trigger erkannt hat, sendet es acht Zyklen eines Ultraschallsignals aus. Nach dem Aussenden wird der Echo-Pin so lange auf den High-Pegel gesetzt bis der Detektor den reflektierten Ultraschallburst detektiert. Die Länge des 5 V Signals ist Proportional zum doppelten Abstand des Messobjektes. Wird kein Objekt erkannt, wird der Echo-Ausgang nach 36 us auf 0 V gesetzt.

Eine erneute Messung kann 10 ms nach fallender Flanke des Echosignals gestartet werden.

* 1. Analog Discovery Oszilloskop

Das Digilent Analog Discovery 2™ ist ein vielseitiges Multifunktionsinstrument, das in Zusammenarbeit mit Analog Devices® entwickelt wurde. Es ermöglicht Benutzern, gemischte Signalströme jeder Art zu messen, zu visualisieren, zu generieren, aufzuzeichnen und zu steuern.

Ein Bild, das Elektronik, Text, Elektrisches Bauelement, Elektronisches Bauteil enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Quelle: https://digilent.com/reference/\_media/reference/test-and-measurement/analog-discovery-2/analog\_discovery\_2\_obl\_600.png

Das Gerät umfasst Funktionen wie ein zweikanaliges, 14-Bit, 100 MS/s Oszilloskop zur Erfassung analoger Daten, einem Funktionsgenerator zur Ausgabe von analogen Spannungen, zwei programmierbare Stromversorgungen, ein einfaches Voltmeter und einen Datenlogger zur Erfassung großer analoger Eingabedaten. Es fungiert auch als Logikanalysator und bietet virtuelle Ein-/Ausgabegeräte durch seine digitalen I/O-Kanäle.

Zusätzlich dient das Analog Discovery 2 als Spektrumanalysator zur Analyse der Frequenzbereichskomponenten von Signalen, als Netzwerkanalysator zur Betrachtung der Amplituden- und Phasenantwort von Schaltkreisen und als Impedanzanalysator für verschiedene Frequenzantwortcharakteristika. Es beinhaltet auch einen Skripteditor zur Automatisierung der Steuerung seiner Instrumente durch JavaScript. Das WaveForms Software Development Kit (SDK) ermöglicht die Entwicklung benutzerdefinierter Anwendungen in mehreren Programmiersprachen und erweitert so seinen Nutzen.

Dieses umfassende Werkzeug integriert sich nahtlos in die WaveForms-Software und bietet eine breite Palette von Funktionalitäten zum Testen und Analysieren elektronischer Schaltkreise.

1. Verdrahtung und Messaufbau
2. Programmablauf & Umsetzung der Aufgaben

# Literaturverzeichnis