

طراحی و ساخت مدار ECG با قابلیت اتصال به کامپیوتر از طریق پورت USB

سکینه یحیی زاده ساروی*، سامان پروانه

دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

باشگاه پژوهشگران جوان

E-mail: Hoda_Yahyazadeh@yahoo.com*

چکیده

ساخت تجهیزات پزشکی که از طریق پورت USB با کامپیوتر در ارتباط می‌باشند، دارای دشواری‌هایی است. یکی از این دشواری‌ها نوشتن فایل راه‌انداز این دستگاه‌ها است. بعلاوه، پروتکل USB نیز بسیار پیچیده است. البته تراشه‌های کنترلی که قابلیت ارتباط با این پورت را دارند، تا حد زیادی باعث سهولت کار در این زمینه شده‌اند. در این متن به شرح نحوه ساخت دستگاه ثبت فعالیت الکتریکی قلب (ECG) و طراحی مدار واسطی مناسب جهت ارتباط با پورت USB، به کمک یکی از این تراشه‌های کنترلی، می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: USB، ECG، تراشه FT232BM

۱- مقدمه

یکی از راه‌های اتصال وسایل جانبی به کامپیوتر، پورت USB می‌باشد. USB مخفف Universal Serial Bus است. البته پروتکل انتقال داده از طریق این پورت با پروتکل ارسال و دریافت سریال، RS232، کاملاً متفاوت است و داده‌ها از طریق این پورت بطور دیفرانسیلی و سریال منتقل می‌شوند.

از جمله مزایای USB که آن را از روش‌های دیگر انتقال داده ممتاز می‌سازد، کاربرد راحت، امکان انتقال داده در سه محدوده سرعتی متفاوت، قابلیت اطمینان، کاهش هزینه و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد. بعلاوه در کامپیوترهای قابل حمل (Notebook) جدید، پورت USB تنها راه ارتباط با وسایل جانبی است.

البته ساخت وسایل جانبی که بتوانند به کمک این پورت با کامپیوتر ارتباط برقرار کنند، معمولاً برای طراحان آن‌ها نگرانی‌هایی را به همراه دارد. از جمله اینکه، ممکن است اتصال دستگاه به کامپیوتر باعث سوختن مادربرد یا هنگ کردن کامپیوتر شود. با صرف نظر از بررسی صحت یا عدم صحت این احتمالات، هدف اصلی این مقاله معرفی مدار واسطی مطمئن برای اتصال وسایل جانبی به کامپیوتر از طریق این پورت می‌باشد.

از آنجاکه تجهیزات پزشکی در مقایسه با اغلب وسایل جانبی به دقت و حساسیت بیشتری نیاز دارند، دستگاه ثبت فعالیت الکتریکی قلب (ECG) را جهت اتصال به پورت USB طراحی کرده‌ایم تا ببینیم که آیا این رابط اطلاعات حیاتی را به خوبی منتقل می‌کند یا خیر.

در این متن ابتدا به شرح مختصری درباره سیگنال ECG و

و قسمتی دپولاریزه است، جریان الکتریکی از قسمتی از بدن‌ها به قسمت دیگر جاری شده و سپس به سطح بدن می‌رود تا الکتروکاردیوگرام را تولید نماید.

۳- مدار دریافت سیگنال از بدن

این مدار اختلاف ولتاژ دست راست و چپ، را توسط یک تقویت‌کننده دیفرانسیلی به نام AD620 دریافت می‌نماید. این ولتاژ همان سیگنال ECG است که دارای بسپاری از اطلاعات حیاتی بیمار می‌باشد. البته این روش، یکی از روش‌های دریافت سیگنال قلبی است.

سیگنال ECG ترکیبی از سیگنال‌هایی با هارمونیک‌های مختلف است که دارای فرکانس‌هایی بین ۰/۱۵ تا ۱۰۰ هرتز می‌باشند. لذا در طراحی مدار مربوطه از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر استفاده نموده‌ایم تا محدوده فرکانسی خارج از این ناحیه را حذف کنند. همچنین جهت حذف نویز برق شهر و سایر نویزهای محیطی که روی دریافت سیگنال اثر سوء دارند، از فیلتر Notch و روش‌هایی چون درایور پای راست، شیلد کردن سیم‌های دریافت سیگنال و اتصال زمین و بدنه دستگاه به زمین واقعی، استفاده کرده‌ایم.

