به نام خداوند جان و خرد

درس ابزار دقیق

گروه کنترل

نیمسال دوم 1404-1403 | تمرین سری چهارم | مدرس: محمدرضا نیری

سوال 1)

سه dataset در اختیار شما قرار گرفته است. این داده ها شامل خروجی های آزمایش های واقعی بر روی سه حسگر دما RTD ، ترموکوپل و ترمیستور است.

1- تشخیص حسگر

- منحنی مشخصه هر dataset را با کمک cftool در MATLAB رسم کنید و با توجه به منحنی تشخیص دهید هر dataset مربوط به کدام یک از حسگرهای دما است.(به واحد های داخل dataset ها توجه کنید)
- با توجه به dataset های داده‌شده و پس از شناسایی نوع سنسور مربوط به هر dataset ، برای هر یک از حسگرهای دماییRTD ، ترموکوپل و ترمیستور، به موارد زیر پاسخ دهید.

2- حسگر دمای RTD

- پارامتر های R_{ref}،α_1 و α_2 را بدست آورید.
- به نظر شما این نوع RTD از چه نوعی است؟ چرا؟
- با توجه به مدل اتصال چهار سیمه سنسور RTD ، می‌خواهیم مدار اندازه‌گیری دقیق دما را در محیط Proteusطراحی کنیم. ولتاژهای خروجی RTD در محدوده میلی‌ولت قرار دارند و قابل خواندن مستقیم توسط ADC میکروکنترلر نیستند. بنابراین باید مدار تقویت سیگنال طراحی و شبیه‌سازی شود.
- یک *RTD* را با منبع جریان 1 میلی‌آمپر در *Proteus* شبیه‌سازی کنید و ولتاژ خروجی آن را با یک مدار بهسازی با $gain = 10$ تقویت کنید.(RTD را بر اساس R_{ref} و نوع فلز استفاده شده انتخاب کنید)
- یک برنامه برای میکروکنترلر STM32 طراحی و پیاده‌سازی کنید که ولتاژ تقویت‌شده خروجی مدار RTD چهار سیمه را از طریق ADC اندازه‌گیری کند. در خط اول LCD مقدار ولتاژ اندازه‌گیری‌شده را نمایش دهد و در خط دوم مقدار مقاومت RTD و دمای متناظر آن را چاپ کند.

- با استفاده از مقادیر ولتاژ، مقاومت و دمای محاسبه‌شده، و مقادیر پارامتر های RTD که در بخش های قبل بدست آوردید صحت عملکرد مدار را ارزیابی کنید.

3- حسگر دمای ترموکوپل

- پارامتر α را با توجه به رابطه مشخصه ترموکوپل به دست آورید:

$$E = \alpha(T - T_0)$$

- با توجه به مقدار α به‌دست‌آمده و جدول حساسیت ترموکوپل‌ها، نوع ترموکوپل را مشخص کنید و دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.
- خروجی ترموکوپل را با استفاده از یک منبع ولتاژ DC کوچک شبیه‌سازی کنید. مقدار این منبع ولتاژ باید بر اساس رابطه مشخصه ترموکوپل و دمای موردنظر تعیین شود.
- چون خروجی ترموکوپل در محدوده میلی‌ولت است و قابل خواندن مستقیم توسط ADC میکروکنترلر نیست، یک مدار بهسازی مناسب طراحی کنید تا این ولتاژ کوچک تقویت شده و در محدوده قابل قبول ADCقرار گیرد.
- یک برنامه برای میکروکنترلر STM32 طراحی و پیاده‌سازی کنید که ولتاژ تقویت‌شده خروجی مدار بهسازی را از طریق ADC اندازه‌گیری کند. سپس با استفاده از بهره مدار بهسازی و رابطه مشخصه ترموکوپل، ولتاژ واقعی ترموکوپل و دمای متناظر آن را محاسبه کند.
- در خط اول LCD مقدار ولتاژ تقویت‌شده و ولتاژ واقعی ترموکوپل نمایش داده شود و در خط دوم دمای متناظر آن چاپ شود.
- با استفاده از رابطه مشخصه به‌دست‌آمده و مقادیر ولتاژ و دمای محاسبه‌شده، صحت عملکرد مدار و برنامه میکروکنترلر را ارزیابی کنید.

4- حسگر دمای ترمیستور

- با توجه به رابطه مشخصه ترمیستور، پارامترهای R_0 و β را به دست آورید. توجه کنید که در این رابطه دما باید بر حسب کلوین باشد:

$$R = R_0\, e^{\beta\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T0}\right)}$$

- مشخص کنید ترمیستور موجود از نوع NTC است یا PTC و دلیل خود را با توجه به تغییرات مقاومت نسبت به دما بیان کنید.
- در Proteus برای شبیه‌سازی ترمیستور، می‌توانید از مدل ترمیستور موجود در نرم‌افزار یا از یک مقاومت متغیر استفاده کنید. مقدار مقاومت باید بر اساس دمای موردنظر و رابطه مشخصه ترمیستور تعیین شود. سپس با استفاده از مدار تقسیم ولتاژ، تغییرات مقاومت ترمیستور را به ولتاژ تبدیل کرده و خروجی آن را به ADCمیکروکنترلر متصل کنید.

- یک برنامه برای میکروکنترلر STM32 طراحی و پیاده‌سازی کنید که ولتاژ خروجی مدار ترمیستور را از طریق ADC اندازه‌گیری کند. سپس با استفاده از ولتاژ خوانده‌شده، مقدار مقاومت ترمیستور را محاسبه کرده و با استفاده از معادله مشخصه، دمای متناظر را به دست آورد.
- در خط اول LCD مقدار ولتاژ اندازه‌گیری‌شده و مقدار مقاومت ترمیستور نمایش داده شود و در خط دوم مقدار دمای متناظر آن چاپ شود.
- با استفاده از مقادیر ولتاژ، مقاومت و دمای محاسبه‌شده، صحت عملکرد مدار و برنامه میکروکنترلر را ارزیابی کنید.

برنامه های میکروکنترلر(main.c, hex .*, ioc .*) را به همراه برنامه پروتئوس(pdsprj.) در پوشه Q1 و در پوشه‌های جداگانه با نام‌های RTD، Thermocouple و Thermistor ذخیره کنید.

سوال 2)

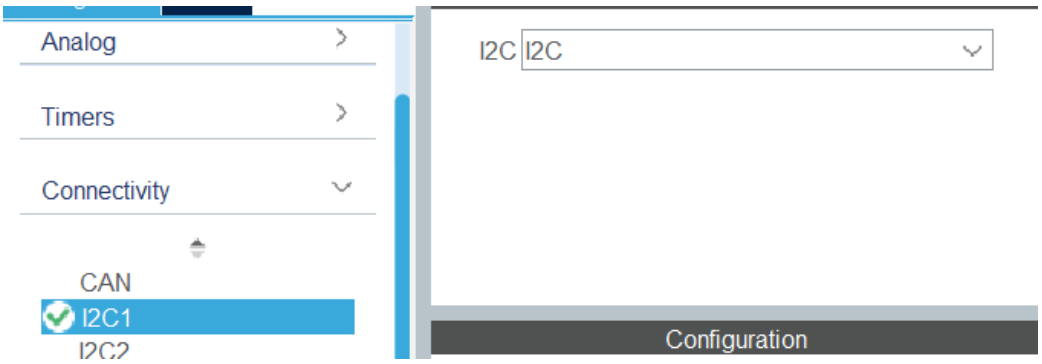
الف) در یک محیط صنعتی با نویز الکترومغناطیسی شدید و فاصله ۵۰ متری از هدف، برای اندازه‌گیری دمای سطح یک کوره داغ (۳۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه)، سنسور غیرتماسی دیجیتال بهتر است یا آنالوگ؟ از نظر دقت خوانده شده در میکروکنترلر کدام ارجحیت دارد؟ اگر دیجیتال را انتخاب می‌کنید، بهترین پروتکل ارتباطی با میکروکنترلر (با توجه به فاصله و نویز) کدام است؟

ب) در درس با سنسور اندازه گیری دمای MLX90615 که یک سنسور دیجیتال غیر تماسی با پروتکل I2C می باشد. در این تمرین می خواهیم با سنسوری شبیه به این سنسور با نام LM75 که تماسی می باشد دماسنج بسازیم.

برنامه ای بنویسید که دما را از سنسور خوانده و سپس روی LCD نمایش دهد.

راهنمایی:

1. در قسمت Pinout & configuration در بخش connectivity و در قسمت I2C در قسمت mode از حالت disable به حالت I2C تغییر وضعیت داده شود.



2. **برای خواندن از یک رجیستر خاص در سنسور متصل به I2C از دستور زیر استفاده می کنیم :**

$$HAL_I2C_Mem_Read(\&hi2c1, LM75_ADDR_8BIT, TEMP_REGISTER, I2C_MEMADD_SIZE_8BIT, temp_data, 2, 100)$$

پارامترها و توضیحات تابع HAL_I2C_Mem_Read برای خواندن دما از سنسور LM75

- **پارامتر hi2c1&**

اشاره‌گر به ساختار (Handle) مربوط به I2C1 است. این پارامتر مشخص می‌کند که از کدام پورت I2C استفاده می‌شود (برای مثال در برد Blue Pill پین‌های PB6 و PB7).

- **پارامتر DevAddress (در اینجا LM75_ADDR_8BIT)**

آدرس 8 بیتی سنسور LM75 روی باس I2C است. معمولاً برای LM75 مقدار 0x90 برای عملیات نوشتن و 0x91 برای عملیات خواندن استفاده می‌شود.

- **پارامتر MemAddress (در اینجا TEMP_REGISTER)**

آدرس رجیستر دما در سنسور LM75 است. این رجیستر معمولا آدرس 0x00 دارد و مقدار دمای اندازه‌گیری شده در آن ذخیره می شود.

- **پارامتر MemAddSize (در اینجا I2C_MEMADD_SIZE_8BIT)**

اندازه آدرس رجیستر را مشخص می‌کند. در سنسور LM75 آدرس رجیستر 8 بیتی است.

- **پارامتر pData (در اینجا temp_data)**

اشاره‌گر به آرایه یا متغیری است که داده‌های خام خوانده‌شده از سنسور در آن ذخیره خواهند شد.

- **پارامتر Size (در اینجا مقدار 2)**

تعداد بایت‌هایی که باید خوانده شوند. مقدار دما در LM75 در قالب 2 بایت (16 بیت) ذخیره می‌شود.

- **پارامتر Timeout (در اینجا مقدار 100)**

مقدار زمان انتظار مجاز برای تکمیل عملیات (بر حسب میلی‌ثانیه). اگر در طول 100 ms پاسخی از سنسور دریافت نشود، تابع خطای Timeout برمی‌گرداند.

خروجی تابع

این تابع مقداری از نوع HAL_StatusTypeDef برمی‌گرداند که می‌تواند یکی از موارد زیر باشد:

• HAL_OK: عملیات با موفقیت انجام شده است.

• HAL_ERROR: خطا رخ داده است (برای مثال سنسور متصل نیست).

• HAL_BUSY: باس I2C در حال حاضر مشغول است.

• HAL_TIMEOUT: زمان تعیین‌شده (100میلی ثانیه) تمام شده ولی پاسخی دریافت نشده است.

حال داده های دریافتی که در temp_data ذخیره شده است را به یک عدد 16 بیتی علامت دار تبدیل کنید LM75 . یک سنسور 9 بیتی است که داده ها را در 9 بیت بالای(9 بیت پرارزش) یک کلمه 16 بیتی ذخیره می کند، پس باید 9 بیت بالای کلمه 16 بیتی استخراج شود. مقدار استخراج شده را اگر در عدد 0.5 ضرب کنیم دما بدست می آید. در واقع هر واحد در عدد 9 بیت استخراج شده معادل 0.5 درجه سانتی گراد است.)

نکته مهم : در این سوال از ماژول Bluepill که به همراه تمرین آپلود شده است استفاده شود.

برنامه های میکروکنترلر(main.c, *. hex , *. ioc) را به همراه برنامه پروتئوس(pdsprj.) در پوشه Q2 ذخیره کنید.

سوال 3)

طراحی ترازوی دیجیتال با سنسور نیرو، مدار بهسازی، فیلتر پایین گذر، میکروکنترلر STM32 و شبیه سازی در پروتئوس

در این سوال قصد داریم یک ترازوی دیجیتال را با استفاده از سنسور نیرو (لودسل شبیه‌سازی‌شده با مقاومت متغیر، مدار بهسازی (Instrumentation Amplifier)، فیلتر پایین گذر (LPF) و نهایتا میکروکنترلر STM32 طراحی و شبیه سازی کنیم. برنامه نویسی میکروکنترلر در STM32CubeIDE انجام می‌شود و کل مدار در نرم‌افزار پروتئوس پیاده‌سازی می شود.

- محدوده جرم: 0 تا 2 کیلوگرم
- ولتاژ تغذیه سنسور: 5 ولت
- ولتاژ مرجع ADC میکرو: 5 ولت ($ADC\ 12\ bit \rightarrow 0$ تا 4095)

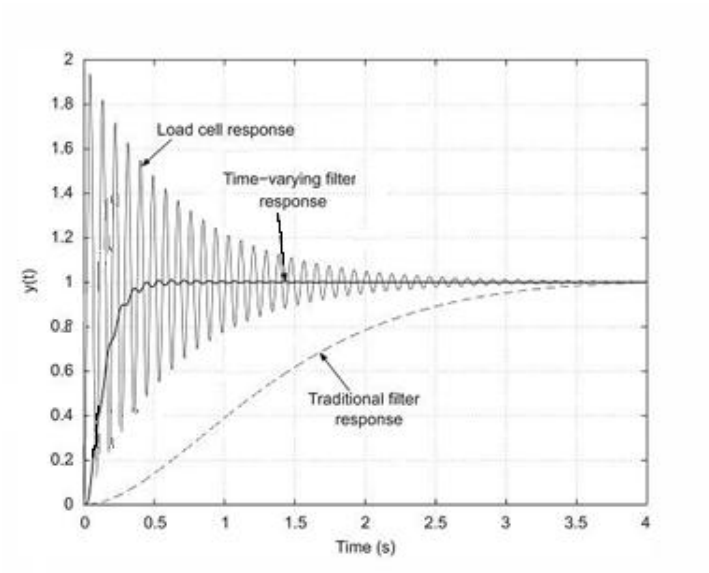
الف) فرض کنید سنسور نیرو در بیشینه جرم (2 کیلوگرم) فقط 10 میلی‌ولت تغییر ولتاژ خروجی می‌دهد. یک مدار تقویت کننده ابزاردقیق (Instrumentation Amplifier) با بهره مناسب طراحی کنید که خروجی سنسور را در دو حالت زیر تأمین کند:

- حالت بدون جرم (0 کیلوگرم) ← ولتاژ خروجی مدار = 0v
- حالت بیشینه جرم (2 کیلوگرم) ← ولتاژ خروجی مدار = 5v

رابطه ولتاژ خروجی مدار بهسازی را بر حسب جرم به صورت خطی بنویسید. سپس این تقویت کننده را به همراه یک مدار پل وتستون (به عنوان شبیه ساز لودسل) یا لودسل در پروتئوس پیاده سازی کنید.

ب) مدار بالا را با استفاده از یک مقاومت متغیر به عنوان یک سنسور نیرو بسته ایم. کارکرد آنرا برای جرم های متفاوت بررسی کنید. سپس با استفاده از داده های بدست آمده، منحنی مشخصه (ولتاژ خروجی برحسب جرم) را رسم و معادله مشخصه را محاسبه کنید و در انتها خطی بودن این رابطه را بررسی کنید. (برای رسم منحنی مشخصه میتوانید از نرم افزار MATLAB استفاده کنید)

ج) در دنیای واقعی، وقتی وزنه به طور ناگهانی روی ترازو قرار می‌گیرد، خروجی لودسل یک رفتار نوسانی میرا مشابه شکل زیر از خود نشان می دهد:



این رفتار را در پروتئوس شبیه سازی کنید. (راهنمایی: میتوانید خروجی Instrumentation Amplifier را به یک مدار شبیه ساز ارتعاشات مثلا یک فیلتر مرتبه دوم نوسانی متصل کنید تا سیگنالی نوسانی و میرا تولید شود).
خروجی این مدار را با اسیلوسکوپ پروتئوس رسم کرده و در گزارش خود نشان دهید.

د) برای حذف نوسانات فرکانس بالای ناشی از ارتعاشات لودسل، یک فیلتر پایین‌گذر فعال (یا غیرفعال) از مرتبه اول با فرکانس قطع مناسب (مثلا 5 هرتز) طراحی کنید. سپس فیلتر طراحی شده را به مدار خود اضافه کنید و خروجی فیلتر شده را در گزارش خود بیاورید. (محاسبات برای طراحی فیلتر در گزارش نوشته شود)

ه) در نرم افزار STM32CubeIDE برنامه ای بنویسید که کارهای زیر را انجام دهد:

- **راه اندازی ADC برای نمونه برداری از ولتاژ بدست آمده.**
- **تبدیل مقدار ADC به جرم با استفاده از رابطه محاسبه شده در بخش ب**

- **نمایش جرم محاسبه شده روی LCD Alphanumeric 2*16**
- **پیاده سازی قابلیت Tare یا صفر کردن با فشردن یک کلید مجازی در پروتئوس به طوری که وزن فعلی به عنوان صفر در نظر گرفته شود و وزن خالص نمایش داده شود.**

و) کل سیستم بیان شده را پیاده سازی کرده و تست نهایی را به صورتی انجام دهید که انگار یک جرم یک کیلوگرمی به صورت ناگهانی روی ترازو قرار میگیرد.

سیگنال های خروجی مدار بهسازی، خروجی به همراه نوسانات و خروجی LPF را توسط اسیلوسکوپ نمایش دهید. آیا شکل خروجی LPF با شکل مورد انتظار در بالا مشابه است یا خیر؟

ی) زمان تقریبی رسیدن به حداقل 95٪ مقدار نهایی LPF چقدر است؟ به نظر شما آیا میتوان این زمان را بهبود داد؟ چگونه؟

برنامه های میکروکنترلر(ioc , *. hex ,main.c*) را به همراه برنامه پروتئوس(pdsprj.) در پوشه Q3 ذخیره کنید.

لطفا در ارسال تمرینات به موارد زیر توجه بفرمایید ، در صورت عدم رعایت هر یک از موارد زیر تمرین شما تصحیح نخواهد شد :

- **تشابه در حل سوالات به صورت جدی بررسی خواهد شد. در صورت تشخیص تمرین مشابه نمره تقسیم خواهد شد.**
- **در صورت دست نویس بودن تمرین ، نوشته ها خوانا باشند و کیفیت اسکن آن ها مناسب باشد.**
- **پاسخ ها در قالب یک فایل *pdf* تجمیع و ارسال شوند. همچنین تمامی کد ها با ذکر اینکه مربوط به کدام سوال هستند در پوشه ای با نام *Codes* ذخیره شده سپس تمامی فایل ها در قالب یک فایل *zip* تجمیع و با نام *student_number.zip* ارسال شوند .**
- **در صورت هر گونه ابهام در سوالات برای هر یک از سوالات به دستیار مربوطه تنها از طریق ایمیل دانشگاهی با موضوع *Series#-Q#* (که در آن # شماره سری تمرین و سوال مورد نظر است) ایمیل زده و ایمیل دستیار ارشد را نیز *CC* کنید.**

  سوال1) آقای روزبهانی ایمیل *samyar.rouzbahani@ut.ac.ir*

  و خانم شمائی ایمیل *negar.shamaie@ut.ac.ir*

  سوال2) آقای محمودی ایمیل *momahdimahmoodi@ut.ac.ir*

  سوال3) آقای زارع ایمیل *ali.zare.bilondy@ut.ac.ir*

  ایمیل دستیار ارشد *bayan.mahdiyar@ut.ac.ir*
- **همچنین تمامی دستیاران داخل گروه بله عضو هستند و ترجیحا سوالات در آنجا مطرح شود تا بقیه دوستان هم استفاده کنند.**