



طراحی و ساخت مدار واسطه اسیلوسکوپ با قابلیت اتصال به کامپیوتر

لادن سلیمی^{۱*}، مهتاب فولادی^۲، خاطره مرادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر، محاسبات علمی، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر، معماری سیستم‌های کامپیوتری، دانشگاه رازی، ایران

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی کرمانشاه، گروه برق-مخابرات، ایران

*Salimi.ladan@stu.razi.ac.ir

ارسال: بهمن ماه ۹۵ پذیرش: اسفند ماه ۹۵

خلاصه

در این مقاله به بررسی طراحی و ساخت مدار واسطه اسیلوسکوپ با قابلیت اتصال به کامپیوتر پرداخته شده است که با استفاده از آن شکل موج ورودی اعمال شده به مدار بازسازی شده و اطلاعاتی از قبیل فرکانس و دامنه که لازمه تحلیل مدارهای الکترونیکی با ورودی‌های غیر ثابت هستند را در اختیار قرار می‌دهد. این اسیلوسکوپ تک کاناله بوده و شامل یک مدار الکترونیکی است که از طریق پورت یو اس بی با کامپیوتر در ارتباط بوده و با آن تبادل اطلاعات می‌نماید. نرم افزار متلب نیز به عنوان رابط بین مدار الکترونیکی واسطه و کامپیوتر عمل می‌کند که با استفاده از آن موج ورودی بازسازی می‌شود. حداکثر فرکانس قابل اندازه‌گیری توسط این نوسان‌نما ۳ کیلوهرتز بوده و محدوده تغییرات ولتاژ سیگنال ورودی بین ۱۰- تا ۱۰+ می‌باشد. لازم به ذکر است اسیلوسکوپ طراحی شده نسبت به نمونه آزمایشگاهی بسیار ساده‌تر بوده و شامل قطعاتی است که علاوه بر ارزان بودن در دسترس هستند و به وفور در بازار یافت می‌شوند. از طرف دیگر در سمت دریافت‌کننده از نرم افزار متلب استفاده شده که امروزه از قدرتمندترین و شناخته شده‌ترین نرم افزارهای شبیه‌سازی است.

کلمات کلیدی: اسیلوسکوپ، پورت یو اس بی، مازول FT235RL، میکرو کنترلر ATmega32L، متلب.

۱. مقدمه

اسیلوسکوپ یک دستگاه مفید و چندکاره‌ی آزمایشگاهی است که برای نمایش دادن و اندازه‌گیری ولتاژ، تحلیل شکل موج و دیگر پدیده‌های مدارهای الکترونیکی و الکتریکی به کار می‌رود. همانطور که می‌دانیم در مدارهای الکترونیکی در بسیاری از موارد ورودی مدار یک مقدار ثابت نمی‌باشد بلکه می‌تواند به صورت یک موج به مدار اعمال گردد. در این حالت برای بررسی و تحلیل عملکرد مدار، باید مشخصاتی از شکل موج سیگنال اعمال شده به مدار از جمله فرکانس و دامنه را در اختیار داشته باشیم. یکی از مهم‌ترین وسایل اندازه‌گیری الکترونیکی اسیلوسکوپ می‌باشد که به کمک آن می‌توان نمودار امواج را مشاهده کرد و مشخصات سیگنال داده شده به مدار یا سیگنال خروجی مدار را اندازه‌گیری کرد. بنابراین استفاده از نوسان‌نما در بسیاری از مدارات الکترونیکی ضرورت می‌یابد. عمده‌ترین مشکل دسترسی به اسیلوسکوپ زیاد بودن قیمت آن

است و از آنجا که وجود این دستگاه برای تحلیل مدارات الکترونیکی ضروری است رفع این مشکل مداری طراحی شده است که اسیلوسکوپ را با هزینه کمتر در اختیار قرار می‌دهد. در تحقیقات مشابه انجام شده در این خصوص، مداراتی طراحی شده‌اند که در آن‌ها از مبدل‌های ADC برای تبدیل داده آنالوگ به دیجیتال استفاده شده یا مداراتی که به واسطه کارت صدا با کامپیوتر تبادل اطلاعات می‌کنند و در آن‌ها از واسط‌های گرافیکی^۱ استفاده شده است. اما مدار طراحی شده در این مقاله یک مدار واسط بسیار ساده و کاربردی با قطعات ارزان قیمت و در دسترس می‌باشد که از مبدل میکروکنترلر برای تبدیل داده های آنالوگ به دیجیتال بهره برده و امکان مشاهده سیگنال‌ها را از طریق اتصال به کامپیوتر (از طریق پورت یو اس بی) برای ما مقدور می‌سازد.

