

## 移动设备的电源管理

电源管理不再仅仅是一个硬件问题

无线移动设备即将陷入一个僵局。随着在无线手持终端设备中集成新的计算、通信和娱乐应用，对功耗的要求正迅速提高，然而电池电量却无法跟上其发展的步伐。与此同时，用户想要的是外形圆滑且紧凑的移动设备，以便可以放进他们的口袋中。在支持更多功能的同时，芯片级集成（通常是在同一器件中整合多个处理内核）以及亚微米制造工艺还有助于缩小无线手持终端设备的尺寸。不幸的是，更小的亚微米制造工艺加剧了静态漏电功耗的问题。在提高系统性能的同时降低功耗是无线手持终端设备和其它移动设备厂商所面临的挑战。换言之，就是以更低的功耗实现更高的性能。

在硅芯片和软件中如此快速的集成，给电源管理工程师们带来了严重的设计难题。电源管理已经不再仅仅只是一个硬件问题，而是变成了一个系统问题，并且所有的系统设计工艺工程师们现在正致力于解决这一问题。电源管理决策是由硬件和软件层面来决定的。新技术的产生以及应用既体现在硬件也体现在软件层面上。人们对蜂窝电话系统方面的关注程度日益增加，迫使设计人员须找到一种全面、动态的方法来对电源进行管理，以在不降低性能的同时有效地降低功耗。

设计人员采用了许多技术来达到这一目的，如：高效处理器、变速时钟、电路关闭、低压逻辑、软件设计帮助以及高级电源管理软件（见图 1）。系统级电源管理架构通常从电源电量的节省开始，例如：电池管理 IC 和系统电源调节器使工程师们能够设计出低功耗产品。例如，设计一款带有 RF 接收器的无线产品时，设计人员就可以利用一个线性 RF 电源控制器来起开关作用，从而使无线功能在未被使用时关闭，以降低功耗。尽管如此，高效的电源管理架构必须能应对所有系统级设计。在系统级电源管理中，软件架构起着非常重要的作用。

	技术	描述
软件	软件电源管理框架	智能控制系统电源管理
	工作负载监控与预计	确定所需性能以相应电压和频率
	Policy 和域管理器	对系统进行动态控制, 实现以最低功耗获得最高性能的目标。
SoC 设计	动态电压/频率缩放 (DVF)	对电压和频率的动态调整, 以适应一定时间内性能的需要。
	多个功耗/电压/时钟域	物理域, 其支持由软件实现的微粒 (granular) 电源管理控制。
硅芯片 IP	多阈值 CMOS (Dual-V <sub>t</sub> ) 单元	更高的 V <sub>t</sub> 实现更低性能, 低功耗和更低的 V <sub>t</sub> 可实现更高性能或更高功耗
	多域支持单元 (交换机/缓冲器/隔离/电平转换器)	支持 SoC 多个域实施

图 1: 各种电源管理技术

### 电源管理的硅芯片技术

将电源电压降低一半可以使功耗降低至原来的四分之一 ( $P=V^2/R$ )。但是, 降低之后的电源电压以及更高的时钟频率会产生噪声抗扰度的问题。建议采用新技术来解决这些低功耗、高时钟频率的问题, 例如: 德州仪器 (TI) 最近推出的高级超低压 CMOS (AVC) 逻辑系列产品, 其工作电源电压为 3.3V、2.5V 或 1.8V, 传播延迟大约为 2 nsec。数字逻辑模块继续工作在更低的电压上, 这样就可降低整个系统的功耗。

数字产品的设计人员已经实施了采用超深亚微米 (130—、90— 以及 65— 纳米) 工艺的微处理器, 他们发现采用更薄的氧化物和更短的通道长度能够产生速度更快的晶体管。同样地, 模拟基带和射频 (RF) 设计人员也紧随其后, 努力寻求一种集成方法, 以便为其最终客户提供单芯片无线解决方案。但是, 电压缩放比例无法与晶体管的缩放比例保持一致, 这就导致了系统解决方案很严重的漏电问题, 而漏电必然会缩短电池的使用寿命。幸运的是, 我们可采用某些电源管理技术来降低单芯片解决方案的功耗。

以下为三种已明确的功耗 (power supply drain) 方式:

- 工作电流消耗
- 待机电流消耗 (有时也称作“睡眠模式”)
- 关闭模式电流消耗

在工作模式中, 功耗是静态偏置电流功耗和平均开关或时钟 (动态) 功耗的总和。待机模式是一种低功耗状态, 因为时钟已经被控制 (gated) 或者关闭, 几乎所有的动态功耗都为零。在这种模式下, 静态电流的大小决定了电池的使用寿命。至于第三种模式, 即关闭模式功耗, 关闭模式的功耗是亚阈值 (sub-threshold) 漏电的函数。亚阈值漏电是指当芯片关闭但仍存在输入电压时, 芯片中晶体管具有的电流。

如果超深亚微米 CMOS 制造工艺能够处理电池的更高电压 (4.3V 至 5.4V)，那么关闭模式损耗就可以忽略不计，因为有效通道长度会变得更长，并且门极氧化物会变得更薄。同样，工作时的电源消耗也会得到减少，因为这种制造工艺频率低，动态功耗是电容、频率和输入电源的函数。因此，必须解决电源管理电路的直流电池通电问题。有两种最常用的电路在做适当修改后可以实现这一点，它们是低压降稳压器 (LDO) 和 DC-DC 降压开关调节器。

在蜂窝电话 SOC 中，处理器也是一个重要的因素。处理器设计人员提供了许多能够用于优化功耗的电源管理功能，例如，当设备处于非工作状态时，等待、空闲、待机和睡眠模式可以暂停处理器运行。问题在于当设备被开启时如何快速地向处理器恢复运行。设计人员也可以将自动节电功能整合到其处理器构造中。通过控制处理器时钟，CPU 设计人员甚至能够将功耗降至单个寄存器的水平。系统功耗直接关系到 CPU 时钟的速度。许多 CPU 都运行在一个变速的时钟下，从而允许设计人员对频率进行调节，以达到最佳的低功耗模式。一些设计人员利用可变时钟速度来动态地控制时钟频率，以此来控制软件运行产生的功耗。当数据处理要求较高时软件程序会提高 CPU 时钟速度，然后再回到一个较低的时钟速度，以执行非关键性的任务。

### 电源管理的软件技术

数字处理器采用基于 CMOS 的电路；它们的功耗主要发生在从真逻辑 (logic true) 转换到假逻辑 (logic false) (或相反) 的时候。转换功耗与时钟频率以及电源电压的平方成正比。因此，降低时钟频率或电源电压就可以降低功耗。这种改变电压或频率的方法通常被称为“动态电压”或“频率调节”。

动态电压缩放 (DVS) 被广泛地运用于微处理器，以达到大大降低功耗的目的。微处理器动态电压缩放根据处理器使用情况的变化而变化，当处理器处于低负载时降低其频率 (以及电压)，当处理器处于高负载时处理器以最高频率 (以及电压) 运行。通过充分利用空闲的 CPU 资源，动态电压和频率调节被越来越多地用于降低嵌入式和实时应用的功耗，同时仍然保持所有应用的实时功能特点。在计算能够确保满足所有任务的实时限制的频率和电压时，任务运行时间的精确预计是至关重要的。

许多软件电源管理算法都是通过某种方式对电压或频率进行调节来实现设计目标，此类调节是由硬件支持相配合完成的。

控制系统、CPU 及外设的集成软件管理设计可以实现最佳的嵌入式低功耗模式。基于两种规范的电源管理，即高级电源管理 (APM) 以及高级配置与电源接口 (ACPI)，虽然支持 PC 的电源管理，但不能满足移动设备的一些特殊要求。

高级配置与电源接口 (ACPI) 于 1997 年应用到台式电脑和笔记本电脑。ACPI 负责操作系统的电源管理。操作系统检测到新的应用，并利用数据执行电源管理

命令。尽管 ACPI 的目标应用为台式电脑和笔记本电脑，但是在为嵌入式系统开发一个基于软件的电源管理系统时，它是一个很好的模型。通过 ACPI，软件可以自动控制连接外设的电源，同时外设可以激活处理器。例如，调制解调器接到一个来电就会立即激活处于待机模式的处理器，使其开始获取数据。这种高级电源管理大大延长了便携嵌入式设备的电池使用寿命。ACPI 为系统、处理器和外设定义了一系列的节电模式。当系统在设定的一段时间内空闲，软件则进入系统电源管理，或睡眠模式。CPU 在任何睡眠模式下都不会运行。ACPI 规范定义了四种睡眠模式，每一种睡眠都有增强的低功耗功能，但需要更长的时间重启。例如，在第四种睡眠模式下，如果软件将内存内容存储到磁盘，在执行重启操作之前，CPU 将需要几秒的时间来为磁盘上电，并重载内存。

一个与 ACPI 匹配的 CPU 具有三种电源管理模式，或“C”模式，其进入或退出仅需很短的时间。C1 模式，即停机指令，几乎不需要时间来进行 CPU 重启。C2 和 C3 功耗更低，但却需要更长的时间来进行重启。Intel 报告称一个 233-MHz 移动奔腾 II 处理器在模式 C2 下的功耗为 0.5W，需要 10 msec 的时间进行重启。相同的处理器在 C3 模式下的功耗为 0.15W，但却需要 65 msec 的时间进行重启。在操作人员敲击键盘的空闲时段，CPU 可以进入 C 模式以大大降低功耗。ACPI 规范也定义了四种“D”模式，使操作系统可以管理设备和外围芯片的功耗。根据不同的设备类型，D 模式的定义也不尽相同。例如，一个调制解调器驱动器可能将 D0 定义为满功耗模式，将 D2 定义为 2-秒最大恢复时间，将 D3 定义为 5-秒最大恢复时间。由于外围断电次数不尽相同，因此 D 模式的有效使用对硬件设计的影响非常大。

## 统一标准的电源管理架构

如上所述，传统的电源管理技术通常应用于无线手持终端设备、个人数字助理 (PDA)、膝上型电脑及其它功耗敏感的设备。很明显，这些技术还将继续得到广泛应用，但是按照当前业界发展的趋势，有必要开发一些全面、功能强大的解决方案，这些解决方案应该能够解决功耗与性能两方面的问题。对于高性能功耗敏感型应用而言，降低功耗仅仅只是这一难题的一个方面。现在甚至在未来，每一种功能都应具有更高的性能及更低的功耗势在必行。与语音通信相比，被整合到手持终端设备上的那些复杂的应用将会以更高的频率运行。例如，一款无线移动设备上的简单音频文件运行频率通常低于 20 MHz，但是一个视频应用可能会需要 200 MHz 的频率甚至更高。仅仅管理几十万像素的高分辨率视频显示器就需要大量的功耗处理周期，因此只有涵盖各个功能模块及多处理内核的创新型降低功耗技术才能使系统实现动态自适应，从而以更低功耗获得更高性能。

对于是否能够以最低的功耗获得最高的性能，动态电源管理并没有经过足够的论证。因此，需要一个系统的、全面的方法 (perspective) 来实现这一目标。TI 的 [SmartReflex 技术](#)通过不同级别的功耗优化给出了这样一种方法，因此就实现了以最低功耗获得最高性能的目标。

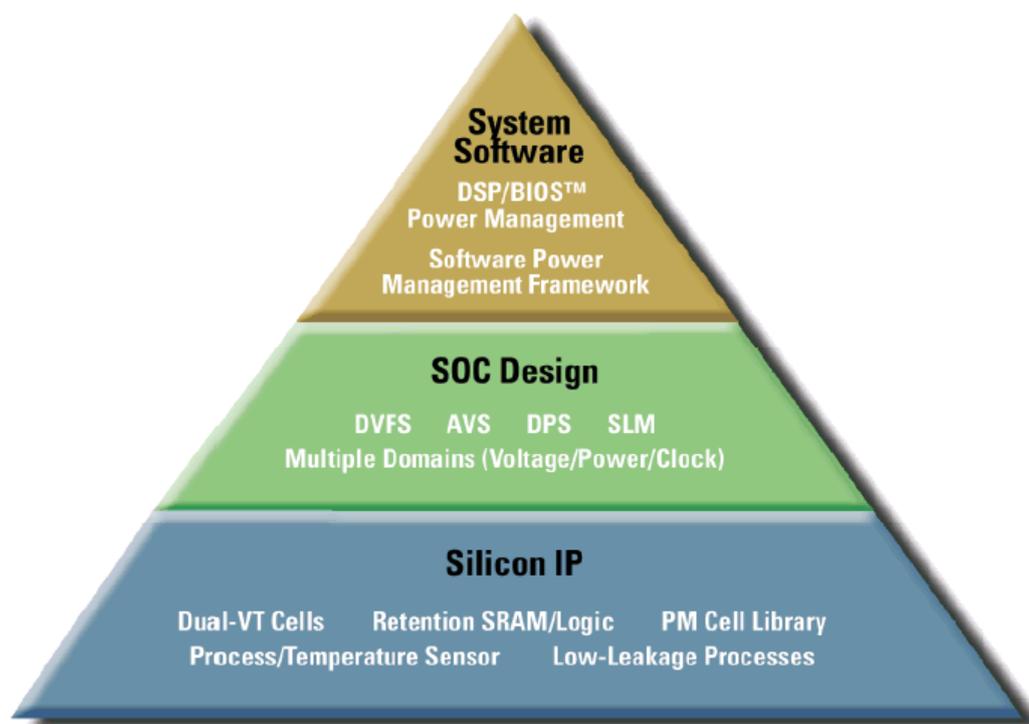


图 2: SmartReflex 技术

SmartReflex 技术由三部分组成：第一部分是硅芯片知识产权 (IP)；第二部分是可应用于 SOC 设计层的技术；最后一部分是管理许多硬件 SmartReflex 技术的系统软件，这些技术可与其它基于操作系统或第三方软件子系统的电源管理技术无缝连接。SmartReflex 技术超越了许多传统的界线，如处理内核之间的差别。第一代和第二代的电源管理解决方案大体上是针对具体厂商的，且范围有限。它们只能应用于某些功能模块，或具体的处理内核。因此，它们只占了设备功耗预算的一小部分。相比较而言，SmartReflex 技术适用于多种内核、硬件加速器、功能模块、外设以及其它系统组件。另外，SmartReflex 系统级技术对基于操作系统 (OS) 和高级电源管理的算法是开放的，从而可以开发出一种功耗和性能相协调和匹配的环境。

当然，这样一种功能强大的技术解决了许多系统级电源管理的问题。无线接口驱动以及应用优化的高级算法将成为这一技术的最佳补充，并构建出一个功能强大且高效的电源管理系统。例如，可以开发一个应用于 GSM 电话的方法，当电话处于“GSM 空闲”状态时，调制解调器特定的硬件部分将空闲；当电话进入“GSM 专用”模式时，硬件部分将重新返回到工作模式。根据无线接口和应用（例如，照相预览或 MP3 播放器）的要求，可以定义多种睡眠模式。一个高效的模式转换逻辑（该模式与系统级基础相耦合，如 TI 的 SmartReflex 技术），可以解决许多电源管理问题，同时也让系统设计人员更省心。

---

## 结论

市场的发展变幻莫测。无线移动设备和其它电池供电的便携式系统必须大胆地添加新的功能和应用，以此来满足不断增长的用户需求。流行款式和新的工业设计将改变移动设备的外形尺寸，从而推动芯片朝更高的集成度和更小的处理工艺方向发展。更新的无线通信标准和用户需求将会促使市场上出现大量的新型设备。其中的一些设备甚至可以实现 **software defined radio** 的重新配置，如软件无线电 (SDR)。无疑，这些设备的电源管理将会是一个更为复杂的问题。针对这个问题的一种全面、系统的方法将会是解决该问题的唯一方法。幸运的是，业界各个层面的人士和学术界都非常关注功耗的问题，并且一直在对此进行攻关。从调制算法设计人员到用户接口设计人员的每一个人都意识到要节省最后一“滴”电量，与此同时还要实现性能的最优化。对降低功耗并提高性能的关注将催生移动设备电源管理的新型架构和解决方案在不久的将来问世。