



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)  
دانشکده مهندسی برق

پروژه کارشناسی  
گروه کنترل

طراحی و ساخت ساعت مچی هوشمند  
با قابلیت تحلیل حرکات دست و پایش سلامت

نگارش  
سلمان عامی مطلق

استاد راهنما  
دکتر محمداعظم خسروی

مرداد ۱۴۰۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

تاریخ: مرداد ۱۴۰۱

## تعهدنامه اصالت اثر



اینجانب سلمان عامی مطلق متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

سلمان عامی مطلق

امضا

# سپاس‌گزاری

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات جناب آقای دکتر محمداعظم خسروی که در مراحل انجام این پروژه به عنوان استاد راهنما و استاد مشاور در کنار بنده بودند و حمایت همه جانبه از من داشتند، تقدیر و تشکر به عمل آورم. امید است که توانسته باشم اندکی از الطافشان را جبران کنم.

از پدر و مادر عزیزم، که بیان تشکر از ایشان، از دامنهی لغات فراگرفته در زندگی‌ام خارج است، کمال تشکر را دارم و امیدوارم ذره‌ای از زحمات بی‌منتشان را جبران کرده باشم.

در پایان از استاد گرانقدرم مهندس امیرحسن آشنایی، مهندس فرید کاویانی، دکتر علی وزیری و مهندسی سعید دیاری بابت راهنمایی‌های بی‌چشم‌داشت و دلسوزانه‌شان، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

سلمان عامی مطلق

مرداد ۱۴۰۱

## چکیده

امروزه جای تجهیزاتی از قبیل تلفن همراه و ساعت‌های هوشمند در زندگی مردم این دوره باز شده و استفاده‌ی رایجی دارند. لذا بهبود تعاملات انسان و سامانه‌های هوشمند می‌تواند برگ برنده‌ای برای این صنعت باشد. یکی از جنبه‌های این تعامل، برقراری ارتباط بین ساعت هوشمند، تلفن همراه و پایش حرکات فیزیکی است. در این پروژه ابتدا یک ساعت هوشمند به صورت کامل طراحی شده است. این طراحی شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و طراحی مکانیکی است. این دستگاه از بستر بلوتوث برای برقراری ارتباط با تلفن همراه استفاده می‌کند، دارای حسگر شتاب، حسگر سلامت (پالس اکسی متر)، بازو، موتور ایجاد لرزش، شارژر باتری لیتیومی، کلیدهای لمسی و صفحه‌ی نمایش است. به کمک حسگر شتاب و پردازش سیگنال آن، متغیرهای فضایی دست اندازه‌گیری شده و به کمک پیاده‌سازی دو فیلتر کالمن، اطلاعات حسگر فیلتر شدند. این تشخیص حرکت برای مواردی مثل شمارش گام و روشن شدن صفحه نمایش در صورت بالا آمدن دست استفاده شده‌اند. برای پیاده‌سازی این فیلتر از تکنیک جاگذاری مقدار نهایی ضرایب استفاده شده است که باعث کاهش چشمگیر حجم محاسبات، کاهش حافظه‌ی مورد نیاز و افزایش سرعت اجرا است. کار انجام شده‌ی پیش‌رو، نقطه‌ی پایانی برای این پروژه نیست و می‌توان ایده‌های زیادی برای پیشرفت و مسیر آینده‌ی این پروژه متصور شد. هدایت یک بازوی رباتیک بر اساس حرکت دست به کمک فناوری اینترنت اشیا مثالی از این ایده‌ها است.

## واژه‌های کلیدی:

ساعت هوشمند، فیلتر کالمن، ریزپردازنده، تلفن همراه هوشمند، دستگاه پوشیدنی

## فهرست مطالب

۲	.....	۱	سخت افزار و الکترونیک
۳	.....	۱-۱	فیبر مدار چاپی
۴	.....	۲-۱	هسته‌ی پردازشی
۶	.....	۳-۱	درگاه بلوتوث
۸	.....	۴-۱	درگاه ارتباط سریال
۸	.....	۵-۱	حسگر پالس اکسی متر
۹	.....	۶-۱	حسگر شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای
۱۰	.....	۷-۱	صفحه نمایش
۱۰	.....	۸-۱	مدار شارژ و مدیریت توان
۱۰	.....	۹-۱	موتور ایجاد لرزش
۱۱	.....	۱۰-۱	بازر
۱۱	.....	۱۱-۱	کلیدهای لمسی
۱۲	.....		منابع و مراجع

