

طراحی و شبیه سازی مدار آنالوگ سیگنال گام شمار

امیرحسین زاهدی¹، حسین اسکندری²

¹دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف، amirhosseinzahedi1381@gmail.com

²دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف، ahsn591810@gmail.com

چکیده - با استفاده از سیگنال های حاصل از حسگر شتابسنج که سیگنال هایی شبه سینوسی اما پر از نویز و فرکانس های متفاوت هستند، می توان فرکانس های بزرگتر از 4 هرتز را فیلتر کرد تا سیگنال هایی با قله های مثبت و منفی بدست آیند. با استفاده از این سیگنال ها، تقویت آن ها، مقایسه با مقدار آستانه مشخص و حذف آفست ولتاژ می توان سیگنالی حاوی قطار پالس تولید کرد که هر پالس نشان دهنده یک گام حرکتی باشد. با شمارش پالس ها می توان تعداد گام های برداشته شده در بازه زمانی آن سیگنال را بدست آورد. مراحل بیان شده را می توان به هر دو روش طراحی مدارات آنالوگ در نرم افزار LTSpice و پردازش سیگنال واقعی ضبط شده در نرم افزار Matlab طی کرد و از سیگنال آنالوگ نویزی بدست آمده از تغییرات شتاب ناشی از گام برداری یک فرد، تعداد گام برداشته شده او را محاسبه کرد. کلید واژه- تقویت کننده، سیگنال، شتابسنج، فیلتر

1- مقدمه

نمی توانند سرعت راه رفتن را اندازه گیری کنند، به این معنی که قدم هایی که با راه رفتن آهسته راه می روند، معمولاً مشابه قدم هایی هستند که دویدن یا حتی با سرعت می دوند

گام شمار ها معمولاً ماژول ها یا حسگر های الکتریکی کوچک و قابل حملی هستند که می توانند با اندازه گیری تغییرات شتابی که در بدن در حین راه رفتن اتفاق می افتند، تعداد گام های فرد را شمارش کنند. تعداد و طول گام هر فرد با دیگری متفاوت اما در محدوده مشخصی است، پس می توان با استفاده از سیگنالی که از حسگر شتابسنج در حین گام برداری فرد تولید می شود، تعداد گام او و همچنین مسافت طی شده را بدست آورد. در این پروژه ما سعی داریم تا مدار تحلیلگر سیگنال بدست آمده از شتابسنج را به جهت تولید گام شمار، طراحی کنیم.

نوعی از قدم شمار ها موسوم به بند های تناسب اندام امروزه بسیار گسترده و محبوب شده اند بطوریکه نه تنها بعنوان گام شمار بلکه بسیاری از موارد سلامتی همچون کالری و انرژی مصرف شده، فشار خون، میزان اکسیژن خون و... را نیز اندازه گیری می کنند. اهمیت این دستگاه های سلامتی امروزه انکارناپذیر است بطوری که حتی برای پایش وضعیت بیماران در برخی بیمارستان ها و مراکز درمان اسفاده می شوند.

همچنین بسیاری از ماژول ها و سرویس ها و برنامه های کاربردی تلفن های هوشمند توسعه یافته اند که در کاربرد گام شماری، با استفاده از ژيروسکوپ موجود در گوشی های هوشمند می توان

قدم سنج که گاهی به آن «گام سنج» نیز می گویند، وسیله ای الکترونیکی است که تعداد گام هایی را که فرد طی کرده است محاسبه می کند. اکثر آنها نسبتاً کوچک هستند و طوری طراحی شده اند که داخل جیب یا گیره روی کمر بند قرار می گیرند و حرکات فرد پوشنده را حس می کنند و بر اساس حرکت لگن قدم ها را می شمارند. سپس اکثر آنها این مراحل را به یک فاصله قابل اندازه گیری تبدیل می کنند. مردم اغلب از این وسایل به عنوان راهی برای ایجاد انگیزه در خود برای راه رفتن بیشتر یا به عنوان وسیله ای برای اندازه گیری مسافت طی شده در حین انجام فعالیت های روزمره استفاده می کنند. آن ها می توانند از دستگاه های ساده که فقط نمایشگر دارند تا دستگاه های پیچیده که با گوشی های هوشمند و وبسایت های کاهش وزن همگام سازی می شوند، متغیر باشند. با این حال، فرض اصلی شمارش مراحل بدون توجه به جزئیات یکسان است.

چگونه کار می کند؟

بیشتر گام سنج ها با حس کردن ارتعاش و حرکت نوسانی کار می کنند که هر زمان که فرد راه می رود یا می دود اتفاق می افتد. این معمولاً از طریق ترکیبی از سنسورهای الکترونیکی و چرخ دنده های اصلی در داخل دستگاه انجام می شود. در بیشتر موارد، محاسبه مراحل انجام شده بسیار آسان است. با این حال، دستگاه ها معمولاً

برنامه آن را اجرا کرد.

کرد:

- Omron HJ-112
- Huawei Band 7
- Amazfit Band 7
- OMNiX DF23
- Mgaolo Fitness Tracker
- Bomxy Fitness Tracker Watch

بسیاری از متخصصان سلامت می گویند که پیاده روی یکی از بهترین شکل های ورزش است، و همچنین چیزی است که برای اکثر مردم به راحتی می توان آن را در زندگی روزمره خود گنجاند. گام سنج ها اغلب در میان افرادی که می خواهند بیشتر راه بروند، اما مطمئن نیستند که چگونه آن را با سبک زندگی شان تطبیق می دهند، بسیار محبوب هستند. پوشیدن یکی از این دستگاه ها حتی برای گام های روزمره مانند بالا و پایین رفتن از پله ها یا مسافت بین دفتر کار تا ماشین را هم به حساب می آورد، و تماشای بالا رفتن اعداد می تواند افراد را تشویق به انجام کارهایی مانند کمی دورتر پارک کردن یا راه رفتن در راهرو کند.

در نهایت، کاربران تشویق می شوند تا برای آنچه که به عنوان "حداکثر پتانسیل" شناخته می شود، تلاش کنند. هر هفته، فرد باید به تعداد قدم هایی که برمی دارد به هدف خود اضافه کند. اکثر متخصصان تناسب اندام توصیه می کنند که فرد سعی کند روزانه بین 6000 تا 10000 قدم برود تا بیشترین سود را داشته باشد.

گام شمار ها همچنین برای فعالیت های ورزشی و تناسب اندام کاربرد گسترده ای دارند و روز به روز به محبوبیت آنها افزوده می شود.

همانطور که ذکر شد بند های سلامتی (که علاوه بر گام شماری قابلیت های دیگری هم دارند) در مراکز درمانی مورد استفاده قرار می گیرند.

چه مدل هایی دارد؟

ابتدایی ترین گام شمار جعبه های ساده ای هستند که با باتری کار می کنند و کمی بیشتر از یک صفحه نمایش و یک کلید روشن/خاموش دارند. برخی می توانند داده های چند روزه را ذخیره کنند، اما بسیاری از آنها هر بار که خاموش می شوند بازنشانی می شوند. مدل های این دسته معمولاً بسیار ارزان هستند و می توانند انتخاب های خوبی برای افرادی باشند که به هیچ نوع ردیابی جدی نیاز ندارند یا نمی خواهند.

هر چند گزینه های مختلفی وجود دارد. مدل های جذاب تر می توانند تعداد گام ها را از روزها یا حتی هفته ها و سال های گذشته ذخیره کنند، که می تواند راه خوبی برای پیگیری پیشرفت خود در طول زمان به افراد ارائه دهد. بسیاری از دستگاه های مدرن را می توان با سایر فناوری ها از جمله تلفن ها و وب سایت ها همگام کرد. به این ترتیب، دستگاه ها می توانند بخشی از یک برنامه تمرینی یا تناسب اندام بزرگ تر شوند و داده ها به طور یکپارچه از یک مکان به مکان دیگر منتقل و وارد شوند.

از نمونه های تجاری گام شمار می توان به محصولات زیر اشاره

همچنین تگزاس اینسترومنت (Texas Instrument) یک گام شمار با توان مصرفی پایین دیجیتال معرفی کرده است که توسط MSP430™ MCU ساخته شده است. که دارای مشخصات نظیر 4 کیلو بایت فلش مموری، 1 تا 2 کیلو بایت رم، کلاک 4 مگاهرتزی و میکرو کنترلر 32 بیتی MSP430 می باشد.

چیزی که قرار است در ادامه معرفی شود، فرایند طراحی و شبیه سازی است بطوری که ورودی، سیگنال های شتاب سنج در زمان پیاده روی شخصی می باشد و خروجی تعداد گام های برداشته شده توسط اوست.

در ابتدا سیگنال های شتاب سنج به سیگنال تک بعدی ولتاژ تبدیل می شود. این سیگنال (که در حدود 20 میلی ولت دامنه دارد)، ابتدا به یک پیش تقویت کننده که سطح آن را به حدود منفی 2 تا مثبت 2 می رساند.

سپس سیگنال از فیلتر بالاگذر و پایین گذر (یا همان یک فیلتر میان گذر) عبور می کند و سیگنال خالص "گام" بدست می آید. سپس از یک تقویت کننده که سطح سیگنال را به 0 تا 5 ولت برساند، عبور می دهیم.

بعد از آن مرحله مربعی سازی سیگنال و تعیین ترشولد (آستانه) برای آن است بطوری که سیگنال بزرگتر از حد آستانه مقدار ثابت 5 ولت و سیگنال کوچکتر از ترشولد مقدار ثابت 0 ولت داشته باشد (مقدار ترشولد 2.5 ولت می باشد).

