طراحی و ساخت دستگاه تمیز کننده فلزات با استفاده از امواج آلتراسونیک

نویسندگان: طاهره پورسیف- t.pourseif@gmail.com –کارشناسی ارشد برق دانشگاه شهید بهشتی
دیانا معالجی، پرنیان مبهوت، ملیکا کجوری
راحیل اکبری- akbari.rahil@gmail.com

چکیده: امروزه در صنعت پزشکی، غذایی، خودروسازی، طلاسازی و سیستم‌های مجهز به بردهای الکترونیکی مانند صنایع نظامی، برای تمیز کردن و شستن قطعات به ویژه قطعات ظریف از آلتراسونیک (امواج فراصوت) استفاده می‌کنند. این امواج توسط مبدل پیزوالکتریک تولید می‌شود، بدین صورت که برای به حرکت درآوردن این قطعه از یک مدار راه‌انداز استفاده می‌شود که با دادن پالسی که دارای فرکانس رزنانس خود مبدل میباشد به ورودی مدار پیزو، مرتعش شده و امواج تولید میگردند. درپی تولید این امواج و انتقال آن به آب حاوی مایع شوینده عملیات شستشو انجام می‌گردد. در این مقاله به طراحی و ساخت سیستمی با این ویژگی‌ها پرداخته شده است که عملکرد مناسب این سیستم در تمیز کردن زیورآلات و قطعات فلزی را نشان داده است.

کلید واژه: امواج آلتراسونیک، پیزوالکتریک، مدار راه‌انداز پیزوالکتریک، کاویتاسون، مایع الما

۱- مقدمه

در سال ۱۸۷۶ میلادی ، فرانسیس گالتون برای اولین بار پی بوجود امواج فراصوت برد. در زمان جنگ جهانی اول کشور انگلستان برای کمک به جلوگیری از غرق شدن غم انگیز کشتی‌هایش توسط زیردریاییهای کشور آلمان در اقیانوس آتلانتیک شمالی دستگاه کشف‌کننده زیردریایی‌ها به کمک امواج صوتی به نام Sonar ابداع کرد. این دستگاه امواج فراصوت تولید می‌کرد که در پیدا کردن مسیر کشتی-ها استفاده می‌شد.

این تکنیک در زمان جنگ جهانی دوم تکمیل گردید و بعدها بطور گسترده‌ای در صنعت این کشور برای آشکار سازی شکاف‌ها در فلزات و سایر موارد مورد استفاده قرار می گرفت. بخاطر کاربرد بخصوصی که انعکاس صوت در جنگ و صنعت داشت Sonar به علم پزشکی وارد شد و تبدیل به یک وسیله تشخیصی بزرگ در علم پزشکی گردید[۱].

گوش انسان قادر است موج‌های صوتی با فرکانس ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ سیکل در ثانیه را بشنود موج های صوتی با فرکانس کمتر از ۲۰ سیکل در ثانیه را اینفراسونیک (فرو صوت) و به دسته‌ای از امواج مکانیکی که فرکانس نوسانشان بیش از محدوده شنوایی انسان (۲۰ کیلو هرتز) باشد امواج اولتراسونیک (فراصوت) گفته میشود. این امواج بدلیل خواصی که دارند کاربردهای متنوع وبعضاً جالبی دارند. امواج صوتی که کاربرد صنعتی دارند حداکثر ۱۰۰.۰۰۰ سیکل در ثانیه است. موج اولتراسونیک با عبور یک جریان الکتریکی (معمولاً ۶۰ سیکل متناوب) از یک ژنراتور مناسب که مبدل تراندیوسر[۵] نام دارد ایجاد می‌شود. در حالت کلی دو نوع تراندیوسر موجود است که که نوع اول از طریق اجسام و نوع دوم از طریق هوا منتشر می‌شوند. در این مقاله این امواج از طریق اجسام که پیزوالکتریک منتقل‌کننده آن است، منتشر می‌شوند [۲].

امواج آلتراسونیک، کاربردهای مختلفی داشته که به اختصار توضیح داده خواهد شد. جوشکاری اولتراسونیک روشی متداول و فراگیر در کشورهای پیشرفته و صنعتی است.