از آنجا که این مدار در ارتباط مستقیم با بیمار می‌باشد، لذا حفاظت و ایمنی سیستم پارامتر بسیار مهمی است که نباید نادیده گرفته شود. بنابراین در مدار مذکور جهت امنیت بیمار، ایزولاسیون سیستم هم مورد توجه قرار گرفته و استاندارد بیمارستانی رعایت شده است.

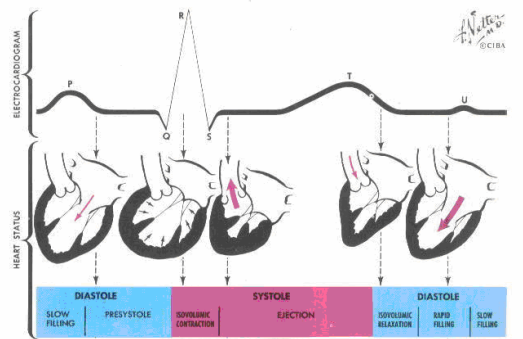
با توجه به اینکه سیگنال دریافتی از بدن بسیار کوچک و در حد دهم میلی‌ولت می‌باشد، باید در طبقات مختلف مدار آن را تقویت نماییم تا سیگنال حاصل در حد ولت شود و به کمک تغییردهنده سطح DC مقدار آن را به نحوی تنظیم کنیم که برای ارسال به میکروکنترلر مناسب باشد.

مدار طراحی شده جهت دریافت این سیگنال می‌پردازیم و پس از ذکر ویژگی‌های پورت USB، مدار واسط طراحی شده برای ارتباط با این پورت را معرفی می‌نماییم.

۲- معرفی سیگنال ECG

یکی از مهمترین اندام‌ها که عملکرد صحیح آن نقش مهمی در حیات موجودات زنده دارد، قلب است که وظیفه خون‌رسانی به سایر اندام‌ها را برعهده دارد. قلب دارای بخش خاصی برای خود تحریکی ایمپالس‌های ریتمیک است تا انقباض مکرر خون را سبب شود. این بخش، ایمپالس‌ها را به سراسر قلب هدایت می‌کند. الکتروکاردیوگرافی روشی است که فعالیت الکتریکی قلب (هدایت ایمپالس‌های الکتریکی) را به وسیله دستگاه الکتروکاردیوگراف و با استفاده از گیرنده‌های حساسی به نام «الکتروود» که روی سطح پوست قرار داده می‌شوند، دریافت و ثبت می‌کند. سیگنال بدست آمده از این روش سیگنال ECG نام دارد. این سیگنال شامل امواج P، QRS، T می‌باشد.

موج P، علامت دپولاریزاسیون دهلیزهاست. امواج QRS نیز حاصل دپولاریزاسیون بطن‌ها هستند، که حدوداً ۰/۱۶ ثانیه پس از شروع موج P می‌باشند (موج Q، علامت دپولاریزاسیون سپتوم بین بطنی است). موج بطنی T نیز ناشی از رپولاریزاسیون بطن می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: انقباضات دهلیز و بطن و امواج P، QRS، T

در حقیقت ECG، تصویر برآیند بردارهای دپولاریزاسیون دهلیزی، برآیند بردارهای دپولاریزاسیون بطنی و برآیند بردارهای رپولاریزاسیون بطنی، روی اشتقاق‌ها یا لیدهای قراردادی است. بنابراین هنگامی که قسمتی از عضله پولاریزه

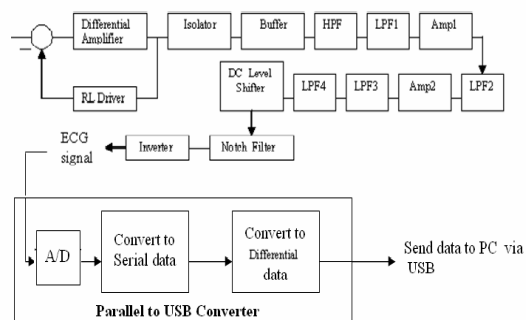
کامپیوترها سرعت‌های پایین و بالا را پشتیبانی می‌کنند. سرعت خیلی بالا در نسخه ۲/۰ مرجع USB اضافه شده است و به سخت‌افزار سازگار با USB نسخه ۲/۰ در روی مادربرد یا کارت توسعه دهنده احتیاج دارد.

