

多电源系统的监控和时序控制

作者: Rich Ghiorse

引言

当今的现今, 电子系统往往具有许多不同的电源轨。在采用模拟电路和微处理器、DSP、ASIC、FPGA 的系统中, 尤其如此。为实现可靠、可重复的操作, 必须监控各电源电压的开关时序、上升和下降速率、加电顺序以及幅度。既定的电源系统设计可能包括电源时序控制、电源跟踪、电源电压/电流监控和控制。有各种各样的**电源管理IC**可以执行时序控制、跟踪、上电和关断监控等功能。

时序控制和跟踪器件可以监控和控制多个电源轨, 其功能可能包括设置开启时间和电压上升速率、欠压和过压故障检测、余量微调 (在标称电压值的一定范围内调整电源电压) 以及有序关断。适合这些应用的 IC 种类众多, 简单的如利用电阻、电容和比较器构成的纯模拟器件, 复杂的如高集成度状态机和通过 I²C 总线进行数字控制的可编程器件。某些情况下, 系统的电压调节器和控制器可能包括关键控制功能。

对于采用多个开关控制器和调节器的系统, 还有一个考虑是器件以不同开关频率工作时, 如何将产生的系统噪声降至最低。常常需要同步调节器的时钟, 事实上, 如今的许多高性能开关控制器和调节器都可以与外部时钟同步。

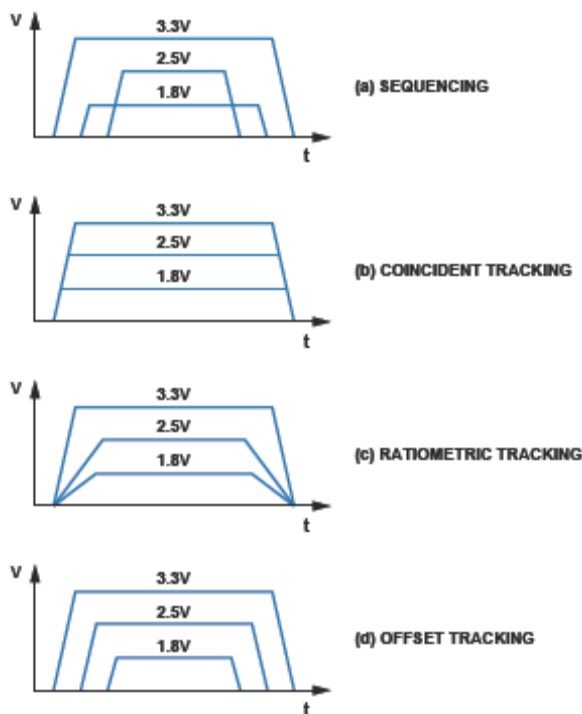


图 1. 电源轨的控制类型

电源时序控制和跟踪

所谓电源时序控制, 是指以指定顺序开关电源。电源时序控制可以简单地基于既定的时间顺序, 或者一个电源的开启时间取决于另一个电源何时达到设定的阈值。电源跟踪基于这样一个事实: 电源电压无法 (一般也不应) 瞬间改变。电源系统设计师可以利用这一特性, 有效地控制系统中各电源相对于其它电源的斜率。电源跟踪分为三类: 同步、比率和偏移。图 1 中的四幅图对时序控制、同步跟踪、比率跟踪和偏移跟踪进行了比较。

图 1a 中, 三个电源按一定的时间顺序开启和关闭。首先是 3.3 V 电源开启, 后续电源的开启和关闭延迟时间取决于应用的需要。如果额定最大值要求电源按一定的顺序激活, 这种简单的时序控制技术将能确保有源器件的电压不会超过额定最大值。举例来说, 在 ADC 驱动的放大器上电之前, 我们必须保证 ADC 的电源存在, 否则可能损坏 ADC 的前端。

图 1b 显示同步跟踪情况, 所有三个电源同时开启, 并且以相同的速率彼此跟踪, 因此最低电源电压首先建立, 然后是较高的电源电压。电源关断以相反的方式进行。这个例子很好地说明了旧式 FPGA 或微处理器应用中电源是如何接通的: 首先激活较低的内核电压, 然后接通辅助或 I/O 电源。稍后将以 Xilinx Virtex-5 FPGA 的同步跟踪举例说明。

图 1c 中, 电源以不同的斜率上电。如前所述, 能够对电源的斜率 dV/dt 进行控制是一个非常有用的特性, 它可以防止电路中去耦电容的大浪涌电流 (充电电流) 损坏器件。如果不限制的话, 浪涌电流可能大大超过标称工作电流。斜率限制可以防止有源器件闩锁、电容短路、PCB 走线受损以及线路保险丝熔断。