نحوه ی ارایه اطلاعات هم به این صورت است که در ادامه ابتدا درباره مشخصات سیگنال های خروجی شتاب سنج، بلوک های مورد نیاز طراحی مدار آنالوگ و روش های طراحی صحبت می شود، سپس با تقسیم بندی پروژه به دو بخش طراحی و شبیه سازی مدار در نرم افزار LTSpice و طراحی و شبیه سازی سیگنال شتاب سنج در نرم افزار Matlab، اطلاعات مورد نیاز و کار شده به صورت مبسوط ارائه می شوند.

2- پیش زمینه‌ی طرح

اطلاعات و مشخصات اندازه گیری توسط نرم افزار LTspice پس از شبیه سازی در نمودار های زمانی ولتاژ و سیگنال های مدار قابل دسترسی می باشد. همچنین در ادامه در قسمت مشخصات سیگنال موارد مربوط به اندازه گیری نیز بطور تفصیلی بیان شده است.

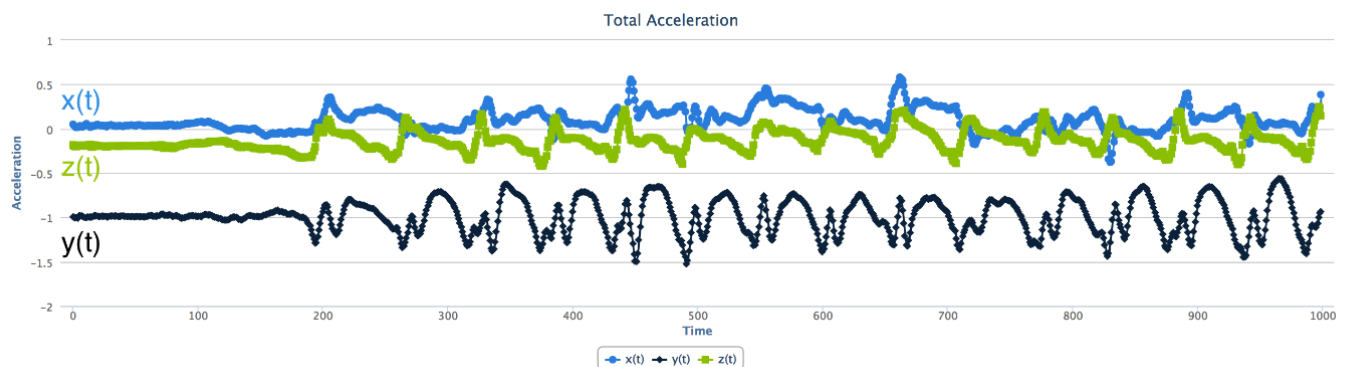
اطلاعات گام شماری توسط سیگنال های اصلی گام که توسط ژيروسکوپ موبایل سنجیده شده و بوسیله ی نرم افزار متلب جمع آوری شدند. سپس این اطلاعات توسط ضرب داخلی (و فرمول تبدیل مقادیر 3 بعد به 1 بعد، یعنی به توان دو رساندن مولفه هر بعد سپس رادیکال گرفتن از مجموع آن ها) به یک سیگنال تبدیل می شود.

توجه داریم که سیگنال تولیدی در شبیه سازی توسط چند منبع سینوسی تولید می گردند که در نهایت همان سیگنالی است که قبلاً بیان شده است.

سیگنال تک بعدی ولتاژ در حدود 20 میلی ولت دامنه خواهد داشت. یعنی در حدود -20mV تا $+20 \text{mV}$ نوسان می کند. سپس با استفاده

اپ امپ ها: 6 اپ امپ از نوع OP07
شمارنده: 4 شمارنده DFLOP
منابع ولتاژ: 2 منبع ولتاژ DC دارای مقادیر مثبت 5 ولت و منفی 5 ولت
معرفی روش های رایج در طراحی و ساخت موارد مشابه با توجه به مراجع معتبر:
بیاپید تا نگاهی به فرایند گام شماری بیندازیم!
نظریه گام شماری:

ظهور دستگاه های تلفن همراه با خود روندی برای جمع آوری اطلاعات بیشتر و بیشتر در زندگی روزمره ما به همراه داشت. یکی از انواع داده هایی که بسیاری از افراد جمع آوری می کنند، تعداد قدم هایی است که طی یک دوره زمانی انجام داده اند. این داده ها را می توان برای ردیابی سلامت، آموزش برای رویدادهای ورزشی، یا برای کسانی از ما که وسواس زیادی در جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها داریم، فقط برای گام برداشتن استفاده کرد. مراحل را می توان با استفاده از گام



شکل 1: سیگنال های هر راستای فضای سه بعدی شتاب سنج [2]

شمار، که اغلب از داده های شتاب سنج سخت افزاری به عنوان ورودی استفاده می کند، شمارش کرد.

شتاب سنج چیست؟

شتاب سنج قطعه سخت افزاری است که شتاب را در راستاهای مختلف اندازه گیری می کند. بسیاری از مردم هر جا که می روند شتاب سنج را با خود حمل می کنند، زیرا تقریباً در تمام گوشی های هوشمند موجود در بازار تعبیه شده است. یک شتاب سنج سیگنالی را در فضای سه بعدی برمی گرداند. سیگنال مجموعه ای از نقاط داده است که در طول زمان ثبت می شوند. هر جزء سیگنال یک سری زمانی است که نشان دهنده شتاب در یکی از راستاها است.

نرخ نمونه برداری شتاب سنج، که اغلب می تواند کالیبره شود، تعداد اندازه گیری ها را در هر ثانیه تعیین می کند. به عنوان مثال، یک شتاب سنج با نرخ نمونه برداری 100، 100 نقطه داده را برای

از تقویت کننده معکوس نکننده عملیاتی با بهره حدود 100 تقویت می شود تا به سطح ولتاژی -2V تا $+2 \text{V}$ ولت برسد. سپس از فیلتر میان گذر که از پایین فرکانس 0 و از بالا فرکانس های بیش از 5 هرتز را عبور نمی دهد، می گذر. بعد از آن مرحله مربعی سازی سیگنال و تعیین ترشولد (آستانه) برای آن است بطوری که سیگنال بزرگتر از حد آستانه مقدار ثابت 5 ولت و سیگنال کوچکتر از ترشولد مقدار ثابت 0 ولت داشته باشد (مقدار ترشولد 2.5 ولت می باشد).

پس این سیگنال به شمارنده ها اعمال می شود تا آن ها مقدار گام های برداشته شده را محاسبه و نشان دهند.

مشخصات مورد نیاز مدار آنالوگ:

مقاومت ها: 3 مقاومت 100 کیلو اهمی، 2 مقاومت 10 کیلو اهمی و 1 مقاومت 1 مگا اهمی

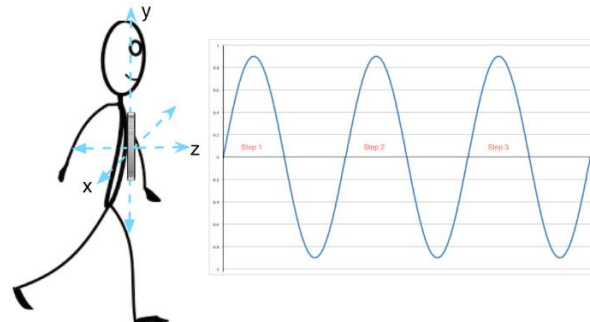
خازن ها: 1 خازن 10 میکرو فاراد و 1 خازن 390 نانو فاراد

هر راستا برمی گرداند.

بیایید در مورد یک پیاده روی صحبت کنیم!

وقتی فردی راه می رود، با هر قدم کمی جهش می کند. فقط بالای سر یک نفر را که شما از دور می شود تماشا می کنید. سر، تنه و باسن آنها در یک حرکت جهشی صاف هماهنگ می شوند. در حالی که مردم خیلی بالا پرش نمی کنند (فقط یک یا دو سانتی متر) این یکی از واضح ترین، ثابت ترین و قابل تشخیص ترین قسمت های سیگنال شتاب راه رفتن یک فرد است. یک نفر با هر قدم در جهت عمودی بالا و پایین می پرد. اگر روی زمین راه می روید، جهش در همان جهت گرانش است.

ما با استفاده از شتاب سنج برای شمارش بالا و پایین قدم ها را می شماریم. از آنجایی که تلفن می تواند در هر جهتی بچرخد، ما از جاذبه استفاده می کنیم تا بدانیم کدام جهت پایین است. گام شمار می تواند با شمارش تعداد پرش ها در جهت گرانش، گام ها را بشمارد. بیایید به شخصی که با گوشی هوشمند مجهز به شتاب سنج در جیب پیراهنش راه می رود، نگاه کنیم.



شکل 2: شکل حرکت سر یک انسان در حال راه رفتن [2]

برای سادگی، فرض می کنیم که فرد:

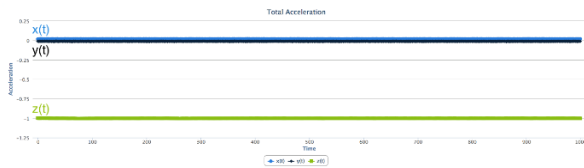
- تنها در راستای z راه می رود.
 - گوشی را در تمام طول پیاده روی در جهت یکسان نگه می دارد.
- در دنیای کامل ما، شتاب ناشی از پرش های پله ای یک موج سینوسی کامل در جهت y را تشکیل می دهد. هر پیک در موج سینوسی دقیقاً یک پله است. گام شماری به موضوع شمارش این پیک ها تبدیل می شود.

نیروی گرانش باعث ایجاد شتاب در جهت گرانش می شود که از آن به عنوان شتاب گرانشی یاد می کنیم. این شتاب منحصر به فرد است زیرا همیشه وجود دارد و برای اهداف این پروژه در 9.8 ثابت است.

