

فهرست مطالب

فصل ۱

اطلاعات مقدماتی مربوط به LPC1768	۱۶
۱-۱ معرفی	۱۷
۲-۱ خصوصیات	۱۸
۳-۱ کاربردها	۲۲
۴-۱ بلوک دیاگرام LPC1768	۲۳
۵-۱ معماری	۲۴
۶-۱ پردازنده ARM Cortex-m3	۲۵
۸-۱ حافظه RAM استاتیک	۲۶

فصل ۲

واسط استاندارد نرم افزار میکروکنترلرهای مبتنی بر Cortex (CMSIS)	۲۸
۱-۲ معرفی	۲۹
۲-۲ ساختار CMSIS	۳۰
۳-۲ ساختار فایل	۳۲
۴-۲ عدم وابستگی به کامپایلر خاص	۳۴
۵-۲ قواعد کد نویسی	۳۵
۶-۲ انواع داده	۳۵
۷-۲ توابع CPAL	۳۶
۸-۲ سرویسهای رسیدگی به وقفه	۳۶
۹-۲ توصیه های کاربردی	۳۷
LPC1700 CMSIS Library ۱۰-۲	۳۹

فصل ۳

آموزش نرم افزار Keil 4 (Keil) μVision®	۴۳
--	----

۴۴	۱-۳ معرفی نرم افزار μ Vision®4
۴۵	۲-۳ معماری میکروکنترلرهای پشتیبانی شده
۴۷	۳-۳ ابزار پشتیبانی از برنامه نویسی برای Cortex-Mx
۴۷	۴-۳ دسترسی به صورت اشاره گر
۴۸	۵-۳ ساختن کدهای بهینه
۴۹	۶-۳ ابزار توسعه
۴۹	μ Vision IDE ۳-۳
۵۱	۸-۳ آموزش استفاده از μ Vision
۷۶	۹-۳ روش نصب نرم افزار mdk460

فصل ۴

۷۸	نقشه حافظه و آدرس دهی امکانات جانبی
۸۰	۱-۴ نقشه های حافظه
۸۱	۲-۴ آدرس امکانات جانبی APB
۸۳	۳-۴ بازنگاشت حافظه
۸۳	۴-۴ بازنگاشت Boot ROM
۸۳	۵-۴ حکمیت به دست گرفتن AHB
۸۳	۶-۴ استثنای خطای باس

فصل ۵

۸۵	سیستم کنترل
۸۶	۱-۵ معرفی سیستم کنترل LPC1768
۸۶	۲-۵ پین های مربوط
۸۶	۳-۵ ریست
۹۰	۴-۵ تشخیص کاهش سطح ولتاژ (Brown-out detection)
۹۱	۵-۵ ورودی وقفه های خارجی
۹۱	۶-۵ توضیحات مربوط به رجیسترها
۹۵	۷-۵ ساختارها و توابع مربوط به وقفه های خارجی
۹۷	۸-۵ رجیستر کنترل ها و وضعیت های سیستم (SCS)

۹-۵ مثال وقفه خارجی ۹۹

فصل ۶

ساخت و توزیع کلاک ۱۰۶

۱-۶ ساخت کلاک برای بخش‌های مختلف ۱۰۷

۲-۶ عملکرد حلقه قفل فاز صفر (PLL0) ۱۱۱

۳-۶ عملکرد حلقه قفل فاز یک (PLL1) ۱۲۶

۴-۶ مقسم‌های کلاک ۱۳۳

۵-۶ کلاک و واسط CMSIS ۱۳۷

فصل ۷

کنترل توان ۱۴۳

۱-۷ معرفی کنترل توان ۱۴۴

۲-۷ حالت خواب ۱۴۴

۳-۷ حالت خواب عمیق ۱۴۵

۴-۷ حالت توان پایین ۱۴۶

۵-۷ حالت توان بسیار پایین ۱۴۶

۶-۷ کنترل توان امکانات جانبی ۱۴۷

۷-۷ توضیح رجیسترهای مربوط ۱۴۷

۸-۷ نکات استفاده از کنترل توان ۱۵۲

۹-۷ حوزه‌های توان ۱۵۲

۱۰-۷ تایمر بیدارباش ۱۵۲

۱۱-۷ پین خروجی کلاک ۱۵۳

۱۲-۷ توان و واسط CMSIS ۱۵۵

۱۳-۷ مثال : حالت خواب و بیدار شدن به وسیله وقفه خارجی صفر ۱۵۸

فصل ۸

واحد شتاب‌دهنده حافظه فلش (Flash accelerator) ۱۶۴

- ۱-۸ معرفی واحد LPC1768 Flash accelerator (شتاب‌دهنده حافظه فلش)..... ۱۶۵
- ۲-۸ بلوک‌های واحد شتاب‌دهنده حافظه فلش..... ۱۶۵
- ۳-۸ مباحث پروگرام کردن فلش..... ۱۶۶
- ۴-۸ توضیحات رجیسترها..... ۱۶۶
- ۵-۸ عملکرد..... ۱۶۸
- ۶-۸ شتاب‌دهنده حافظه و CMSIS..... ۱۷۰

فصل ۹

- کنترل کننده وقفه تودرتوی برداری (NVIC)..... ۱۷۱
- ۱-۹ خصوصیات..... ۱۷۲
- ۲-۹ منابع وقفه..... ۱۷۲
- ۳-۹ باز نگاشت جدول بردارها..... ۱۷۵
- ۴-۹ رجیسترهای مربوط..... ۱۷۶
- ۵-۹ گروه‌بندی اولویت وقفه..... ۱۹۱
- ۶-۹ توابع مربوط به واحد NVIC..... ۱۹۳
- ۷-۹ مثال..... ۱۹۵

فصل ۱۰

- پیکربندی پین‌ها..... ۲۰۱
- ۱-۱۰ پیکربندی پین‌های میکروکنترلر LPC1768..... ۲۰۲
- ۲-۱۰ توصیف پین‌های LPC1768..... ۲۰۲

فصل ۱۱

- بلوک اتصال پین..... ۲۱۴
- ۱-۱۱ توضیحات..... ۲۱۵
- ۲-۱۱ رجیسترهای انتخاب عملکرد پین..... ۲۱۵
- ۳-۱۱ اتصالات چندگانه..... ۲۱۶
- ۴-۱۱ رجیسترهای انتخاب حالت پین..... ۲۱۶

۱۱-۵ استفاده از کتابخانه LPC17xx_pinsel.h ۲۳۱

فصل ۱۲

ورودی/خروجیهای دیجیتال همه منظوره (GPIO) ۲۳۳

۱-۱۲ پیکربندی اصلی ۲۳۴

۲-۱۲ خصوصیات ۲۳۴

۳-۱۲ کاربردها ۲۳۵

۴-۱۲ توضیحات پینهای GPIO ۲۳۵

۵-۱۲ رجیسترها ۲۳۶

۶-۱۲ توابع مربوط به ورودی خروجیهای دیجیتال همه منظوره ۲۴۸

۷-۱۲ کار به صورت مستقیم بر روی رجیسترها ۲۵۴

۸-۱۲ مثالهای GPIO ۲۵۵

فصل ۱۳

UART 0/2/3 ۲۶۳

۱-۱۳ پیکربندی اولیه ۲۶۴

۲-۱۳ خصوصیات ۲۶۴

۳-۱۳ پینها ۲۶۵

۴-۱۳ رجیسترها ۲۶۵

۵-۱۳ حالت‌های مختلف اندازه‌گیری خودکار نرخ انتقال ۲۷۹

۶-۱۳ محاسبه نرخ انتقال ۲۸۴

۷-۱۳ معماری ۲۸۸

۸-۱۳ ساختارها و توابع مربوط به UART ۲۸۹

۹-۱۳ مثالهای UART ۲۹۵

۱۰-۱۳ کتابخانه debug_frmwrk.h ۳۱۷

۱۱-۱۳ مدارهای پیشنهادی برای کار با واحد UART ۳۲۱

فصل ۱۴

۳۲۳	UART1
۳۲۴	۱-۱۴ پیکربندی اولیه
۳۲۴	۲-۱۴ مشخصات UART1
۳۲۵	۳-۱۴ توصیفات پین‌ها
۳۲۶	۴-۱۴ رجیسترها
۳۴۵	۵-۱۴ اندازه‌گیری خودکار نرخ انتقال
۳۴۶	۶-۱۴ حالت‌های مختلف اندازه‌گیری خودکار نرخ انتقال
۳۵۲	۷-۱۴ توضیحات مربوط به حالت RS485
۳۵۶	۸-۱۴ معماری UART1
۳۵۸	۹-۱۴ توابع و ساختارهای اختصاصی مربوط به UART1

فصل ۱۵

۳۶۲	تایمر سیستمی (System Tick Timer)
۳۶۳	۱-۱۵ پیکربندی اولیه
۳۶۳	۲-۱۵ خصوصیات
۳۶۳	۳-۱۵ توضیحات
۳۶۳	۴-۱۵ عملکرد
۳۶۴	۵-۱۵ رجیسترها
۳۶۸	۶-۱۵ توابع و ساختارهای مربوط به تایمر سیستمی
۳۶۹	۷-۱۵ مثال تایمر سیستمی

فصل ۱۶

۳۷۲	تایمر وقفه تکرارشونده (Repetitive Interrupt Timer)
۳۷۳	۱-۱۶ خصوصیات
۳۷۳	۲-۱۶ توضیحات
۳۷۳	۳-۱۶ رجیسترها
۳۷۵	۴-۱۶ عملیات تایمر وقفه تکرارشونده
۳۷۶	۵-۱۶ بلوک دیاگرام تایمر وقفه تکرارشونده
۳۷۶	۶-۱۶ توابع و ساختارهای مربوط به تایمر وقفه تکرارشونده

۱۶-۷ مثال تایمر تکرارشونده..... ۳۷۸

فصل ۱۷

تایمرهای ۳/۲/۱۰..... ۳۸۲

۱۷-۱ تنظیمات اولیه..... ۳۸۳

۱۷-۲ خصوصیات..... ۳۸۳

۱۷-۳ کاربردها..... ۳۸۴

۱۷-۴ توضیحات..... ۳۸۴

۱۷-۵ توصیف پین‌ها..... ۳۸۴

۱۷-۶ رجیسترها..... ۳۸۵

۱۷-۷ عملکرد دسترسی مستقیم به حافظه (DMA)..... ۳۹۴

۱۷-۸ مثال‌هایی از عملکرد تایمر..... ۳۹۴

۱۷-۹ معماری..... ۳۹۵

۱۷-۱۰ توابع و ساختارهای مربوط به تایمر..... ۳۹۶

۱۷-۱۱ مثال‌های تایمر..... ۴۰۳

فصل ۱۸

مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC)..... ۴۱۳

۱۸-۱ پیکربندی اساسی..... ۴۱۴

۱۸-۲ مشخصات..... ۴۱۴

۱۸-۳ توضیحات..... ۴۱۵

۱۸-۴ پین‌ها..... ۴۱۵

۱۸-۵ رجیسترها..... ۴۱۶

۱۸-۶ عملیات..... ۴۲۵

۱۸-۷ لیست توابع و ثوابت مربوط به مبدل آنالوگ به دیجیتال..... ۴۲۶

۱۸-۸ مثال‌های ADC..... ۴۲۹

فصل ۱۹

۴۴۱	واحد I2C
۴۴۲	۱-۱۹ پیکربندی اولیه
۴۴۲	۲-۱۹ خصوصیات
۴۴۳	۳-۱۹ کاربردها
۴۴۳	۴-۱۹ توضیحات
۴۴۴	۵-۱۹ پین‌ها
۴۴۵	۶-۱۹ حالت‌های عملیاتی I2C
۴۵۰	۷-۱۹ پیاده‌سازی و نحوه عملکرد I2C
۴۵۵	۸-۱۹ رجیسترها
۴۶۵	۹-۱۹ جزییات حالت‌های مختلف عملکرد I2C
۴۹۶	۱۰-۱۹ توابع و ساختارهای مربوط به I2C
۵۰۱	۱۱-۱۹ مثال I2C

فصل ۲۰

۵۱۲	SPI
۵۱۳	۱-۲۰ پیکربندی اولیه
۵۱۳	۲-۲۰ خصوصیات
۵۱۳	۳-۲۰ مروری بر SPI
۵۱۴	۴-۲۰ توضیحات مربوط به پین‌ها
۵۱۵	۵-۲۰ انتقال داده SPI
۵۱۶	۶-۲۰ جزییات امکان جانبی
۵۲۰	۷-۲۰ رجیسترها
۵۲۷	۸-۲۰ معماری
۵۲۷	۹-۲۰ توابع و ساختارهای مربوط به SPI
۵۳۱	۱۰-۲۰ مثال‌های SPI

فصل ۲۱

۵۷۳	واحد SSP
۵۷۴	۱-۲۱ پیکربندی اولیه

۵۷۴.....	۲۱-۲ خصوصیات.....
۵۷۵.....	۲۱-۳ توصیفات.....
۵۷۵.....	۲۱-۴ توصیف پین‌ها.....
۵۷۷.....	۲۱-۵ توصیفات باس.....
۵۸۶.....	۲۱-۶ رجیسترها.....
۵۹۶.....	۲۱-۷ ساختارها و توابع مربوط به SSP.....
۶۰۰.....	۲۱-۸ مثال SSP.....

فصل ۲۲

۶۱۰.....	واحد RTC و رجیسترهای پشتیبان.....
۶۱۱.....	۲۲-۱ پیکربندی اولیه.....
۶۱۱.....	۲۲-۲ خصوصیات.....
۶۱۱.....	۲۲-۳ توضیحات.....
۶۱۳.....	۲۲-۴ پین‌ها.....
۶۱۳.....	۲۲-۵ مدار پیشنهادی.....
۶۱۳.....	۲۲-۶ توضیحات رجیسترها.....
۶۲۶.....	۲۲-۷ نکات استفاده از RTC.....
۶۲۶.....	۲۲-۸ ساختارها و توابع مربوط به بلوک RTC.....
۶۳۱.....	۲۲-۹ مثال‌های RTC.....

فصل ۲۳

۶۴۱.....	تایمر واچ داگ.....
۶۴۲.....	۲۳-۱ خصوصیات.....
۶۴۲.....	۲۳-۲ کاربرد.....
۶۴۲.....	۲۳-۳ توضیحات.....
۶۴۴.....	۲۳-۴ بلوک دیاگرام واچ داگ.....
۶۴۴.....	۲۳-۵ رجیسترها.....
۶۴۹.....	۲۳-۶ توابع مورد استفاده برای تایمر واچ داگ.....
۶۵۰.....	۲۳-۷ مثال.....

فصل ۲۴

۶۵۹	مدولاسیون عرض پالس (PWM).....
۶۶۰	۱-۲۴ پیکربندی اولیه.....
۶۶۰	۲-۲۴ خصوصیات.....
۶۶۱	۳-۲۴ توضیحات.....
۶۶۶	۴-۲۴ توصیفات پین‌ها.....
۶۶۷	۵-۲۴ توضیحات رجیسترها.....
۶۸۰	۶-۲۴ توابع و ساختارهای مربوط به واحد PWM.....
۶۸۴	۷-۲۴ مثال‌های PWM.....

فصل ۲۵

۶۹۴	واحد همه منظوره دسترسی مستقیم به حافظه (GPDMA).....
۶۹۵	۱-۲۵ پیکربندی اولیه.....
۶۹۵	۲-۲۵ معرفی.....
۶۹۵	۳-۲۵ خصوصیات.....
۶۹۶	۴-۲۵ توصیف عملکرد.....
۷۰۵	۵-۲۵ توضیح رجیسترها.....
۷۲۴	۶-۲۵ استفاده از کنترلر DMA.....
۷۳۳	۷-۲۵ ساختارها و توابع مربوط به GPDMA.....
۷۳۸	۸-۲۵ مثال‌ها.....

فصل ۲۶

۷۶۲	واحد مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC).....
۷۶۳	۱-۲۶ پیکربندی اولیه.....
۷۶۳	۲-۲۶ خصوصیات.....
۷۶۳	۳-۲۶ توصیفات پین‌ها.....
۷۶۷	۴-۲۶ عملیات.....
۷۶۸	۵-۲۶ ثوابت و توابع و مثال مربوط به واحد مبدل دیجیتال به آنالوگ.....

مقدمه:

سال‌هاست مهندسان ایرانی با میکروکنترلرها آشنا هستند. خانواده‌های قدیمی‌تر میکروکنترلر از قبیل AVR و PIC هم اکنون به طور کامل توسط طراحان الکترونیک و برنامه نویسان کشورمان شناسایی شده‌اند و از آن‌ها در طراحی سیستم‌های مختلف استفاده می‌شود. شاید خواننده گرامی این متن نیز یکی از استفاده کنندگان چنین میکروکنترلرهایی باشد. اما در کاربردهای پیشرفته امروزی، استفاده از چنین میکروکنترلرهایی طراحان را با محدودیت‌ها و سختی‌های فراوان مواجه می‌کند.

مدت‌هاست که پردازنده‌های سریع‌تر با قابلیت و کارایی بالا در جهان الکترونیک جای خود را باز کرده‌اند، در حالی که جای خالی استفاده از این ابزارهای بسیار قدرتمند، در صنعت کشورمان بسیار محسوس است. مشهورترین خانواده از میکروکنترلرهای قدرتمند امروزی، میکروکنترلرهایی بر مبنای معماری ARM هستند. معماری ARM توسط شرکت‌های معتبر تولید کننده میکروکنترلر، برای طراحی محصولات با کارایی بسیار بالا مورد استفاده قرار گرفته است. کتابی که پیش روی شماست تلاش می‌کند، خوانندگان خود را برای کار با میکروکنترلرهای خانواده LPC176X که یکی از رایج‌ترین این میکروکنترلرهاست، آماده کند.

معماری ARM شامل چندین نوع هسته است. از معروف‌ترین این هسته‌ها می‌توان به ARM7TDMI, Cortex-M3, Cortex-M4, ARM8, ARM9TDMI, Cortex-R, Cortex-A و اشاره کرد. LPC176X توسط شرکت NXP، با استفاده از هسته Cortex-M3 ساخته شده است. از مزایای این میکروکنترلر می‌توان به سرعت پردازش بالا (حداکثر 100Mhz)، پردازش ۳۲ بیتی، معماری سطح بالا، امکانات جانبی گسترده و قیمت مناسب اشاره کرد. فصل اول کتاب به معرفی خصوصیات و قابلیت‌های میکروکنترلر، اختصاص یافته است و سپس ملزومات نرم افزاری کار با میکروکنترلر در دو فصل آموزش داده می‌شود. کتاب بر مبنای استفاده از میکروکنترلر LPC1768، نرم افزار قدرتمند KEIL و واسط نرم‌افزاری میکروکنترلرهای مبتنی بر Cortex، که به اختصار CMSIS نامیده می‌شود، بنا نهاده شده است. واسط CMSIS توسط شرکت ARM و با همکاری تولید کنندگان میکروکنترلر به منظور سادگی هرچه بیشتر تهیه نرم افزار برای میکروکنترلرهای با هسته Cortex فراهم آمده است. استفاده از این واسط، خوانندگانی که سابقه زیادی در برنامه نویسی میکروکنترلرها را ندارند، قادر می‌سازد به سرعت کار با LPC1768 را بیاموزند. اما مزیت اصلی این واسط فراهم آوردن قابلیت استفاده چند باره است. با توجه به استاندارد بودن CMSIS، برنامه‌هایی که برای LPC1768 نوشته می‌شوند، می‌توانند با کمترین تغییر برای سایر اعضای خانواده LPC17xx و حتی محصولات سایر شرکت‌هایی که از هسته Cortex-M3 برای میکروکنترلرهای خود استفاده کرده‌اند، مورد استفاده مجدد قرار گیرند.

در فصل‌های ۳ تا ۱۱ کتاب، بخش‌های داخلی میکروکنترلر اعم از حافظه‌ها، کلاک دهی، سیستم‌های کنترلی، واحد کنترل کننده وقفه و توان رسانی ... معرفی می‌شوند. خوانندگان کتاب برای کار با LPC1768 باید این فصل‌ها را به عنوان پیش نیاز، مطالعه نمایند.

بقیه فصل‌های کتاب، به امکانات جانبی میکروکنترلر اختصاص یافته است. ساختار هر یک از این فصل‌ها به این ترتیب است که: امکان جانبی مورد نظر به طور مفصل شرح داده شده است، توابع CMSIS موجود برای کارکرد با آن بیان شده است و در نهایت مثال‌های بسیار کاربردی در اختیار خواننده قرار گرفته است. خواننده می‌تواند با توجه به نیازهای پروژه خود فصل مورد نظر را مطالعه نماید یا به هدف آموزش، کلیه فصل‌ها را بخواند. مطالعه کتاب برای کسانی که می‌خواهند کار با میکروکنترلرها را آغاز کنند، از میکروکنترلرهای قدیمی به انواع جدیدتر مهاجرت کنند و کسانی که از سایر میکروکنترلرها با هسته ARM استفاده می‌کنند و قصد دارند از امکانات فوق العاده Cortex-m3 نیز بی‌بهره نمانند توصیه می‌شود. در پایان لازم است از همه کسانی که امکان نوشتن این کتاب را فراهم کردند به خصوص استاد گرامی جناب آقای مهندس خوشنما که راهنمایی‌های ایشان در تمام مسیر تهیه کتاب، چراغ راه من بود و همسر عزیزم که همواره در کنارم بوده است قدردانی نمایم. ضمن تشکر از خوانندگان محترم، خواهش می‌کنم ارتباط خود با اینجانب را برای ارسال انتقادات و پیشنهادات و دریافت پشتیبانی، از طریق آدرس پستی sajadi.sahand@gmail.com حفظ نمایند.