چهارمین کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر
۳۰ شهریور ماه ۱۴۰۰ - اصفهان
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۰۲۱۰-٤٠٧٤١

طراحی و شبیه سازی فرستنده و گیرنده دستگاه عیب یاب فراصوت

نیلوفر سیفی نیگجه، کارشناسی مهندسی برق-الکترونیک، nilooseyfi1375@gmail.com[1]

سوده عقلی مقدم، استادیار و عضو هیات علمی، aghli@shariaty.ac.ir[2]

چکیده

آزمون غیرمخرّب یک از کارآمدترین شیوه‌های تشخیص وجود یا عدم وجود عیب، نقص، ناپیوستگی، حفره، خراش و ... در مواد می‌باشد. روش-های مختلفی برای آزمون غیرمخرّب مواد وجود دارد که هریک کاربرد خاص خود را دارد. در بین انواع روش های آزمون غیرمخرّب، آزمون فراصوت (آلتراسونیک) یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش هاست. آزمون فراصوت به صورت گسترده ای، هم برای ارزیابی پزشکی و هم ارزیابی صنعتی به کاربرده می‌شود. در آزمون های غیرمخرّب کاربردهای صنعتی، امواج فراصوت برای شناسایی عیب و نقص های داخل و یا سطوح مواد و قطعات استفاده می‌شوند.

هدف از این مقاله طراحی، شبیه سازی و تحلیل مدارهای فرستنده و گیرنده امواج فراصوت پیزوالکتریکی با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز می‌باشد که در نهایت برای ساخت دستگاه عیب‌یاب فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز با کاربرد عیب‌یابی موادی از جنس فولاد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پیزوالکتریک فرستنده، امواج فراصوت ۴۰ کیلوهرتز را داخل جسمِ تحت بررسی ارسال می‌کند. این امواج پس از برخورد با عیب یا ترک داخل جسم و برگشت از آن، توسط گیرنده دریافت می‌شود.

در مدار گیرنده ارائه شده، برای تولید پالس پژواک با کیفیت از روی امواج پژواک دریافتی، از یک تقویت کننده و فیلتر میان گذر سه طبقه با فرکانس مرکزی ۴۰ کیلوهرتز و بهره ۱۰۰۰ استفاده شده است. همچنین در طراحی مدار فرستنده پوش-پول ارائه شده، محافظت از حسگر و قطعات اصلی در صورت از کار افتادن پردازنده لحاظ شده است. حفاظت از پردازنده در مدار گیرنده هم در نظر گرفته شده است. برای افزایش دقت نتیجه نهایی در شبیه سازی مدارهای فرستنده و گیرنده، اثر مدار معادل پیزو الکتریک نیز اعمال شده است.

در این مقاله ابتدا مفاهیم اولیه فراصوت و تکنیک های آزمون معرفی می‌شود. سپس با انتخاب روش آزمون فراصوت "پالس پژواک"، به طراحی و شبیه سازی مدارهای گیرنده و فرستنده در نرم‌افزارهای ارکد، کد ویژن و پروتئوس پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فراصوت (آلتراسونیک)، حسگر، پالس پژواک (اکو)، عیب یاب، پیزوالکتریک

[1] گروه برق، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

[2] گروه برق، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

۱- مقدمه

اگرچه همه‌ی روش‌های آزمون غیرمخرب ویژگی هایی دارند که برای کاربردهای خاصی می‌توانند استفاده شوند، اما آزمون فراصوت قابلیت های گسترده‌ای داشته و بهترین روش برای مشخصه سازی نقص‌های مواد می‌باشد. در آزمون فراصوت، امواج فراصوت معمولاً به وسیله‌ی کریستال پیزوالکتریک تحریک شده با یک پالس ولتاژ بالا، تولیدشده و به داخل ماده می‌روند. این امواج در صورت برخورد با هرگونه ناپیوستگی داخل ماده، ازجمله تَرَک‌ها بازتاب شده، بخشی از آنها توسط مبدّل (transducer) گیرنده دریافت شده و به سیگنال ولتاژ تبدیل می‌شود. از تفسیر شکل موج دریافتی می توان به سالم یا معیوب بودن قطعه‌ی تحت آزمون، محل ناپیوستگی‌ها و بعضی پارامترهای مهم قطعه، ازجمله ضخامت آن پی برد [۱].

دستگاه فراصوت انواع مختلفی دارد؛ به طور مثال هموژنایزر، دستگاه جوش، عیب یاب، حمام فراصوت و... . ایران نیز همانند سایر کشور های دنیا به دانش فنی ساخت این دستگاه ها دست یافته و به تولید آنها پرداخته است.

در این مقاله سعی شده است با استفاده از میکروکنترلر ساده و کاربردی سری AVR، بلوک‌های فرستنده و گیرنده یک دستگاه عیب یاب فراصوت ۴۰ کیلوهرتزی طراحی شود. برای ساخت دستگاه عیب یاب فراصوت با دقت و سرعت بالاتر، از پراب هایی با محدوده فرکانسی چند ده مگاهرتز استفاده می‌شود. در این فرکانس کاری، میکروکنترلرهای AVR دیگر پاسخگو نیستند و لازم است تا از پردازنده های FPGA استفاده‌شود. در پژوهش حاضر، به دلیل هزینه بالای تهیه پردازنده FPGA و پراب های فرکانس بالا، از پراب هایی با فرکانس کاری ۴۰ کیلوهرتز و میکروکنترلر AVR ATmega16 استفاده شده است.

۲- فراصوت

امواج صوتی در واقع به ارتعاشات یا نوسانات مکانیکی ذرات یک ماده یا یک محیط مانند یک گاز اطلاق می‌گردد. نوسانات مکانیکی ذرات ماده، دارای یک فرکانس مشخص می‌باشد که با واحد هرتز مشخص می‌گردد، که می تواند از چند هرتز تا چندین مگاهرتز متفاوت باشد. به عنوان مثال، گوش انسان قادر به شنیدن امواج صوتی در بازه 16kHz-20kHz می‌باشد که به آن، محدوده شنیداری یا Audible می گویند.

امواج صوتی تولید شده در بالای محدوده شنیداری انسان (بالای ۲۰ کیلوهرتز) امواج فراصوت یا آلتراسونیک نامیده می‌شود[۲].