شکل	فهرست اشکال	صفحه
۱-۱	پی‌سی‌بی طراحی شده در نرم‌افزار Altium Designer	۳
۲-۱	تصاویری از پی‌سی‌بی پروژه	۴
۳-۱	تصاویری از پردازنده STM32F030	۵
۴-۱	شماتیک مربوط به بخش ریزپردازنده	۶
۵-۱	تصاویری از ماژول بلوتوث HC-05	۷
۶-۱	شماتیک مربوط به بخش بلوتوث	۷
۷-۱	تصاویر مربوط به درگاه ارتباط سریال	۸
۸-۱	تصاویر حسگر حرکتی	۹
۹-۱	شماتیک مربوط به بخش حسگر حرکتی	۹
۱۰-۱	تصاویر موتور ایجاد لرزش	۱۰
۱۱-۱	شماتیک مربوط به بخش ایجاد لرزش	۱۱

# فصل اول

## سخت افزار و الکترونیک



همانطور که گفته شد، این پروژه شامل سه قسمت اصلی سخت افزار، مکانیک و نرم افزار است. در این فصل، به تشریح سخت افزار می پردازیم.

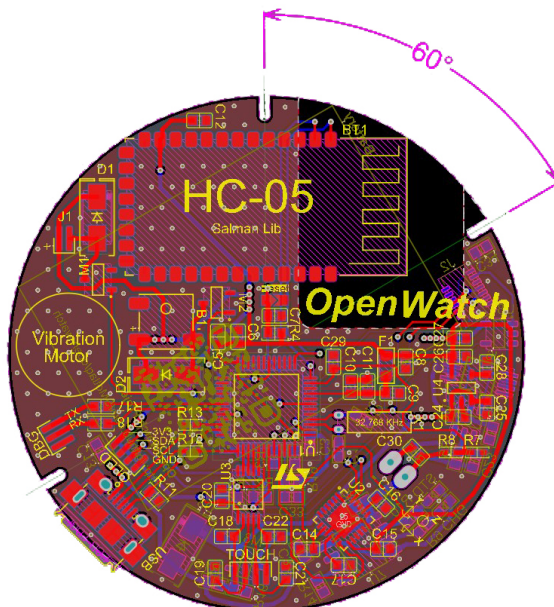
## ۱-۱ فیبر مدار چاپی

فیبر مدار چاپی یا PCB<sup>۱</sup> صفحه ای است معمولاً از جنس فیبر FR-4 که با دو لایه ی نازک مس (معمولاً به ضخامت ۳۵ میکرون) در طرفین پوشیده است. طرحی که طراح به کارخانه ی چاپ پی سی بی ارسال می کند روی این ورقه ها پیاده می شود. سپس لایه ی محافظ معمولاً سبز رنگ به نام Solder mask روی آن اضافه می شود که برای زیبایی بخشی به کار و محافظت از مس در مقابل خوردگی و اکسایش است.

در این پروژه از یک پی سی بی چهار لایه استفاده شده است. به دلیل فشردگی بالای طرح و قطعات، همچنین برای بهبود کیفیت سیگنال ها و کاهش اثر نویز، دو صفحه ی زمین در لایه های ۲ و ۳ تعبیه شده است. این صفحه ها با کوتاه کردن مسیر جریان برگشتی باعث بهبود کیفیت سیگنال و کاهش اثر نویز می شوند. همچنین تأثیر چشم گیری در سهولت مسیر کشی پی سی بی دارند.

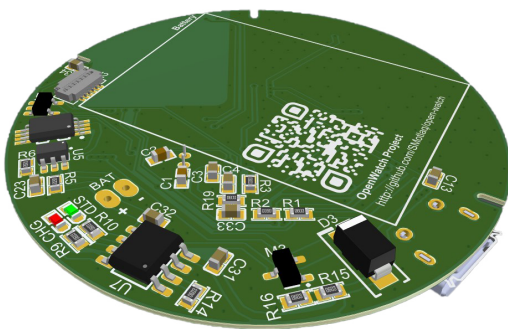
پی سی بی های این پروژه -به رایگان- توسط شرکت PCBWay<sup>[۱]</sup> چاپ شده است که از بزرگترین و مجهزترین کارخانه های چاپ پی سی بی در کشور چین است.