[۵] Transducer

برای جوشکاری عمدتا قطعات پلاستیکی و بعضا قطعات فلزات بوده و در دسته‌بندی روش‌های جوشکاری زیر مجموعه روش جوشکاری با گرم کردن داخلی مکانیکی می‌باشد[۳-۴]. یکی دیگر از کاربردهای آن، فرآیند مدرن ماشینکاری مکانیکی می‌باشد. این فرآیند به منظور ماشینکاری مواد سخت و یا شکننده (رسانا و غیررسانا) که سختی آن‌ها معمولا بیش از ۴۰ RC است به کار گرفته می‌شود. این روش ماشینکاری از یک ابزار به شکل معین و حرکت مکانیکی با بسامد بالا و یک دوغاب ساینده استفاده می‌کند[۵]. در USM برداشت مواد توسط دانه‌های ساینده‌ای صورت می‌گیرد که به وسیله یک ابزار در حال ارتعاش (به صورت عمود بر سطح قطعه‌کار) به حرکت واداشته شده‌اند[۶]. در [۷-۸] نخستین دستگاه تولید کننده امواج فراصوت در پزشکی ، در سال ۱۹۳۷ میلادی توسط دوسیک اختراع شد و روی مغز انسان امتحان شد. اگر چه آلتراسونیک در ابتدا فقط برای مشخص کردن خط وسط مغز بود، اکنون بصورت یک روش تشخیصی و درمانی مهم در آمده و پیشرفت روز به روز انواع نسل‌های دستگاه-های تولید آلتراسونیک ، تحولات عظیمی در تشخیص و درمان در علم پزشکی بوجود آورده است. در بررسی‌های تشخیصی با امواج فراصوت، صوت با فرکانس بسیار زیاد از یک مبدل مماس با پوست به داخل بدن فرستاده می‌شود. برای ایجاد تماس صوتی خوب، ماده ژله مانندی روی پوست مالیده می‌شود. هنگامی که صوت از داخل بد عبور می‌کند توسط فعل مشترک بافت‌ها انعکاس می‌یابد تا اکوهایی ایجاد نماید که توسط همان مبدل جذب می‌شوند و به یک علامت الکتریکی تبدیل می‌گردند. در صنایع غذایی نحوه استفاده از امواج آلتراسونیک به دو گونه با شدت بالا و پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. با شدت پایین برای اندازه‌گیری ضخامت، تشخیص جسم خارجی، اندازه‌گیری فلوریت، تعیین ترکیبات متشکله، اندازه ذرات، و غیره استفاده می-گردد و با شدت بالا برای تغییر ویژگی‌های مواد غذایی نظیر هموژنیزه کردن، تمیز کردن، استریل کردن، حرارت دادن، امولسیفیه کردن، مهار فعالیت آنزیم‌ها و میکروب‌ها و متلاشی کردن سلول، تشدید واکنش‌های اکسیداسیون، اصلاح گوشت، اصلاح کریستالیزاسیون، و . . . استفاده می-شود[۹-۱۰].

آنچه در این مقاله مورد بررسی، طراحی، ساخت و تحلیل قرار گرفته است، استفاده از امواج فراصوت در شستشوی قطعات فلزی ظریف مانند طلا و بردهای الکترونیکی حساس می‌باشد. در این مقاله، سیستمی طراحی شده که نمونه ایرانی آن در بازار موجود نمی‌باشد، دارای طراحی آسان، شامل دو حالت کاری پیزوالکتریک که امواج با شدت پایین و بالا تولید شده و برای هم قطعات سنگین و هم قطعات ظریف کاربرد دارد. سیستم فوق به دلیل طراحی آسان، از قطعات کمتری استفاده شده لذا مقرون به صرفه بوده و نسبت به مدل‌های خارجی ارزان‌تر و نگهداری و تعمیر آن ساده‌تر می‌باشد. همچنین مصرف انرژی پایینی داشته و مناسب با محیط زیست به دلیل کاهش آلودگی-هایی همچون کاهش حجم آب آلوده و استفاده نکردن از مواد شیمیایی مضر می‌باشد.

پیکره‌بندی این مقاله بدین صورت می‌باشد که بعد از بخش مقدمه، در بخش بعدی به معرفی سیستم تمیزکننده پرداخته می‌شود. سپس در بخش سوم طراحی سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک، بیان می‌شود که دارای دو بخش اصلی آنالوگ و دیجیتال می‌باشد. در بخش مورد نظر مدار راه‌انداز پیزوالکتریک طراحی شده و در نهایت عملکرد کلی سیستم نمایش داده شده است. در نهایت در بخش چهارم به نتیجه‌گیری در مورد عملکرد مناسب سیستم نسبت به نمونه‌های خارجی پرداخته شده است.

۲- معرفی سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک

۲-۱ بخش‌های اصلی سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج فراصوت

یک سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج فراصوت، از سه بخش اصلی زیر تشکیل شده است:

۱) مجموعه‌ای از ترانسدیوسرهای آلتراسونیک که روی دیافراگم مشترک و درون یک جعبه آب بندی شده قرار گرفته‌اند

۲)یک مولد الکتریکی موج‌های تحریک ترانسدیوسر یا همان تقویت‌کننده

۳) یک تانک محتوی محلول شوینده .

با توجه به سه بخش فوق، جزء کلیدی این سیستم ترانسدیوسر است که انرژی ارتعاشی مکانیکی با فرکانس بالا تولید می‌کند. دو نوع ترانسدیوسر آلتراسونیک وجود دارد که در نوع اول از پیزوالکتریک‌ها برای تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی استفاده می‌شود و در دومی از خاصیت مغناطیسی مواد برای این منظور استفاده می‌گردد. فرکانس‌های مورد استفاده در شستشوی آلتراسونیک در محدوده ۲۰ کیلو هرتز تا بیش از ۱۰۰ کیلو هرتز هستند. فرکانس‌های معمول در شستشوی صنعتی بین ۲۰ کیلو هرتز تا ۴۰ کیلو هرتز می‌باشد. فرکانس‌های بیش از ۵۰ کیلو هرتز معمولاً در ماشین‌های شستشوی آلتراسونیک رومیزی مثلاً در جواهرسازی یا دندانپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند .مولد انرژی الکتریکی، معمولاً ولتاژ ۱۰۰ ولت را با فرکانس مورد نظر برای رزونانس، تولید می‌نماید. این مولد مجهز به سیستم یافتن فرکانس رزونانس و تغییر فرکانس در محدوده مشخصی حول فرکانس رزونانس برای جلوگیری از ایجاد نقاط کور شستشو درون تانک می‌باشد. محلول شستشو، معمولاً یک حلال می‌باشد که با آن مواد پاک‌کننده مخلوط شده است. برای افزایش بازده شستشو درجه حرارت محلول تا حدود ۷۰ درجه سانتیگراد بالا برده می‌شود و در باند تغییرات کوچکی کنترل و حفظ می‌گردد. سیستم فیلتراسیون ذرات مختلف آلودگی را از محلول جدا می‌نماید.

