

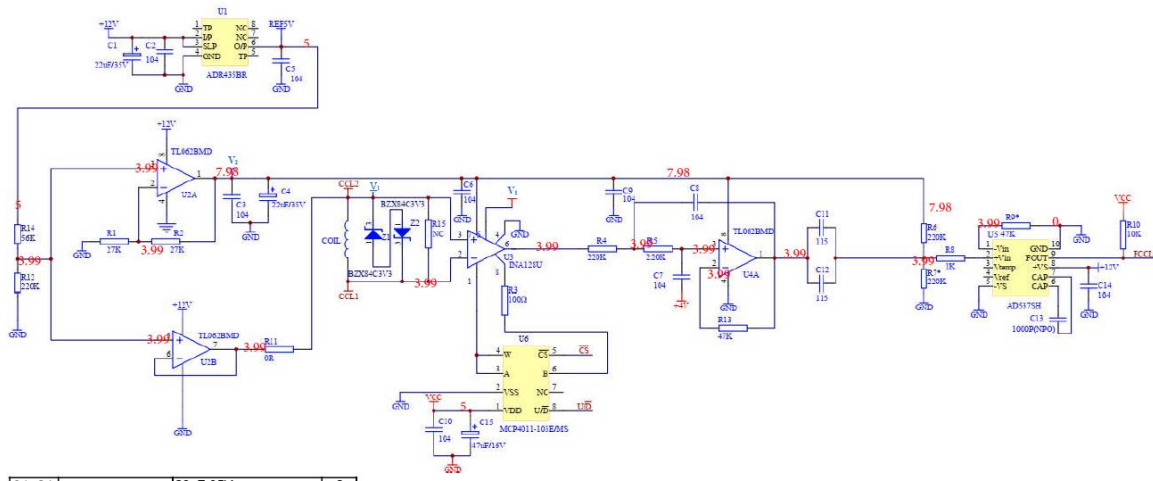
به نام خدا

پروژه درس حسگری و اندازه گیری

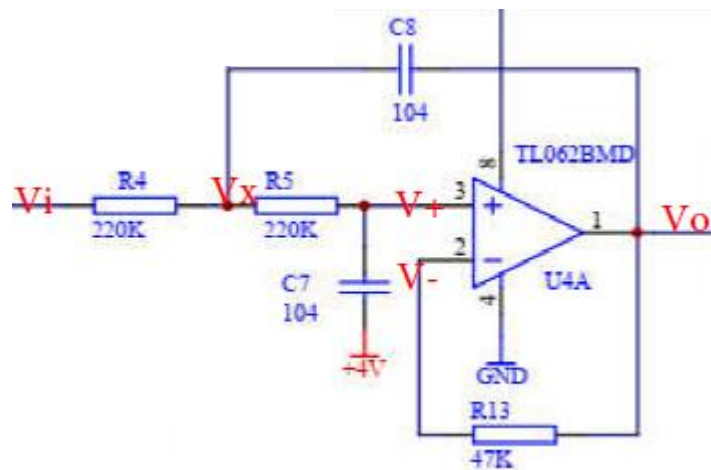
ارسالان فیروزی - ۹۷۱۰۲۲۲۵

۱. به صورت کلی این مدار از یک کویل جهت سنجش تغییرات مغناطیسی محیط استفاده می کند به این صورت که تغییرات میدان مغناطیسی تبدیل به تغییرات ولتاژ می شود. در این مدار این سیگنال بدست آمده از کویل توسط یک تقویت کننده ابزار دقیق تقویت می شود و سپس با استفاده از یک فیلتر مرتبه ۲ اکتیو با فرکانس قطع ۷ هرتز فیلتر می شود. همچنین توسط یک فیلتر بالاگذر جهت مستقل کردن طبقه آخر استفاده شده است که فرکانس قطع ۰.۷ هرتز دارد. در نهایت با استفاده از یک آی سی سیگنال آنالوگ بدست آمده از کویل که آمایش شده است را به سیگنال دیجیتالی تبدیل می کنیم که فرکانس آن سیگنال وابسته به سطح ولتاژ سیگنال آنالوگ است. پس در کل این حسگر در خروجی سیگنالی دیجیتالی دارد که فرکانس آن مرتبط با تغییرات میدان مغناطیسی محیط است. این حسگر قابلیت تنظیم بهره با استفاده از یک ارتباط سریال را نیز دارد. همچنین با استفاده ولتاژ DC ۱۲ ولت ولتاژهای VCC مورد نیاز در مدار را با استفاده از آی سی رگولاتور و تقویت کننده می سازد.