شکل ۱-۱ تصویر پی سی بی طراحی شده در نرم افزار Altium Designer را نشان می دهد. تصاویر مربوط به پی سی بی در شکل ۲-۱ قابل مشاهده است.

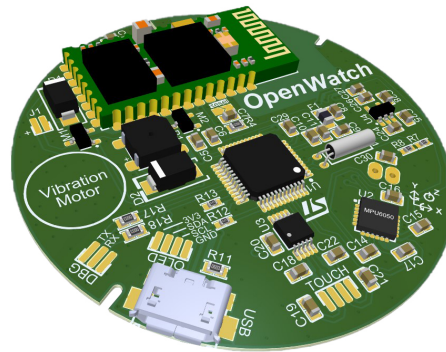


شکل ۱-۱: پی سی بی طراحی شده در نرم افزار Altium Designer

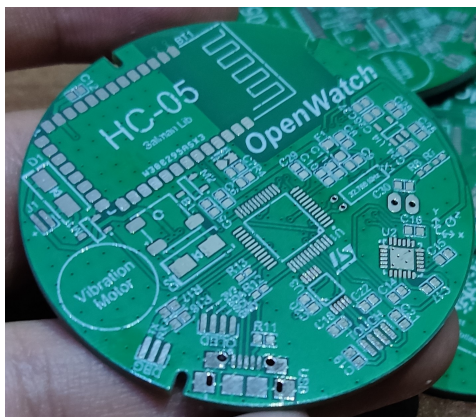
<sup>۱</sup> Printed Circuit Board



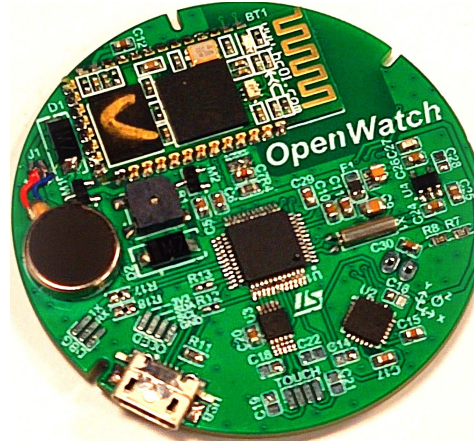
(ب) نمای سه بعدی طرح - پشت



(آ) نمای سه بعدی طرح - رو



(د) پی سی بی خام



(ج) پی سی بی مونتاژ شده

شکل ۱-۲: تصاویری از پی سی بی پروژه

## ۲-۱ هسته‌ی پردازشی

برای انتخاب پردازنده‌ی مناسب باید موارد ذیل را مدنظر داشت:

۱. مقدار حافظه‌ی فلش<sup>۲</sup>:

برنامه‌ای که برای پردازنده نوشته می‌شود در حافظه‌ی فلش ذخیره می‌شود. پس این حافظه مشخص می‌کند چه حجمی از برنامه در این پردازنده جا می‌شود.

۲. مقدار حافظه‌ی رم<sup>۳</sup>:

این حافظه، یک حافظه‌ی موقت است که متغیرها، اشاره‌گرها<sup>۴</sup>، نقطه‌ی بازگشت توابع و مقادیر ثبات‌ها<sup>۵</sup> به طور موقت در آن نوشته می‌شود. مقدار رم موردنیاز باید با توجه به حجم متغیرها و پیچیدگی عملیاتی و محاسباتی برنامه تعیین شود.

<sup>۲</sup>Flash

<sup>۳</sup>RAM

<sup>۴</sup>Pointers

<sup>۵</sup>Registers

### ۳. تعداد پایه‌ها و مدارهای واسط<sup>۶</sup>:

پردازنده‌های مختلف تنوع زیادی در نوع و تعداد مدارهای واسط ارائه می‌دهند. با توجه به تعداد سخت‌افزارهای جانبی، باید تعداد پایه و نوع مدارهای واسط موردنیاز تعیین شود.