امواج فراصوت در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند. از جمله کاربردهای این امواج عبارتند از:

- لیزر
- تولید بخار سرد
- تخلیه الکتریکی
- فرزکاری، تراشکاری
- ریخته گری
- شستشوی دقیق ظروف ازمایشگاهی
- سنجش عمق مخزن
- تعیین فشار خون بیمار
- همگن کردن مواد مذاب
- جوشکاری مواد غیر هم جنس [۳]
- آزمون کیفی قطعات صنعتی جهت تشخیص شکاف‌ها و سوراخ‌های ریز [۴]

این امواج در پزشکی نیز کاربردهای فراوانی دارد؛ از جمله: جراحی توسط چاقوی فراصوت، تخریب سلول‌های بدخیم، پیشگیری از پوسیدگی و عصب‌کشی دندان‌ها، شکستن سنگ کلیه، عمل آب مروارید چشم و ... [۳]

۲-۱- حسگر فراصوت

حسگر فراصوت نوعی حسگر صوتی است که از یک مبدل پیزو الکتریک (که بر روی سطح حسگر قرار دارد) برای فرستادن و همچنین گرفتن امواج صوتی استفاده می‌کند. وقتی که شیء مورد نظر در محدوده تابش امواج حسگر قرار می‌گیرد، امواج فرستاده شده به آن برخورد کرده و امواج پژواک تولید می‌شود. امواج پژواک به سمت حسگر برگشته و پس از دریافت توسط مبدل، خروجی حسگر را فعال می‌کند. مزیت اصلی این حسگرها، تشخیص اجسام صرف نظر از رنگ، شکل و سطح آن‌ها به وسیله امواج ما فوق صوت است[۳].

پیزوالکتریک، در واقع خاصیتی از ماده است که انرژی الکتریکی را به مکانیکی، و انرژی مکانیکی را به الکتریکی تبدیل می‌کند. کریستال های پیزو الکتریک، در اثر اعمال ولتاژ الکتریکی، شروع به نوسان نموده و تولید موج صوتی می‌نماید. از طرفی در اثر برخورد موج صوتی بازگشته از عیوب، دچار نوسان شده و این بار ولتاژ الکتریکی تولید می‌نماید.

در گذشته از مواد پیزوالکتریک طبیعی، مانند کوارتز و سولفات لیتیوم در پراب ها استفاده می‌گردید. اما امروزه از کریستال های پیزو الکتریک مصنوعی مانند تیتانات زیرکونات سرب، متانیوبات سرب، تیتانات باریم و نوع جدیدتر آنها که کریستال های کامپوزیتی هستند استفاده می‌گردد [۲].

از اثر پیزوالکتریک و اثر معکوس پیزو الکتریک هم برای تولید امواج فراصوت و هم دریافت این نوع امواج استفاده می‌شود.

۲-۲- آزمون عیب یابی فراصوت

در حین ساخت یک ماده یا قطعه، ممکن است انواع نقص ها با اندازه های متفاوت به وجود آید که ماهیت و اندازه دقیق این نقص، کارکرد آتی قطعه را تحت تاثیر قرار دهد. نقص های دیگری مانند ترک های ناشی از خستگی یا خوردگی، در حین کار با ماده نیز ممکن است به وجود آید. بنابراین برای آشکارسازی نقص ها در مرحله ساخت و همچنین برای آشکارسازی و مشاهده آهنگ رشد آنها در حین عمر کاری هر قطعه یا مجموعه، باید تست هایی انجام داد [۵].

هرگونه آزمونی که موجب آسیب دیدن قطعه شود و کارآیی آن را پس از آزمایش از بین برده یا کاهش دهد آزمون مخرب گفته می-شود[۵].

آزمون غیرمخرب (NDT)[1] یک ماده به معنی بررسی و ارزیابی آن، برای تشخیص وجود یا عدم وجود نقص های سطحی و داخلی، بدون تغییر و یا از بین بردن آن می‌باشد. اگرچه آزمون غیرمخرب یک قطعه نمی‌تواند تضمین کند که سیستمی که قطعه در آن به کاربرده می‌شود، دچار مشکل نخواهد شد، اما نقش بسیار مهمی در کاهش احتمال نقص و خرابی در قطعات و سیستمها دارد. از سال ۱۹۶۱ تا کنون آزمون غیرمخرب مواد رشد گسترده ای داشته است و نیاز به آن به دلایل زیادی از جمله امنیت تولید، تشخیص عیب در طول پروسه ی ساخت، کنترل کیفیت، نمایش سلامتی و ... اهمیت زیادی پیداکرده است.

استانداردهایی وجود دارد که نوع و اندازه ناپیوستگی های قابل قبول و غیرقابل قبول را مشخص می‌کند، اما اگر روش به کار گرفته شده در آزمون غیرمخرب روش مناسبی نباشد یا به صورت صحیح انجام نگیرد، نمی‌توان به نتایج به دست آمده از آزمون اعتماد کرد. از این آزمون می‌توان برای اندازه گیری بعضی پارامترهای خاص از جمله ضخامت قطعه ی تحت آزمون نیز بهره برد.

روش های مختلفی برای آزمون غیرمخرب وجود دارد که بسته به نوع قطعه‌ی تحت آزمون و هدف آزمون انتخاب می‌شوند. هرکدام از این روشها کاربردهای خاص خود را دارد. ازجمله مهمترین این روشها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آزمون بینایی (VT)[2]
- آزمون فراصوت (UT)[3]

[1] Nondestructive Testing
[2] Visual Testing
[3] Ultrasonic Testing

- آزمون ذرات نافذ [1](PT)
- آزمون ذره مغناطیسی [2](MT)
- آزمون پرتو نگاری [3](RT)
- آزمون جریان گردابی [4](ET)
- آزمون نشر صوتی [5](AE)

همه‌ی روش‌های آزمون غیرمخرب مزایا و معایبی دارند و در حالت کلی از همه‌ی آنها می‌توان برای اندازه گیری پارامترهای وابسته به فیزیک ماده، استفاده کرد، اما ویژگی هایی از جمله سرعت بازرسی، امنیت، دقت و احتمال تشخیص ناپیوستگی و ناهمگونی های این روش ها متفاوت است. به عنوان مثال آزمون ذره‌ی مغناطیسی و آزمون جریان گردابی برای ارزیابی ناپیوستگی‌های فرسوده ترجیح داده می‌شوند، درحالیکه آزمون فراصوت و آزمون رادیوگرافی برای تفسیر ناپیوستگی های داخل مواد بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند [۱].

