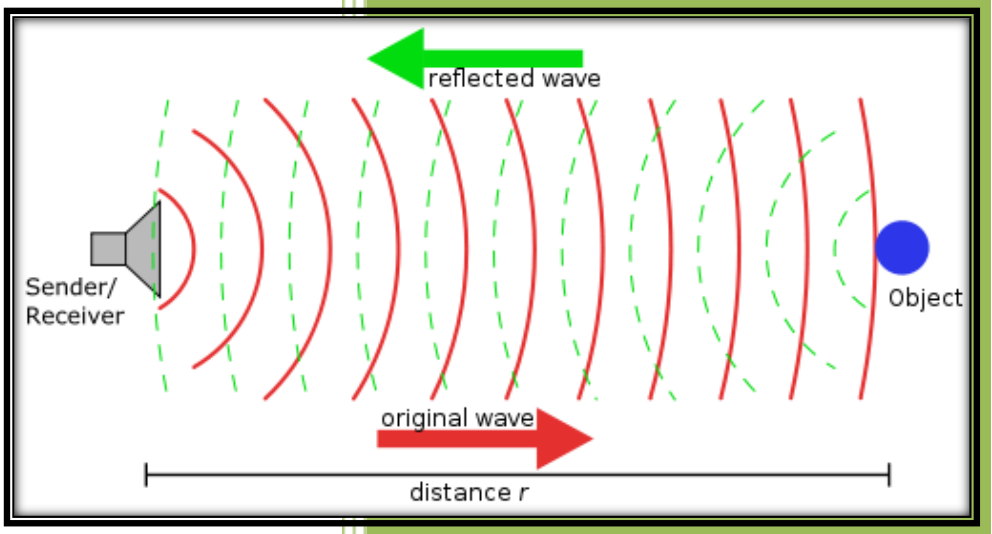
لطفا برای صرفه‌جویی در مصرف کاغذ، این دستور کار را به صورت دو رو چاپ کنید.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

گروه کنترل و سیستم

آزمایشگاه ابزار دقیق

اندازه گیری فاصله با حسگر فراصوت



تعداد جلسات: ۱

پیش‌نیاز:

- ✓ تایمر AVR
- ✓ وقفه AVR

در حسگرهای فراصوت یا آلتراسونیک سیگنال الکتریکی به سیگنال مکانیکی (موج صوتی) و یا برعکس، سیگنال مکانیکی به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. اصول کاری این حسگرها بر مدت زمان رفت و برگشت موج صوتی استوار است، که با داشتن سرعت صوت، تخمین فاصله امکان‌پذیر خواهد بود. در این آزمایش ابتدا کلیاتی از حسگر فراصوت گفته خواهد شد و سپس با استفاده از یک میکروکنترلر AVR و همچنین مدارات فرستنده و گیرنده فراصوت، فاصله حسگر تا مانع به دست خواهد آمد.

آخرین به روز رسانی: ۱۹ بهمن ۱۳۹۱

K. N. Toosi University of Technology
Instrumentation Lab

http://saba.kntu.ac.ir/eecd/instlab

فهرست مطالب

فهرست مطالب ۱
بخش ۱- مختصری از تئوری ۲
۱-۱- معرفی ۲
۱-۲- چند نکته ۳
بخش ۲- فعالیت آزمایشگاهی ۷
۲-۱- بررسی مدار فرستنده و گیرنده ۷
۲-۱-۱- قسمت مرکزی ۷
۲-۱-۲- مدار فرستنده ۷
۲-۱-۳- مدار گیرنده ۸
۲-۲- شرح آزمایش ۹
۲-۲-۱- بررسی رفتار حسگر فراصوت ۹
۲-۲-۲- برنامه‌نویسی میکروکنترلر ۱۰

