

技术文章

高性能电压监控器 详解—第二部分： 解决各类系统故障

Noel Tenorio, 产品应用经理

摘要

高性能电压监控器的作用是在检测到故障状况（例如电源故障）时，将下游微控制器系统置于复位模式，以避免系统出错和发生故障。除此功能之外，ADI公司的某些监控电路产品还具备一些补充功能，提供的输出信号会触发必要的操作，从而保护下游电路，因而成为检测系统故障和随机硬件故障的一体化解决方案。

本文介绍了高性能电压监控器如何解决各种应用中影响系统性能的常见限制和故障。

引言

本系列文章的第一部分介绍了电压监控器的基础知识，并讨论了它如何有助于提高基于数字计算器件（如微控制器）的电子系统的可靠性。数字计算器件对电源供电有严格要求，并存在一些限制。然而，仅靠在欠压情况下将系统置于复位模式，并不足以确保系统长期稳定运行。

除电源要求外，如果忽视系统设计问题和器件的缺陷与限制，系统整体性能也会受影响，导致系统不稳定且可靠性下降。例如，考虑图1所示基于数字计算器件的系统的典型架构。这类应用通常会遇到器件限制带来的问题（如微控制器卡死和软件代码挂起）、环境因素引发的复杂情况（如突然断电），或是设计缺陷导致的故障（如工作条件超出规格范围等）。监控电路不断演进，集成的增强功能可有效解决系统中的关键限制。本文的后续部分将对此进行讨论。

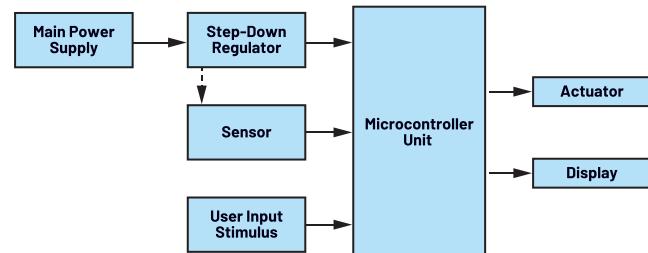
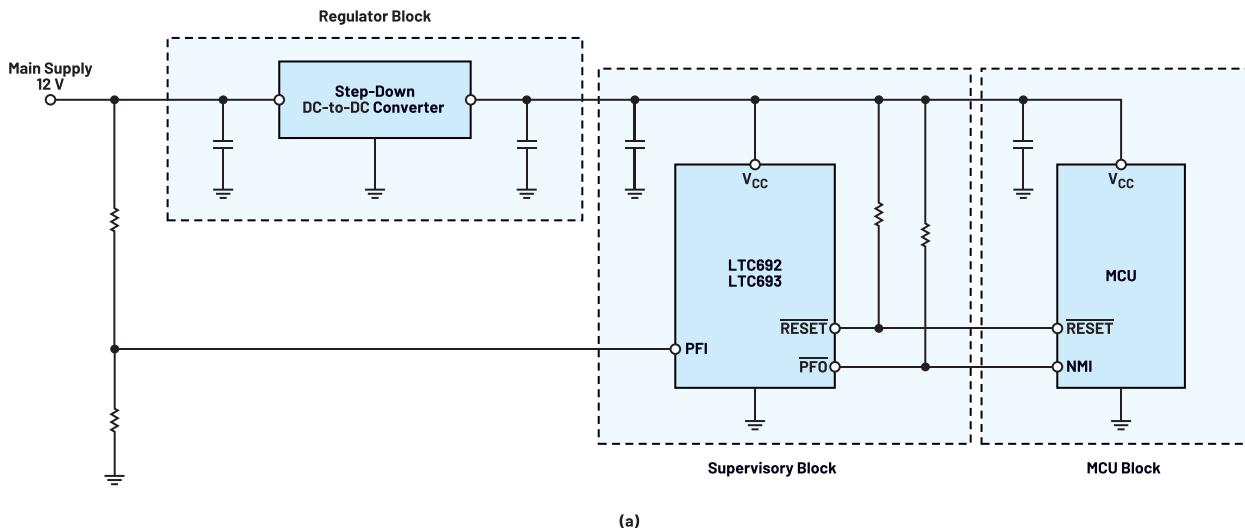


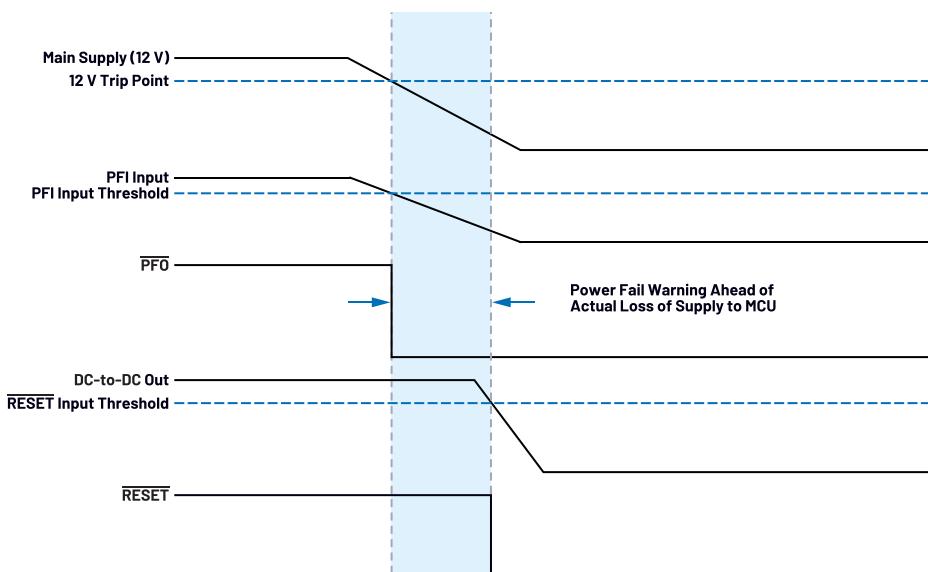
图1. 由输入接口、处理器和输出接口组成的微控制器系统的典型架构。

保护系统免受即将发生的电源故障影响

下游电路的电源大多来自经过降压处理后的主电源。上游电源的故障最终会导致下游电路乃至整个系统发生故障。如果事先未加防范，上游电源故障可能会对系统造成严重影响，包括损坏硬件。尤其是在执行数据处理或存储操作时，后果可能非常严重，比如导致系统故障、数据丢失，造成设备损坏，从而产生额外的维修费用，甚至导致业务暂时中断。



(a)



(b)

图2.(a)电源故障警告电路会通过其PFI引脚检测主电源电压，从而检测是否即将发生电源故障。(b)电源故障警告会在MCU实际掉电前发出。

主电源引起的下游电路故障很难提前检测，特别是在降压型DC-DC稳压器（如图2a所示）的输入范围非常宽的情况下，DC-DC稳压器会在其输入范围内继续运行，而不会向整个系统发出任何警告。

电源故障警告电路会检测系统上游电源是否即将发生故障。它会产生电源故障输出(PFO)信号作为故障预警。可选择适当的元件值参数，使得PFI的电压在DC-DC稳压器输出下降之前的几毫秒降至基准电压以下，从而使微控制器在彻底失去电源之前获得一段缓冲时间，如图2b所示。PFO信号通常用于中断微控制器，以执行必要的处理和关断程序。

具备此特性的电源监控电路包括MAX16020、MAX16033、ADM69x、LTC6911-x，或是LTC69x系列中的产品（如LTC692和LTC693）等。利用电源故障警告特性，可完成其他电源系统诊断，例如监测电池供电设备中的电池电压电平。

确保在电源规格范围内工作

在需要保持严格稳压的系统中，过压故障可能会引发灾难性后果，因此需要使用窗口电压监控器。例如，当今复杂的电子系统通常基于FPGA，而FPGA对电源调节要求非常严格。若超出了规定的电源电压范围，可能无法达到理想状态，导致功耗过高和器件寿命缩短。

窗口电压监控器对于保障一定程度的系统安全性也发挥着重要作用。它通常用于电源诊断，检测欠压(UV)和过压(OV)故障，并触发相应机制将系统置于安全状态。

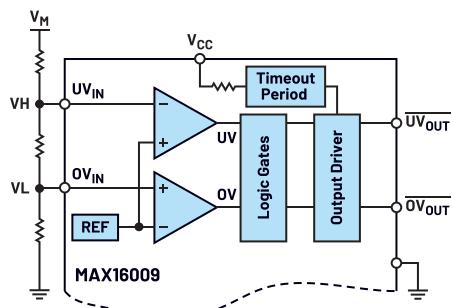


图3. MAX16009其中一个通道的简化框图。

图3显示了MAX16009的一个窗口电压监控器的简化框图示例，它有专用的UV和OV输出接口及电阻配置的触发点。这只是窗口电压监控器的一种已知架构，还有其他实现方案可供选用，以适应不同的应用需求。关于窗口电压监控器的全面讨论，请参见文章“[使用合适的窗口电压监控器来优化系统设计](#)”。

检测微处理器无响应和系统死机

借助看门狗定时器，电压监控器除了监测电源电压外，还能监测微处理器是否无响应，从而进一步避免系统死机。

有多个因素可能导致微控制器卡死、停滞或停止工作，包括电源问题、电气干扰、软件或编码问题。优化电源设计和实施电压监测有助于改善噪声性能和稳定性，从源头防止器件温度升高、性能下降或由此引发的系统死机。对于电气干扰问题，可通过合理的设计来增强系统的抗干扰能力，从而降低微控制器卡死的风险。此外，对于因软件问题导致的系统停滞，例如陷入无限循环、进程运行时间过长或代码逻辑错误，可通过使用看门狗定时器来实现有效检测。它可在指定的时间范围内监测来自微控制器或处理器的时钟信号。若未能在指定的时间范围内发出时钟信号，则表明系统无响应或软件卡死。看门狗定时器提供一个输出信号，此信号可以是看门狗输出(WDO)信号或复位输出信号。

图4显示了远程无线传感器节点中的应用案例，其中看门狗定时器用于监测系统是否无响应。看门狗定时器的输出可触发冗余复位机制，通过电源重启实现软复位和硬复位。请注意，第二个看门狗定时器WD2具有更长的看门狗超时周期；如果无响应状态持续，则利用它来驱动高边MOSFET开关以进行电源重启。¹

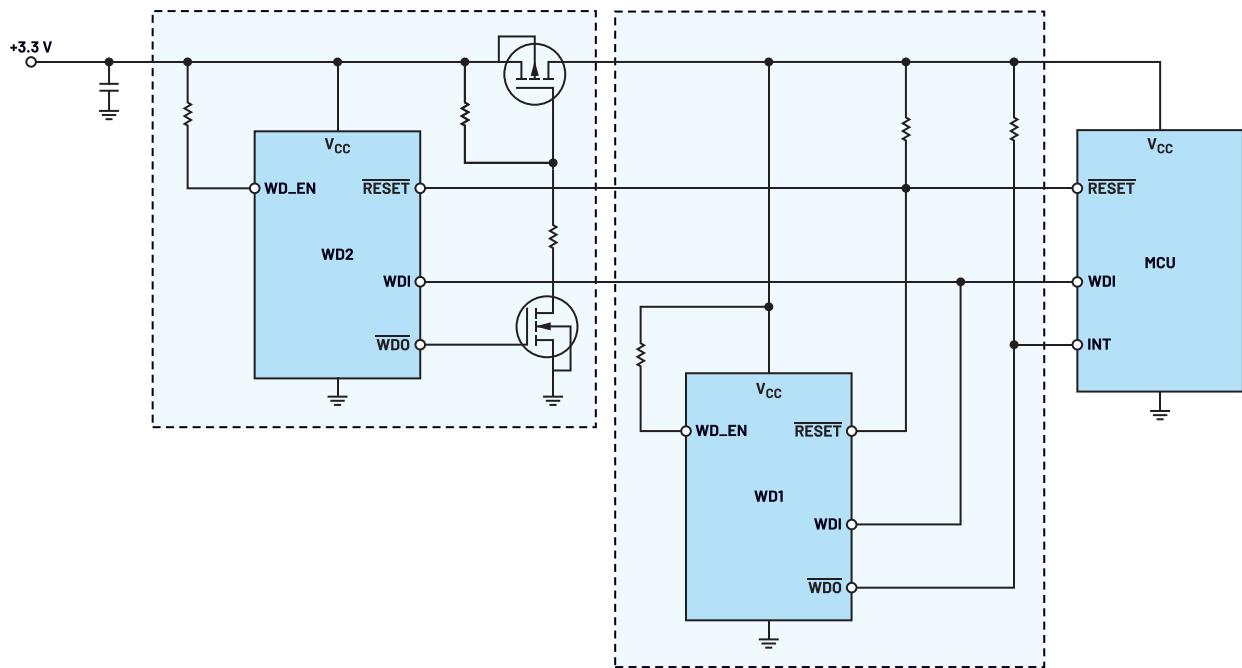


图4. 使用看门狗定时器功能来监测系统是否无响应，并触发冗余复位机制。

随着架构不断改进，看门狗定时器对处理器活动的监测变得更加严格。窗口看门狗的工作方式与普通看门狗类似，区别在于服务周期被划分成多个时间段，每个时间段称为一个窗口。由于服务仅在窗口周期的某些时间有效，因此时序必须更加精准才能确保服务有效。质询/响应式看门狗是ADI最近推出的一种看门狗架构，它要求处理器或微控制器执行一项任务或计算以确保自身处于正常运行状态。在此类看门狗定时器中（如MAX42500），看门狗定时器IC内有一个键-值寄存器。微控制器必须读取此值，并使用它来计算相应的响应。此类看门狗消除了系统卡死在仅发出周期性信号的例程中的可能性。^{2,3}

支持用户控制

各类系统除应支持通过电压故障和看门狗定时器等条件自动触发复位外，往往还需要提供手动复位能力。手动复位(MR)允许用户无需进行硬复位或关闭系统电源，就能执行测试和调试等活动。例如，在解决软件问题时，用户可通过手动复位重启系统。

手动复位特性还允许用户在系统锁定期间强制重新启动，而无需先断电再上电。这样做就不需要重新初始化整个系统，从而节省时间和能源。在应用中，此特性与紧急停车功能一起使用，确保在必要时进行可控关断。

在应用中，例如图5a所示电路，当MR引脚配合机械接口（如开关）甚至外部逻辑使用时，噪声和毛刺可能会产生不良影响，导致复位输出被错误触发。为了防止这种情况，须为手动复位特性引入一些内部电路技术，例如去抖电路和延长手动复位建立周期⁴。图5b所示的例子说明了MAX6444中手动复位建立周期的工作原理及其如何保障输入信号的确定性。关于手动复位误触发应对方案的详细讨论，请参阅文章“[电压监控器如何解决电源噪声和毛刺问题](#)”。

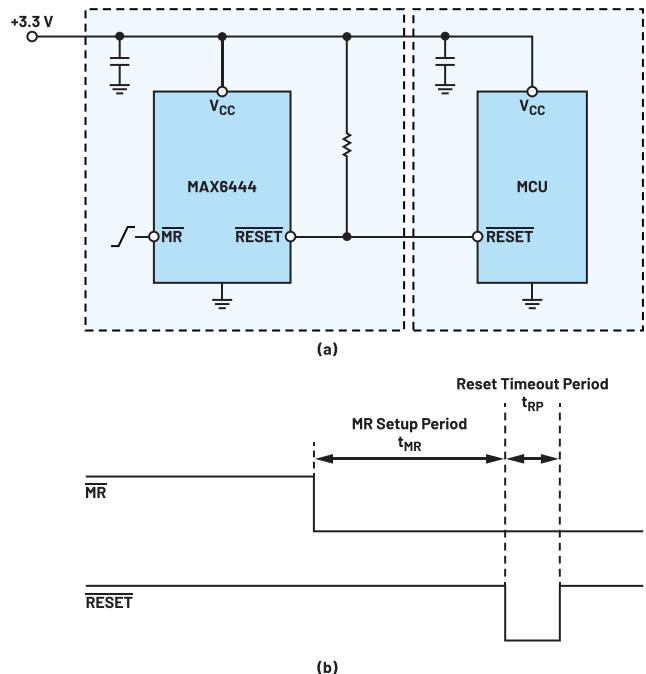


图5.(a)MAX6444的应用电路，MR可通过外部逻辑或开关触发。(b)手动复位建立周期需要在复位输出信号置为有效之前完成。

断电期间保持工作并避免数据损坏

有些应用要求采用非易失性存储器，以确保数据在断电重启后仍能完整保留。这要求即使在断电情况下，CMOS RAM（互补金属氧化物半导体随机存取存储器）中的内容也要仍然可用，系统的其他关键功能也要继续运行。为此，可使用带备用电池的监控电路。⁵

图6展示了一种带备用电池的监控电路。当输入电源电压V_{CC}存在时，此电压将接通输出电压V_{OUT}。如果V_{CC}失效，则电池电压(V_{BATT})将接通V_{OUT}。切换电路会比较输入电源电压和V_{BATT}输入电压，并将输出连接到两者中较高的电压。电路通常存在滞回特性，当V_{CC}下降非常缓慢或接近电池电压时，可防止出现反复和快速的切换。

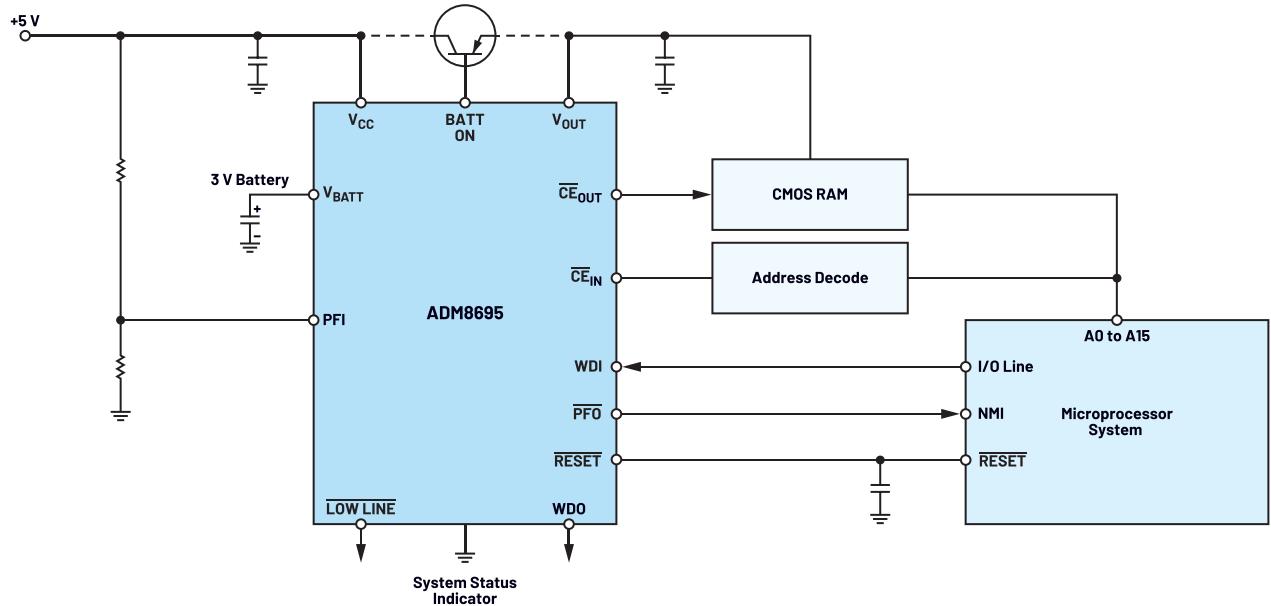


图6. 基于ADM8695的备用电池和芯片使能特性应用电路。

V_{OUT} 可以通过内部开关从 V_{CC} 给外部提供有限的电流。如果需要更多电流，例如在较大负载中，可以添加外部PNP晶体管。当 V_{CC} 恢复到正常稳压状态且高于 V_{BATT} 时，BATT ON输出变为低电平。

作为对备用电池特性的补充，“低电平有效芯片使能”(CE)门控特性也能保护数据，防止数据损坏。来自微处理器或地址解码逻辑的低电平有效CE线会经由监控芯片进行传输，而不是直接进入SRAM。此信号在经过监控芯片时不受任何影响。在复位期间，CE线被强制拉高以禁用对存储器的访问，防止SRAM内容遭受意外数据损坏或错误写入⁵。随着闪存的引入，备用电池特性开始式微。但在许多系统的应用场景中，这项特性仍然非常有用。

虽然一些监控电路具备先前讨论的每种特性，但有些器件将所有特性集成于单一元件之中，从而提供更全面和完整的解决方案。

结语

尽管电压监控器的欠压故障检测功能可提升系统可靠性，但还需引入其他诊断功能与风险缓解机制，以全面应对各类系统故障，进一步增强系统的稳健性与可靠性。电源故障警告、窗口电压监控、看门狗定时器、手动复位和备用电池等附加特性，

有助于应对基于微控制器和微处理器的系统因自身局限性所导致的各种故障，从而避免系统出错。通过监控各种情况并采取措施以避免灾难性后果，能够为系统设计人员和最终用户带来更强的信心和保障。

参考文献

¹ Niño Angelo Pesigan、Ron Rogelio Peralta和Noel Tenorio, “利用低电平有效输出驱动高边MOSFET输入开关以实现系统电源循环”，《模拟对话》，第58卷第1期，2024年2月。

² “窗式看门狗基础知识”，ADI公司，2021年12月。

³ Bryan Borres和Christopher Macatangay, “利用高性能监控电路提高工业功能安全合规性：安全关键特性—第3部分”，《模拟对话》，第59卷，2025年6月。

⁴ Noel Tenorio, “电压监控器如何解决电源噪声和毛刺问题”，《模拟对话》，第57卷，2023年11月。

⁵ “监控电路确保微处理器始终受控”，ADI公司，2002年4月。

作者简介

Noel Tenorio是ADI菲律宾公司工业、电源与精密部门的产品应用经理，主要负责高性能电源监控产品。他于2016年8月加入ADI公司。在加入ADI公司之前，他在一家开关电源研发公司作为设计工程师工作了六年。他拥有菲律宾八打雁国立大学电子与通信工程学士学位、电力电子专业电气工程研究生学位，以及玛普阿大学电子工程理学硕士学位。在负责电源监控产品之前，他还在热电冷却器控制器产品的应用支持领域担任过重要职务。

访问我们的在线技术支持社区，与ADI技术专家互动。
提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

ez.analog.com/cn

 **ADI EngineerZone™**
中文技术论坛



analog.com/cn

有关地区总部、销售和代理商的信息，或客户服务和技术支持的联系信息，请访问analog.com/cn/contact。
©2025 Analog Devices, Inc.保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

TA25985sc-8/25