در سال ۲۰۰۷، طی مقاله‌ای که توسط سلیمان^۲ منتشر شد نوعی از کارت‌های اسیلوسکوپ معرفی گردید که در آن از مبدل آنالوگ به دیجیتال استفاده می‌شد. این مبدل با نمونه گیری در یک محدوده زمانی خاص داده های آنالوگ را به دیجیتال تبدیل می‌کرد. اسیلوسکوپ معرفی شده ۴ کانال داشته و مبتنی بر کامپیوتر بوده است که در آن سیگنال‌های الکتریکی اندازه گیری شده بر روی ماینیتور کامپیوتر مجهز به دکه عملکرد و واسط گرافیکی نشان داده می‌شد [۱]. سه سال بعد یعنی در سال ۲۰۱۰ نوع دیگری از اسیلوسکوپ توسط دنگ یی^۳ معرفی گردید که در این طرح از کارت صدای کامپیوتر برای طراحی یک اسیلوسکوپ مجازی دیجیتال دو کاناله استفاده شد و اینکه این کارت اسیلوسکوپ مجازی شامل چندین کانال سیگنال ورودی، کنترل Trigger، کنترل شکل موج، پارامترهای اندازه گیری، تجزیه و تحلیل طیف قدرت، فیلتر کردن، ذخیره سازی شکل موج و سیگنال ژنراتور بود [۲]. اما در سال ۲۰۱۱ نیز، ژیکینگ^۴ نوع دیگری از کارت‌های اسیلوسکوپ را معرفی کرد که در آن از زبان VHDL برای رسیدن به یک منطق سراسری و FPGA به عنوان یک کنترل کننده هسته استفاده شده است. ابزارهای این طراحی شامل مدارهای پیش روند (Pre-Process Circuit) و FPGA و مدارهای Acquisition هستند [۳]. در آخر، در سال ۲۰۱۳ گایلی و کانگ^۵ یک اسیلوسکوپ مجازی با استفاده از واسط گرافیکی GPIB و تکنولوژی SCPI (دستورات استاندارد برای وسایل برنامه پذیر) طراحی کردند که شامل توابع نمایش شکل موج، اندازه گیری پارامتر و ذخیره سازی داده‌ها بود [۴].

۲. معرفی مدار واسط اسیلوسکوپ طراحی شده و بخش‌های مختلف آن

اسیلوسکوپ طراحی شده در واقع یک مدار الکترونیکی ساده است که با استفاده از ماژول FT235RL به پورت یو اس بی^۶ کامپیوتر وصل شده و در سیستم، نرم افزار متلب به عنوان دریافت کننده داده ها را گرفته و شکل موج را بازسازی می‌کند. دسته بندی کلی قسمت‌های مختلف اسیلوسکوپ طراحی شده به صورت زیر می‌باشد:

- بخش سخت افزاری
- بخش نرم افزاری

¹ GPIB

² Suleiman

³ Deng yi

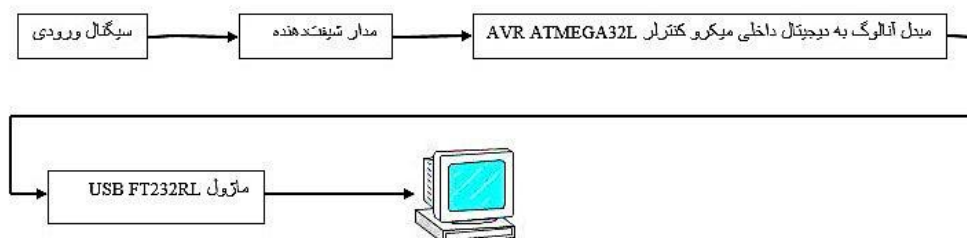
⁴ Zhiqing

⁵ Guili & Kong

⁶ USB

۱.۲. بخش سخت افزاری

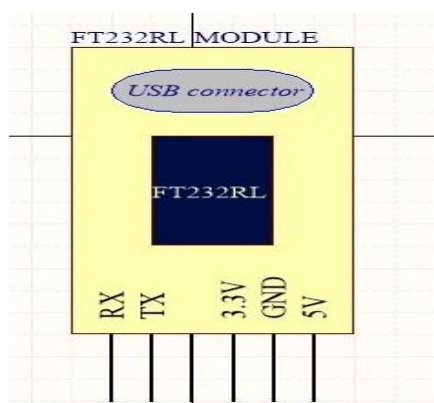
بخش سخت افزاری مورد استفاده در این اسیلوسکوپ ساده و در عین حال بسیار کاربردی می باشد. بلوک دیاگرام بخش سخت افزاری در شکل ۱ نمایش داده شده است.



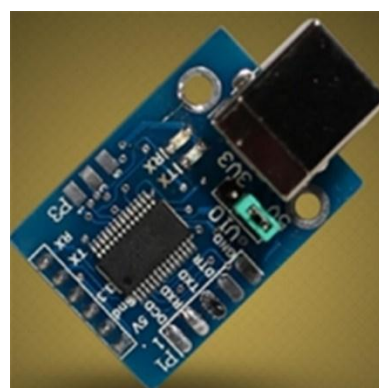
شکل ۱- بلوک دیاگرام بخش سخت افزاری

۱.۱.۲. تشریح قسمت های مختلف بلوک دیاگرام

ماژول USB FT232RL: برای استفاده از پورت یو اس بی در مدار، یک ماژول یو اس بی آماده به نام FT232RL به کار گرفته شده که یک ماژول یو اس بی آماده است که تراشه کنترلر^۱ آن ft232 نام داشته و ساخت شرکت FTDI chip می باشد. این ماژول می تواند در مدارات الکترونیکی قرار گرفته و از یک طرف به پورت سریال میکرو کنترلر و از طرف دیگر به پورت یو اس بی کامپیوتر متصل شود، یعنی می توانیم با استفاده از این ماژول مدارات الکترونیکی خود را مستقیم به پورت یو اس بی کامپیوتر وصل کنیم. این ماژول با اتصال به کامپیوتر یک پورت سریال مجازی ایجاد می کند که با استفاده از آن می توان میکرو کنترلرها و ماژول های مختلف را که دارای پروتکل سریال می باشند به پورت یو اس بی کامپیوتر متصل نمود. قطعه سخت افزاری این ماژول در شکل ۲ و پین های ورودی و خروجی ماژول نیز در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳- پین های ورودی و خروجی ماژول USB FT232RL



شکل ۲- قطعه سخت افزاری ماژول USB FT232RL

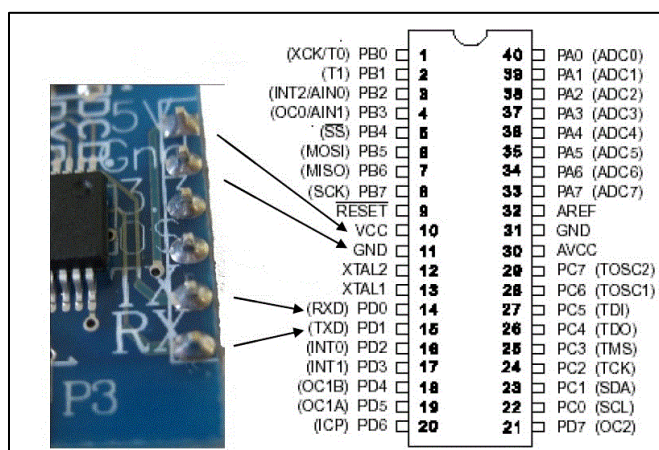
در مقاله حاضر تمامی اصطلاحات لاتین به ضرورت بیان شده و امکان بیان آن ها به زبان فارسی وجود ندارد؛ زیرا این لغات و اصطلاحات همگی بر روی دکمه ها و کلیدهای وسایل الکترونیکی نامگذاری شده اند.

تراشه میکرو کنترلر Atmega32L: برای این طراحی از میکرو کنترلر برای اتصال ماژول یو اس بی و مدار شیفت دهنده استفاده شده است چرا که ماژول یو اس بی از روش انتقال سریال استفاده می کند و دارای خطوط موازی برای انتقال داده نمی -

¹ controller

باشد بنابراین باید قطعه‌ای در کنار آن قرار بگیرد که پروتکل انتقال سریال را پشتیبانی می‌کند به همین علت استفاده از میکروکنترلر ضرورت می‌یابد.

برای بهینه شدن قطعات به کار رفته در مدار به جای استفاده از مبدل‌های مستقل نظیر ADC0808 از مبدل داخلی میکروکنترلر به عنوان تبدیل کننده سیگنال آنالوگ به داده‌های دیجیتال استفاده شده است که رنج دامنه آن بین صفر تا $VCC+5$ می‌باشد. از آنجا که در این طرح VCC برابر با ۵ ولت است، بنابراین رنج دامنه ورودی مبدل بین صفر تا ۵ ولت می‌باشد. کنترل انتقال داده از ADC به مازول یو اس بی به کمک قابلیت USART میکروکنترلر امکان پذیر شده است. برای اتصال میکروکنترلر و مازول FT232RL کاری که انجام می‌گیرد این است که پایه TX مازول USB به پایه RX میکرو و پایه RX مازول به پایه TX میکرو متصل می‌شود و دیتاهای حاصل از تبدیلی که مبدل داخلی انجام داده توسط واحد سریال خوانده شده و به مازول یو اس بی ارسال می‌شوند. سپس مازول یو اس بی داده‌های دریافتی را از طریق پورت یو اس بی به کامپیوتر منتقل می‌کند. این داده‌ها توسط نرم افزار متلب پردازش شده و نهایتاً شکل موج رسم می‌شود. لازم به ذکر است که در صورت نیاز به انتقال در جهت دیگر (از کامپیوتر به خارج) می‌توان از پایه RX استفاده کرد. ضمناً میکروبی که برای این کار استفاده شد ATmega32L است که به دلیل داشتن سرعت بالا برای طراحی مناسب می‌باشد. نحوه اتصال پایه‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است.



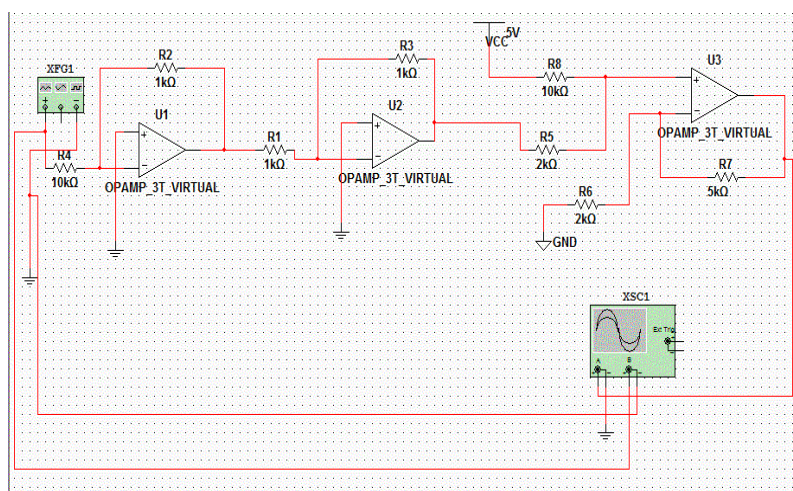
شکل ۴- اتصال پایه‌های میکروکنترلر و مازول FT232RL

مدار شیفتردهنده ولتاژ: قطعات مورد استفاده این مدار در جدول ۱ آمده است.

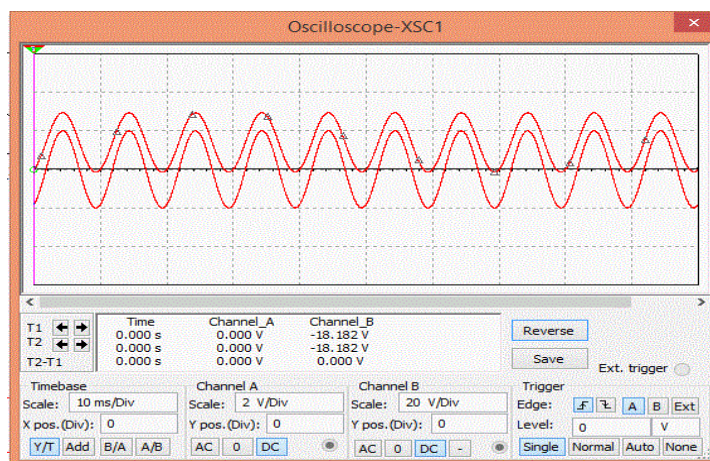
جدول ۱: قطعات مورد استفاده در مدار شیفتردهنده

نام قطعه	کاربرد	نمایش
مقاومت	ایجاد شیفتر در مدار شیفتردهنده	
تقویت کننده عملیاتی مدل UA741	برای طراحی مدارات بهره و جمع کننده وجود آپ امپ ضروری است.	
مبدل ولتاژ ICL7660	تولید ولتاژ ۵- ولت برای تقویت کننده عملیاتی	

همانطور که در معرفی تراشه مبدل داخلی آنالوگ به دیجیتال بیان شد، رنج دامنه آن بین صفر تا ۵+ می‌باشد. از آنجا که در این طراحی VCC برابر با ۵+ است، بنابراین رنج دامنه ورودی مبدل بین صفر تا ۵ ولت می‌باشد که این رنج، محدوده استاندارد و مبنای ما برای هر موج آنالوگ ورودی است. در حالی که هدف این طراحی این است که رنج موج آنالوگ ورودی ۱۰- تا ۱۰+ ولت باشد. به همین دلیل بایستی ابتدا موج ورودی قبل از رسیدن به پین صفر پورت A میکروکنترلر که مربوط به ورودی مبدل آنالوگ به دیجیتال است، به صورت استاندارد در آید. همین‌طور از نظر فرکانسی نیز موج‌های خارج از محدوده گفته شده باید فیلتر شوند. برای رساندن موج ورودی به رنج استاندارد گفته شده مدارای طراحی شده، که در شکل ۵ و ورودی و خروجی مدار شیفتر دهنده طراحی شده در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نمودار ورودی شیفتر پیدا کرده و تبدیل به نمودار علامت گذاری شده در شکل شده است.

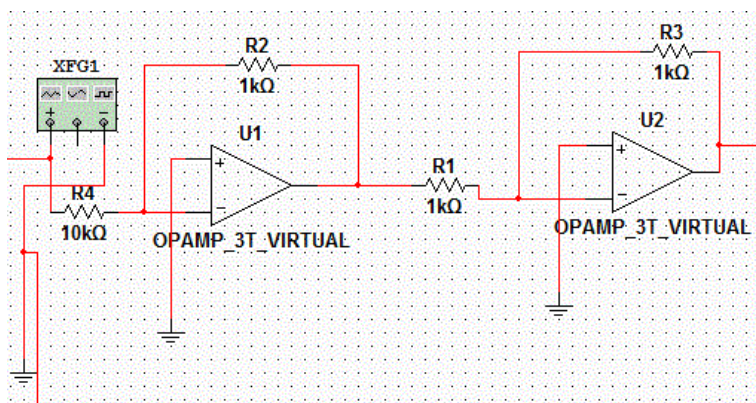


شکل ۵- مدار ورودی ADC



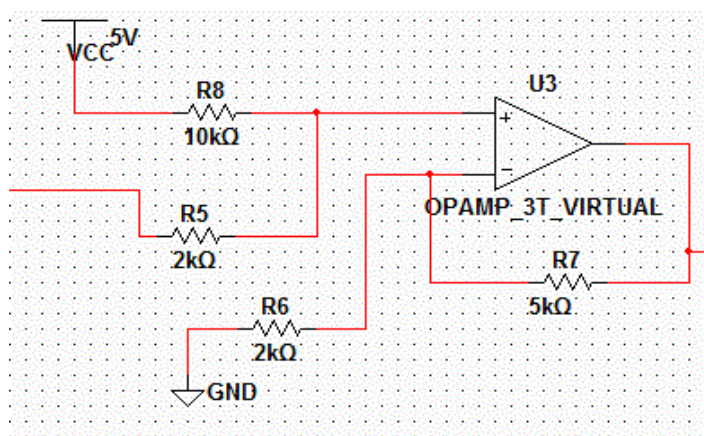
شکل ۶- موج ورودی و خروجی مدار ورودی ADC

طرح کلی مدار شیفتر دهنده به این صورت است که بایستی ۱۰- تا ۱۰+ ولت را به صفر تا ۵ تبدیل کند، پس ابتدا توسط آپ امپ‌های u_1 و u_2 رنج ولتاژ را از ۱۰- تا ۱۰+ را به ۱- تا ۱+ تبدیل می‌کنیم که مدار بهره در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷- مدار بهره

سپس توسط یک مدار جمع کننده ناوارونگر به رنج مورد نظر دست می‌یابیم. این مدار در شکل ۸ قابل مشاهده است.



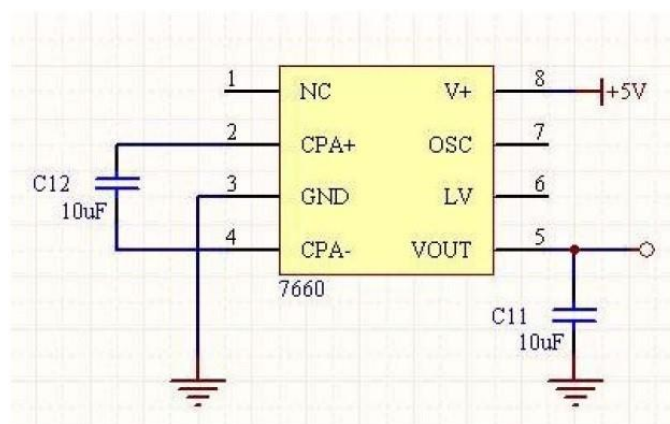
شکل ۸- مدار جمع کننده ناوارونگر

۲.۱.۲. مدار کلاک مبدل آنالوگ به دیجیتال

مسئله دیگر هماهنگی بین مبدل آنالوگ به دیجیتال و ماژول از نظر سرعت است. با توجه به اینکه حداکثر سرعت انتقال داده ماژول یو اس بی برابر یک مگابایت بر ثانیه است، مبدل نیز باید حداکثر کلاک ۱ مگاهرتز داشته باشد. که با توجه به این نکته و طی یک سری محاسبات به عمل آمده، کلاک مبدل داخل میکرو ۵۰۰ کیلوهرتز تنظیم شده است.

۳.۱.۲. تغذیه مدار

همانطور که در شماتیک نهایی مدار ملاحظه می‌شود، مدار تغذیه خود را از باس یو اس بی تامین می‌کند و نیازی به منبع تغذیه خارجی ندارد. به این صورت که زمین‌های مورد نیاز برای میکروکنترلر و سایر آی سی‌های به کار رفته همگی به پایه GND روی ماژول یو اس بی وصل می‌شوند و به دلیل اینکه پایه +V ماژول یو اس بی ولتاژ حدود +۵ ولت تولید می‌کند، مدار طوری طراحی شده است که تغذیه آپ امپ‌ها (+۵ و -۵) باشد. سایر آی سی‌ها نیز با +۵ ولت تغذیه می‌شوند. برای تغذیه ولتاژ -۵ ولت برای مدار بهره و شیفتر دهنده از آی سی ۷۶۶۰ استفاده شده که مدار آن در شکل ۹ مشاهده می‌شود.



شکل ۹- مدار تولید کننده ولتاژ ۵- ولت

۲.۲. بخش نرم افزاری

۱.۲.۲. دریافت داده از پورت

درایور ماژول یو اس بی ما به گونه ای است که پورت یو اس بی به صورت یک پورت COM مجازی برای سیستم عامل تعریف شود. بنابراین اولین مرحله از نرم افزار گرفتن داده ها از پورت COM مجازی است. که شامل معرفی پورت به متلب، باز کردن پورت و خواندن دیتا از پورت است. داده ی دریافتی به صورت یک بردار ستونی نوعی a به اندازه $\{1 \times 512\}$ با درایه های دهدهی بین صفر تا ۲۵۵ که در واقع همان کدهای دیجیتالی تولید شده توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر است.

۲.۲.۲. بازسازی داده دریافتی

از آنجایی که ورودی آنالوگ ما یک سیگنال مابین ۱۰- تا ۱۰+ است، بنابراین کدهای وارد شده به متلب که بین صفر تا ۲۵۵ هستند باید بازسازی شوند. یعنی کد ۲۵۵ به ۱۰+ و کد صفر به ۱۰- اختصاص پیدا کند، که برای این کار کافیسیت داده ها را بر ۱۲/۷۵ تقسیم و سپس ۱۰- را با آن جمع کنیم (چون a به صورت ماتریس است برای تقسیم تک تک درایه های آن از / استفاده کردیم).

$$b = a ./ 12 / 75 \quad (1)$$

$$c = b - 10 \quad (2)$$

که در آن a ورودی، b داده های بازسازی شده حاصل از انجام تقسیم متغیرهای ورودی به ۱۲/۷۵ و c از جمع b با ۱۰- برای ایجاد کردن پیک منفی می باشند.

۳.۲.۲. وضوح موج

برای رسم موج از دستور plot و برای واضح شدن آن از ولت دیویژن و تایم دیویژن استفاده شده است. به علت نبودن عنصری شبیه سلکتور، تایم دیویژن و ولت دیویژن با استفاده از اسلایدر شبیه سازی شده اند. برای حالت های مختلف ولتاژ (ac, dc, gnd) نیز یک باکس^۱ شامل سه عنصر radio در نظر گرفته است. از آنجا که اسیلوسکوپ نیز شامل موقعیت^۲ برای جابه جایی در امتداد محور افقی و عمودی است از دو اسلایدر دیگر نیز برای این ایجاد استفاده شده است.

^۱ box

^۲ position

۴.۲.۲. استفاده از صفحه ی GUI این پروژه

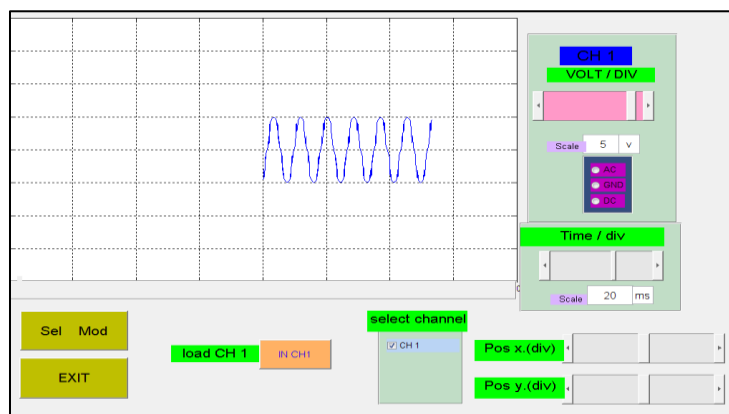
در این مقاله از Uι control های pushbutton, slider, textbox, edit box, axes, radio button و چندین تا pushbutton استفاده شده است که در ادامه به معرفی pushbutton ها پرداخته می شود.

▪ Exit : این دکمه برای خروج از برنامه یا به اصطلاح خاموش کردن دستگاه در نظر گرفته شده است که می توان با

کلیک روی آن عملکردش را مشاهده کرد.

▪ plot : با فشردن این کلید داده از پورت خوانده می شود و رسم می گردد.

در این برنامه از slider که بسیار شبیه به سلکتورها در time/div و volt/div استفاده شده است که نحوه کار با آن ها در ادامه بیان می شود. برای انتخاب رنج های مختلف می توان دو فلش سمت چپ و راست اسلایدر را فشار داد که به ازای هر بار فشار دادن آن یک رنج رو به بالا یا پایین تغییر وضعیت می دهد. می توان داخل محیط اسلایدر نیز کلیک کرد و لغزنده را جابه جا نمود و یا با کلیک کردن روی خود لغزنده و جابه جایی آن در جهت دلخواه رنج را تغییر داد. به ازای هر بار کلیک کردن روی دو فلش در دو عنصر edit زیر اسلایدر رنج معادل نوشته می شود. برای حالت های مختلف ولتاژ (ac, dc, gnd) نیز یک باکس شامل سه عنصر radio در نظر گرفته شده است که در هر لحظه فقط یکی از این سه عنصر فعال می باشد. یک نمونه موج سینوسی در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



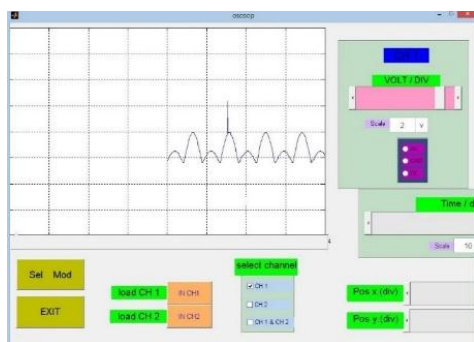
شکل ۱۰- نمایش موج سینوسی در صفحه گرافیک طراحی شده

۵.۲.۲. استفاده از کد ویزن

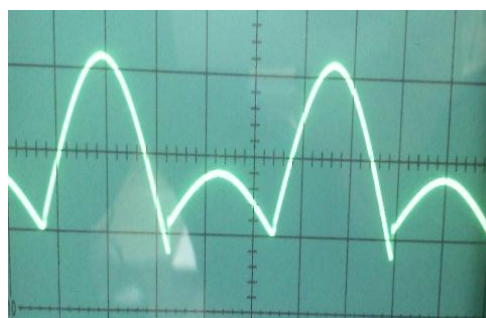
در این مقاله جهت برنامه ریزی تراشه میکروکنترلر از تنظیمات code wizard استفاده شده است. به این صورت که در پنجره مربوط به تنظیمات code wizard در قسمت chip باید ATMGA32L و فرکانس کلاک هم ۱ مگاهرتز در نظر گرفته شده است. از آنجا که مبدل آنالوگ به دیجیتال میکرو روی پورت A کار می کند بایستی ورودی را به پین صفر این پورت A وصل کرده و باید در تنظیمات مربوط به پورت ها در code wizard، پورت A به صورت پورت ورودی تعیین شود و چون داده ها از طریق پورت D ارسال می شود پس باید این پورت را خروجی تعریف کرد. لازم به ذکر است که فعال سازی پایه ارسال میکروکنترلر باید در تنظیمات code wizard از طریق تب^۱ USART انجام گیرد. ضمناً برای استفاده از مبدل آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر باید در تنظیمات code wizard، در تب ADC گزینه enable ADC را فعال نمود (فرکانس مبدل 500KHZ در نظر گرفته شده است).

¹ TAB

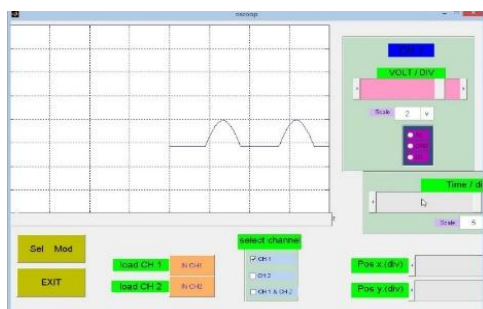
۶.۲.۲. تصاویری از نمونه موج های گرفته شده



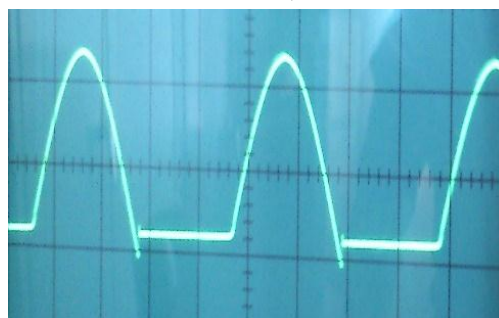
شکل ۱۲- یکسو ساز تمام موج با اسیلوسکوپ پروژه



شکل ۱۱- یکسو ساز تمام موج با اسیلوسکوپ آزمایشگاهی

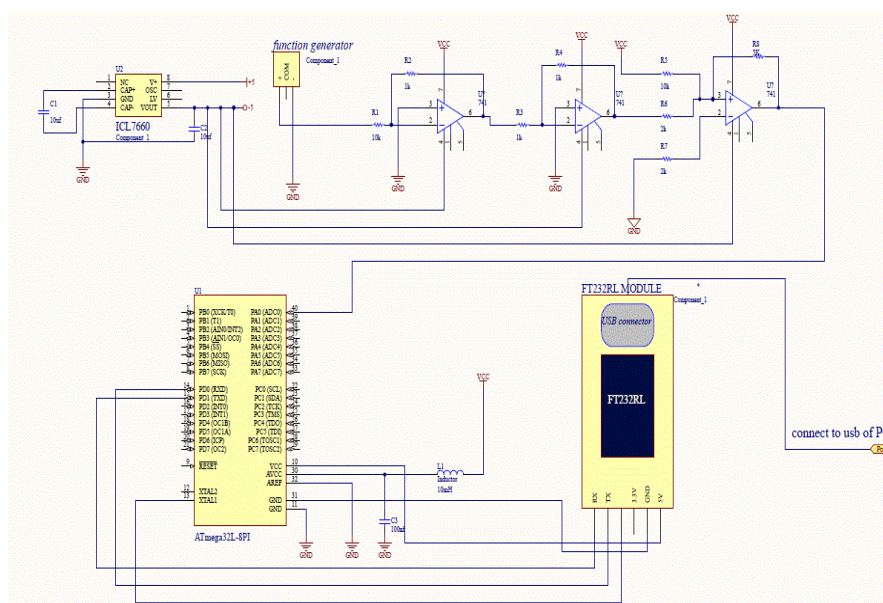


شکل ۱۴- یکسو ساز نیم موج با اسیلوسکوپ پروژه



شکل ۱۳- یکسو ساز نیم موج با اسیلوسکوپ آزمایشگاهی

شماتیک کلی مدار طراحی شده در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱۵- نمای مدار کلی اسیلوسکوپ طراحی شده

۳. نتیجه گیری

با توجه به سطح دانش افراد در کار با اسیلوسکوپ نیاز به دستگاهی ساده و قابل حمل با توانایی کافی در جهت رفع نیاز کاربران به چشم می خورد. هدف از این مقاله طراحی یک مدار واسطه ارزان قیمت و نیز با قطعاتی در دسترس بود که از طریق

کامپیوتر امکان مشاهده سیگنال را برای کاربران مقدور سازد. در این مقاله یک اسیلوسکوپ مبتنی بر کامپیوتر با در نظر گرفتن قابلیت ارتباط سریال متلب و مازول یو اس بی FT232R ارائه شد و چندین نوع شکل موج مختلف از جمله شکل موج عبور کرده از مدار یکسوساز تمام موج و موج سینوسی با استفاده از اتصالات انجام شده رسم شده که شکل موج های مذکور با اسیلوسکوپ آزمایشگاهی مقایسه شد. سخت افزار و برنامه مکمل ارائه شده بسیار ساده و نسبتاً قوی جهت انجام امور آزمایشگاهی است که قابلیت نمایش شکل موج ها را تا فرکانس ۳ کیلوهرتز دارد. ضمناً کاربر می تواند اطلاعات مختلفی را از شکل موج ارائه شده توسط کد و اتصالات استخراج کند. از جمله این اطلاعات می توان به محاسبه دوره تناوب و به دنبال آن فرکانس موج، زمان رشد و ... اشاره کرد. سخت افزار این مدار الکترونیکی واسط، به صورت تجربی و عملی مورد ارزیابی قرار گرفته و در کنار کارایی مناسب، مهم ترین مزیت آن این است که ساده ترین مدار را دارد و قطعات به کار رفته در مدار، به وفور یافت شده و ارزان قیمت هستند.

۴. مراجع

1. Suleiman V., (2007), "designing the pc based 4 channel digital storage oscilloscope by using DSO techniques", Research & Development Student Conference, IEEE, ISBN :978-1-4244-1470-3, pp.1-7.
2. Deng Y., (2010), " research & design of virtual oscilloscope based on sound card", Electrical & Control Engineering International Conference, IEEE, ISBN:978-1-4244-6880-5, pp.1566-1569.
3. Zhiqing H., (2011), "design & implement of the digital storage oscilloscope card based on VHDL", Electronic Measurement & Instruments International Conference, IEEE, ISBN: 978-1-4244-8158-3, pp.346-349.
4. Guili L and Kong Q., (2013), " design of virtual oscilloscope based on GPIB interface and SCPI", IEEE Conference Publications, Vol.1, pp.294-298.

۵. میرعشقی، س.ع. (۱۳۸۶)، "مبانی الکترونیک"، انتشارات اصفهان، نسخه دهم.