آزمون فراصوت، یکی از روش های آزمون غیرمخرب (NDT) محسوب می‌گردد. آزمون غیرمخرب به آزمونی اطلاق می‌گردد، که بدون تخریب قطعه، آن را مورد آزمون قرار داده و خواص و عیوب داخل آن را تعیین کند. در آزمون غیر مخرب فراصوت، امواج صوتی با فرکانس بالا، بوسیله یک پراب با کریستال پیزوالکتریک تولید شده و وارد قطعه می‌گردد. در اثر برخورد این امواج به یک فصل مشترک داخل قطعه، مانند عیوب داخلی قطعه و یا دیواره پشت قطعه، این امواج انعکاس یافته، به پراب برگشته و بدون تخریب قطعه، اطلاعاتی از داخل قطعه فراهم می‌آورد.

اطلاعات حاصله از طریق تحلیل دو پارامتر حاصل می‌گردد، که این دو پارامتر شامل زمان پرواز موج داخل قطعه (Sound path) در مسیر رفت و برگشت، و دامنه موج دریافتی (Amplitude) می‌باشد.

از جمله اطلاعاتی که در این آزمون می‌توان به دست آورد، ضخامت سنجی و شناسایی عیوب داخلی در قطعات می‌باشد.

در فرایند عیب یابی، از طریق اندازه گیری تغییرات نسبی در دامنه سیگنال های دریافتی از عیوب، می‌توان اندازه عیوب را به دست آورده و یا مقدار استهلاک صوت داخل قطعات را محاسبه نمود. میزان تغییرات نسبی در دامنه سیگنال، معمولا به صورت دسی بل بیان می-گردد [۲].

۲-۳- انواع تکنیک های آزمون فراصوت

تکنیک های آزمون ها با توجه به سه معیار اساسی زیر دسته بندی می‌شوند:

۱- نوع کمیت اولیه اندازه گیری شده

۲- شکل موج تابشی مورد استفاده (موج پیوسته یا پالس ها)

۳- اثر تابش امواج فراصوت در ماده مورد آزمایش یا روی سطح آن.

که در ادامه به شرح مختصری از برخی روش‌ها خواهیم پرداخت.

روش پالس پژواک، مهمترین روش آزمون فراصوت می‌باشد. در این روش، زمانی که عیب ماده، مورد تابش توسط امواج فراصوت پالسی قرار می‌گیرد، یک پژواکی باز می‌تاباند که توسط پراب گیرنده جمع آوری می‌شود. مقادیر اصلی اندازه گیری شده توسط این روش، دامنه سیگنال پژواک و زمان عبور این پالس از فرستنده به عامل منعکس کننده و برگشت آن تا گیرنده می‌باشد.

اگر فقط از زمان عبور یا یک فرکانس مشابه استفاده شود تا دامنه فقط به حداقل مقدار قابل تشخیص برسد، روش زمان انتقال داریم. اگر در روش کلی پالس پژواک، از موج فراصوت پیوسته به جای پالس استفاده شود، ما روش تشدید یا روش اندازه گیری فاز را داریم که در آنها عیوب ماده همچنان به صورت بازتابنده هایی عمل می‌کنند.

---

[1] Penetrant Testing

[2] Magnetic Particle Testing

[3] Radiographic Testing

[4] Eddy Current Testing

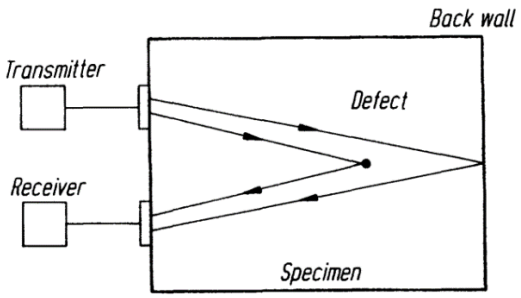
[5] Acoustic Emission Testing

در روش سایه، همانطور که در روش های تشخیصی اشعه ایکس معروف است، عدم تطابق بین فرستنده و گیرنده، سایه ای ایجاد می‌کند که بر دامنه صدا تأثیر می‌گذارد. به این روش تکنیک عبوری نیز گفته می‌شود و مقدار اصلی برای اندازه گیری، دامنه است. این روش، می تواند با هر دو نوع امواج صوتی صدای پیوسته و یا پالسی مورد استفاده قرار بگیرد.

اگر علاوه بر دامنه، فاز صدای دریافتی نیز اندازه گیری شود، ما روشی به نام هولوگرافی صوتی را داریم. اصولاً تمام روش های ذکر شده در بالا ممکن است برای روش های تصویربرداری، با پردازش الکترونیکی بیشتر مقادیر اولیه، برای تشکیل تصویر، مورد استفاده قرار بگیرند. در روش تجزیه و تحلیل انتشار صوتی مقادیر اصلی، دامنه ها و زمان های انتقال پالس انرژی صوتی هستند. با روش مدولاسیون فرکانس، عیب به عنوان عامل بازتاب عمل می‌کند، همانند روش اکو پالس، اما از موج پیوسته با فرکانس مدوله شده متناوب استفاده می‌شود [۶].

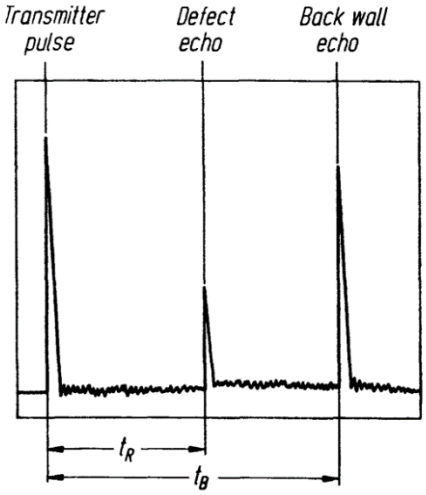
۲-۴- قاعده کلی آزمون فراصوت

شکل ۱ نمونه از روش کلی فراصوت را نشان می‌دهد. موج منتشر شده فراصوت از یک نوسان میرا تشکیل شده است که به وسیله ی یک پراب، تولید شده و داخل یک نمونه منتشر می‌شود. قسمتی از امواج در صورت برخورد با مانع (عیب) بازتاب می‌شوند. اگر این مانع خیلی بزرگ نباشد، باقی امواج داخل نمونه جلوتر می‌روند و در صورتی که به انتهای نمونه برخورد کنند بازتاب شده و اگر گیرنده در جای مناسب قرار گرفته باشد، این امواج توسط گیرنده دریافت می‌شوند. شکل ۲ سیگنال برگشتی از عیب یا مانع را که گیرنده دریافت می‌کند، به همراه سیگنال ارسالی و سیگنال برگشتی از انتهای نمونه، روی یک محور افقی از صفحه لامپ اشعه کاتدی[1] نشان می‌دهد. محور افقی بیانگر زمان است که مدت زمان پالس برگشتی از مانع و پالس برگشتی از انتهای نمونه را نسبت به پالس فرستاده شده بیان می‌کند [۶].