معمولاً آلودگیها در منافذ، زبری‌ها، فرورفتگی‌ها، گوشه‌ها و کنج‌های قطعات به سطح قطعه می‌چسبند و جدا کردن آنها به سادگی امکان‌پذیر نیست. حتی مواد شیمیایی در شرایط گرم نیز به راحتی قادر به زدودن این آلودگی‌ها نیستند و برای این منظور باید زمان زیادی را با روش‌های شیمیایی صرف کرد. اما با کاویتاسیون ناشی از انفجار میلیون‌ها حباب بخار آب یا ماده حلال با دفعات بیش از ۲۰ هزار بار در ثانیه، از سوی سیستم‌های آلتراسونیک، این آلودگی‌ها متلاشی و پراکنده می‌شود و اگر حلال وجود داشته باشد به راحتی در آن حل می‌شوند.

اصول کلی این روش مبتنی بر غوطه‌وری قطعات مورد نظر در یک مایع واسطه است که این مایع، به وسیله یک مولد امواج آلتراسونیک با فرکانس و شدت بسیار بالایی مرتعش می‌شود و کاویتاسیون به وجود آمده، عمل شستشو و پاک کردن قطعه را انجام می‌دهد. برای سرعت در شستشوی قطعات از محلول شستشویی استفاده می‌کنند که نام این شوینده مایع الما است .شکل ۱ نمایی از این مایع را نشان داده است[۱۱].



شکل۱- مایع الما، مایع شستشوی سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک

۲-۲ مزیت‌های سیستم تمیز کننده طراحی شده

۱) امکان شستشوی قطعات در زمان بسیار کوتاه

۲) آسیب نرساندن به قطعه، اجزا و سطوح آن

۳) نیاز نداشتن به کار نیروی انسانی به صورت دستی

۴) عملکرد دقیق و قابل اطمینان و شستشوی حفره‌ها، مجراهای تنگ و نیز گوشه‌های غیر قابل دسترس با بازده زیاد

۵) کم مصرف بودن هم از لحاظ مواد شوینده و مصرفی و هم از لحاظ انرژی، بدین صورت که دستگاه‌های آلتراسونیک فوق‌العاده کم مصرف هستند، توان مصرفی این دستگاه‌ها ۲ وات یعنی معادل ۳٪ توان مصرفی یک لامپ کم مصرف معمولی است، لذا توان مصرفی هر دستگاه حدود ۲ وات و در یک ماه مساوی با ۱۴۸۸ وات می‌باشد که بسیار اندک است.

۶) حداقل آلودگی محیط زیست

۷) امکان انجام عمل شستشو در تمام محل‌های مورد نیاز این محل‌ها طیف گسترده‌ای از اتاق عمل و آشپزخانه

و آزمایشگاه‌ها تا محیط‌های آلوده تولید صنعتی را شامل می شود .

۸) همزمانی شستشوی قطعات زیاد با هم

۹) امکان تنظیم سیستم برای شرایط کاری و قطعات مختلف

۱۰) قابلیت اتوماسیون

۱۱) شکست باند اتصال پلیسه‌های ظریف

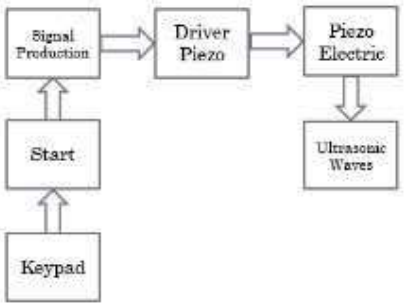
۱۲) کاهش فوق‌العاده زیاد هزینه شستشو

۱۳) این سیستم قادر است قطعات بسیار ظریف در ابعاد میکرون یک هزارم میلیمتر تا قطعات بزرگی مانند بدنه خودرو را با طراحی مناسب سیستم، شستشو نماید.

۱۴)عمر دستگاه‌هایی که با امواج آلتراسونیک کار می‌کند بین ۱۰ تا ۱۵ سال می‌باشد.

۳- طراحی سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک

طراحی سیستم فوق دارای دو بخش است: بخش آنالوگ و بخش دیجیتال. در بخش آنالوگ مداری طراحی می‌گردد که پیزوالکتریک را به حرکت درآورد و بر اساس آن امواج آلتراسومیک تولید شوند. در بخش دیجیتال، باید نیرویی ورودی بخش آنالوگ داده شود تا مدار راه افتاده و پیزوالکتریک را به حرکت درآورد. نیروی وارد شده باید پالس مربعی باشد، لذا در بخش دیجیتال به تولید این پالس پرداخته می‌شود. شکل ۲ بلوک دیاگرام سیستم تمیز کننده را نمایش داده است.



شکل۲- بلوک دیاگرام سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک

با توجه به شکل فوق، برای تولید امواج آلتراسونیک نیاز به مدار راه‌انداز پیزوالکتریک جهت تحریک آن و همچنین تولید پالس مربعی برای راه کار انداختن مدار راه‌انداز است. لذا سیستم فوق دارای هم بخش آنالوگ و هم بخش دیجیتال می‌باشد.

۳-۱ طراحی بخش آنالوگ

۳-۱-۱ پیزوالکتریک

پیزوالکتریسیته از واژه یونانی Piezin به معنی فشار مشتق می‌شود. اعمال فشار به برخی کریستال‌ها مانند کوارتز یا برخی سرامیک‌ها الکتریسیته تولید می‌کند. فشار یا تنش مکانیکی وارد شده به برخی کریستال‌ها باعث جابه‌جایی دو قطبی‌های ایجاد شده و پدید آمدن میدان الکتریکی می-شود. آرایش یون‌های مثبت و منفی، تعیین‌کننده ایجاد یا عدم ایجاد اثر پیزوالکتریسیته است[۱۲]. به همین دلیل اثر پیزوالکتریسیته یا ایجاد جریان الکتریسیته القایی توسط وارد کردن فشار، در مواد کریستالی که مرکز تقارن ندارند، ایجاد میشود. شکل ۳ نوعی از این سنسورها را نمایش داده است [۱۳].

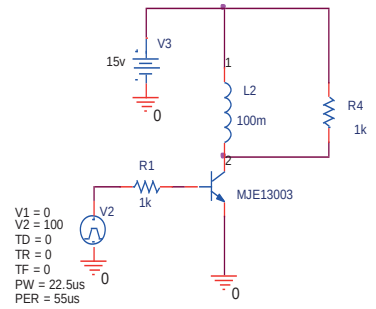


شکل۳- پیزوالکتریک نوع سرامیک استفاده شده در سیستم

۳-۱-۲ مدار راه‌انداز پیزوالکتریک

با توجه به توضیح بخش قبل با دادن پالس الکتریکی به پیزوالکتریک، باعث تحریک آن و درآخر تولید امواج آلتراسونیک شده و این امواج وظیفه شستشوی قطعات را دارند. پالسی که داده می‌شود به پیزو به اندازه‌ای باید باشد که باعث تحریک آن شود ،پس پالسی به این مدار داده می‌شود که مدار راه‌انداز پیزوالکتریک گفته می‌شود. یک پیزو باید در فرکانس رزنانس به حرکت در بیاید یعنی پالسی

که تولید شده است همان فرکانس رزنانس می‌باشد. آنچه در این طراحی مورد استفاده قرار گرفته است، پالس دومی است که از هارمونیک دوم پیزو تولید شده است و در واقع سیستم فوق در دو فرکانس کاری، کاربرد دارد. کار کردن پیزو در فرکانس رزنانس باعث می‌شود با کمترین انرژی بیشترین دامنه را داشته باشد، یعنی این انرژی صرف سوئیچ کردن شود تا بهترین دامنه را داشته باشد. شکل ۴ مدار راه‌انداز پیزوالکتریک را نمایش داده است.



شکل۴- مدار راه‌انداز ساده پیزوالکتریک

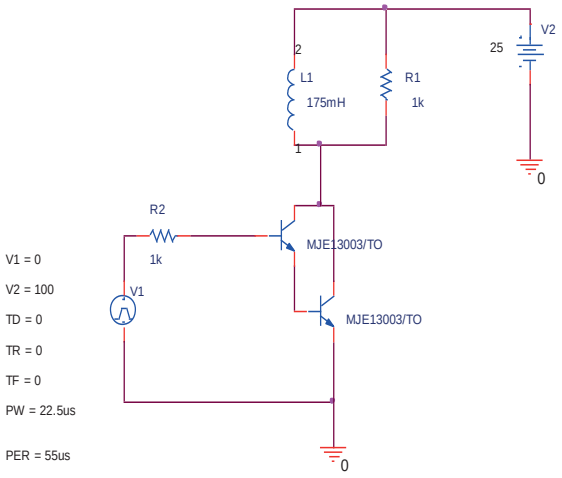
مدار فوق برای راه‌اندازی پیزوالکتریک طراحی شده است. با دادن پالسی حدود ۵۵میکرو ثانیه یعنی فرکانسی معادل ۱۸ کیلو هرتز به مدار پیزو باید حرکت مکانیکی ظریفی داشته باشد به طوریکه وقتی ذرات ریز شن روی پیزو ریخته می‌شود ،این ذرات به حرکت درآمده و از کناره‌های پیزو ریخته شود. همچنین جای پیزوالکتریک مقاومتی تقریبا ۱کیلو در کلکتور قرار داده شده است، که خروجی مدار پیزوالکتریک می‌باشد.

۳-۱-۳ اجزای اصلی مدار راه‌انداز پیروالکتریک

- ترانزیستورMJE13003

به دلیل بالا بودن میزان فرکانس داده شده به سیستم، باید از ترانزیستوری استفاده شود که در فرکانس‌های بالا سوئیچینگ می‌شود. همچنین پیزوالکتریک با ولتاژ بالا کار می‌کند، لذا ترانزیستوری که انتخاب می‌شود باید در برابر ولتاژهای بالا مقاوم باشد[۱۴]. در نتیجه از ترانزیستور MJE13003 استفاده می‌گردد. ترانزیستور مورد نظر توانی معادل ۷۰۰ وات و جریانی برار با ۰.۵ تا ۱.۵آمپر را تحمل می‌نماید.

برای بهتر سوئیچ کردن ترانزیستور از دو ترانزیستوربه صورت دارلینگتون استفاده می‌شود. شکل۵ مدار راه‌انداز دارلینگتون دو ترانزیستور را نمایش داده است.