图 1d 中, 所有电源具有相同的斜率, 但其施加时间由预定的失调电压决定。此类跟踪适用于需要限制电源电压差 (常常出现在 DAC 和 ADC 等混合信号器件的额定最大值部分) 的器件, 这种方法可以防止器件永久性受损。

基于 FPGA 的设计示例

使用 FPGA 系统的供电是探讨多电源系统处理的活教材。适当的 FPGA 电源控制对于实现可靠、可重复的设计至关重要, 否则可能会在实验室甚至现场引发灾难性故障。大多数 FPGA 具有多个电源轨, 一般表示为 V_{CCO} 、 V_{CCAUX} 和 V_{CCINT} , 这些电源分别用于为 FPGA 内核、辅助电路 (如时钟和 PLL 等)、接口逻辑供电。

这些电源轨需要考虑的事项可以分为如下几类:

- 电源轨的时序控制
- 电源轨电压的容差要求
- 电源可能有软启动或斜率控制需求

下面以 Xilinx Virtex-5 系列 FPGA 的电源要求为例来说明，该系列提供许多特性，包括逻辑可编程能力、信号处理和时钟管理。根据数据手册，Virtex-5 的电源上电顺序要求为 V_{CCINT} 、 V_{CCAUX} 、 V_{CCO} 。这些电源相对于地的斜坡时间为 200 μs （最小值）至 50 ms（最大值）。建议工作条件如表 1 所示。

如前所述，Virtex-5 要求同步电压跟踪。此外，电源必须在特定的建议工作容差范围内，而且必须在特定的 dV/dt 范围内上升和下降。

但是，FPGA 只是一个较大系统的一部分。为了进一步阐明本例，假设有一个高电流、5 V 主系统电源轨。为 FPGA 内核供电的 1 V 电源具有 $\pm 5\%$ (± 50 mV) 的容差，需要提供最高 4 A 的电流。3 V 电源为通用逻辑电源，具有 $\pm 5\%$ 的容差，在本例中需要提供 4 A 电流以便为 FPGA I/O 和设计中的其它逻辑器件供电。2.5 V 电源为模拟电源，需要提供低噪声的 100 mA 电流。

针对此应用，利用双通道降压控制器 ADP1850 提供 1 V 和 3 V 高电流电源是一个很好的解决方案。ADP1850 具有许多特性，

其中包括：软启动控制、同步跟踪以及主从电源时序控制。上电时的上升速率由 SS1 和 SS2 引脚上的电容控制。本例中，3 V 数字电源是主电源。针对 2.5 V 模拟电源，超低噪声 [低压差调节器 \(LDO\)](#) [ADP150](#) 是绝佳选择，它可以利用 ADP1850 的 PGOOD2 信号进行时序控制。图 2 为该系统的简化框图，显示了时序控制的一般流程，详情参见 ADP1850 数据手册。

上例说明了时序控制和跟踪的常见使用方式，可以将其扩展到当今的许多多电源系统，包括基于微处理器的系统和涉及混合信号技术（ADC 和 DAC）的系统。

模拟电压和电流监控 (ADM1191)

针对要求精密监控多个系统电源电流和电压的高可靠性应用，可以使用简单易行的模拟监控电路。例如，[数字电源监控器 ADM1191](#) 提供 1% 的测量精度，包括一个用于电流和电压回读的 12 位 ADC、一个精密电流检测放大器以及一路用于提供过流中断的 ALERTB 输出。图 3 显示了 ADM1191 结合一个主控制器（如微处理器或微控制器等）的应用。

表 1. Xilinx Virtex-5 电源轨要求

	电压范围	电压最小值/ 最大值	电流	启动时间 (最小值)	启动时间 (最大值)	
V_{CCINT}	$1\text{ V} \pm 5\%$	-0.5 V to +1.1 V	4 A	200 μs	50 ms	先于 V_{CCAUX}/V_{CCO} 开启
V_{CCAUX}	$2.5\text{ V} \pm 5\%$	-0.5 V to +3.0 V	~50 mA	200 μs	50 ms	先于 V_{CCO} 开启
V_{CCO}	$3\text{ V} \pm 5\%$	-0.5 V to +3.75 V	<50 mA	200 μs	50 ms	