شکل۱- نمونه ای از روش پالس پژواک [۶]

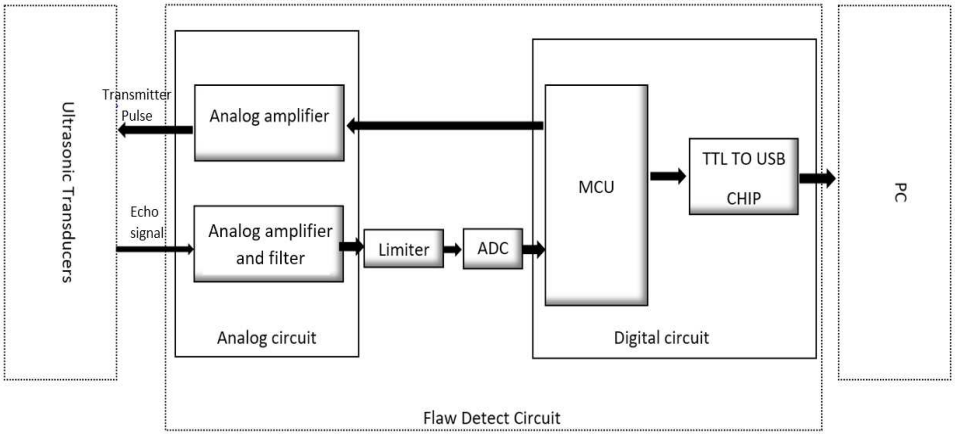
[1] Cathode-ray tube



شکل ۲- سیگنال های فرستنده و گیرنده روی لامپ اشعه کاتدی [۶]

۳- سیستم عملی فراصوت

شکل۳ بلوک دیاگرام دستگاه عیب یاب[1] فراصوت را که به روش آزمون پالس پژواک در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته شده است؛ نمایش می دهد. در ادامه به شرح هر قسمت پرداخته می شود.



شکل ۳- بلوک دیاگرام عیب یاب فراصوت

باید به این نکته توجه کرد که هدف نهایی از این پژوهش، عیب یابی در نمونه قطعات فولادی است که فرکانس مناسب برای عیب یابی دقیق آن حدود چند مگاهرتز می‌باشد. برای تولید این فرکانس، به پردازنده‌های قوی تری مثل ARM و یا FPGA و همین طور پیزوالکتریک های با فرکانس ارتعاشی بالا نیاز می‌باشد. در واقع هرچه فرکانس بالاتر باشد، حساسیت کریستال های پیزوالکتریک برای تشخیص عیوب

[1] Flaw Detector

بیشتر خواهد شد. اما به دلیل قیمت بالای این نوع از مبدل های پیزوالکتریک و پردازنده ها، در این مقاله از میکروکنترلرهای AVR سری Atmega و همچنین پیزوالکتریک هایی با فرکانس کاری ۴۰ کیلوهرتز استفاده شده است.

سرعت صوت در مواد مختلف متفاوت بوده و در فولاد حدود $5800\frac{m}{s}$ [۲] می‌باشد که از رابطه‌ی (۱) مقدارλ برابر با حدودا 0.15 متر خواهد شد. در این رابطه، V سرعت صوت در ماده، f فرکانس طبیعی ارتعاش پراب و λ طول موج می‌باشد. طول موج صوتی، عامل اصلی و تعیین کننده حساسیت یک پراب و به عبارت دیگر، تعیین کننده حساسیت آزمون است. حساسیت یا sensitivity یک آزمون عبارت است از اندازه کوچکترین عیبی که به وسیله یک روش یا تکنیک، قابل شناسایی باشد. در آزمون فراصوت، حساسیت آزمون برابر نصف طول موج می-باشد[۲]. با توجه به این نکته، حساسیت حسگر ۴۰ کیلوهرتزی در عیب یابی قطعات فولادی، 7.5 سانتی متر است و فقط توانایی تشخیص عیوبی را دارد که طولشان بیشتر از این مقدار است، .

$$\lambda=V/f \quad (1)$$

۳-۱- میکروکنترلر

میکروکنترلر (بلوک MCU در شکل ۳)، واحد اصلی در سیستم عیب یاب است و چندین وظیفه دارد:

- تولید قطار پالس 40KHz و ارسال به پراب فرستنده
- دریافت پالس برگشتی تولید شده توسط پراب گیرنده
- انتقال پالس برگشتی به سیستم نمایشگر

میکروکنترلر باید هر چند ثانیه یک بار،یک قطار پالس حدوداً ۵ تایی با فرکانس 40KHz به فرستنده ارسال کند. زمان بین قطارهای پالس کاملا به طراح مدار بستگی دارد؛ یعنی با توجه به قدرت و سرعت تحلیل سیستم و نمایشگر و همین طور نیاز آزمایش این زمان می تواند تا ۲۴ ساعت افزایش پیدا کند. تعداد پالس های یک قطار نیز به تضعیف مسیر و اینرسی حسگر ها بستگی دارد. اگر تضعیف مسیر و اینرسی حسگر ها کم باشد، یک پالس هم کافی است.

برای دریافت پالس برگشتی، باید پالس پژواک وارد قسمت ADC میکروکنترلر بشود. در میکرو کنترلر ATmega16 از نقش دوم پایه ای پورت A یعنی ADC0 تا ADC7 به عنوان ورودی ADC استفاده می‌شود.

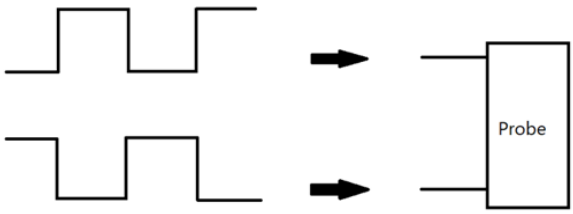
برای انتقال پالس برگشتی به سیستم نمایشگر از یک ماژول مبدل استفاده می‌شود. برای این ارتباط میتوان از ماژول TTL به USB استفاده کرد. این ماژول برای تبدیل TTL به USB معمولا از چیپ های FT232, PL2303, CH340G, CP2102 استفاده می‌کند.

