

编者注:2004 年和 2005 年本刊连续刊登了 TI 公司 MSP430 微控制器实用技术讲座,从理论上叙述 MSP430 微控制器各模块功能,结合 IAR 公司集成开发环境讲述 MSP430 软件调试系统。引起了读者很大反响,为了使读者更全面地了解微控制器应用,本刊今年将与 TI 公司 MSP430 微控制器国内首家增值代理商——利尔达科技有限公司合作,再次开设针对 MSP430 微控制器模块应用、系统设计的技术讲座,由浅入深在各模块功能基础上讲述系统方案设计及应用,为广大电子工程师和电子爱好者提供设计参考,引导广大读者将 MSP430 微控制器系统设计方案扩展应用于其它领域。

针对这次《MSP430 微控制器讲座》,我们联合利尔达科技有限公司与读者展开一次互动活动,每期讲座最后附有一张“MSP430 样品、学习板或开发板套件申请表”,如果您正对 MSP430 微控制器感兴趣或者您想在 MSP430 微控制器领域有更深入的研究、应用,请您认真、如实填写该附表,将有机会免费获得由利尔达科技有限公司提供的 MSP430 样品、学习板或开发板套件。

MSP430 微控制器讲座

(一)

如何选择一款超低功耗微控制器

雷奥

在电池供电的系统设计中,整体低功耗已经是一个不容忽视的问题。目前,诸多 MCU 厂家不断推出“超低功耗”、“绿色”等关键字眼的微控制器系列,然而,我们在参考这些 MCU 数据手册时一般并不能看出该款 MCU 在实际工作运行时到底低功耗到什么程度。例如,我们能看到 MCU I/O 口关闭时漏电流值低到多少微安,但却不知道 I/O 口工作时的电流究竟有多大。我们在讲述 MSP430 微控制器各个模块应用之前,先来探讨如何从众多微控制器系列中选择一款超低功耗 MCU,主要从以下几方面综合考虑:睡眠模式、系统平均电流、时钟系统、中断、片内外设、BOR 保护、管脚漏电流、处理效率。

睡眠模式

系统睡眠模式在实现超低功耗设计中起着关键性作用,不同工作模式选择不同超低功耗睡眠模式。

以 MSP430 微控制器为例,系统提供一种活动模式、LPM0~LPM4 五种睡眠模式,如图 1 所示,LPM0 模式:关闭 CPU;LPM1、LPM2 模式:通过开启、关闭不同时钟源控制系统功耗;LPM3 模式:时钟开启时的最低功耗模式,仅低频时钟(如 32768kHz)处于运行状态。LPM3 模式常用于实时时钟、液晶显示等,通过外接 32768Hz 低频晶振作为定时器时钟源,周期性将 CPU 从睡眠模式唤醒,进入活动模式,工作电流小于 $1\mu\text{A}$;LPM4 模式:关闭所有时钟和外围模块,电流仅 $0.1\mu\text{A}$,系统功耗降到最低。Lpm4 模式工作时只保存 RAM 区数据,CPU 只能通过 I/O 口外部中断唤醒。

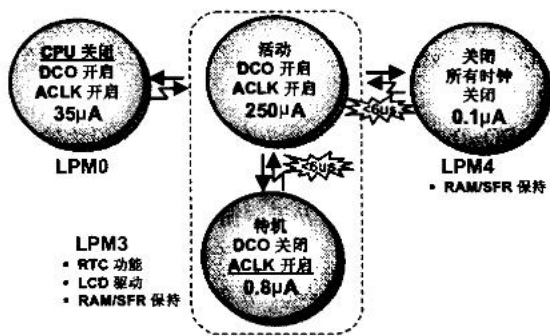


图 1

系统平均电流

系统平均电流最终决定低功耗系统的电池使用寿命。

当系统处理由于中断或其它事件引起的任务时,会产生很大的瞬时工作电流,如果 MCU 能在很短时间里处理完这些突发事件,又能在极短时间内回到低功耗模式,那么系统的平均电流将不会有太大影响。如图 2 所示,大部分时间系统处于静态睡眠模式,工作电流 $2\mu\text{A}$,每 1s 内有 1ms 处于活动模式状态,工作电流 1mA ,系统 1s 内平均电流 I 等于静态模式 I_1 与活动模式电流 I_2 之和: $I_1=2\mu\text{A} \times (1000-1)\text{ms} \times 10^{-3}=1.998\mu\text{A}$, $I_2=1\text{mA} \times 1\text{ms} \times 10^{-3}=1\mu\text{A}$, $I=1.998\mu\text{A}+1\mu\text{A}=2.998\mu\text{A}$,即系统在活动模式电流比较大,但是 CPU 能在极短时间内处理完该事件,活动状态电流大小对系统平均功耗影响并不大。

以 MSP430 微控制器实现 RTC (实时时钟) 功能为例,CPU 3V 电池供电,正常运行时 MCU 处于 LPM3 睡

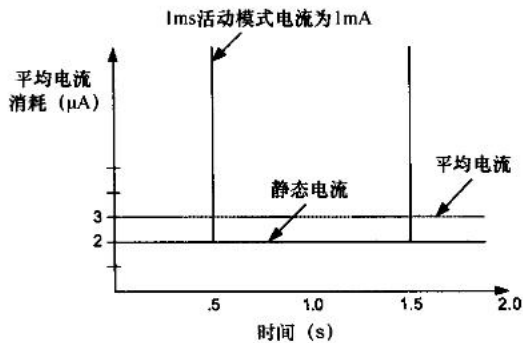


图2

眠模式，功耗为 $0.8\mu\text{A}$ ，每 1s 产生一次中断，CPU 从睡眠唤醒进入活动模式（活动模式以 1M 主频晶振运行，功耗约 $250\mu\text{A}$ ），以 $100\mu\text{s}$ 刷新显示时间，然后再次进入 LPM3 睡眠模式，则 RTC 系统平均功耗

$$= (\text{LPM3})\text{功耗} + (\text{RTC_Udata})\text{功耗}$$

$$= 0.8\mu\text{A} + 250 \times (100\mu\text{s} / 1000000\mu\text{s})$$

$= 0.83\mu\text{A}$ ，如果用 200mAh 的纽扣电池供电，该 RTC 系统可以持续工作 20 年以上。

时钟系统

MCU 内部的时钟系统也是实现超低功耗系统的关键性要素，很多时候在实际设计中并没有给予足够的重视。

一方面，MCU 时钟系统产生的丰富时钟源作为不同外围设备的时钟，当 CPU 进入睡眠模式后，并不会影响其它外围设备正常工作，节省系统功耗。例如：A/D 转换需要高速率的时钟，MCU 时钟系统为 A/D 转换模块提供独立、高速的时钟，当 CPU 进入睡眠模式后 A/D 转换仍然运行。

另一方面，系统在处理诸多突发事件时进入、退出低功耗模式的响应速度、处理数据速度与效率都必须建立在稳定的时钟源基础之上。很多突发事件在每秒内进入和退出各种低功耗模式几次甚至几百次，此时 MCU 时钟系统的响应速度至关重要，大部分低功耗 MCU 响应速度都在十几甚至几十微秒。如果微控制器从退出低功耗模式到 CPU 时钟稳定能正常处理事件的这个过程非常漫长，那么系统的大部分功耗就消耗在等待时钟稳定的过程中，无法实现低功耗的目的，甚至某些重要任务会因 CPU 时钟不能按时响应而丢失。

MSP430 微控制器从睡眠模式到 CPU 全速执行（如以 8MHz 主时钟运行）的唤醒时间小于 $6\mu\text{s}$ ，最新 MSP430 微控制器唤醒时间小于 $1\mu\text{s}$ 。系统以 8MHz 晶振工作，中断事件到来时从睡眠状态唤醒到稳定全速运行状态仅需 292ns ，波形如图 3 所示。

中断

系统处理任务的能力与时钟系统的灵活能力密切相

关，超低功耗 MCU 应具备能瞬时处理由内部模块和外围模块引起的所有中断事件的能力。

当 MCU 接收到中断信号后立即退出低功耗模式进入活动模式状态，灵活运用时钟系统处理突发事件，也可以运用查询方式处理突发事件。当运用查询方式判断任务的到来时，需消耗大量时间，查询时间越长，CPU 全速运行时间越长，系统功耗也就越大。

以按钮或键盘为例，没有中断功能的 MCU 须循环轮流检测判断是否有按钮或键盘按下，CPU 轮流检测时处于全速运行状态，本身需消耗电流，另外，控制轮流检测的时间间隔也需额外电流；相反，如果运用中断检测按钮或键盘，CPU 一直处于睡眠状态，直到有按键按下再唤醒处理按键中断事件，大大降低系统功耗。

MSP430 微控制器提供 16 个 I/O 口中断和所有片内模块中断，如定时器 A、定时器 B 及 ADC12 等一些外设，具备多级中断并能灵活处理不同级别的中断事件。

片内外设

片内外设是指集成在 CPU 内部的功能模块，如：ADC、UART、Timer、LCD 等，选择超低功耗 MCU 时

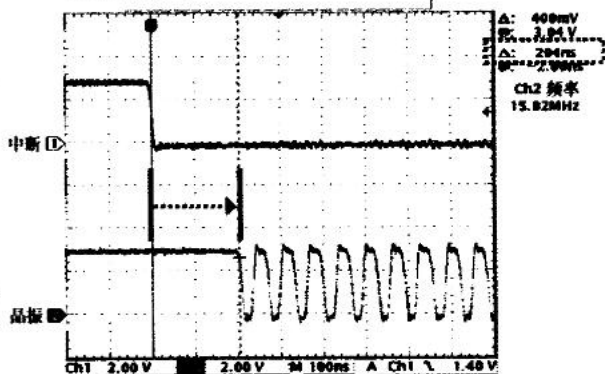


图3

必须考虑这些外围模块的电流消耗。

MSP430 微控制器从刚起步就将超低功耗的结构设计到外围模块中，通过软件控制某些外围设备的使能，更重要的是许多内部模块具有自动使能功能，当有中断或外部信号触发时自动使能运行，不使用时自动关闭，不消耗额外电流。例如 MSP430 的 ADC12 模块，AD 转换不工作时自动关闭内部晶振及数字转换电路，不消耗电流，接收到 AD 转换触发信号后智能打开 AD 模块使能工作。

MSP430 微控制器片内外设还有一个特性，通过定时器触发 ADC12 模块工作，为 ADC 采样提供直接、精确的定时控制，通过定时器初始化 AD 和直接控制 AD 采样时间，当 CPU 不工作（如睡眠状态）时实现智能采样，转换结束后 ADC12 模块中断唤醒 CPU。

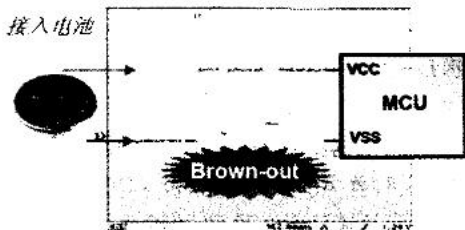
MSP430 微控制器系列有的包含 DMA（直接存储器存取）自动传输数据模块，使用 DMA 传输数据大幅度提

高系统处理数据能力。例如, DMA 模块自动将 ADC 转换数据传输到 RAM 区, 无须 CPU 干涉, 直到所有转换全部完成后唤醒 CPU, 降低系统功耗。

BOR 保护

BOR 可以理解为掉电复位, 很多低功耗 MCU 微控制器内部都集成 BOR 模块, 当系统供电电压低于 MCU 正常工作电压时, BOR 模块使 MCU 复位。

例如, 当给手持仪器更换电池时, 往往认为电池安装



MSP430 BOR 总是保持工作并且 零功耗

图 4

后系统电压立即从 0V 上升到 Vcc, 而在实际工作中电压是不稳定跳动的, 波形如图 4 所示。

大多数微控制器内部集成的 BOR 模块工作时需额外 10~70 μA 的电流, 为节省系统功耗, MCU 需选择使能或不使能 BOR 模块。系统运行过程中无法预测外界低电压情况, 为保证系统正常工作, BOR 模块应一直处于工作状态, 计算系统功耗必须考虑 BOR 模块工作的额外电流。MSP430 微控制器 BOR 模块在系统运行过程中一直处于自动使能工作状态,

在保证 MCU 稳定的情况下不消耗任何额外电流, 即为零功耗。

管脚漏电流

在选择超低功耗 MCU 微控制器时经常忽略了管脚漏电流值。某些低功耗 MCU 标注 I/O 口管脚漏电流值为 1 μA , 那么 20 个 I/O 口的引脚漏电流值则高达 20 μA 。MSP430 微控制器的引脚漏电流值仅 0.05 μA , 所有管脚漏电流加起来最大为 0.05~1 μA 。

处理效率

微控制器的处理效率在设计中也常常被忽略, 我们经常错误的理解了 MCU 处理效率的概念, 认为 16 位 MCU 需要 8 位 MCU 的两倍代码空间完成相同的任务, 16 位结构实际比 8 位结构的 MCU 运行代码更少、执行速度更快, 实现 10 位 A/D 转换或 16 位数据处理时, 8 位 CPU 比 16 位 CPU 需要更大的资源。例如, MSP430 微控制器和 8 位结构微控制器分别完成 10 位 A/D 数据传输, 以 1MHz 晶振作为主时钟, MSP430 微控制器仅需 6 μs , 8 位微控制器需 24 μs , 指令如附表所示。

附表

16 位 MCU	8 位 MCU
mov.w &ADC10MEM, &RAM	movf ADRESH, W
	movwf RAML
	bsf 0x20
	movlf ADCHRESL, W
	bcf 0x20
	movwf RAMH

MSP430 样品、学习板或开发板套件申请表

申请注意事项 (请仔细阅读, 复印有效)

1. 请按下面表格认真填写您的详细信息, 可另附页详细描述您的项目方案、开发周期及今后产量等, 项目方案可以有方案框图、方案要达到的指标、方案内容或原理的描述等, 您描述得越仔细清楚, 我们越容易根据您的描述批准申请, MSP430 样品、学习板或开发套件的型号可以从利尔达科技有限公司网站(www.lierda.com)获得。我们会认真阅读每位读者的来信, 尽快答复, 若编辑部解决不了您的问题, 我们会及时将您的来信

与利尔达科技有限公司联系, 根据您的方案提供样品、资料等技术支持, 并会对您所提供的信息保密。

2. 因样品、学习板或开发板有限, 我们有可能根据您的提出的方案, 对你申请的物品进行适当的调整, 我们也不能承诺某一时间内某一申请人一定能申请到所需的物品, 请您谅解。

3. 填写完后请您将申请表按页脚地址邮到编辑部, 如您对此条款有异议, 请及时与我们联系。

姓名: _____ 部门/职位/学校: _____
 公司: _____
 申请型号: _____
 地址: _____ 邮编: _____
 电话: _____ 邮件: _____
 方案叙述 (可附页): _____

地址: 北京市海淀区玉渊潭南路普惠南里 13 号楼 通讯处: 北京 165 信箱 邮编: 100036

电话: 010-68278179 传真: 010-68278572 网址: <http://www.eleworld.com> E-mail: dzsj@public.bta.net.cn