

اندازه گیری نیروی اعمال شده در جلو و عقب یک پا در هنگام قدم برداشتن

علی یداللهی - امیر حسین دهقانپور

۱۳ بهمن ۱۴۰۲

۱ مقدمه

کنیم. مدل حسگر استفاده شده در این آزمایش مدل TDK HF20-6R8 5003 است. حساسیت این حسگر برابر با $0.354v/m$ ، Young modulus آن برابر با $3.5kpa$ و مقاومت ویژه آن برابر با $4.6 \times 10^9 \Omega m$ است.

اگر حداکثر نیروی وارد بر حسگرها را برابر با وزن بدن در نظر بگیریم؛ حداکثر ولتاژ خروجی حسگرها تقریباً برابر $0.38mv$ می شود. لازم است این ولتاژ تا حد خوبی تقویت شود. اگر این سیگنال را با بهره ای در حدود ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ تقویت کنیم، ولتاژی در حدود ۲ تا ۵.۲ ولت خواهیم داشت که مقداری قابل قبول خواهد بود. اگر سرعت راه رفتن انسان را به طور متوسط برابر با ۱ گام در هر ثانیه در نظر بگیریم فرکانس سیگنال خروجی برابر با $1Hz$ خواهد بود. با توجه به این که سرعت راه رفتن ثابت نیست و می تواند تغییر کند ما بازه قابل قبول برای فرکانس را از نصف این مقدار تا دوبرابر آن در نظر می گیریم. بنابراین فیلتری مورد نیاز است که فرکانس هایی که در محدوده ۰.۵ تا ۲ هرتز هستند را عبور داده و مانع از عبور سایر سیگنال ها شود.

برای دستیابی به هدف از یک تقویت کننده instrumentation به همراه یک فیلتر میانگذر استفاده می کنیم. به جای استفاده از فیلتر میانگذر می توانیم از یک فیلتر بالاگذر و یک فیلتر پایین گذر به صورت

در انسان ها پاها از اهمیتی اساسی در حرکت، حمایت از وزن بدن و حفظ تعادل برخوردار هستند. فرآیند کلی راه رفتن و دویدن در اکثر پستانداران مشابه است. اما درحالی که اکثر پستانداران فقط انگشتان خود را روی زمین قرار می دهند انسان ها کل پا از جمله پاشنه را روی زمین قرار می دهند. بنابراین برای اندازه گیری نیروهای وارد شده بر پا در هنگام راه رفتن و دویدن نیاز به قرار دادن حسگر هم در جلوی پا و هم پاشنه پا است. تا کنون حسگرهای پیزوالکتریک در بسیاری از کاربردهای مرتبط با حوزه پزشکی و بدن انسان استفاده شده اند. در این پروژه نیروی اعمال شده در جلو و عقب یک پا در هنگام قدم برداشتن با استفاده از حسگرهای پیزوالکتریک اندازه گیری شده و گام های طراحی مدار آمایش مناسب برای تقویت سیگنال خروجی حسگر و حذف سیگنال های مزاحم به وسیله فیلتر آورده شده و این مدارها به وسیله نرم افزار LT SPICE شبیه سازی شده اند.

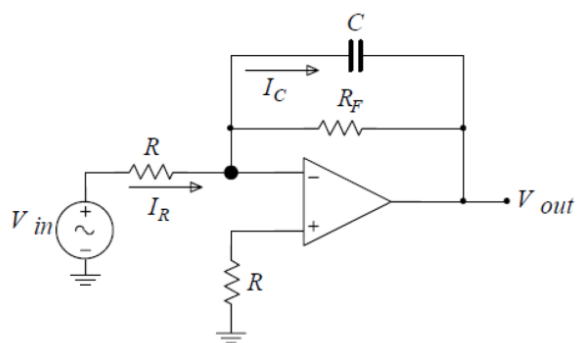
۲ پیش زمینه طراحی

برای اندازه گیری نیروی وارد بر پا از یک حسگر در قسمت جلوی پا و یک حسگر در پاشنه پا استفاده می

همزمان استفاده کنیم.

۲.۳ فیلتر پایین گذر

شماتیک فیلتر پایین گذر مورد استفاده در ۲ آمده است. پارامترهای مدار را به صورت زیر تایین میکنیم:



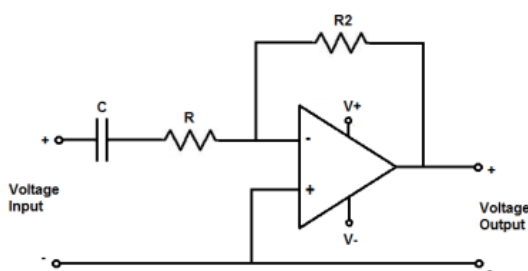
شکل ۲: فیلتر پایین گذر

$$R = R_f = 1k\Omega, c = 100\mu F$$

به این صورت فرکانس قطع بالا برابر با $2Hz$ خواهد شد.

۳.۳ فیلتر بالا گذر

شماتیک فیلتر پایین گذر مورد استفاده در ۲ آمده است. پارامترهای مدار را به صورت زیر تایین میکنیم:



شکل ۳: فیلتر بالا گذر

$$R = R_2 = 1k\Omega, c = 300\mu F$$

۳ گام های طراحی

مدار آمایش سیگنال از سه قسمت اصلی تقویت کننده Instrumentation، برای تقویت سیگنال خروجی حسگر و ترکیب دو فیلتر پایینگذر و بالاگذر تشکیل شده تا محدوده فرکانسی $0.5Hz$ تا $2Hz$ را عبور دهد.

۱.۳ تقویت کننده Instrumentation

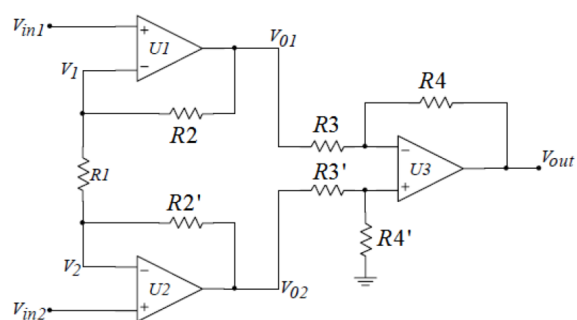
شماتیک تقویت کننده مورد استفاده در شکل ۱ آمده است. مقادیر مقاومت ها به این صورت در نظر گرفته شده اند:

$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 65k\Omega, R_3 = 1k\Omega, R_4 = 50k\Omega$$

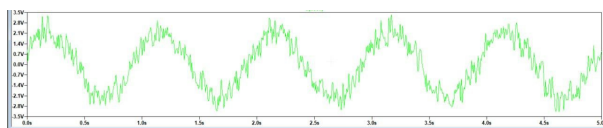
بنابراین بهره این طبقه به این صورت به دست می آید:

$$g_{diff} = \left(1 + \frac{2(65)}{1}\right) \frac{50}{1} = 6500$$

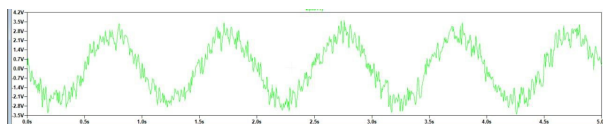
که بهره ای قابل قبول برای تقویت کننده است.



شکل ۱: تقویت کننده Instrumentation



شکل ۶: خروجی تقویت کننده



شکل ۷: خروجی فیلتر بالاگذر

خروجی ها در شکل های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ آورده شده اند. می توان دید که مدار مانع از عبور این سیگنال ها می شود.

۵ نتیجه گیری

بنابراین مشاهده کردیم که مدار فرکانس ۱ هرتز که در محدوده فرکانسی مدار است را عبور می دهد و آن را به خوبی تقویت می کند و نویز را حذف می کند. اما فرکانس های خارج از محدوده عبور داده نمی شوند.

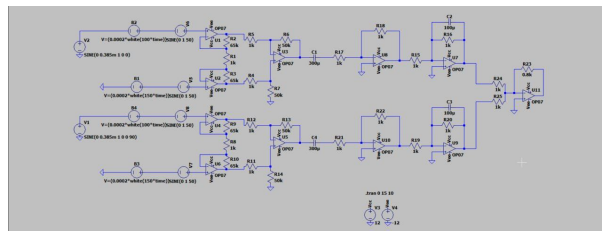
مراجع

[۱] اسلایدهای درس

Cláudio Gonçalves, Carlos Moreira, [۲] Deolinda Ferreira, Edivan Neves, Larissa Bacelar, Andreza Mourão, 2022, Footstep Classification Methodology using Piezoelectric Sensors Embedded in Insole

به این صورت فرکانس قطع بالا برابر با $0.5Hz$ خواهد شد.

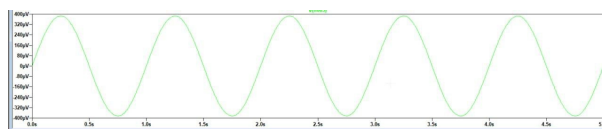
همچنین در پایان یک طبقه خروجی قرار می دهیم تا یک سیگنال خروجی داشته باشیم. شماتیک نهایی مدار در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴: شماتیک مدار

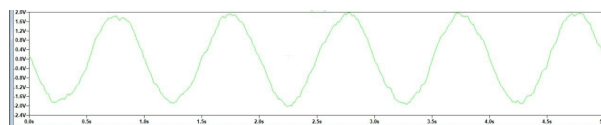
۴ خروجی ها

خروجی هر طبقه از تقویت کننده به ازای ورودی سینوسی با فرکانس $1Hz$ در ادامه آورده شده است. سیگنال اصلی ورودی در شکل ۵، خروجی تقویت کننده در شکل ۶ خروجی فیلتر بالاگذر در شکل ۷، خروجی فیلتر پایین گذر در شکل ۸ و در نهایت خروجی مدار در شکل ۹ قابل مشاهده هستند. می توان مشاهده کرد که به ازای فرکانس $1Hz$ که در محدوده فرکانسی قابل قبول طراحی شده برای مدار قرار دارد؛ سیگنال ورودی به اندازه کافی تقویت شده و سیگنال های نویز هم تا حد نسبتا خوبی حذف شده اند.

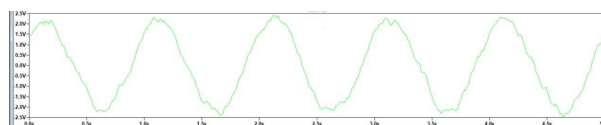


شکل ۵: ورودی سینوسی

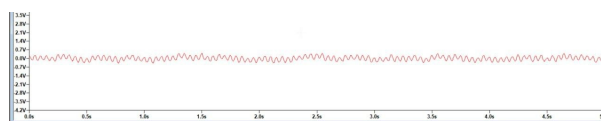
همچنین برای تست عملکرد مدار سیگنال هایی با فرکانس های ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ را به مدار می دهیم.



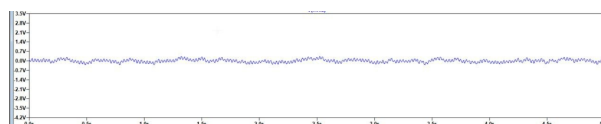
شکل ۸: خروجی فیلتر پایین گذر



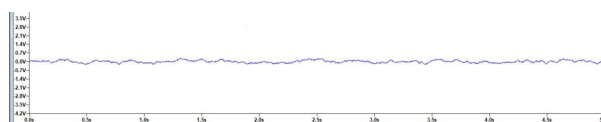
شکل ۹: خروجی نهایی به ازای فرکانس ۱ هرتز



شکل ۱۰: خروجی نهایی به ازای فرکانس ۲۰ هرتز



شکل ۱۱: خروجی نهایی به ازای فرکانس ۴۰ هرتز



شکل ۱۲: خروجی نهایی به ازای فرکانس ۱۰۰ هرتز