### ۴. پکیج<sup>۷</sup>:

پکیج‌های مختلف نمایانگر شکل ظاهری پردازنده است. برخی پکیج‌ها ابعاد بزرگی دارند و برخی دیگر به قدری کوچک هستند که پایه‌های پردازنده در زیر تراشه تعبیه می‌شوند تا فضای کمتری اشغال کند. در انتخاب پکیج باید محدودیت فضای پی‌سی‌بی را مدنظر قرار داد.

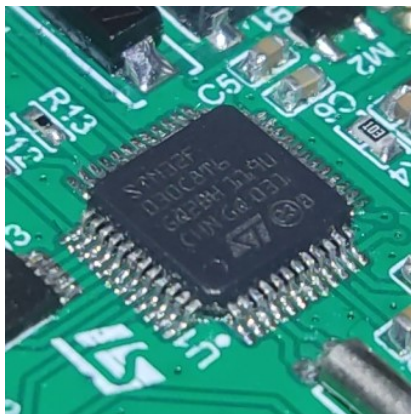
### ۵. موجودی بازار:

یکی از مهمترین چالش‌های مهندسان الکترونیک در ایران، موجودی بازار است. خیلی از قطعاتی که طراح به آن‌ها نیاز دارد در بازار ایران پیدا نمی‌شود یا قیمت بالایی دارد. یا باید به وارد کردن قطعه و تاخیر چند ماهه تن داد یا باید طرح را عوض کرد تا با قطعات موجود در بازار قابل پیاده‌سازی باشد.

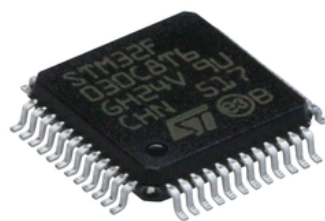
### ۶. قیمت:

بدیهی است که یکی از قیود طراحی، قیمت تمام شده است. طراح باید در انتخاب پردازنده طوری عمل کند که با کمترین قیمت، بهترین تطابق را با قیود بالا ایجاد کند.

در نهایت با بررسی موارد فوق، پردازنده‌ی انتخاب شده در این پروژه STM32F030C8 است. این پردازنده محصول شرکت ST که هسته‌ی ARM Cortex-M0 ۳۲ بیتی دارد. شکل ۱-۳ تصویر واقعی این پردازنده و شکل ۱-۳ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.

