

如何降低嵌入式医疗电子应用中的功耗

摘要：在设计任何电子设备时，低功耗都是追求的目标之一。就便携式医疗设备而言，实现功耗目标是成功开发产品的关键因素。通过在单个器件中以更高集成度集成多种功能的高级半导体，设计人员可以极大地缩小医疗设备的尺寸，同时通过降低医疗应用(包括植入式设备、便携式设备、家用设备和安全设备)中的功耗来延长它们的寿命。本文将说明设计人员如何利用单片机(MCU)的高级功耗管理功能来降低医疗应用中的功耗。

降低功耗所涉及的设计问题系统设计人员面临着紧凑式和便携式医疗电子设备提出的许多挑战。为低功耗器件设计电源可能会非常棘手，因为设计人员需要考虑系统的电压/电流需求。在许多低功耗应用中，电池是主要电源，在化学性质、性能、容量、尺寸/重量和成本等方面对设计人员提出了许多挑战。例如，大容量电池的内阻较高，这使它们不适合于大电流应用。而与尺寸类似的高内阻电池相比，适合于大电流应用的电池通常容量较低、重量较大。此外，只能放电的原电池的容量要远高于可充电电池。由于存在这些限制，设计人员需要针对特定系统来制定策略，以在成本和性能方面达到最佳效果。

静态功耗是一项重要的品质指标，可以指示 MCU 在低功耗应用中的适用情况。对于一些采用高级处理技术的 MCU，在休眠模式下耗用的电流可低于 50nA。为了能够适应各种低功耗设计，有一点非常重要，即 MCU 能在很宽的电压范围内工作。例如，在使用碱性电池时，它需要能够工作于 1.5V，因为每节电池的端电压为 0.9V，且在应用中通常使用两节电池。选择可在宽电压范围内工作的 MCU 可以延长便携式设备的使用寿命。但是，MCU 的工作电压范围并不是唯一的决定因素。整个系统的工作电压范围都必须考虑，包括 MCU 的外设。如果系统中的某个单一外设需要消耗大部分的功率，降低 MCU 的功耗对系统总功耗几乎没有什么影响。

作为一个设计规则，如果系统使用了 MCU 的内部外设(如模数转换器或 EEPROM)，则必须注意它的工作范围。如果某些外设无法在 MCU 的整个工作电压范围内工作，则系统的工作电压范围将由外设决定。同一设计规则也适用于所有外设。在下面几节中，将介绍当前市场上推出的一些 MCU 系列产品如何提供用于功耗管理的特殊功能。

降低功耗的方法

控制外设的功耗

便携式嵌入式系统功耗管理的核心原则是让 MCU 能够控制内部和外部设备的功耗。设计便携式医疗设备时，先确定必需的物理模式或状态，然后对设计进行分割，以关闭不需要的电路。例如，在电池应用中不需要欠压复位

(BOR)功能，因此可以通过禁止该功能来节省功耗。针对这一目标，从许多不同供应商中选择合适的 MCU 可以帮助减少外部元件和降低成本。如前面所述，可在宽电压范围内工作的 MCU 可以使系统设计多样化。

以一个基于 MCU 的医疗数据记录仪为例，它包含了传感器、EEPROM 和电池，如图 1 所示。该医疗设备是低功耗嵌入式设计的典型示例，它可以获取传感器读数、换算传感器数据、将数据存储到 EEPROM，并等待下一个传感器读数。在传统的系统中，可能随时都在为 EEPROM、传感器及其偏置电路供电，但这样电源使用效率不高。那么，怎样节省类似系统的功耗呢？答案在于在不需要这些外设时通过程序控制来关闭它们。在给出的示例中，设计人员可以使用 MCU 的 I/O 引脚和几个字节的代码根据需要来为 EEPROM 和传感器供电。因为 I/O 引脚可提供最高 20mA 的电流，不需要提供额外的元件来开关电源。

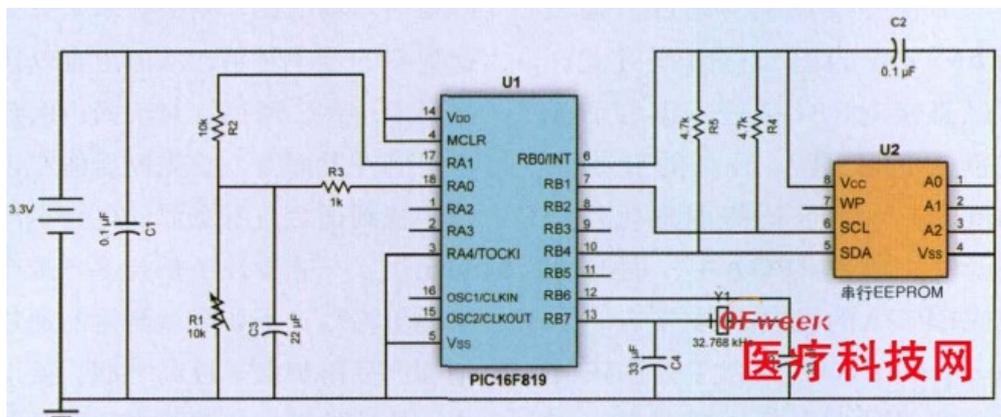


图 1 基于 MCU 的医疗数据记录仪应用实例

功耗管理模式

在嵌入式应用中，节省功耗的一种常见方式是，在系统对 MCU 的资源需求很低时，定期将 MCU 置为休眠模式。然后，要执行有用工作时，通过中断或在看门狗定时器计时期满之后唤醒系统的 MCU。让 MCU 处于休眠模式的时间越长，应用的平均功耗就越低。只需要确保看门狗的延时周期适于应用。通常，工作方式如下：如应用需要 MCU 每隔一段固定的时间处理一次采样数据，看门狗定时器应在所需的时间周期内将 MCU 唤醒一次。使用该功能时，需选择支持相应看门狗周期的 MCU。

时钟速度选择

对于低功耗应用，设计人员需特别注意振荡器起振时间，起振在 MCU 空闲(不执行任何代码)时发生。在起振期间，振荡器稳定的过程中，MCU 不执行任何操作，但图 2 无线接收器双速启动阶段它会一直消耗功率。在 MCU 的数据手册中通常不会提及振荡器起振时间，因为该时间因晶振、负载电容、

系统环境、振荡器模式等因素而不同。在使用较低时钟速度的设计中，振荡器起振时间对功耗的影响非常大。在系统时钟需要在休眠和唤醒之间切换的应用中，振荡器起振时间会带来显著差异。低频振荡器在运行时的功耗较低，但也需要较多的起振时间，这会影响系统的功耗。

大多数常见的 MCU 都实现了某种类型的振荡器起振定时器，用以确保正确起振和提供足够时间来建立振荡。该定时器用于防止 MCU 在振荡器稳定之前执行代码这种意外情况的发生，但它也延长了每个唤醒周期需要的时间。对问题的解决方案是使用双速振荡器启动。

在这种方案中，MCU 将使用快速启动的辅助振荡器(如 RC 振荡器)立即开始执行代码。当主振荡器就绪时，将电路切换为使用主振荡器，而不是使用辅助振荡器。这对于器件存在频繁唤醒/休眠事件的应用非常关键。一些 MCU 甚至允许设计人员使用内部振荡器运行代码，同时等待振荡器起振定时器计数完毕。通过使用功能寄存器配置位，可以使能这种双速启动功能。这种情况下，MCU 先使用内部振荡器作为时钟源，直到振荡器定时器计时期满。

多时钟启动与运行

在必要时，还可以在启动期间切换到内部振荡器，以加速启动。最好的方法是，时钟频率可以即时更改，可以在外部时钟和内部种方式，引脚可在以后用作输入或振荡器之间切换，而不会造成代码执行被延时。在实际工作中，这相当于双速启动功能。这种情况下，外部时钟源在起振期间稳定时，MCU 可以使用任意一个内部振荡点，。当外部时钟源稳定之后，MCU 可以进行时钟切换，从而缩电流。将此引脚配置为模拟输入短节能型医疗设备中宝贵的启动时间。

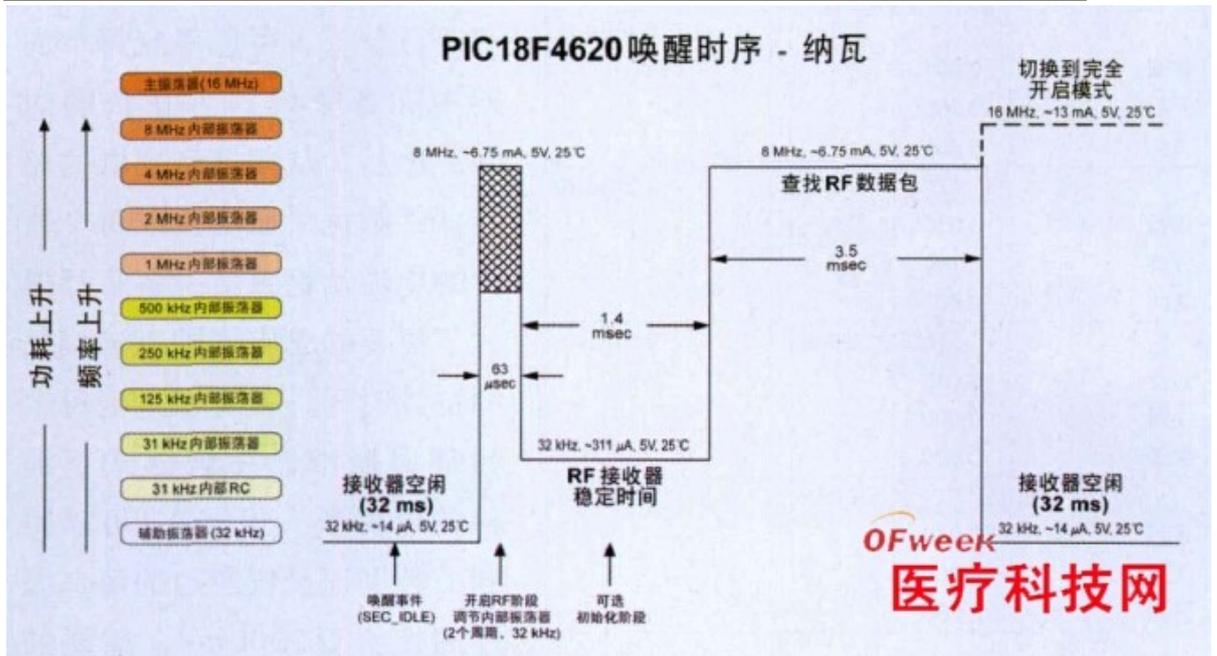


图 2 无线接收器双速启动阶段

图 2 所示为在一个便携式应用中，对于负责查询许多发送器的无线接收器，可实现双速启动功能的几个阶段。在正常工作期间，接收器每隔 37ms 查询一次消息。假设系统的电流目标为双向 I/O 引脚在大多数 MCU 中很常见，其中有一部分 I/O 引脚可接受模拟输入。对于施加到这些引脚的信号，设计人员需要非常小心，以实现最小的功耗。以未用端口引脚为例。如某个端口引脚未用，可将它保留为不连接，但配置为输出引脚，驱动为任意一种状态(高电平或低电平)；或者，也可将它配置为输入，使用外部电阻上拉到 VDD 或 Vss。配置为输入时，只有输入漏电流会通过引脚。如果引脚直接连接到 VDD 或 Vss，电流将相同。通过这种方式，引脚可在以后用作输入或输出，而无需大量的硬件改动。当输入电压接近 VDD 或 Vss 时，数字输入引脚的功耗最低。明显地，如果输入电压位于 VDD 或 Vss 之间的中点，数字输入器中的晶体管会被偏置于线性区域—消耗更多的电流。将此引脚配置为模拟输入时，数字缓冲器会被关闭，从而使引脚电流和控制器总电流下降。需要注意的是，模拟输入具有高阻抗，所以消耗的电流极低这一点非常重要。特别是当施加的电压位于 VDD 和 Vss 之间的中点时，消耗的电流将低于数字输入。在可能的情况下，将数字/模拟共用的引脚配置为模拟输入可以将数字输入强制为低功耗状态，从而节省功耗。即使在通过数字输出驱动外部电路时，除了为外部电路供应的电流，数字输出引脚不会消耗任何其他电流，也可以最大程度降低电流消耗。在医疗电子设计中，安全性是需要优先考虑的事项。MCU 供应商提供了一些机制，用于确保系统中的 MCU 正常工作，且代码能够按预期执行。在一些 MCU 中(如 Microchip 采用纳瓦技术的 pICMCU)，可以采用故障保护时钟监视器功能来检测是否失去晶振/谐振器或其他外部时钟源。这是一种极适于医疗应用的重要功能，在晶振发生故障时，

故障保护时钟监视器将切换到内部振荡器，并允许安全关闭应用或允许它以精简功能模式继续运行。

计算总平均功耗

以下将通过采用称为功率预算的技术，说明设计人员如何估算应用中的电流消耗和电池寿命。同样，以图 1 为例列析数据记录仪应用的各种模式：休眠、传感器预热、检测、数据换算和存储。通过对处理循环进行分析，可以确定每个周期中在各个模式下花费的时间。然后，从制造商提供的相应器件数据手册中获取每个器件的电流消耗数值。将每种模式下需要的总电流乘以该模式的持续时间，就可以得到每个循环周期中，在该模式下消耗的电荷量。根据表 1 可以得到，数据记录仪应用的每个循环周期需要 2000ms，需要的总电荷量为 $18.8 \times 10^{-6} \text{A} \cdot \text{s}$ 。根据表 1 的数据，可以推算出平均电流为 0.009mA ，如下：

$$\text{平均电流 (mA)} = \text{总电荷量 (A} \cdot \text{s)} / \text{总时间 (s)} = 18.8 \times 10^{-6} / 2000 \times 10^{-3} = 0.009 \text{mA}$$

$$\text{峰值电流} = 2.048 \text{mA}$$

根据表 1 的功率预算，可以方便地计算满足应用需求所需的电池大小，如表 2 所示。如果某种模式下的功耗太大，可以相对容易地采取修正措施来降低该阶段的功耗。

表 1 数据记录仪应用的功率预算计算

模式	处于该模式的时间 (ms)		电流 (mA)		充电电流 × 时间 (A·s)
			按部件	总计	
休眠		1989		0.001	1.989e-6
CPU	休眠		0.001		
传感器	关闭		0.000		
EEPROM	关闭		0.000		
传感器预热		1		0.166	0.166e-6
CPU	休眠		0.001		
传感器	开启		0.165		
EEPROM	关闭		0.000		
检测		1		0.213	0.213e-6
CPU	运行		0.048		
传感器	开启		0.165		
EEPROM	关闭		0.000		
数据换算		1		0.048	0.048e-6
CPU	运行		0.048		
传感器	关闭		0.000		
EEPROM	关闭		0.000		
存储		8		2.048	16.384 e-6
CPU	运行		0.048		
传感器	关闭		0.000		
EEPROM	开启		2.000		
总时间 (ms)	2000		总电流量 (A·s)		OFweek 医疗科技网

结语

本文介绍了通过使用最新的 MCU，设计人员如何实现功耗管理技术，以及降低医疗电子设备设计中的功耗。通过最大程度降低医疗设备中的功耗，可减少热量，并支持使用较小的电池，反过来又可以提高设备的工作寿命，缩小设备的物理尺寸，增进患者对治疗的配合。