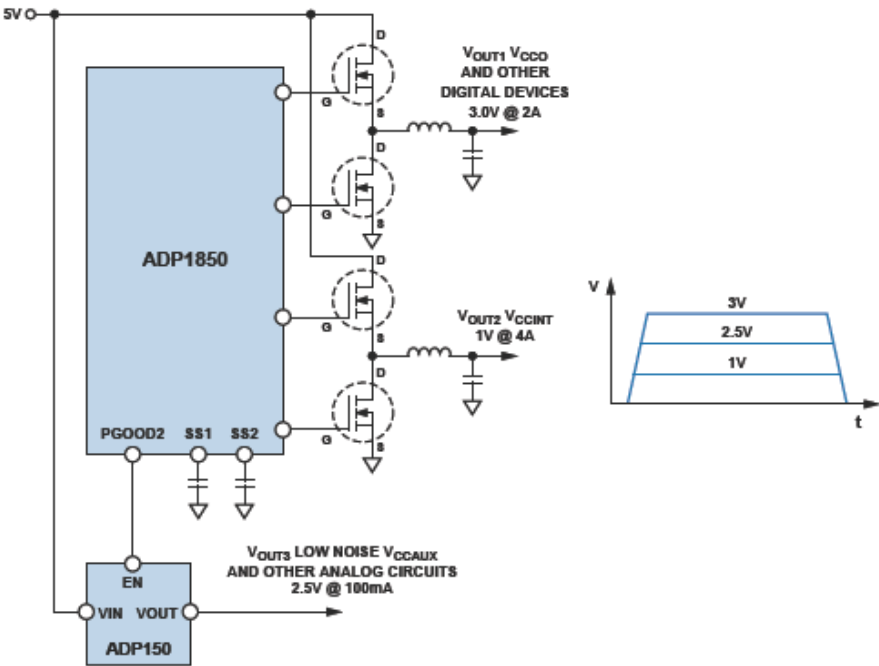


图 2. Virtex-5 的电源系统

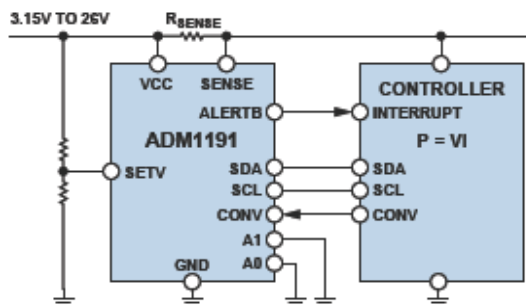


图 3. 简单的电源电压和电流监控器

ADM1191 通过 I²C 总线与主控制器通信。通过配置 A0 和 A1 引脚的逻辑输入电平，同一系统最多可以支持 16 个器件的寻址。本地控制器可以将测得的电压与电流相乘，从而计算电源轨的功耗。发生过流状况时，ALERTB 信号通过一个中断快速通知控制器，这个关于故障状况的快速报警可以帮助保护系统免遭损坏。

时序控制和监控的结合

大型固定系统，甚至某些高性能插卡，具有许多需要控制和监控的电源轨。图 4 涉及到一个具有 8 个电源轨的复杂电源系统的控制。系统的核心是 ADM1066，它是一款灵活的高集成度超级电源时序控制器 Super Sequencer[®]，可提供完整的电源控制功能，特性包括时序控制、监控、余量微调 and 编程能力。ADM106x 系列中的其它器件还具有温度监控和看门狗功能。

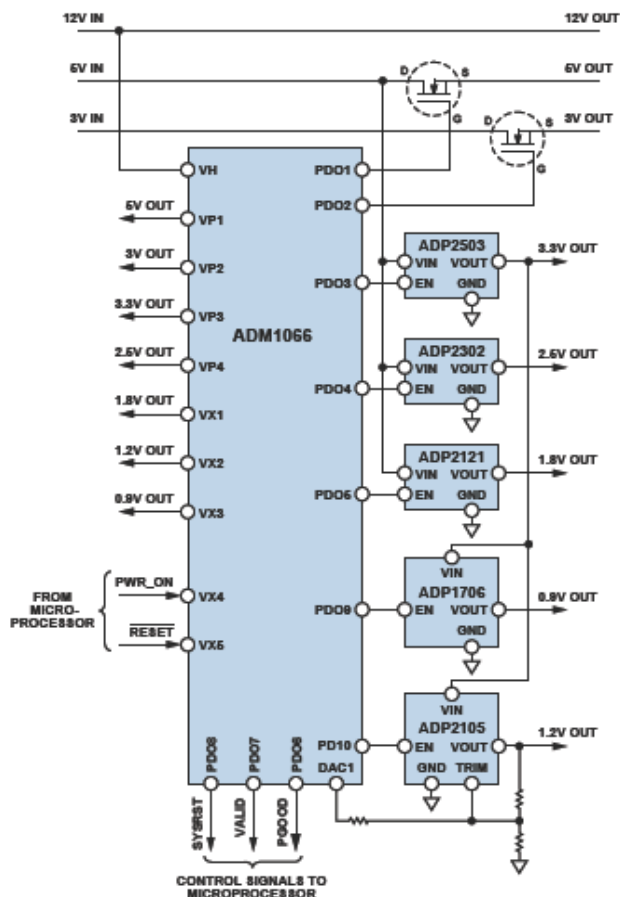


图 4. 8 轨电源系统的控制

8 轨系统具有三个主电源轨：12 V、5 V 和 3 V。其它电源轨则是利用开关调节器和 LDO 从这些主电源轨产生。每个调节器具有一路使能输入，它由 ADM1066 的 10 路可编程驱动器(PD)输出之一驱动，因此用户可以按照一定的受控顺序使所有电源轨上电。ADM1066 具有一个片上电荷泵，可以提升 6 路 PD 输出电压以提供外部 N-MOSFET 的高驱动电压；当需要控制更高电压的电源时，外部 N-MOSFET 用作电源轨开关。

ADM1066 具有片上 EEPROM，用以存储电源系统控制参数。ADI 公司的实用程序为器件配置提供了便利，大大简化了上电和运行任务，消除了费时的代码开发工作。当系统进一步发展，以及有新器件加入设计时，可以轻松调整电源序列。时序参数和电压跳变点很容易重新编程。这个功能非常有用，可以节省开发时间，降低电路板开发可能延误的风险。

数字输出信号——PWRGD（电源良好）、VALID 和 SYRST（系统恢复）——由 ADM1066 在轮询时产生，或者通过中断/数字输入提供，以便将电源系统的状态告知系统微控制器，从而在发生故障时能够采取措施。这种快速通知可以防止电容短路和其它危险状况引发灾难性损害。PWR_ON 和 RESET 是从系统控制器到 ADM1066 的数字输入，用以形成完整的系统控制环路。

利用 ADM1066 进行电源余量微调

在系统开发期间，当设计工程师需要调整电源电压以优化其电平或使其偏离标称值时，可以使用 ADM1066 的片内 DAC 来执行电源余量微调。利用这种余量微调特性，可以在电源限制范围内对系统进行全面特性测试，而不需要使用外部仪器。该功能通常是在在线测试(ICT)期间执行，例如：当制造商希望保证被测产品能够在标称电源电压±5%的范围内正常工作时。基于图 4 所示的电路，用户可以在许多电源轨上实现余量微调。

开环电源余量微调

对 DC/DC 转换器或 LDO 等电源进行余量微调的最简单方法，是将额外电阻切换到电源模块的反馈节点中，以改变反馈或调整节点的电压，从而利用 DAC 迫使输出电压上调或下调所需的幅度。采用这种衰减器（图 5）时，可以通过 SMBus 更新相关 DAC 输出的值，从而远程命令 ADM1066 执行电源余量微调。该过程可以利用独立于系统控制环路的开环技术实现。

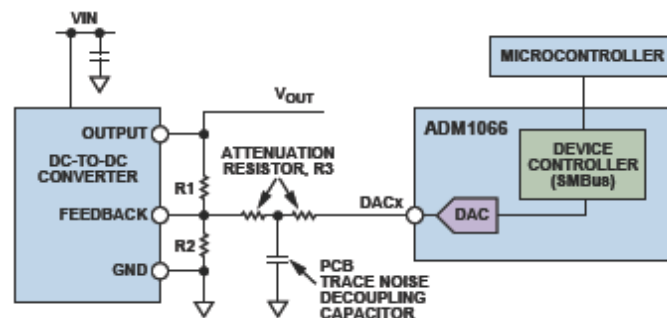


图 5. 开环余量微调

ADM1066 最多可以为 6 个电源执行开环余量微调，它利用 6 个片上电压输出 DAC (DAC1 至 DAC6) 驱动要微调的电源模块的反馈引脚。实现这一功能的最简单电路是利用一个衰减电阻(R3)，将 DACx 引脚连接到 DC/DC 转换器的反馈节点。当 DACx 输出电压设定为与反馈电压相等时，无电流流入衰减电阻，DC/DC 转换器的输出电压不发生变化。当 DACx 输出电压高于反馈电压时，电流流入反馈节点，DC/DC 转换器的输出必须下降以进行补偿。要提升 DC/DC 转换器输出，DACx 输出电压设定值须低于反馈节点电压。为降低噪声，如图中所示，可以将该串联电阻分成两个电阻，其间的节点可以通过一个电容去耦到 DC/DC 转换器的地。

闭环电源余量微调

一种更精确、更全面的余量微调方法是在闭环系统中使用类似的电路。图 4 所示为针对 1.2 V 输出的一个例子。要微调的电源轨电压可以通过 VX2 回读，确保将其精确调整到目标电压。ADM1066 集成了执行微调所需的全部电路，12 位逐次逼近型 ADC 用于读取受监控电压的电平，6 个电压输出 DAC 用于按照上述方法调整电源电平。这些电路可以配合微控制器等其它智能器件使用，以实现闭环余量微调系统，它可以将 DC/DC 转换器或 LDO 电源设定到任何电压，精度为目标值的 $\pm 0.5\%$ 。

为了在要测试的电源轨上实现闭环余量微调，请执行下列步骤：

1. 禁用 6 路 DACx 输出。
2. DACx 输出电压设定为反馈节点电压。
3. 使能 DAC。
4. 读取连接到 VPx、VH 或 VXx 引脚之一的 DC/DC 转换器输出的电压。
5. 需要时，提高或降低 DACx 输出电压以调整 DC/DC 转换器输出电压。否则就停止，目标电压已经达到。
6. 将 DAC 输出电压设定为某一值，使电源输出改变所需的幅度（例如 $\pm 5\%$ ）。
7. 重复该过程，直至达到该电源轨所需的电压。

步骤 1 至 3 确保各 DACx 输出缓冲器开启时，它对 DC/DC 转换器输出的直接影响非常小。DAC 输出缓冲器的作用是消除上电时的瞬变“毛刺”，因为缓冲器首先上电并跟随引脚电压，此时它不驱动该引脚。一旦输出缓冲器正确使能，缓冲器输入即切换到 DAC，缓冲器的输出级开启，从而消除输出毛刺。

开关调节器的同步

在具有多个电源轨并使用一个以上开关调节器或控制器的系统中，由于内部开关频率的差异，这些器件之间可能会相互作用。这会引起拍频谐波，大幅提高电源噪声，严重影响 EMI 测试。幸运的是，许多开关控制器和调节器在设计上都支持内部时钟同步。LDO 不存在这个问题，但其电流输出有限，并且在大多数情况效率较差，因此有时可能不合需要。

双通道 **开关调节器 ADP2116** 就是可同步器件的一个很好的例子。通过 SCFG 引脚，可将其 SYNC/CLKOUT 引脚配置为输入 SYNC 引脚或输出 CLKOUT 引脚。作为输入 SYNC 引脚，它可以让 ADP2116 与外部时钟同步，两个通道以外部时钟频率的一半、彼此 180° 错相工作。

作为输出 CLKOUT 引脚，它可提供输出时钟，其频率是通道开关频率的两倍且 90° 错相。因此，一个配置为 CLKOUT 的 ADP2116 可以充当主转换器，为所有其它 DC/DC 转换器（包括其它 ADP2116 器件）提供外部时钟（图 6）。配置为从器件时，它接收主器件的外部时钟并与之同步。通过同步系统内的所有 DC/DC 转换器，这种方法可防止产生能导致 EMI 问题的拍频谐波。

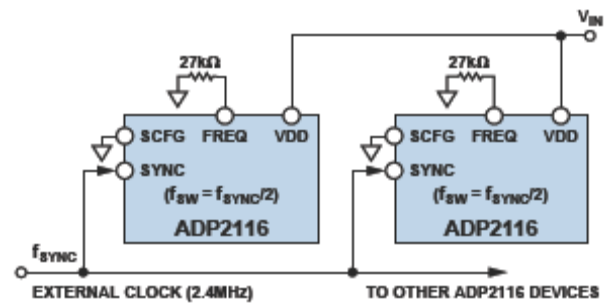


图 6. 利用外部时钟同步多个 ADP2116

结束语

本文讨论多电源系统的处理方法。时序控制器、监控器、调节器和控制器具有非常高的功能集成度，便于设计工程师处理潜在的电源问题，而无需采用全部是分立 IC 的电路板。这些器件对设计工程师非常有用，可以提高设计成功的概率，降低重新设计的可能性和电路板开发延误的风险。

参考文献

Moloney, Alan. “Power Supply Management—Principles, Problems, and Parts.” *Analog Dialogue*. 40-2. May 2006.

作者简介

Rich Ghiorse [rich.ghiorse@analog.com] 于 1980 年加入 ADI 公司。他从事过多方面的工作，从产品、测试、设计到现在的工程。他拥有东北大学电气工程学士学位 (BSEE) 和电气工程硕士学位 (MSEE)。Rich 目前是 ADI 公司位于美国马萨诸塞州威明顿的客户服务中心的高级应用工程师。