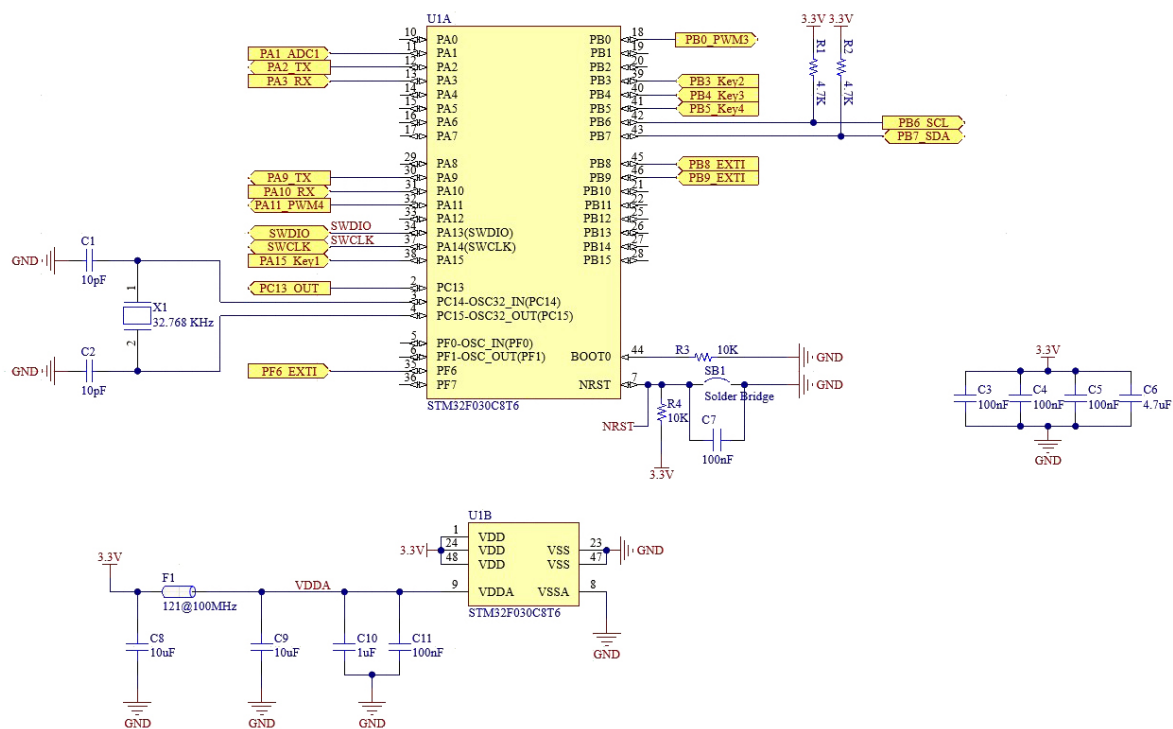


(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه



(آ) جداگانه

شکل ۱-۳: تصاویری از پردازنده STM32F030



شکل ۴-۱: شماتیک مربوط به بخش ریزپردازنده

شکل ۴-۱ شماتیک مداری بخش پردازنده را نشان می دهد. یک کریستال ۳۲۷۶۸ هرتزی وظیفه ی تنظیم فرکانس بخش RTC<sup>۸</sup> را بر عهده دارد. ساعت سیستم توسط این واحد ذخیره و تنظیم می شود. تغذیه ی بخش ADC<sup>۹</sup> توسط چند خازن و یک فریت بید<sup>۱۰</sup> فیلتر شده است. تغذیه ی خود پردازنده نیز توسط ۴ خازن (مطابق با دستور کارخانه سازنده) فیلتر شده است.

### ۳-۱ درگاه بلوتوث

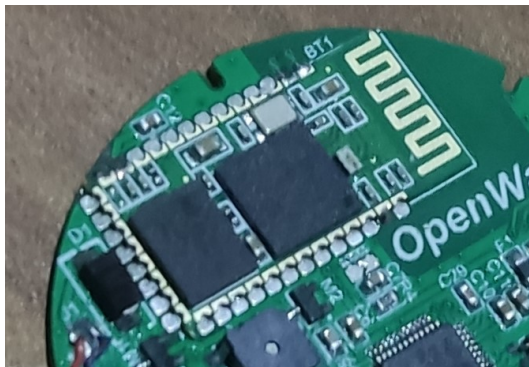
ارتباط ساعت با تلفن همراه از طریق درگاه بلوتوث<sup>۱۱</sup> است. قیود انتخاب بلوتوث هم تا حدی مشابه قیود انتخاب پردازنده (ابتدای بخش ۲-۱) است. با در نظر گرفتن شرایط بازار، قیمت و عملکرد ماژول های مختلف، نهایتا ماژول HC-05 برای این پروژه انتخاب شد. شکل ۱-۵ تصویر این ماژول و شکل ۱-۵ب تصویر آن را بر روی پی سی بی ساعت نشان می دهد.

یکی از نکات مهمی که در طراحی پی سی بی برای ماژول های مخابراتی وجود دارد این است که در نزدیکی آنتن این ماژول ها نباید هادی جریان الکتریکی وجود داشته باشد. در غیر این صورت خاصیت خازنی بین آنتن و این هادی باعث تغییر مشخصه های آنتن می شود و باعث اختلال در عملکرد آنتن

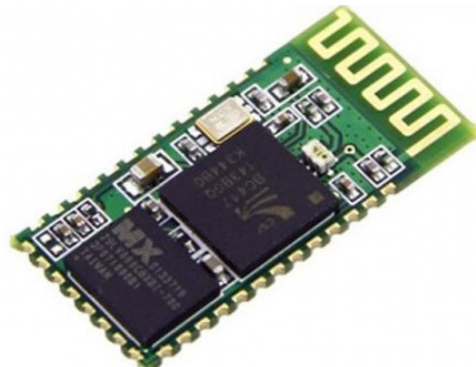
- Real Time Clock<sup>۸</sup>
- Analog to Digital Converter<sup>۹</sup>
- Ferrite Bead<sup>۱۰</sup>
- Bluetooth<sup>۱۱</sup>



می گردد. همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می شود، مس های اطراف آنتن حذف شده اند تا عملکرد بلوتوث دچار مشکل نشود.



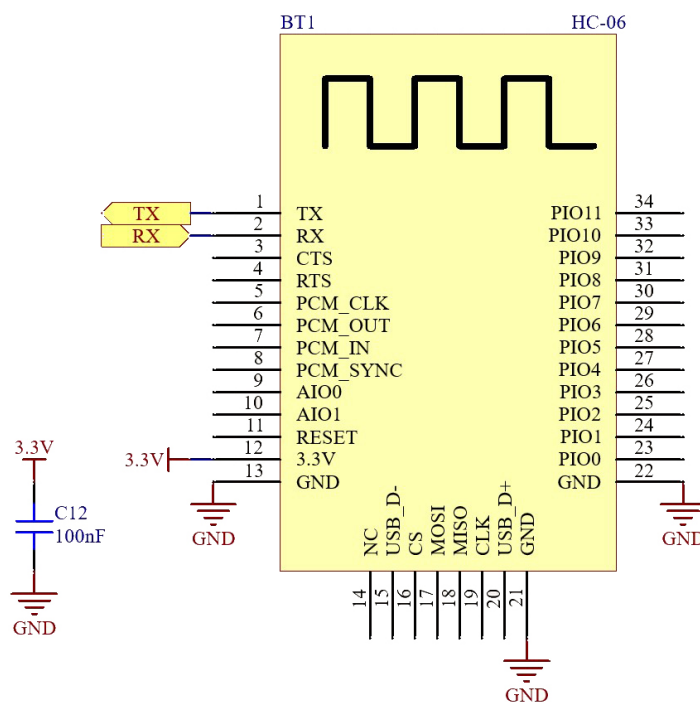
(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه



(آ) جداگانه

شکل ۱-۵: تصاویری از ماژول بلوتوث HC-05

شکل ۱-۶ شماتیک مداری بخش بلوتوث را نشان می دهد. پروتکل ارتباطی این ماژول با پردازنده پروتکل UART<sup>۱۲</sup> است که با دو پین RX و TX به پردازنده متصل می شود. پریفرال UART2 در پردازنده به ارتباط با بلوتوث اختصاص دارد. تغذیه ی ماژول نیز با یک خازن ۱۰۰ نانوفارادی فیلتر شده است.

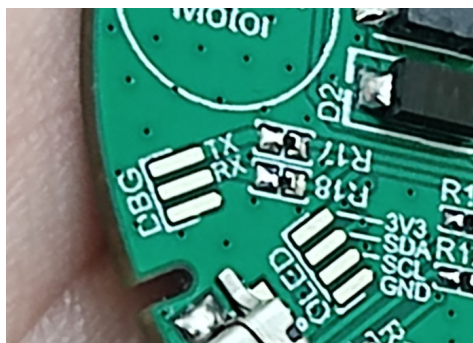


شکل ۱-۶: شماتیک مربوط به بخش بلوتوث

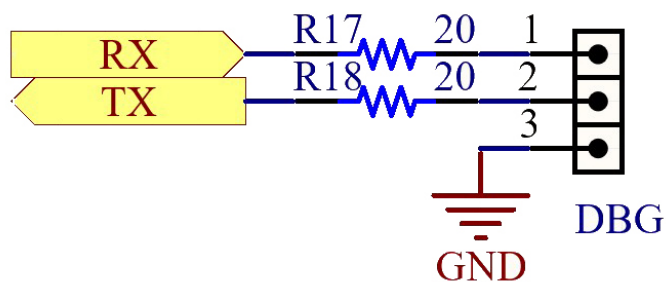
<sup>۱۲</sup> Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

## ۴-۱ درگاه ارتباط سریال

پریفرال UART1 در پردازنده با دو پین RX و TX از روی پی‌سی‌بی خارج شده‌اند. کاربرد این دو پین اشکالیابی<sup>۱۳</sup> و ارتباط سرعت بالا بین ساعت و رایانه است. این بخش کاربردی در عملکرد کلی ساعت ندارد و صرفاً روند توسعه را تسریع می‌کند. شکل ۱-۷<sup>آ</sup> شماتیک مداری و شکل ۱-۷<sup>ب</sup> تصویر واقعی این دو پین را نشان می‌دهد.



