

为您的 MSP430™ MCU 添加内部管理功能：带时间戳的电压监控器



电压监控对于电池供电和总线供电型应用至关重要，可起到在断电期间保存系统状态的作用。通常应将实时时间保存为时间戳来跟踪断电事件。通过利用内部模数转换器 (ADC) 及其内置窗口比较器、实时时钟 (RTC) 计数器和内部铁电随机存取存储器 (FRAM)，MSP430FR2433 微控制器 (MCU) 可用作应对此问题的低成本解决方案。通过使用 UART 通信功能，主机可设置 POSIX 格式的初始时间，也可查询 MSP430™ MCU 来读取 POSIX 格式的当前时间。此外，在断电期间，实时时间会在 FRAM 中保存为时间戳，以供以后检索。首先，[下载工程文件和演示此功能的示例代码](#)。

NOTE

您可借助所需的 MCU 外设将此示例与任何 MSP430 LaunchPad™ 开发套件搭配使用。若要了解如何迁移引脚分配和外设，请参阅器件特定数据表。

实现

该解决方案使用 MSP430FR2433 MCU 的内部 ADC 窗口比较器和外部电阻器来监控电源电压。图 1 展示了电阻 R_1 和 R_2 如何分配电源电压 (V_{supply})，以及分压 (V_{in}) 如何连接至 ADC 输入通道。根据方程式 1 计算输入电压。如果 V_{supply} 为 3.3V，那么 V_{in} 将为 1.1V。

$$V_{\text{in}} = V_{\text{supply}} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_{\text{supply}}}{3} \quad (1)$$

内部 1.5V 基准电压 (V_{REF}) 被选作 ADC 基准电压，但可通过轻松更改固件来选择 AVCC 或外部基准电压。ADC 窗口比较器的初始高、低压阈值由固件中的 ADC_THR_HIGH_INIT 和 ADC_THR_LOW_INIT 宏定义，并分别根据方程式 2 和方程式 3 计算得出。

$$V_{\text{th(high)}} = V_{\text{REF}} \times \frac{\text{ADC_THR_HIGH_INIT}}{1023} = 1.5 \text{ V} \times \frac{818}{1023} = 1.2 \text{ V} \quad (2)$$

$$V_{\text{th(low)}} = V_{\text{REF}} \times \frac{\text{ADC_THR_LOW_INIT}}{1023} = 1.5 \text{ V} \times \frac{682}{1023} = 1 \text{ V} \quad (3)$$

RTC 计数器模块用作外部 RTC，可提供 POSIX 格式的当前实时时间。主机可设置初始时间，然后通过 UART 接口读取当前时间。内部 32768Hz REFO 振荡器用作 FLL 基准的时钟源和 ADC 触发器的计时器。16MHz SMCLK 用作 RTC 计数器和 UART 模块的时钟源。或者，如果更改 MSP430FR2433 LaunchPad 开发套件上的晶体选择电阻器并将 __ENABLE_XT1__ 符号添加到 CCS 工程中的编译器设置，则可使用外部 32768Hz 晶体作为时钟源。

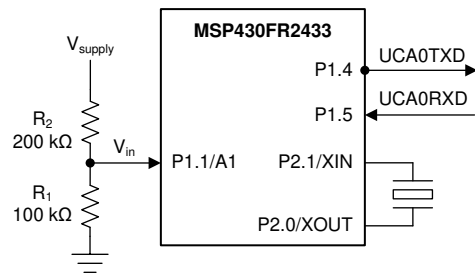


图 1. 电压监控器方框图

如果电源电压降至 3V 以下， V_{in} 会降至 1V 以下，低于 $V_{th(low)}$ 。如果电源电压升至 3.6V 以上， V_{in} 会升至 1.2V 以上，高于 $V_{th(high)}$ 。在以上任一情况下，都会触发 ADC 窗口比较器中断。在 ADC 中断服务例程 (ISR) 中，当前时间戳存储在 FRAM 中以记录断电或尖峰事件。通过更改电阻分压器以及固件中的 `ADC_THR_HIGH_INIT` 和 `ADC_THR_LOW_INIT` 宏，可根据特定应用要求监控不同的电压电平。