این سرعت‌ها، سرعت انتقال بیت روی باس است و نرخ انتقال داده مفید کمتر از این حد می‌باشد. علاوه بر داده، باس باید اطلاعات دیگری از قبیل بیت‌های وضعیت، کنترل و سیگنال‌های بررسی خطا را نیز عبور دهد. به علاوه ممکن است چندین وسیله جانبی از یک باس مشترک استفاده کنند. ماکزیمم نرخ تئوری برای انتقال سیگنال حدود ۵۳ مگابایت در هر ثانیه برای سرعت خیلی بالا و حدود ۱/۲ مگابایت در هر ثانیه برای سرعت بالا و ۸۰۰ بایت در هر ثانیه برای سرعت پایین است.

قابل اطمینان بودن USB به خاطر نوع طراحی سخت‌افزار و همچنین پروتکل انتقال داده می‌باشد. ویژگی‌های سخت‌افزاری لازم برای راه‌اندازها و گیرنده‌ها و کابل‌های USB، بیشتر نویزهایی را که می‌تواند باعث ایجاد خطا شود را حذف می‌کند. همچنین، پروتکل USB این امکان را فراهم می‌کند که خطاهای احتمالی را تشخیص داده و از فرستنده خواسته شود که داده را دوباره بفرستد. این تشخیص و پیغام و انتقال مجدد داده‌ها توسط سخت‌افزار انجام می‌شود و احتیاج به برنامه‌نویسی توسط کاربر ندارد.

مدارهای ذخیره انرژی و استفاده از کدهای مخصوص باعث می‌شود وقتی که از ابزار USB استفاده نمی‌شود، با نگره داشتن آن در حالت آماده به کار، مصرف انرژی کاهش یابد. کاهش مصرف انرژی علاوه بر مزیت‌های محیطی، برای کامپیوترهایی که با باتری کار می‌کنند، در جایی که میلی‌آمپر‌ها نیز اهمیت دارند، بسیار مفید می‌باشد.

برای اینکه کامپیوتر بتواند وسیله جانبی را بشناسد، به فایل‌های راه‌اندازی (Driver) نیاز است. بدلیل پیچیدگی پروتکل USB نوشتن این فایل‌ها دشوار می‌باشد. اما تراشه‌های کنترلی که قابلیت ارتباط با پورت USB را دارند، این فایل‌های راه‌انداز را دارا می‌باشند. تراشه کنترلی مورد استفاده ما تراشه FT232BM است که با قیمت مناسب در بازار یافت می‌شود.



شکل ۲: نمودار بلوکی دستگاه ECG و مدار واسط لازم برای انتقال سیگنال از طریق USB

۴- امتیازات پورت USB

کاربرد راحت: به گونه‌ای که کاربر نیاز به جزئیات نصب نداشته باشد.

سرعت: به گونه‌ای که رابط باعث پایین آمدن سرعت ارتباط نشود.

قابلیت اطمینان: به گونه‌ای که خطاها کاهش یابد و امکان اصلاح خطاهایی که اتفاق می‌افتد، وجود داشته باشد.

ارزان قیمت بودن: به گونه‌ای که کاربران و کارخانه‌هایی که از این رابط برای تولیدات خود بهره می‌برند، متحمل هزینه زیادی نشوند.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی: به منظور کاهش مصرف باتری در کامپیوترهای قابل حمل.