(ب) پین‌های مربوطه



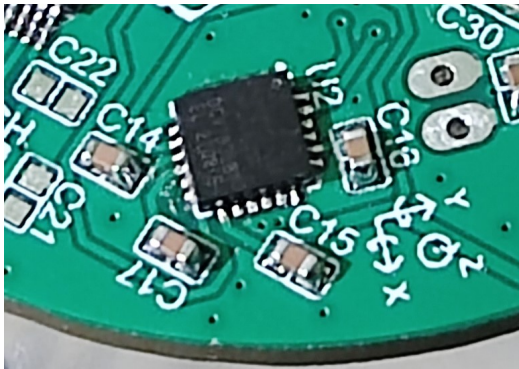
(آ) شماتیک

شکل ۱-۷: تصاویر مربوط به درگاه ارتباط سریال

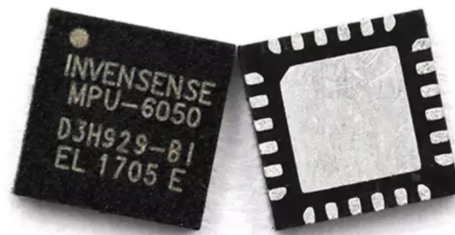
## ۵-۱ حسگر پالس اکسی‌متر

## ۶-۱ حسگر شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای

برای اندازه‌گیری مشخصه‌های حرکتی باید سراغ IMU<sup>۱۴</sup> ها رفت. IMU ها وسیله‌های الکترونیکی هستند که با استفاده‌ی ترکیبی از شتاب‌سنج‌ها، ژيروسکوپ‌ها و گاهی اوقات مغناطیس‌سنج‌ها، مشخصه‌های حرکتی را اندازه‌گیری و گزارش می‌کنند [۲]. در این پروژه از حسگر MPU6050 به این منظور استفاده شده است. این حسگر علی‌رغم قیمت نسبتاً پایین، دقت و سرعت مناسبی دارد. مشخصات فنی این حسگر در ضمیمه ؟ موجود است. شکل ۸-۱ تصویر این حسگر و شکل ۸-۲ تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



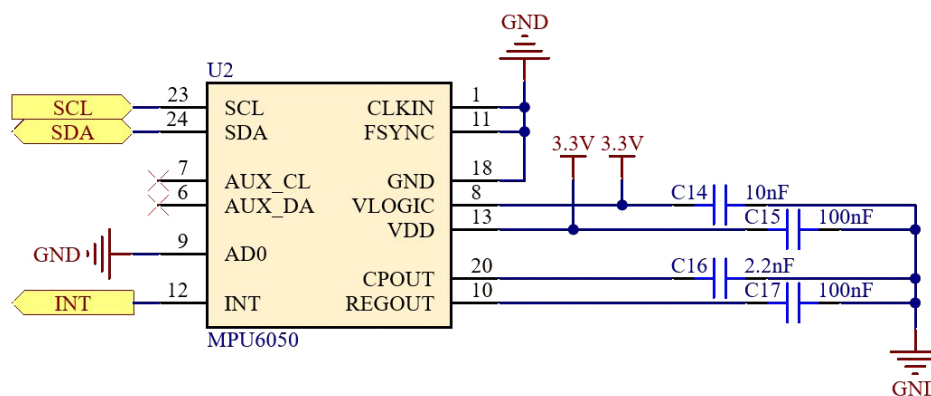
(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه



(آ) جداگانه

شکل ۸-۱: تصاویر حسگر حرکتی

شکل ۹-۱ شماتیک مداری حسگر MPU6050 را نشان می‌دهد. خازن‌ها طبق دستور کارخانه به حسگر متصل شده‌اند. درگاه ارتباطی این حسگر، باس<sup>۱۵</sup> I2C<sup>۱۶</sup> است. به همین دلیل I2C1 پردازنده به این حسگر متصل است.



