

آزمایش ۳

آزمایشگاه ریزپردازنده
نیم سال دوم ۱۴۰۱-۱۴۰۰

هدف

هدف از این آزمایش آشنایی با وقفه‌های خارجی GPIOها در میکروکنترلر STM32F401 است. ضمناً در این آزمایش با شیوه راه‌اندازی LCD کاراکتری و Keypad ماتریسی آشنا خواهید شد.

پیش‌نیاز و مطالعه

- آشنایی با ساختار LCD کاراکتری ۲×۱۶ (فایل راهنما از [اینجا](#) قابل دسترسی است).
- آشنایی با ساختار keypad ماتریسی (فایل راهنما از [اینجا](#) قابل دسترسی است).
- آشنایی با مفهوم وقفه خارجی

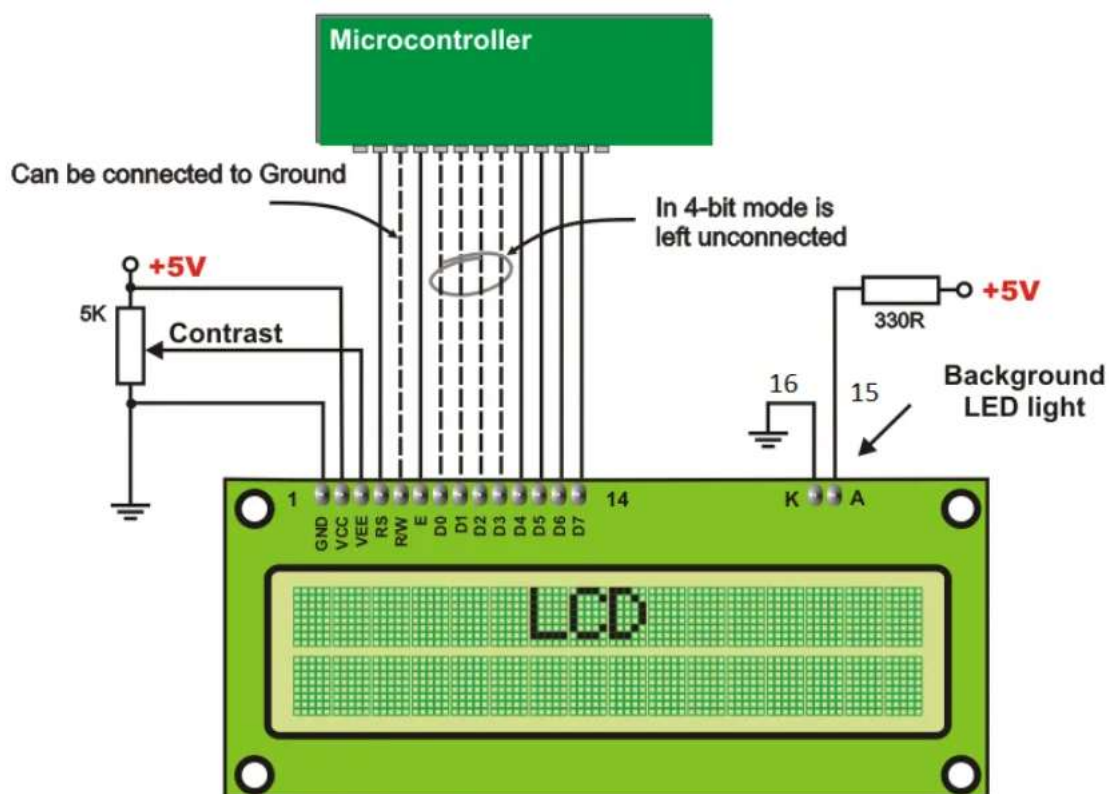
نمایشگرهای LCD (نمایشگر کریستال مایع) برای نمایش وضعیت یا پارامترها در سیستم‌ها استفاده می‌شوند. LCDها از طریق مقدار اطلاعاتی که می‌توانند در صفحه خود نمایش دهند انتخاب و خریداری می‌شوند. انواع معمول آن‌ها عبارتند از ۱، ۲ یا ۴ سطر و هر سطر شامل ۱۶، ۲۰، ۳۲ یا ۴۰ کاراکتر است. LCD کاراکتری ۲×۱۶ یک دستگاه ۱۶ پایه است که دارای ۸ پایه داده (D0-D7) و ۳ پایه کنترل (RS, RW, E) است. ۵ پایه باقی مانده برای تأمین و نور پس‌زمینه برای LCD است. همچنین LCD مورد نظر می‌تواند همراه با لامپ پشت صفحه (Back light) یا بدون آن انتخاب شود. LCD ۲×۱۶ را می‌توان در حالت ۴ بیتی یا ۸ بیتی، بسته به نیاز برنامه، استفاده کرد. برای به‌کارگیری آن باید دستورات خاصی را به LCD در مُد فرمان ارسال کرد و پس از پیکربندی، می‌توان داده‌های مورد نیاز را در مُد داده ارسال کرد. به بیان دیگر برای شروع کار با LCD لازم است که ابتدا راه‌اندازی اولیه انجام شود و سپس داده یا دستور مورد نظر برای رجیسترهای مربوطه ارسال گردد. تصویر زیر یک LCD کاراکتری ۲×۱۶ را نشان می‌دهد که قادر است حروف و اعداد را نمایش دهد. ۲×۱۶ به این معنا است که این LCD دارای ۱۶ ستون و ۲ ردیف است. هر ستون در هر ردیف می‌تواند یک کاراکتر را نشان دهد (مجموعاً ۳۲ کاراکتر).



اطلاعاتی در مورد هر یک از این پایه‌ها در ادامه آورده شده است.

- V_{SS} = زمین (GND)
- V_{CC} = تغذیه ۵ ولت
- V_{EE} (Display Contrast Pin) = تنظیم شدت نور صفحه (این پایه به پتانسیومتر وصل می‌شود که با کم و زیاد کردن پتانسیومتر می‌توان شفافیت تصویر را تنظیم کرد).
- RS (Register Select) = انتخاب رجیستر (برای مشخص کردن ارسال دستور یا دیتا)
- RW (Read/Write) = پایه Read و Write
- E = پایه Enable (این پایه بایستی به میکروکنترلر متصل شود و همیشه High باشد)
- D0 – D7 = پایه‌های دیتا
- A = پایه Anode
- K = پایه Cathode

همانطور که در شکل زیر می‌بینید LCD دارای یک کنترلر است که با فرستادن اطلاعات به آن، این اطلاعات را در صفحه‌ای که عموماً به چند سطر و ستون تقسیم شده نمایش می‌دهد. برای نمونه برای نمایش حرف "M" کافیت این حرف را به LCD ارسال کنیم. همچنین می‌توان دستوراتی از قبیل پاک کردن صفحه نمایش، جابجایی مکان نما، خاموش و روشن کردن مکان نما و... را به LCD ارسال نمود. توجه شود که در مد ۸ بیتی پین‌های ۷ تا ۱۴ LCD به ۸ پین ورودی / خروجی میکرو متصل می‌شود. در مد ۴ بیتی پین‌های شماره ۱۱ تا ۱۴ از LCD به میکروکنترلر متصل می‌شوند.



پایه‌های LCD کاراکتری به صورت کامل در جدول زیر توضیح داده شده است.

شماره پایه	نماد	کاربرد	اتصال خارجی
۱	V _{SS}	زمین (GND)	پایانه منفی منبع تغذیه
۲	V _{DD}	V _{CC}	ولتاژ تغذیه +۵ ولت
۳	V _{EE}	تنظیم کنتراست	به ولتاژ +۵ ولت متصل می‌شود (برای داشتن کنتراست قابل تنظیم این پایه به پتانسیومتر خارجی وصل می‌شود.)
۴	RS	انتخاب رجیستر (داده / دستور)	به پین‌های کنترل‌کننده میکرو کنترلر وصل می‌شود وقتی RS=0 رجیستر دستور و هنگامی که RS=1 رجیستر داده انتخاب می‌شود.
۵	R/W	انتخاب عملیات (خواندن / نوشتن)	به پین‌های کنترل‌کننده میکرو کنترلر وصل می‌شود برای خواندن باید R/W=1 و برای نوشتن مقداری روی رجیستر R/W=0 باشد.
۶	E	فعال‌سازی LCD	به پین‌های کنترل‌کننده میکرو کنترلر وصل می‌شود. با اعمال یک پالس پایین رونده به این پایه تغییرات مدنظر در LCD اعمال می‌شوند.
۷ - ۱۰	DB0 – DB3	چهار خط اول گذرگاه داده (این چهار خط در مد چهار بیتی فعال نیستند)	به پین‌های داده میکرو کنترلر وصل می‌شود
۱۱ - ۱۴	DB4 – DB7	چهار خط دوم گذرگاه داده (این چهار خط در مد چهار بیتی فعال هستند)	به پین‌های داده میکرو کنترلر وصل می‌شود
۱۵	LED+ (Anode)	قطب مثبت پس‌زمینه	به پایانه +۵ ولت وصل می‌شود
۱۶	LED- (Cathode)	قطب منفی پس‌زمینه	به پایانه منفی منبع تغذیه وصل می‌شود.

باید در نظر داشت که LCD کاراکتری دارای دو سری ثابت (رجیستر) است. یکی برای داده و دیگری برای دستورات. یک کد دستور فرایندی است تا LCD وظیفه‌ای را که باید انجام دهد مانند پاک کردن صفحه نمایش، تنظیم محل اشاره گر صفحه و.... مشخص نماید. یک کد داده که در رجیستر داده ذخیره می‌شود وظیفه آن را دارد تا داده قابل نمایش را به LCD معرفی نماید. داده‌هایی که باید در رجیستر داده قرار گیرند کدهای اسکی مربوط به کاراکترهایی هستند که باید بر روی نمایشگر به نمایش درآیند. توجه شود که داده‌ها باید به فرمت HEX به نمایشگر ارسال شوند.

هنگامی که بخواهیم به LCD دستور خاصی را ارسال کنیم باید کد HEX مربوط به آن دستور را بر روی گذرگاه داده قرار دهیم. در جدول زیر دستورالعمل‌های مهم و پرکاربرد LCD آمده است.

ردیف	دستور	معادل هگزادسیمال
۱	نمایش در یک سطر با آرایه‌های ۵×۷ در مد هشت بیتی	0x30
۲	نمایش در دو سطر با آرایه‌های ۵×۷ در مد هشت بیتی	0x38
۳	نمایش در یک سطر با آرایه‌های ۵×۷ در مد چهار بیتی	0x20
۴	نمایش در دو سطر با آرایه‌های ۵×۷ در مد چهار بیتی	0x28
۵	مد ورود داده‌ها	0x06
۶	خاموش کردن نشانگر و نمایشگر بدون پاک شدن محتویات RAM	0x08
۷	روشن کردن نشانگر و نمایشگر	0x0E
۸	روشن کردن نمایشگر بدون روشن کردن نشانگر	0x0C
۹	نمایش اطلاعات با نشانگر چشمک‌زن	0x0F
۱۰	شیفت دادن همه اطلاعات در حال نمایش به سمت چپ	0x18
۱۱	شیفت دادن همه اطلاعات در حال نمایش به سمت راست	0x1C
۱۲	انتقال نشانگر به سمت چپ به مقدار یک کاراکتر	0x10
۱۳	انتقال نشانگر به سمت راست به مقدار یک کاراکتر	0x14
۱۴	پاک کردن کامل نمایشگر به همراه محتویات RAM	0x01
۱۵	انتقال نشانگر به اولین مکان از اولین خط	0x80
۱۶	انتقال نشانگر به اولین مکان از دومین خط	0xC0

سؤالات تحلیلی

۱. انواع وقفه را نام برده و با یکدیگر مقایسه کنید. اگر اتفاق افتادن چندین درخواست وقفه دارای اشتراک زمانی باشند، عملکرد سیستم در Cortex-M4 و قبل از آن را توضیح داده و با هم مقایسه کنید. اگر دو درخواست وقفه همزمان رخ دهند، سیستم به چه صورت عمل خواهد کرد؟
۲. تفاوت روش سرکشی و وقفه چیست؟
۳. جابجایی بردار وقفه در Cortex-M4 را توضیح دهید. مزیت آن چیست؟
۴. در هنگام وقوع وقفه چه اطلاعاتی در LR قرار می‌گیرد؟ از زمان وقوع وقفه (با فرض عدم وجود وقفه‌ی دیگر) تا زمان شروع اجرای اولین روتین سرویس وقفه، حداکثر چند سیکل CPU طول می‌کشد؟

دستور کار

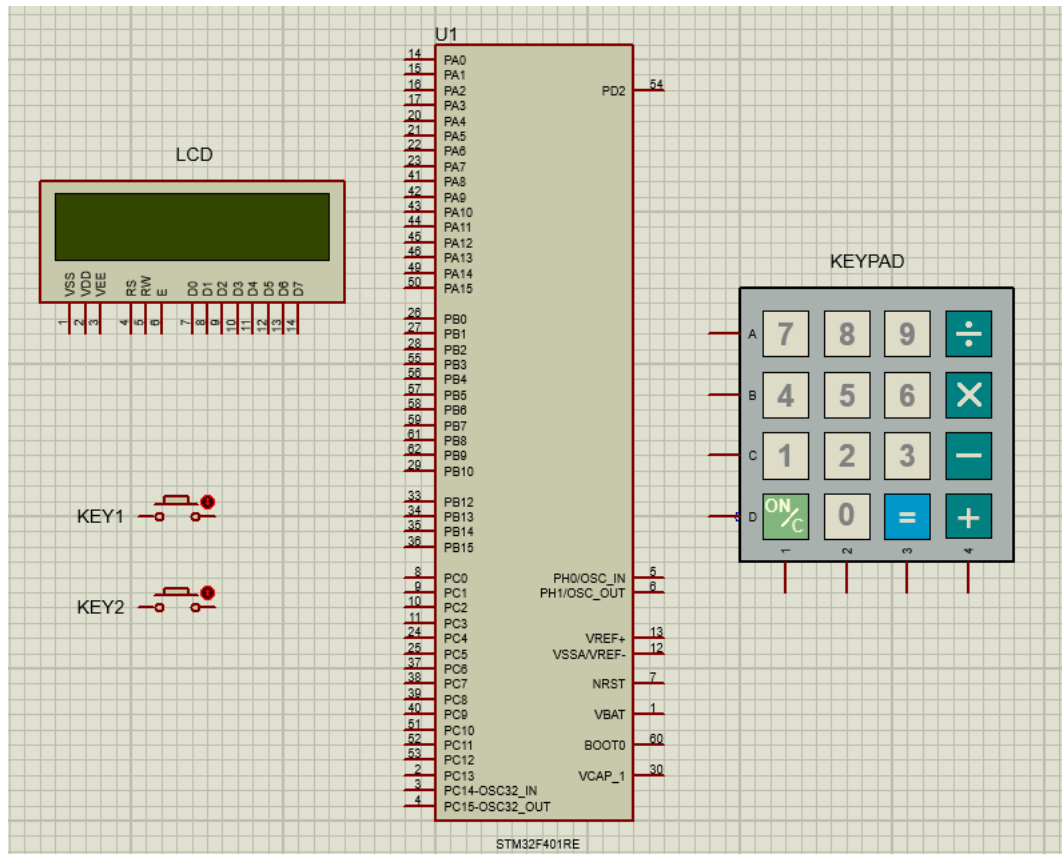
سیستم از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

- میکروکنترلر STM32F401RE
- LCD کاراکتری ۱۶×۲ (LM016L در پروتئوس)

- Keypad ماتریسی ۴×۴

- دو عدد Push Button

هدف از این آزمایش نوشتن یک رشته کاراکتری بر روی LCD و طراحی یک ماشین حساب است. سیستمی طراحی کنید که نام خانوادگی شما و هم‌گروهی‌تان را روی خط (ردیف) اول LCD بنویسد و در خط دوم اعداد و دستور محاسباتی را از keypad دریافت کند و نتیجه حاصل را بر روی نمایشگر به نمایش درآورد. در هر مرحله، رقم وارد شده از هر عدد، باید بر روی صفحه نمایش نشان داده شود (مشابه با ماشین حساب حالت استاندارد ویندوز). دو عدد PushButton استفاده کنید و سیستم را طوری طراحی کنید که با هر بار فشردن یک کلید مقدار یک واحد از عدد حاصل کم شود و با هر بار فشردن کلید دوم یک واحد به مقدار اضافه شود. المان‌های مورد نیاز برای اجرای این آزمایش در شکل زیر نشان داده شده است.



تذکرات مهم

- تنها اعداد صحیح قابل پذیرش است.
- هر تغییر وضعیت در هر سطر یا ستون از keypad باید با به‌کارگیری وقفه خارجی شناسایی گردد و در سرویس روتین مربوط به آن وقفه تصمیمات لازم اتخاذ شود.
- به‌کارگیری روش سرکشی مجاز نیست.
- تنها به‌کارگیری کتابخانه CMSIS مجاز است. به‌کارگیری توابع HAL مجاز نیست.
- برای عملکرد بهتر keypad بهتر است پایه‌های آن به‌صورت Push-Pull در نظر گرفته شود.

موارد تحویل‌دادنی

- سورس‌کد تمام بخش‌های ذکر شده را به‌صورت کامل تحویل دهید. برای خوانایی بیشتر حتماً باید بخش‌های مختلف کد کامنت‌گذاری شود.

- پروژه ساخته شده در Proteus را باید تحویل دهید.
- گزارشی کامل و روشن از بخش‌های مختلف انجام شده در طی اجرای دستور کار تحویل شود. اگر در بخشی قطعه کدی توضیح داده می‌شود کپی آن بخش از کد در گزارش آورده شود.
- شماره پین‌ها و پورت‌های به کار گرفته شده به همراه نوع تنظیماتی که برای آن لحاظ شده است در گزارش بیان شود.

نکات حائز اهمیت

- بخش‌های مختلفی که باید تحویل داده شوند همگی در یک فایل فشرده باشند و نام فایل فشرده به فرمت زیر باشد:
<گروه درسی-نام-نام خانوادگی-شماره دانشجویی>
- به ازای هر روز تأخیر، روز اول ۱۵٪، روز دوم ۲۵٪ و روزهای سوم و چهارم ۳۰٪ از نمره کسر خواهد شد و در روز پنجم نمره‌ای تخصیص نمی‌گردد.
- دقت شود که در گزارش نام اعضا، شماره دانشجویی و گروه درسی ذکر گردد.
- آزمایش‌های ریزپردازنده به صورت گروه‌های دونفره انجام داده شده و تحویل می‌شوند.
- نکته مهم این است تمامی افراد گروه باید به همه جوانب و جزئیات آزمایش‌ها مسلط باشند که این نکته توسط مدرسین هنگام تحویل به دقت بررسی خواهد شد.
- هر گروه باید به صورت مجزا آزمایش را انجام دهد و کپی نتایج آزمایش گروه‌های دیگر تحلف است.
- به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمامی گروه‌ها و فاصله داشتن زمان آپلود و تحویل، به هنگام تحویل، اعضای گروه، در همان زمان پاسخ آزمایش خود را از درس‌افزار داندلود کرده و روی سیستم خود تحویل می‌دهند.

موفق باشید

گروه آزمایشگاه‌های ریزپردازنده