۳-۲- تقویت کننده آنالوگ فرستنده

از دیگر بلوک های سیستم عیب یاب، تقویت کننده آنالوگ (Analog Amplifiers) می باشد.

پراب های فرستنده برای اینکه بتوانند ولتاژ دو سر خود را به امواج فراصوت با فرکانس بالا تبدیل کنند، باید پالس هایی با ولتاژ بالا دریافت کنند. هرچه فرکانس کاری ارتعاش پراب ها بزرگتر باشد، به ولتاژهای بالاتری تا ۱۰۰ ولت نیاز است. نمونه ای از این پراب ها، در شکل ۴ قابل مشاهده است. این پراب ها هم به عنوان فرستنده و هم به عنوان گیرنده می‌توانند استفاده شوند، ضد آب هستند و برای عملکرد صحیح باید در تماس با جسم قرار گیرند. باید توجه کرد که هریک از پایه های فرستنده باید ولتاژ متقارن دریافت کنند، یعنی دامنه پالس ورودی به یکی از پایه ها V+ و دامنه ورودی به پایه دیگر V– باید باشد. شکل ۵ این مساله را نشان می‌دهد.

شکل ۴- نمونه پراب[1] گیرنده و فرستنده فراصوت



شکل ۵- پالس ورودی به پایه های پراب

موج تحریک کریستال پیزوالکتریک پراب، در اصل باید یک موج سینوسی با فرکانسی که در منحنی مشخصه پیزو دارای شدیدترین پیک است، باشد. اما در عمل، می توان از هر نوع موج تحریک دیگری نیز که کمترین هارمونیک ها و فرکانس های اضافی را داشته باشد، استفاده کرد. با این توضیح و به منظور سادگی ساخت، می‌توان از پالس متقارن استفاده کرد. همچنین باید در نظر گرفت که خود کریستال پیزوالکتریک یک فیلتر بسیار تیز محسوب می‌شود و می‌تواند هارمونیک های اصلی را تبدیل به انرژی صوتی کند. در نتیجه، تحریک پالسی فرق چندانی با تحریک سینوسی ندارد.

دامنه موج تحریک، براساس نوع و فرکانس کاری پیزوالکتریک پراب و همچنین فاصله تا موانع یا هدف موردنظر و نوع محیط امواج (ماده نمونه) تعیین می‌شود. البته مقدار این دامنه بیشتر تجربی است و لذا باید در عمل امکان تغییر یا انتخاب مقادیر مختلف پیش بینی شود.

در این پژوهش، با توجه به فرکانس کاری پیزوالکتریک های مورد استفاده که ۴۰ کیلوهرتز می‌باشد، دامنه پالس ها بزرگتر مساوی ۱۲ ولت در نظر گرفته شده است.

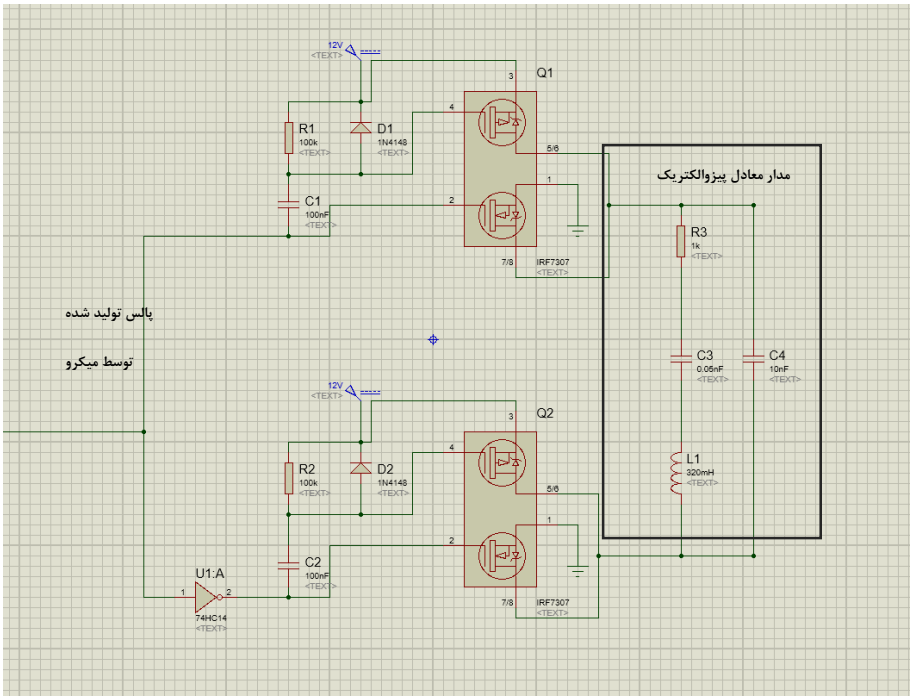
جهت ساخت پالس ولتاژ بالا، به کمک دو ساختار پوش-پول از ماسفت های P-MOS و N-MOS با شماره قطعه IRF7307 بهره گرفته شده است. همچنین برای اینکه به یکی از پوش-پول ها پالس معکوس شده برای تقویت وارد شود، از تراشه 74hc14 برای معکوس کردن پالس استفاده شده است.

ماسفت ها با توجه به سرعت بالای سوئیچینگ و مقدار ولتاژ تغذیه در انتخاب شده اند.

در شکل ۶ مدار تقویت‌کننده فرستنده به همراه مدار معادل پیزوالکتریک، که در نرم افزار پروتئوس شبیه سازی شده است، مشاهده می‌شود.

در ورودی این مدار در مقایسه با مدار فرستنده ارائه شده در مرجع [۷] از خازن و دیود برای حفاظت استفاده شده است. از آنجایی که روش کار مدار پوش پول به گونه ایست که دائما طبق پالس ورودی یکی خاموش و دیگری روشن است؛ در حالتی که پردازنده از کار بیافتد و ورودی ثابت DC به حسگر پیزوالکتریک وارد شود، ممکن است به سلامت آن آسیب وارد شود. خازن برای حفاظت از پیزوالکتریک در این مدار استفاده شده است. همچنین دیود از ماسفت ها حفاظت می کند تا ولتاژ بیشتر از ولتاژ تغذیه وارد آنها نشود.