شکل ۹-۱: شماتیک مربوط به بخش حسگر حرکتی

<sup>۱۴</sup>Inertial Measurement Unit

<sup>۱۵</sup>Bus

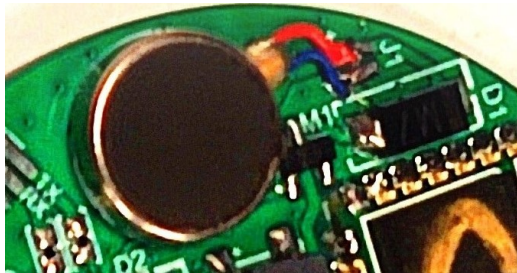
<sup>۱۶</sup>Inter-Integrated Circuit

## ۷-۱ صفحه نمایش

## ۸-۱ مدار شارژ و مدیریت توان

## ۹-۱ موتور ایجاد لرزش

برای ایجاد لرزش<sup>۱۷</sup> در ساعت، مشابه تلفن‌های همراه، از یک موتور مخصوص استفاده شده است. موتورهای ایجاد لرزش معمولاً یک موتور DC ساده هستند که یک بار نامتقارن به آن‌ها متصل است. از آنجا که مرکز جرم این بار خارج از شفت موتور است، چرخش آن باعث ایجاد گشتاوری دوار می‌شود که لرزش را ایجاد می‌کند. شکل ۱-۵ تصویر این موتور و شکل ۱-۵ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



(ب) موتور شده روی برد پروژه



(آ) جداگانه

شکل ۱-۱۰: تصاویر موتور ایجاد لرزش

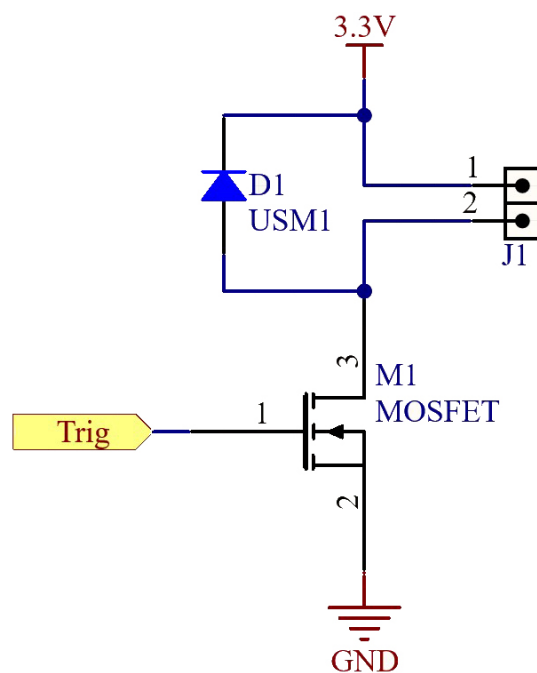
شکل ۱-۱۱ شماتیک مداری بخش ایجاد لرزش را نشان می‌دهد. این موتور برای کار به ۹۰ میلی آمپر جریان الکتریکی احتیاج دارد. طبیعتاً پردازنده نمی‌تواند این جریان را تأمین کند. لذا از یک سویچ ماسفت<sup>۱۸</sup> برای قطع و وصل موتور استفاده شده است. دیودی که با موتور موازی شده از ورود جریان برگشتی موتور به ماسفت هنگام خاموش شدن موتور جلوگیری می‌کند. برای کنترل سرعت موتور می‌توان از اعمال موج PWM<sup>۱۹</sup> به موتور بهره برد. لذا پایه‌ی فرمان این مدار به خروجی PWM تایمر ۱ در پردازنده متصل شده است.

<sup>۱۷</sup>Vibration

<sup>۱۸</sup>Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

<sup>۱۹</sup>Pulse Width Modulation





شکل ۱-۱۱: شماتیک مربوط به بخش ایجاد لرزش

۱۰-۱ بازر

۱۱-۱ کلیدهای لمسی

## منابع و مراجع

- [1] PCBWay. Pcbway website. <https://www.pcbway.com/>.
- [2] Wikipedia contributors. Inertial measurement unit — Wikipedia, the free encyclopedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial\\_measurement\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit).