

# 2015

## MSP430FR4x/FR2x MCU 培训手册

**Low-cost LCD  
development with  
maximum flexibility**

**NEW | MSP430FR4133  
MCU LaunchPad Kit**

features an on-chip  
256-segment LCD  
driver and abundant I/O

▶ **Get started for under \$15**



 **TEXAS INSTRUMENTS**

Jin, Erya

TI

1/1/2015

## 目录

第一章 MSP430FR4x/FR2x MCU 概要.....	1
第二章 时钟和内核模块.....	12
第三章 关键外设.....	22
第四章 资源和工具.....	42

# 第一章 MSP430FR4x/FR2x MCU 概要

本章概要地介绍了 TI MSP430 家族最新的 FRAM 系列微控制器平台及其特色和优势。

## 用户最关心的问题 ... 解决!

### 应用能耗

#### ULP 超低功耗架构

片内集成了液晶显示驱动、最低功耗的MCU，因此延长了电池的寿命

- 超低的有功功率
- 对比度恒定的LCD模块在待机模式下的功耗低于1uA

### 调试

#### EnergyTrace™ 技术

使用 MSP430FR4133 LaunchPad 或 MSP-FET 编程器/调试器时，将免费提供独一无二的功耗测量技术

- 开发者能够很轻易地做出关于代码执行的明智决策，并且基于功率分布图进行代码优化

### 复杂性

#### 内置 LCD 和 IR 模块

片上LCD控制器和IR调制模块易于硬件的规划和软件的设计

- 可以通过软件配置引脚，简化了LCD的布板，IR调制模块也降低了软件设计的需求

### 未来发展

#### 可伸缩平台

最新的TI MSP430平台提供内置4 – 128KB的FRAM超低功耗MCU

- 100多款MSP430FRxx FRAM MCU投入生产
- MSP430FR4x MCUs 样品; 在11月底前可完全提供



这本培训手册会为大家介绍一款非常棒的基于 FRAM MCU 平台的全新 TI 产品系列：MSP432FR2x/4x 系列。该系列内置了更小尺寸的存储器和更多新功能外设，使 MSP430 微控制器平台的超低功耗系列产品阵营日益壮大。

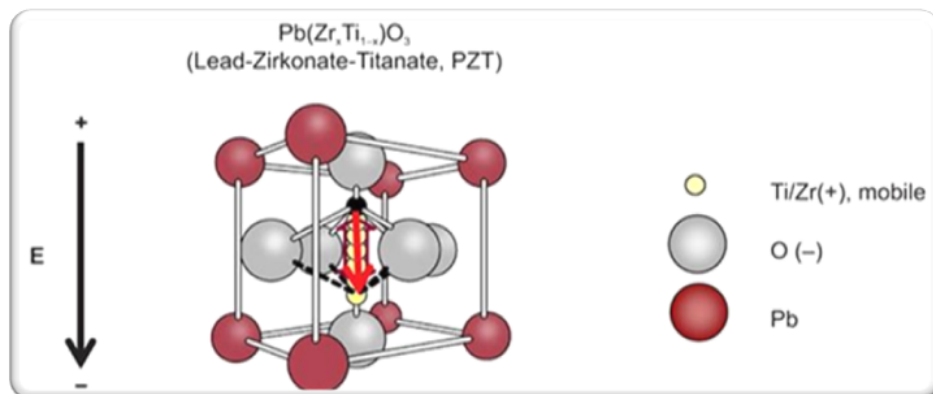
全新的 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 系列有助于解决以下问题：

- 在能耗方面，MSP430 微控制器系列将继续引领行业发展。MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 微控制器可提供超低的有效功耗。这些 MCU 支持带有 RTC 功能的待机模式（电流仅为 770nA），并且 MSP430FR4x 系列可在增加 LCD 控制器功能的同时，使消耗电流仍保持在 1uA 以下。

- 就开发调试而言，这些全新的产品系列均采用 TI 最新的 EnergyTrace 技术，当然，其他所有 MSP430 MCU 也都采用该技术。这是一种对功耗性能进行评测的技术，可以让开发人员实时地调试系统的电流消耗。
- 新增的 LCD 控制器模块和红外调制模块不但降低了系统的复杂性，还简化了开发设计。LCD 模块支持通过软件配置引脚，因此一个设计可用于多个不同的 LCD 屏，并且 PCB 上的 LCD 布局也变得更加简单。红外调制模块可以减少遥控等应用中的软件开销。而更重要的是，FRAM 自身是最易于使用和最灵活的非易失性存储器技术之一，极大的降低了开发难度。
- 最后，新成员的增加确实证明了 TI 的 MSP430 系列是一个完整的产品平台。该平台将支持在整个产品系列范围内，根据应用的需求选择合适的器件。目前正在发布的有 3 种不同封装选项 4-16kB 的新型 MCU，以及共计 100 多款基于 FRAM 的器件，用户可以自如的进行选择。

## 什么是FRAM: 铁电存储器

- 非易失性随机存取存储器(按位读写)
- 与 DRAM 的结构相似(1T-1C), 但存储数据方式不同
  - 通过铁电材料的极化特性来存储数据
  - 当电场被使能时, 偶极子的晶体结构会改变



4

TEXAS INSTRUMENTS

那么, 在进一步了解产品系列之前, 我们先深入地探讨一下 FRAM 技术。FRAM 是一种非易失性的随机存取存储器。所以它可以按位来进行读写存取。另外, 它使用铁电材料, 由电场控制进行极化来存储数据。这种方式无需存储电荷, 因此与传统的 Flash 器件相比, 它具有多项优势。

## FRAM的优势: 概览



### 更快的写入速度

写入速度比闪存器件快100倍  
延伸了产品的寿命，完美替代EEPROM



### 更低的功耗

相比闪存，写入功耗小了250倍，延长了电池的寿命  
由于内存更新时间变短，使得无线系统的功耗得到最小化



### 统一的存储区

赋予了内存分区无与伦比的灵活性，方便使用  
可用的代码移植指南，代码示例和应用手册

5



那么，有哪些优势呢？

- 首先，可以轻松地写入更多内容。FRAM 的写入速度比 Flash 器件快很多，同时改写内容时无需预先进行擦除操作，而 FRAM 本身的改写次数又接近无限，这就意味着我们可以在应用中更加频繁地写入数据。这样，一方面提高了采集数据的准确性，另一方面也可以提高数据采集的寿命。
- 其次，FRAM 能够降低功耗。由于数据存取无需电荷泵，因此 FRAM 能够在写入时降低平均功耗和峰值功耗。实际上，它的每位写功耗要比 Flash 器件小 250 倍。而考虑到无需擦除操作，FRAM 能节省的功耗更加可观。
- 最后，FRAM 可以作为一种统一的存储器。由于 FRAM 可以进行“位”操作，而改写又无需预先进行擦除，因此这种存储器既可用于存储数据又可用于存储代码。如果担心代码移植的问题，您可以参考移植指南、代码示例或者应用手册以便轻松入门。

## FRAM的优势 – 更多



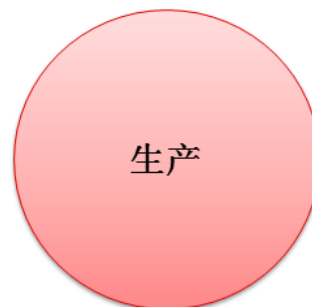
### 可靠性

- 数据的可靠性，准确性
- 85° C下数据可保留10年
- FRAM可抵抗电磁场、辐射和温度影响



### 安全性

- 对普通的物理冲击免疫
- 在速度和耐久性上提供算法的优势



### 生产

- 减少了设计时间
- 只需要很短的时间即可完成空中升级

6



上一章节，我们已经清楚地了解了 FRAM 存储器的核心优势。但实际上还有许多其他的益处。FRAM 目前已作为独立存储器应用多年。它可在 85° C 的条件下保存数据达十多年，同时 FRAM 材料不会受磁场和辐射的影响，这意味着您可以更放心地使用它进行开发。在我们产品的页面上有 FRAM 的质量和可靠性指南，您可用于了解具体细节。

FRAM 的另一个优势体现在安全性方面。FRAM 具有安全性更高的固有特性，这得益于它自身的构造和无延迟的特性。

- 使用 FRAM 的密钥生成能更新更快
- 进行固件升级的过程更短
- 由于产品支持无线更新，固件的更新无需物理接口
- 能够抵抗阿尔法辐射和 SER 效应

## All-in-one: FRAM MCU delivers max benefits

Specifications	FRAM	SRAM	EEPROM	Flash
Non-volatile Retains data w/o power	Yes	No	Yes	Yes
Write speed (13 KB)	10ms	<10ms	2secs	1 sec
Average active Power [ $\mu$ A/MHz] 16bit word access by the CPU	100	<60	50,000+	230
Write endurance	$10^{15}$	Unlimited	100,000	10,000
Soft Errors	No	Yes	Yes	Yes
Bit-wise programmable	Yes	Yes	No	No
Unified memory Flexible code and data partitioning	Yes	No	No	No

\* Based on devices from Texas Instruments

7



这个图表总结了 FRAM 相比其他存储器在技术的优势。如图所示，无论在读写速度，存储周期和抗干扰方面，FRAM 都全面胜出。

FRAM 是非易失性存储器，因此您可以在未加电的情况下保留数据，而且写入速度快，能耗低，写入数据多。最突出的一点是，它能消灭软错误，且能够利用“位”操作提供无可比拟的灵活性及灵活的信息存储。



## TI ULP超低功耗 MSP430™ FRAM 系列产品

FRAM Memory

### 板上组合

- 超过100个器件
- 4 – 128 KB FRAM
- 超过10个程序包
- 集成了智能模拟外设

#### MSP430FR6x

- Up to 128 KB FRAM
- ADC12
- 256-bit AES accelerator
- Scan interface
- Integrated LCD
- 64-100 pins

#### MSP430FR5x

- Up to 64 KB FRAM
- ADC12
- 256-bit AES accelerator
- 40-48 pins

#### MSP430FR2x

- Up to 16 KB FRAM
- ADC10
- Up to 60 I/O
- 48-64 pins

#### MSP430FR4x

- Up to 16 KB FRAM
- Integrated LCD
- ADC10
- Up to 60 I/O
- 48-64 pins



Integration

8

详细了解完 FRAM 存储器技术，让我们来看一下基于这项技术的 MSP430 产品系列。在上图中，您可以看到这些新型的 MSP430FR4x/2x 系列包含 4-16KB 非易失性 FRAM，采用较小的存储器封装。最为突出的一点是，它们采用 10 位 ADC 用于读取模拟传感器，并且采用无可比拟的输入/输出引脚密度以适应存储器的大小，可支持高达 60 个电容式触控按钮。这些器件还具备一些独特的功能，如红外调制模块，MSP430FR4x 系列添加了 256 段 LCD 控制器。

## MSP: 超低功耗控制器行业的领导者

- 待机功耗: 大多数电池供电的应用超过80%的时间工作在待机模式中, 以低占空比间歇性地唤醒控制器。



- 模拟外设功耗: MCU内置复杂外设如LCD, 增添了功能



- 数据写入功耗: MCU在非易失性铁电存储器中记录数据



- 动态处理功耗: 电池供电的应用通常只使用 CPU 来进行基本的数学运算和控制。



功耗或电池寿命对于微控制器应用开发来说是个重要的问题。许多应用, 如流量计和热量计, 要求单个纽扣电池的使用寿命能够维持 10 年! 要实现这一超长的电池使用寿命, 重要的是要意识到功耗不仅仅是一个数字!

让我们深入了解一下:

- 首先, 待机功耗的指标至关重要。大多数的微控制器应用, 在大部分时间都处于待机模式, 等待实时时钟或外部中断将器件唤醒, 以进行测量或进行某类处理。基于我们在超低功耗领域多年的领先地位, 我们很清楚, 通常情况下 MCU 在 80%至 99%的时间都处于待机模式。因此待机功耗就非常重要。MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 微控制器在启用实时时钟的情况下, 可实现 770nA 的超低功耗。这虽然比不上 MSP430FR59 和 MSP430FR69MCU 的功耗低, 但仍然是行业内的最佳选择。

- 其次，许多微控制器应用都需要段式 LCD 屏以便进行人机交互操作。当 CPU 不运行时，这些控制器需要能够保持显示屏的对比度，而且这不能影响到应用依靠单节电池维持数年的能力。MSP430FR4x 将 LCD 控制器与集成的电荷泵集成。在待机模式下使用 LCD，因此 MSP430FR4x 实现了小于 1uA 的世界最低功耗。这样的技术，不但保持了对对比度的控制，还降低了物料的成本。
- 再次，MSP430FR2x 和 MSP430FR4x 还内置了低功耗的 ADC，以便在测量实时模拟信号时进一步降低功耗。
- 第四，许多应用都需要记录和保持数据。以便应用可以在随后的比较或计算中用作参考，或将其用于传输。例如，热量计须记录全天的温度数据以用于计费。FRAM 在记录数据时可以节省大量功耗，记录每个字节的功耗可减少 250 倍！
- 最后，若要达到最优的功耗效果，有效的平衡整个系统的工作就非常重要。大多数微控制器应用都会快速完成基本的决策和基本的数学运算，并在极短的时间内进行数字通信口通信，然后迅速返回睡眠模式。

因此，在考虑总的电池寿命时，重要的是要考虑上述涉及到功耗的各个方面，而我们对 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 系列所进行的设计恰恰都考虑了这些内容！

## 简化人机接口



智能电表&amp; 家庭监控



远程控制&amp; 器具面板

让我们来看一下一些示例。考虑一下我们的家庭：随着技术变得越来越智能化，我们将会看到越来越多的人机交互的机会。曾经只能用来改变温度的恒温器，现在可以设置日程并能连接到互联网。视频游戏控制器曾经只有 8 个按钮，如今可能有 30 个。通过提供最小的系统占用空间和最低的功耗，MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 为这些应用增添了价值。

让我们看一下智能计量和远程控制应用的一些优势：

- 首先，电表。这类计量计遍布全世界。如果包括水表甚或热量计时，此类计量计的数量就将更大。在多数情况下，计量解决方案要求对 MCU 的计量和无线连接功能进行单独认证。MSP430FR4x 是此类解决方案的完美之选。它可以连接 TI 的模拟前端并控制 LCD 显示。这实际上是构造了一个较大的微控制器，以便可以在设定的间隔时间内处理无线协议栈。这可以降低总的系统功耗。而且，凭借集成的电荷泵，FR4 系列可以在睡眠模式时仍保持 LCD 的对比度，以便于客户或实用程序的读取。而内置的 ADC 可直接测量温度以便于监控系统是否过热。这降低了整个系统的成本和功耗。

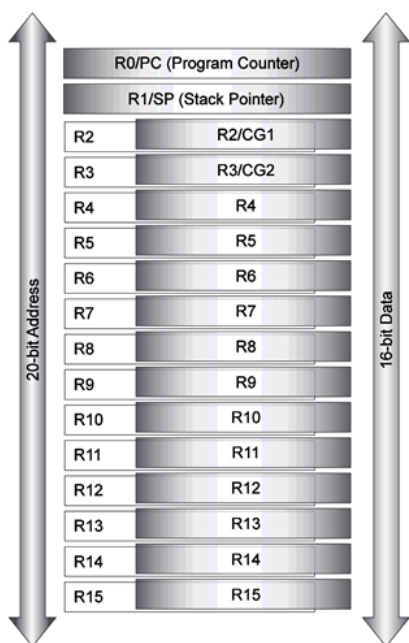
- MSP430FR2x 能以和上述计量计控制器类似的方式为诸如遥控器之类的器件添加巨大的价值。由于需要更多的按钮，因此需要更多的输入节点。但这并不意味着总是需要占用大量的存储空间和引脚。FR2x 适合于这类应用的一点是其具备红外调制模块。软件一般能处理 FSK 或 ASK 调制，但这样的处理需要的周期多且降低电池的寿命。利用 MSP430FR2x 的片上电路，这一过程就大大简化了。对于需要使用段式 LCD 以显示更多信息的遥控器，如通用控制器或空调控制器来说，MSP430FR4x 更能派上用场！它在 FR2x MCU 已有的丰富的功能外设上又添加了 LCD 控制器。如前所述，这是内置 LCD 驱动器的功耗最低微控制器，并且还能够在待机模式下控制多达 256 段的同时保持显示屏的对比度。最棒的是，由于微控制器上的 LCD 引脚可用软件进行映射分配，因此简化了 LCD 的硬件布局。由于 LCD 可能是电路板上最大的组件且电路板空间有限，因此这一设计至关重要。

以上是 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 培训手册的第一部分。

## 第二章 时钟和内核模块

本章将概要的介绍下 MSP430FR4x 和 FR2x MCU 的时钟和内核模块部分。

### MSP430xv2 正交架构的 CPU



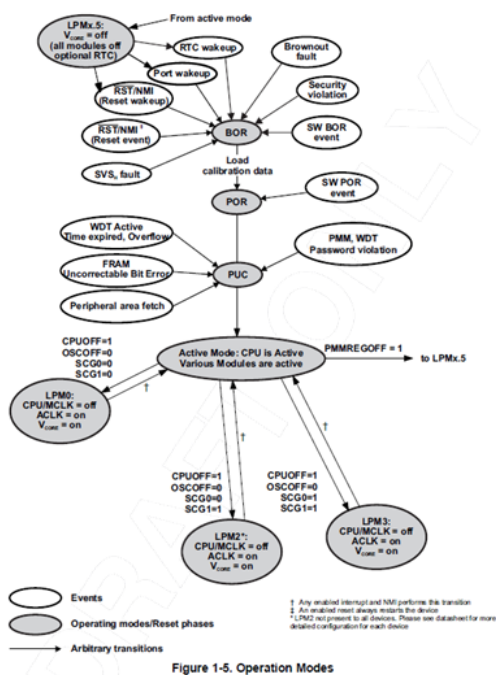
- 与 F5xx CPU保持一致
- C语言兼容
- 高达1M字节的内存寻址范围
- 20位宽的CPU 寄存器
- 字指令
- 直接20位CPU寄存器访问
- 原子 (内存到内存) 指令
- 兼容原有CPU指令
- 优化了特定指令的执行周期

3



我们需要记住关键点就这样几个：高效的、低功耗的、可用 C 语言编译器的，可简单清楚地理解指令和寻址模式的 MCU。其中用于内存到内存的若干原子寻址指令已得到优化。最关键的是，本系列产品和 MSP430 的 F5 系列完全兼容，因此代码的移植非常方便，从 MSP430 其他系列进行移植也很容易，具体可以参考移植指南。

## 运行模式和电流消耗



- 活跃模式 – 126  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ 
  - CPU 工作
  - 快速外设模块使能
  - 32 kHz 外设模块使能
- LPM0 – 20  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ 
  - CPU 禁止, 快速外设模块使能
  - 快速唤醒 – 立即
  - 32 kHz 外设模块使能 - RTC
- LPM3 – 1.2  $\mu\text{A}$ 
  - CPU 禁止, 快速外设模块禁止
  - 较慢唤醒 – 10us
  - RTC, Watchdog 和 SVS 保护功能使能
- LPM3.5 – 0.9  $\mu\text{A}$ 
  - CPU 禁止, 快速外设模块禁止
  - 除 XT1CLK 和 VLOCLK 之外的时钟模块停止
  - RTC 和 LCD 可以工作
- LPM4.5 – 0.015  $\mu\text{A}$  关闭 SVS 功能

4

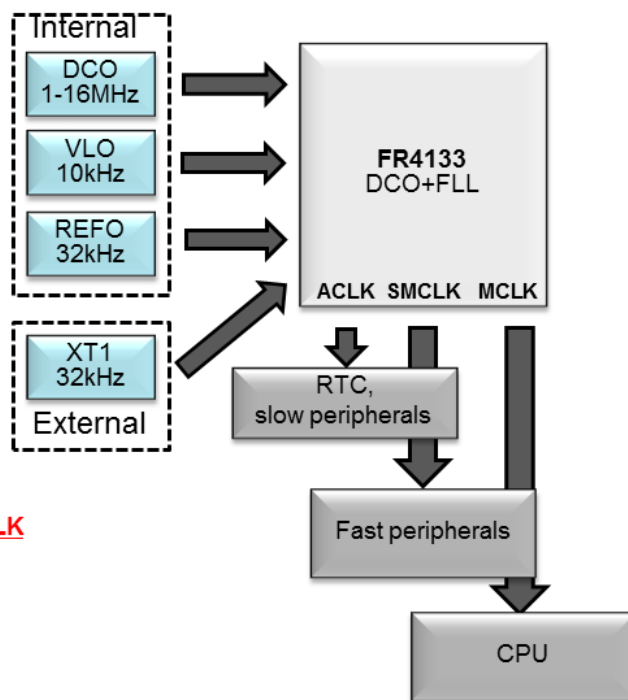


现在，看一下该器件的运行模式。您可以看到它在运行模式的命名规则方面与其他 430 器件类似，这一系列的器件同样具有多种低功耗模式，包括 LPM0, 3, 3.5 和 4.5 模式。这些模式都和 430 系列的其他系列保持一致。

在 LPM3.5 模式下，在启用 LCD 显示和 RTC 功能的情况下电流的消耗小于 1uA。这是非常经济的功耗，非常适合于由电池供电又需要人机接口的一些应用。

## 时钟系统

- 五个独立的时钟源
  - 低频
    - XT1 32768 Hz 晶振
    - VLO 10 kHz
    - REFO 32 kHz
  - 高频
    - DCO 指定范围
    - MODCLK 内部 5MHz
- 默认 DCO = 1MHz
- DCO FLL 以 REFO 或 XT1 为源
- **ACLK = 仅可选 XT1 或 REFO**
- **SMCLK 和 MCLK 必须选择相同的源**
  - SMCLK可以进一步分频
  - **即使在LPM模式下关闭了MCLK, SMCLK仍可使能**
- MODOSC供给ADC10



5

FR4x 和 FR2x 系列的时钟系统和其他 MSP430 系列的时钟系统相比，略有几个不同之处。

本系列器件支持低频的时钟源，如，外部晶体或大约 10kHz 的 VLO。

本系列也支持几个不同的高频率时钟源。如，DCO 即数字控制的振荡器，以及 MODCLK (5MHz，一般用于 ADC)。器件的 DCO 具有锁频器(FLL)，该锁频器可以 REFO 或 XT1 为基准。后续部分的介绍将进行详细说明。

器件的 ACLK 只能选择低频率的时钟源。

器件的 SMCLK 和 MCLK 可选择任何时钟源。但请注意，SMCLK 和 MCLK 始终来自相同的时钟源，不过 SMCLK 可进一步进行分频，并且即使关闭 MCLK 它也能维持运行。SMCLK 的频率必须始终与 MCLK 频率相同或更低，尽管 SMCLK 随后可以在此基础上进行进一步分频，但对 MCLK 进行的任何分频操作都仍会影响到 SMCLK。



## 时钟系统 | DCO + FLL

- DCO的建立是FR5xx的DCO和F5xx的DCO + FLL 的混合
- 指定的频率范围
  - 中心频率为1, 2, 4, 8, 12, 16MHz
  - 通过DCORSEL位进行选择
- 在频率范围内使用 FLL 来微调
- 略小的频率范围 + 512个DCO阶跃 = 每个阶跃都更小
  - 提供精准的DCO + FLL，即使使用REFO — 没有晶振 (+/-2% 全温度范围)
  - 使用晶振的情况下能提供更高的精度 (+/-0.5% 全温度范围)
  - 更少的抖动，由于阶跃更小
- FLL 考虑了对温度漂移的补偿

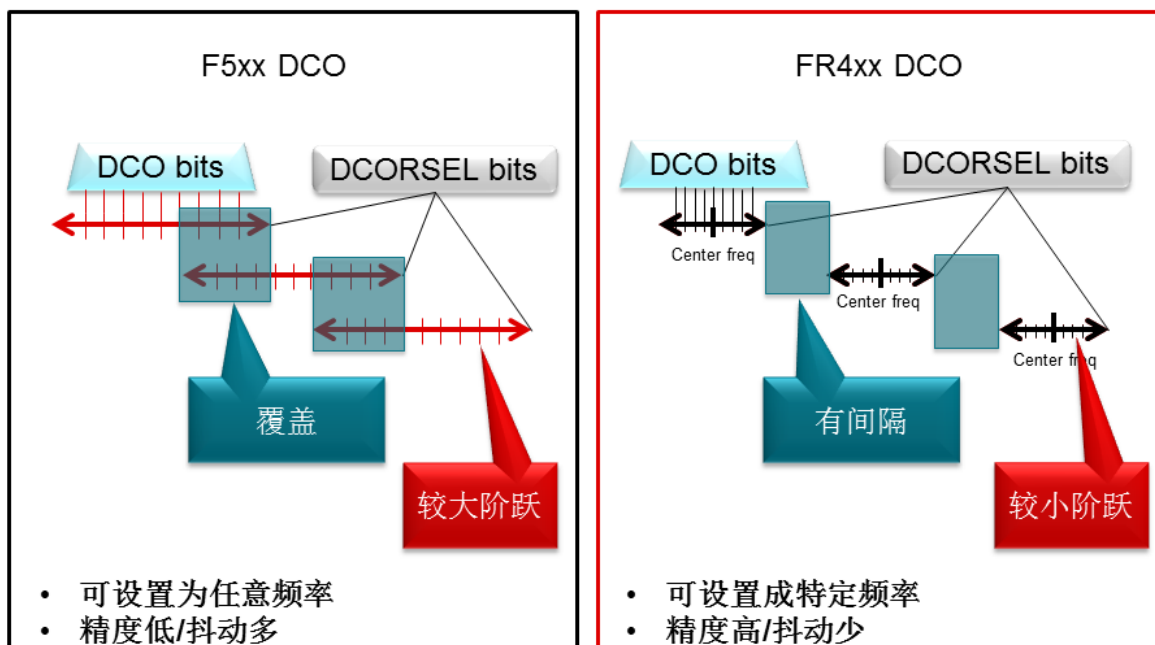
6



之前说过，本系列器件的时钟系统与 MSP430FR5x 系列略有不同，其可以预设的频率在 FR5969 DCO 和 F5xx DCO + FLL 之间。

基本上，DCO 可以设置以某些特定频率为中心的指定的范围，而 FLL 将有助于在这一频率范围内进行调节。此系列的范围比在 F5xx DCO 上的范围要小，但其在此范围内仍具有 512 个 DCO 阶跃，这些阶跃比较小，因此，器件在即使只有 REFO 而没有外部晶体的情况下也能提供精确的频率—— +/- 2% 的过温精度。如果使用外部晶体则可以获得更高的精度 (+/-5% 过温精度)。同时由于频率间的阶跃较小，所以抖动也较少。由于 FLL 不断地基于基准调节频率，因此还可以为温度漂移提供补偿。

## 时钟系统 | DCO + FLL 比较



7

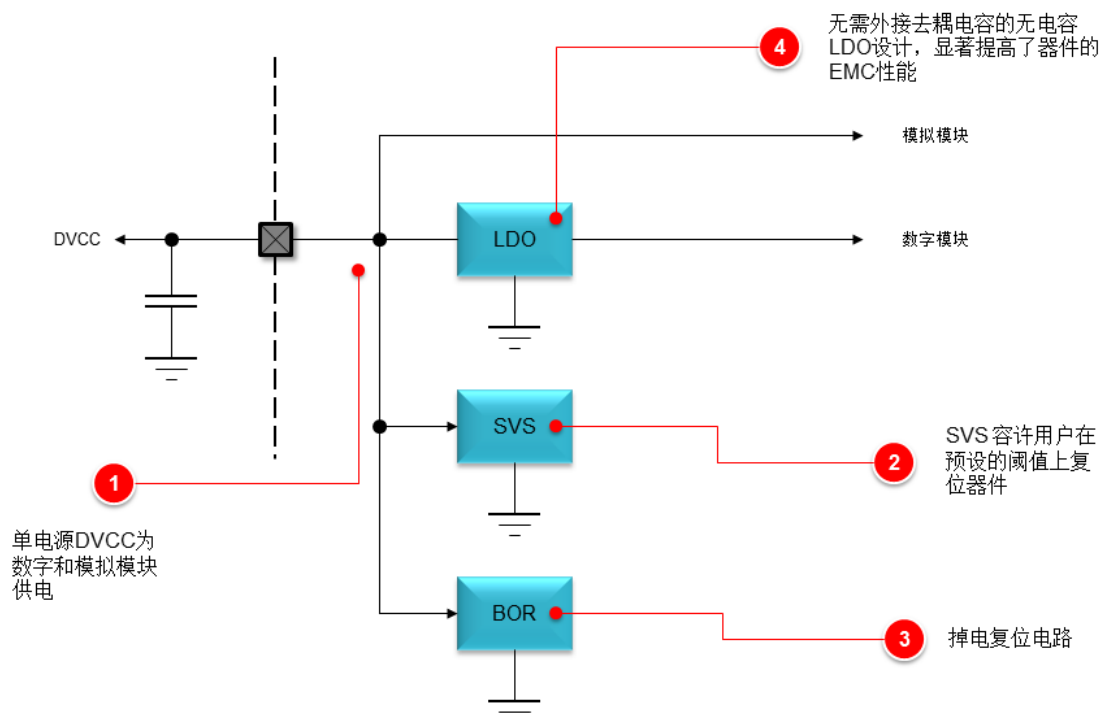


本图是 F5xx DCO 和 FR4xx DCO 的对比情况。DCORSEL 位可以设置频率范围。如图所示，在 5xx DCO 上，DCO 频率的范围重叠了，因此可以将 DCO 设置为任意频率。而在 FR4xx 上，DCO 的范围比较狭窄，带有间隔，且以指定的通用频率为中心。DCOx 位可以在该频率范围内进行频率设置。而 FLL 可以更改这些位以根据基准频率调节频率。

在 FR4xx 上，由于频率范围较小，所以不同 DCOx 位间的频率阶跃极小。这将有助于获得高精度。由于 DCO 调制两种频率且这两种频率阶跃十分接近，因此调制的抖动也极少。

总之，F5xx 的 DCO 非常灵活，可以将其设置为任意频率。而 FR4xx 的频率选择范围较窄，且不能任意设置频率，但可以在没有晶体的情况下获得更精确的结果，并且由于用于调制的两种频率十分接近，所以抖动极少。

## PMM | 电源管理和监控



TEXAS INSTRUMENTS

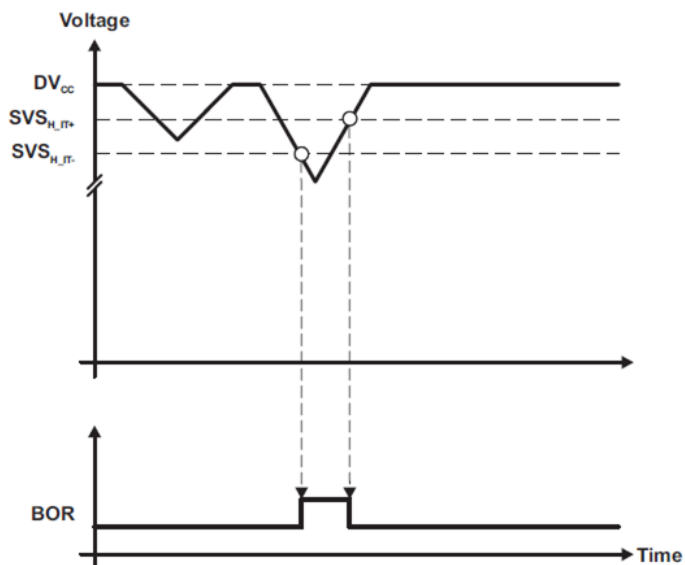
本器件上的电源管理模块与 FR5969 类似，但也有些许不同。

PMM 配有单独的电源线，用于数字模块和模拟模块。配有内置的电源电压监控器，和欠压复位电路，可使得器件在需要时产生复位。期间内内置了与其他 MSP430 类似的用于产生内核电压的 LDO。可以在任意频率运行，产生 1.8V 电压，而无需进行配置，也无需外部电容器，节省成本和电路板空间。

PMM 还包含内部参考电压。该参考电压可以根据运行模式(低功耗模式)自动开启/关闭。内部参考电压可用于产生 1.5V 供内部基准使用（如 ADC），还可向外输出 1.2V 至引脚以供外部使用。还有可以指示参考电压状态的位，可以指示其是否准备就绪以供使用，也可以手动启用/禁用参考电压。

## SVS | 供电监测

- 高度简化的电源电压监控
- 固定阈值使得设备上电更安全
  - 器件跟随 SVSH 复位
- 在所有功耗模式中，SVS 都能使能
- 在 LPM3, LPM3.5 和 LPM
- 4.5 中可禁用来节省功耗
- 在 PMMCTL0 寄存器中使用 PMMLPRST 位来配置 SVS 事件为系统 NMI



9



电源电压监控模块可用于监控系统电压。该模块在 FR4x 和 FR2x 系列微控制器上已被高度简化。不同于其他系列，在本系列中的电源电压监控模块使用固定阈值以帮助保证 MSP430 安全上电通电。该模块不可用于所有功耗模式，在 LPM3、3.5 和 4.5 模式中将被禁用以将功耗降至最低。

## FRAM | FRAM 控制器

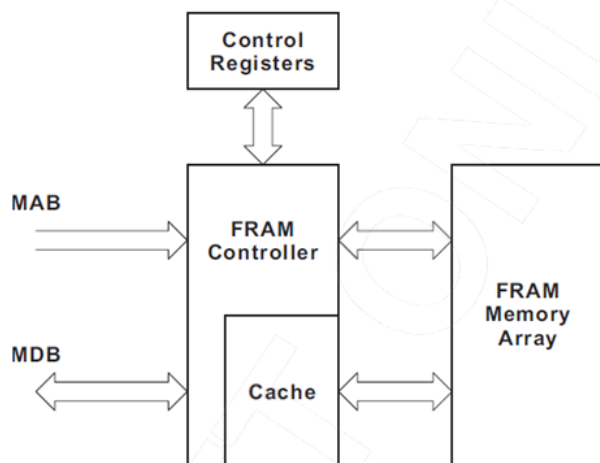


Figure 5-1. FRAM Controller Block Diagram

### FRCTL功能:

- FRAM的读写操作类似于标准的RAM操作 (但是)
- 读/写 频率  $\leq 8\text{MHz}$
- 在 $\text{MCLK} > 8\text{MHz}$ 时, 需要手动添加等待状态

**FRCTL0 = FRCTLPW | NWAITS\_x;**

- 无缝透明的完整缓存
- FRAM读/写操作内置了错误检验和校正 (ECC)

10

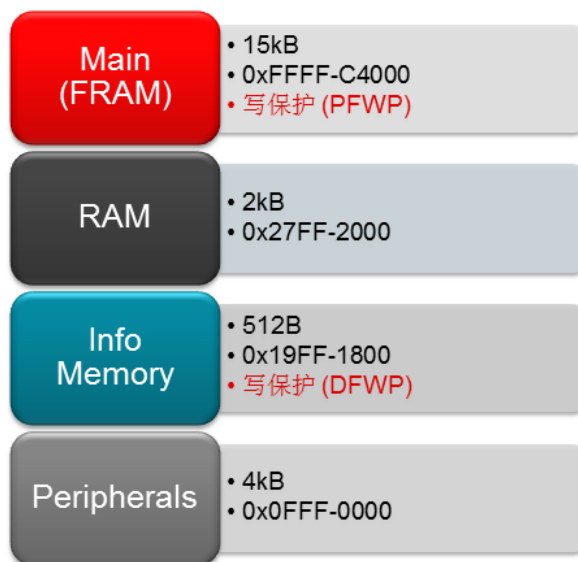


现在, 让我们从电源管理转至嵌入式的 FRAM 存储器。该 FRAM 的控制器与 MSP430FR59 微控制器中使用的类似。FR4x 或 FR2x 器件的最大运行频率为 16MHz, 但 FRAM 的访问速度限制于 8MHz。鉴于此, 如果以超过 8MHz 的频率运行, 器件需要设置等待状态。在程序启动运行时, 可以用图片上显示的代码进行等待周期的配置。

此外, FRAM 还具备高速缓存机制。通过在高速缓存中缓存若干指令, 有助于避免由于 FRAM 的访问等待而造成的指令执行性能的下降。这样, 无论何时发生高速缓存的命中, 都不会产生额外的等待周期。我们估计多数典型代码的平均高速缓存命中比率在 66-75% 之间, 这意味着每 4 个周期只发生 1 次等待状态事件, 这样, 对指令的缓存就减少了由于存储器的取指等待而对性能造成的影响。

## FRAM | 写保护

- 防止意外写入
- 主FRAM和FRAM信息块
  - PFWP = 程序 FRAM 写入保护 (主 FRAM)
  - DFWP = 数据 FRAM 写入保护 (FRAM信息块)
- SYSCFG0 寄存器中的比特位
- 默认情况下是受保护的
- 在写入 FRAM 前，用户必须清除相应的比特位
- 在写入后记得重启保护



11

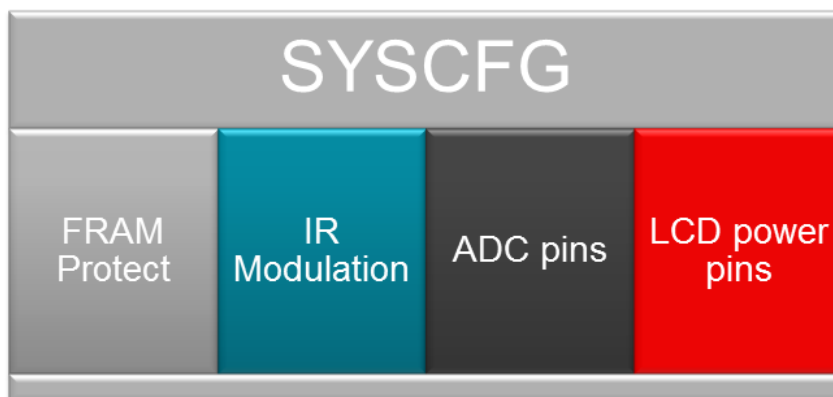


由于 FRAM 的写入非常方便(就像 RAM 一样!), 因此防止错误的写入就至关重要, 这些错误包括, 代码误操作或者缓存区溢出等等。鉴于此, 防止运行时 FRAM 中的代码被意外覆盖就变得至关重要。在 FR4xx 上, 只需配置 SYS 配置模块中的几位即可。有一位用于保护 FRAM 的主区域, 另一位单独用来保护 INFO 存储区。对这些位进行设置, 即可保护该区域, 防止误写入。在默认情况下, 启动时此保护功能自动启动, 因此在尝试写入 FRAM 前, 必须清除此位, 然后才能进行写操作。当然, 也必须在完成写操作后, 再设置此位, 对存储区进行保护。

## SYSCFG | 系统配置



- SYSCFGx 寄存器控制一些器件级的系统设置
- FRAM 写入保护
- IR 调制 – 模式，内部模块连接
- ADC 模拟引脚选择
- LCD 电源引脚选择



12

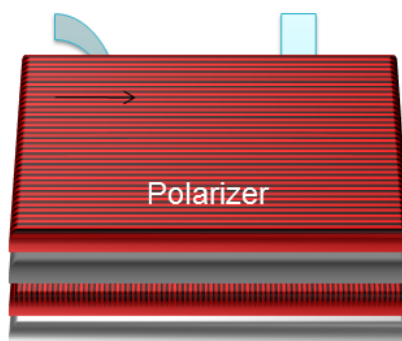


下面介绍本章最后需要注意的点，特别对于从另一个 MSP430 器件上进行移植的用户，尤其需要注意 SYSCFG 寄存器。这是本系列器件的一项新功能。这些寄存器用于配置器件专用的一些功能。这包括 FRAM 写入保护、红外调制、ADC 模拟引脚选择和 LCD 电源引脚选择。

## 第三章 关键外设

### LCD\_E | 典型的 LCD 结构 (简化的)

- 上下表面有两个互成 $90^\circ$  角的偏光片
- 通过液晶扭曲光线来控制光的透射和反射
- LCD段处于“关闭”：
  - 未加电压时，光通过液晶时发生扭曲，因此它能通过两个相互垂直的偏光片
  - 呈灰色
- LCD段处于“开启”：
  - 加电压时，液晶分子会顺着电场方向排列，形成直立排列的现象。此时入射光线不会被液晶分子扭曲，因此它不能通过底部偏光片。
  - 呈黑色



3

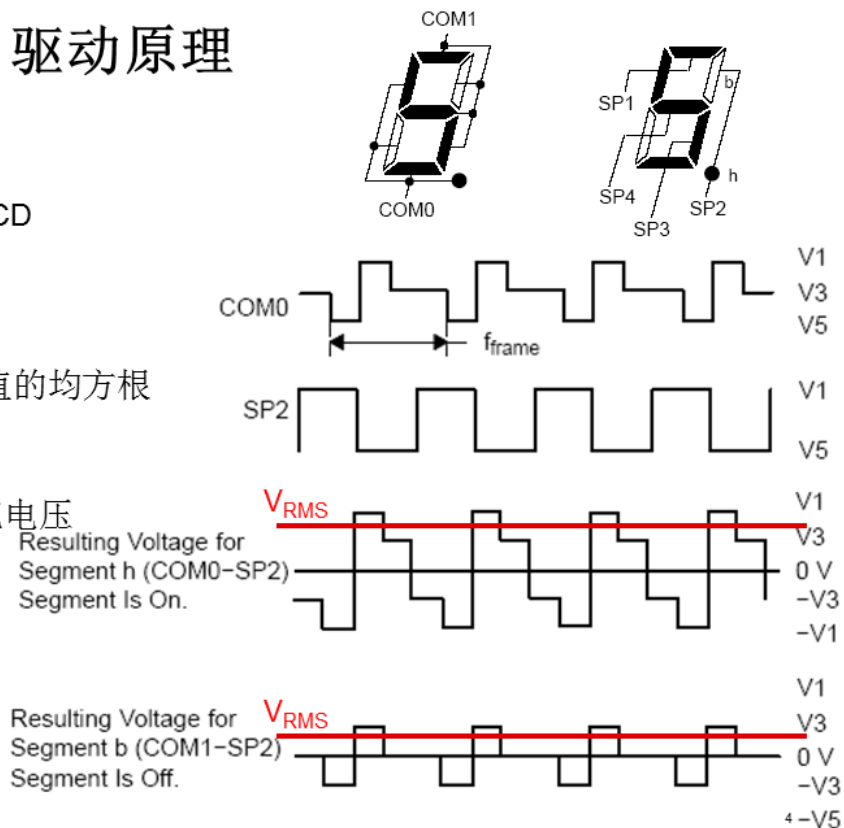
 TEXAS INSTRUMENTS

上图简化展示了段式 LCD 的显示结构。整个 LCD 面板由上下两块玻璃基板和两片偏振片组成，两个偏振片互相垂直，分别放在两层玻璃基板的外侧。在玻璃基板内侧的平面刻有可灌入液晶的细槽，每一块玻璃基板上的细槽完全平行，但两块玻璃基板上的细槽互相垂直。这样，在自然状态下（加在液晶面板两侧电压为 0），光线从一侧偏振片射出，经液晶扭转  $90^\circ$  后从另一偏振片完全射出，液晶面板透光，观察者看到的液晶没有点亮（液晶显示为暗）。当在玻璃基板间加上交流电压后，液晶分子的排列方向改变，两片玻璃基板间液晶分子呈平行排列，光线经一侧偏振片射出后，经过液晶分子的方向不发生改变，由于两偏振片对光线选择角度互相垂直，所以，此情况下，光线无法从另一偏振片射出，此时液晶不透光，观察者看到的液晶呈点亮状态（液晶显示为亮）。



## LCD\_E | LCD 驱动原理

- 仅交流信号
  - 直流信号会损坏 LCD
- 自动生成交流信号
- 是否点亮由电压差值的均方根  $V_{RMS}$  决定
- 允许小于50V的直流电压

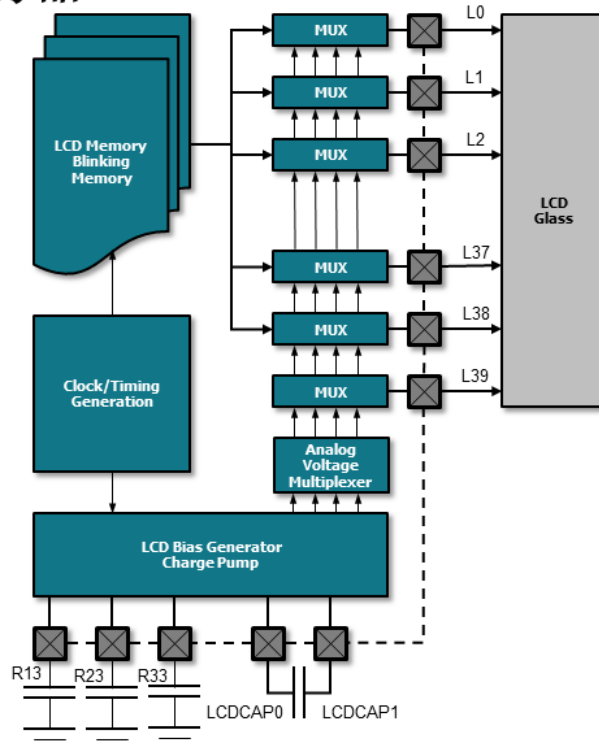


 TEXAS INSTRUMENTS

液晶分子是用交流电压驱动的，长时间的直流电压加在液晶分子两端，会影响液晶分子的电气化学特性，引起显示模糊，寿命减少，其破坏性为不可恢复。MSP430 LCD 模块将自动生成交流电波形。液晶分子是一种电压积分型材料，它的扭曲程度(透光性)仅和极板间电压的有效值有关，和充电波形无关。电压的有效值用 COM/SEG 之间的电压差值的均方根  $V_{RMS}$  表示。上述示例波形展现了导通和截止段的最终波形。导通段需要比截止段施加更大的 RMS 电压。请注意，这两种段都会形成具有净零直流电压的波形。但导通段的 RMS 电压更高，会引发该段的导通。

## LCD\_E | 段式 LCD 驱动器

- 特征
  - 4×36, 6×34, & 8×32 段
  - 支持静态, 2到8个COM口
  - 支持LPM3.5低功耗模式
  - 每个LCD引脚都可由软件配置为SEG或COM口
  - 可配置帧频率
  - 支持闪烁显示
  - 升压器支持到3.44V
  - 可由软件控制对比度
- 注意: 2个LCD升压引脚与常见LCD模块的引脚连接有所不同

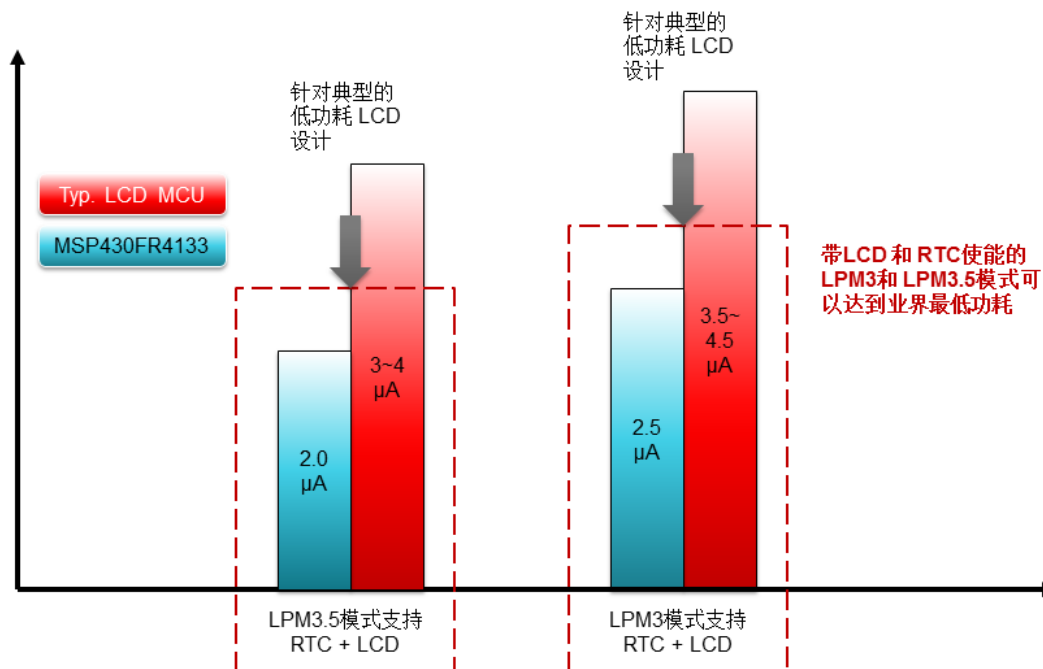


 TEXAS INSTRUMENTS

FR4133 最多能支持 256 段的 LCD\_E 模块。它最多可以驱动 8 条 COM 线，甚至在 LPM3.5 模式中也能正常工作，提供了低功耗下的 LCD 显示功能。

在软件中每个 LCD 引脚都可以被配置为 SEG 或 COM 脚。还可以使用单独的闪烁存储区以支持单段的闪烁功能，内置了 2 至 4 位的多路复用器以扩大显示屏。最大支持 3.44V 的内部电压电荷泵。这样，即使 MSP430 处于低功耗模式下时也能通过软件实现对比度的控制。

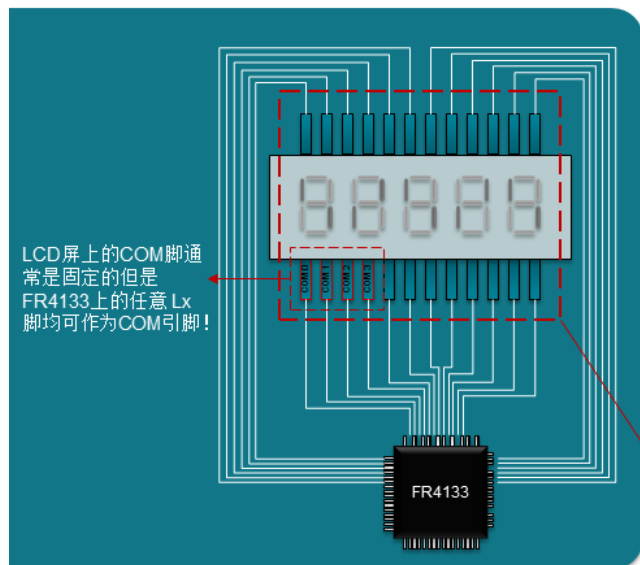
## LCD\_E | 低功耗 LCD 模块



TEXAS INSTRUMENTS

LCD\_E 模块被设计为功耗最低的 LCD 控制模块，完全支持在 LPM3 和 LPM3.5 模式下运行。您可以看到，和一些常用的带 LCD 显示的微控制器相比，用于维持 LCD 和 RTC 功能所需要消耗的电流显著地降低了。这将对 LCD 类应用的电池寿命产生重大影响。

## LCD\_E | 简单的 LCD 布局



- 每一个 MSP430 Lx 引脚均可配置为 COM 或 SEG 口
  - 仅需把 Lx 引脚连至 LCD, 不用担心配置
- 布局不受限于电路板层和LCD/MCU 引脚距
  - 通常来说LCD玻璃屏需要超过32个LCD引脚, 类似于32位总线
- 为单层布板或者在多层板的某一面进行布线提供便利

**MSP430FR4133 器件 = 直接连接 Lx 引脚到LCD, 不需要特定的连接!**

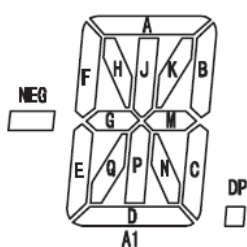


如前所述, LCD\_E 模块不仅在低功耗领域别有建树, 灵活的设计也使得 LCD 布局变得更加轻松。在配有 LCD 控制模块的早期 MSP430 器件上, MSP430 器件上应用于 COM 线的对应引脚是固定的, 这就意味着 MSP430 上的特定引脚必须连接至 LCD 显示屏上的特定 COM 线引脚。

而最新的 FR4xx 系列, 器件上任何支持 LCD 的引脚均可配置为 COM 或 SEG 脚。这就意味着在进行 COM 脚配置布线时, 您在选择引脚上具有很大的自主性和灵活性, 这使得整个 PCB 布局变得非常轻松。这还意味着如果在布局时发生了错误, COM 线连错了需要的引脚, 您也可以在软件中轻松地修复, 而不需要重新制板。

## LCD\_E | 布局和软件的注意事项

- 一个数字需要由多个SEG引脚驱动 (具体取决于引脚定义)
- 显示区域的混合方式取决于LCD显示屏
- 选择正确的阵列可使得软件的编写更容易
- 请谨慎选择MSP的引脚来驱动 LCD使得开发变得更容易



PIN	1	2	3	4
COM0	A1M	A1D	A1DP	A1P
COM1	A1G	A1C	A1N	A1K
COM2	A1F	A1B	NEG	A1J
COM3	A1E	A1A	A1Q	A1H

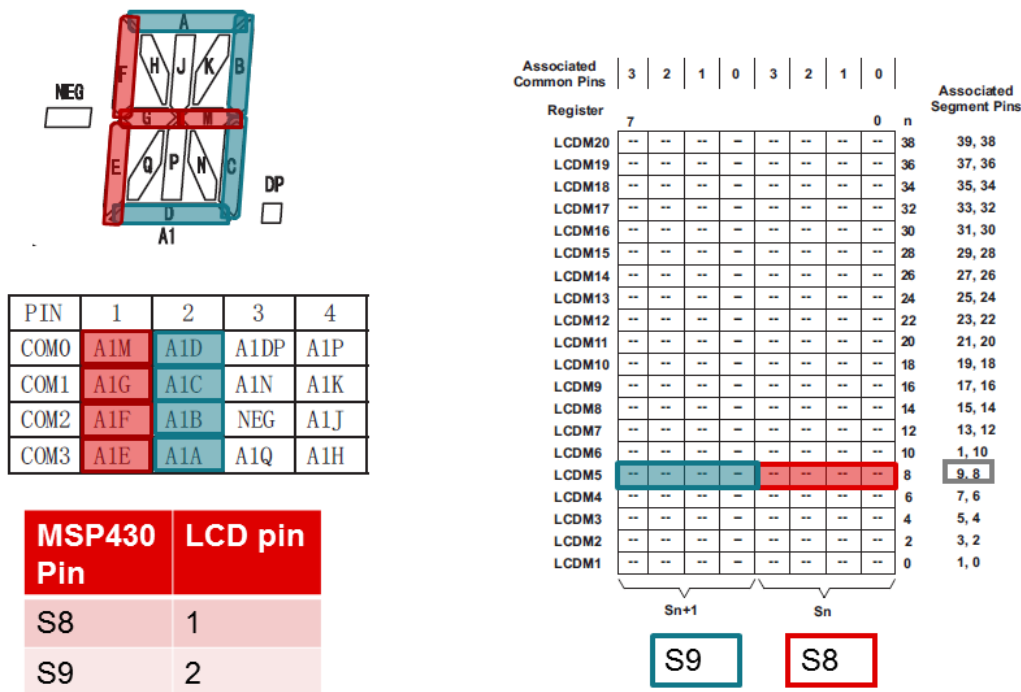
4-mux display datasheet example

8



让我们看一下 LCD\_E 模块在引脚布局 and 软件配置时的注意事项。选择合适的显示屏，并谨慎选择连接至显示屏引脚的 MSP430 引脚对于代码的易用性和代码的效率非常重要。这关系到显示屏如何将不同的区域多路复用到相同的 SEG 引脚上，这些引脚和您想要在显示屏上显示的内容（字符、数字）有关，这还和 MSP430 LCD 内存在不同的多路复用模式中的构建方式有关。

## LCD\_E | 布局 and 软件示例



9

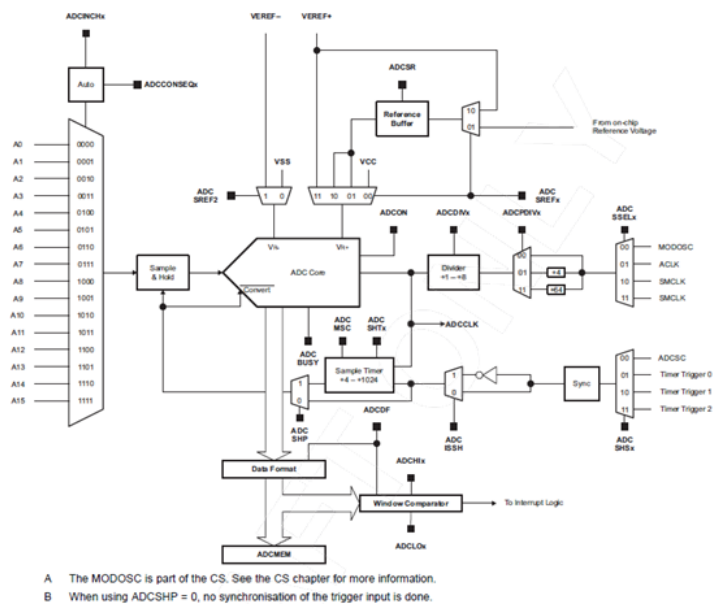


上图显示的是引脚分配的一个示例。您可以看到，在这个 4 路复用的显示屏上，要显示 0-9 的所有数字，只需使用到 2 个引脚即可。这是显示屏的一个很好的功能，相应的段被整齐地集中到了 2 个引脚上（而不是胡乱的将其中的段分配到其他引脚上）。该功能将有助于简化代码。

接下来，我们需要选择合适的 MSP430 上的 LCD 引脚，以对应 LCD 屏上的两个段引脚。请注意 LCD 寄存器上的存储器布局。在 4 路复用模式下，每个段引脚对应于寄存器的 4 个比特位，也就是半个字节。因此，在这种情况下最好的选择，是将我们需要用来控制数字显示的 LCD 引脚 1 和 2 放入共享 LCD 内存寄存器同一个字节的 MSP430 LCD 引脚上。通过这种方式，进行一次单字节访问即可写入整个数字，而无需处理两次单独的半字节访问。尤其，在半字节的访问中，我们还必须小心谨慎地以防更改寄存器的另外半个字节。

## ADC | 10位 ADC

- 200ksps
- 10位分辨率
- 10个外部输入通道
- 窗口比较器
- 重复和序列采样模式
- 内部温度传感器
- 内部参考 (PMM)
- 可选的触发
  - 硬件定时器触发
  - 软件触发



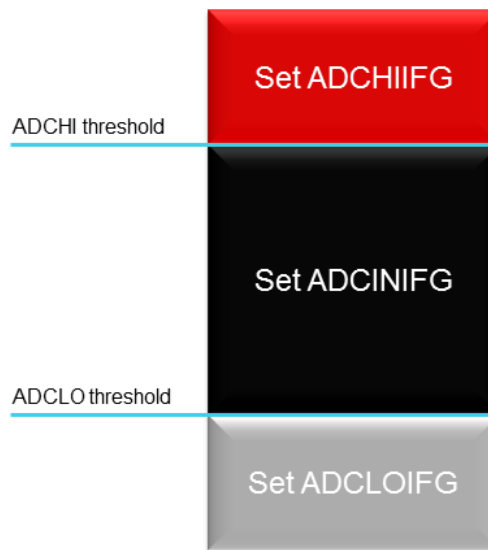
10



现在，我们来看一下 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x MCU 系列中的另一个模块，10 位 ADC 模块。这个系列产品中内置的 ADC10 模块与早期版本的 MSP430 上的 ADC10 模块类似。它能以最快 200ksps 的速率运行，具有 10 个通道。它支持单通道、通道序列及重复采样模式，且具有可选的软件和硬件触发功能（就像计时器）。它还具有窗口比较器功能，有助于在不唤醒器件的情况下处理一些转换结果，我们将在接下来的几个章节中探讨这些内容。

## 新功能 – 窗口比较器

- 窗口比较器
  - 允许配置输入阈值
  - ADC转换结果自动和阈值进行比较
  - 高，低和中间电平中断将告之比较器的比较结果
  - 所有的通道共享相同的阈值
  - 本功能对于低功率应用非常有意义，因为器件可以一直停留在 LPM 模式中直到比较结果超出预期



11

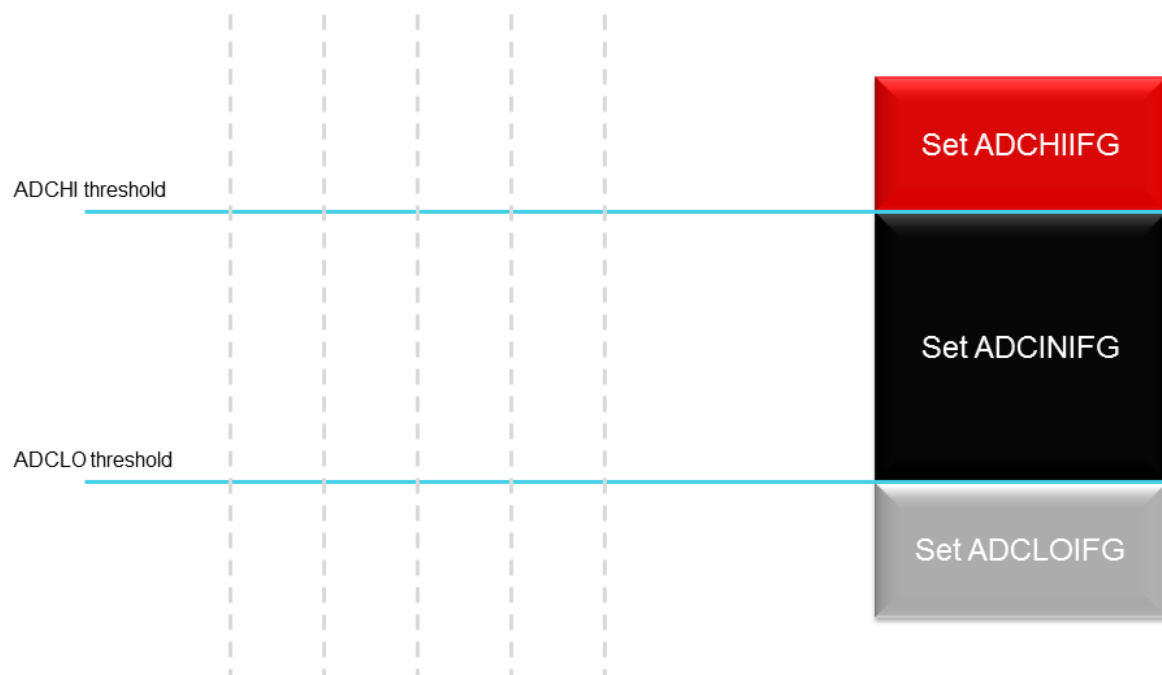


本系列中的 ADC10 模块的窗口比较器与 FR5969 ADC 上的类似。该窗口比较器可自动进行一些硬件上的数据处理。

实际上，它可以根据您在软件中配置的阈值，自动检查 ADC 转换结果，并根据转换结果所落入的范围，设置不同的标志（若启用了中断，还将触发不同的中断）。有高、中、低三个范围标志，这些标志是根据转换结果与阈值的关系而设置的。这可以让您的器件长久的处于 LPM 低功耗模式中，直到 ADC 的转换结果落入您所感兴趣的范围，从而唤醒器件进行处理。



## 窗口比较器示例



12



上图可以简单的说明窗口比较器的工作流程:

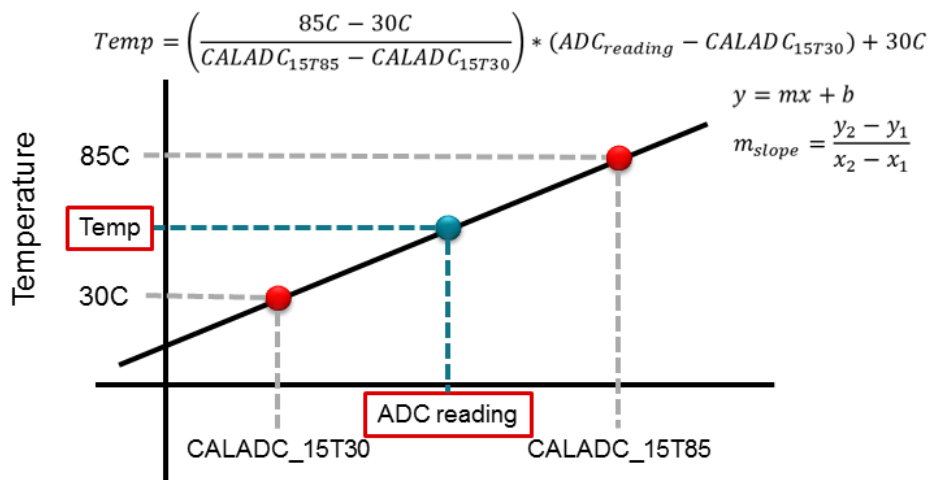
- 窗口比较器可以预设两个阈值，分别是 ADCHI 和 ADCLO。
- 当 ADC 的转换结果高于 ADCHI 的值，窗口比较器将置位 ADCHIIFG 位。
- 当 ADC 的转换结果位于 ADCHI 的值和 ADCLO 的值之间，窗口比较器将置位 ADCINIFG 位
- 当 ADC 的转换结果低于 ADCLO 的值，窗口比较器将置位 ADCLOIFG 位。

MSP430 器件可以长久的处于 LPM 低功耗模式中，直到某一个有意义的事件发生，导致 ADCHIIFG, ADCLOIFG 或 ADCININF 标志位被置位，器件可以被唤醒用于处理该事件，并再次进入 LPM 模式。窗口比较器的此种特性帮助器件长期的处于低功耗模式中，以降低整体系统的功耗。

## ADC | 内部温度传感器

- PMM模块中提供了温度传感器
- 在内部连接到 ADC 通道（见数据表）
- 校准数据存放于 TLV数据表中
  - 使用1.5V内部基准，在30C和85C时进行测量
  - 允许2点校准

\* 校准将提供~ +/-3C 的精度



13

ADC 的 PMM 还提供内部温度传感器功能，在内部连接到 ADC 的一个通道。在 FR4xx 系列中需要注意的一点是，需要在 PMM 模块中使能温度传感器。

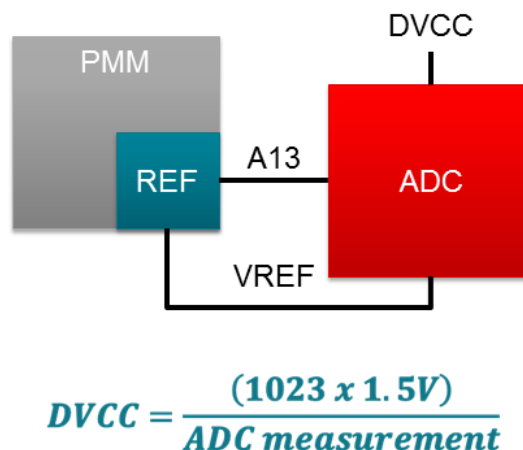
该温度传感器与早期版本的 MSP430 器件上使用的类似，但鉴于这是一个常见的问题，我想再详细地说明一下。在器件的 TLV 表中有温度器的校准常数，可用于内部温度传感器的校准，以便获取更精确的读数，并使得结果与真实的温度只有几度之差。

器件的校准值在器件的生产过程中建立，使用内部基准在 30C 和 85C 的恒温室内进行 ADC 的计量，并以此为校准值。这两个校准值将保存在 TLV 区域。您可以使用这两个值进行“2 点校准”。如上图所示，您可以用这两点绘制出温度相对于 ADC 读数的线性图。线性方程为  $y = mx + b$ ，其中  $m$ （斜率）是两个校准温度的差值除以校准值的差而得到。偏移  $b$  为 30C，因为低点是在 30C 进行的测量。根据这个公式就可以绘制出温度传感器的线性图了。绘制以后，就可以根据 ADC 的转换结果计算出实际的温度值。用户可以利用代码例程和我们的驱动程序库让上述过程变得更简单。

## ADC | 内部参考



- 内部参考电压 (1.5V) 在内部和 ADC 相连，作为：
  - 参考源
  - 在内部连接到输入通道
- 将 DVCC 作为基准，在输入通道上测量 1.5V
  - 知道实际输入为 1.5V
  - 用这种测量方式计算出 DVCC 的电压



14



此处是比较重要的内部参考电压部分，我们需要注意的一点是很多 MSP430 器件的电源部分都有与分压器相连的 ADC 内部连接，分压器的输出会向 ADC 的其中一个内部输入提供  $V_{cc}/2$  的参考电压，以使用户进行电池电压的测量。而在 FR4xx ADC 上，器件是将 VREF 的电压在内部连接到 ADC 的输入通道。

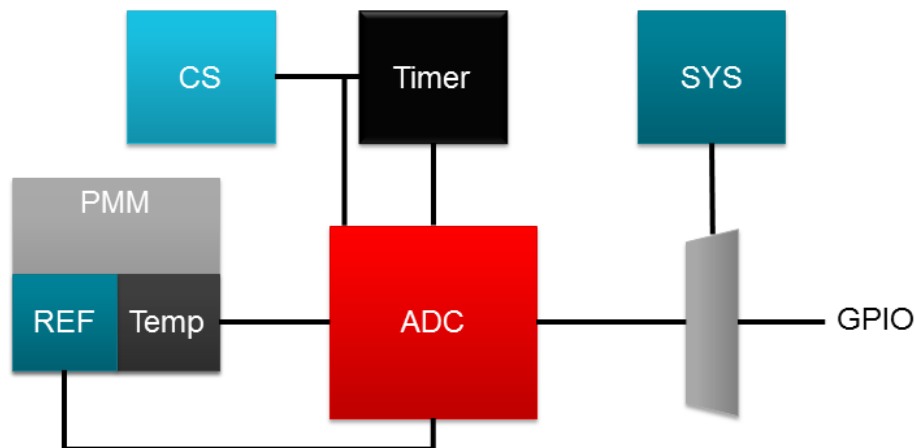
如果将 DVCC 作为参考电压，通过测量已知的 1.5V 电压，也可以通过上图的公式，反过来确定出 DVCC 的电压。

当然，内部参考电压同样可以用来测量电池电压。

## ADC | 系统选项



- 由 PMM 寄存器控制内部参考电压生成器
- 必须在 PMM 寄存器中使能温度传感器
- 在 SYS 模块中选择模拟功能引脚



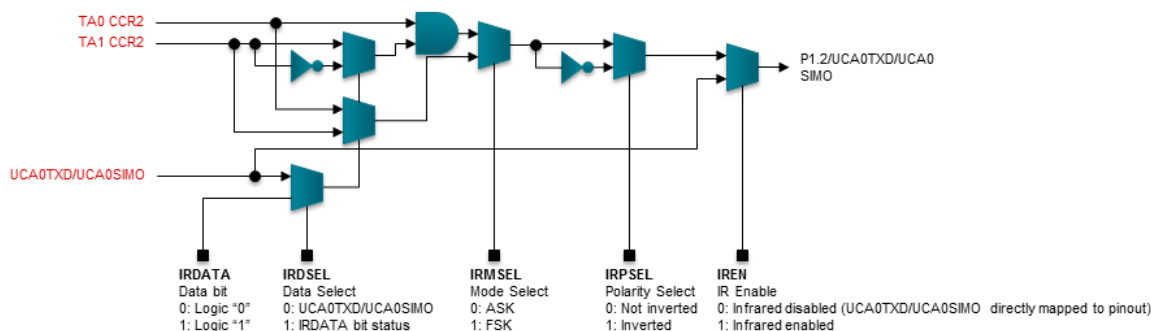
15



在 FR4xx 上使用 ADC 时，需要涉及到几个模块，而不仅仅是 ADC 模块上需要设置的寄存器，这是一个庞大的系统。我这里强调这一点，是因为其中某些模块的设置与其他的 MSP430 器件上的模块设置有些不同。

比如，如果要使用内部基准或温度传感器，必须在 PMM 模块中启用这些模块的功能。当然，ADC 模块中的常规设置还是需要的（采样时间、通道等）。还需要为用作 ADC 时钟源的时钟模块设置时钟系统。另外，如果是由定时器等硬件触发 ADC 的采样，您还需要设置定时器。最后，还需要配置 SYS 模块的寄存器以启用 GPIO 口的模拟引脚功能。

## SYS | 红外调制逻辑



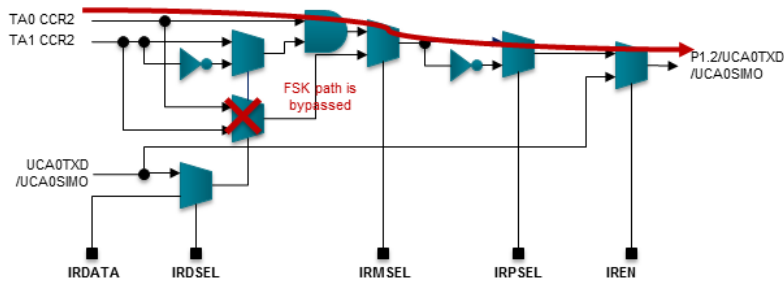
- SYS 模块包含红外调制模块
- 使用两种不同的 PWM 输入信号来支持 ASK 或 FSK 调制
  - SYSCFG1 中的 IRMSEL 位进行模式选择
- 硬件或软件的数据生成
  - 硬件：数据来源于 eUSCI\_A 或 eUSCI\_B，且 8 位数据自动串行发送
  - 软件：SYSCFG1 寄存器中的 IRDATA 位被用来控制发送逻辑 0 或 1



现在，我们可以了解一下新系列中的全新功能：红外调制模块。此红外调制模块包括在 SYS 模块内。用户可以使用该模块直接轻松地在外引脚上输出精确的经过调制的红外波形，如 RC-5 等数据格式。

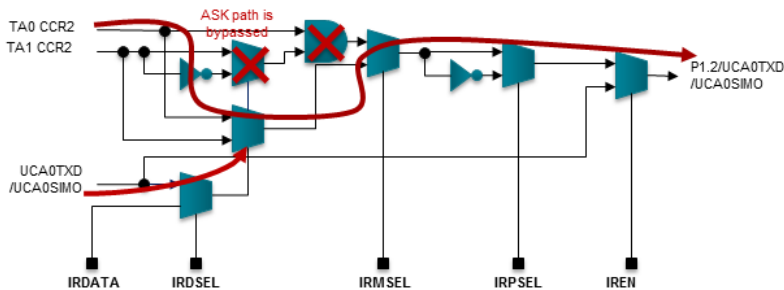
该模块支持使用两种不同的 PWM 输入信号以生成 ASK 或 FSK 调制。SYSCFG1 寄存器中的 IRMSEL 位用于指定调制模式。用户可以通过硬件或软件来生成数据并通过红外调制功能模块进行发送。使用硬件生成数据，数据来自 eUSCI\_A 或 eUSCI\_B 模块，并自动地进行串行 8 位数据的发送。而使用软件生成数据，则可以使用 SYSCFG1 寄存器中的 IRDATA 位来控制模块进行逻辑 0 或 1 的发送。

## SYS | IR ASK or FSK 调制



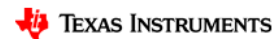
### • ASK 调制:

- 一个定时器用于载波的生 成
- eUSCI\_A , eUSCI\_B, IRDATA 位或第二个定时器用于生成包络.



### • FSK 调制:

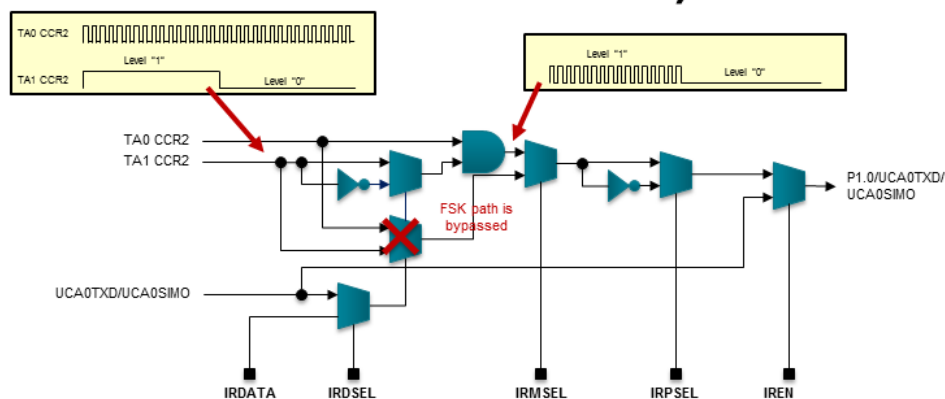
- 由两个定时器生成PWM代表两种不同的频率
- eUSCI\_A , eUSCI\_B 或 IRDATA位可用于控制两种频率的切换



对于 ASK 调制，通常需要生成一种载波频率和另一种对载波进行调制的包络信号，以指示逻辑 0 和 1。在此基本协议的基础上，还有几个不同的协议。载波信号可以由 FR4xx 的定时器生成，而包络信号，可以使用第二个定时器或 eUSCI 模块传输至缓冲区，或采用软件生成的方式，由软件直接指定 SYSCFG 寄存器中的 IRDATA 位。

对于 FSK 调制，则需要切换两种不同频率的信号以指示 0 和 1，同样，在此基础上还有几个不同的协议。通过使用 FR4xx 器件中用于生成 PWM 波的两个定时器可以生成两种不同频率的信号。然后，同样可以通过 eUSCI 模块将数据传输到缓冲区，或由软件直接控制 SYSCFG 寄存器中的 IRDATA 位，在两种频率间进行信号的切换。

## SYS | IR 应用案例 (使用TA0 和 TA1 的 ASK 调制)



```
// Configure IR modulation: ASK
SYS_CFG1 = IRDSSEL + IREN;
TA1CCTL0 = CCIE;
TA1CCTL2 = OUTMOD_7; // output mode: reset/set
TA0CCTL2 = OUTMOD_7; // output mode: reset/set
// carrier waveform length setting
TA0CCR0 = 100;
TA0CCR2 = 32;
TA1CCR0 = 640;
TA1CCR2 = 320;
// set timer operation mode
TA0CTL = TASSEL_2 + MC_1 + TACLK; //SMCLK, UP mode
TA1CTL = TASSEL_2 + MC_1 + TACLK; //SMCLK, UP mode
```

- TA0 持续产生载波信号
- TA1 根据编码模式产生调制信号



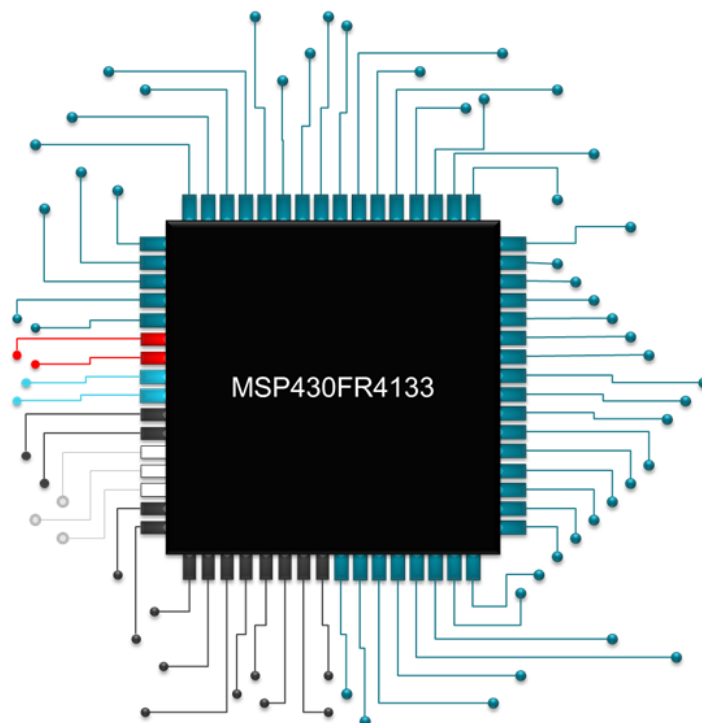
上图展示了进行 ASK 调制的示例代码，显示了如何进行基本的设置。上图的示例使用 TA0 生成载波，使用 TA1 生成包络。正如您所看到的，TA0 的 CCR2 已经设置为 PWM 波形，作为载波信号。而 TA1 的 CCR2 同样是一个 PWM 波形，只是频率比 TA0 的 CCR2 低很多。用作包络的 TA1CCR2 信号与用作载波的 TA0CCR2 信号进行 AND 运算，生成右侧的最终用户数据波形。

根据您的编码的需求和可用的资源，还有很多配置红外信号的方法，在这里的只是一个简单的示例。

## MSP430FR4x/FR2x | 丰富的 IOs



在LQFP-64的封装中共提供高达60个IO引脚，除了主电源和SBW引脚，其他引脚都是功能复用引脚，用户可通过设置I/O寄存器来配置它们。



最后，让我们来看一下 IO 口。市面上极少有类似于 FR4x/FR2x 的器件，我们的封装提供了较少存储器容量的选择，但是却能提供非常多的 IO 口。64 引脚封装的器件上最多可提供 60 个 GPIO。全部都可以多路复用各种不同的功能，包括 LCD、ADC 等。唯一的专用引脚是电源引脚和 SBW(spi-bi-wire)引脚。



## 数字 I/O | 电容式触控

### 优点

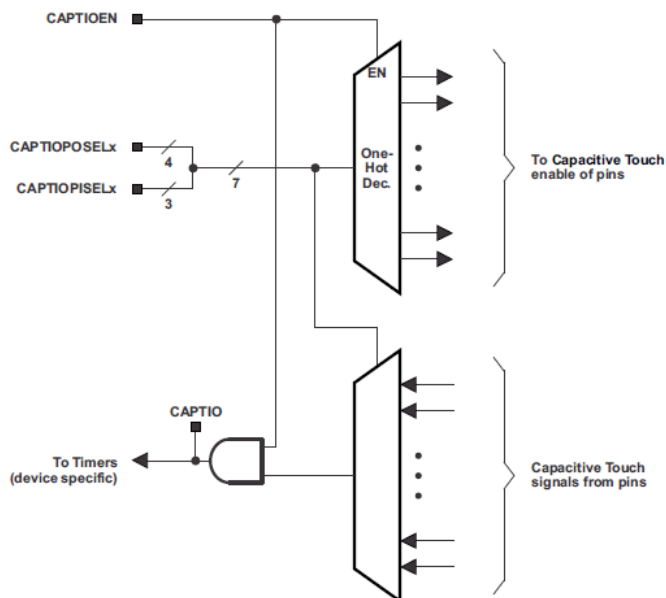
- 低成本
- 无外部元件
- 简单的解决方案

### 性能

- 感应电容的范围在2pF到50pF之间
- 低功耗 (<1uA)

### 功能

- 外部电容结合由施密特触发器控制的内部电阻网络，组成振荡网络，振荡频率由外部电容决定
- 结合定时器A或定时器B，可以测量振荡频率
- 控制寄存器可以很容易地扫描相邻引脚
- 专用的电容触控 I/O 寄存器



20

FR4x 和 FR2x 系列的另一个非常棒的功能是所有的 IO 引脚均支持电容式触控感应。器件内置了内部电路，和外部电容式触控面板形成振荡电路。由内部的定时器模块对振荡电路进行测量，从而实现电容触摸式感应应用。使用电容式触控开发库和诸如 Touch Pro GUI 等工具有助于更加轻松地开发触控应用。

## 数码 I/O | 重要的移植注意事项



### 新功能

- 默认情况下，掉电复位之后，所有的数字 I/O 口将由施密特触发器置为高阻态，并且它们的模块功能将被禁止，以防止任何交叉电流
- 这将在设备启动时有效地减少功耗
- 清除 LOCKLPM5 位来使能所有的 GPIO 引脚
  - `PM5CTL0 &= ~LOCKLPM5`
- 更多信息请参考移植指南

21



与 FR5969 一样，在默认情况下，BOR 之后所有的数字 I/O 口都设置为高阻状态。这有助于在启动时降低浪涌电流并保持器件的低功耗。鉴于此，在对 GPIO 进行初始化之前，您需要先清除 LOCKLPM5 位以启用 GPIO 引脚来为应用配置引脚功能。

## SYSCFG | 系统配置



- SYSCFGx 寄存器控制一些特定于设备的系统设定
- FRAM 写保护
- 红外调制 — 模式，内部模块连接
- ADC 模拟引脚选择
- LCD 电源引脚选择



22



如果要从另一个 MSP430 器件进行代码移植，应注意的另一要点是此系列器件的一个新功能：SYSCFG 寄存器。这些寄存器用于对本器件的一些特有功能进行设置。这包括 FRAM 的写入保护、红外调制、ADC 模拟引脚选择和 LCD 电源引脚选择，这些内容在本次技术讲座的前面部分已经提及。

## 第四章 资源和工具

本章将介绍 MSP430FR4x/2x 系列产品的开发工具和软件。这些评估板，开发工具和软件构成了一个全面的生态系统，使得对 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x 的开发变得更加轻松。

### 无与伦比的开发生态系统



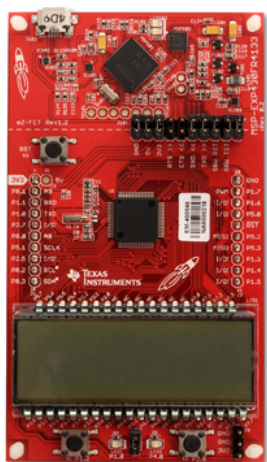
现在您已知道新型的 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x MCU 能够为很多应用带来最低功耗和最佳灵活性，那么下面让我们来了解一下这些器件的资源和开发。

TI 一贯以来围绕 MSP430 产品开发了大量的工具和软件，构成了一个庞大的生态系统，能帮助用户最大程度地降低开发时间和成本。在此新系列产品上，用户可以使用新型的 LaunchPad 开发套件对 MSP430FR4133 进行评估。这是首款配有板载 LCD 的 LaunchPad！最为突出的一点是，板上布置了 eZ-FET 编程器/调试器。此款调试器可以通过 USB 与 PC 进行简单的通信，而且支持最新的 EnergyTrace 技术。您只需不到 15 美元即可获得此款产品的所有功能！我们还配套提供兼容新型插座的目标板，这些目标板都可以和 MSP-FET 编程器/调试器配合使用。兼容插座的目标板能够访问所有 MCU 引脚，以便对 MCU 进行

系统的评估和开发。它还可以支持用户通过 Energytrace 技术对系统的低功耗性能进行测试。

在软件方面，TI Resource Explorer 提供一个 MSP430ware。这个软件开发包可以单独使用，也可集成到 Code Composer Studio 或 IAR Embedded Workbench 中。它包含对 MSP430 微控制器进行开发所需要的一切资源。涵盖范围从文档（如产品说明书和用户指南）到用于快速开始软件开发的代码示例、外设驱动程序库和应用库。在写入初始代码后，您就可以使用开发工具中的优化器来帮助缩小代码容量并提高设计功效。Optimizer Assistant 可帮助用户确定 Code Composer Studio 中适合的编译优化等级，以确保最大程度地提升代码性能和缩小代码容量。最后，ULP Advisor 会依据常用的低功耗规则来检查代码，而最新的 Energytrace 则可用于检查系统的功耗是否会在整个运行周期内出现异常峰值。

## MSP430FR4133 LaunchPad 让设计更快些



\$13.99

目标 MCU: MSP430FR4133

BoosterPack 插槽: 20脚

规格:

- 16 MHz 16位 MSP430™ CPU内核
- 16KB FRAM
- 10通道 10位 ADC
- IR 模块
- 8 x 32 段式LCD驱动

为什么选择此款LaunchPad?



IR 模块 – BoosterPack即将上市!



低功耗LCD控制器

MSP-EXP430FR4133

 TEXAS INSTRUMENTS

现在开始了解 FR4133 LaunchPad。在上图中，您可以看到用于对 MSP430 器件进行编程的仿真器位于 LaunchPad 的上半部分，而 MSP430 器件位于电路板下半部分，同时板上带有标准的 BoosterPack 插头。整个 LaunchPad 的售价仅为 13.99 美元！

以下是该产品的亮点：

- 16 KB FRAM：比闪存更具灵活性和其他优势，请访问 [ti.com/fram](http://ti.com/fram) 了解更多信息。
- 内置高性能外设：
  - 支持窗口比较功能的 ADC，允许您在 CPU 待机的情况下捕捉和存储数据。
  - 可在低功耗模式下运行的 LCD。
  - 用于遥控应用的红外调制模块。
- 开箱即用体验非常棒，支持华氏温度和摄氏度两种温度模式。它支持秒表显示，可计时长达 100 小时！敬请期待新型 Boosterpack，它也会简化红外开发！

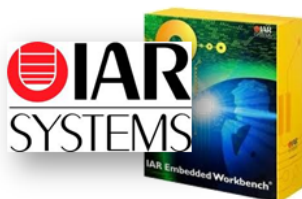
## 多种 IDE 选项

### 免费的集成开发环境 (IDEs)



**Code Composer Studio** 基于 Eclipse 的 IDE（编译器，调试器，连接器等）适用于所有 TI 的嵌入式处理器

- 无限制版本售价 \$495 //也提供免费版本!
- 引入了对 MSP430的Linux 支持
- 合并了 MSP430 特有的工具：Grace 3.0, Optimizer Assistant, ULP Advisor, EnergyTrace™ Technology, MSP430Ware



#### IAR Embedded Workbench

- 强大的第三方IDE，提供项目管理工具和编辑器。包括所有MSP430产品的配置文件
- 提供免费版本
  - 免费的 4/8/16kB 代码容量限制Kickstart版可供下载
  - 免费的，全功能的，30天的试用版本可供下载
- 由 IAR 支持的Grace, ULP Advisor and EnergyTrace Technology



#### MSP430 GCC

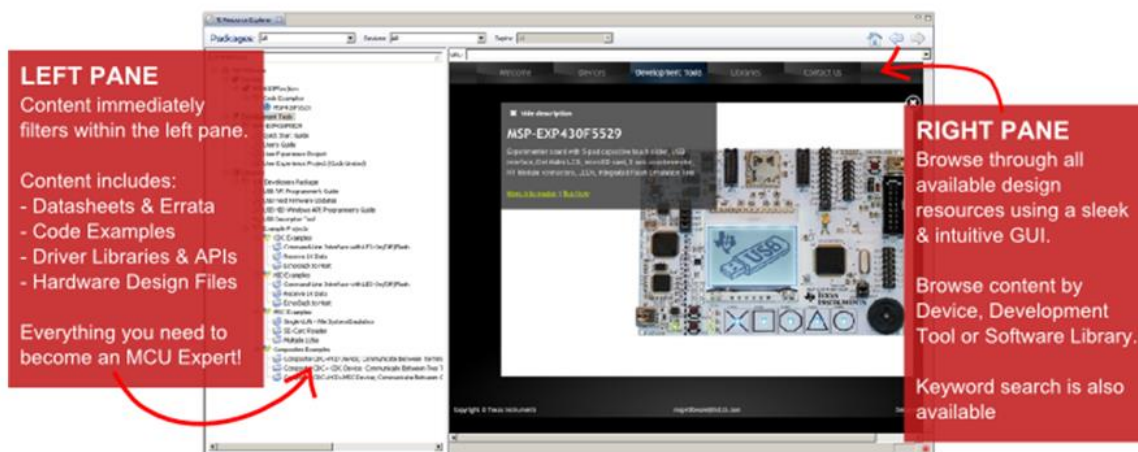
- 适用于 MSP430 的免费和开源的 GCC 工具链，可以在 CCS 中单独或集成使用
- 红帽和德州仪器合作
- 替代了 MSPGCC
- 工具能在 Windows, Linux, BSD 及一些Unix中使用

Other MSP430 IDE options are available! Learn more @ [www.ti.com/msp430tools](http://www.ti.com/msp430tools)



介绍完了硬件部分，那么软件的性能如何呢？TI 提供了大量资源以便开启您的设计。首先是开发环境。我们提供完整成熟的 IDE，其中包含一整套的调试和优化工具。最早推出的是 TI 的 Code Composer Studio，它适用于所有 TI 嵌入式处理器。它还具备 MSP430 专用工具，如 Grace 和 EnergyTrace 技术。IAR 嵌入式工作平台也是一款功能强大的第三方 IDE 产品。该 IDE 包括适用于所有 MSP430 器件的配置文件，还包括对大多数 MSP430 专用工具的支持。最为突出的一点是，我们还提供 MSP430 GCC，它是一个免费的开源编译器，可以在 Code Composer 中使用或单独使用。

## MSP430Ware: 可用于 CCS 和 IAR



CCS 和 IAR 等 IDE 均支持这个 MSP430ware 软件开发包，这个开发包将您所需的所有资源（如数据表、代码示例等）集成在一起。如此处所示，用户可以在 TI Resource Explorer 中找到这个开发包，然后轻松地导航到感兴趣的器件和开发工具，几分钟即可快速入门！



## TI Resource Explorer 让编程更容易

在 TI Resource Explorer 中的 MSP430Ware 提供两种选项

支持所有 MSP430  
产品和工具的  
例程代码

帮助用户简化对  
外设编程的  
驱动程序库

7



MSP430 微控制器的设计理念一直是简便易用。基于这一理念，同时考虑到人们对代码的开发方式具有不同的偏好，MSP430ware 提供了两种代码编写选择，以使用户可以根据各自需求对 MSP430 MCU 进行开发。

我们提供支持所有 MSP430 产品和工具的例程代码，这些代码都由 C 语言编写，用户可以参考这些例程代码，轻松的使用 C 语言进行产品的开发。如果客户想要使用更简单的编程方式，也可以使用 TI 提供的驱动程序库。通过调用高级别的 API，用户无需完全理解各外设底层的寄存器设置，即可轻松控制这些创新型的外设。

## PWM 使用驱动程序库 vs 传统的C编码

驱动  
程序库

```
GPIO_setAsPeripheralModuleFunctionOutputPin(PARAMETERS);  
Timer_generatePWM(PARAMETERS)
```

传统的  
C 语言代码

```
P2DIR |= 0x04;  
TA1CCTL1 = OUTMOD_7;  
P2SEL |= 0x04;  
TA1CCR1 = 384;  
TA1CCR0 = 511;  
TA1CTL = TASSEL_1 + MC_1 + TACLK;
```

- Driver Library 提供更易理解的函数
- 无需配置复杂的寄存器
- 高级的API使得在所有的MSP430F5系列和6系列间进行代码移植都非常方便。

```
00101010  
10010010  
01010100  
10010010  
11001010
```

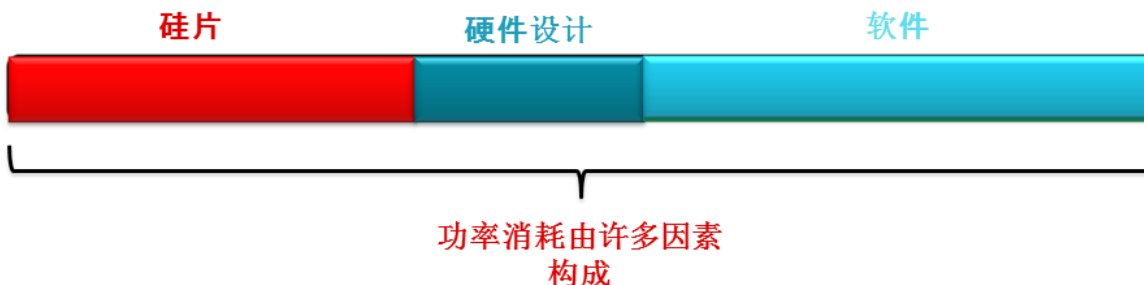


 TEXAS INSTRUMENTS

此处展示的是一个简化的代码编程结构示范。使用传统的 C 语言编程，用户需要完全理解寄存器的每一个位。这是一个高效的控制外设的编程方式，但是对开发者有更高的要求。

用户也可以直接调用 TI 提供的高级 API，通过指定 API 的参数即可方便的控制各种创新型外设。这是一种方便易用的编程方式，不仅方便了开发者，同时也提高了代码的可读性，特别对于平台转换和代码移植非常有意义。

## 您应用的超低功耗是怎样的？



硬件只会影响一半的功耗，我们需要对软件进行优化

**EnergyTrace™ 技术和 ULP Advisor™ 软件工具**  
能帮你解决问题！



我们知道，在大多数低功耗的应用中，MCU 有 90%到 99.9%的时间处于睡眠模式。只有在确实 CPU 参与控制和运算时，应用才会唤醒 MCU，这样的应用包括：

- 运动检测
- 空气定期采样
- 烟雾探测器
- 远程按钮

MSP430 立足于业界最具开创性的超低功耗 MCU，无论在硅片级还是在硬件/软件设计方面，都针对超低功耗进行了优化设计。特别在软件方面，ULP Advisor 和 EnergyTrace 率先迈出了业界中的重要一步。

## ULP 仿真软件: 使MCU 开发者 变身为超低功耗的专家

### ULP Advisor 逐行分析所有 MSP430 的C代码

- 支持所有的 MSP430 产品, 使任意应用都能受益
- 在工程构建期间检查工程中所有的代码
- 默认情况下为开启的
- 逐行分析代码



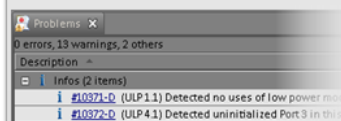
### 全面构建超低功耗清单

- 罗列15个最佳的超低功耗范例
- 从众所周知到不引人瞩目的细枝末节构建ULP超低功耗注意事项
- 结合了十年来MSP430和超低功耗开发的经验

- ✓ ULP 1.1 Ensure LPM usage
- ✓ ULP 2.1 Leverage timer module for delay loops
- ✓ ULP 3.1 Use ISRs instead of flag polling
- ✓ ULP 4.1 Terminate unused GPIOs
- ✓ ULP 5.1 Avoid processing-intensive modulo & division
- ✓ ULP 5.2 Avoid processing-intensive floating point
- ✓ ULP 5.3 Avoid processing-intensive (s)printf()
- ✓ ULP 6.1 Avoid multiplication when HW multiplier
- ✓ ULP 7.1 Use local instead of global variables when possible

### 高亮注明需改进的代码区域

- 识别有待改进的关键区域
- 在“Problems”窗口中以“remark”形式提出改进目标
- 提供链接以指示更多信息



Learn more @ [www.ti.com/ulpadvisor](http://www.ti.com/ulpadvisor)

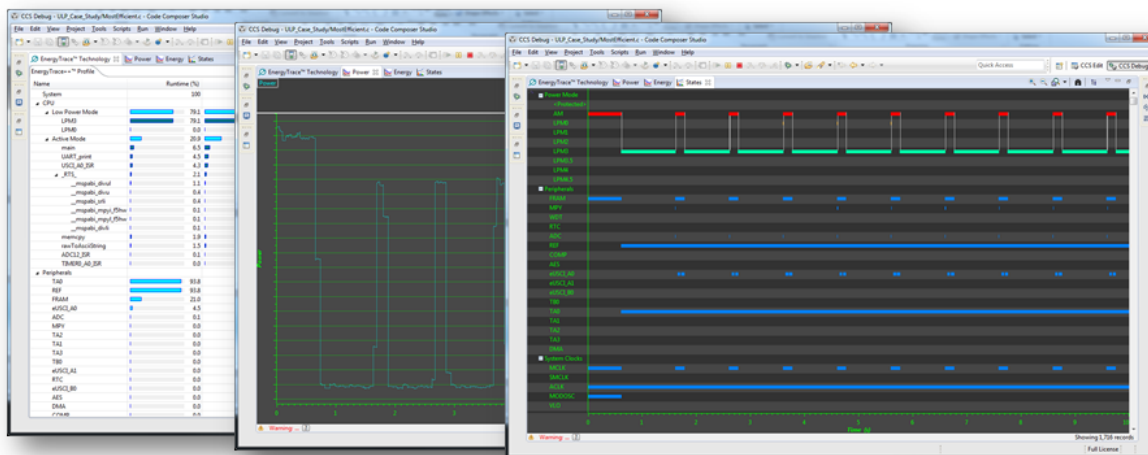


ULP Advisor 是一个代码分析工具，它根据完整的低功耗编程规则来对代码进行逐行分析。如果发现代码有违背规则的地方，它通过高亮来通知用户，以使用户对此部分代码进行分析改进以优化功效。这套完整的低功耗编程规则综合了 10 年来 TI 在 MSP430 和超低功耗应用开发方面的经验，无论是在众所周知的编程原则上，还是在细枝末节的处理上，都对代码的编写提出了规范的要求。

# EnergyTrace™ 技术

## 面向实时功耗调试的完整生态系统

Code Composer Studio 和 IAR 中的图形用户界面提供应用程序的能耗分布曲线 – 电流的消耗, CPU和外设的状态都可以随时追踪, 帮助识别功耗的黑洞



Learn more at [ti.com/energytrace](http://ti.com/energytrace)



这是真正有意义的创举。观察一下目前常用的调试系统, 一般都是 IDE 或开发环境与编程工具通信, 通过编程工具将代码下载到 MCU。基本都是单向的数据传输。且这些 IDE 与编程工具之间并不总是兼容的, 如果再考虑上其他调试设备备(如万用表, 示波器等)的成本, 那么整个调试系统的价格就变得非常昂贵了。

为解决这些问题, 并提升 MPS430 的使用体验, TI 提供了 Energytrace 平台。Energytrace 是一项非常出色的技术, 可利用 MSP-FET 调试器为任何 MSP430 MCU 生成实时的功耗测评。利用该技术, 开发人员可以将示波器, 万用表等工具与编程工具结合在一起, 并且可以通过 IDE 或其他开发环境实时直观地查看 MCU 在任何时刻的运行情况。

在进行低功耗应用的开发时, 更可以通过 Energytrace 技术, 实时的追踪整个系统在任意时刻的功耗, 发现不合理的功耗黑洞。

## 不仅仅是万用表！

- 宽泛的动态范围: 100s 从nA到mA
- 加快上市时间: 减少调试时间, 将更多的时间用于开发
- 降低开发成本: 一个单独的工具 (**MSP-FET**) 同时支持功率分析和程序调试

特点/设备	All MSP430 MCUs	MSP430FR59/69 MCUs
电流监测	X	X
CPU 状态 (PC)		X
外设/系统状态		X
命名	EnergyTrace™ technology	EnergyTrace++™ technology

Learn more at [www.ti.com/energytrace](http://www.ti.com/energytrace)



该工具的性能远远超过万用表。它具有从 nA 到 mA 的高动态范围, 可通过图形展示功耗在一段时间内的变化情况, 从而帮助简化开发。您只需花费 13 美元购买 FR4133 LaunchPad 即可免费使用该工具。

## 支持

- MSP 网页: [www.ti.com/msp430](http://www.ti.com/msp430)
  - 数据手册
  - 技术用户指南
  - 应用指南
  - 软件和工具的下载和升级
  - 订单评估和开发套件
- TI 设计: [www.ti.com/general/docs/refdesignsearch.tsp](http://www.ti.com/general/docs/refdesignsearch.tsp)
- MSP430 产品手册: [www.ti.com/msp430brochure](http://www.ti.com/msp430brochure)
- Engineer 2 Engineer 支持论坛: [www.ti.com/msp430forum](http://www.ti.com/msp430forum)
  - 新闻公告
  - 有用链接
  - 技术问题的提问
  - 技术内容的查找
- 43oh 在线社区: <http://www.43oh.com>



13



准备好开始了吗？MSP430 微控制器提供您需要的任何支持！我们的网站可提供一切您需要的资源，从数据表、代码示例、应用手册到您开发所需的所有硬件和软件设计文件的 TI Design，使得开发入门从未如此轻松。如果您有疑问，请访问 TI.com 的 MSP430 E2E 论坛，发布技术问题或简要搜索技术内容。43oh 社区也拥有丰富的资源，可用于协作和了解基于 MSP430 的项目。

感谢各位观看 MSP430FR4x 和 MSP430FR2x MCU 的技术培训手册！我希望大家能够初步的了解 MSP430 FRAM 家族的新成员，以及 TI 为 MSP430 家族提供的完整的开发生态系统，使大家的开发变得更加简单！请访问 [ti.com/fram](http://ti.com/fram)，了解更多信息，同时购买 MSP430FR4133 LAUNCHPAD，立即开始评估！

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接版权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独立负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独立负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated