



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی پزشکی

ویرایش
پنجم

دستور کار آزمایشگاه میکروپروسسور



به نام خدا

دستور کار آزمایشگاه میکروکنترلر به نحوی آماده گردیده است که دانشجویان با اصول بکارگیری و استفاده از مدارات میکروکنترلی آشنا شوند. دستور کار بر مبنای میکروکنترلرها با هسته‌ی ARM تنظیم است. این میکروکنترلرها علاوه بر قیمت مناسب و تنوع بالا، دارای امکان جانبی فراوانی برای استفاده در بسیاری از مدارات دیجیتال و آنالوگ هستند. برای برنامه نویسی این میکروکنترلرها از زبان سطح بالای C به همراه کامپایلر Keil استفاده شده است.

اگرچه استفاده از میکروکنترلرهای ۸ بیتی مانند AVR سادگی مخصوص خود را دارند و علی الخصوص به خاطر وجود منابع آموزشی فراوان گسترش زیادی در میان دانش‌آموزان و دانشجویان یافته‌اند اما با توجه به کارایی و سرعت پایین این میکروکنترلرها برای بسیاری از کاربردها از یک طرف و از طرف دیگر گسترش روزافزون میکروکنترلرهای ۳۲ بیتی با توان مصرفی فوق العاده پایین و کارایی بالا، زمینه‌ی لازم برای مهاجرت و عمومی کردن استفاده از این میکروکنترلرها را فراهم ساخته است. بر این اساس دستور کار آزمایشگاه میکروکنترلر بر مبنای یکی از رایج‌ترین خانواده‌های میکروکنترلرهای ۳۲ بیتی بر مبنای هسته‌ی [ARM] که از تولیدات شرکت ST است نگاشته شده است. بر روی برد آموزشی آزمایشگاه یک میکروکنترلر STM32F429ZIT از خانواده‌ی STM32F4 تعبیه شده است که آزمایش‌ها نیز بر مبنای این میکروکنترلر خواهند بود. سعی بسیاری شده است که دستور کار آزمایشگاه روان و ساده نگارش یابد، با این حال تقاضا می‌شود ایرادات، اشکالات دستور کار و نظرات خود را به آدرس [aghayifar\[at\]gmail.com](mailto:aghayifar[at]gmail.com) ارسال نمایید.

در پایان سپاسگزاری‌ام را تقدیم اساتید خود، آقایان دکتر علی مالکی، دکتر یاسر شکفته و دکتر محمدعلی احمدی پژوه می‌کنم و به ویژه به خاطر تلاش‌ها و حمایت‌های جدی خانم مهندس سلطانی کمال قدردانی و تشکر مضاعف را دارم.

علی آقائی فر شهریور ۱۳۹۲

تاریخچه نگارش

تغییرات	تاریخ نگارش	نگارنده	ویرایش
		علی آقای فر	۱
		علی آقای فر	۲
مهاجرت به پردازنده LPC1768		علی آقای فر	۳
مهاجرت به پردازنده STM32F103ZET تغییرات مختصر در نگارش و پرسش‌ها افزودن معرفی CMSIS	مهر ۱۳۹۵	صفا رفیعی‌وند	۴
مهاجرت به پردازنده STM32F429ZIT تغییر در ترتیب آزمایش‌ها بازنگری پرسش‌ها		علی نوری صفا رفیعی‌وند	۵

فهرست

روش کار آزمایشگاه	۵
پیش‌نیازها.....	۵
نحوه‌ی ارزیابی	۵
گزارش آزمایش‌ها.....	۵
راهنمای علائم	۶
آزمایش ۱: آشنایی با میکروکنترلرهای با هسته‌ی ARM	۷
آزمایش ۲: بررسی پورت‌های ورودی – خروجی با کاربرد عمومی (GPIO)	۱۳
بخش اول، آشنایی با GPIO	۱۳
بخش دوم، راه‌اندازی موتور پله‌ای	۱۵
آزمایش ۳: منابع پالس ساعت و کنترل توان	۱۸
بخش اول، PLL	۱۸
بخش دوم، SysTick Timer	۲۰
آزمایش ۴: درگاه ارسال و دریافت سریال داده (UART)	۲۲
آزمایش ۵: آشنایی با نمایشگرها.....	۲۸
بخش اول، LCD متنی	۲۸
بخش دوم، TFT LCD	۳۲
آزمایش ۶: مبدل آنالوگ به دیجیتال – مبدل دیجیتال به آنالوگ	۳۷
بخش اول، ADC	۳۷
بخش دوم، DAC	۳۸
آزمایش ۷: وقفه در میکروکنترلرها.....	۴۱
آزمایش ۸: زمان‌سنج‌ها و شمارنده‌ها.....	۴۷