فرض کنید یک گوشی هوشمند روی صفحه میز به سمت بالا خوابیده است. در این جهت، سیستم مختصات ما به گونه ای است که جهت z منفی همانی است که گرانش بر آن اثر می کند. گرانش گوشی ما را در جهت منفی z می کشاند، بنابراین شتاب سنج ما، حتی زمانی

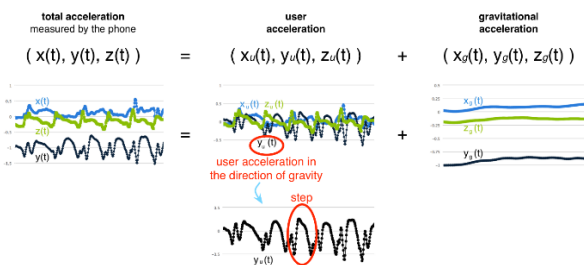
که کاملاً ساکن باشد، شتاب 9.8 متر بر ثانیه را ثبت می کند.

در جهت z منفی داده های شتاب سنج تلفن ما در این جهت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 3: سیگنال حاصل از شتاب سنج برای یک موبایل ساکن روی میز [2]

شتاب سنج ما تمام شتاب ها از جمله شتاب گرانشی را ثبت می کند. هر سری زمانی کل شتاب را در آن جهت اندازه گیری می کند. شتاب کل مجموع شتاب کاربر و شتاب گرانشی است. شتاب کاربر، شتاب دستگاه به دلیل حرکت کاربر است و زمانی که گوشی کاملاً ساکن است، روی 0 ثابت است. با این حال، هنگامی که کاربر با دستگاه در حال حرکت است، شتاب کاربر به ندرت ثابت خواهد بود، زیرا حرکت با شتاب ثابت برای شخص دشوار است.



شکل 4: نمودار سیگنال های شتاب سنج بطوریکه در راستای z

شتاب گرانش به آن وارد می شود [2]

برای شمارش گام ها، ما به پرش های ایجاد شده توسط کاربر در جهت گرانش علاقه مندیم. این بدان معناست که ما علاقه مند به جداسازی سری زمانی 1 بعدی هستیم که شتاب کاربر در جهت گرانش را از سیگنال شتاب 3 بعدی خود توصیف می کند. مردم موجودات پیچیده ای هستند!

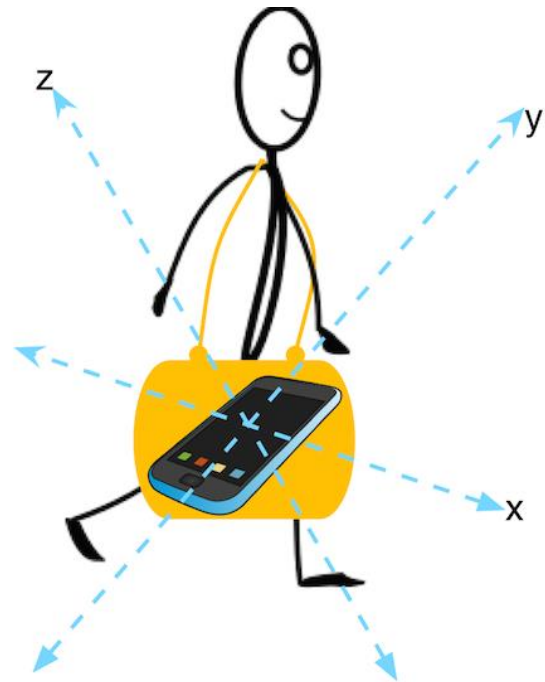
اگر شخصی گوشی را در یک کیف روی شانه های خود حمل کند، در حالی که تلفن در وضعیت بدتری قرار دارد؟ بدتر از آن، اگر تلفن در قسمتی از راه رفتن در کیف بچرخد، مانند شکل زیر، آن وقت چه می شود؟

فیلترهای پایین گذر و بالا گذر!

فیلتر ابزاری است که در پردازش سیگنال برای حذف یک جزء ناخواسته از سیگنال استفاده می شود. یک فیلتر پایین گذر اجازه عبور سیگنال های فرکانس پایین را می دهد، در حالی که سیگنال های بالاتر از آستانه تعیین شده را تضعیف می کند. برعکس، یک فیلتر بالاگذر به سیگنال های فرکانس بالا اجازه عبور می دهد، در حالی که سیگنال های زیر یک آستانه تعیین شده را تضعیف می کند.

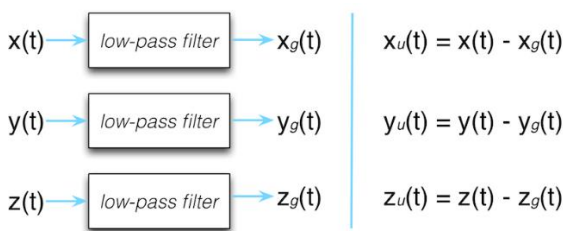
در شرایط ما، فرکانس اندازه گیری شده در هرتز، نشان می دهد که شتاب با چه سرعتی در حال تغییر است. یک شتاب ثابت دارای فرکانس 0 هرتز است، در حالی که یک شتاب غیر ثابت دارای فرکانس غیر صفر است. این بدان معناست که شتاب گرانشی ثابت ما یک سیگنال 0 هرتز است، در حالی که شتاب کاربر چنین نیست.

برای هر جزء، ما می توانیم شتاب کل را از یک فیلتر پایین گذر عبور دهیم و فقط سری زمانی شتاب گرانشی باقی می ماند. سپس می توانیم شتاب گرانشی را از شتاب کل کم کنیم و سری زمانی شتاب کاربر را خواهیم داشت.



شکل 5: شکل حرکت گوشی موبایل در کیف فردی در حال راه رفتن [2]

اکنون هر سه مؤلفه ما دارای شتاب گرانشی غیر صفر هستند، بنابراین شتاب کاربر در جهت گرانش اکنون بین هر سه سری زمانی تقسیم شده است. برای تعیین شتاب کاربر در جهت گرانش، ابتدا باید تعیین کنیم که گرانش در کدام جهت عمل می کند. برای این کار، باید شتاب کل در هر سه سری زمانی را به یک سری زمانی شتاب کاربر و یک زمان شتاب گرانشی تقسیم کنیم.



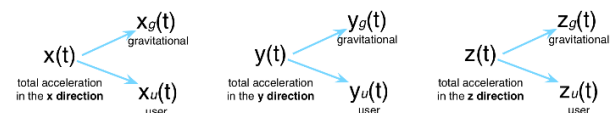
شکل 7: بدست آوردن مؤلفه گرانشی بوسیله فیلتر و تفریق سیگنال شتاب سنج از مؤلفه گرانشی [2]

جداسازی شتاب کاربر در جهت گرانش!

$x_u(t)$ ، $y_u(t)$ و $z_u(t)$ شامل تمام حرکات کاربر است، نه فقط حرکات در جهت گرانش. هدف ما در اینجا رسیدن به یک سری زمانی 1 بعدی است که نشان دهنده شتاب کاربر در جهت گرانش است. این شامل بخش هایی از شتاب کاربر در هر یک از جهت ها خواهد بود. محصول ضرب نقطه ای!

هنگام کار با مختصات، قبل از معرفی محصول نقطه ای، که یکی از ابزارهای اساسی مورد استفاده در مقایسه بزرگی و جهت مختصات x ، y و z است، خیلی دور نخواهید شد.

محصول ضرب نقطه ما را از فضای 3 بعدی به فضای 1 بعدی می برد. وقتی حاصل ضرب نقطه ای دو سری زمانی، شتاب کاربر و شتاب گرانشی را که هر دو در فضای 3 بعدی هستند، در نظر بگیریم، یک سری زمانی در فضای 1 بعدی باقی می مانیم که نمایانگر بخشی از شتاب کاربر در فضای 1 بعدی است. ما این سری زمانی جدید را $a(t)$ می نامیم.



شکل 6: تقسیم هر جز سیگنال شتاب سنج به دو مؤلفه حاصل از گرانش و غیر حاصل از گرانش [2]

سپس می توانیم بخشی از شتاب کاربر را در هر مؤلفه ای که در جهت گرانش است، جدا کنیم، و در نتیجه فقط شتاب کاربر در جهت سری های زمانی گرانش است.

بیاید این را به دو مرحله زیر تعریف کنیم:

- تقسیم شتاب کل به شتاب کاربر و شتاب گرانشی.
- جداسازی شتاب کاربر در جهت گرانش.

ما به هر مرحله به طور جداگانه نگاه می کنیم.

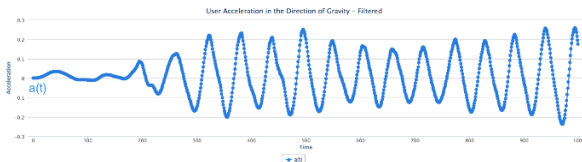
تقسیم شتاب کل به شتاب کاربر و شتاب گرانشی!

ما می توانیم از ابزاری به نام فیلتر برای تقسیم یک سری زمانی کل شتاب به یک سری زمانی شتاب کاربر و یک سری زمانی شتاب گرانشی استفاده کنیم.

4. قله های ناهموار

گام شمار ما باید افراد زیادی را با راه رفتن های مختلف در خود جای دهد، بنابراین ما حداقل و حداکثر فرکانس گام را بر اساس حجم نمونه بزرگی از افراد و پیاده روی ها تنظیم کرده ایم. این بدان معنی است که ممکن است گاهی اوقات مقداری زیاد یا خیلی کم فیلتر کنیم. در حالی که ما اغلب قله های نسبتاً صافی خواهیم داشت، می توانیم هر چند وقت یک بار قله ای «بامپر» داشته باشیم.

هنگامی که برآمدگی در آستانه ما رخ می دهد، می توانیم به اشتباه تعداد زیادی قدم را برای یک اوج بشماریم. برای رفع این مشکل از روشی به نام هیستریزیس استفاده خواهیم کرد. هیستریزیس به وابستگی یک خروجی به ورودی های گذشته اشاره دارد. ما می توانیم عبور از آستانه را در جهت مثبت و همچنین 0 عبور در جهت منفی را بشماریم. سپس، ما فقط قدم ها را می شماریم که در آن عبور از آستانه پس از عبور از 0 اتفاق می افتد، و مطمئن می شویم که هر مرحله را فقط یک بار می شماریم.



شکل 11: تشخیص نهایی گام شماری بوسیله ی تعیین حد

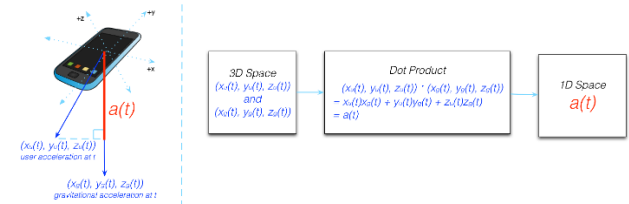
روش های دیگر نظیر مدار های دیجیتالی همانند مدار گام شمار شرکت Texas Instrument که با اسفاده از MSP340 MCU طراحی شده است.

یا طراحی گام شمار با استفاده از امواج رادیویی RF .

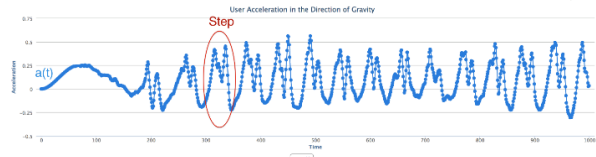
پروژه DIY Arduino Pedometer :

ADXL335 یک شتاب سنج آنالوگ 3 محوره کامل است و بر اساس اصل حسگر خازنی کار می کند. این یک مازول کوچک، نازک و کم مصرف با یک سنسور پلی سیلیکونی سطحی میکرو ماشین کاری شده و مدارهای تهویه سیگنال است. شتاب سنج ADXL335 می تواند شتاب استاتیک و پویا را اندازه گیری کند. در این پروژه گام شمار آردوینو، شتاب سنج ADXL335 به عنوان سنسور گام شمار عمل می کند.

شتاب سنج وسیله ای است که می تواند شتاب را در هر جهت به ولتاژ متغیر مربوطه تبدیل کند. این کار با استفاده از خازن ها (تصویر ارجاع) انجام می شود، همانطور که Accel حرکت می کند، خازن موجود در داخل آن نیز بر اساس حرکت دچار تغییرات (تصویر ارجاع) می شود، از آنجایی که ظرفیت خازن متغیر است، می توان یک ولتاژ متغیر نیز به دست آورد.



شکل 8: بدست آوردن سیگنال $a(t)$ برحسب مولفه های فضای سه بعدی [2]



شکل 9: شکل یک پریود از قدم، جایی که قدم برداشته می شود. [2]



شکل 10: شکل انواع مسایل و مشکلاتی که با آن روبرویم [2]

چهار مسئله و مشکل اصلی با $a(t)$ در وضعیت فعلی آن وجود دارد. بیایید هر یک را بررسی کنیم!

1. پرش های در قله

$a(t)$ دارای بسیاری "پرش" است، زیرا یک تلفن می تواند در هر مرحله تکان بخورد و یک جزء با فرکانس بالا به سری زمانی ما اضافه کند. به این پرش نویز می گویند. با مطالعه مجموعه داده های متعدد، ما تشخیص داده ایم که شتاب گام حداکثر 5 هرتز است. ما می توانیم از یک فیلتر IIR پایین گذر برای حذف نویز استفاده کنیم تا همه سیگنال های بالای 5 هرتز را تضعیف کنیم.

2. قله های آهسته

با نرخ نمونه برداری 100، پیک آهسته نمایش داده شده در $a(t)$ ، 1.5 ثانیه طول می کشد، که برای یک گام بسیار کند است. در مطالعه نمونه های کافی از داده ها، مشخص کرده ایم که کندترین قدمی که می توانیم برداریم فرکانس 1 هرتز است. شتاب های آهسته تر به دلیل یک جزء فرکانس پایین است که می توانیم دوباره آن را با استفاده از فیلتر IIR بالا گذر حذف کنیم.

3. قله های کوتاه

هنگامی که شخصی از یک برنامه استفاده می کند یا تماس برقرار می کند، شتاب سنج حرکات کوچکی را در جهت گرانش ثبت می کند و خود را به عنوان قله های کوتاه در سری زمانی ما نشان می دهد. ما می توانیم این قله های کوتاه را با تعیین یک آستانه حداقل و شمردن یک قدم در هر بار عبور $a(t)$ از آن آستانه در جهت مثبت حذف کنیم.

است و توقع می رود که توسط مدار آنالوگ پیاده سازی شده باشد. اما در اینجا پروژه را به دو بخش مجزا تقسیم می کنیم، گویی یک پروژه مشخص با دو روش متفاوت انجام شده باشد.

1. روش اول طراحی و شبیه سازی مدارات آنالوگ در نرم افزار LTSpice و شبیه سازی سیگنال مورد نظر است.

2. روش دوم ثبت سیگنال حقیقی شتاب سنج حاضر در گوشی های هوشمند در گام شماری و پردازش سیگنال به وسیله نرم افزار Matlab است.

در ابتدا مراحل انجام روش اول، مدارات مورد نیاز، بلوک دیاگرام، محاسبات و شبیه سازی ها بیان می شوند و سپس روش دوم، به صورت مفصل بیان می شود.

طراحی و پردازش سیگنال گام شماری به وسیله مدارات آنالوگ:

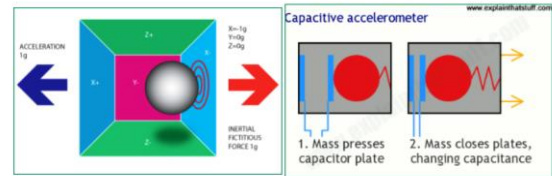
در این بخش مراحل مختلفی وجود دارند که به صورت بلوک دیاگرام در ادامه نیز نمایش داده می شوند. این مراحل عبارت اند از شبیه سازی سیگنال ورودی اندازه گیری شده توسط شتابسنج و اضافه کردن شرایط محیطی مانند نویز به آن، طراحی تقویت کننده های مناسب به جهت تقویت سیگنال خام با دامنه ولتاژ پایین، طراحی فیلتر باند بالا و پایین به جهت فیلتر کردن سیگنال نویز و دیگر سیگنال هایی که از دامنه فرکانسی گام شماری خارج هستند، تبدیل سیگنال تقویت شده و فیلتر شده به شکل موج پالس با توجه به شرایط تشخیص گام و همچنین شمارش تعداد پالس های تولید شده توسط شمارنده باینری.

نرم افزار مورد استفاده:

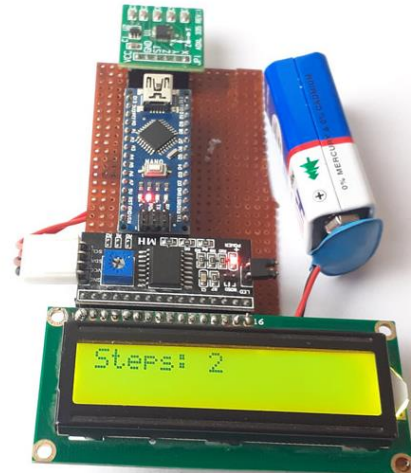
در این بخش از نرم افزار طراحی مدارات آنالوگ LTSpice استفاده شده است. این نرم افزار نسخه ای رایگان و پر قدرت از مجموعه نرم افزار های طراحی و شبیه سازی SPICE است که کاربری ساده تری نسبت به نسخه های دیگر دارد و می توان با استفاده از آن مدارات آنالوگ را طراحی و در حوه های فرکانسی و زمانی شبیه سازی کرد. این شبیه سازی ها شامل انواع نمودار های زمانی و فرکانسی با حالت های مختلف مانند Transient ، AC Sweep ، DC Sweep و ... هستند.

به دلیل حجم اندک، نصب راحت و کاربری راحت تر این نرم افزار نسبت به نسخه های دیگرش از LTSpice استفاده شده است. البته نرم افزار Proteus نیز می توانست انتخاب مناسبی برای طراحی مدار باشد که در این بخش ترجیح بر این داده شد که از آن استفاده نشود.

بلوک دیاگرام مدار:



شکل 12: خازن درون حسگر [3]



شکل 13: مدار گام شمار با استفاده از آردوینو [3]

3- پروژه

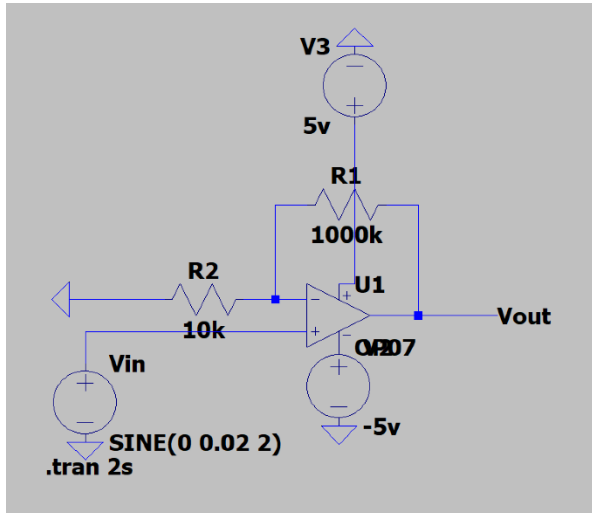
طراحی و ساخت گام شمار حاوی مراحل مختلف و متنوعی است که می تواند به طرق مختلفی انجام شود. برای مثال می توان با استفاده از مدار آنالوگ سیگنال ورودی را دریافت کرد، مراحل پردازشی را به صورت آنالوگ بر روی سیگنال اعمال کرد و خروجی مناسب که تعداد گام شمرده شده باشد را دریافت کرد یا با استفاده از تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال، پردازش های دیجیتالی بر روی سیگنال انجام داد و در نهایت مدار آنالوگ خروجی را به صورت تعداد گام شمرده شده تحویل داد. البته می توان از هر دو روش به صورت همزمان نیز استفاده کرد همانطور که در گام شمار های امروزی مدار مورد نیاز و حسگر مورد نیاز در گوش ها یا مچ بند ها قرار داده شده اند و سیگنال های شتاب سنجی توسط آنان ثبت می شوند. سپس این سیگنال ها به صورت دیجیتال در می آیند و توسط میکروکنترلر ها یا میکروپروسسور ها، عملیات های پردازشی بر روی آن ها انجام می گیرد تا در نهایت خروجی مطلوب حاصل شود. همانطور که در بخش های قبل نیز گفته شد پروژه، ساخت مدار آنالوگ ثبت سیگنال شتاب قدم شماری توسط حسگر پیزوالکتریک

شمارنده باینری → مقایسه گر → تقویت کننده میانی → فیلتر Lowpass → پیش تقویت کننده → فیلتر DC block → سیگنال شبیه سازی شده

شکل 14: بلوک دیاگرام مدار گام شمار

سیگنال های شتاب سنج به دلیل حضور همیشگی شتاب زمین، حاوی آفست هستند. مدار پیش تقویت کننده:

همانطور که بیان شد، دامنه سیگنال ورودی در حدود 20 الی 25 میلی ولت است، برای پردازش بهتر و سپس گذر سیگنال از فیلتر از تقویت کننده ای استفاده کردیم تا دامنه ورودی را به 2 ولت مثبت و منفی برساند. مدار طراحی شده به شکل زیر است:



شکل 16: بلوک مدار پیش تقویت کننده

ابتدا بهره تقویت کننده را بدست می آوریم:

$$A = -\frac{R1}{R2}$$

پس با توجه به آنکه برای این تقویت کننده بهره 100 در نظر گرفته شده است لازم است که اندازه مقاومت R1 100 برابر مقاومت R2 باشد. به همین دلیل مقاومت اول 1 مگا اهم و دومی 10 کیلو انتخاب می شوند. فیلتر Lowpass:

همانطور که در بخش های قبل نیز گفته شد، یک فرد در حالت دوییدن نیز نمی تواند بیش از 4 الی 5 قدم را در ثانیه طی کند، به همین دلیل تمام فرکانس های بالای 4 هرتز بی فایده هستند، پس به جهت حذف نویز و فرکانس های نا مفید بالاتر از 4 هرتز، از فیلتری با فرکانس قطع 4 هرتز استفاده می شود. فرکانس قطع از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{1}{2\pi RC}$$

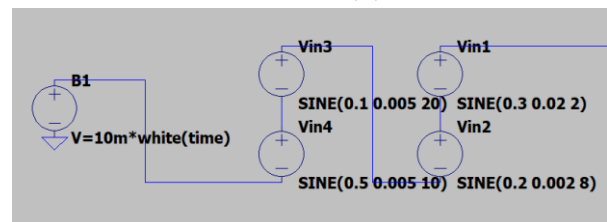
همانطور که بیان شد عبارت بالا باید برابر 4 شود، به همین دلیل با توجه به سری استاندارد e12، مقدار مقاومت 100 کیلو اهم و ظرفیت خازن 390 نانو فاراد تعیین می شود. مدار فیلتر به شکل زیر است:

هر قسمت از بلوک دیاگرام به صورت جدا گانه چه در طراحی و محاسبات و چه در شبیه سازی بررسی و توضیح داده می شوند. طراحی مدار و محاسبات: سیگنال شبیه سازی شده:

سیگنالی که از شتاب سنج به عنوان خروجی حسگر داده می شود، حاوی فرکانس های متفاوت پایین و بالا به همراه نویز فراوان است که البته در کل شمای کلی سیگنال سینوسی را دارد. سیگنالی که حقیق باشد و بتوان آن را وارد فضای LTSpice کرد متأسفانه یافت نشد و در نهایت این سیگنال به صورت دستی با ترکیب چند سیگنال سینوسی با فرکانس ها متنوع و منبع تولید نویز سفید، ساخته شد. به دلیل آنکه فرکانس اصلی گام شماری زیر 4 هرتز یا کمتر از آن است، یکی از منابع سینوسی را با فرکانس دو هرتز و با دامنه بیشتر نسبت به بقیه انتخاب می شود و بقیه فرکانس ها را که از خارج از بازه 4 هرتز انتخاب شده اند را با دامنه کمتر قرار می دهیم. فرکانس دو هرتز گذاشته شده نشان دهنده این است که فرد در هر ثانیه دو گام برداشته است. همچنین منبع نویز سفید را نیز به سیگنال اصلی اضافه می شود. به دلیل اینکه در سیگنال های دریافت شده ولتاژهای DC نیز می توانند حضور داشته باشند، به هر کدام از منابع ولتاژ آفستی نیز افزوده می شود.

در تحقیق های انجام شده شتاب سنج های واقعی در ارد ولت هستند اما شتاب سنج هایی که در گوشی های هوشمند به کار می روند خروجی میلی ولتی دارند. به همین دلیل دامنه سیگنال ورودی ساخته شده در حدود 20 الی 25 میلی ولت است. مدار سیگنال ساخته شده به شکل زیر است:

عدد سمت راست نشان دهنده فرکانس، عدد وسط نشان دهنده دامنه و عدد سمت چپ نشان دهنده DC offset است.

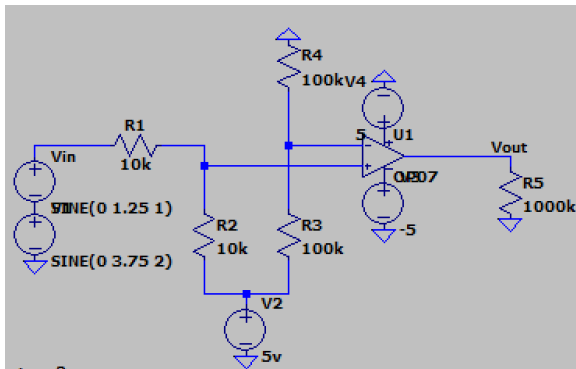


شکل 15: سیگنال ورودی ساخته شده با چند منبع سینوسی

فیلتر DC block:

در ابتدا تصمیم بر آن داشتیم تا با استفاده از فیلتر bandpass که فرکانس قطع پایین آن 0.2 باشد، قسمت DC ورودی را حذف کنیم، اما تصمیم بهتری که گرفته شد آن بود که در مسیر ورودی و قبل از تقویت کننده خازنی با ظرفیت 10 میکرو فاراد گذاشته شود و مانع بخش DC ورودی یا همان فرکانس 0 شود. این بخش به نوعی شبیه highpass عمل می کند و فرکانس 0 را فیلتر می کند.

مدار مقایسه گر به شکل زیر است:



شکل 19: بلوک مدار مقایسه گر

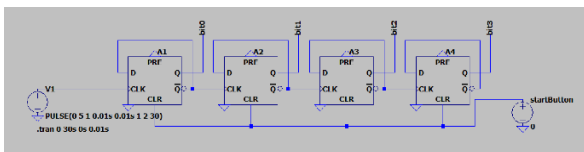
شمارنده باینری:

تنها ایراد این نرم افزار در این بخش نمایان می شود زمانی که مجبور می شویم تا با استفاده از D flip flop ها شمارنده تولید کنیم.

همانطور که در مدار منطقی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است با استفاده از D flip flop هایی که کلاک هایشان سری می شوند می توان شمارنده باینری تولید کرد به طوری که اگر بخواهیم شمارنده 4 بیتی تولید کنیم به 4 دی فلیپ فلاپ نیاز داریم. کافی است که سیگنال پالسی تولید شده در بخش قبل را به عنوان ورودی به Clock اولین فلیپ فلاپ بدهیم تا به ازای لبه بالارونده هر پالس مثبت، یکبار بشمرد.

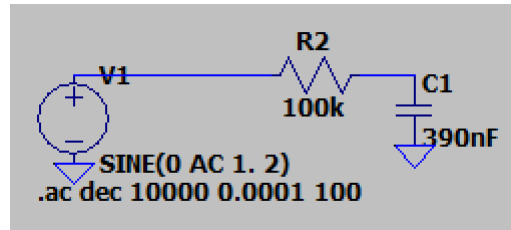
البته ایراد دیگری که این بخش دارد این است که به گذر تعدادی پالس برای آماده سازی نیاز دارد تا همه بیت های خروجی 0 شوند و شمارش از 0 آغاز شود.

مدار طراحی شده این بخش در زیر دیده می شود:



شکل 20: بلوک مدار شمارنده دیجیتال

به طور کل ساختار شمارنده باینری طراحی شده به این صورت است که هر فلیپ فلاپ در لبه بالا رونده مقدار D ای را که به صورت ورودی گرفته است در خروجی Q ظاهر می کند و اگر به مقدار خروجی Q* را داده باشیم، در هر پالس کلاک جای Q و Q* با یکدیگر عوض می شود. به همین صورت می توان بیت های باینری با طول پالس های متفاوت تولید کرد و در کنار یکدیگر قرار داد تا یک عدد باینری تولید شود. این عدد باینری که به عنوان خروجی نهایی مدار تلقی می شود همان نشان دهنده تعداد گام برداشته شده توسط فرد است.



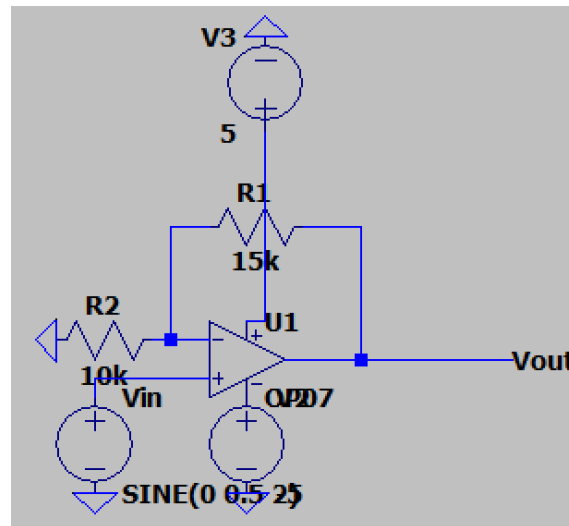
شکل 17: بلوک مدار فیلتر پایین گذر

تقویت کننده میانی:

این تقویت کننده همانند تقویت کننده قبلی است ولی هدف آن این است که سیگنال تضعیف شده در فیلتر را به دامنه مثبت و منفی 4 ولت برساند تا در بخش بعدی سیگنال را بتوان وارد مقایسه گر کرد.

این تقویت کننده از همان رابطه تقویت کننده قبلی پیروی می کند و مقادیر مورد نیاز مقاومت ها برای طراحی عبارت اند از مقاومت اول 15 کیلو اهم و مقاومت دوم 10 کیلو اهم.

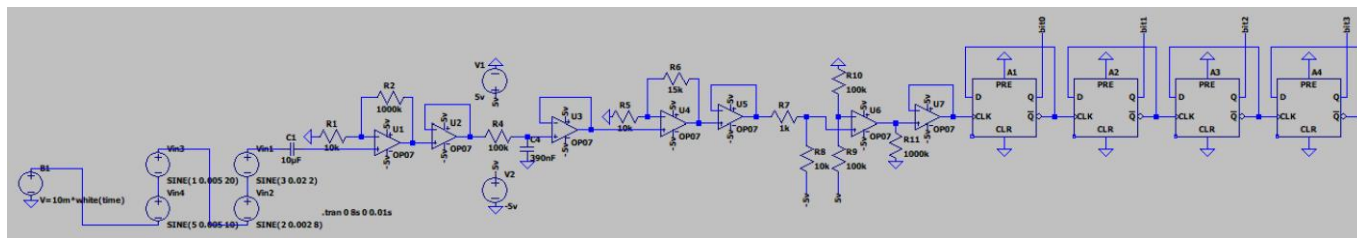
مدار به شکل زیر است:



شکل 18: بلوک مدار تقویت کننده میانی

مقایسه گر:

هدف از وجود مقایسه گر آن است که سیگنال ورودی شبه سینوسی را بتوان به موج پالس تبدیل کرد تا از آن بتوان در بخش شمارنده استفاده کرد. به همین دلیل سیگنال ورودی را با استفاده از تقسیم مقاومت به مقدار -0.5 ولت بایاس می کنیم. همچنین در پایه inverter آپ امپ نیز از آستانه 2.5 ولت استفاده می کنیم. به این معنا که اگر دامنه سیگنال ورودی به صورت مجموع با -0.5 بایاس شده در پایه مثبت آپ امپ از 2.5 ولت بزرگتر باشد، خروجی آپ امپ به حد آستانه اشباع خود که در حدود 4 ولت است می رسد و اگر از 2.5 ولت کمتر باشد به حد اشباع پایین که -4 ولت است می رسد. پس در نهایت در خروجی آپ امپ موج پالس مربعی تولید می شود.



شکل 22: مدار تجمیع شده

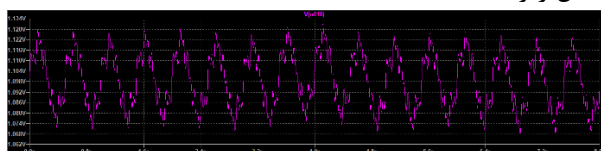
مدار تجمیع شده:

ها و شکل موج ها عدد نمایش داده شده است.

4- نتایج شبیه سازی

در بخش شبیه سازی در ابتدا همانند بخش قبلی به صورت بلوکی با توجه به بلوک دیاگرام پیش می رویم و هر بلوک را به صورت جداگانه بررسی می کنیم که عملکرد آن در شبیه سازی چگونه است. سپس مدار تجمیعی را نیز شبیه سازی و بررسی می کنیم. سیگنال شبیه سازی شده:

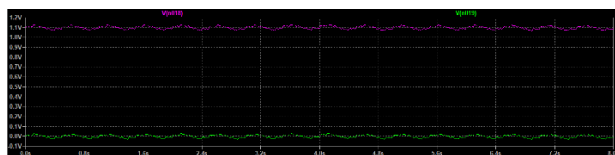
همانطور که در قسمت قبل نیز بیان شد این سیگنال حاوی فرکانس 2 هرتز به جهت شبیه سازی گام شماری، چند سیگنال سینوسی با فرکانس های متنوع و منبع نویز سفید است. با استفاده از حالت Transirt در نرم افزار LTSpice می توانی بازه زمانی ای را تعریف کنیم، سیگنال زمانی را اعمال و خروجی را مشاهده کنیم. در تمام نمودار های این بخش به جز پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر، از این حالت استفاده شده است. سیگنال تولید شده که سعی شده است به سیگنال واقعی شبیه باشد. به شکل زیر است:



شکل 23: نمودار چند فرکانس بودن سیگنال و نویز

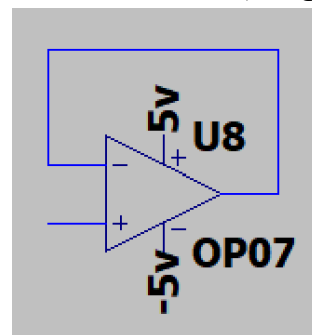
چند فرکانس بودن سیگنال و نویز آن به خوبی به تصویر کشیده شده است. فیلتر DC block :

اگر تصویر بخش قبل را با دقت بنگریم، مشاهده می کنیم که سیگنال حاوی آفست حدود 1.1 ولتی است. پس از عبور از خازن 10 میکرو فارادی سیگنال به شکل زیر تبدیل می شود که آفست آن 0 است.



شکل 24: سیگنال آفست

در نهایت بلوک هایی که هر کدام به صورت جداگانه توضیح داده شدند با یک دیگر مدار بزرگی را تشکیل می دهند که سیگنال آنالوگ نویزی شتاب سنج را دریافت می کند و تعداد گام برداشته شده را به صورت باینری در خروجی اعلام می کند. همچنین به جهت آنکه هر طبقه و بلوک بر روی طبقه یا بلوک قبلی یا بعدی خود اثری نداشته باشد، از متصل کننده بافر بین هر کدام استفاده می کنیم که مدار آن به شکل زیر است:



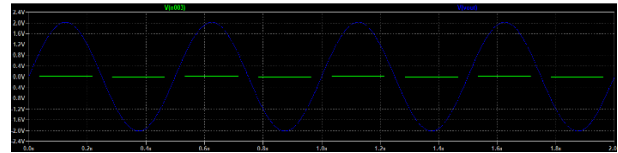
شکل 21: بلوک مدار پیش تقویت کننده

در تمام بخش ها از آپ امپ OP07 که آپ امپی رایج و ارزان است استفاده شده است که برای گام شمار که کابری ساده ای دارد مناسب است. همچنین تمامی مقاومت ها و خازن ها از سری های استاندارد انتخاب شده اند تا شبیه سازی واقعی باشد. مدار تجمیع شده به صورت زیر است:

در این مدار در ابتدا سیگنال ساخته شده با انواع فرکانس ها و نویز به ورودی داده می شود، آفست دی سی آن حذف و سپس دامنه سیگنال با بهره 100 تقویت می شود، به عبارتی از حدود 20 میلی ولت به 2 ولت می رسد. پس از تقویت از فیلتر پایین گذر با فرکانس قطع 4 هرتز می گذر تا اثر نویز و فرکانس های مزاحم کمتر شوند. پس از آن مجدداً تقویت با بهره 1.5 به جهت جبران افت فیلتر و تنظیم دامنه 4 ولت انجام می شود. در مرحله بعدی سیگنال تمیز شده شبه سینوسی توسط مقایسه گر با آساتانه تقریبی 3 ولت، به وسیله سیگنال پالس تعیین می شود که آیا گامی برداشته شده است یا خیر. در مرحله آخر نیز تعداد پالس های توسط شمارنده شمرده شده و به وسیله 4 بیت باینری، تعداد گام های برداشته شده به صورت باینری به نمایش در می آیند. متأسفانه در این نرم افزار آی سی شمارنده و نمایشگر وجود ندارد و به همین علت به وسیله فلیپ فلاپ

مدار پیش تقویت کننده:

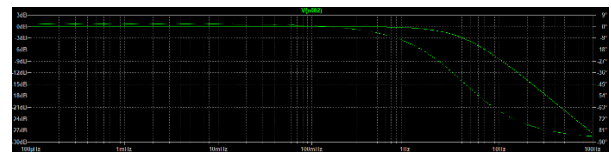
به عنوان ورودی به این بلوک سیگنال سینوسی با فرکانس 2 هرتز و با دامنه 20 میلی ولت داده می شود. خروجی سیگنالی با همان فرکانس و دامنه 2 ولت است. همانطور که انتظار می رفت بهره برابر 100 است.



شکل 25: نمایش بهره مدار

فیلتر Lowpass:

در این بخش نموداری که کشیده می شود نمودار Bode نام دارد که در هر دو راستای افقی و عمودی به صورت لگاریتمی درجه بندی می شود. با استفاده از این نمودار می توان میزان افت سیگنال ورودی را به ازای فرکانس های مختلف مشاهده کرد و فرکانس قطع فیلتر که همان فرکانس -3dB است را یافت. فرکانس قطع فرکانسی است که در آن توان نصف و دامنه تقسیم بر رادیکال 2 می شود. فیلتر پایین گذر طراحی شده حاوی فرکانس قطع 4 هرتز است، پس در نمودار Bode نیز باید شاهد افت دامنه در این فرکانس باشیم. به خوبی در نمودار زیر افت مشخص است.

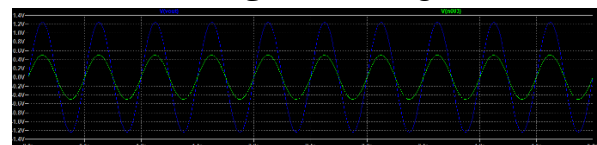


شکل 26: فیلتر پایین گذر با فرکانس

این نمودار پاسخ فرکانسی فیلتر را مشخص می کند. خط سبز پر رنگ نشان دهنده اندازه پاسخ فرکانسی و خط کم رنگ نشان دهنده زاویه پاسخ فرکانسی است.

تقویت کننده میانی:

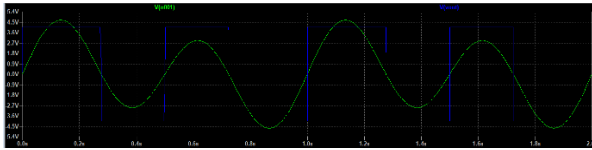
در این بخش نیز همانند تقویت کننده قبلی سینوسی با دامنه 0.5 ولت و فرکانس 2 هرتز به ورودی داده می شود، در خروجی سیگنال با دامنه حدودی 0.8 ولت و همان فرکانس 2 هرتز دریافت می شود که طبق توقع بهره 1.5 طراحی شده است.



شکل 27: تقویت کننده میانی با بهره 1.5

در این بلوک به ورودی سیگنالی سینوسی به ترکیب تک فرکانس یا دو فرکانس با دامنه بیش از 2.5 ولت می دهیم تا آستانه مقایسه را رد کند، اگر رد کند باید پالس مربعی تشکیل شود.

در شکل نیز به خوبی دیده می شود که قله های سینوسی به پالس مربعی تبدیل می شوند:

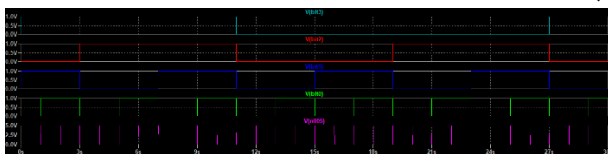


شکل 28: نمودار مدار مقایسه گر

شمارنده:

همانطور که در بخش طراحی نیز گفته شد، ورودی باید شکل موج پالس مربعی به Clock فلیپ فلاپ اولی باشد تا شمارش آغاز شود. همچنین به دلیل آنکه دکمه ریست در این نرم افزار وجود ندارد، باید چند پالس گذر کنند تا فرایند آماده سازی انجام شود و تمام بیت های خروجی از فلیپ فلاپ ها صفر شوند و شمارش از 0000 آغاز شود.

به دلیل آنکه 4 بیت خروجی وجود دارند، چهار سیگنال خروجی و یک سیگنال ورودی داریم که در شکل دیده می شوند. لبه بالا رونده سیگنال ورودی لحظه شمارش و تغییر برای هر 4 فلیپ فلاپ است.



شکل 29: نمودار سیگنال های خروجی شمارنده

همانطور که دیده می شود باید 5 پالس گذر کنند تا همه در حالت 0 قرار گیرند و شمارش از پالس ششم آغاز شود. به این 5 پالس، propagation delay نیز می گویند. Bit0، Bit3 و MSB است. می توان با تعیین دلخواه تعداد فلیپ فلاپ، تعداد ارقام دودویی را تعیین و بازه نمایش تعداد گام را تغییر داد.

مدار تجمیع شده:

مدار تجمیع شده همان اتصال بلوک های نشان داده شده به یکدیگر است. برای آنکه بتوانیم به خوبی پردازش هایی که بر روی سیگنال ورودی انجام می شود را ببینیم، به ترتیب سیگنال های ورودی و خروجی هر بخش را نشان می دهیم:

چند نوع باشند. اولین نوع به دلیل وجود انواع نویز به خصوص نویز سفید می تواند اتفاق بیفتد. راهکاری که برای حذف نویز انجام شده است فیلتر کردن فرکانس های بالاتر از 4 هرتز و قرار دادن آستانه برای تولید پالس مربعی هستند.

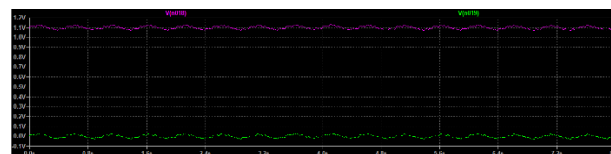
همچنین به دلیل آنکه این سیگنال بر پایه سنجش شتاب و تغییرات آن توسط حسگر ساخته شده است، می تواند شامل شتاب هایی با فرکانس 0 و ثابت مثل شتاب زمین باشد که با استفاده از خازن در ورودی، این مسئله را نیز برطرف کردیم.

شتاب های متغیر دیگری نیز وجود دارند مانند زمانی که در خودروی دارای شتابی نشسته اید یا به هر دلیلی حسگر تان تغییر شتاب احساس کند. می دانیم که در حالت عادی سیگنال گام شماری شتابی بین مثبت و منفی 0.5 g را می سنجد پس اگر همانطور که آستانه را در مدار برابر 3 قرار دادیم، آستانه را طوری قرار دهیم که شتاب های معمولی کوچک را نیز حذف کند، این مشکل بر طرف می شود. البته در مدار آنالوگ برای حالت های شتاب های متغیر بزرگ نمی توان کاری کرد یا حداقل در این پروژه انجام نشد. در پردازش های دیجیتالی امکان حذف حالت های غیر عادی بسیار بیشتر از مدار های آنالوگ است.

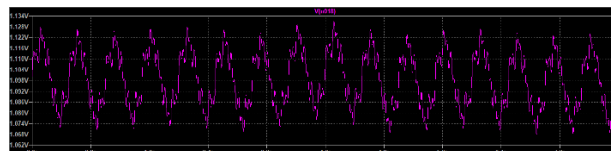
طراحی و پردازش سیگنال گام شماری حقیقی در نرم افزار Matlab:
طراحی مدار آنالوگ و شبیه سازی آن نمی تواند از مزایای پردازش دیجیتال بهره برد به همین دلیل نوع دیگری از گام شماری به وسیله پردازش سیگنال دیجیتال در نرم افزار متلب انجام شد که بیشتر جنبه سیستمی و پردازشی دارد تا طراحی مدار. نرم افزار مورد استفاده:

نرم افزاری که با استفاده از آن در آن کد می نویسیم و پردازش های مختلفی بر روی سیگنال انجام می دهیم، Matlab نام دارد. نرم افزاری که محیطی است برای انجام پردازش های ریاضیاتی و سیستمی به وسیله کد نویسی و یا استفاده از ابزار های دیگر نظیر toolbox ها و

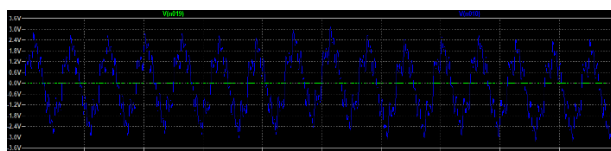
اصلی ترین عاملی که باعث شد به این بخش از پروژه نیز روی آورده شود این بود که در مدارات آنالوگ نمی توانستیم یک سیگنال واقعی را پردازش کنیم اما در متلب این امکان وجود داشت. در ادامه بلوک دیاگرام مراحل پردازش سیگنال را مشاهده می فرمایید:



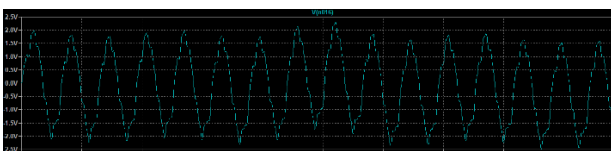
شکل 30: ورودی و خروجی فیلتر حذف آفست



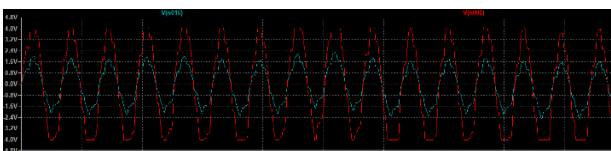
شکل 31: سیگنال نویز ورودی



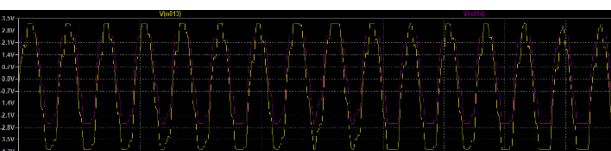
شکل 32: ورودی و خروجی پیش تقویت کننده



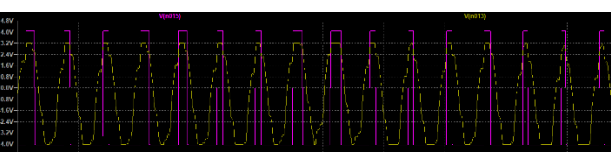
شکل 33: خروجی فیلتر پایین گذر



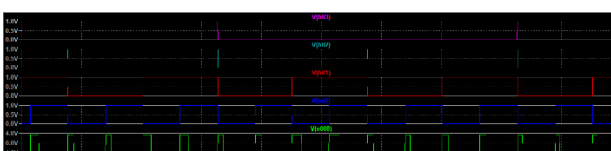
شکل 34: ورودی و خروجی تقویت کننده میانی



شکل 35: سیگنال ورودی و سیگنال معیار مقایسه گر



شکل 36: ورودی و خروجی مقایسه گر (پالس مربعی)



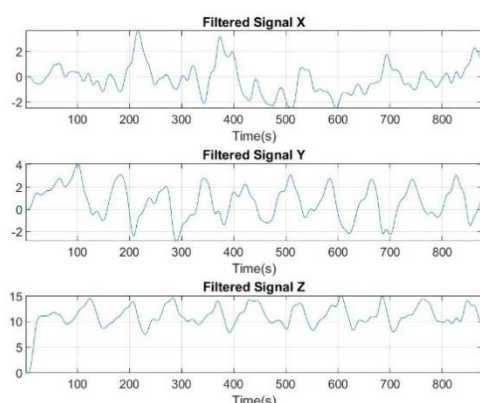
شکل 37: ورودی و بیت های خروجی شمارنده

نتایج شبیه سازی و طراحی در نرم افزار به طور کامل توضیح داده شده و به نمایش درآمدند. طبق انتظار از یک سیگنال نویزی توانستیم تعداد گام برداشته شده را به صورت عددی نشان دهیم. عملکرد مدار در تشخیص وضعیت غیر عادی: به طور کلی وضعیت های غیر عادی در گام شماری می توانند



شکل 38: دیاگرام نحوه ی تبدیل سیگنال های فضای سه بعدی به عدد تعداد سیگنال های محور ها:

نتایج خروجی:



شکل 40: نتایج خروجی فیلتر پایین گذر

مشاهده می شود که تا حد بسیار خوبی سیگنال به سینوسی نزدیک تر شده است. بدست آوردن تک سیگنال خروجی:

با استفاده از عملیات های ریاضی، ابتدا سیگنال ها را به توان دو می رسانیم، سپس با یکدیگر جمع می کنیم و در نهایت مجدور مجموعشان را بدست می آوریم که سیگنال خروجی اصلی را تولید می کند.

این بخش همان بخشی است که در مدارات آنالوگ قابل پیاده سازی نبوده است، به نوعی این بخش نقطه شروع مدارات آنالوگ است اما متأسفانه راهی برای آنکه سیگنالی را از متلب به LTSpice بتوانیم انتقال دهیم، وجود ندارد.

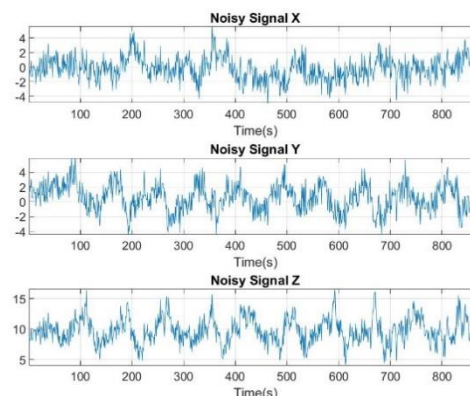
مقایسه گر:

با استفاده از مشخص کردن آستانه گام شماری که 11.7 قرار داده شده است، هر قله سینوسی سنجیده می شود که آیا دامنه کافی برای آنکه یک گام محسوب شود را دارد یا خیر. اگر داشته باشد، یک پالس مربعی تولید می شود و اگر نداشته باشد 0 می شود. همچنین در این بخش می توانیم اختلال ناشی از شتاب های با دامنه بزرگ را که در مدارات آنالوگ نمی توانستیم رفع کنیم را با تعیین حد بالای دامنه، حل کنیم.

موج پالسی که از سیگنال شبه سینوسی اصلی بدست می آید:

در ابتدا نرم افزار متلب را بر روی گوشی موبایل نصب کرده و با استفاده از سنسور شتابسنج داخل تلفن همراه، سیگنال حقیقی گام برداری را ضبط کرده و در درایو متلب آپلود می کنیم. پس از آن دیتا های ذخیره شده را در نرم افزار متلب رسم می کنیم. همانطور که در مقدمه نیز گفته شد، شتابسنج شتاب وارده در هر سه راستای سه بعدی را می سنجد و سه سیگنال خروجی را تولید می کند که هر سیگنال حاوی اطلاعات تغییرات شتاب در هر یک از راستا هاست. برای انجام پروژه سه سیگنال با انواع حالت ها ذخیره شده است که برای بخش شبیه سازی، نتایج حاصله از پردازش یکی از آن ها را در ادامه مشاهده می شوند.

پس از آنکه سیگنال های ذخیره شده را انتقال دادیم، به وسیله تابع $wgn()$ نویز سفیدی با همان ابعاد سیگنال ورودی تولید و به هر یک از سیگنال ها اضافه می کنیم. سیگنال های نویزی به شکل زیر در می آیند:



شکل 39: سیگنال های نویزی در فضای سه بعدی

فیلتر پایین گذر:

همانطور که در مدارات آنالوگ نیز بیان شد، برای رفع نویز و فرکانس های اضافی، فیلتری با فرکانس قطع 4 هرتز تولید کرده و سیگنال ها را از آن عبور می دهیم.

که این اتفاق به وسیله میکروها امکان پذیر است. در این پروژه سعی شد تا هر دو وجه پردازش مدارات آنالوگ و پردازش دیجیتال سیگنال هر چند به طور جداگانه انجام شوند و در نهایت از یک سیگنال آنالوگ آلوده به انواع فرکانس و نویز بتوان تعداد گام برداشته شده را محاسبه و بیان کرد.

نقاط ضعفی که در پروژه وجود داشتند چند مورد بودند. یکی از آن ها این بود که سیگنال حقیقی برا پردازش مداری یافت نشد و مجبور به تولید آن به صورت دستی شدیم. همچنین انجام قسمت نمایش باینری در نرم افزار LTSpice مناسب نبود و شاید اگر در پروتئوس انجام می شد بهتر بود. البته که پیاده سازی آن در پروتئوس بسیار ساده است.

نقاط قوت زیادی در طول پروژه وجود داشتند. توانستیم سیگنال حقیقی را به وسیله متلب پردازش کنیم و خروجی بدست آوریم. همچنین با استفاده از فیلتر و آستانه مقایسه گر، اثر نویز و فرکانس های بزرگتر از 4 هرتز را تا حد بسیار مطلوبی توانستیم در مدارات آنالوگ رفع کنیم.

تجربه کارگروهی و انجام پروژه ای شبیه به واقعیت بسیار دلچسب و لذت بخش بود و به نظرم نقطه قوت اصلی پروژه همین مسئله بود.

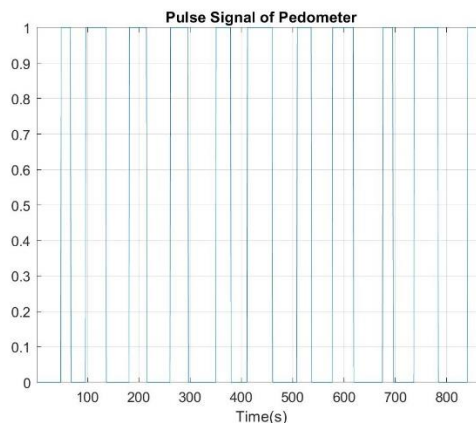
مراجع

- [1] <https://sites.udel.edu/coe-engex/tag/pedometer/>
- [2] <https://aosabook.org/en/500L/a-pedometer-in-the-real-world.html>
- [3] <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/diy-arduino-pedometer-counting-steps-using-arduino-and-accelerometer>
- [4] <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1801/1801.02336.pdf>
- [5] <https://www.ti.com/lit/an/slaa599/slaa599.pdf?ts=1688047168878>
- [6] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/pedometer.pdf>
- [7] https://www.researchgate.net/figure/Circuit-connections-in-the-proteus-drawing-program-of-the-moving-circuit-Sekil-3_fig3_322134165
- [8] <https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/op-amp-multivibrator.html>
- [9] <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/13/4260>
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/Pedometer>
- [11] <https://www.multisim.com/content/8Tiu4LG2q27AwJeXdCmYdA/sine-to-square-wave-converter-using-op-amp/>
- [12] <https://electronics.stackexchange.com/questions/498549/count-the-clock-cycle-using-ltspice>
- [13] <https://www.runnersworld.com/uk/gear/tech/a28335625/best-pedometers/>
- [14] <https://www.sportsnhobbies.org/what-is-a-pedometer.htm>
- [15] <https://shopnow.hindustantimes.com/electronics/gadgets/stay-healthy-in-2022-watch-your-steps-count-with-pedometers-see-here-201679825494338.html>



OP07.pdf

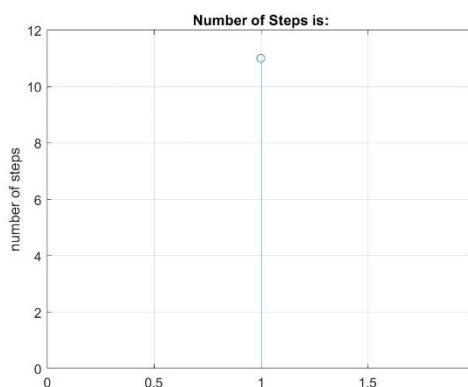
[16]



شکل 41: موج پالسی خروجی مقایسه گر

شمارنده:

در مرحله آخر تعداد پالس ها که هر کدام نشان دهنده یک گام هستند شمرده می شوند و نمایش داده می شوند.



شکل 42: تعداد گام ها بر اساس تعداد پالس ها

برای مثال در این سیگنال گام شماری ضبط شده 11 گام برداشته شده است.

به همین ترتیب از سیگنال واقعی گام شماری، تعداد گام های برداشته شده شمرده شدند.

برای رفع حالات غیر عادی از فیلتر کردن برای رفع نویز و فرکانس های مزاحم، رفع فرکانس های زیر 0.2 برای آفست DC و از تعیین حد بالای دامنه و آستانه برای تداخلات ناشی از شتاب های متغیر استفاده شد.

5- جمع بندی اجمالی

گام شماری میحث حل شده ای در دنیای امروزی است که می تواند نمونه خوبی از استفاده از سیگنال های دریافتی از بدن یا تحرکات بدن برای اهداف سودمند باشد. گام شماری در استفاده روز مره از پردازش مداری و دیجیتال به صورت همزمان استفاده می کند