

Ultraschall-Abstandsmesser mit LED-Anzeige UAM 1

Abstandsmessung mittels Ultraschall wird bereits vielfach angewendet. Wir stellen eine einfach zu realisierende Abstands-Mess- und Anzeigeschaltung vor, die universell einsetzbar ist. Über eine LED-Kette wird der Abstand eines vor dem Ultraschallsensor befindlichen Gegenstandes angezeigt.

Messen mit Schallgeschwindigkeit

Denkt man an das bequeme, „berührungslose“ Messen von Entfernungen, fällt sicher nahezu jedem zuerst „Radar“ ein, ein Abstandsmessverfahren, das seit dem zweiten Weltkrieg Standard in der Luft- und Seefahrt ist, um Entfernungen sowie Geschwindigkeiten zu ermitteln. Für kurze Distanzen hat sich jedoch in den letzten ca. 20 Jahren das Ultraschall-Messverfahren etabliert, das deutlich einfacher und kostengünstiger zu realisieren ist und zudem nicht mit hochenergetischen Funkwellen arbeitet.

Besonders augenfällig sind dabei allgemein zugängliche Anwendungen wie Ultraschall-Messgeräte für das Ausmessen von Räumen, wie das in Abbildung 1 dargestellte „DigiTape“, Einparkhilfen für Autos (Abbildung 2) oder Echolote, Fishfinder bzw. Tiefenmesser auf Booten und Schiffen. Die dazu notwendige Sensortechnik ist heute allgemein zugänglich und erschwinglich, sodass der Weg zum eigenen Experiment nicht weit ist.

Da wir bereits in der letzten Ausgabe des „ELVjournal“ ausführlich auf die Funktionsweise der Ultraschallsensoren eingegangen sind („ELVjournal“ 1/2001, S. 14 bis 17), wollen wir uns im Rahmen dieses

Artikels allein der praktischen Anwendung dieser interessanten Technik zuwenden und einen einfach realisierbaren Abstandsmesser bauen, der bereits recht vielfältig einsetzbar ist.

Er kann Entfernungen zwischen 1 cm und 80 cm bereits recht genau erfassen und auf einer zehnstufigen LED-Skala mit ei-

Technische Daten: UAM 1

Spannungsversorgung: ..	10 V - 15 V
Auflösung:	1/2/4/8 cm
Messbereich:	1 cm bis 80 cm
Stromaufnahme:	20 mA
Abmessungen:	114 x 62 mm



Bild 1: Für das bequem zu erstellende Aufmaß haben sich solche Ultraschall-Messgeräte bereits fest etabliert.

ner Auflösung zwischen 1 und 8 cm zur Anzeige bringen. Eine praktische Anwendung wäre z. B. an der Garagenrückwand zum Einparken des Autos denkbar, um das Auto quasi zentimetergenau rückwärts einparken zu können. Dabei kann man das kompakte Gerät so an der Garagenrückwand anbringen, dass die LED-Skala bequem im Außenrückspiegel sichtbar ist.

Funktion

Die Funktion beruht auf der Eigenschaft der Luft, den Schall mit einer relativ genau bekannten Geschwindigkeit fortzuleiten. Relativ deshalb, weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit sich mit der Lufttemperatur ändert. Während sich Luftschall bei 0 °C mit genau 331,5 m/s fortbewegt, sind dies bei 15 °C schon ca. 340 m/s. Dies spielt aber bei den hier betrachteten, sehr kurzen Entfernungen kaum eine Rolle, die Verfälschung durch die Umgebungstemperatur liegt weit unterhalb der Auflösungsschwelle der einfachen LED-Anzeige.

In Glas z. B. breitet sich Schall mit bis zu 5500 m/s aus, in Wasser mit ca. 1460 m/s. Hierfür sind allerdings spezielle, weit leis-

tungsfähigere Ultraschallgeber erforderlich, die mit sehr hohen Spannungen und Impulsleistungen betrieben werden. So arbeiten bereits relativ einfache Echolote für Sportboote mit Impulsleistungen von 500 W bis 2,4 kW, um Wassertiefen bis zu 500 m genau messen bzw. Fischschwärme oder einzelne Fische finden zu können. Für ein Bewegen in unbekanntem Gewässern ist solch ein Gerät aber trotz der relativ hohen Preise unabdingbar, will man keinen teuren Unterwasserschaden riskieren.

Doch zurück zu unserem einfachen Abstandsmesser. Der Ultraschallsender des Gerätes sendet ca. 66 Mal pro Sekunde ein 40-kHz-Impulspaket aus. Trifft dieses Impulspaket, das ja eine hochfrequente Schallwelle darstellt, auf einen schallreflektierenden Gegenstand, so wirft dieser den größten Teil der auftreffenden Schallleistung zurück (im Idealfall ist dabei Einfallswinkel gleich Reflexionswinkel, siehe Skizze in Abbildung 3). Dieses zurück kommende Impulspaket wird vom Ultraschallempfänger aufgenommen, verstärkt und einer Auswerteelektronik zugeführt, die in unserem Beispiel aus einer zehnstelligen LED-Kette besteht. In anderen Anwendungen kommen hier entweder numerische oder grafische LC-Displays zum Einsatz.

Diese Auswerteelektronik formt den empfangenen Impuls zu einem je nach zurückgelegter Strecke, sprich unterschiedlicher Zeit, die der Schallimpuls zwischen Senden und Empfangen benötigt hat, entsprechend längeren oder kürzeren Impuls. Dieser wiederum steuert einen Zähler an, der entsprechend dieser Impulslänge für eine genau definierte Zeit freigegeben wird, und als Resultat steht eine genaue Entfernungsanzeige zur Verfügung.

Nach diesem Prinzip arbeiten die meisten Ultraschall-Messgeräte, selbst die medizinisch eingesetzten Ultraschall-Untersuchungsgeräte, der wesentliche Unterschied besteht lediglich in der Art der Auswertung und Anzeige der Signale. Während im einfachsten Fall, etwa beim Auto-

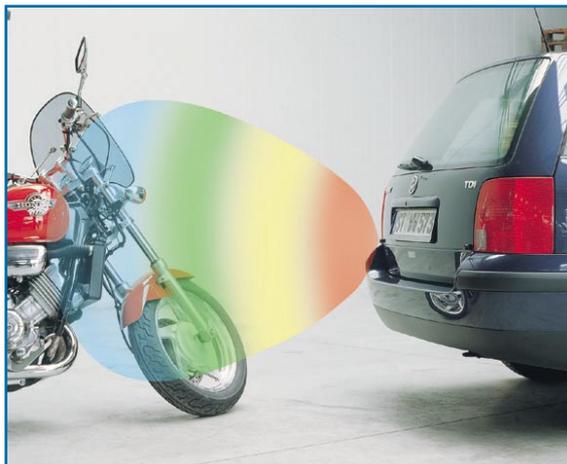


Bild 2: Typische Anwendung für die Ultraschall-Entfernungsmessung: Einparkhilfe für das Auto.

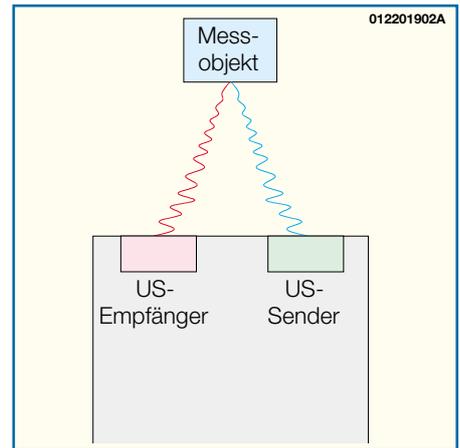


Bild 3: Ultraschallsensoren mit Hindernis

Rückfahrwarner, lediglich unterschiedlich hohe Pieptöne zur Ausgabe kommen, erfolgt die Anzeige in der Arztpraxis nach aufwändiger Signalaufbereitung als fast schon dreidimensionales Bild auf einem Monitor.

Die Kompensation von Dopplereffekten bei höheren Geschwindigkeiten vernachlässigen wir bei unserer kleinen Schaltung, wir wollen stehende oder nur langsam bewegte Objekte messen und so den Schaltungsaufwand senken.

Neben dem rein praktischen Einsatz soll diese Abstandsmesser-Schaltung aber auch als Grundlage für eigene Experimente dienen, wofür u. a. ein Abgreifpunkt für das Zeitsignal des Echos zur anderweitigen Auswertung, z. B. über einen Computer oder ein LC-Display mit vorgeschaltetem Mikroprozessor, zur Verfügung steht.

Schaltung

Die Schaltung (Abbildung 4) besteht wie gesagt im Wesentlichen aus folgenden Komponenten: Ultraschallsende- und Empfangsstufe sowie einer Steuerelektronik mit der LED-Anzeige.

Zentrales Element der Steuerelektronik ist der Oszillatorbaustein IC 6 mit integriertem Binärteiler. Die Oszillatorfrequenz von 500 kHz wird durch den Keramikschwinger Q 1 bestimmt. Der Binärteiler teilt die Oszillatorfrequenz in 2er-Potenzen, sodass z. B. am Ausgang Q 4 (Pin 7) die durch 16 (=2⁴) geteilte Oszillatorfrequenz ansteht.

Dies setzt sich bis zum Ausgang Q 14 (Pin 3) fort, der einen Teilerfaktor von 2¹⁴, also die durch 16384 geteilte Oszillatorfrequenz, bereitstellt.

Der Reset-Eingang (Pin12) ist durch eine UND-Logik (D12 und D 11) mit den Ausgängen Q 8 und Q 14 verbunden. Hierdurch ergibt sich an Q 14 ein High-Impuls von 0,2 ms Länge, wobei die Pause zwischen zwei High-Signalen (Low-Pegel) ca. 15 ms beträgt. Zur besseren Veranschaulichung

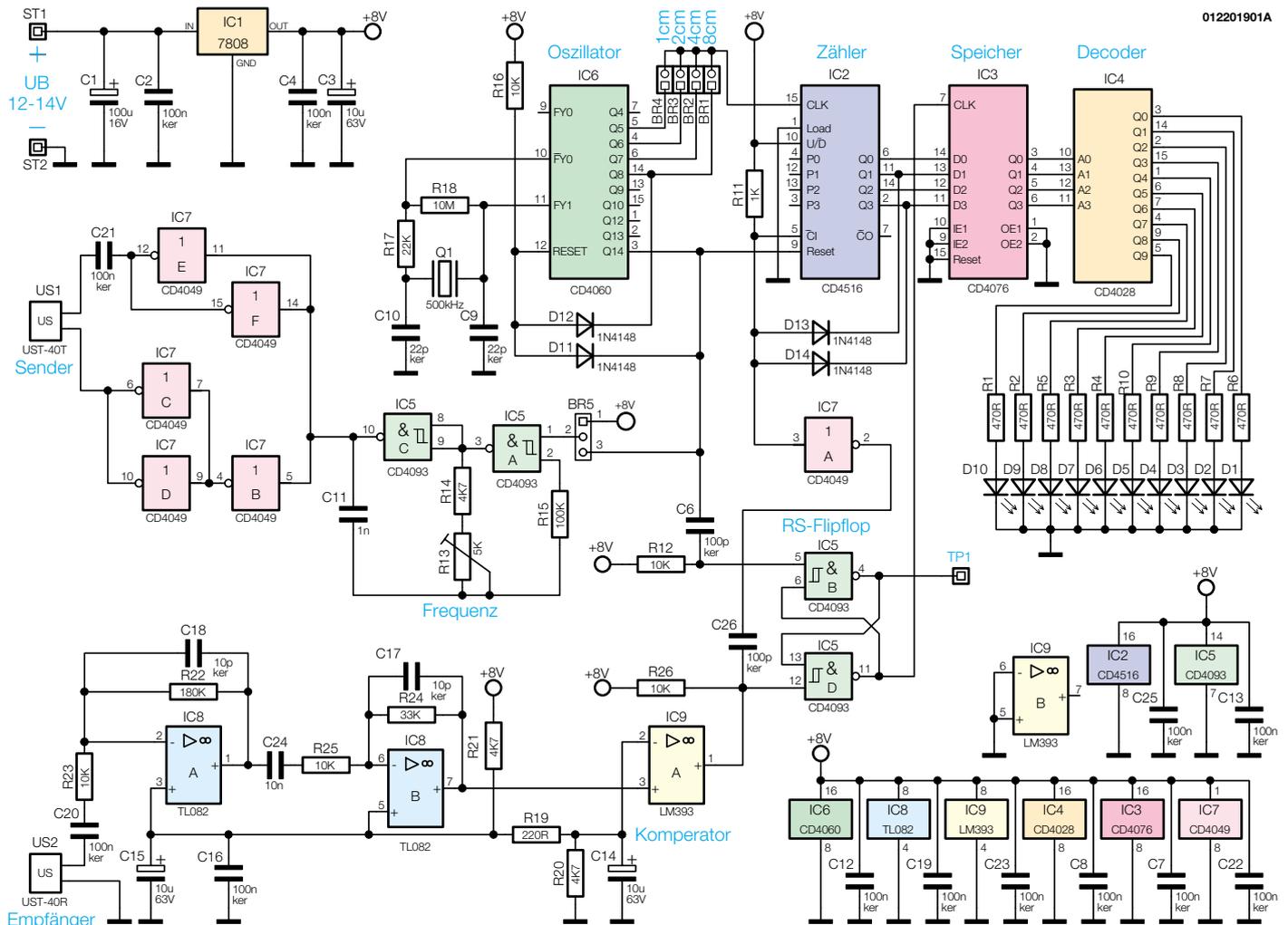


Bild 4: Schaltbild des Ultraschall-Abstandsmessers

sind in Abbildung 5 die wichtigsten Logikpegel dargestellt.

Mit dem von Q 14 (Pin 3, IC 6) kommenden Signal wird so der aus IC 5 A und IC 5 C bestehende Oszillator für einen Zeitraum von 0,2 ms freigegeben. Dieser Oszillator schwingt auf einer Frequenz von 40 kHz, die mit R 13 eingestellt wird. Die nachfolgenden Inverter IC 7 B bis IC 7 F steuern den Ultraschallsender US 1 an und bewirken zusätzlich eine Spannungsverdopplung, um den Ultraschallgeber zu einer entsprechend kräftigen Schallabgabe zu bewegen. Anzumerken sei hier, dass die Brücke BR 5 im normalen Betrieb zwischen 2 und 3 gesteckt sein muss. Sie ist nur zum Abgleich des 40-kHz-Oszillators auf 1 und 2 zu stecken.

Reflektiert nun ein Gegenstand die ausgesendeten 40-kHz-Impulspakete, werden diese „Echos“ mit dem Ultraschallempfänger US 2 empfangen. Die beiden nachfolgenden Verstärkerstufen IC 8 A und IC 8 B realisieren eine Gesamtverstärkung des Empfangssignals von 60 (35,5 dB). Die Kondensatoren C 18 und C 17 legen die obere Grenze der Bandbreite der Verstärkerstufe fest. Der Arbeitspunkt für die

OPs wird mit dem Spannungsteiler R 19 bis R 21 festgelegt.

Das so ausreichend verstärkte Signal gelangt auf den invertierenden Eingang (Pin 3) des Komparators IC 9 A. Die Schwellenspannung des Komparators wird durch den Widerstand R 19 festgelegt. Die Gleichspannung am Pin 2 (IC 9) liegt somit ca. 200 mV unterhalb dem Spannungspegel an Pin 3 von IC 9. Sobald das empfangene Signal (Echo) eine bestimmte Amplitude erreicht, schaltet der Ausgang (Pin 1) des Komparators von High- auf Lowpegel. Mit diesem Pegelwechsel (negative Flanke) wird das aus den beiden NAND-Gattern aufgebaute RS-Flip-Flop IC 5 B/D zurückgesetzt. Über C 6 wurde das Flip-Flop zuvor durch das Freigabesignal von Q 14 (IC 6) gesetzt. Wie man in Abbildung 5 erkennt, entspricht die Impulslänge (t_a) am Ausgang des Flip-Flops (TP 1) der Zeit, die der Schall zurückgelegt hat.

Anzumerken sei hier, dass die empfangenen Echo-Signale nicht exakt rechteckförmig sind, sondern geringfügig in der Amplitude ansteigen. Hierdurch entsteht eine geringfügige Verzögerung in der Auswerteschaltung, die dadurch kompensiert

wird, dass das Flip-Flop mit der abfallenden Flanke des Freigabesignals (Q 14, IC 6) getriggert wird.

Da wir ja den Abstand messen, bzw. den Messwert auf einer LED-Kette anzeigen wollen, benötigen wir einen Zähler, der die Zeit misst, die der Schall zurückgelegt hat. Dies geschieht mit IC 2, einem binären 4-Bit-Zähler des Typs CD 4516. Am Clock-eingang (Pin 15) von IC 2 wird der Zähltakt zugeführt, der mit den Brücken BR 1 bis BR 4 so eingestellt wird, dass sich alle 1/2/4 oder 8 cm ein Taktimpuls ergibt. Die Zentimeterangaben beziehen sich auf den gemessenen Abstand. Ist z. B. die Brücke BR 3 gesteckt, beträgt der maximal angezeigte Abstand 20 cm (10 x 2 cm) mit einer Auflösung von 2 cm.

Über das Freigabesignal von Q 14 (IC 6) wird der Zähler IC 2 (Pin 9) zurückgesetzt. Da die Anzeige aus 10 LEDs besteht, soll der Zähler auch nur bis „10“ (0 bis 9) zählen. Der dezimale Zählerstand „10“ sieht in binärer Form an den Ausgängen Q 0 bis Q 3 des Zählers wie folgt aus: Q 0 = 0, Q 1 = 1, Q 2 = 0 und Q 3 = 1. Dieser Zustand wird mit den beiden Dioden D 13 und D 14 ausgewertet und durch ein High beim Er-

reichen des Zählerstandes „10“ am Eingang/CI (Pin5, IC 2) der Zähler gestoppt.

IC 3 hat die Aufgabe, den Zählerstand zwischenspeichern. Die Übernahme der Daten an den Eingängen D 0 bis D 3 von IC 3 in den internen Zwischenspeicher (Q 0 bis Q 3) erfolgt durch einen Low-High-Übergang am Clockeingang Pin 7 (IC 3). Die Ansteuerung übernimmt das Signal vom Ausgang Pin 11 des Flip-Flops (siehe auch Abbildung 5).

Das nachgeschaltete IC 4 wandelt den binären Code in eine dezimale Darstellungsweise um. Mit den Ausgängen Q0 bis Q 10 von IC 4 wird jeweils eine der zehn LEDs angesteuert.

Die Spannungsversorgung der Schaltung erfolgt über ST 1/2 aus einer unstabilierten Gleichspannung von 10 - 15 V, die mit IC 1 zu einer stabilisierten Spannung von 8 V umgesetzt wird.

Nachbau

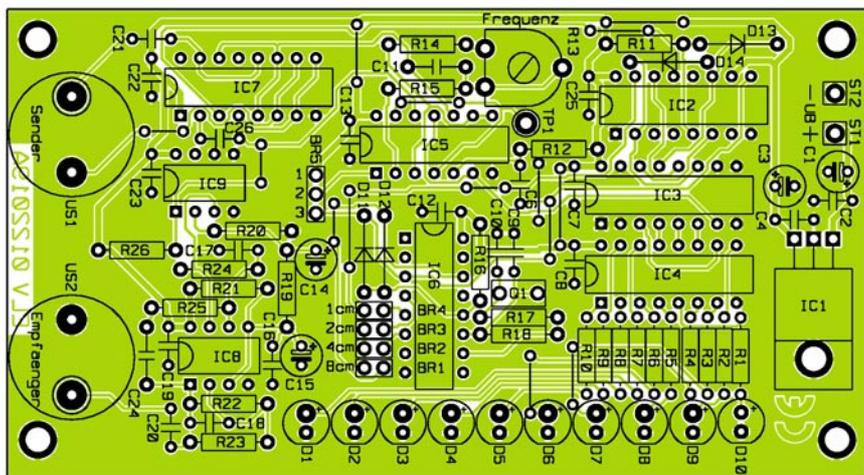
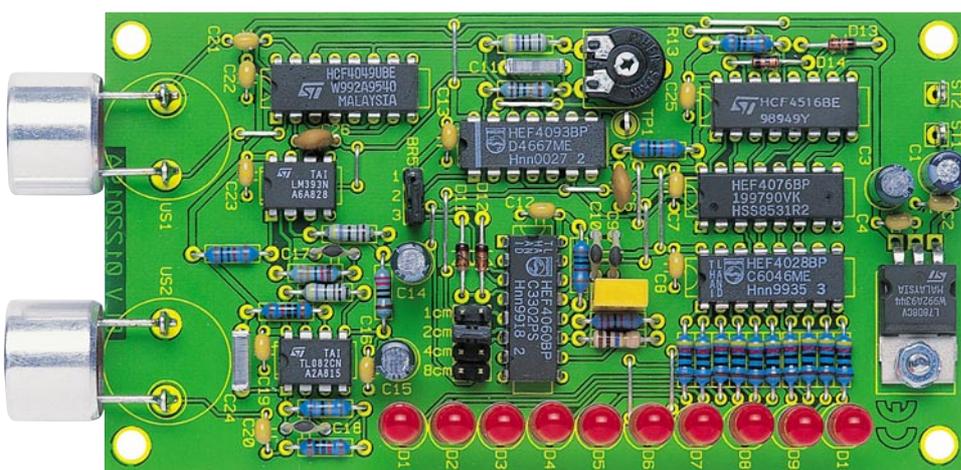
Der Aufbau der Schaltung erfolgt auf einer einseitig zu bestückenden Platine mit den Abmessungen 57 x 112 mm und ist auch für den Einsteiger aufgrund der ausschließlichen Bestückung mit bedrahteten Bauelementen einfach zu realisieren.

Das Bestücken beginnt anhand von Stückliste, Bestückungsplan bzw. -aufdruck und Platinfoto mit den Drahtbrücken, gefolgt von den Widerständen und Dioden. Bei letzteren ist die genaue Einbaulage zu beachten, der Katodenring muss mit der entsprechenden Markierung im Bestückungsdruck korrespondieren. Nach dem Bestücken und Verlöten sind die überstehenden Drahtenden auf der Lötseite mit einem scharfen Seitenschneider kurz abzuschneiden, ohne dabei jedoch die Lötstelle selbst zu beschädigen. Dies gilt auch für die weitere Bestückung.

Als nächstes sind alle Kondensatoren (außer den Elkos), der Trimmer R 13 und die ICs zu bestücken. Bei den ICs ist ebenfalls auf die richtige Einbaulage zu achten, die Markierung bzw. Aussparung des Gehäuses, die gegenüber Pin 1 liegt, muss mit der entsprechenden Markierung im Bestückungsdruck korrespondieren.

Bevor nun der Spannungsregler IC 1 bestückt und eingelötet wird, sind dessen Anschlüsse ca. 2 mm vom Gehäuse entfernt mit einer Flachzange gemeinsam um 90 Grad nach hinten abzuwinkeln und der Regler nach Einführen der Anschlüsse in die zugehörigen Bohrungen mit einer Schraube M3 x 8 mm, Fächerscheibe und Mutter liegend zu montieren. Erst danach erfolgt das Verlöten der Anschlüsse.

Als nächster Bestückungsschritt sind nun die Lötstifte, die Jumperleiste BR 1 bis BR 5, alle Elkos und der Keramikschwinger Q1 einzusetzen und zu verlöten.



Fertig aufgebaute Platine des Ultraschall-Abstandsmessers mit zugehörigem Bestückungsplan

Stückliste: Ultraschall-Abstandsmesser mit LED-Kette

Widerstände:

- 220Ω R19
- 470Ω R1-R10
- 1kΩ R11
- 4,7kΩ R14, R20, R21
- 10kΩ R12, R16, R23, R25, R26
- 22kΩ R17
- 33kΩ R24
- 100kΩ R15
- 180kΩ R22
- 10MΩ R18
- PT10, liegend, 5kΩ R13

Kondensatoren:

- 10pF/ker C17, C18
- 22pF/ker C9, C10
- 100pF/ker C6, C26
- 1nF C11
- 10nF C24
- 100nF/ker C2, C4, C7, C8, C12, C13, C16, C19-C23, C25
- 10µF/63V C3, C14, C15
- 100µF/16V C1

Halbleiter:

- 7808 IC1
- CD4516 IC2
- CD4076 IC3
- CD4028 IC4
- CD4093 IC5
- CD4060/Philips IC6
- CD4049 IC7
- TL082 IC8
- LM393 IC9
- 1N4148 D11-D14
- LED, 5 mm, rot D1-D10

Sonstiges:

- Keramikschwinger, 500 kHz Q1
- UST-40R US2
- UST-40T US1
- Stiftleiste, 2 x 4-polig BR1-BR4
- Stiftleiste, 1 x 3-polig BR5
- 7 Lötstifte mit Lötöse
- 2 Jumper
- 1 Zylinderkopfschraube, M3 x 8 mm
- 1 Mutter, M3
- 1 Fächerscheibe, M3
- 38 cm Schaltdraht, blank, versilbert

Auch bei den Elkos ist unbedingt auf die polrichtige Bestückung (am Bauelement ist der Minuspol gekennzeichnet) zu achten.

Nun erfolgt die Bestückung der Leuchtdioden D 1 bis D 10. Sie sind ebenfalls polrichtig einzusetzen. Der längere Anschluss ist die Anode und gehört in die plusmarkierte Bestückungsbohrung. Die LEDs sind mit einem Abstand von 4 mm (Unterkante des Diodenkörpers) zur Platine zu bestücken.

Den Abschluss der Bestückungsarbeiten bildet das Einsetzen und Verlöten der Ultraschallgeber bzw. -Empfänger. Der Geber trägt die Typenbezeichnung UST-40T, der Empfänger heißt UST-40R. Die Montage dieser beiden Elemente ist entweder durch direktes Bestücken auf der Platine, das abgewinkelte Anlöten über Lötstifte oder die vom Anzeigegerät abgesetzte Montage über abgeschirmtes Kabel (max. 1 m) möglich, die sich etwa beim diskutierten Einsatz an der Garagenrückwand anbietet, um die Anzeige besser im Auge behalten zu können.

Auch hier ist die polrichtige Montage zu beachten. Der isolierte Anschluss gehört in die im Bestückungsdruck mit einem Doppelpolring markierte Bohrung. Da die eigentlichen Ultraschallschwinger im Gehäuse des Gebers/Empfängers mechanisch isoliert montiert sind, können beide Gehäuse bündig auf die Platine aufgesetzt bzw. gemeinsam in ein eigenes Gehäuse eingeklebt werden.

Damit ist die Bestückung abgeschlossen, und die Baugruppe kann in Betrieb genommen werden.

Wie bereits angedeutet, kann sowohl der Einbau in ein gemeinsames Gehäuse für Auswertelektronik und Geber/Empfänger als auch eine voneinander abgesetzte Montage erfolgen. Zu beachten ist dabei lediglich, vor dem Geber/Empfänger eine Öffnung mit dem Durchmesser des Bauelements vorzusehen.

Abgleich

Der Abgleich beschränkt sich im einfachen Fall auf eine genaue Einstellung des 40-kHz-Oszillators. Dazu ist das Gerät an eine Gleichspannungsquelle 10 - 15 V anzuschließen, die mit maximal 20 mA belastet wird. Hier bietet sich ein kleines Steckernetzteil und bei nur gelegentlichem oder mobilem Einsatz ein Batterie- oder Akkupack an. So bietet ein handelsübliches 12-V-NiCd-Akkupack oder ein kleiner 12-V-Blei-Gel-Akku Strom für viele Monate.

An Pin 10 von IC 5 C ist ein Frequenzzähler im gewählten Bereich bis 100 kHz anzuschließen und ein Jumper an BR 5 auf die Anschlüsse 1 und 2 zu setzen. So arbei-

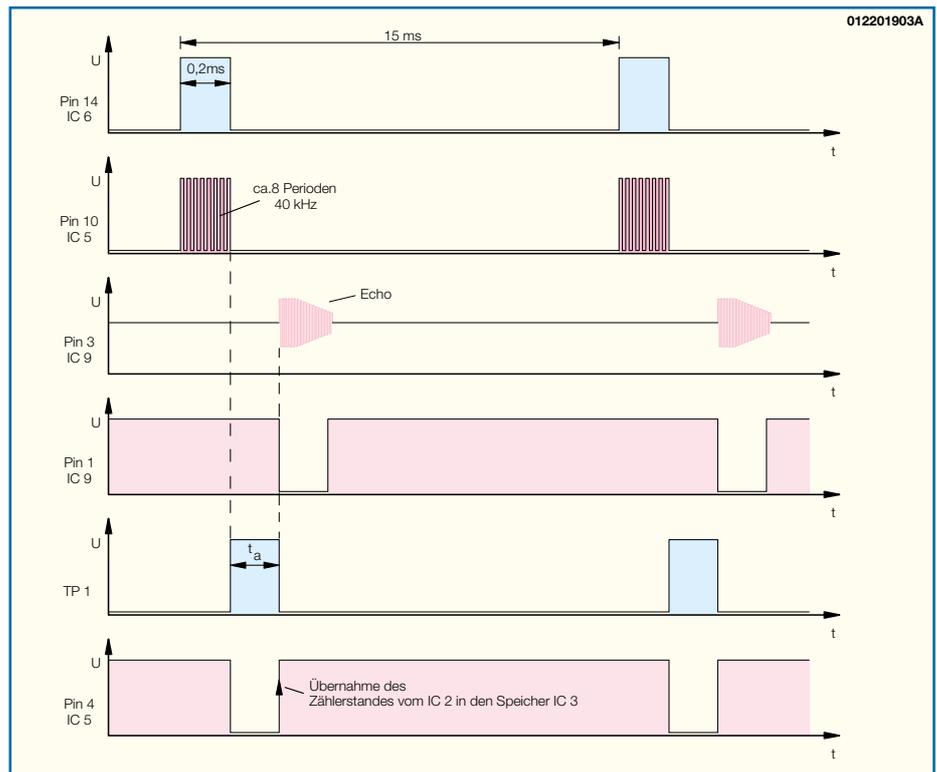


Bild 5: Die Impulsdiagramme veranschaulichen den Messablauf

tet der 40-kHz-Oszillator im Dauerbetrieb. Seine Frequenz wird nun mittels R 13 auf genau 40 kHz eingestellt. Dies ist die Nominalfrequenz der eingesetzten Ultraschallbauelemente, die eine sichere Funktion gewährleisten.

Will man mit der Baugruppe eine maximale Reichweite erzielen, so ist ein etwas aufwändigeres Abgleichverfahren, das ein Oszilloskop erfordert, anzuwenden. Die Ultraschallwandler besitzen eine sehr ausgeprägte Resonanzkurve, deren Spitzenwert nominal bei der Resonanzfrequenz 40 kHz liegt. Will man die genaue, exemplarabhängige Resonanzfrequenz ermitteln, schließt man ein Zweikanaloszilloskop mit Kanal 1 an Pin 7 von IC 8 B und Kanal 2 (der zur Triggerung dient) an TP 1 an. Danach gleicht man mit R 13 auf den maximalen Empfangssignalpegel ab und erreicht so die höchste Empfindlichkeit bzw. Reichweite der Schaltung.

Externe Signalauswertung

Über TP 1 ist das Zeitsignal entnehmbar, das direkt der Laufzeit zwischen Ende der Aussendung des Impulspaketes und Eintreffen des Echos entspricht (siehe Abbildung 5). Damit kann man mittels geeigneter Auswerteschaltungen bzw. über ein Software-Programm (das z. B. auch in einem PIC untergebracht sein kann) etwa auch eine digitale Entfernungsanzeige über die gesamte mögliche Reichweite der Ultraschallgeber/Empfänger vornehmen lassen. Aber auch Experimente zur Geschwin-

digkeitsmessung sich fort- oder heranbewegender Objekte sind möglich. In unserem Garagenbeispiel kann man etwa aus der Geschwindigkeit des herannahenden Autos verschieden hohe Warntöne ableiten, die den Fahrer bei schnellerem oder langsamerem Heranfahren differenziert über die noch freie Strecke bis zur Wand warnen.

So kann man mit diesem funktionssicheren „Frontend“ die verschiedensten Anwendungen und Experimente ableiten, je nach zu lösender Aufgabe.

Sicherheitshinweise

Abschließend noch einige Sicherheitshinweise zum Betrieb des Abstandsmessgerätes.

Zunächst darf es nicht im Bereich der STVZO betrieben, also nicht in Fahrzeuge eingebaut werden, da es hierfür nicht zugelassen ist.

Bei Betrieb des Gerätes sollte man beachten, dass dieses nicht dauernd auf Tiere gerichtet ist, die die hochfrequenten, für sie hörbaren Ultraschallimpulse als Bedrohung empfinden und flüchten bzw. zumindest verängstigt reagieren. Deshalb werden solche Ultraschallwandler ja auch als Wühlmaus- und Marderscheuche eingesetzt. Auch sollte man keine Menschen längere Zeit diesen Impulsen aussetzen. Der Schall ist zwar für uns unhörbar, ob es aber bei längerer Einwirkung zu Gesundheitsbeeinträchtigungen kommen kann, ist nicht bekannt.