شکل۵- مدار راه‌انداز دارلینگتون

با توجه به مدار فوق، در حالت دارلینگتون میزان بتا β که ضریب تقویت آن نامیده می‌شود، افزایش می‌یابد یعنی β دو ترانزیستور در هم ضرب می‌شود $\beta = \beta_1 \times \beta_2$ در نتیجه با توجه به فرمول:

$$I_C = \beta I_B \qquad (1)$$

مقدار جریان بیس کاهش یافته وبا توجه به مقدار ثابت جریان کلکتور ترانزیستور بهتر سوئیچ می‌شود. باید دقت کرد که این ترانزیستور در حالت اشباع و قطع کار می‌کند. عملکرد ترانزیستور به این صورت است که با آمدن پالس ۱ترانزیستور درحالت اشباع قرار می‌گیرد و روشن است و با آمدن پالس صفر ترانزیستور قطع و خاموش می‌باشد. هنگامیکه در حالت اشباع است، به صورت یک تقویت‌کننده عمل کرده و باعث تحریک پیزوالکتریک می‌گردد.

- سلف

همانگونه که بیان شد، پیزوالکتریک با ولتاژ بالا کار می‌کند ،این ولتاژ بالا را سلف برای پیزو فراهم می‌کند به این صورت که هنگامیکه پالس ۱ وارد مدار می‌شود، مدار جریان داشته در نتیجه ترانزیستور روشن می‌شود و جریان داخل سلف ذخیره می‌گردد، همچنین ولتاژ ۲۵ ولت دو سر سلف افتاده اما چون این ولتاژ برای بکار افتادن پیزوالکتریک کافی نیست، پس هیچ حرکتی ندارد. زمانی که پالس صفر وارد

مدار می‌شود جریان نداشته، در نتیجه ترانزیستور قطع شده و حالت مدار باز ایجاد می‌گردد، در اینصورت جریان داخل سلف بطور پیوسته آزاد می‌شود که به این جریان I_{L_0} گویند.

فرموی ولتاژسلف برابراست:

$$V_L = L\frac{di}{dt} \qquad (2)$$

که در زمان گذر پالس از ۱ به ۰ وقتی از جریان مشتق گرفته شود ولتاژی بسیار زیاد دو سر سلف میافتد (در واقع جریان بصورت لحظه‌ای است) و باعث به حرکت درآمدن پیزوالکتریک می‌کند. سلفی که در این مدار استفاده شده است باید در برابر ولتاژ بالا تحمل داشته باشد. لذا برای پیدا کردن مقدار سلف از روش زیر استفاده می‌گردد:

پیزوالکتریک مثل یک خازن می‌باشد به طوریکه دارای دو صفحه فلزی است که وسط آن دی‌الکتریک قرار دارد پس می‌توان ظرفیت این خازن را با مولتی‌متر بدست آورد که ۲.۸ نانو فاراد می‌باشد، این پیزوالکتریک با سلف تشکیل یک مدار تانک را می‌دهند که در فرکانس رزنانس کار می‌کند، در نتیجه فرکانس رزنانس پیزو را دانسته که ۱۸کیلو هرتز است، پس با توجه به فرمول زیر مقدار سلف بدست می‌آید:

$$f = \frac{1}{\sqrt{2\times\pi\times LC}} \qquad (3)$$

$$L = \frac{1}{2\times\pi\times 2.8\times10^{9}\times18000^{2}}$$

$$L = 175mL \qquad (4)$$

پس مقدار این سلف را بین ۱۷۵ تا ۲۰۰ میلی هانری می‌توان در نظر گرفت.

- ترانس وپل دیودی:

برای اینکه مدار شروع به کار کند باید آن را به برق شهر وصل می‌شود، لذا از یک ترانس۹ ولت سه سر استفاده شده است که یک سیم قرمز با سبز ۹ ولت و سیم دیگر قرمز با سبز ۹ ولت دیگر می‌دهد، دراینجا به دلیل نیاز به ولتاژ بالا، هردو سیم قرمز را به مدار وصل کرده تا ۱۸ولت شود، اما ازآنجایی که برق شهر AC و منبع تغذیه مدار DC می‌باشد، لذا باید این۱۸ولت AC رابه DC تبدیل نمود، درنتیجه نیاز به یکسوکننده که مبدل AC به DC است، می‌باشد[۱۵].

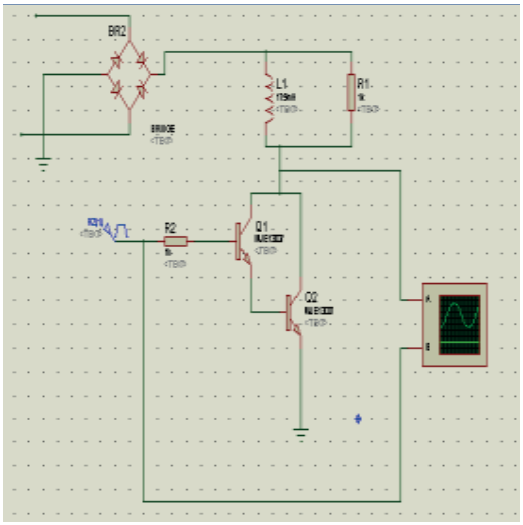
در ادامه از یک پل دیودی برای یکسوسازی استفاده می‌گردد، در این صورت مقدار ولتاژ DC برابراست با:

$$18\times\sqrt{2} = 25.2 \qquad (5)$$

این $\sqrt{2}$ بدلیل آنست که ۱۸ولت rms دارد که برای تبدیل به DC در$\sqrt{2}$ ضرب می‌شود.

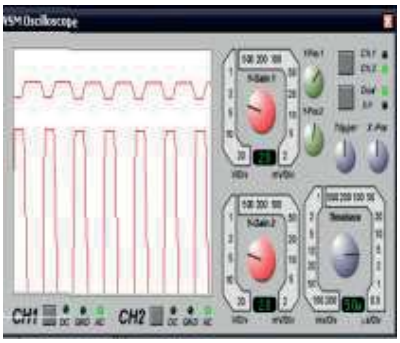
۳-۱-۴ شبیه‌سازی مدار راه‌انداز پیزوالکتریک

در این بخش، پس از معرفی قطعات لازم برای طراحی مدار راه‌انداز، مدار فوق را شبیه‌سازی کرده و خروجی را مشاهده می‌نماید. شکل۶ شبیه‌سازی مدار راه‌انداز پیزوالکتریک در محیط پروتئوس را نشان می‌دهد.



شکل۶- شبیه‌سازی مدار راه‌انداز

با توجه به شکل فوق، با تولید پالس مربعی به عنوان ورودی به مدار از طریق کانال A، خروجی مدار که پیزوالکتریک است و کانال B میباشد باید حرکت کرده و سبب تولید امواج آلتراسونیک شود. شکل ۷ خروجی مدار راه‌انداز را با دادن ورودی پالس مربعی نمایش داده است.



شکل۷- خروجی شبیه‌سازی مدار راه‌انداز

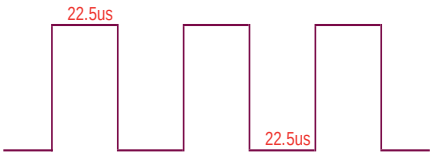
۳-۲ طراحی بخش دیجیتال

در بخش دیجیتال، پالس ورودی به مدار راه‌انداز را با استفاده از میکرو AVR در محیط کدویژن ساخته می‌شود. با وارد کردن عدد ۳رقمی بوسیله Keypad آن روی LCD نمایش داده و تا زمانیکه کلید Start کیپد فشارداده نشده، بخش دیجیتال خاموش است و با فشار دادن کلید 'S' که مخفف کلید Start است سیستم شروع به کار میکند، بدین صورت که عدد ۳رقمی به صورت نزولی روی LCD نمایش داده میشود ودر طول این مدت پالس تولید شده روی یکی از پایه‌های پورت خروجی میکرو atmega32 قرار می‌گیرد. با تمام شدن مقدار عدد ۳ رقمی پالس تولید شده قطع می‌شود و مدار از کار میفتد. دراینجا ۲ پالس تولید می‌شود، بنابراین ازکلید ON/OFF استفاده شده است. به طوریکه اگر حالت کلید را تغییر دهیم مقدار پالس نیز تغییر می‌کند.

ابتدا پالس‌های مربعی متناسب با فرکانس کاری پیزوالکتریک طراحی می‌شود. با توجه به اینکه فرکانس‌های کاری پیزوالکتریک برابر با کیلو هرتز ۱۸ وکیلو هرتز ۳۸ است، لذا دوره تناوب آن به صورت زیر است:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{18KHz} = 5.5\times10^{-5} = 55\ us \qquad (6)$$

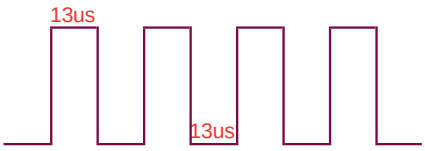
با توجه به فرمول بالا، یعنی ۲۲.۵ میکرو ثانیه روشن و ۲۲.۵ میکرو ثانیه خاموش است که در شکل ۸ نشان داده شده است:



شکل۸- پالس ۱۸ کیلو هرتز

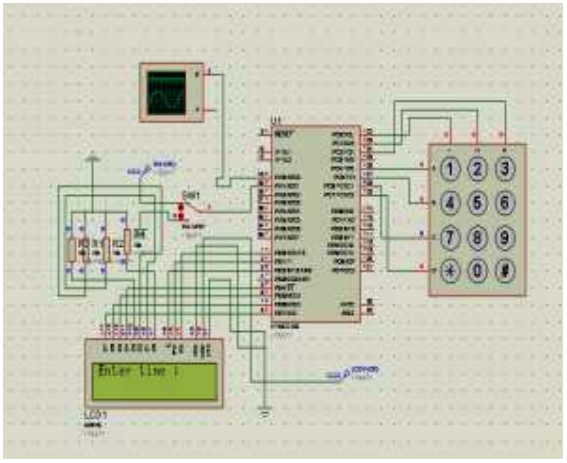
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{38KHz} = 2.6\times10^{-5} = 26\ us \qquad (7)$$

یعنی ۱۳ میکرو ثانیه روشن و۱۳میکرو ثانیه خاموش است. شکل ۹ بیانگر این مطلب میباشد:



شکل۹- پالس ۳۸ کیلو هرتز

پس از تولید پالس مربعی، شبیه‌سازی بخش دیجیتال به صورت زیر نشان داده شده است:

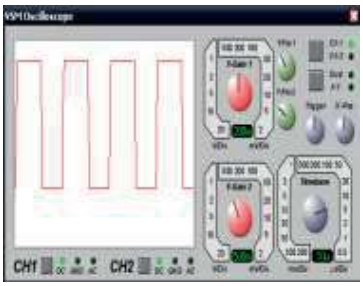


شکل۱۰- شبیه‌سازی قسمت دیجیتال

با توجه به شکل ۱۰، پیزوالکتریک با دو فرکانس کار می‌کند یکی فرکانس رزنانس و دیگری هارمونیک دوم، پس برای اینکه هر۲ فرکانس تولید و از آن استفاده شود، یک کلید در مدار قرار داده شده است که با تغییر وضعیت آن هر۲ پالس وارد مدار شده و پیزوالکتریک به حرکت درآید.