۴۷Basic Timer/Counter، بخش اول
۴۸بخش دوم، آشنایی با ارسال و دریافت مادون قرمز
۴۹بخش سوم، سنسور شدت نور
۵۱پیوست ۱: معرفی منابع
۵۲پیوست ۲: آموزش ایجاد یک پروژه جدید در Keil
۵۶پیوست ۳: آموزش پروگرام کردن با استفاده از Flash Loader Demonstrator
۶۰پیوست ۴: نحوه‌ی برنامه نویسی STM32F4xx در Keil
۶۲پیوست ۵: مشخصات برد آموزشی

روش کار آزمایشگاه

پیش‌نیازها

- آشنایی با معماری و امکانات جانبی ریزپردازنده‌ها
- آشنایی با زبان برنامه نویسی C

نحوه‌ی ارزیابی

- کیفیت عملکرد در آزمایشگاه (تسلط کافی بر آزمایش، کدنویسی پیش از شروع جلسه و ...) (۲۰٪)
- گزارش کار آزمایش (۴۰٪)
- پروژه‌ی نهایی (۲۰٪)
- آزمون عملی (۲۰٪)

× محاسبه‌ی امتیاز آزمایشگاه و گزارش کارها منوط به ارائه‌ی پروژه‌ی پایانی و کسب در صد قابل قبولی از آزمون عملی خواهد بود.

× در صورت داشتن غیبت موجه، امتیاز جلسه‌ی مذکور تنها در صورتی محاسبه می‌گردد که دانشجو در جلسه‌ی جبرانی آزمایش را انجام دهد.

گزارش آزمایش‌ها

گزارش‌ها به صورت تایپ شده و منظم و تماماً به زبان فارسی^۱ حداکثر تا یک هفته - غیر قابل تمدید- بعد از پایان جلسه‌ی آزمایش تحویل مدرس داده می‌شود.


گزارش کار باید شامل بخش‌های زیر باشد. به گزارش‌های فاقد شرایط زیر نمره تعلق نخواهد گرفت (پیشنهاد می‌شود از فایل نمونه‌ای که در اختیارتان گذاشته شده است استفاده نمایید).

- صفحه عنوان، مقدمه و هدف آزمایش
- متن گزارش شامل: پاسخ به سوالات و تحقیقات دستورکار، بررسی برنامه نوشته شده به صورت بلوک به بلوک، بررسی نکات فنی بخش مربوطه در میکروکنترلر
- بررسی مشکلات پیش آمده در طول آزمایش و نحوه‌ی حل و برطرف شدن آنها (حتماً ذکر شوند)


^۱ به جز تصاویر


- جمع بندی و نتیجه گیری
- ارائه پیشنهادات و نظرات شما در مورد آزمایش
- مراجع شامل جزوات، کتب و سایت های مفید مورد استفاده شما (حتماً ذکر شوند؛ به نحوی که برای خواننده، مجدداً قابل دسترسی باشد و در غیر این صورت پیوست گردند).
- پیوست ها (در صورت لزوم)


راهنمای علائم


 مدت زمان پیش بینی شده برای اتمام آزمایش

? سؤال: پرسش هایی که پاسخ آنها عموماً در reference-manual میکروکنترلر قابل یافت است. دانشجویان عزیز می بایست پیش از شروع آزمایش نسبت به بررسی آن ها اقدام نمایند.

 **تحقیق:** پرسش هایی که نیاز به جستجوی بیشتر داشته اند و عموماً جهت افزایش سطح معلومات دانشجویان طراحی شده اند. دانشجویان عزیز می بایست پیش از شروع آزمایش نسبت به بررسی آن اقدام نمایند.

 **مطالعه:** قسمت های مورد نیاز جهت مطالعه و کسب تسلط پیش از شروع آزمایش با این علامت نشانه گذاری شده اند. لزومی به ارائه مطالب این قسمت در گزارش آزمایش نیست.

 **آزمایش:** آزمایش هایی که نیاز به پیاده سازی عملی بر روی سخت افزار آموزشی داشته باشند با این علامت نشانه گذاری شده اند. کدنویسی اولیه ی تمامی برنامه ها می بایست پیش از شروع جلسه ی آزمایشگاه صورت پذیرد.

 **قسمت هایی از آزمایش های سخت افزاری که به صورت دسته جمعی بعد از اتمام آزمایش بررسی می شوند.** عموماً این کار جهت آشنایی دانشجویان با روش ها و ایده های مختلف پیاده سازی یک برنامه که توسط سایرین استفاده شده است می باشد.

آزمایش ۱: آشنایی با میکروکنترلرهای با هسته‌ی ARM

هدف آزمایش: آشنایی با میکروکنترلرهای خانواده‌ی STM32F4xx، نحوه‌ی کامپایل کردن برنامه در Keil و برنامه‌ریزی میکروکنترلر با استفاده از واسط Bootloader و ST-Link

🕒 مدت زمان آزمایش: ۴ ساعت

پردازنده‌های ARM، هسته‌های ۳۲ (و اخیراً ۶۴) بیتی با معماری RISC هستند که از همکاری کمپانی Acron و Apple برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ عرضه شدند. کمپانی ARM صرفاً طراح هسته‌های این پردازنده‌ها است و هیچ گونه تراشه‌ای به صورت مدار مجتمع تولید نمی‌کند. بلکه لایسنس آن را برای تولید به سایر تولیدکنندگان به فروش می‌رساند. در میان تنوع میکروکنترلرهای موجود در دنیای مدارهای مجتمع، پروسسورهای ARM به دلایل مختلفی همواره یک گام از سایر پردازنده‌ها جلوتر بوده‌اند که موارد مهم آن‌ها شامل توان مصرفی بسیار پایین، تنوع بالای محصولات و قیمت بسیار مناسب است. کمپانی‌های بزرگ بسیاری نسل‌های مختلف ۱ معماری هسته ARM را از بنیاد اصلی خریداری کرده و تولیدات میکروکنترلرهای خود را بر اساس آن انجام می‌دهند. شرکت‌های بسیار بزرگی همچون ST, Philips, Texas instrument, Analog Device, Samsung, Atmel و بسیاری از شرکت‌های بزرگ و کوچک ناشناخته‌ی دیگر در زمره‌ی خریداران معماری این هسته هستند.



شکل ۱ – نمونه‌هایی از خریداران معماری ARM

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ARM_microprocessor_cores

در جدول ۱ نامگذاری میکروکنترلرهای تولیدی شرکت‌های ST، Philips(NXP) و Atmel آورده شده است که از سایر تولیدکننده‌ها رایج‌تر بوده و محصولات آن‌ها بیشتر در دسترس است. به‌جای حروف x یک عدد یا حرف وجود دارد که مشخصات جزئی‌تر میکروکنترلر مربوطه را مشخص می‌کند.

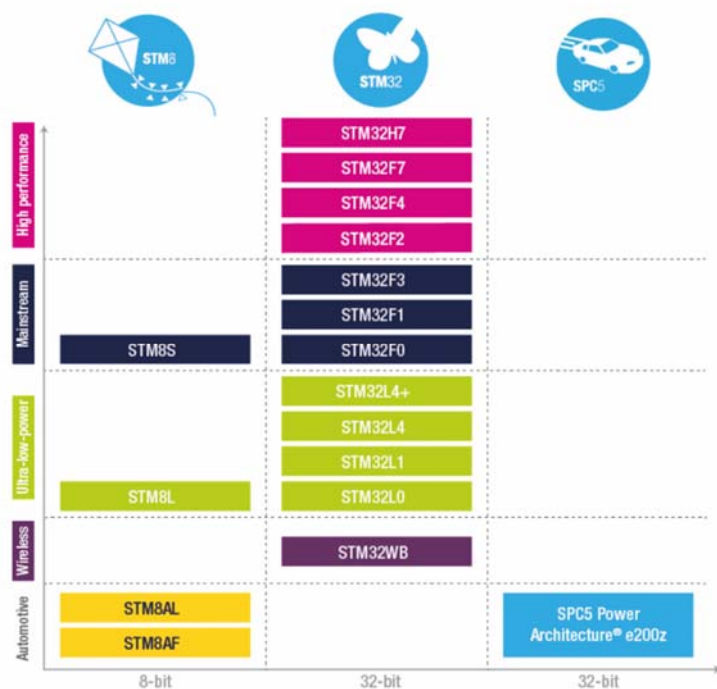
جدول ۱ – نامگذاری میکروکنترلرهای ARM در شرکت‌های ST، NXP و Atmel

	ARM 7	ARM 9	Cortex M0	Cortex M3	Cortex M4
ST-Micro	-	-	STM32F0xxxx	STM32L1xxxx STM32F1xxxx STM32F2xxxx	STM32F3xxxx STM32F4xxxx ^۱
NXP	LPC21xx LPC22xx LPC23xx LPC24xx LPC28xx LH7xxxx	LPC3xxx, LH7Axxx, LPC29xx	LPC11xx LPC12xx	LPC17xx LPC13xx LPC18xx	LPC4xxx
Atmel	AT91sam7xxxx	AT91SAM9xxx	-	ATSAM3xxx	ATSAM4xxx

STM32	F	051	R	8	T	6
Family	Specific features (3 digits) Depends on product series None exhaustive list.					
STM32 32-bit MCUs	STM32x...					
STM8 8-bit MCUs	051 Entry-level					
STM8A 8-bit Automotive MCUs	407 High-performance and DSP with FPU					
	152 Ultra-low-power					
	STM8x... / STM8Ax...					
	103 Mainstream access line					
	52 Automotive CAN					
	31 Automotive low-end					
Product type	Pin count (pins)					
F Foundation	Y 16					
L Ultra-low power	F 20					
P Pre-programmed	E 24					
S Standard	G 28					
T Touch sensing	K or G 32					
W Wireless	L 34					
	T 36					
	D 38					
	H 40					
	J 42					
	S 44					
	C or 8 48					
	N 56					
	U 63					
	R or 9 64					
	M or A 80					
	O 90					
	V 100					
	W 128					
	Q 132					
	Z 144					
	I 176					
	B 208					
	X 336					
	P 420					
	Code size (Kbytes)					
	0 1					
	1 2					
	2 4					
	3 8					
	4 16					
	5 24					
	6 32					
	7 48					
	8 64					
	9 72					
	A 96 or 128*					
	B 128					
	Z 192					
	C 256					
	D 384					
	E 512					
	F 768					
	G 1024					
	H 1536					
	I 2048					
	Note:					
	* For STM8A only					
	Packaging					
	B Plastic DIP*					
	D Ceramic DIP*					
	G Ceramic QFP					
	H UFBGA or TFBGA					
	I UFBGA					
	M Plastic SO					
	P TSSOP					
	Q Plastic QFP					
	T Plastic TQFP					
	U UQFN					
	Y CSP					
	*Dual in-line package					
	Temperature range					
	6 and A -40 to +85 °C					
	7 and B -40 to +105 °C					
	3 and C -40 to +125 °C					
	D -40 to +150 °C					

شکل ۲ – نحوه‌ی نامگذاری میکروکنترلرهای شرکت ST

^۱ میکروکنترلر مورد استفاده در آزمایشگاه در این سری قرار دارد.



شکل ۳- دسته‌بندی میکروکنترلرهای شرکت ST

تحقیق ۱: با مراجعه به برگه‌ی اطلاعاتی و راهنمای کاربری میکروکنترلرهای زیر، ویژگی‌های خواسته شده برای آنها را استخراج کرده و با تکمیل جدول زیر آنها را مقایسه کنید.

امکانات جانبی	تعداد پایه	ولتاژ تغذیه	فرکانس کاری	قیمت به دلار ^۱	حافظه RAM	حافظه Flash	نسل ARM	پردازنده
							-	AVR (ATmega32)
								ARM (LPC1768)
								ARM (AT91sam7x256)
								ARM (STM32F103RET)
								ARM (STM32F429ZIT)
								ARM (STM32L152RCT)
								ARM (STM32F030F4P)

^۱ می‌توانید قیمت‌ها را از سایت‌های معتبر فروش قطعات الکترونیک مانند digikey و mouser استخراج کنید.

کامپایلرهای فراوانی برای میکروکنترلرهای با هسته‌ی ARM توسعه یافته و منتشر شده‌اند که هر یک مزایا و معایب خود را به همراه دارند. از میان آن‌ها می‌توان به کامپایلرهای Keil، IAR، HBBR Basic for ARM، Flowcode، ARM، ICCARM اشاره کرد. در این میان کامپایلر Keil و IAR از شهرت و محبوبیت بیشتری در میان کاربران برخوردارند که در این آزمایشگاه به معرفی و استفاده از کامپایلر Keil خواهیم پرداخت. همچنین کامپایلر رایگان CooCox نیز با یک ادیتور مناسب تنها برای نسل Cortex هسته‌های ARM توسعه یافته است که سهولت و کاربرپسندی آن موجب شده است که استفاده از آن را گاه به جای Keil توصیه کرد. در کنار تمام موارد فوق که کامپایلرهای تخصصی میکروکنترلرها هستند، نرم‌افزار مهندسی Labview نیز وجود دارد. این نرم‌افزار دارای یک جعبه‌ابزار^۱ الحاقی جداگانه برای میکروکنترلرهای ARM است. محیط متفاوت برنامه نویسی گرافیکی Labview جذابیت ویژه و منحصر به فردی را برای کاربر ارائه می‌دهد. شما در این نرم‌افزار می‌تواند الگوریتم خود را با چند بلوک

CooCox

KEIL™
Tools by ARM

IAR
SYSTEMS

MATRIX

NATIONAL INSTRUMENTS
LabVIEW

IMAGEcraft

گرافیکی ترسیم کنید و سپس خروجی کد C متناظر با آن را دریافت کرده و توسط کامپایلرهای دیگر میکروکنترلر خود را برنامه ریزی نمایید.

KEIL™
Tools by ARM

همانطور که گفته شده، کامپایلر مورد استفاده در این آزمایشگاه Keil خواهد بود. شرکت Keil در سال ۱۹۸۲ توسط Reinhard keil در آلمان بنیان نهاده شد. Keil اولین تولید کننده کامپایلر زبان C برای میکروکنترلرهای ۸۰۵۱ است. بعدها در سال ۲۰۰۵ شرکت Keil توسط کمپانی بزرگ ARM خریداری شد^۲ و توجه ویژه‌ای در توسعه و ارائه‌ی یک کامپایلر استاندارد برای میکروکنترلرهای با هسته‌ی ARM در آن گردید. در حال حاضر آخرین نسخه‌ی این نرم‌افزار ۵.۲۶ است که نسخه‌ی آزمایشی آن با اعتبار ۷ روز از وبسایت شرکت Keil قابل نصب است. لیست کاملی از تمام میکروکنترلرهایی که در این نسخه پشتیبانی می‌شوند در وب سایت شرکت سازنده آورده شده است^۳. سال ۲۰۱۳ اولین نسخه‌ی keil5 به صورت آزمایشی ارائه شد که تفاوت‌های اساسی در خود کامپایلر و ساختار برنامه با نسخه‌های keil4 داشت و امکان پشتیبانی از چندین Middle-ware آماده را برای کاربران محیا کرد.

¹ Toolkit

² [http://en.wikipedia.org/wiki/Keil_\(company\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Keil_(company))

³ <http://www.keil.com/arm/chips.asp>

🔧 **آزمایش ۱:** یک پروژه‌ی جدید در نرم افزار Keil بسازید و کد نوشته شده در فایل example.txt را کامپایل نمایید^۱ (برای این کار می‌توانید پیوست ۲ را مطالعه کنید).

میکروکنترلرهای STM32 را می‌توان به سه روش برنامه‌ریزی کرد: با استفاده از واسط JTAG، واسط SWD و از طریق bootloader میکروکنترلر (روش‌های دیگری هم وجود دارند که چندان متداول نیستند). JTAG یک پروتکل عمومی بر پروگرم کردن است که پروگرامرهای J-Link از این پروتکل استفاده می‌کنند. SWD نیز پروتکلی است که شرکت ST برای پروگرامر تولید خود به نام ST-link گسترش داده است. هر دو پروگرامر J-Link و ST-Link علاوه بر قابلیت برنامه‌ریزی میکروکنترلر، امکانات دیباگ برنامه را نیز در اختیار کاربر می‌گذارند.

بردهای آموزشی که در آزمایشگاه از آن‌ها استفاده خواهد شد، از نوع Discovery-F429 هستند که طراحی آن‌ها توسط خود شرکت ST صورت گرفته است تا کاربران این دسته میکروکنترلرها به سادگی بتوانند پروژه‌های خود را برای محصولات آزمایشی پیاده‌سازی و گسترش دهند. خوشبختانه پروگرامر ST-Link در درون این بردها قرار گرفته است و نه تنها با استفاده از آن می‌توان میکروکنترلر خود برد را برنامه‌ریزی کرد، می‌توان از آن برای برنامه‌ریزی بردهای دیگر نیز بهره برد.

📖 با مراجعه به راهنمای کاربری بُرد دیسکاوری، قسمت پروگرامر ST-Link را شناسایی کنید (لینک دانلود راهنمای کاربری در پیوست ۱ آورده شده است).




شکل ۴ - پروگرامرهای ST-Link. راست: پروگرامر اورجینال شرکت ST، چپ: یکی از انواع پروگرامرهای کپی شده

🔧 **آزمایش ۲:** برنامه‌ای که در محیط Keil نوشته و کامپایل کرده‌اید را به کمک ST-link روی میکروکنترلر روی بُرد برنامه‌ریزی کنید.


^۱ این فایل را در پرتال آزمایشگاه می‌توانید بیابید.

؟ سؤال ۱: پروگرامر استاندارد ST-Link چند پایه دارد و نام آن‌ها چیست؟ صرفاً برای پروگرام کردن میکروکنترلر (و نه دیباگ) حداقل به کدام پایه‌ها نیاز است؟

روش دیگر برنامه‌ریزی میکروکنترلرها، استفاده از بوت لودر است. بوت لودر در واقع برنامه‌ای است که در قسمت مشخصی از حافظه میکروکنترلر قرار گرفته و در هنگام اجرا اطلاعات برنامه شما ابتدا از طریق یکی از راه‌های ارتباطی مثل I2C، USART و ... به حافظه‌ی RAM میکروکنترلر منتقل کرده و سپس روی حافظه فلش کپی می‌کند. برای دریافت اطلاعات جزئی‌تر از این روش به اپلیکیشن نوت شماره‌ی AN2606 شرکت ST مراجعه کنید.

 **آزمایش ۳:** با استفاده از روش بوت لودر فایل example2.txt را روی از طریق USART میکروکنترلر برنامه‌ریزی کنید. برای این کار مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:

- از بخش ۳۳ فایل AN2606 الگوی وارد کردن میکروکنترلر در حالت بوت لودر را پیدا کنید.
- از جدول ۶۶ فایل AN2606 یکی از واحدهای سریال را انتخاب کرده و پایه‌های Rx و Tx آن را پیدا کنید.
- پایه‌های مورد نیاز (BOOT0، BOOT1، Rx و Tx) را از برگه اطلاعات میکرو بیابید.
- اتصالات پایه‌های BOOT را بر اساس الگویی که پیدا کرده‌اید به Vcc یا GND برد وصل کنید.
- پایه‌های USART میکروکنترلر را به مبدل متصل USB2serial نمایید (دقت کنید Rx میکرو به Tx مبدل وصل می‌شود و همین‌طور Tx میکرو به Rx مبدل).
- برد را با اتصال سیم USB روشن کنید.
- مطابق پیوست ۳ میکروکنترلر را برنامه‌ریزی نمایید.

 بخش‌های 6.3.4 و 6.3.5 از برگه اطلاعات برد دیسکآوری STM32F429 را مطالعه کنید و با نحوه به کارگیری ST-Link برای برنامه‌ریزی میکروکنترلر خارج از برد دیسکآوری آشنا شوید (لینک برگه اطلاعات را می‌توانید در پیوست ۱ بیابید).

 **آزمایش ۴:** با استفاده از پروگرامر ST-Link یک بُرد، برد دیگری را برنامه‌ریزی کنید.

توجه: دقت کنید وقتی هر دو بُرد را به رایانه متصل شود، دو پروگرامر ST-Link توسط رایانه شناخته خواهد شد و باید پروگرامر صحیح را در Keil انتخاب نمایید.


آزمایش ۲: بررسی پورت‌های ورودی - خروجی با کاربرد عمومی (GPIO)

هدف آزمایش: آشنایی با ورودی- خروجی‌ها با کاربرد عمومی، بررسی بخش انتخاب وظایف

 مدت زمان آزمایش: ۴ ساعت

بخش اول، آشنایی با GPIO

پورت‌ها وسیله ارتباط میکروکنترلر با دنیای بیرون هستند. در معماری ۳۲ بیتی میکروکنترلرهای ARM شرکت ST، پورت‌ها نیز ۳۲ بیت پهنا دارند. سطح ولتاژ خروجی پورت‌ها هنگام استفاده به عنوان ورودی- خروجی می‌تواند در دو سطح منطقی ۰ و ۱ قرار بگیرد.

 به راهنمای مرجع میکروکنترلر STM32F429 مراجعه کنید و با ویژگی‌ها و کاربردهای ورودی- خروجی با کاربرد عمومی (GPIO) آشنا شوید (فصل ۸).

بعد از ریست شدن میکروکنترلر، بلوک اتصال پایه‌ها، تمامی پایه‌های جانبی را به عنوان پورت‌های عمومی ورودی- خروجی در حالت ورودی پیکربندی می‌کند. پایه‌های عمومی ورودی- خروجی توسط چهار رجیستر کنترلی MODER، OTYPER، PUPDR و OSPEEDR تنظیم می‌شوند (جدول ۳۵ راهنمای مرجع را ببینید). همچنین سه رجیستر ODR، BSRR و IDR برای نوشتن یا خواندن پورت‌ها هستند. هر یک از پایه‌های^۱ عمومی ورودی- خروجی توسط یک یا دو بیت از هر کدام از این رجیسترها کنترل می‌شوند. رجیسترهای GPIO تنها قابلیت دسترسی به صورت ۳۲ بیتی را دارند و نمی‌توان تنها یک یا چند بیت از آن‌ها را تغییر داد. تمامی پورت‌ها بعد از لحظه‌ی ریست در حالت پیش‌فرض به صورت ورودی و شناور^۲ قرار می‌گیرند.

در میکروکنترلرهای خانواده‌ی ST برای کاهش جریان مصرفی هیچ کدام از امکانات جانبی از جمله پورت‌های خروجی-ورودی به صورت پیش‌فرض فعال نیستند و برای فعال کردن آن‌ها باید از رجیسترهای بخش RCC استفاده کرد. با این موضوع در آزمایش ۳ به طور کامل آشنا خواهیم شد ولی فعلاً برای کار با ورودی-خروجی‌های همه‌منظوره مقداردهی زیر را انجام دهید:

```
RCC->AHB1ENR = 0x3FF;
```

^۱ Pins

^۲ Float

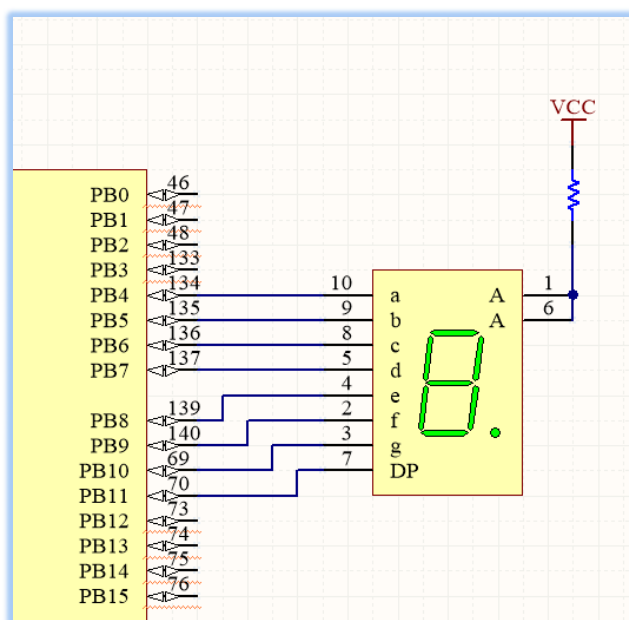
🖥️ **تحقیق ۱:** وظیفه هر یک از رجیسترهای پورت‌های عمومی ورودی-خروجی را بررسی و گزارش نمایید.

? **سؤال ۱:** میکروکنترلر STM32F429ZIT مجموعاً دارای چند پایه است؟ چند عدد از این پایه‌ها به ورودی-خروجی‌های همه منظوره تخصیص داده شده است و این پایه‌ها (پین‌ها) در چند پورت تقسیم‌بندی شده‌اند؟

? **سؤال ۲:** چرا امکان تنظیم فرکانس کاری برای پورت‌های خروجی در نظر گرفته شده است؟ (به بخش 6.3.7 دیتاشیت مراجعه کنید). مصرف

📖 به پیوست ۴ مراجعه کرده و با نحوه‌ی برنامه‌نویسی میکروکنترلرهای STM32F429ZIT در Keil آشنا شوید.

? **سؤال ۳:** با توجه به طرح شماتیک زیر، عملکرد قطعه کد نوشته شده در زیر برای GPIO میکروکنترلر را تحلیل کرده و گزارش نمایید.



شکل ۵ - نقشه شماتیک اتصالات سؤال ۳

```

1  #include "stm32f4xx.h"
2
3  int main(void)
4  {
5      unsigned char LED = 0x1;
6      int i;
7
8      RCC->AHB1ENR = 0x3FF;
9      GPIOB->MODER = 0x5555<<8;
10     GPIOB->ODR = 0xFF<<4;
11
12     while(1)
13     {
14         GPIOB->BSRR = LED<<20;
15         LED = LED<<1;
16         if (LED==0x40)
17         {
18             LED = 0x1;
19             GPIOB->ODR = 0xFF<<4;
20         }
21         for (i=0; i<0x50000; i++);
22     }
23 }

```

📖 با مراجعه برگه اطلاعات برد آموزشی، آن را مطالعه کرده و نحوه‌ی اتصال کلید فشاری user و دو LED LD3 و LD4 را به میکروکنترلر بررسی نمایید.

🔧 **آزمایش ۱:** ب.ب.ک. در صورت فشار دادن کلید فشاری LD3 و در صورت آزاد بودن آن LD4 روشن شود. با پیاده سازی برنامه‌ی خود بر روی برد آموزشی، صحت آن را بررسی نمایید. برای برنامه‌ریزی میکروکنترلر خود فایل هدر کتابخانه‌ی آن را به صورت زیر در ابتدای برنامه‌ی خود قرار دهید.

```
#include "stm32f10x.h"
```

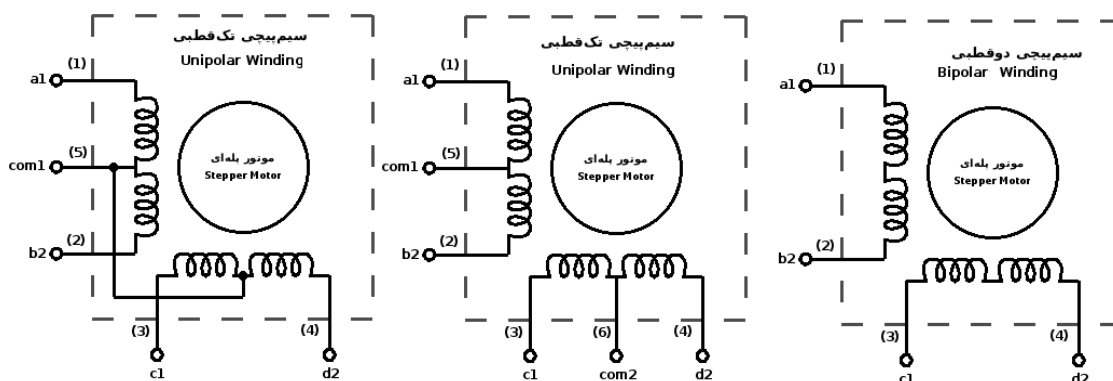
بخش دوم، راه‌اندازی موتور پله‌ای

ساده‌ترین نوع موتورها، موتور DC است که تنها با اتصال دو پایه‌ی آن به یک منبع ولتاژ شروع به چرخش می‌کند. مسئله مهم در استفاده از موتورهای DC دقت پایین در کنترل دقیق این موتورها است. فرض کنید بخواهیم شفت موتور در زاویه ۱۲۰ درجه قرار گیرد. انجام چنین امری با استفاده از موتورهای DC به سختی صورت انجام می‌شود. نوع دیگری از موتورها به نام موتورهای پله‌ای^۱ وجود دارند که کنترل‌پذیری بالایی دارند. بر خلاف موتورهای DC که تنها دو سیم از آنها خارج می‌شود، موتورهای پله‌ای دارای ۴ یا ۵ یا ۶ سیم هستند.

¹ Stepper motor

موتورهای پله‌ای کاربرد گسترده‌ای در صنعت دارند. از جمله‌ی این کاربردها می‌توان به استفاده از آن‌ها در دیسک درایورهای نوری، دستگاه فکس و پرینترها اشاره نمود.

موتورهای پله‌ای در در نوع تک قطبی و دو قطبی تولید می‌شوند. نوع تک قطبی آن‌ها ۵ یا ۶ سیم و نوع دو قطبی آن دارای ۴ سیم است. با اعمال ولتاژ در دو سر هر یک از سیم پیچ‌ها، شفت موتور که معمولاً یک آهنربای دائمی است در راستای میدان ایجاد شده توسط سیم پیچ مذکور قرار می‌گیرد. در صورتی که سیم پیچ‌ها به صورت منظم و با یک توالی صحیح فعال و غیرفعال شوند، شفت موتور را می‌توان در جهت مشخصی چرخاند. در صورت که توالی فعال و غیر فعال کردن سیم پیچ‌ها را برعکس شود آنگاه شفت موتور در خلاف جهت قبل خواهد چرخید. توجه شود در صورتی که توالی پالس‌ها به صورت صحیح وارد نشود، موتور در هیچ جهتی نمی‌چرخد و تنها خواهد لرزید.



شکل ۶ - انواع موتور پله‌ای


؟ سؤال ۴: فرض کنید از شما خواسته شود که یک موتور پله‌ای را قفل کنید به طوری که نچرخد. چه روشی پیشنهاد می‌کنید.

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های یک موتور پله‌ای زاویه گام^۱ موتور است. زاویه گام، کوچکترین زاویه‌ی چرخشی است که با فعال کردن یکی از سیم پیچ‌ها و غیر فعال کردن دیگری (طبق توالی صحیح پالس موتور پله‌ای) حاصل می‌شود و معمولاً برحسب درجه بیان می‌شود. با افزایش تعداد سیم پیچ‌ها می‌توان موتورهایی با زاویه گام‌های کوچک‌تر ساخت. در حال حاضر موتورهایی با زاویه‌های گام 0.72° ، $1/8^\circ$ ، $3/6^\circ$ ، $7/5^\circ$ و ... متداول است.

تحقیق ۲: در رابطه با راه‌اندازی موتورهای پله‌ای به صورت میکرواستپینگ یا ریزگام تحقیق و گزارش نمایید.

¹ step

به طور معمول سیم‌های خارج شده از موتورپله‌ای چند رنگ متمایز از یکدیگر دارند. استانداردهایی برای رنگ‌های این سیم‌ها داده شده است تا با استفاده از رنگ سیم‌ها بتوان نحوه‌ی اتصال آن را به سیم‌پیچ‌های درون موتور تشخیص داد. اما لزوماً این استانداردهای مربوط به رنگ سیم‌ها رعایت نمی‌شود. ساده‌ترین راه جهت تعیین سیم مربوط به هریک از سیم‌پیچ‌ها استفاده از اهم‌متر است. با توجه به آنچه که در شکل فوق آورده شده است می‌توان با توجه به مقادیر مقاومت‌ها بین پایانه‌های خروجی سیم‌های مرتبط با یک سیم پیچ را تشخیص داد.

 **آزمایش ۲:** پس از تعیین توالی صحیح فعال/غیرفعال کردن سیم‌پیچ‌ها، برنامه‌ای بنویسید که با ایجاد توالی پالس‌های مناسب یک موتور پله‌ای را بچرخاند. با پیاده‌سازی برنامه‌ی خود بر روی سخت‌افزار آزمایشگاه، صحت آن را بررسی کنید.

توجه ۱: توجه به این نکته ضروری است که اتصال مستقیم میکروکنترلر به موتورپله‌ای موجب آسیب دیدن میکروکنترلر به دلیل جریان کشی موتور می‌شود. از این رو، از درایورهایی که توانایی جریان‌دهی با توجه به مشخصه‌ی موتور را دارند، استفاده می‌شود. معروف‌ترین درایورهای مورد استفاده برای موتورهای پله‌ای ULN2003، L298 و L293 هستند.

توجه ۲: همواره پیش از شروع به کار به مشخصات موتور خود از جمله ولتاژ و جریان نامی آن دقت نمایید.

تمام پایه‌های ورودی-خروجی میکروکنترلر STM32F429 در حالت پیش‌فرض به صورت ورودی-خروجی همه‌منظوره تعریف شده‌اند ولی برای استفاده از دیگر امکانات میکروکنترلر وظایف دیگری نیز به هر پایه محول شده است (Alternative Functions). در STM32F429ZIT تا ۱۰ عملکرد مختلف ممکن است برای یک پایه تعریف شده باشد. برای کارکرد درست این عملکردها، پیکربندی پین‌های خروجی باید مطابق با عملکرد آن‌ها باشد. جدول 12 دیتاشیپ میکروکنترلر وظایف ممکن برای هر پایه را لیست کرده است. علاوه بر این، یک عملکرد می‌تواند بر روی چند پایه تعریف شود. این کار موجب می‌شود تا در پکیج‌های کوچک‌تر که دارای ۶۴ و ۱۰۰ پین هستند، مدیریت عملکردها ساده‌تر باشد.