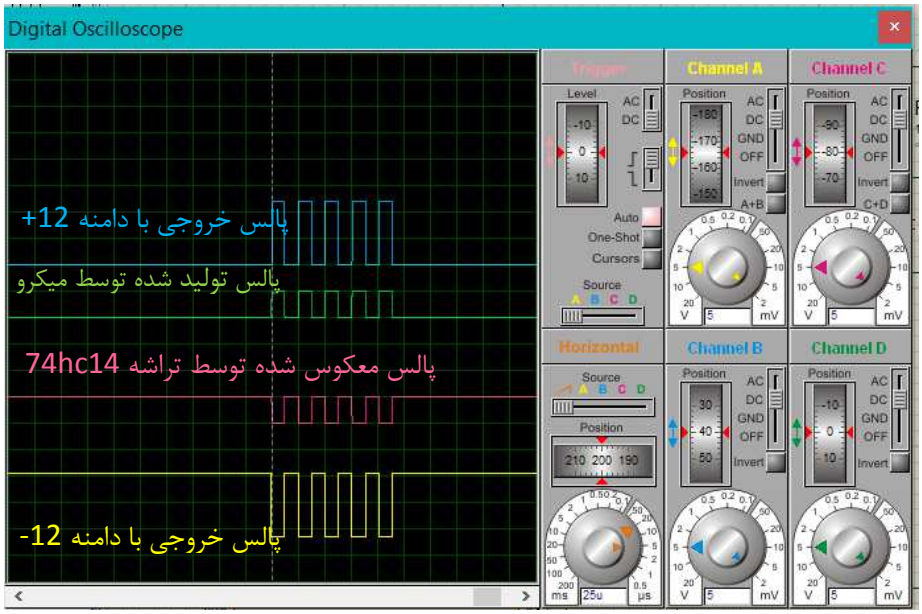
[1] Ultrasonic transducer



شکل ۶- شماتیک مدار فرستنده در پروتئوس

شکل ۷ خروجی قسمت های مختلف مدار را، وقتی که پالس ۴۰کیلوهرتز به آن وارد می‌شود، نشان می دهد.

سیگنال سبزرنگ پالس تولید شده توسط میکروکنترلر و ورودی به تقویت کننده آنالوگ، سیگنال صورتی‌رنگ پالس معکوس‌شده توسط تراشه 74HC14، و سیگنال‌های زردرنگ و آبی‌رنگ پالس‌های مثبت و منفی تقویت‌شده به اندازه ۱۲ ولت و ورودی به دو سر کریستال پیزوالکتریک پراب می‌باشد.

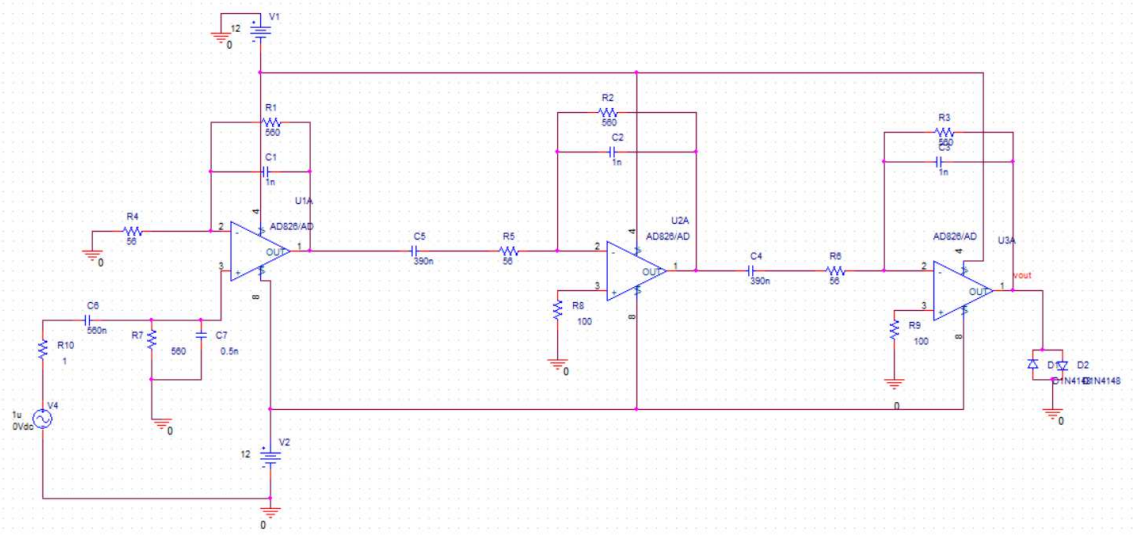


شکل ۷- سیگنال های ورودی و خروجی مدار فرستنده (شبیه سازی شده در پروتئوس)

۳-۳- فیلتر و تقویت کننده گیرنده (Analog Amplifier and filter)

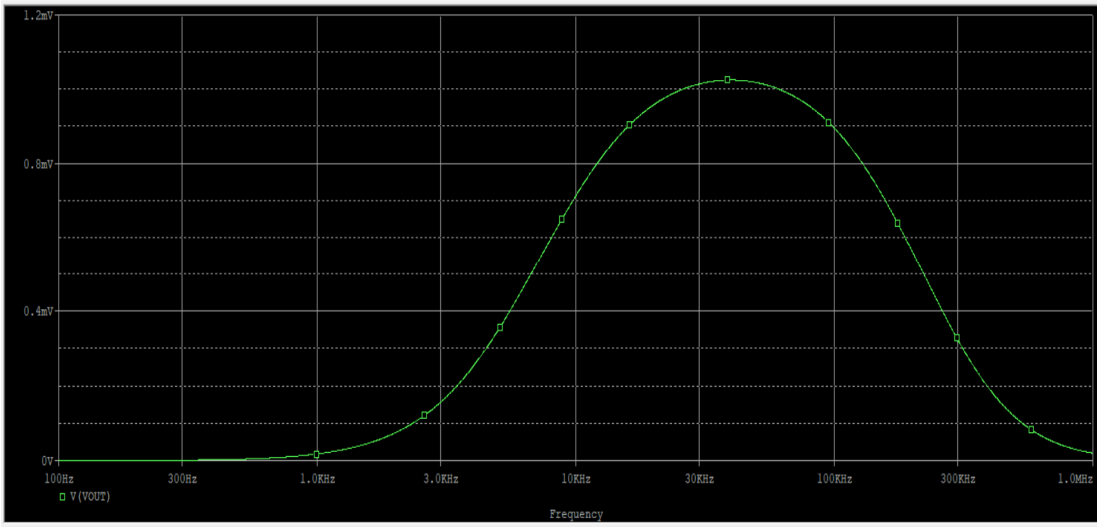
پالس پژواک دریافتی توسط گیرنده، دامنه بسیار کوتاهی در حد میکروولت داشته و دارای نویزهای محیطی می‌باشد. در قسمت گیرنده از سه طبقه فیلتر میان گذر (ترکیبی LP+HP) استفاده شده است. در هرطبقه از این تقویت کننده، دامنه ۱۰برابر شده و در نهایت این مدار، دامنه پالس پژواک تضعیف شده را تا ۱۰۰۰ برابر تقویت می‌کند. در این مدار، از آپ امپ های ADM826 برای تقویت کنندگی استفاده شده است. تغذیه ورودی این آپ امپ ها ۱۲ولت می‌باشد بنابراین هر طبقه فقط تا ۱۲ ولت می‌تواند تقویت کند. پهنای باند این فیلتر حدودا ۱۴۰ کیلوهرتز با فرکانس مرکزی ۴۰ کیلوهرتز می‌باشد.