همچنین به دلیل اینکه این مدار دارای دو ولتاژ یکی ۵ ولت برای قسمت دیجیتال و دیگری ۲۵ ولت برای قسمت آنالوگ می‌باشد و ورودی منبع تغذیه ۲۵ ولت است ،از رگولاتور ۷۸۰۵ برای تولید ولتاژ ۵ ولت استفاده گردیده است.

با توجه به مدار بالا، با وارد کردن عدد به کیپد تایمر شروع به شمردن می‌کند، در شکل۱۱ پالس مربعی در خروجی مدار دیده می‌شود:

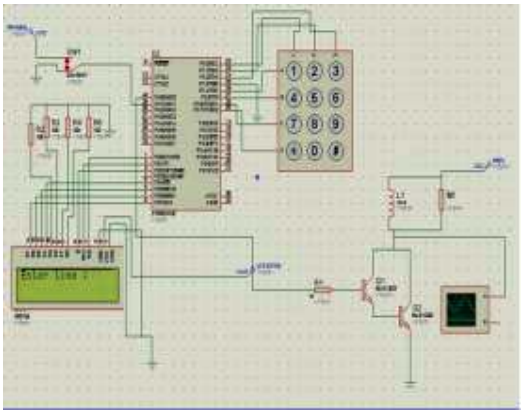


شکل۱۱- خروجی قسمت دیجیتال

با تمام شدن مدت زمانی که به کیپد وارد شده است و پایان شمارش تایمر دیگر در خروجی پالس مربعی تولید نمی-شود.

۳-۳ عملکرد کلی سیستم تمیزکننده با امواج آلتراسونیک

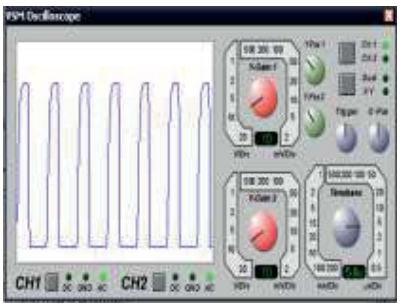
قسمت دیجیتال را که پالس مربعی خروجی آن است به ورودی قسمت آنالوگ یا همان ورودی مدار راه‌انداز وصل شده است، در این صورت خروجی میکرو، ورودی مدار راه‌انداز می‌شود. شکل ۱۲ شبیه‌سازی کلی سیستم را نمایش داده است:



شکل۱۲- شبیه‌سازی کل سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک

در این زمان با وارد کردن عدد روی کیپد تایمر شروع به شمردن نموده و پالس مربعی وارد مدار می‌شود و باعث تحریک پیزوالکتریک می‌شود:

در این حالت، با وارد کردن عدد توسط کیپد و فشردن دکمه شروع، عدد وارد شده بر روی نمایشگر نشان داده شده است و شروع به شمردن به صورت نزولی می‌کند. با روشن شدن سیستم، پالس مربعی تولید شده و به عنوان ورودی مدار راه‌انداز پیزوالکتریک، به بخش آنالوگ وارد می‌شود. با اعمال پالس مربعی به بخش مذکور، پیزوالکتریک تحریک شده و امواج آلتراسونیک تولید می‌گردند. خروجی سیستم به صورت زیر می‌باشد:



شکل۱۳- خروجی شبیه‌سازی کل مدار

با توجه به خروجی سیستم در شکل ۱۳، با تمام شدن زمان نمایش داده روی نمایشگر، سیستم از کار افتاده و پالسی تولید نمی‌شود. حال این سنسور را زیر ظرفی فلزی مانند پر از آب به طور ثابت قرار داده، اما باید توجه نمود که

سنسور با ظرف ارتباط مستقیم نداشته باشد و بین آنها یک ورقه تلق مانند قرار می‌دهیم زیرا اگر به طور مستقیم با هم در ارتباط باشند، هنگامیکه مدار را روشن می‌کنیم جریان-کشی مدار زیاد شده و باعث سوختن سنسور می‌شود. بعد از ثابت نگهداشتن پیزو در زیر ظرف، مدار روشن می‌گردد. دراین زمان با وارد کردن عدد روی کیپد دکمه Start را فشار داده (در شبیه‌سازی همان دکمه * می‌باشد) و مدار شروع به کار کرده و پالس وارد تقویت‌کننده شده و پس از تقویت باعث تحریک پیزو می‌شود.

با به حرکت درآمدن پیزو امواج آلتراسونیک تولید می‌شود، در نتیجه بعد از مدتی حباب‌هایی در آب بوجود آمده که همان اثر کاویتاسیون است، در این صورت با ریختن مایع شستشو (مایع الما) قطعه تمیز می‌شود. با قرار دادن کلید در سیستم، می‌توان مقدار فرکانس را تغییر داد به طوریکه با زدن کلید یا همان یک کردن آن مدار روی فرکانس ۳۸ کیلو هرتز کار می‌کند و با قطع کردن یا همان صفر کردن آن مدار روی فرکانس ۱۸کیلو هرتز کار می‌کند. در زمانی‌که مدار روی فرکانس ۳۸ کیلو هرتز کار می‌کند سرعت شستشوی مدار بیشتر بوده و در مدت زمان کمتری قطعه تمیز می‌شود، زیرا میزان ضربات یا پالس‌هایی که وارد می-شود حباب‌های بیشتری تولید می‌کند، در نتیجه عمل کاویتاسیون سریع‌تر صورت گرفته و نهایتاً زمان شستشو کمتر می‌باشد. شکل ۱۴ نمایی از ساختار کلی سیستم را نمایش می‌دهد.



شکل۱۴- ساختار کلی سیستم تمیزکننده با استفاده از امواج آلتراسونیک

با توجه به ساختار کلی سیستم، با استفاده از آن قطعاتی به عنوان نمونه شستشو داده شده است. در ادامه در شکل ۱۵ چند مورد که با دستگاه فوق تمیز شده است، نشان داده است:



شکل۱۵- نمونه‌هایی از قطعات شستشو شده با سیستم طراحی شده

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به طراحی و ساخت سیستمی پرداخته شد که با امواج آلتراسونیک کار کرده و برای شستشوی قطعات فلزی استفاده می‌شود. سیستم فوق به دلیل طراحی ساده، از قطعات کمتری استفاده شده لذا نگهدای و تعمیر آن آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. همچنین استفاده از این نوع سیستم‌ها که با امواج آلتراسونیک کار می‌کنند، سبب کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی و همچنین کاهش زمان شستشو و اتلاف وقت به دلیل تسریع در عملیات تمیز کردن، می‌شود. نمونه ایرانی ساخته شده به دلیل تحریک پیزوالکتریک در دو فرکانس کاری، سبب طراحی سیستم در دو مد کاری شده و این باعث شستشوی قطعات بیشتری اعم از قطعات سنگین، قطعات ظریف، بردهای حساس الکترونیکی و... می‌شود.

مراجع

[1] Laugier, Pascal, and Guillaume Haïat. (2011), "Introduction to the physics of ultrasound." In *Bone quantitative ultrasound*, pp. 29-45. Springer, Dordrecht.

[2] Arciniegas, Andrés, Flavio Prieto, Loïc Brancheriau, and Philippe Lasaygues. (2014), "Literature review of acoustic and ultrasonic tomography in standing trees." *Trees* **28** (6), p. 1559-1567.

[3] Vlad, Maria. (2007), "Ultrasonic welding of aluminum: a practical study in consistency, part marking and control modes."

[4] Dobrotă, Dan, and Valentin Petrescu. (2018), "Use of Ultrasound in Reconditioning by Welding of Tools Used in the Process of Regenerating Rubber." *Materials* **11**(2), p. 276.

[5] Asami, Takuya, and Hikaru Miura. (2015), "Study of ultrasonic machining by longitudinal-torsional vibration for processing brittle materials-observation of machining marks." *Physics Procedia* **70**, p. 118-121.

[6] Ji, Ruinan, Jiamei Jin, Liang Wang, and Jianhui Zhang. (2017), "A novel ultrasonic surface machining tool utilizing elastic traveling waves." *Ultrasonics* **80**, p. 78-86.

[7] Ely, Gregory Tsiang. (2019), "Applications of a fast helmholtz solver in exploration seismology." PhD diss., Massachusetts Institute of Technology.

[8] Insana, Michael F. (2019), "Exploiting data sparsity to enhance sensitivity in medical images (Conference Presentation)." In *Optics and Photonics for Information Processing XIII*, **11136**, p. 1113602. International Society for Optics and Photonics.

[9] Dolas, Rupali, Chakkaravarthi Saravanan, and Barjinder Pal Kaur. (2019), "Emergence and Era of Ultrasonic's in Fruit Juice Preservation: A Review." *Ultrasonics sonochemistry*.

[10] Arefi-Oskoui, Samira, Alireza Khataee, Mahdie Safarpour, Yasin Orooji, and Vahid Vatanpour. (2019), "A review on the applications of ultrasonic technology in membrane bioreactors." *Ultrasonics sonochemistry*, p. 104633.

[11] Jiménez, M. A., A. Mexicano, F. García, M. Osorio, I. Garza, A. Azuara, and R. Echartea. (2018), "Ultrasound used to guarantee process control in the manufacture of components. A case study." *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology **96**(1-4), p. 669-676.

[12] Sappati, Kiran, and Sharmistha Bhadra. (2018), "Piezoelectric polymer and paper substrates: a review." *Sensors* **18**(11), p. 3605.

[13] Heller, Hadas, Adi Arieli, Ilan Beitlitum, Raphael Pilo, and Shifra Levartovsky. (2019), "Load-Bearing Capacity of Zirconia Crowns Screwed to Multi-Unit Abutments with and without a Titanium Base: An In Vitro Pilot Study." *Materials* **12**(19), 3056.

[14] Jahdi, Saeed, Mohammad Hedayati, Bernard H. Stark, and Phil H. Mellor. (2019), "The Impact of Temperature and Switching Rate on Dynamic Transients of High Voltage Silicon and 4H-SiC NPN BJTs: A Technology Evaluation." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.

[15] Sheelvant, Vidyasagar, R. Kalpana, Bhim Singh, and Prakash P. Saravana. (2017), "Improvement in harmonic reduction of a zigzag autoconnected transformer based 12-pulse diode bridge rectifier by current injection at DC side." *IEEE Transactions on Industry Applications* **53**(6), p. 5634-5644.