۱/۱. جهت تعیین ولتاژ DC نقاط مختلف مدار، می دانیم که ولتاژ رفرنس ۵ ولت توسط آی سی رگولاتور بدست می آید و همچنین چون ورودی آپ امپ ها جریان ناچیزی دارند، تقسیم مقاومتی، ولتاژ ۳.۹۹ ولت را می دهد. سپس تقویت کننده غیر معکوس کننده با بهره ۲ ولتاژ ۷.۹۸ ولت را فراهم می کند. پس در کل ولتاژهای رفرنس ۵ ولت، ۳.۹۹ ولت و ۷.۹۸ ولت در مدار داریم. در تحلیل DC کویل ولتاژ صفر دارد و در نتیجه خروجی تقویت کننده ابزار دقیق صفر است و تنها ولتاژ رفرنس با توجه دیتاشیت آپ امپ است که باعث می شود بایاس خروجی فیلتر اکتیو مشخص شود. در نتیجه بایاس ولتاژ خروجی ۳.۹۹ ولت می شود و خازن های بین طبقه آخر و یکی مانده به آخر باعث می شود که ولتاژ DC وابسته به مقاومت های R6 و R7 باشد که بازهم ولتاژ ۳.۹۹ ولت را مشخص می کند. در زیر ولتاژ تمام نقاط مشخص شده است:



۱/۲. مدار فیلتر اکتیو زیر را در نظر بگیرید:



$$\textcircled{1} \frac{V_i - V_{\pi}}{220K} + \frac{V_o - V_{\pi}}{10^9 PS} + \frac{V_o - V_{\pi}}{220K} = 0$$

$$\textcircled{2} \frac{V_o - V_{\pi}}{220K} + \frac{V_o}{10^9 PS} = 0 \rightarrow V_{\pi} = V_o (220K \times 10^9 PS)$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{V_i}{220K} + V_o \left(-2 \times 10^9 PS - \frac{1}{220K} + 10^9 PS - 10^9 PS - 220K (10^9 PS)^2 + \frac{1}{220K} \right)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(220K \times 10^9 PS)^2 + 2 \times 220K \times 10^9 PS + 1} = \frac{1}{(220K \times 10^9 PS + 1)^2}$$

$$\Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{220K \times 10^9 PS} = 1,23 Hz$$

فیلتر پایین‌گذر مرتبه ۲ با فرکانس قطع ۱,۲۳Hz

۱/۳. در زیر به ترتیب کاربرد آی سی ها را توضیح می‌دهم:

ADR435: این آی سی کاربرد ساخت یک ولتاژ رفرنس کم نویز دارد که با توجه به مدل آن ولتاژ خروجی برابر ۵ ولت است. از خازن‌های ۲۲ میکرو فاراد C1 و خازن ۰.۱ میکرو فاراد C2 جهت کاهش نویز ورودی و از خازن ۰.۱ میکرو فاراد C5 برای کاهش نویز خروجی استفاده شده است. با استفاده از مقاومت‌های R14 و R12 تقسیم مقاومتی انجام شده است تا به یک ولتاژ مناسب جهت ساخت ولتاژهای رفرنس ۴ و ۸ ولت برسیم. از آپ امپ U2B به عنوان بافر جهت مستقل کردن لود طبقه بعد بر روی ولتاژ رفرنس استفاده کردیم. از آپ امپ U2A و مقاومت‌های R1 و R2 جهت تقویت غیرمعکوس کننده برای ساخت ولتاژ رفرنس ۸ ولت استفاده کردیم. خازن‌های C3 و C4 جهت کاهش نویز ولتاژ رفرنس ۸ ولت استفاده شده است. با استفاده از کوئل تغییرات میدان مغناطیسی را به صورت ولتاژ در مدار داریم. با استفاده از ۲ دیود زنر Z1 و Z2 که به صورت back to back هستند، یک کران بالا و یک کران پایین برای ولتاژ کوئل اعمال می‌کنیم که باعث می‌شود ولتاژ ورودی باعث به اشباع رفتن آپ امپ و سوختن مدار نشود. این مقدار کران برابر با ۳ ولت است یعنی بین ۳+ ولت و ۳- ولت محدود می‌شود.