شکل۸ مدار فیلتر و تقویت کننده گیرنده که در نرم افزار اورکد شبیه سازی شده است، مشاهده می‌شود.



شکل ۸- شماتیک مدار فیلتر و تقویت کننده گیرنده در ارکد

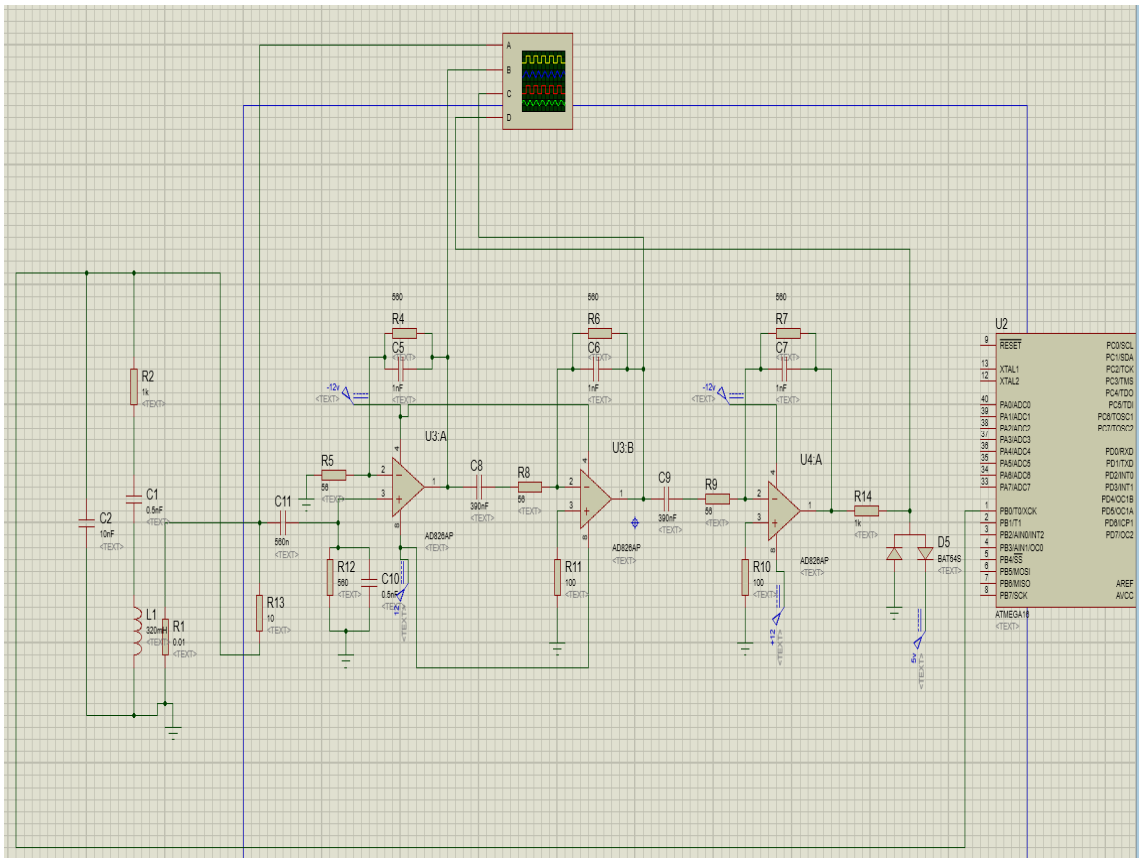
برای مشاهده میزان تقویت کنندگی و پهنای باند فیلتر به ورودی یک منبع ac با دامنه 1u داده شده است. شکل ۹، پهنای باند و بهره فیلتر و تقویت کننده را نمایش می دهد.



شکل ۹- پهنای باند فیلتر گیرنده (شبیه سازی در ارکد)

برای شبیه سازی عملکرد کامل مدار گیرنده، آن را در نرم افزار پروتئوس شبیه سازی کرده و همان قطار پالس ورودی را تا دامنه ۲ میلی ولت تضعیف کرده وبه عنوان یک قطار پالس پژواک ایده آل و بدون نویز به مدار معادل پیزوالکتریک گیرنده وارد کرده‌ایم.

شکل ۱۰ شماتیک مدار گیرنده را همراه با مدارمعادل کریستال پیزوالکتریک گیرنده و میکروکنترلر ATmega16 در نرم افزار پروتئوس نشان می دهد.

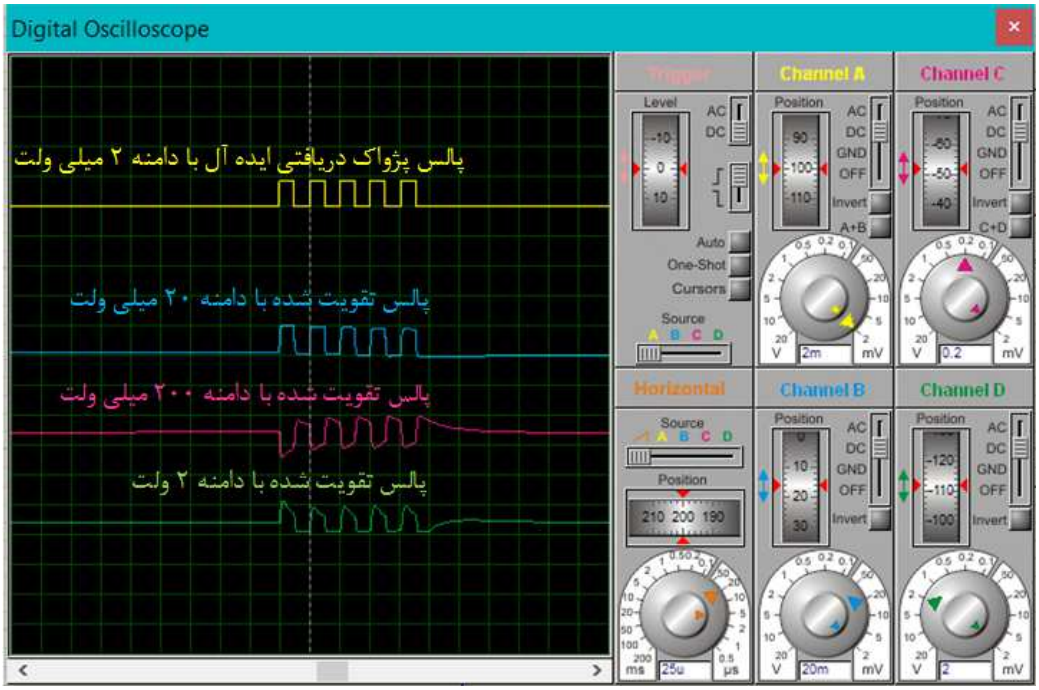


شکل ۱۰- شماتیک مدار گیرنده در پروتئوس

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، مقدار مقاومت R10 یک اهم می باشد، ولی در شکل ۱۰همان مقاومت (R13) به مقدار ۱۰ اهم تغییر کرده و مقاومت R1 با اندازه 0.01 اهم اضافه شده است. این دو مقاومت به منظور کاهش دادن ولتاژ قطار پالس ورودی از ۵ ولت به ۲ میلی ولت و مشابه ساختن آن با پالس پژواک واقعی تغییر کرده است. زیرا همانطور که گفته شد، در عمل پالس پژواک دامنه بسیار کمی دارد و پس از سه طبقه تقویت به ۲ ولت می‌رسد.

در شکل ۱۱، خروجی هر طبقه از تقویت کننده خروجی روی اسیلوسکوپ پروتئوس نمایش داده شده است.

در این شکل، سیگنال زردرنگ، پالس پژواک دریافتی پیزوالکتریک با دامنه ۲ میلی ولت، سیگنال آبی‌رنگ، پالس پژواکِ ده برابر تقویت شده و به ۲۰ میلی ولت رسیده، سیگنال صورتی‌رنگ پالس پژواکِ صدبرابر تقویت شده و در نهایت سیگنال سبزرنگ که پالس پژواکِ هزار برابر تقویت شده و به ۲ ولت رسیده مشاهده می شود.



شکل ۱۱- سیگنال های ورودی و خروجی طبقات مدار گیرنده (شبیه سازی شده در پروتئوس)

۴- نتیجه گیری

آزمون فراصوت یکی از پرکاربردترین روش‌های آزمون غیرمخرب می‌باشد. در این مقاله، بعد از معرفی امواج فراصوت و کاربردهای آن، به بررسی حسگرها و مبدل‌های کریستال پیزوالکتریک فراصوت، ماهیت عیب یابی و روش‌های آزمون فراصوت پرداخته شد. سپس به صورت کامل مدارهای قسمت های فرستنده و گیرنده یک دستگاه عیب یاب فراصوت با فرکانس کاری ۴۰ کیلوهرتز به همراه نتایج شبیه سازی آنها، ارائه و تشریح شد.

مدار فرستنده و گیرنده ارائه شده در این مقاله با در نظرگرفتن خطاها و نویزهای احتمالی که ممکن است در حین کار مدارها رخ دهد و عملکرد و سلامت قطعات را به خطر بیاندازد، طراحی شده است. علاوه بر این، مدار گیرنده دارای پهنای باند باریکتری نسبت به موارد مشابه خود بوده و نویزهای سیگنال پژواک را بهتر فیلتر می کند. در نتیجه پردازنده، با خطای کمتری قادر به تشخیص سیگنال پژواک و محاسبه مکان عیب یا مانع در نمونه تحت بررسی خواهد بود.

اطلاعات به دست آمده در این پژوهش، می تواند تا حدود زیادی به علاقه مندان به ساخت دستگاه عیب یاب آلتراسونیک کمک کند.

مراجع

[۱] امینی ولاشانی، مجید، "طراحی و شبیه سازی الگوریتم حذف نویز تصاویر B- اسکن آزمون فراصوت"، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، اسفند ۱۳۹۴

[۲] "تئوری تست آلتراسونیک"،
https://pejvakrayan.com/%d8%aa%d8%a6%d9%88%d8%b1%db%8c-%d8%aa%d8%b3%d8%aa-%d8%a2%d9%84%d8%aa%d8%b1%d8%a7%d8%b3%d9%88%d9%86%db%8c%da%a9/

[۳] "آلتراسونیک چیست و چه کاربردهایی دارد؟"،
http://nabat.biz/%d8%a7%d9%84%d8%aa%d8%b1%d8%a7%d8%b3%d9%88%d9%86%db%8c%da%a9-%da%86%db%8c%d8%b3%d8%aa-%d9%88-%da%86%d9%87-

%da%a9%d8%a7%d8%b1%d8%a8%d8%b1%d8%af%e2%80%8c%d9%87%d8%a7%db%8c%db%8c-%d8%af%d8%a7%d8%b1%d8%af/

[۴] "سنسور آلتراسونیک"،
https://www.kiamtal.com/%D8%AF%D8%B3%D8%AA%D9%87-%D8%A8%D9%86%D8%AF%DB%8C-%D9%85%D8%AD%D8%B5%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%AA/%d8%b3%d9%86%d8%b3%d9%88%d8%b1-%d8%a2%d9%84%d8%aa%d8%b1%d8%a7%d8%b3%d9%88%d9%86%db%8c%da%a9

[۵] "مقایسه تست های مخرب با غیر مخرب"،
https://ppt.ir/slide/%D9%85%D9%82%D8%A7%DB%8C%D8%B3%D9%87-%D8%AA%D8%B3%D8%AA-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D9%85%D8%AE%D8%B1%D8%A8-%D8%A8%D8%A7-%D8%BA%DB%8C%D8%B1-%D9%85%D8%AE%D8%B1%D8%A8/

[6] Josef krautkramer, and Herbert krautkramer, *ultrasonic testing of material*, 4rd Edition, England, 1990

[۷] منصوری، داوود، "سنسور آلتراسونیک"، زیرنظر استاد آیتی، ۱۳۸۹