ADC 窗口比较器输入电压 (V_{in}) 根据分压器中两个电阻的比值设定。即使这一比值保持恒定，选择实际电阻值时也需要考虑一些权衡因素。电阻较低时，通过分压器的电流会增加。若要了解如何选择尺寸优化的电阻，请参阅 [优化比较器上的电阻分压器](#)。

另一种情况是将分压器的接地端连接到 MCU 的某个 GPIO，而不是将电路板接地端直接连接到 R_1 电阻。测量 V_{in} 时设置 GPIO 输出为低电平可代替连接到 R_1 电阻的接地端，不测量 V_{in} 时设置 GPIO 输出为高电平则可降低分压电路的静态功耗。

MSP430FR2433 LaunchPad 开发套件 用于测试此解决方案，但它可用于具有适当外设支持和代码迁移的任意 MSP430 MCU。LaunchPad 的 eZ-FET 反向通道 UART 接口可在 9600 波特下连接到 PC 终端程序或 GUI Composer，用于评估和进一步测试。

该固件采用以下 UART 通信协议：

命令	D0	D1	D2	D3
----	----	----	----	----

对于 READ 命令，请求将数据字节作为来自 MSP430 MCU 的响应。每个响应的命令字节都包含在内，以便更轻松地区识别数据。对于 WRITE 命令，数据字节会发送至待处理的 MSP430 MCU。会首先向时间戳和阈值数据发送 LSB。时间戳数据应解释为 D3D2D1D0h，阈值数据应解释为 D1D0h。

RTC_READ_TIME 命令

00h	D0	D1	D2	D3
-----	----	----	----	----

RTC_WRITE_TIME 命令

01h	D0	D1	D2	D3
-----	----	----	----	----

RTC_READ_THR_HIGH 命令

02h	D0	D1	D2	D3
-----	----	----	----	----

RTC_READ_THR_LOW 命令

03h	D0	D1	D2	D3
-----	----	----	----	----

ADC_READ_THR_HIGH 命令

04h	D0	D1
-----	----	----

ADC_READ_THR_LOW 命令

05h	D0	D1
-----	----	----

ADC_WRITE_THR_HIGH 命令

06h	D0	D1
-----	----	----

ADC_WRITE_THR_LOW 命令

07h	D0	D1
-----	----	----

 = 响应

性能

该解决方案使用 ADC 窗口比较器来监控电源电压，只要检测到断电或尖峰事件，就会在 FRAM 中存储一个时间戳。默认情况下，FRAM 具有写保护功能。FRAM 仅在必须存储时间戳时才不受保护，然后在写入后又再次受到保护。

使用 ADC 窗口比较器可轻松设置不同的电压阈值。与普通 ADC 输入相比，ADC 窗口比较器的主要优势是 CPU 不需要评估输入电压。这些阈值由 ADC 模块自动监控，无需唤醒 CPU，从而降低功耗并增加整体带宽。该解决方案使用外部电阻分压器，因此还可以监控高于 MCU 电源电压的电压。主机可通过发送 `ADC_READ_THR_HIGH` 和 `ADC_READ_THR_LOW` 命令从 MSP430 MCU 请求电流阈值。主机还可通过发送 `ADC_WRITE_THR_HIGH` 和 `ADC_WRITE_THR_LOW` 命令使用新阈值来更改电流阈值。

器件中的 RTC 计数器模块会每秒更新一次实时时间。主机可通过向 MSP430 MCU 发送 `RTC_READ_TIME` 命令来请求当前实时时间。如果必须更新实时时间，主机可发送 `RTC_WRITE_TIME` 命令以及当前实时时间。还可通过分别发送 `RTC_READ_THR_HIGH` 和 `RTC_READ_THR_LOW` 命令来请求高阈值和低阈值的最新时间戳。例如，在 MSP430 MCU 断电并重新上电后，主机可发送 `RTC_READ_THR_LOW` 命令来了了解断电的发生时间。此外，只要超过阈值，固件就会自动向主机发送时间戳。

对于独立演示，可使用 PC 终端程序（例如 Docklight、Tera Term 等）作为主机。图 2 中显示了一个示例，该示例演示了所有命令和数据，包括读取初始 RTC 时间、设置新时间和读取时间以确认其已更新。注意 `RTC_WRITE_TIME` 命令已在 09:54:06 发送给 MSP430 MCU 并设为 78563412h。1 秒后（即 09:54:07）发送了 `RTC_READ_TIME` 命令，回复显示当前时间戳值递增至 78563413h，增幅为 1 秒。请注意，不受支持的命令 95h 也被发送，但该命令已被 MSP430 MCU 正确忽略。

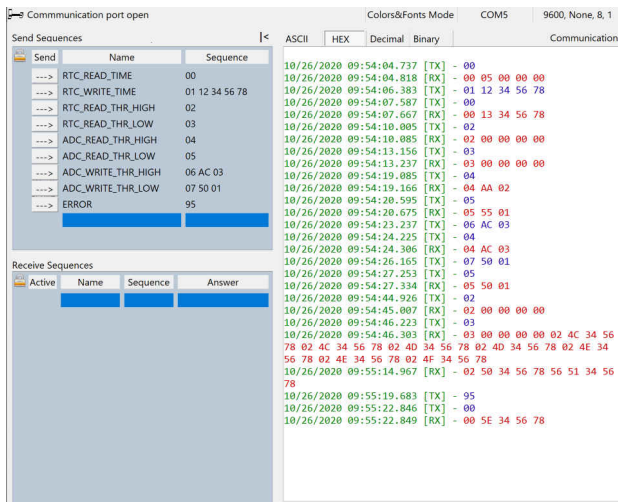


图 2. 带时间戳的电压监控器的独立演示

对于 GUI 演示，GUI 可用作主机，如图 3 所示。可通过点击第一部分中的“CURRENT TIMESTAMP”按钮来读取 RTC。可通过在文本框中输入 8 位 POSIX 时间戳并按 Enter 来设置新时间戳。通过移动滑块或在文本框中输入新值，然后按 Enter，可在第二部分中调整 ADC 窗口比较器的高低阈值。此部分中的按钮还可用于从 MSP430 MCU 请求阈值。GUI 会自动防止阈值重叠或超过最大值。点击第三部分中的“HIGH THRESHOLD”和“LOW THRESHOLD”按钮（例如，在电源故障后），则可从 MSP430 MCU 请求最新的时间戳。否则，只要输入电压超过某个阈值，系统就会自动更新文本框中的时间戳。请注意，通过删除 CCS 工程中编译器设置中的 `__ENABLE_GUI__` 符号，重新编译代码并对器件进行编程，可在独立模式下使用 GUI 演示代码。

Demo

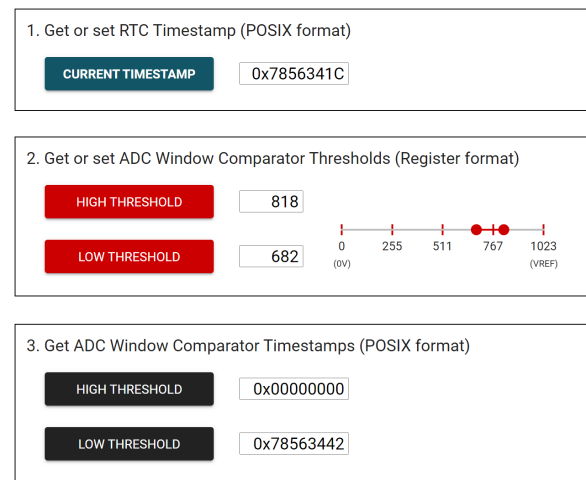


图 3. 带时间戳的电压监控器的 GUI 演示

开始使用

1. 观看培训视频“[使用内部管理型 MCU、带时间戳的电压监控器](#)”，了解如何使用 GUI 设置时间戳然后确定电源发生故障的时间。
2. 订购 [MSP430FR2433 LaunchPad 开发套件](#)，评估带时间戳的电压监控器示例 GUI 和代码。
3. 下载并测试[带时间戳的电压监控器示例 GUI](#)，轻松配置和查看时间戳和阈值。
4. 使用 [MSP430FR2433 LaunchPad 开发套件](#)评估带时间戳的电压监控器示例代码。

表 1. 器件推荐

器件型号	主要特性
MSP430FR2433	16KB FRAM，4KB SRAM，10 位 ADC，UART/SPI/I2C，计时器
MSP430FR2422	8KB FRAM，2KB SRAM，10 位 ADC，UART/SPI/I2C，计时器

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司