1NA128: این آی سی یک تقویت کننده ابزار دقیق است که بهره آن وابسته به مقاومتی است که وابسته به آی سی MCP4011 است. با توجه به دیتاشیت بهره آن برابر است با:

$$1 + \frac{50k}{R_G}$$

MCP4011: این آی سی یک پتانسیومتر دیجیتالی است که با استفاده از یک ورودی سریال با ۲ سیگنال میتوان مقاومت آن را تنظیم کرد. تغییر مقدار مقاومت این امکان را می‌دهد تا توسط میکروکنترلر بتوان بهره تقویت کننده ابزار دقیق را تغییر داد. با توجه به دیتاشیت کمترین مقاومت قابل استفاده برابر 10k/63 یا به عبارتی حدود ۱۵۰ اهم است:

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units
Resolution	N	64			Taps
Step Resistance	R _S	—	R _{AB} / 63	—	Ω

توسط آپ امپ U4A و مقاومت‌های R4, R5 و R13 و خازن‌های C7 و C8 یک فیلتر مرتبه ۲ پایین گذر استفاده شده است که به این وسیله نویز را کاهش می‌دهد. توسط خازن‌های C11 و C12 و مقاومت‌های R6 و R7 یک فیلتر بالاگذر با فرکانس قطع ۰.۷ هرتز استفاده شده است که اجازه عبور محتوای DC را نمی‌دهد.

AD537: این آی سی تبدیل کننده ولتاژ به فرکانس است که با توجه به دیتا شیت فرکانس خروجی برابر با 25531.9 برابر ولتاژ ورودی است. مطابق دیتاشیت از مقاومت R9 و خازن C13 جهت تعیین ضریب تبدیل ولتاژ به فرکانس استفاده شده است. از خازن C14 جهت کم کردن نویز ولتاژ رفرنس استفاده شده است. از مقاومت R10 جهت پول آپ خروجی استفاده شده است.

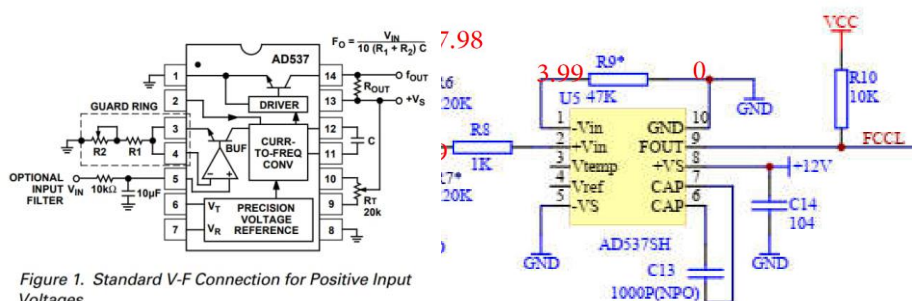
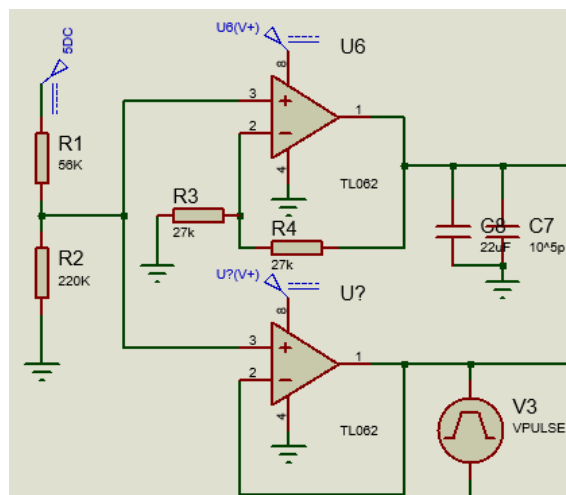
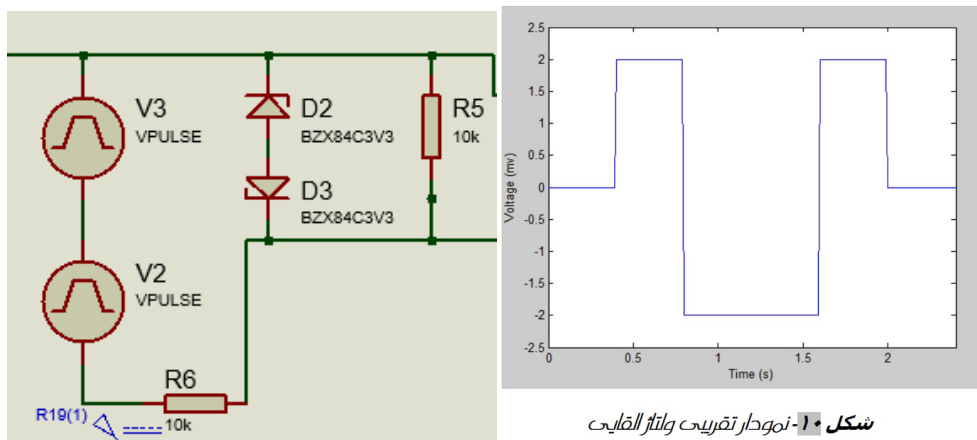


Figure 1. Standard V-F Connection for Positive Input Voltages

۱/۴. جهت شبیه سازی مدار آی سی که خروجی ۵ ولت به عنوان رفرنس در اختیار دهد، استفاده نکردم (ولتاژ ۱۰ ولت موجود بود اما در نظر گرفتن یک ولتاژ ثابت بهینه بود چون زمان Convergence و در نتیجه زمان سیمولیشن بسیار کند میشد لذا تصمیم گرفتم از آن استفاده نکنم.) و به جای AD435BR از یک DC Voltage به اندازه ۵ ولت استفاده کردم. سپس با استفاده از تقویت کننده عملیاتی TL062 قسمت بافر و تقویت کننده غیرمعکوس کننده را پیاده سازی کردم:



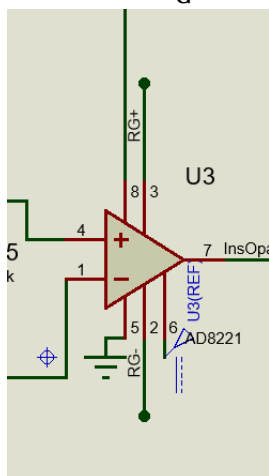
جهت تولید شکل موج ناشی از کوئل با استفاده از ۲ منبع ولتاژ تولید پالس مربعی به صورت سری شکل موج دلخواه را تولید کردم و دوره تناوب را سعی کردم مقدار شکل زیر باشد (در کنار آن از ۲ دیود زبر به صورت سری استفاده کردم تا ولتاژ کوئل به صورت ناخواسته بیش از حد مجاز یا همان ولتاژ زبر که حدود ۳ ولت است نشود و به مدار آسیب نرسد):



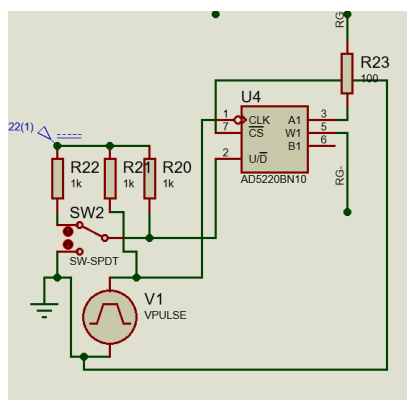
شکل ۱۰-۱- نمودار تقریبی ولتاژ القایی

جهت شبیه سازی تقویت کننده ابزار دقیق آی سی INA128U در دسترس نبود و از آی سی AD8221 استفاده کردم که بنابر دیتاشیت بهره ای معادل مقدار زیر در اختیار قرار می دهد:

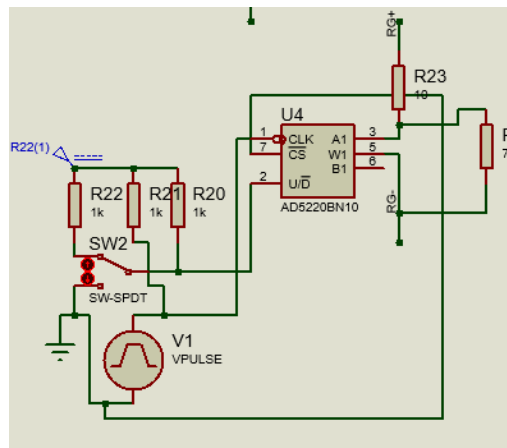
$$1 + \frac{49.4 \text{ k}}{R_G}$$



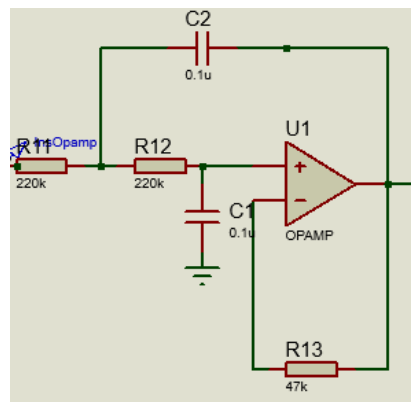
جهت داشتن بهره دلخواه از یک آی سی پتانسیومتر دیجیتال به دلیل در دسترس نبودن MCP4011 از AD5220BN10 مطابق شکل زیر استفاده کردم که بنابر دیتاشیت 10k/128 یا 78 اهم است:



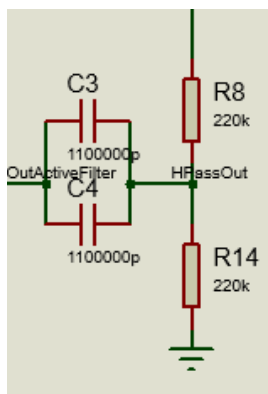
با ساختار بالا به گین خوبی برای تقویت نمیرسیدم و خروجی نهایی این بخش به نحوی نمیشد که تفاوت فرکانس مشهور شود. این به علت ۲ چیز است یکی اینکه مقاومت ۱۰۰ اهم بهره را کم کرده است و از طرفی کمینه مقاومت این آی سی برای تقویت مورد نظر من مطلوب نیست. لذا از یک مقاومت موازی با آن استفاده کردم و مقاومت ۱۰۰ اهم را نیز به مقدار ۱۰ اهم تغییر دادم. با اینکار نتایج کاملاً مطلوب شد:



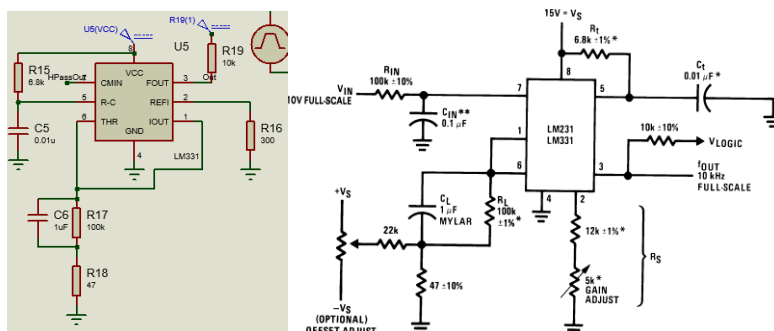
فیلتر اکتیو را با استفاده از مقاومت‌های گفته شده و آپ امپ پیاده سازی کردم اما جهت شبیه‌سازی درست نیاز بود از آپ امپ ایده آل استفاده کنم و با TL062 نتایج مناسب نبود که در شماتیک Simulation_Problem.pdsprj آن را قرار دادم:



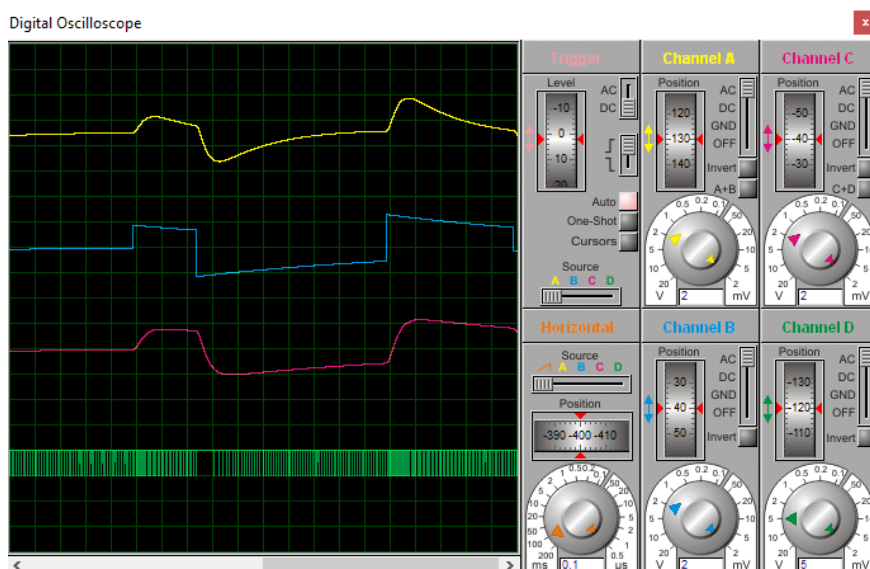
فیلتر بالاگذر بعد از آن را نیز با خازن و مقاومت گفته شده پیاده سازی کردم:



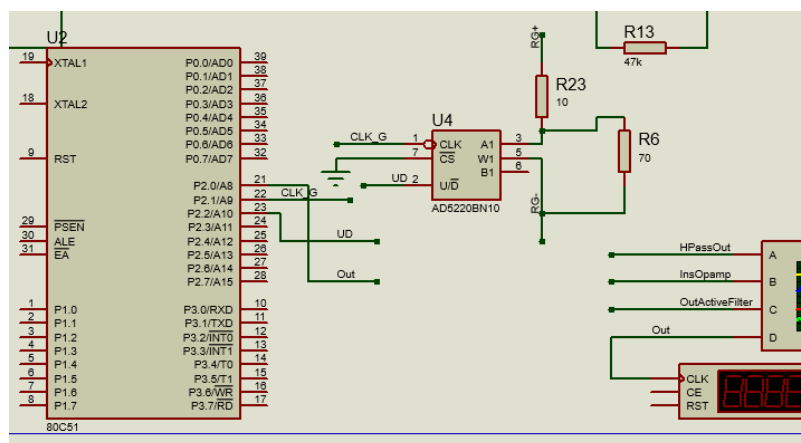
جهت تبدیل ولتاژ به فرکانس از آی سی LM331 استفاده کردم و مطابق دیتاشیت آن مدار را پیاده سازی کردم. سعی کردم مقاومت R_s را طوری تنظیم کنم که تغییرات فرکانس قابل مشاهده باشد اما خروجی را به ازای نسبت تبدیل ولتاژ به فرکانس مدار اصلی نیز با مقاومت ۱.۸ کیلو اهم R_s تنظیم کردم و در خروجی آوردم:



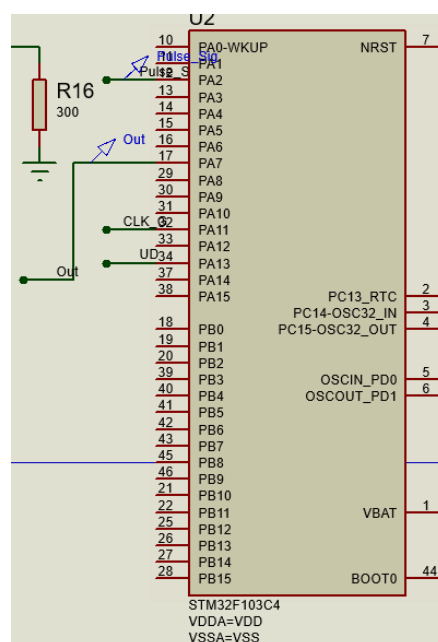
در نهایت خروجی مدار را با استفاده از اسیلوسکوپ رسم کردم که به ترتیب از بالا به پایین خروجی فیلتر بالاگذر، خروجی تقویت کننده ابرازدقیق، خروجی فیلتر اکتیو و خروجی کلی مدار است:



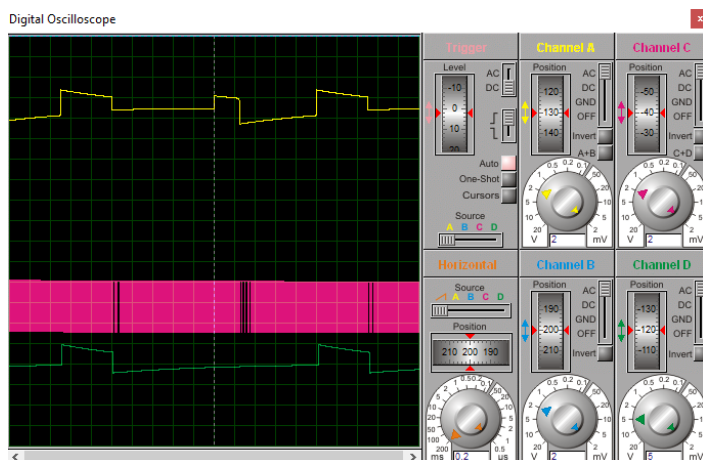
۱/۵. این مدار یک سیگنال دیجیتال خروجی دارد و ۲ سیگنال دیجیتال ورودی جهت تنظیم بهره تقویت کننده ابزار دقیق. لذا مدار میکرو کنترلر کافی است ۱ پین ورودی و ۲ پین خروجی جهت تعامل با این مدار صرف کند. پین های بیشتر از این با توجه به عملکرد مورد انتظار برای میکرو است. شماتیک آن مطابق زیر خواهد بود (با میکرو ۸۰۵۱ به صورت مثال):



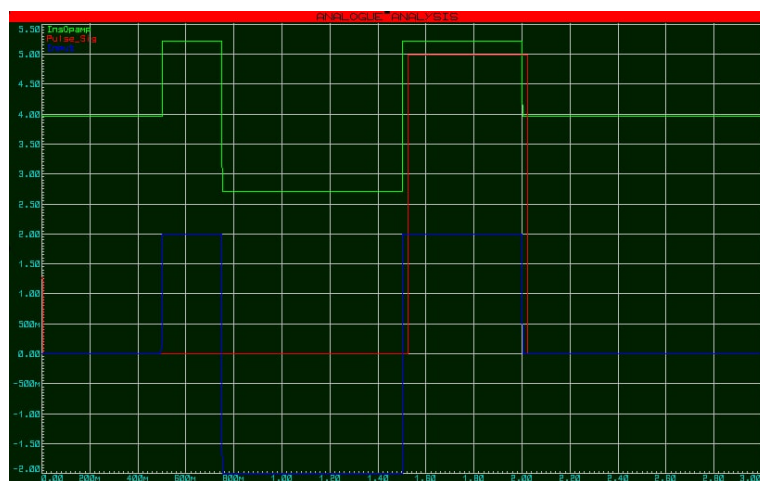
۱/۶. در این قسمت من از STM32F103C4 به عنوان میکرو استفاده کردم و با استفاده از نرم افزار Keil که در فولدر پروژه آن را قرار میدهم (در کنار گزارش فایل C. و فایل هگز را جداگانه قرار می دهم). جهت سنجش فرکانس ورودی از ورودی Capture میکرو استفاده کردم. و با ساختار مشخص شده در زیر به میکرو وصل کردم:



در میکرو فرکانس بالای ۱۰۰ هرتز را تشخیص داده می‌شود و در صورت بیشتر شدن فرکانس از آن حد، یک پالس با عرض نیم ثانیه تولید می‌شود. در زیر خروجی اسیلوسکوپ را مشاهده می‌کنید که به ترتیب از بالا به پایین سیگنال خروجی آپ امپ ابزار دقیق، سیگنال تولیدی توسط حسگر که فرکانس متغیر دارد و در نهایت سیگنال خروجی میکرو است:



در زیر خروجی گراف آنالوگ را مشاهده می‌کنید که سیگنال‌های خروجی آپ امپ ابزار دقیق، سیگنال خروجی میکرو و ۱۰۰۰ برابر سیگنال دیفرانسیلی Coil قابل مشاهده است:



تمامی شبیه سازی این بخش در فایل Simulation_Micro.pdsprj است و کد Micro.c و فایل هگز Micro.hex نام دارد.

۲. برای دیود زنر از مدل زیر به دلیل بخشی که هایلایت کردم استفاده کردم:

SPECIFICATION
MIL-S-19500

DESCRIPTION
Low Frequency Diodes: General Purpose Analog, Switching, Fast Recovery, Power Rectifier, Transient Suppressor, Current Regulator, Voltage Regulator, Voltage Reference

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = 0.002 * 5.1 * 1 * 1 * 8 * 43 = 3.5$$

برای آی سی MCP4011-103E از مدل زیر استفاده کردم:

DESCRIPTION

1. Bipolar Devices, Digital and Linear Gate/Logic Arrays
2. MOS Devices, Digital and Linear Gate/Logic Arrays
3. Field Programmable Logic Array (PLA) and Programmable Array Logic (PAL)
4. Microprocessors

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = (0.08 * 3.1 + 0.0026 * 8) * 1 * 1 = 0.2688$$

برای آی سی AD537 از مدل زیر استفاده کردم:

DESCRIPTION

1. Bipolar Devices, Digital and Linear Gate/Logic Arrays
2. MOS Devices, Digital and Linear Gate/Logic Arrays
3. Field Programmable Logic Array (PLA) and Programmable Array Logic (PAL)
4. Microprocessors

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = (0.06 * 3.1 + 0.0026 * 8) * 1 * 1 = 0.2068$$

برای INA128U و TL062BMD از مدل زیر استفاده کردم:

SPECIFICATION
MIL-S-19500

DESCRIPTION

Low Frequency Diodes: General Purpose Analog, Switching, Fast Recovery, Power Rectifier, Transient Suppressor, Current Regulator, Voltage Regulator, Voltage Reference

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = 0.0038 * 14 * 0.11 * 1 * 8 * 43 = 2.013$$

برای آی سی ADR435BR از مدل زیر استفاده کردم:

DESCRIPTION

1. Bipolar Devices, Digital and Linear Gate/Logic Arrays
2. MOS Devices, Digital and Linear Gate/Logic Arrays
3. Field Programmable Logic Array (PLA) and Programmable Array Logic (PAL)
4. Microprocessors

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = (0.08 * 3.1 + 0.0026 * 8) * 1 * 1 = 0.2688$$

برای تمامی مقاومت‌ها از مدل زیر استفاده کردم:

SPECIFICATION
MIL-R-39008
MIL-R-11

STYLE
RCR
RC

DESCRIPTION

Resistors, Fixed, Composition (Insulated), Established Reliability
Resistors, Fixed, Composition (Insulated)

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = 0.0054 * 1 * 1 * 11 = 0.0594$$

برای خازن سرامیکی و SMT از مدل زیر استفاده کردم:

SPECIFICATION	STYLE	DESCRIPTION
MIL-C-11015 MIL-C-39014	CK CKR	Ceramic, General Purpose Ceramic, General Purpose, Est. Rel.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{CV} \pi_Q \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = 0.0016 * 1.9 * 1 * 12 = 0.0365$$

برای خازن تانتالیوم از مدل زیر استفاده کردم:

SPECIFICATION	STYLE	DESCRIPTION
MIL-C-39003	CSR	Tantalum Electrolytic (Solid), Est. Rel.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{CV} \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ Hours}$$

$$\lambda = 0.054 * 1.6 * 0.066 * 1 * 20 = 0.114$$

حال در بدترین حالت خرابی هریک از عناصر به خرابی کل مدار منجر می‌شود که در این صورت لامبدا کلی مدار برابر است با:

$$\lambda = \sum \lambda_i = 2 * 3.5 + 0.2688 + 2 * 2.013 + 0.2068 + 0.2688 + 15 * 0.0594 + 3 * 0.114 + 12 * 0.0365 = 13.44$$

تمام مقادیر لامبدا در 10^6 ساعت گزارش شده است.

حال به محاسبه MTBF می‌رسیم:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = 0.0744 * 10^6 = 74397 \text{ h} = 8.6 \text{ years}$$