USB به کمک ابزارهایی به نام هاب، اتصال چندین وسیله جانبی را به یک پورت USB امکان‌پذیر می‌سازد. این مسأله باعث می‌شود که خطوط (IRQ Interrupt Request Lines) کامپیوتر با افزایش وسایل جانبی USB اشغال نشود. هر وسیله جانبی غیر از USB نیاز به یک آدرس پورت و معمولاً یک خط IRQ و احیاناً یک کارت توسعه دهنده دارد. (به عنوان مثال پورت موازی).

USB سه سرعت متفاوت را برای باس (Bus)، پشتیبانی می‌کند: سرعت خیلی بالا با ۴۸۰ مگابایت در هر ثانیه، سرعت بالا با ۱۲ مگابایت در هر ثانیه (نسخه ۱/۱) و سرعت پایین با ۱/۵ مگابایت در هر ثانیه (نسخه ۱/۰). همه

۵- ویژگی‌های تراشه FT232BM

- مناسب برای USB 1.1 و USB 2.0

- قابل تطبیق با مبدل‌های RS232، RS485 و RS422

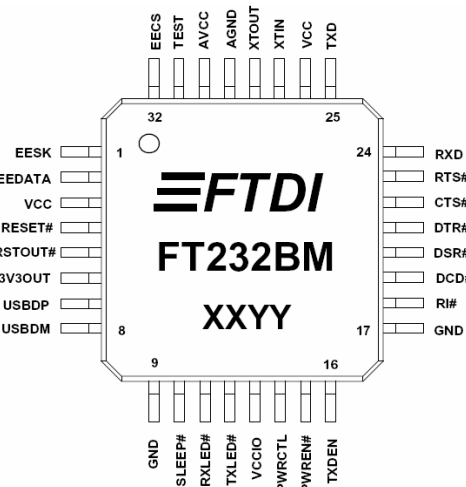
- دارای بافر کنترلی ارسال خودکار برای مبدل RS485

- دارای پایه‌ای برای تعیین خودتوان یا باس‌توان بودن دستگاه.

- امکان انتقال داده با ۸/۷ بیت، ۲/۱ بیت توقف، با بیت توازن یا بدون آن.

- شامل مدار Power-On-Reset

- شامل رگولاتور ۳،۳ ولت



شکل ۳: تراشه FT232BM [۳]

شکل ۳ نمای ظاهری این تراشه را نشان می‌دهد. این تراشه علاوه بر داشتن قابلیت ارتباط با میکروکنترلر، قادر به ارتباط با دستگاه‌های خواننده کارت هوشمند و بارکد USB و نیز مودم‌های سخت‌افزاری و مودم‌های بی‌سیم USB می‌باشد.

۶- انتقال سیگنال ECG به کامپیوتر به کمک مبدل موازی به USB

با توجه به بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل ۲ سخت‌افزاری ساخته‌ایم که سیگنال‌های دست راست و چپ را دریافت و تقویت می‌کند. پای راست نیز زمین شده است.

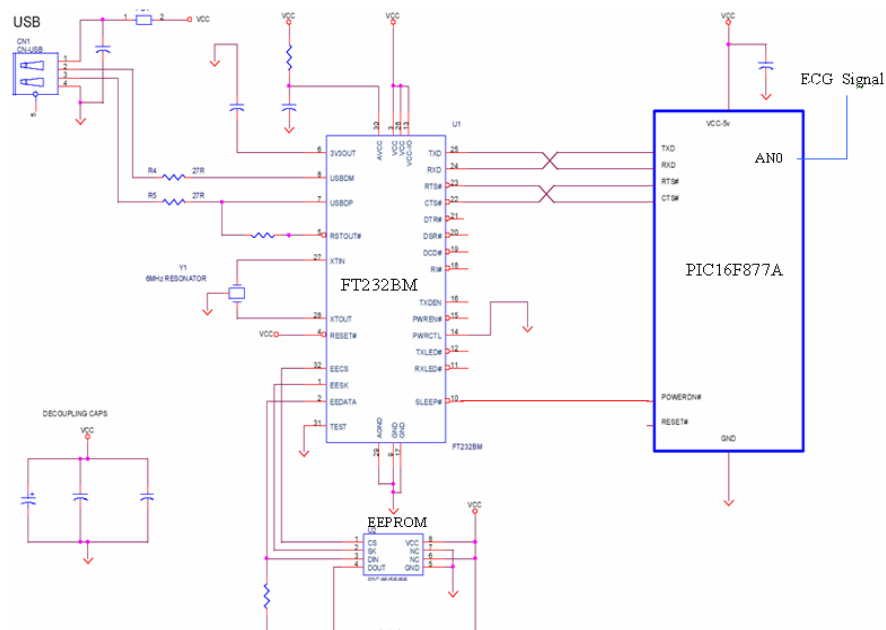
سیگنال دریافتی از بدن توسط سخت‌افزار ECG تقویت و فیلتر شده و سطح dc آن افزایش داده می‌شود تا دامنه سیگنال بدست آمده در بازه صفر تا پنج ولت قرار گیرد. این محدوده ولتاژی برای A/D مناسب است. سیگنال حاصل به مبدل موازی به USB فرستاده می‌شود. این مبدل شامل میکروکنترلر PIC16F877A و تراشه FT232BM می‌باشد. توسط PIC مذکور سیگنال ECG، دیجیتالی شده و بطور سریال با سرعت مشخصی ارسال می‌شود. تراشه FT232BM این اطلاعات را دریافت کرده و آن را به داده دیفرانسیلی تبدیل می‌کند. این داده‌ها نیز بطور سریال، با همان سرعت تعیین شده و از طریق پورت USB به کامپیوتر ارسال می‌شوند.

شکل ۵ سخت‌افزار مبدل موازی به USB را نشان می‌دهد. کریستال بکار رفته در میکروکنترلر دارای فرکانس ۴ M هرتز و کریستال تراشه FT232BM، دارای فرکانس ۶ M می‌باشد. پایه TX و RX میکروکنترلر به ترتیب به پایه‌های RX و TX تراشه FT232BM متصل شده‌اند. پایه PWRCTL زمین شده تا تراشه وضعیت باس‌توان را به کامپیوتر اطلاع دهد. شکل ۴ نشان می‌دهد که در چه شرایطی می‌توان از تغذیه باس USB و در چه شرایطی از تغذیه خارجی استفاده نمود. در حالت اول دستگاه را باس‌توان و در حالت دوم آن را خودتوان می‌نامند.



شکل ۴: با توجه به نمودار فوق، می‌توان نوع تغذیه را برای وسیله جانبی تعیین کرد [۴].

تغذیه مبدل موازی به USB طراحی شده از باس USB می‌باشد ولی تغذیه ± 5 ولت مدار ECG از ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر و به کمک ترانس است. جریان‌کشی مبدل



شکل ۵: شماتیک مبدل موازی به USB [۳].

پایه‌های USBDM و USBDP در تراشه FT232BM جهت انتقال داده‌های مثبت و منفی به پورت USB تعبیه شده‌اند که با مقاومت ۲۷ اهم به پایه‌های ۲ و ۳ پورت متصل می‌شوند.

دو نوع فایل راه‌انداز برای این تراشه وجود دارد: D2xx و Virtual Com Port. این راه‌اندازها در سیستم عامل‌های ویندوز ۹۸، SE ۹۸، ME، XP، ویندوز XP ۶۴ بیت، ویندوز CE ۴/۲، سیستم عامل لینوکس (Linux) و بالاتر قابل نصب هستند. ما از راه‌انداز Virtual Com Port استفاده کرده‌ایم. به کمک این راه‌انداز پورت USB، به عنوان یک پورت Com مجازی در نظر گرفته می‌شود. برای نمایش سیگنال از نرم‌افزار LabVIEW استفاده کرده‌ایم.

به هنگام خرید تراشه FT232BM، CD شامل فایل‌های راه‌انداز این تراشه را نیز می‌توان تهیه کرد. همچنین می‌توان جدیدترین راه‌اندازها را از سایت www.ftdichip.com، دانلود نمود.

(شکل ۵)، ۱۸ میلی‌آمپر و جریان‌کشی کل مدار ۷۶ میلی‌آمپر می‌باشد. یعنی می‌توانستیم از خود پورت USB برای تغذیه ۵ ولت همه مدار استفاده کنیم.

می‌توان برخی از مشخصات دستگاه و همین‌طور نام سازنده را در EEPROM نوشت. این حافظه از طریق پورت USB با نرم‌افزار MProg 2.3 برنامه‌ریزی می‌شود. اگر در این حافظه چیزی نوشته نشود، مشکلی در عملکرد دستگاه پیش نمی‌آید ولی اگر برنامه‌ریزی شود، باید اطلاعات آن با اطلاعات موجود در فایل‌های INF مربوط به تراشه کنترلی مطابقت داشته باشد.

کانکتورهای USB، دارای دو نوع B و B مینی می‌باشند و دارای ۴ پایه هستند:

- 1.Vcc=5V
- 2.Data-
3. Data+
- 4.GND

این کانکتورها در سمت وسیله جانبی قرار دارند. کابل‌های USB، از یک سو به این کانکتورها و از سوی دیگر به کانکتورهای نوع A، متصل می‌شوند و به کمک آن‌ها با کامپیوتر ارتباط می‌یابند.

۷- بخش نرم‌افزاری دستگاه

نرم‌افزار میکرو

تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و ارسال سریال اطلاعات در مبدل، توسط میکرو انجام می‌شود. ما نرم‌افزار MikroBASIC 2.2 را برای این منظور انتخاب کرده‌ایم.

در میکروکنترلر انتخابی ما، PIC16F877A، باید ثبات‌های ADCON0 و ADCON1 به منظور تبدیل ولتاژ آنالوگ به دیجیتال مقداردهی شوند. به کمک این ثبات‌ها قابلیت تبدیل آنالوگ به دیجیتال را در این PIC فعال کرده و فرکانس نمونه‌برداری A/D را تنظیم می‌نماییم. همچنین تعیین می‌کنیم که کدام پایه میکرو بعنوان ورودی آنالوگ انتخاب شده است. نتیجه کار A/D که یک داده ۱۰ بیتی است در ثبات‌های ADRESH و ADRESL قرار می‌گیرد. ADCON1 را طوری تنظیم می‌کنیم که ۸ بیت با ارزش در ثبات ADRESH قرار گیرد.

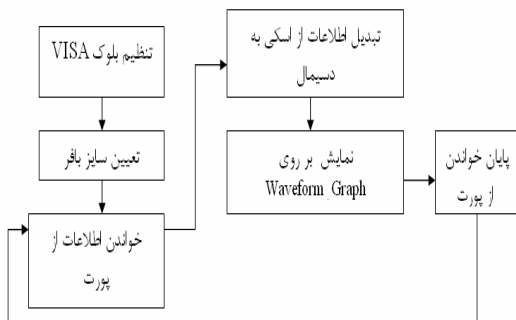
سپس با استفاده از دستور Usart_Init(9600) سرعت انتقال داده را ۹۶۰۰ بیت بر ثانیه (سرعت بالا، نسخه ۱/۱ USB) انتخاب کرده و با دستور Usart_Write(ADRESH) داده‌ها را به تراشه FT232BM می‌فرستیم.

نرم‌افزار LabVIEW

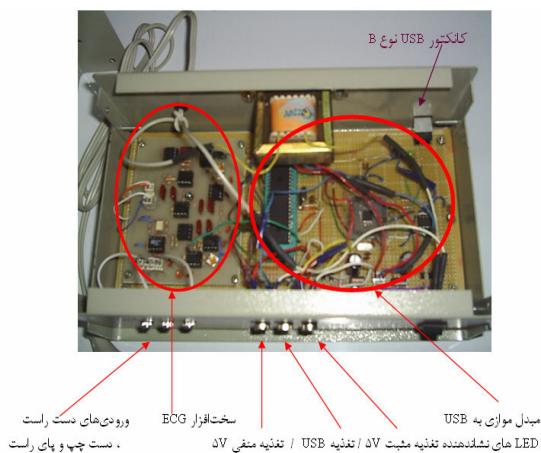
به منظور نمایش سیگنال از نرم‌افزار LabVIEW با ورژن ۷/۱ استفاده کرده‌ایم. با توجه به راه‌انداز انتخابی، همه نرم‌افزارهایی که اطلاعات را از پورت سریال دریافت می‌کنند و آن‌ها را پردازش کرده و نمایش می‌دهند، می‌توانند با سخت‌افزار ارائه شده کار کنند.

این نرم‌افزارها به کمک بلوک VISA Configure Serial Port، اطلاعات را از طریق پورت USB دریافت می‌نمایند. تنظیمات این بلوک باید شماره پورتی که دستگاه به آن متصل شده را بنویسیم. برای این منظور در Control Panel، System را انتخاب می‌کنیم. سپس بر روی Hardware کلیک کرده و Device Manager را انتخاب می‌نماییم. در قسمت پورت‌ها، عبارتی مثل: USB Serial Port (COM5) ظاهر می‌شود. که در این صورت باید COM5 را در تنظیمات نرم‌افزار بنویسیم.

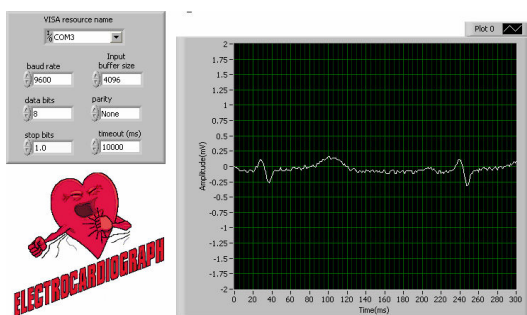
نمودار بلوکی عملکرد نرم‌افزار در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: نمودار بلوکی نرم‌افزار LabVIEW



شکل ۷: سخت‌افزار کلی پروژه



شکل ۸: نرم‌افزار LabVIEW، تنظیمات نرم‌افزار مربوط به شماره پورت USB ای که دستگاه به آن متصل است. Baud rate = 9600, Parity = 0, Stop bit = 1, Data bits = 8, Buffer Size = 4096 و حداکثر زمان دریافت سیگنال توسط نرم‌افزار می‌باشد.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله به شرح نحوه دریافت سیگنال ECG و معرفی مدار واسطی مناسب جهت ارتباط با پورت USB پرداختیم. مدار واسط طراحی شده بخوبی سیگنال بیولوژیک قلب را انتقال داد و مدارهای سخت‌افزاری ECG بگونه‌ای طراحی شده بود که اثر اعوجاجات در خروجی حداقل شد. انتقال ECG از طریق پورت USB به این دلیل دارای اهمیت است که در کامپیوترهای قابل حمل جدید فقط این پورت در اختیار است. سخت‌افزار و نرم‌افزار طراحی شده برای این مقاله براحتی امکان ساخت دستگاه ثبت ECG قابل حمل را فراهم کرده است.

سپاسگزاری

با تشکر بسیار از جناب آقای مهندس پژمان بخاطر راهنمایی‌های شایانی که در زمینه طراحی مبدل موازی به USB داشتند و جناب آقای باران نژاد و آقای مهندس خواجه حسینی بدلیل راهنمایی‌های مؤثرشان در طراحی مدار ECG و نرم‌افزار LabVIEW.

مراجع

- [1] راهنمای موجود در نرم‌افزار (LabVIEW 7.1 Help)
- [2] راهنمای موجود در نرم‌افزار (MikroBASIC ۲,۲ Help)
- [3] www.ftdichip.com
- [۴] ج. اکسلسون ، اصول و راهنمای استفاده از پورت USB، مترجم: شهرام ظریف، انتشارات نگین دانش، ۱۳۸۳.
- [۵] ستار میرزا کوچکی، میکروکنترلر پیک: ساختار، برنامه‌ریزی و کاربردها، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴.
- [۶] جان وبستر، تجهیزات پزشکی (طراحی و کاربرد)، مترجم: سیامک نجاریان، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ۱۳۵۹.