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بخش ۱– مختصری از تئوری

برای اندازه‌گیری فاصله حسگرهای متفاوتی ساخته شده است، مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۱) **حسگر مادون قرمز**[1]: توضیحات در آزمایش "اندازه‌گیری فاصله با حسگر مادون قرمز".
۲) **حسگر فراصوت**[2]: این حسگر مانند حسگر مادون قرمز از یک فرستنده و یک گیرنده ساخته شده است. قسمت فرستنده یک موج مافوق صوت ایجاد کرده آن را به سمت مانع ارسال می‌کند. این موج پس از برخورد با مانع به سمت گیرنده بر می‌گردد، زمان رفت و برگشت موج صوتی محاسبه شده و با توجه به سرعت صوت میزان فاصله تعیین می‌شود.
۳) **حسگر نوری**: اصول کاری این حسگرها مانند حسگر مادون قرمز می‌باشد با این تفاوت که به جای اشعه مادون قرمز از نور مرئی مانند لیزر استفاده می‌شود.
۴) **حسگر خازنی و القایی**: این حسگرها برای اندازه‌گیری فواصل بسیار کوچک استفاده می‌شوند. با تغییر فاصله، ظرفیت و یا خودالقایی حسگر تغییر می‌کند.

۱-۱- معرفی

حسگرهای فراصوت حسگرهایی هستند که به وسیله صفحات خاصی مثل پیزوالکتریک، سیگنال الکتریکی را به سیگنال مکانیکی (موج صوتی) تبدیل می‌کنند (معمولاً فرکانس بیشتر از $18\,kHz$ جز محدوده فراصوت در نظر گرفته می‌شود). عکس این عمل نیز در گیرنده انجام می‌گیرد، یعنی سیگنال صوتی دریافتی به وسیله صفحه پیزوالکتریک به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. اصول کاری این حسگرها بر مدت زمان رفت و برگشت موج صوتی استوار است و با داشتن سرعت صوت، تخمین فاصله امکان‌پذیر خواهد بود. به عبارت دیگر فاصله حسگر تا مانع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Distance = \frac{(Speed\ of\ Sound) \times (Elapsed\ Time)}{2}$$

شکل ۱ نمونه‌ای از حسگر فرستنده و گیرنده فراصوت می‌باشد.

شکل ۱: فرستنده و گیرنده فراصوت

حسگر فراصوت در قسمت عقبی برخی ماشین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا هنگام نزدیک شدن به موانع به راننده اخطار دهد، نمونه‌ای از این کاربرد در شکل ۲ قابل مشاهده است.

---

[1] Infrared
[2] Ultrasonic

شکل ۲: حسگر کمک‌کننده پارک

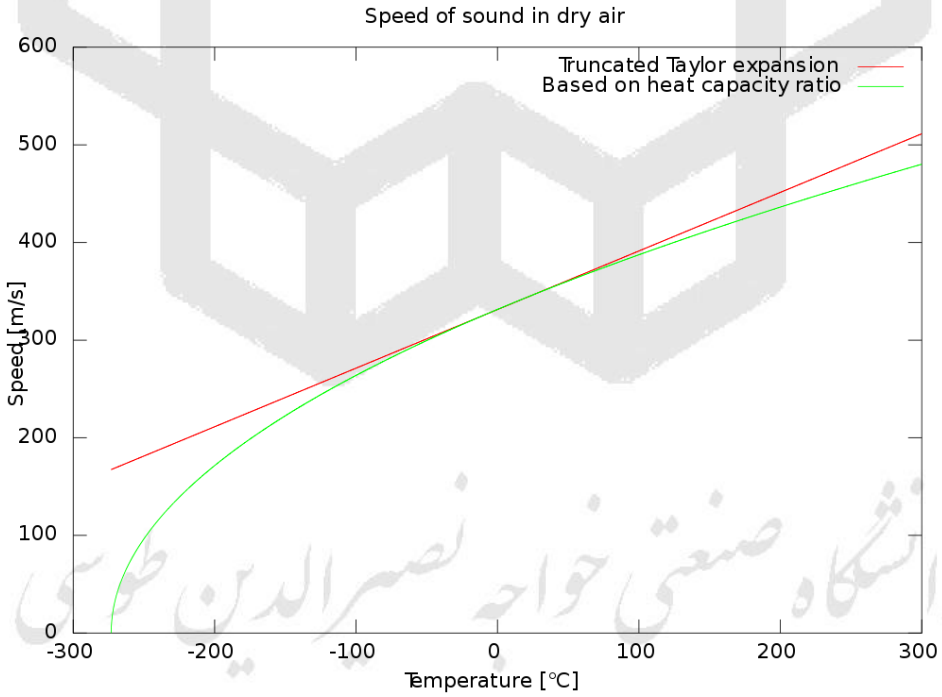
سرعت صوت در هوای خشک (رطوبت نسبی 0%) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$c_{air} = 331.3\sqrt{1+\frac{\theta}{273.15}} \quad \frac{m}{s}$$

با بسط تیلور این رابطه در حوالی دمای $0\ ^\circ C$ می‌توان به رابطه تقریبی زیر رسید:

$$c_{air} = 331.3 + 0.6\theta \quad \frac{m}{s}$$

در شکل زیر می‌توان تغییرات سرعت صوت بر حسب تغییر دما را مشاهده کرد:



لذا سرعت صوت در هوای خشک و دمای $20\ ^\circ C$ برابر $343.2\frac{m}{s}$ می‌باشد.

رطوبت و فشار هوا، اثر بسیار اندکی (البته قابل اندازه‌گیری) بر روی سرعت صوت دارند. رطوبت هوا چیزی بین 0.1% تا 0.6% سرعت صوت را افزایش می‌دهد.

سرعت صوت در آب خالص و در دمای $25\ ^\circ C$ در حدود $1497\frac{m}{s}$ می‌باشد.

۱-۲- چند نکته

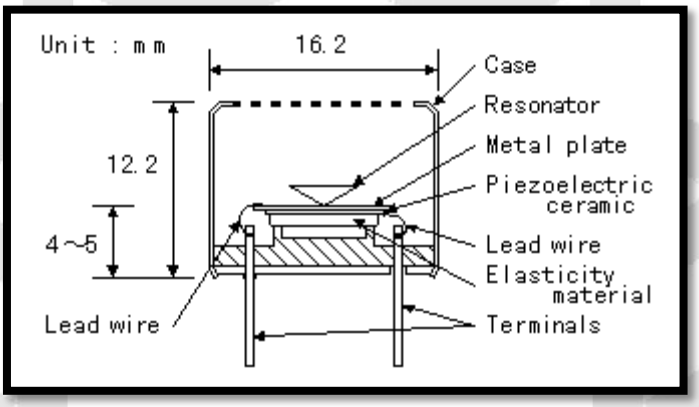
بسته به اینکه از چه نوع مبدلی برای تبدیل سیگنال الکتریکی به موج صوتی استفاده شود، حسگرهای فراصوت در دو دسته زیر جای خواهند گرفت:

۱- حسگر فراصوت با مبدل پیزوالکتریک

۲- حسگر فراصوت با مبدل الکترواستاتیک

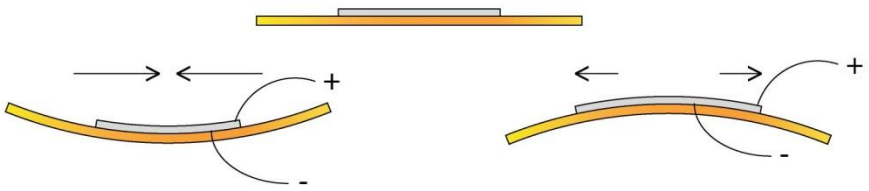
حسگرهای فراصوت با مبدل الکترواستاتیک بسیار دقیق‌تر و البته گران‌تر از حسگرهایی است که مبدل آنها پیزوالکتریک می‌باشد. در این آزمایشگاه، حسگرهای فراصوت با مبدل پیزوالکتریک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در شکل ۳ ساختار داخلی یک حسگر فراصوت با مبدل پیزوالکتریک نشان داده شده است.



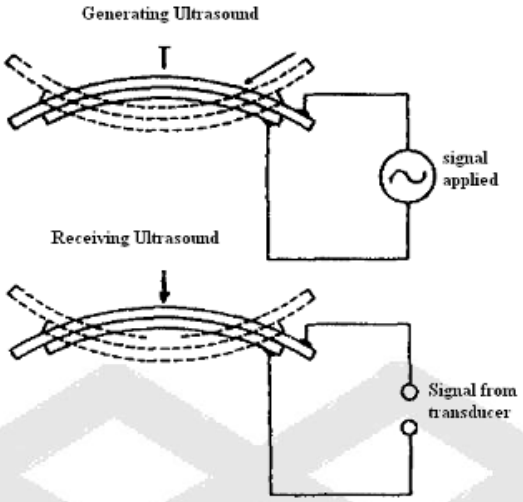
شکل ۳: ساختار داخلی یک حسگر فراصوت

شکل ۴ یک صفحه پیزوالکتریک را نشان می‌دهد.



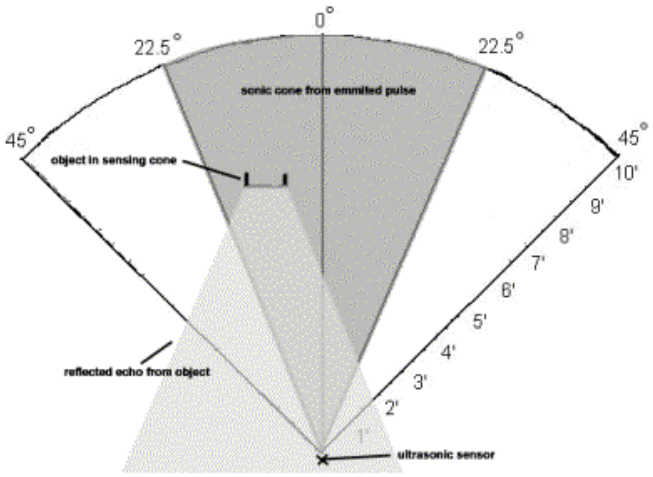
شکل ۴: اساس کار مبدل پیزوالکتریک

این صفحه کار تبدیل سیگنال الکتریکی به موج صوتی و برعکس را انجام می‌دهد، کافی است از مداری به صورت زیر استفاده شود:



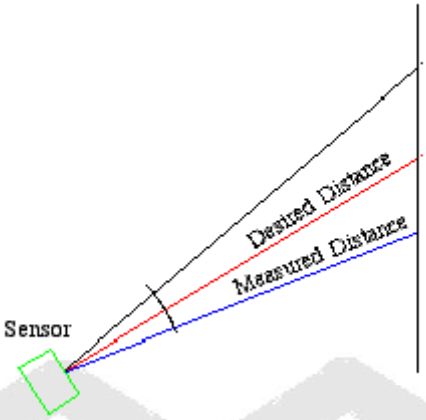
شکل ۵: اساس کار فرستنده و گیرنده فراصوت با مبدل پیزوالکتریک

امواج صوتی به صورت مخروطی از فرستنده خارج می‌شوند و بسته به نوع فرستنده، زوایای این مخروطی متفاوت خواهد بود. به عنوان نمونه، در شکل ۶ یک فرستنده فراصوت با زاویه مخروطی ۴۵° آورده شده است.



شکل ۶: زاویه مخروطی یک فرستنده فراصوت

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که سیگنال صوتی فرستاده شده، به هر جسم موجود در داخل این مخروطی برخورد کرده و بازتاب می‌شود. لذا یکی از معایب این حسگر این است که فاصله مستقیم را اندازه‌گیری نمی‌کند؛ برای مثال با توجه به شکل زیر، فاصله اندازه‌گیری شده توسط حسگر فراصوت کمتر از فاصله واقعی این حسگر از دیوار خواهد بود.



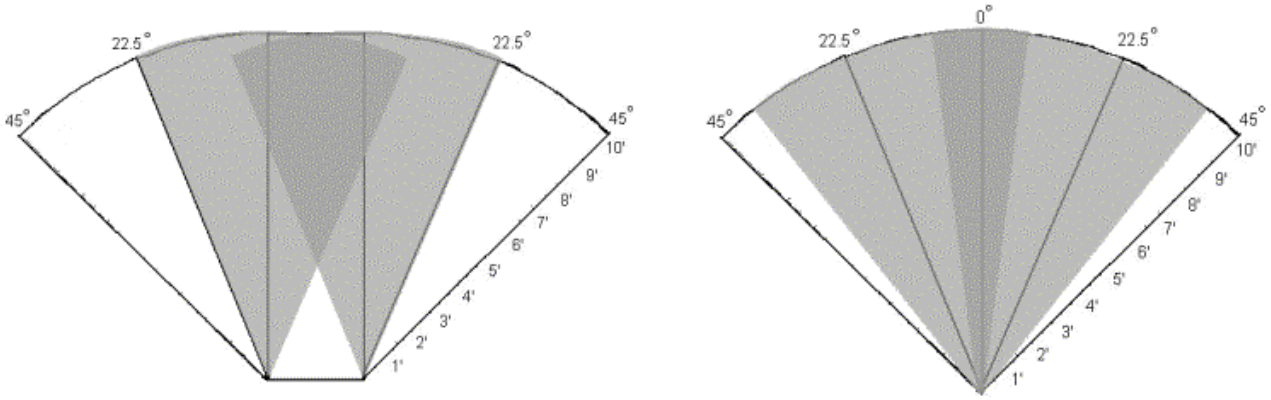
شکل ۷: فاصله اندازه‌گیری شده توسط حسگر فراصوت

برای رفع این مشکل دو راه پیشنهاد می‌شود:

۱- **استفاده از یک فرستنده دوار:** در این حالت، حسگر فراصوت به اندازه یک مقدار معین حول محور معینی می‌چرخد و لذا تنها فاصله اجسامی که در فصل مشترک چرخش واقع شوند محاسبه می‌شود.

۲- **استفاده از دو فرستنده در کنار هم:** در این حالت، تنها فاصله اجسامی که در فصل مشترک مخروطی‌ها واقع شوند محاسبه می‌شود.

این موضوع در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: اندازه‌گیری فاصله مستقیم با حسگر فراصوت

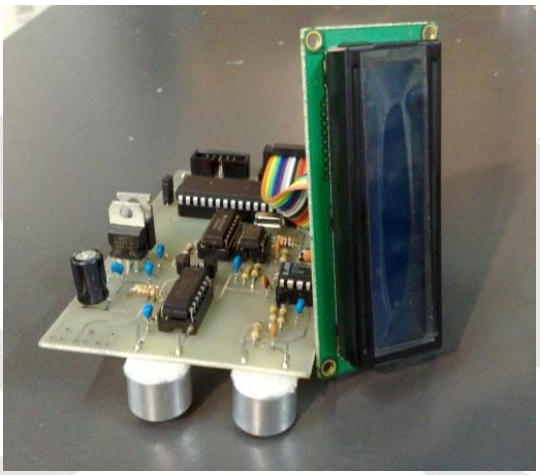
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بخش ۲– فعالیت آزمایشگاهی

۲-۱- بررسی مدار فرستنده و گیرنده

با توجه به اینکه مدار فرستنده و گیرنده کمی مفصل است و در مدت زمان آزمایشگاه قابل پیاده‌سازی نیست، از مدار آماده استفاده خواهد شد.

در شکل ۹ مدار اندازه‌گیری فاصله با حسگر فراصوت نشان داده شده است.



شکل ۹: مدار اندازه‌گیری فاصله با حسگر فراصوت

این مدار از سه قسمت کلی تشکیل شده است:

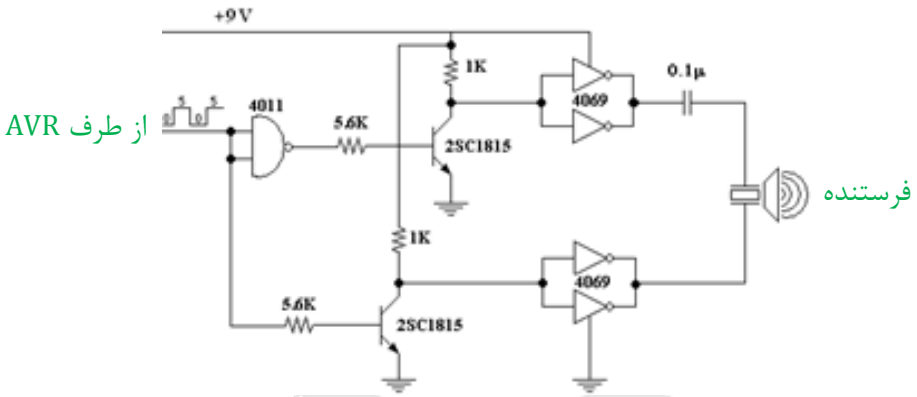
۲-۱-۱- قسمت مرکزی

میکروکنترلر AVR وظیفه این قسمت را بر عهده دارد. میکروکنترلر AVR ابتدا پالسی با فرکانس ۴۰ KHz را به مدار فرستنده میفرستد و همزمان یک تایمر را نیز فعال می‌کند. مدار فرستنده پالس دریافتی را به موج صوتی تبدیل می‌کند و موج صوتی فرستاده شده پس از برخورد به اولین مانع به سمت گیرنده بر می‌گردد. مدار گیرنده در صورت دریافت موج صوتی، آن را به سیگنال الکتریکی تبدیل کرده و نتیجه را به AVR ارسال می‌کند. میکروکنترلر AVR با دریافت سیگنال الکتریکی از مدار گیرنده، تایمر فعال شده را خاموش می‌کند و نهایتاً با محاسبه زمان رفت و برگشت و در نظر گرفتن سرعت صوت در هوا به محاسبه فاصله حسگرها تا مانع می‌پردازد.

پرسش ۱- با بررسی مدار، پایه‌هایی از AVR که مورد استفاده قرار گرفته‌اند را یادداشت نمائید.

۲-۱-۲- مدار فرستنده

در این بخش با اعمال پالس با فرکانس ۴۰ KHz با دامنه‌ی مناسب، پیزوالکتریک داخلی حسگر تحریک شده و به نوسان در می‌آید. نوسان این پیزوالکتریک باعث تولید امواج مافوق صوت با فرکانس ۴۰ KHz می‌شود. مدار فرستنده به صورت شکل ۱۰ می‌باشد.

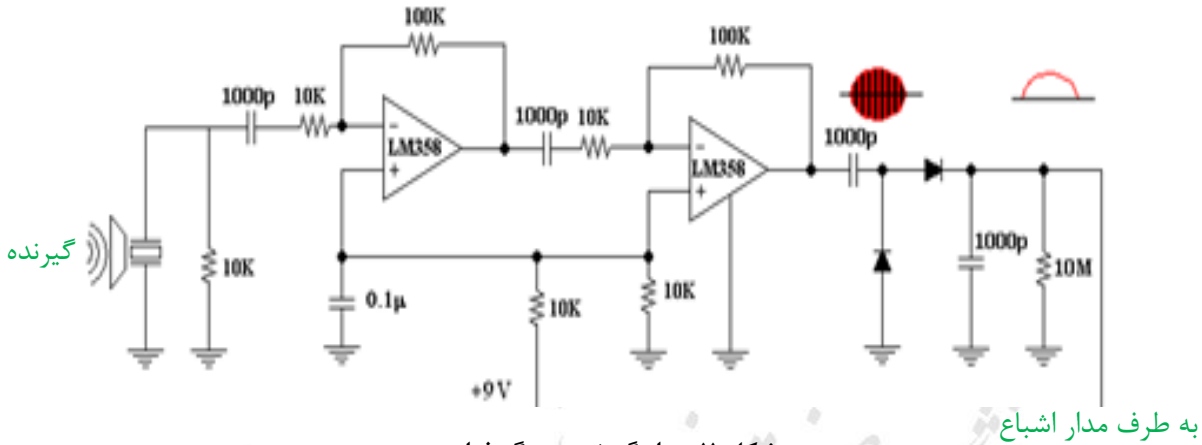


شکل ۱۰: مدار فرستنده حسگر فراصوت

پرسش ۲- مدار فرستنده را در مدار کلی پیدا کنید و مشخص کنید این مدار ورودی خود را از کدام پایه AVR دریافت می‌کند.

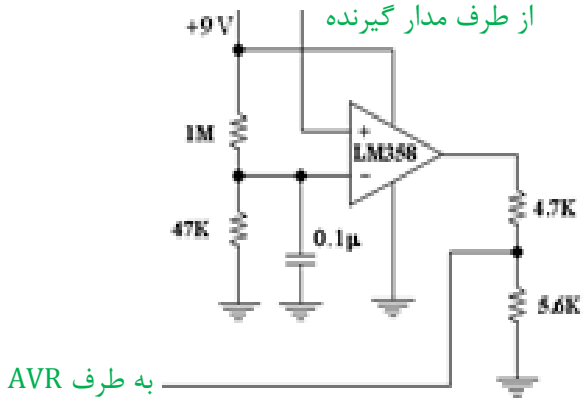
۲-۱-۳- مدار گیرنده

موج فرستاده شده توسط فرستنده پس از برخورد به اولین مانع، منعکس شده و بعد از مدتی وارد گیرنده می‌شود. در داخل گیرنده نیز پیزوالکتریک حساس به فرکانس ۴۰ KHz وجود دارد که با تحریک آن، در پایه‌های خروجی گیرنده ولتاژی به وجود می‌آید. ولتاژ به وجود آمده در خروجی حسگر گیرنده، بعد از تقویت و یکسوسازی وارد AVR می‌شود. مدار گیرنده در شکل ۱۱ نشان داده شده است:



شکل ۱۱: مدار گیرنده حسگر فراصوت

خروجی مدار گیرنده برای ورود به AVR از مدار اشباع رد می‌شود. مدار اشباع در شکل ۱۲ آورده شده است.



شکل ۱۲: مدار اشباع در مدار گیرنده

پرسش ۳- با بررسی مدار گیرنده مشخص کنید که خروجی این مدار به کدام پایه از AVR رفته است.

۲-۲- شرح آزمایش

۲-۲-۱- بررسی رفتار حسگر فراصوت

مراحل زیر را دنبال کنید:

۱- یک حسگر فرستنده و یک حسگر گیرنده فراصوت از مسئول آزمایشگاه دریافت کنید. پایه‌ای که به بدنه متصل می‌باشد، پایه زمین خواهد بود.

۲- با استفاده از مولد سیگنال[1] موجود بر روی میز کار، سیگنال سینوسی با فرکانس تقریبی ۴۰ KHz تولید کرده و آن را توسط کانال ۱ اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

۳- حسگر فرستنده را بر روی بِردبُرد قرار دهید و سیگنال سینوسی مرحله قبل را به دو سر آن اعمال کنید.

۴- دو سر حسگر گیرنده را به کانال ۲ اسیلوسکوپ وصل کنید و آن را دقیقاً روبروی حسگر فرستنده قرار دهید.

۵- حال به آرامی فرکانس سیگنال سینوسی را توسط مبدل سیگنال تغییر دهید تا اینکه دامنه سیگنال دریافتی بیشینه شود.

پرسش ۴- مقدار فرکانسی که حداکثر دامنه مشاهده می‌شود چقدر است؟

پرسش ۵- به آرامی حسگر گیرنده را در راستای مستقیم از حسگر فرستنده دور کنید، چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ علت تغییرات چیست؟

پرسش ۶- اگر علاوه بر دور کردن دو حسگر از همدیگر، کمی هم از راستای مستقیم منحرف شوید، چه اتفاقی می‌افتد؟

پرسش ۷- فرکانس سیگنال سینوسی را به کمتر از ۲۰ KHz برسانید، چه اتفاقی می‌افتد؟

[1] Signal Generator

۲-۲-۲- برنامه‌نویسی میکروکنترلر

در این قسمت می‌خواهیم برنامه AVR لازم برای اندازه‌گیری فاصله زیر 1 m و با دقت 1 mm را توسط حسگر فراصوت بنویسیم. برای این منظور، مراحل زیر را انجام دهید:

۱- در برنامه ویزارد، وقفه صفر را با لبه بالارونده، پایه ۶ پورت D را به صورت خروجی و پورت C را برای استفاده LCD تعریف کنید.

۲- در حلقه اصلی برنامه، الگوریتم زیر را پیاده‌سازی نمائید:

a. مقدار اولیه تایمر ۱ را برابر با صفر قرار دهید و سپس این تایمر را با فرکانس مناسب فعال نمائید.

توجه: مقدار تایمر ۱ در رجیستری به نام TCNT1 ذخیره می‌شود- فعال کردن تایمر ۱ با فرکانس مناسب توسط رجیستری به نام TCCR1B انجام می‌گیرد، که تنظیمات آن جداول زیر نشان داده شده است.

7	6	5	4	3	2	1	0	
ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 48. Clock Select Bit Description

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	$clk_{I/O}$/1 (No prescaling)
0	1	0	$clk_{I/O}$/8 (From prescaler)
0	1	1	$clk_{I/O}$/64 (From prescaler)
1	0	0	$clk_{I/O}$/256 (From prescaler)
1	0	1	$clk_{I/O}$/1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T1 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T1 pin. Clock on rising edge.

پرسش ۸- با فرکانس تایمر ۱ انتخاب شده، بدون سرریز تایمر ۱، حداقل و حداکثر چه فاصله‌ای را می‌توان اندازه گرفت؟

b. با انتخاب تأخیر مناسب در دستور delay_us، یک دسته پالس با فرکانس مناسب که گیرنده و فرستنده بیشترین حساسیت را در آن داشته باشند و طول آن برابر با ۳۰ تناوب زمانی باشد، تولید کنید.

c. با ایجاد تأخیر مناسب، منتظر فعال شدن وقفه خارجی باشید. روتین وقفه خارجی صفر را طوری بنویسید که با فعال شدن وقفه، تایمر ۱ غیرفعال شود و زمان سپری شده در داخل یک متغیر ذخیره شود.

d. در خط اول نمایشگر LCD، زمان رفت و برگشت موج صوتی را بنویسید.

e. به مرحله a برگردید.

۳- بعد از تکمیل برنامه و پروگرم کردن AVR، تغذیه‌ها را وصل کنید و با استفاده از یک اسیلوسکوپ ورودی مدار فرستنده و خروجی مدار گیرنده را چک کنید. آیا فرستنده و گیرنده به خوبی کار خود را انجام می‌دهند؟

۴- حال جدول زیر را کامل کنید:

زمان (us)	فاصله (cm)	زمان (us)	فاصله (cm)
	۴۵		۵
	۵۰		۱۰
	۵۵		۱۵
	۶۰		۲۰
	۶۵		۲۵
	۷۰		۳۰
	۷۵		۳۵
	۸۰		۴۰

پرسش ۹- در نرم‌افزار متلب و در جعبه ابزار برازش منحنی[1] (cftool)، فاصله را بر حسب زمان بکشید و یک چندجمله‌ای مرتبه اول به آن برازش کنید. شیب این نمودار چه چیزی را نشان می‌دهد؟

پرسش ۱۰- با استفاده از جعبه ابزار برازش منحنی، این بار زمان را بر حسب فاصله بکشید. عرض از مبدأ چندجمله‌ای برازش شده چه چیزی را نشان می‌دهد؟

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[1] Curve Fitting

۵- با توجه به سرعت صوت محاسبه شده، برنامه میکرو را طوری تغییر دهید که این بار با استفاده از رابطه $x = vt$ میزان فاصله تا مانع را نیز بر روی خط دوم نمایشگر LCD نمایش دهد و سپس جدول زیر را تکمیل کنید:

فاصله محاسبه شده (cm)	فاصله واقعی (cm)	فاصله محاسبه شده (cm)	فاصله واقعی (cm)
	۴۵		۵
	۵۰		۱۰
	۵۵		۱۵
	۶۰		۲۰
	۶۵		۲۵
	۷۰		۳۰
	۷۵		۳۵
	۸۰		۴۰

پرسش ۱۱- آیا اختلافی بین فاصله واقعی و فاصله محاسبه شده وجود دارد؟ به نظر شما علت این اختلاف در چیست؟ آیا همه این خطا را می‌توان با کالیبره کردن از بین برد؟

۶- حال سعی کنید برنامه میکروکنترلر را طوری تغییر دهید که در صورت مشاهده نشدن مانع، عبارت "No Data!!!" را بر روی صفحه LCD چاپ کند.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی