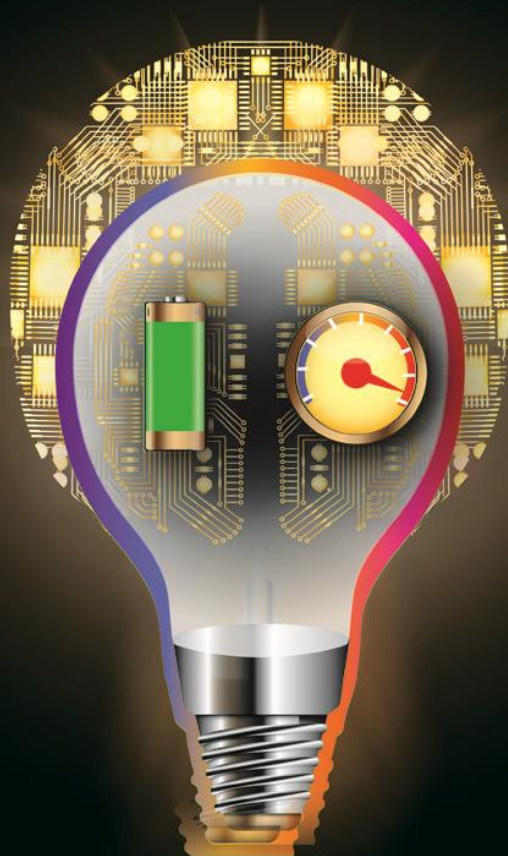


Introducing **MSP432™ MCUs**



Low Power + High Performance = A Bright Idea

MSP432 产品培训



Jin, Erya

Texas Instruments
Incorporated

MSP432 产品培训

[免费下载本文档](#)

[更多相关文档下载](#)

[观看在线培训](#)

目录

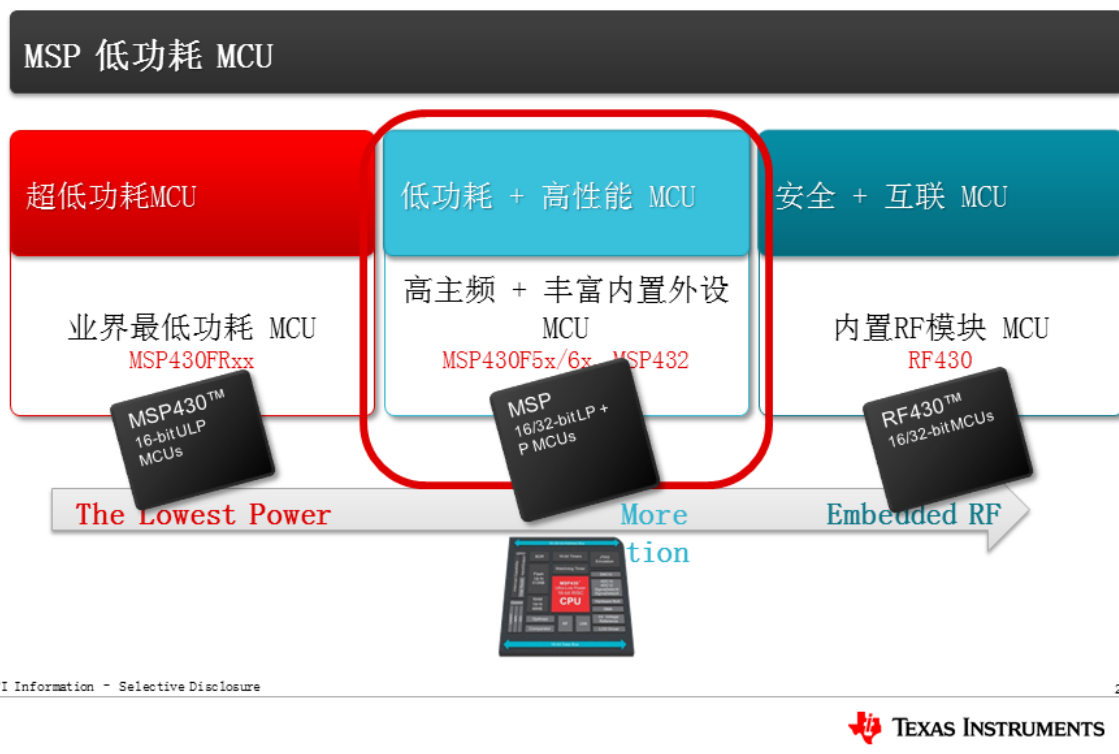
第一章 MSP432™ MCU 概览	2
第二章 Cortex-M4F 内核和中断	14
第三章 电源系统.....	20

未完待续

第一章 MSP432™ MCU 概览

本章节将主要对 MSP432 系列 MCU 的性能和特色进行一个概括性的介绍。

MSP 带来了全系列的低功耗微控制器产品



MSP432 系列 MCU 属于低功耗、高性能的微控制器。这个系列产品是 TI 的 MSP 低功耗微控制器系列中的产品，MSP 系列产品还包括我们的 FRAM 产品和安全与互联型 MCU（例如 RF430 产品）。MSP432 系列是最新的更高主频和更丰富外设通用微控制器产品。

客户常见问题 ... 解决!

提高芯片处理能力



32位 48MHz Cortex M4F 内核
与M3内核相比: 2x 的性能和 1/2 的功耗

低功耗



业界最低功耗的 Cortex M 内核通用微控制器
活跃模式下 95uA/MHz 待机模式下 850nA

工具 & 便于开发



易于使用的硬件和软件工具
提供 MSP 家族的低功耗和 ARM® 家族的高性能

可伸缩平台



无缝移植
在16位MSP家族和32位新产品间

TI Information - Selective Disclosure

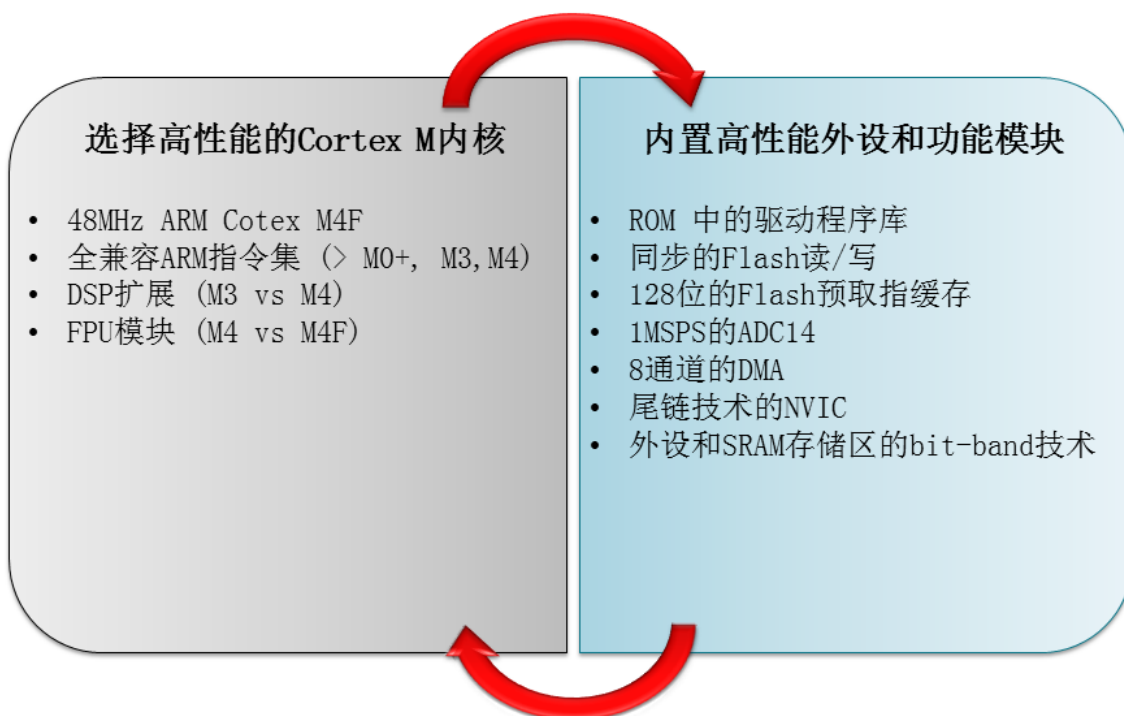
3



在实际应用中, 客户通常希望能解决哪些问题? 很多时候, 我们发现首先客户希望能提高处理能力。他们希望能进一步增强器件的功能、对数据的吞吐能力或模拟方面的性能, 或许他们也在进行 ARM 内核的标准化工作。同时, 他们还需要低功耗, 尤其是采用电池供电的应用, 或一些只需极少电量的应用情况下。第三, 他们也希望工具和软件能方便易用, 并能帮助他们优化性能及功耗。最后, 他们还需要产品拥有一个可扩展的平台, 让他们能够在低功耗产品与高性能产品之间自由切换。

MSP432 凭借 32 位的 48 MHz Cortex-M4F 内核让这些问题迎刃而解。此处理器可提供更高性能, 比如是 M3 内核的两倍性能, 而同时功耗只有一半。大家应该知道低功耗的概念根植于 MSP 的 DNA 中。我们已将此 MSP432 器件设计成超低功耗的通用型 Cortex-M 微控制器。在工作模式下功耗仅为 95 uA/MHz, 而待机功耗仅为 850nA, 其中包括了 RTC 的功耗。同时, 我们希望用户能充分利用 MSP430 的工具链, 以及 ARM 的工具链, 以获得最佳的高性能和低功耗。现在, 由于 MSP430 平台的延伸, 用户可以在 16 位内核产品和 32 位内核产品之间自由选择, 所有这些产品之间均具有无缝移植能力。

提升的处理性能



TI Information - Selective Disclosure

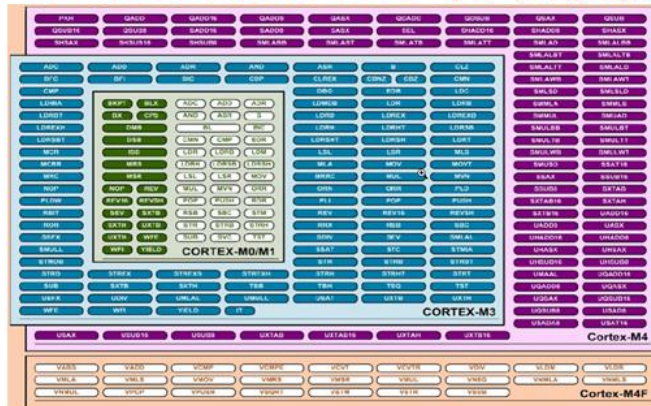
4



由于性能是 MSP432 的一个关键目标，因此我们选择了性能最高的 Cortex M 内核，这一点十分重要。Cortex -M4F 内核包含对完整 ARM 指令集的访问权限，此外还包含了 DSP 扩展指令和一个浮点 FPU 模块。

同时非常重要的一点是，我们在该器件内内置了高性能的外设和一些特色。例如，我们在 ROM 中预先烧录了驱动程序库。与调用位于 Flash 中的驱动程序库相比，现在您可以用更快的速度调用位于 ROM 中的驱动程序库。内置的闪存是独立的同步 Flash，允许用户同时进行读和写操作，而这通常是很花费时间的。另外，控制器中内置的模拟模块是我们目前为止速度最快的 1MSPS 的 14 位 ADC，这可以让您以更快的速度进行数据采样。

ARM Cortex M4F 内核优势



Cortex M3 vs. Cortex M4

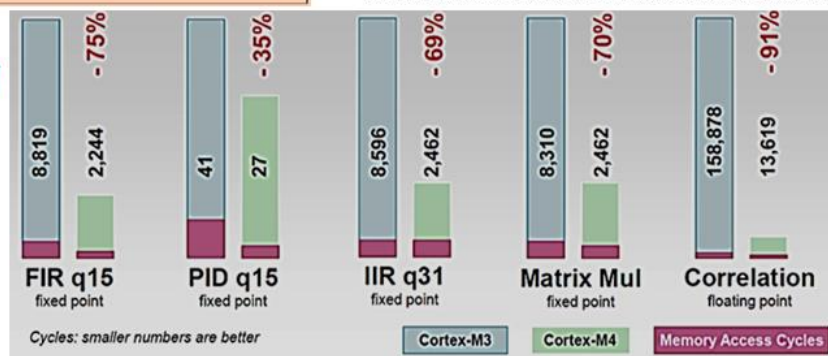
(SIMD + FPU) DSP 基准库:

- 定点 ~ 2x-4x 倍的速度
- 浮点 ~ 10x 倍的速度

Source: ARM CMSIS Partner Meeting Embedded World, Reinhard Keil

包含完整ARM指令集的
M4F内核

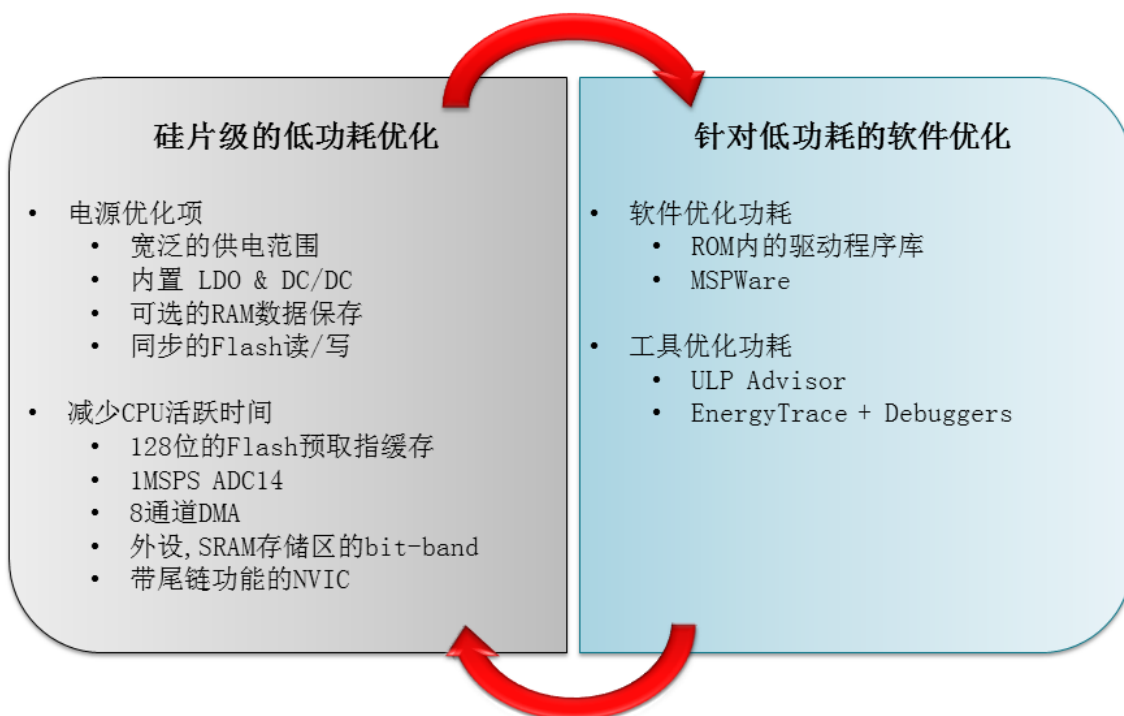
TI Information - Selective Disclosure



TEXAS INSTRUMENTS

与 M4、M3 或 M0+ 内核相比，您会看到 Cortex M4F 内核支持一个完整的 ARM 指令集。包括扩展的 DSP 指令和浮点处理指令。因此，您可以更高效地执行运算。从图中您可以看到，Cortex M4F 内核处理定点运算的速度是 M3 内核的两倍，而浮点运算速度比 M3 内核快十倍以上。

低功耗性能



TI Information - Selective Disclosure

6



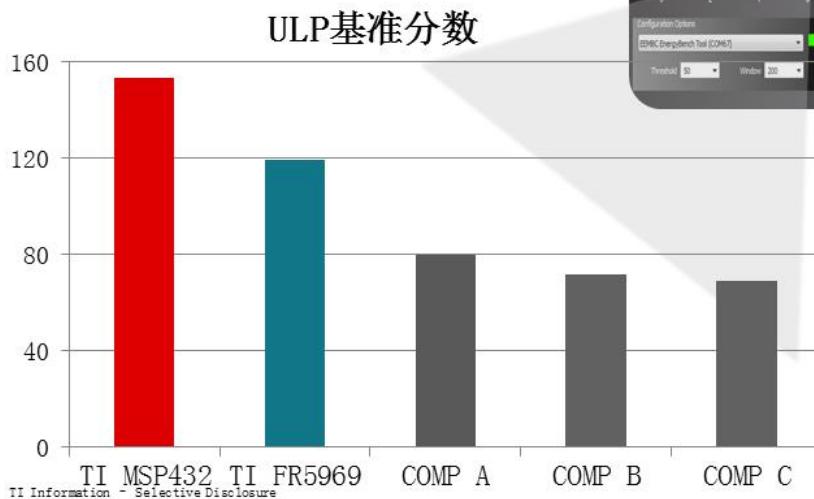
说到低功耗，首先我们对芯片在硅片的级别上就进行了低功耗优化。我们加入了宽工作电压范围等功能。MSP432 可在 1.62V 下工作，这包括全速代码运行以及闪存访问。我们还集成了 DC/DC 稳压器，让您在超过 24 MHz 的频率时提高工作效率。而闪存的缓冲器 NTMA 可帮您最大限度的减小 CPU 执行周期。

在器件具备低功耗性能的同时，我们也提供帮助实现低功耗的工具和软件。位于 ROM 中的驱动程序库所需要的功耗也低于在闪存中运行驱动程序的情况。而 TI 提供的诸如 ULP Advisor 和 Energy Trace+ 等工具可帮助用户优化代码，从而避免在不必要的情况下产生额外的功耗。

MSP = ULP



EEMBC' 的ULP基准测试提供了一个真正的微控制器的功耗和性能的比较



超越我们的竞争对手
90%的分数!

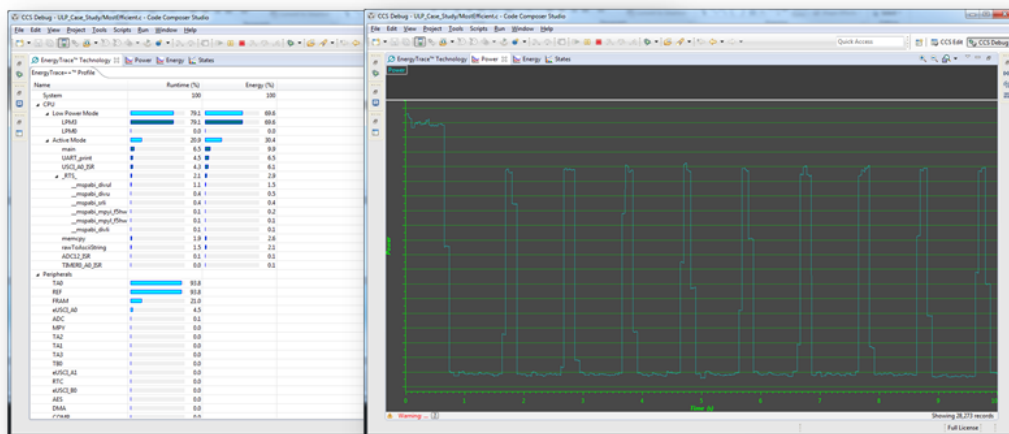
详细信息请参考
www.eembc.org/ulpbench



Coremark 的基准测试的开发组织 EEMBC 推出了称为 ULPBench 的全新基准测试，用于测量不同微控制器之间的超低功耗性能。在图中可以看到，MSP430 真正拥有标杆性的 ULPBench 得分，测试表明我们的 MSP432 产品具有最高的能效。此处的数值越高表明功耗越低。

EnergyTrace+™ 技术

- 为实时的调试功耗提供了一个完整的生态系统，加速产品投放市场的时间。仅需要极少的时间进行调试，可以花费更多的时间在产品开发上。
- 内置在TI的CCS开发环境(IDE)和IAR的系统开发环境内的图形用户界面为用户的应用提供了功耗的实时描述。
 - 电流消耗和CPU状态均可任意追踪，以帮助用户识别系统中的功耗黑洞



9



MSP432 提供了 **Energy Trace+** 等工具来实时的查看整个器件的功耗。您可以随时测量电流或检查 **CPU** 状态，并进行跟踪，从而确定在哪些处理中可能存在功耗黑洞。

MSP432™ 微控制器

优势

- **超低功耗的待机和活跃模式，以及快速的唤醒** — 95uA/MHz 活跃模式，850nA 待机模式；深度睡眠模式唤醒到活跃模式：<10us 典型值
- **宽泛的工作电压** — 1.62V-3.7V，包括Flash操作，使能了多电源技术，并且不需要外置变压器
- **内置高性能低功耗模拟外设** — 包括1MSPS 14位 ADC
- **安全 MCU 环境** — Flash的IP封装技术 & 内置的AES-256 加密模块
- **简化MSP430的移植** — 使用430的外设，模拟模块和低功耗模式，简化现有MSP430项目的软件移植

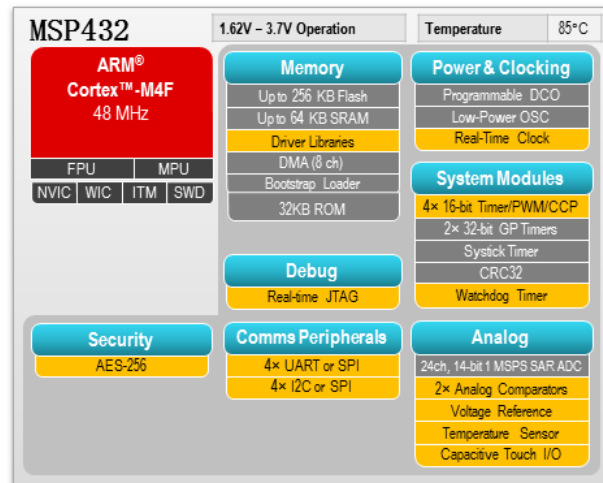
开发板



- LaunchPad**
- 用于评估和开发
 - 内置调试器
 - \$12.99



- Target Board**
- 用于专门项目的开发
 - \$89

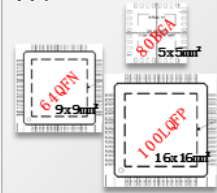


工具 & 软件

- **MSPWare** — 面向MSP430的C代码，用于外设和模拟模块的驱动
- **TI RTOS 支持**
- **ARM 第三方开发平台**
- **Code Composer Studio™, IAR, KEIL IDEs, and gcc**

和MSP430兼容

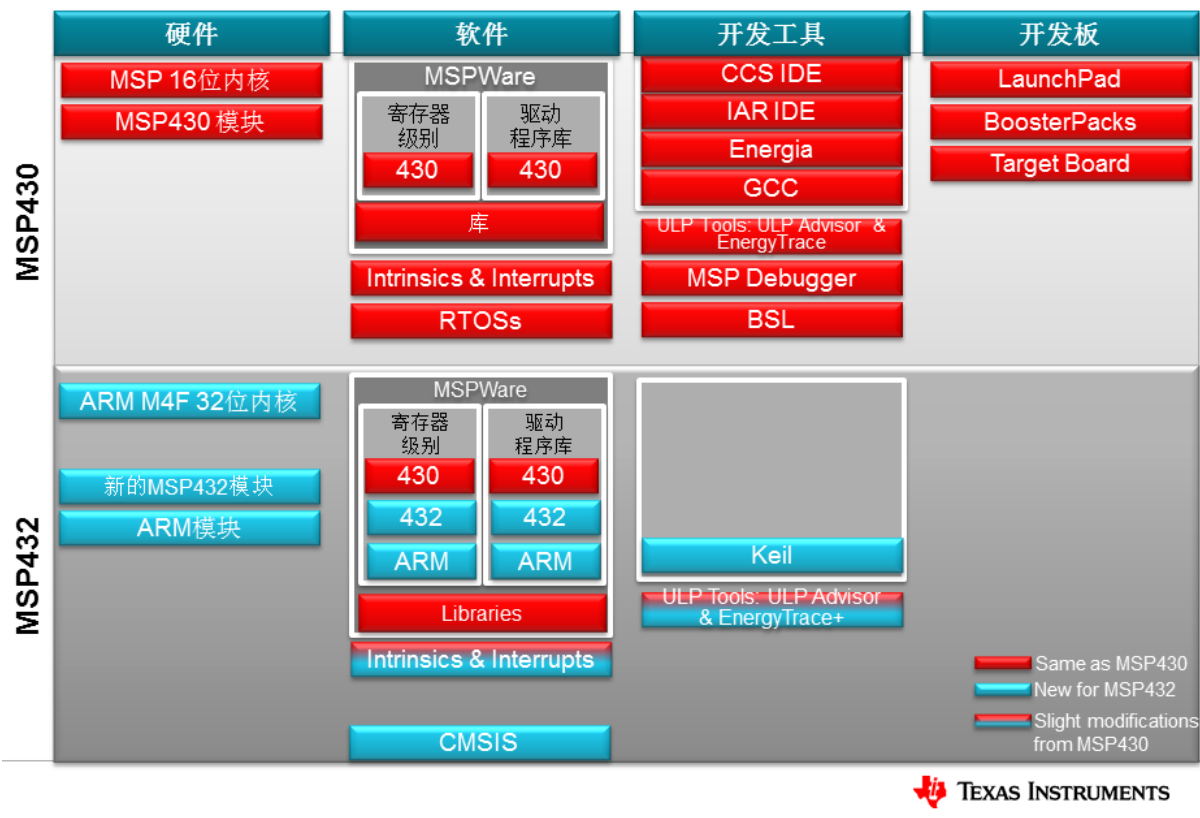
封装



10

上图是 MSP432 微控制器的框图，让我们更近距离的观察该器件。图中的橙色部分的外设与传统的 MSP430 中的外设相同，这一点对于想要将代码从 16 位 MSP430 器件移植到 32 位 MSP432 器件的用户而言十分重要。蓝色部分的外设则是 MSP432 中新增或者功能增强的外设部分。

MSP 平台



图中显示的是最新的 TI MSP430 平台，包括产品，软件，硬件和开发套件。现在，我们来看一下原有的 MSP430 用户如何开发 MSP432，有哪些部分可以无缝移植？可以看到，所有以红色标明的 MSP430 产品部分都与 MSP432 中的相同。您将发现，唯一不能进行移植的是内核，这是因为我们采用了 32 位的 ARM Cortex -M4F 内核。同时，MSP432 采用了一些新的组件。新的 432 模块和 ARM 模块，这些新模块都同时附带新的软件。您可以使用寄存器级的软件库或使用驱动程序库进行编程。ARM 用户则有机会利用 CMSIS 风格的编码，并且我们提供了一些新的 IDE。

MSPWare 概览

一站式技术指南：

- 用户指南
- 应用手册
- 深度技术培训
- 代码例程

File Name	Description
msp432p401_adc14_06	ADC14, Repeated Sequence of Conversions
msp432p401_adc14_10	ADC14, Sample A12 Temp and Convert to oC and oF
msp432p401_adc14_21	ADC14, Window Comparator, 2.5V ref
msp432p401_aes_01	AES256 Encryption & Decryption
msp432p401_comp_01	COMP output Toggle in Sleep Mode; input channel C01; Vcomp
msp432p401_comp_05	COMPE Hysteresis, COUT Toggle in SL; High speed mode
msp432p401_crc32_01	CRC32 in CRC16 mode, Compare CRC output with software-ba
msp432p401_cs_01	Output MCLK & ACLK @ DCO default frequency
msp432p401_cs_02	Configure MCLK for 12MHz operation
msp432p401_cs_03	Device configuration for operation @ MCLK = DCO = 48MHz
msp432p401_cs_06	LFXT sources ACLK. Toggles P4.2
msp432p401_euscia0_uart_01	eUSCI_A0 UART echo at 9600 baud using BRCLK = 12MHz
msp432p401_euscia0_uart_03	USCI_A0 External Loopback test @ 115200 baud
msp432p401_euscia3_spi_09	eUSCI_A3, SPI 3-Wire Master Incremented Data

TI Confidential

TEXAS INSTRUMENTS

MSPWARE 作为一站式服务，为您提供所有必要的技术配套资料。您在此处可以看到，所有的用户指南和数据手册、培训、应用手册和代码示例都包含在 MSPWARE 中。这是您进行评估和代码开发的最佳起点。

MSP432 LaunchPad 介绍

开发低功耗高性能的应用

特色

- 低功耗，高性能的 MSP432P401R 微控制器
- 40 脚 BoosterPack 插座，支持 20 脚的 BoosterPacks
- 板上 XDS-110ET 仿真器，支持 EnergyTrace+ 技术
- 2 个按键和 2 个 LED
- 支持 USB 转串口到 PC

开发包包括

- 带有演示程序的开发板
- USB 电缆
- 快速启动指南

软件

- MSPWare 提供示例代码，用户指南，应用手册，培训和更多。。。
- 开机提供 LaunchPad GUI



MSP-EXP432P401R
\$12.99

 **TEXAS INSTRUMENTS**

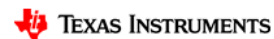
用户可以使用 MSP432 Launchpad，这是价格仅为 12.99 美元的一体化工具，其中包括板上仿真器以及包括按钮和 LED 在内的用户界面，并通过 USB 连接到您的电脑。这是评估 MSP432 的最佳途径。具体做法是尝试使用示例代码和即开即用的 GUI，开始着手进行您自己的软件开发。

MSP432 器件选择

Part Number	Flash (KB)	SRAM (KB)	ADC14 Chan	Comp-0 Chan	Comp-1 Chan	Timer A	eUSCI		20mA Drive I/O	Total I/O	Package Type
							Chan A: UART/ IrDA/SP I	Chan B: SPI/I2C			
MSP432P401RIPZ	256	64	24/ext 2/int	8	8	5, 5, 5, 5	4	4	4	84	100 LQFP 16x16mm
MSP432P401MIPZ	128	32	24/ext 2/int	8	8	5, 5, 5, 5	4	4	4	84	100 LQFP 16x16mm
MSP432P401RIZXH	256	64	16/ext 2/int	6	8	5, 5, 5	3	4	4	64	80 BGA 5x5mm
MSP432P401MIZXH	128	32	16/ext 2/int	6	8	5, 5, 5	3	4	4	64	80 BGA 5x5mm
MSP432P401RIRGC	256	64	12/ext 2/int	2	4	5, 5, 5	3	3	4	48	64 QFN 9x9mm
MSP432P401MIRGC	128	32	12/ext 2/int	2	4	5, 5, 5	3	3	4	48	64 QFN 9x9mm

TI Information - Selective Disclosure

14



MSP432 系列有六种不同的器件供选择。带 R 的器件具有 256k 闪存和 64kRAM，而带 M 的器件则有 128k 闪存和 32kRAM。您将看到 TI 提供三种不同的封装类型，可以根据具体应用选择最适合的选项。最小的是 5*5mm 的 BGA 封装，此外还有 64QFN 和 100LQFP 封装。

第一部分的简要介绍到此结束。

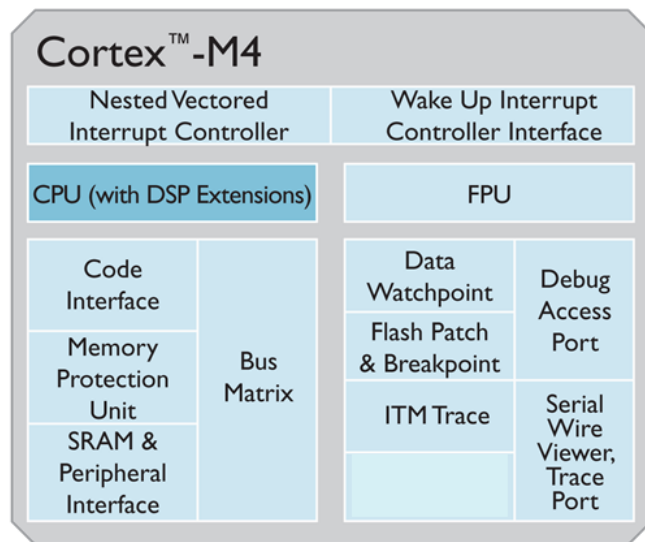
第二章 Cortex-M4F 内核和中断

在第二章中，我们将简要的介绍 MSP432 的内核 Cortex-M4F，以及中断系统。

MSP432 | 32位 Cortex-M4F



- 32位指令架构
- Cortex-M4 带DSP扩展指令集
- 浮点运算单元FPU
- 标准 Cortex-M 调试模块，串行调试接口，支持ITM Trace
- 内核模块包括DMA, SysTick, 和Interrupt (NVIC)



2



MSP432 的内核 使用 32 位的 Cortex-M4F 内核。该内核具有 32 位的数据总线、32 位的寄存器组和 32 位的存储器接口。内核采用 Harvard 架构，这意味着它拥有独立的指令总线和数据总线。这样一来，对指令和数据的访问可以同时进行，数据访问的过程不会影响或干扰指令的流水线，因此可以提升处理器的性能。此特性使得整个 Cortex - M4F 内核中有多个总线和接口，每个总线和接口均可同时使用，以实现最佳的利用率。数据总线和指令总线共享同一存储空间，此空间称为统一的存储系统。

此外，MSP432 选择的 Cortex-M4F 内核，该内核还包含一个可嵌套的中断向量控制器，简称 NVIC。它还包含一个浮点单元 (FPU) 以及随 Cortex-M4 内核一起提供的增强型 DSP 指令集。

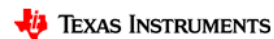
从调试器的角度来看，内核中拥有一个标准化的 **Cortex-M** 调试器模块、一个 **COI** 调试模块以及 **ITM** 跟踪模块支持。

由于这是一个 **Cortex M** 内核，因此它还继承了大量来自 **Cortex** 和 **ARM** 产品的外设，其中包括 **uDMA**、**SysTick** 和中断管理器。

Cortex-M | 内核兼容

Cortex-M	Thumb	Thumb-2	HW MPY	HW DIV	Saturated math	DSP-extensions	FPU	ARM architecture
Cortex-M0	Most	Subset	1 or 32 cycle	No	No	No	No	ARMv6-M Von Neumann
Cortex-M0+	Most	Subset	1 or 32 cycle	No	No	No	No	ARMv6-M Von Neumann
Cortex-M1	Most	Subset	3 or 33 cycle	No	No	No	No	ARMv6-M Von Neumann
Cortex-M3	Entire	Entire	1 cycle	2-12 cycles	Yes	No	No	ARMv7-M Harvard
Cortex-M4	Entire	Entire	1 cycle	2-12 cycles	Yes	Yes	Optional Yes for MSP432	ARMv7E-M Harvard

3



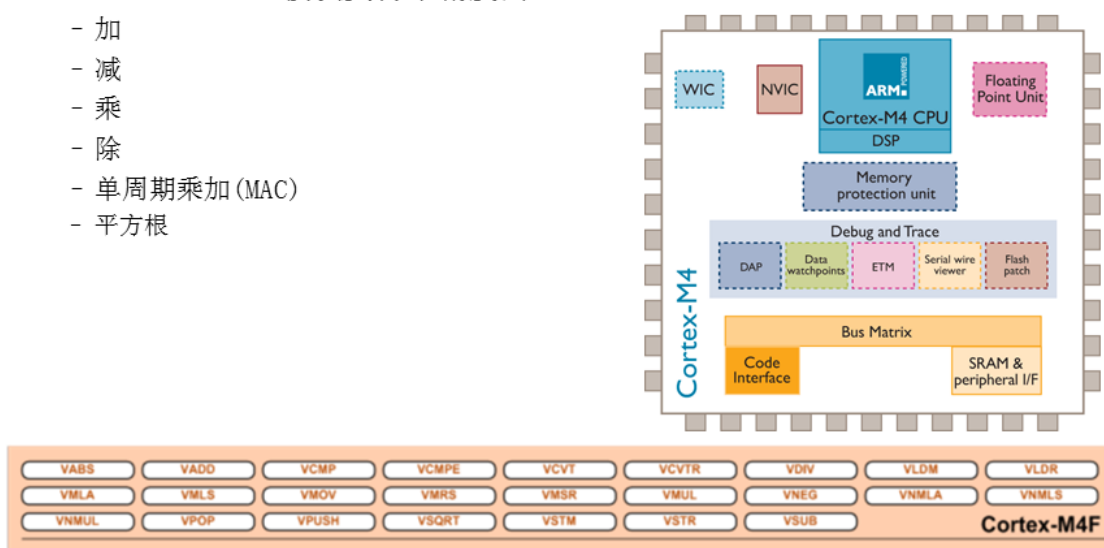
图片中为您概要的介绍了从 Cortex M0 到 Cortex M4 的不同 Cortex M 内核类型的差异。您可以看到，我们选择的 Cortex-M4F 内核提高了内核的复杂性，向指令集添加了更多指令，并增加了其他特性，如硬件乘法器、硬件除法器、饱和运算能力、DSP 指令扩展以及一个浮点单元。您可能还注意到，从 Cortex M0 和 M0+ 到 M3 和 M4，ARM 架构从 Von Neumann 架构变为了 Harvard 架构，这一过程使得内核在指令总线之外增加了一个数据总线。

您可以注意到，我们之所以为 MSP432 选择 Cortex -M4F 内核，是因为 Cortex -M4F 在增加了更多性能和功能的同时仅增加了极少的功耗。这一点将在后续的介绍中进行说明，届时将展示在 MSP432 上采用 Cortex M4F 的结果。

FPU | 浮点运算单元



- FPU模块提供全兼容IEEE 754标准的浮点运算性能
- 支持定点数据和浮点数据的格式转换，支持浮点常量指令
- Cortex-M4F FPU 模块支持单精度的：
 - 加
 - 减
 - 乘
 - 除
 - 单周期乘加 (MAC)
 - 平方根



TEXAS INSTRUMENTS
Modes of Operation...

最后，MSP432 系列选择的 Cortex M4F 内核中的另一增项是浮点单元。Cortex M4F 内核的 FPU 完全支持浮点的加法、减法、乘法、除法和平方根等运算。需要注意的一点是，大多数编译器中已自动启用对 FPU 的支持，因此无需任何操作即可在用 MSP432 进行开发的过程中使用浮点运算。

MSP432 | CoreMark = 3.41CM/MHz

内核	器件	CoreMark
Cortex-M4	MSP432	3.40.
	Competitor A	3.34 [168MHz-0hs, --no_size_constraints]
Cortex-M3	Competitor A	2.98
	Competitor B	2.15
Cortex-M0+	Competitor C	2.28
	Competitor B	2.07

测试条件

- 使用IAR进行数字测算
- 3MHz, VCORE=0活跃模式

*Source: MSP-Benchmark twiki₅

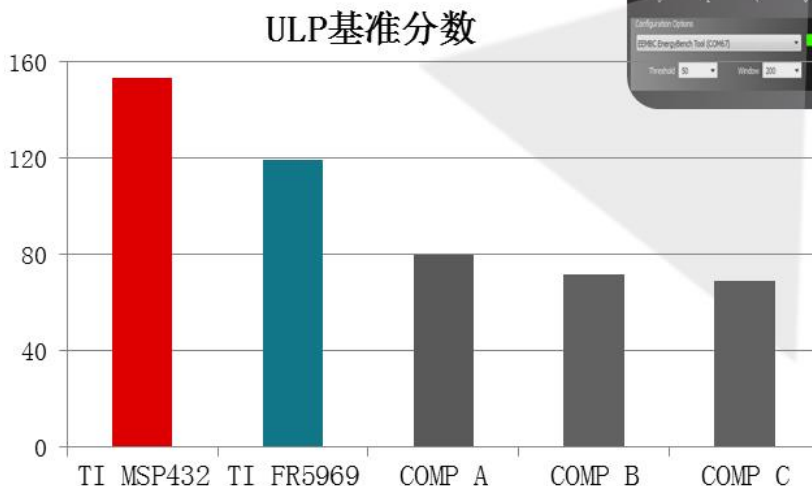
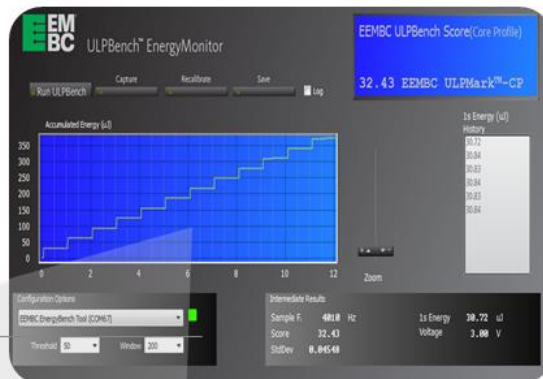


由于 MSP432 采用的是标准化的内核，因此最好以标准化的方式测试其性能。CoreMark 是一种用来测量处理器内核性能的标准化基准测试。CoreMark 由嵌入式微处理器基准协会 EMBBC 所开发，旨在帮助系统设计人员选择最佳处理器并了解系统的性能和能耗特征。MSP432 基本上获得了 Cortex-M4F 平台上可能达到的最高分数。我们认为这是最高分数，因为我们知道这是一个理想的 Cortex-M4F 内核方案才可能达到的分数。**ARM 网站的 Cortex-M4F 页面上也显示了与此类似的信息。**

MSP = ULP



EEMBC' 的ULP基准测试提供了一个真正的微控制器的功耗和性能的比较



超越我们的竞争对手
90%的分数!

详细信息请参考
www.eembc.org/ulpbench



除了 CoreMark, EEMBC 还开发了另一种基准测试, 用于测量微控制器的超低功耗特性。ULP Bench 包含一组测试, 通过执行适用于 ULP 应用的预定义任务来测量器件的功耗。ULP Bench 发布于 2014 年底, 此后成为了业内对通用微控制器进行低功耗基准测试的标准方法。这项基准测试的测量方法如下: 每秒钟唤醒一次微控制器来执行预定义的工作, 一旦工作完成, 微控制器需要返回睡眠状态, 一秒后再唤醒。在这一秒期间会测量整个系统完成任务所消耗的总功耗。其结果是, 能耗越低, 微控制器甚至整个系统就越优秀。为了使分数对读者更直观一些, 该分数实际上是用一千除以测得的总能耗(微焦耳)的结果。

您可以看到, 对于 MSP 器件而言, 这一结果确实令人印象深刻。从图中可以看出, MSP432 达到了全球迄今为止最高的 ULPBench 分数 153.3 分, 这一成绩优于竞争产品, 包括 Cortex-M4、Cortex-M3, 一直往下包括 Cortex-M0+ 内核的产品, 以及其他专有架构产品。这一结果表明, 高性能并不总是意味着高功耗, 在应用得当的情况下, 诸如 Cortex-M4F 的更高性能内核仍然可以比其他简化内核拥有更低的功耗。

第二部分关于内核和中断的简要介绍到此结束。

第三章 电源系统

电源 | 特性概览



- 宽泛的工作电压范围 1.8V+/-10% 工作时: 1.62V-3.7V
- 2个内核工作电压 可根据频率进行选择
 - 1.2V: 1-24MHz
 - 1.4V: 1-48MHz
- 2个内置调压器 可根据需要供电
 - LDO: 默认调压器
 - DC/DC: 额外的调压器用于获得更好的工作性能 @ 高频工作
- 供电电源监测
 - 在低功耗模式LPM3/4/x.5下以低性能工作以节省功耗
- 驱动程序库-辅助的进行电源调整和配置

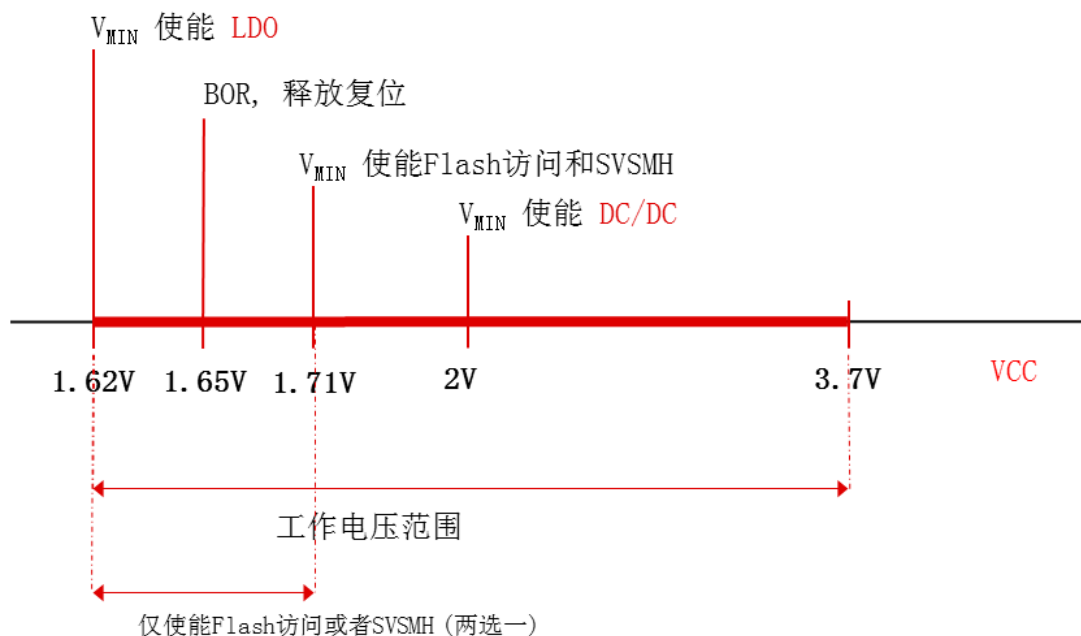
从整体功能来说，MSP432 的电源系统使用一个非常宽泛的工作电压，您可以在从 1.62V 一直到 3.7V 的电压范围下使用该器件。系统内可以选择的内核工作电压有两个，可以通过所需的功率来进行选择，以便实现最佳的功耗和性能的平衡。例如，如果应用需要在 1 - 24MHz 之间运行系统，可选择使用 1.2V 内核电压；如需要在 1 - 48Mhz 之间运行系统的话，为了提升效率，可使用 1.4V 内核电压。

要产生内部的内核电压，可使用内部电压稳压器。与 MSP430 系列产品保持一致，我们使用超低功耗的稳压器。这是一种可以调节电压的稳压器。另外，除了 LDO，我们还将提供 DC/DC 稳压器。这种额外提供的稳压器在高频和高负载的工作条件下非常出色。

与 MSP430 系列相比，电源电压监控器和受监控模块也进行了优化。我们增加了低功耗性能模式，从而在 LPM3、LMP4 和** 5 模式下展现出极低的功耗。

最后需要注意的一点，这也可能是最重要的特性：所有的电源转换、配置和操作均可调用驱动程序库 API 来完成。

电源 | 工作条件

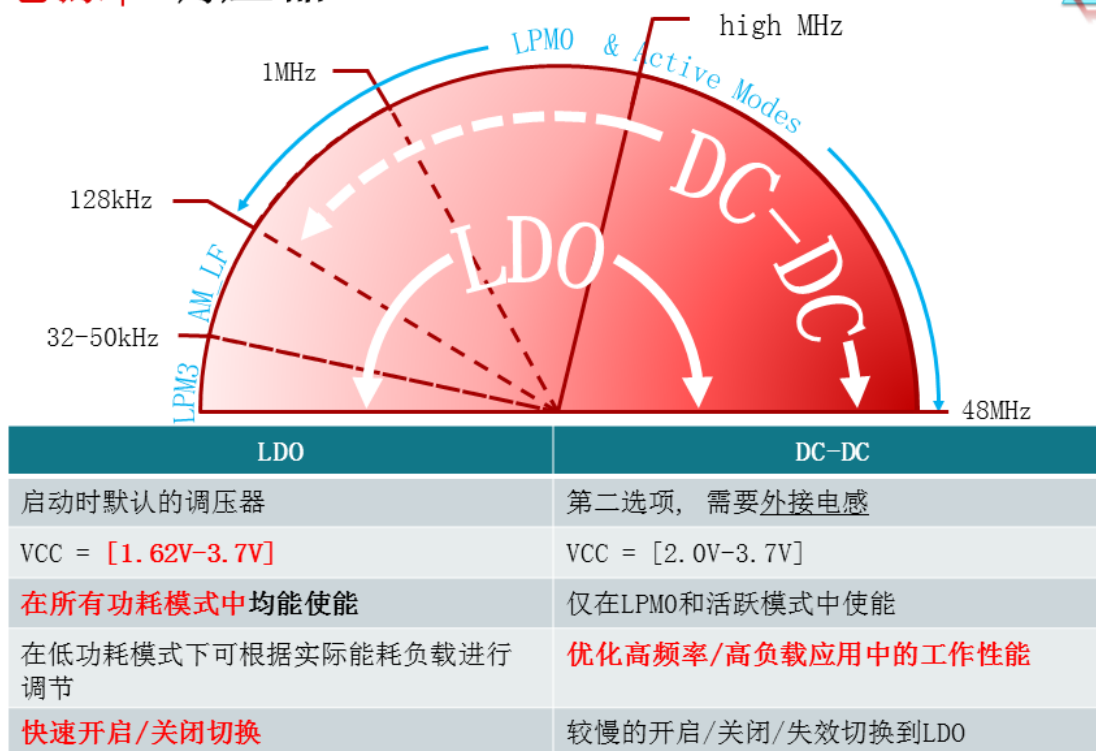


3

TEXAS INSTRUMENTS

我们在前面讲过，MSP432 具有从 1.62V 到 3.7V 的宽工作电压范围。但是，启动电压要求为 1.65V；在 1.71V 时，闪存访问和电源电压监控均可使用。DC/DC 稳压器必须在 2V 以上的电压时才能工作。LDO 则可以在低至 1.62V 的电压下开始工作。

电源 | 调压器：LDO & DC-DC



TEXAS INSTRUMENTS

芯片内部提供两种内部电压稳压器：**LDO** 和 **DC/DC** 稳压器。默认情况下，在启动时始终选择 **LDO** 稳压器。这是最通用的稳压器，因为它的工作电压可以从 **1.62V** 一直到 **3.7V**。**LDO** 可用于所有的低功耗模式和正常活跃模式中。它还非常灵活并可扩展，能够根据所使用的低功耗模式产生不同的输出负载。**LDO** 还支持快速开关、切换操作，当您的应用需要在活跃模式与低功耗模式之间频繁切换时，这种特性会带来极大的便利。

另一方面，**DC/DC** 稳压器作为辅助稳压器，它还需要外接一个电感器，因此需要在系统中考虑额外成本。它的工作电压范围比较小，从 **2V** 开始一直到 **3.7V**。**DC/DC** 稳压器只能用于 **LPM0** 模式以及活跃工作模式。因此，虽然在工作电压范围方面存在不足，但其优点在于效率，极其适合高速和高负载的应用工作。**DC/DC** 稳压器还需要较长时间从 **LDO** 切换 开启和关闭。如果 **Vcc** 降至 **2V** 以下，**DC/DC** 稳压器将自动开启失效防护及切换模式，并返回到 **LDO** 供电。而一旦 **Vcc** 再次升至 **2.0V** 以上，此时将自动切回 **DC/DC** 稳压器供电。

MSP430 & 432 低功耗模式

MSP430	MSP432	行业/ARM 描述	标注
活跃模式	活跃模式	活跃模式	CPU和外设都使能
	低频活跃模式	低频运行	CPU和外设 <128kHz
LPM0	LPM0	睡眠模式	外设使能, CPU关闭
	低频 LPM0		睡眠 + CLK < 128kHz
LPM1	N/A		
LPM2	N/A		
LPM3	LPM3	深度睡眠 (ARM) 待机 支持RAM和RTC	A/BCLK, <32kHz, 部分外设使能
LPM4	LPM4	待机 支持RAM	无时钟, 部分外设使能
LPM3.5	LPM3.5	关机	RTC 不支持RAM
LPM4.5	LPM4.5	关机	关闭

5



现在, 让我们快速的了解一下 **MSP432** 各种灵活的功耗模式。**MSP432** 系列引入了您可能在 **MSP430** 上看到的类似功耗模式, 其中包括工作模式、LPM0、LPM1、LPM3.5 和 LPM4.5 等模式。但此系列还新引入了两个低功耗模式。

首先, 让我们从工作模式开始。在工作模式下, 可以根据所需的功耗和性能, 选择不同的内核电压。当系统需要在 0-24MHz 之间运行时, 可使用 **Vcore 0** 内核电压。此时可使用任意稳压器: **LDO** 或 **DC/DC** 稳压器。为了在较高得工作频率下实现高性能, 例如系统运行在 24-48MHz 之间时, 强烈建议此情况下采用 **DC/DC** 稳压器。使用 **LDO** 时, 电流消耗约为 166uAh, 而在工作模式下的电流消耗约为 100mAh。

MSP432 引入了两种新模式, 这两种新模式均为低频模式。低频模式属于特殊模式, 这种模式保持系统中的所有部分都处于工作状态, 这可能包括 **CPU**。但是, 所有时钟必须小于或等于 120KHz。这样一来, 整个系统的电流消耗为 70uAh 或更少。

LPM0 模式与 MSP430 的 LPM0 模式很相似；在此模式下，除 CPU 和主时钟外的所有外设和时钟均处于工作状态。在此模式下，电流消耗介于 65-100uA/MHz 之间，具体取决于所使用的稳压器。

接下来的 LPM3 和 LPM4 也是您以前可能在 MSP430 上见过的低功耗模式。在这些模式下，系统的所有部分都必须工作在至少 32KHz 的频率下。在该模式下，CPU 处于关闭状态，SRAM 数据保留，RTC 看门狗和 GPIO 口均处于工作模式。这些工作的部件均可作为可能的唤醒源，可以唤醒器件，并使器件进入工作模式。在 LPM3 模式下，MSP432 的功耗约为 850nA。

最后但也最重要的是，LPM3.5 和 LPM4.5 同样类似于 MSP430 的相应模式。在这些模式中，整个系统均被关闭。在 LPM3.5 模式下，SRAM 数据仍可保留，但内核逻辑和所有其他部分均关闭，必须且只能由 RTC 来管理低功耗模式持续的时间。在 LPM3.5 模式下，可通过 RTC 中断，或者通过其他端口的中断事件来唤醒器件。在 LPM3.5 模式下，也可通过复位或 GPIO 口使器件恢复工作状态。

电源 | 软件 & 中断支持

- 混合了Cortex-M内核的睡眠模式和中断处理机制
- 通过Cortex-M CMSIS指令进入 LPM0/睡眠模式
 - `__wfi()`
- 通过Cortex-M CMSIS和MSP-DNA指令进入 LPM3/深度睡眠模式
 - `__deep_sleep()`
- 驱动函数库调用：
 - `PCM_setPowerState()` 可在各状态间切换
 - `PCM_shutdownDevice(PCM_LPM45);`
 - `PCM_gotoLPM0();`
 - `PCM_gotoLPM3();`
 - `PSS_enableHighSide();`
 - `PSS_setHighSidePerformanceMode();`



有必要记住的一点是，MSP432 将 MSP 与 Cortex M 架构完美融合，可以使用同这两种架构相同的睡眠和唤醒机制来唤醒器件或者进入睡眠状态。您可以使用多种方法来指示器件进入睡眠状态或唤醒。您可以使用 Cortex M 的 CMSIS 指令，例如 `_`。您也可以按照 MSP 固有的惯例，例如 `GoTo LPM0` 或 `GoTo LPM3` 来进入各种低功耗模式。除了固有惯例，我们还提供了一组驱动程序库的调用 API，让您轻松进行模式切换。

最后在本章讲解电源部分需要牢记的一点，也希望这是您记住的最重要的一点：有一个名为 `PCM_SetPowerSave` 的非常强大的驱动程序 API，这个简单的 API 可让您在器件内的所有可用功耗模式之间自如转换。通过它您可以更改功耗模式、更改 `Vcore` 选项 以及在 DC/DC 稳压器和 LDO 之间切换。

MSP432 培训系列的第三部分关于电源的讲解到此结束。

未完待续。。。。。