

## Design Guide: TIDM-1WIREEEPROM

## 使用 1-Wire® 通信协议的存储器仿真参考设计



## 说明

TI Designs 为您提供包括方法、测试和设计文件在内的基础信息，以便您快速评估和定制系统。TI Designs 可帮助您缩短产品上市时间。

## 资源

[TIDM-1WIREEEPROM](#)

设计文件夹

[MSP-EXP430FR5969](#)

工具文件夹

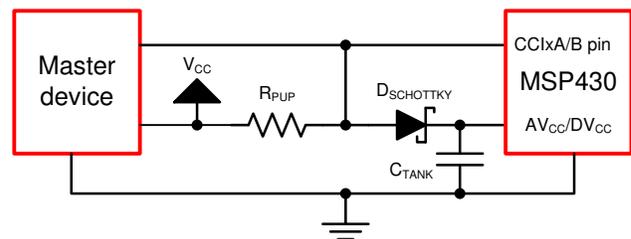
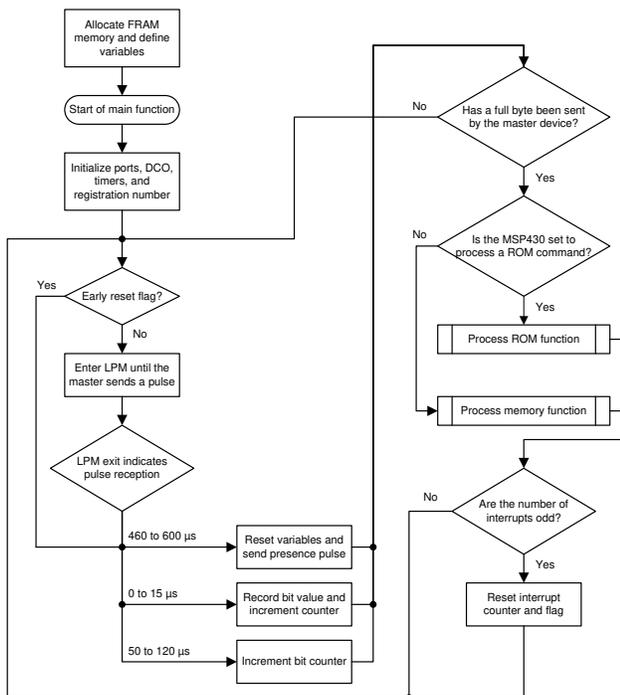


## 特性

- 完整的 1-Wire® 协议支持轻松转换和替代相似的 EEPROM 器件
- 在待机模式下，使用 LPM，可让平均待机电流消耗为 600nA
- 在任何 MSP430™ FRAM 器件中均可实现此设计，并且可提高可用 EEPROM 存储器空间的灵活性
- 包括可选运行模式，例如专用或寄生功率
- 在用于其他 1-Wire® 应用程序中时，可修改所提供的固件

## 应用

- 附加器件的存储器存储
- 器件标识和身份验证
- 个人电子产品外设



## 1 系统说明

TIDM-1WIREEEPROM 是一款基于固件的参考设计，能仿真 MSP430 铁电 RAM (FRAM) 器件上的 EEPROM 功能。MSP430 铁电 RAM (FRAM) 器件与 1-Wire<sup>®</sup> 通信协议兼容。正如其名，1-Wire<sup>®</sup> 通过由电阻器上拉的公共线路实现主从器件之间的通信。通过遵循决定通信速度的 1-Wire<sup>®</sup> 协议，当主器件轮询从动器件时，从动器件会影响数据线的极性。1-Wire<sup>®</sup> 从动器件使用单线成功接收命令并发送响应。该总线系统的另一个独特优势是，系统只需在器件之间连接两根导线（即数据线和接地线），并直接通过数据线供电。这种工作模式称为寄生电源（与典型专用电源相比）。要获得寄生电源，请插入一个肖特基二极管和储能电容器，以便在数据线被主动拉至低电平时为从动器件供电。

通过采用低功耗模式 (LPM) 和 FRAM 技术，MSP430 器件上可以复制 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 功能。MSP430 器件上的 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 复制功能已经通过 MSP-EXP430FR5969 LaunchPad™ 和 TM4C129XNCZAD 开发板（用作 1-Wire<sup>®</sup> 主器件）进行了测试。以高效的方式在 LPM 内部运行使 MSP430FR5969 器件能够采用寄生电源模式或保持使用专用电源模式。MCU 在无通信发生的待机模式下进入更经济的 LPM，可能会使系统电流消耗达到最低。与其他可用的 1-Wire<sup>®</sup> 器件相比，在为 EEPROM 存储器分配 FRAM 空间时有一定的灵活性，这样，设计也可更加灵活性，且能存储数据。

此 TI Design 包含在 MSP430 FRAM 器件上模仿 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 功能的资源。此设计说明了所需的简单硬件连接，以及随附的代码编译器套件™ C 代码应用程序固件。节 3 和 节 4 说明如何在硬件和软件中的专用电源和寄生电源之间切换，同时分配 FRAM 空间以供 EEPROM 存储器使用。这些说明还可帮助用户了解 1-Wire<sup>®</sup> 协议下每个 ROM 和存储器功能命令的用途和应用，以及如何启动与目标 1-Wire<sup>®</sup> 主器件的通信。

我们使用了 Saleae<sup>®</sup> 逻辑分析仪来测试和确认 1-Wire<sup>®</sup> 主器件和 MSP430 FRAM 从动器件之间的 1-Wire<sup>®</sup> 通信协议是否正确。本指南的 节 5 已经提供了几个逻辑分析仪读数屏幕截图。使用 Keysight N670 5B DC 电源分析仪测量了功耗。还使用 EnergyTrace™ 软件记录了 CPU 和外设状态。

### 1.1 MSP-EXP430FR5969

MSP-EXP430FR5969（也称为 FR5969 LaunchPad™）是一种价格低廉的评估模块，可用于评估和应用 MSP430 FRAM 技术。使用板载 eZ-FET 仿真器对 MSP430 器件进行编程和调试，使用 USB 为 PC 提供反向通道 UART 并与 EnergyTrace++ 进行通信，开发变得非常简单。配置两个用户按钮和 LED，无需额外的硬件即可进行用户交互。此 LaunchPad 展示了 MSP430FR5969 16 位 MCU，其具体配置了 64KB 的 FRAM，2KB 的 SRAM，速度高达 16MHz 的 CPU，5 个计时器块，一个 16 通道 12 位模数转换器 (ADC)，以及其他数字外设（包括 AES256、CRC、MA 和 HW MPY32）。0.1F 超级电容器支持独立电源选项，并且可使用 20 引脚 BoosterPack 扩展标头，以及 BoosterPack 生态系统中包含的各种可用插件模块来实现快速原型设计。

此参考设计中使用的唯一外设是两个单独的计时器。一个计时器 TA1 连接到数据线，并使用 CCIxA 和 CCIxB 功能来测量主 1-Wire<sup>®</sup> 器件发送的脉冲宽度。该引脚还必须能够切换到通用输出操作，以通过上拉数据线进行响应。本参考设计提供的应用固件使用引脚 P1.2 上 TA1 的 MSP430FR5969 CCI1A 模块输入信号来完成该任务，但实际上可以修改代码以使用任何 CCIxA 或 CCIxB 引脚。另一个计时器 TA0 用于延迟和其他通用计时机制。MPU 能保护存储在 FRAM 中的 EEPROM 存储器免受 CPU 意外执行或读写访问。

## 2 方框图

### 2.1 TIDM-1WIREEEPROM 系统方框图

图 2-1 显示了主器件和相应 MSP430 从动器件之间，能复制 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 功能的典型连接。如果需要使用专用电源模式来代替寄生电源模式，则 AV<sub>CC</sub>/DV<sub>CC</sub> 引脚也可直接连接至 V<sub>CC</sub>。

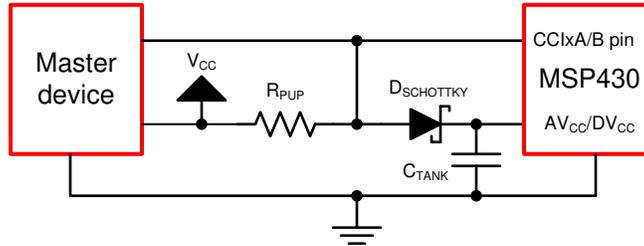


图 2-1. TIDM-1WIREEEPROM 系统方框图

#### 2.1.1 MSP-EXP430FR5969 功能图

图 2-2 展示了 MSP430FR5869 器件的功能方框图。图 2-3 展示了 MSP-EXP430DF5969 LaunchPad 板的功能方框图。虚线的上半部分表示 eZ-FET，虚线的下半部分表示目标连接。

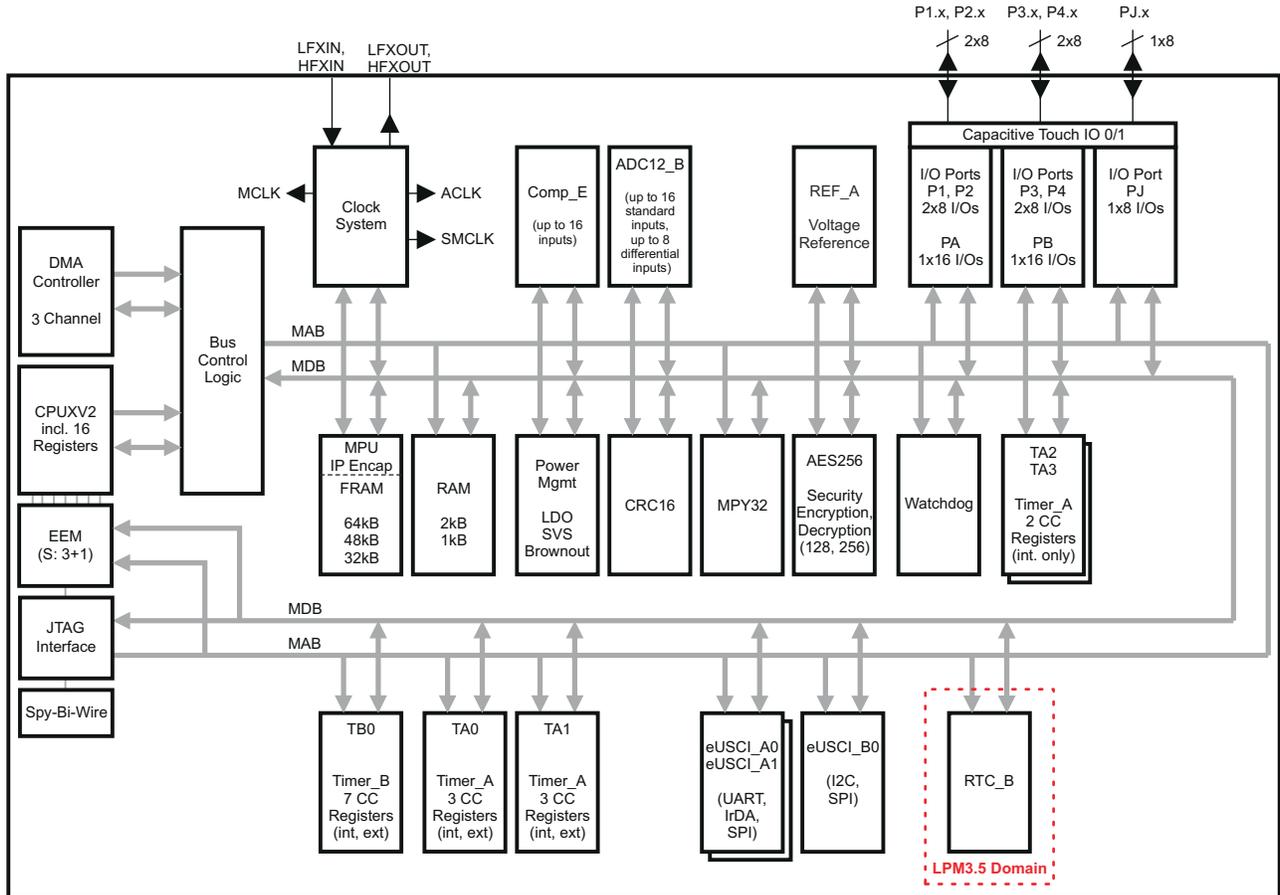


图 2-2. MSP430FR5969 功能框图

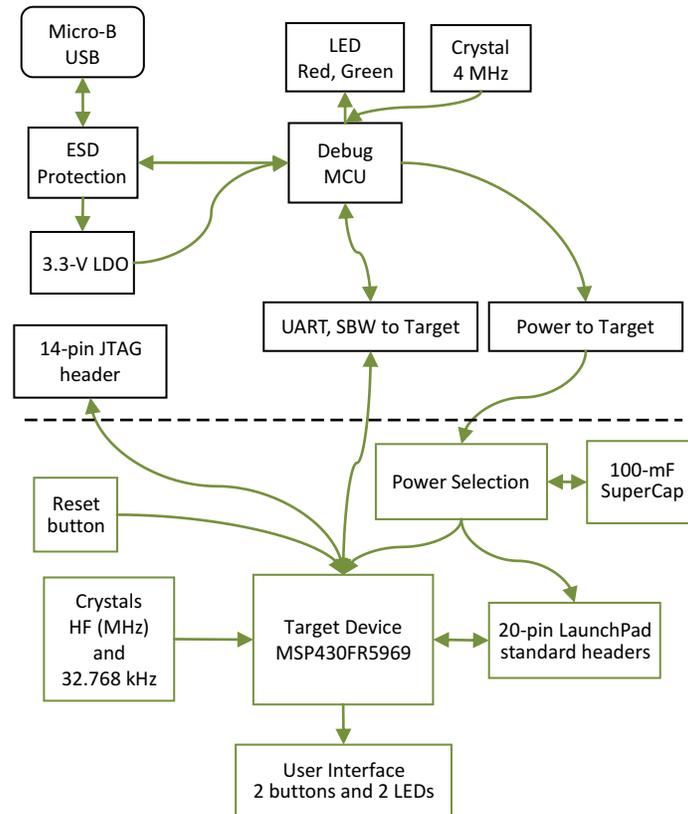


图 2-3. MSP-EXP430FR5969 功能框图

### 3 硬件注意事项

#### 3.1 专用电源操作

在专用电源模式下设置 1-Wire® 运行所需的 MSP-EXP430FR5969 LaunchPad 硬件只需三项连接：电源、接地和数据。GND 必须能在 MSP430 器件和 1-Wire® 主器件之间共用，但是每个器件的电源可共享或单独提供。数据线必须源自可在计时器 CCIxA/B 和 GPIO 功能之间切换的 MSP430 器件引脚。选择带有 CCI1A 计时器模块输入的 P1.2 作为本项设计的默认引脚。将数据线连接到主器件的功能 1-Wire® 引脚，并使用电阻器  $R_{Pup}$  ( 值范围为 270  $\Omega$  到 2200  $\Omega$  ) 将数据线拉高。

如果需要 EnergyTrace 读数或需要来自 MSP-EXP430FR5969 板载 micro-USB 连接器的电源，则 LaunchPad 跳线方向必须正确，以将 MSP430FR5969 器件连接到电路板的 eZ-FET 部分。将 J2 设置为旁路并且将 J10 设置为调试程序。必须给 J9 和 J13 跳线组的 GND、V+、RST 和 TST 中的最小项输入数据。在超级电容器中 J11 保持为未填充状态，在本次设计中未对其进行研究和使用。但是，如果需要外部电源，请将 J10 切换到外部，并且 J13 跳线组的所有跳线都必须空载。如果在使用外部电源时需要调试功能，则只能给 J13 的 GND、RST 和 TST 输入数据。图 3-1 显示了 LaunchPad 标头的位置。

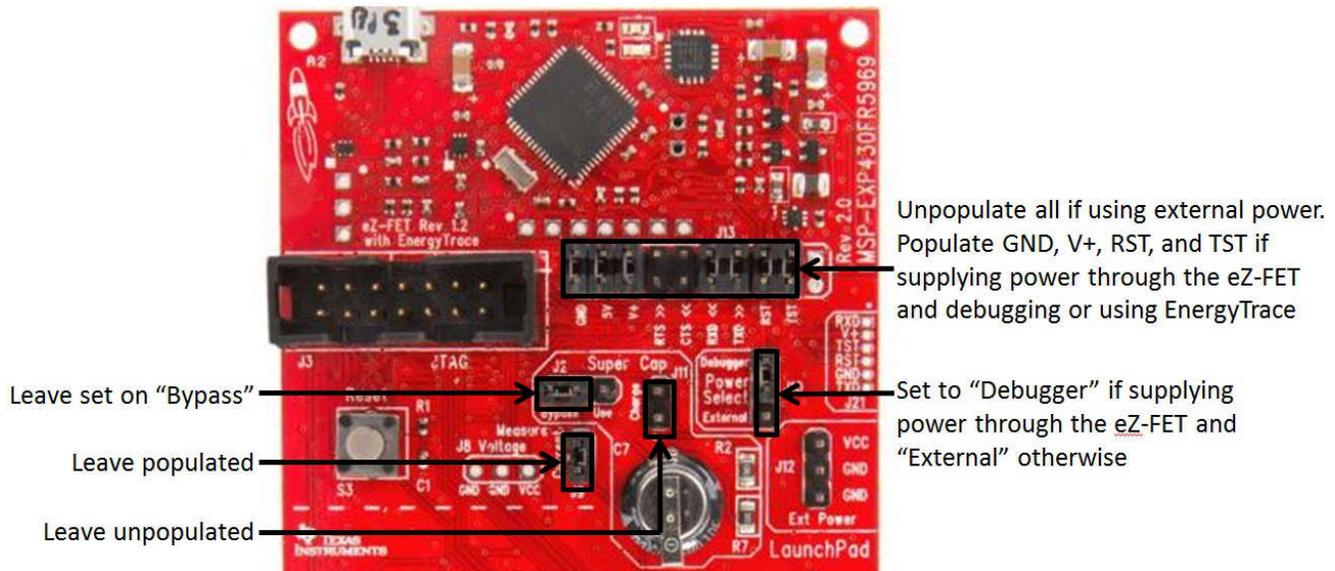


图 3-1. MSP-EXP430FR5969 标头的方向

#### 3.2 寄生电源运行

专用电源部分的所有规则在寄生电源运行期间仍适用；但是，与独立电源相比，硬件原理图略有变化，使 MSP430FR5969 器件能通过数据线获取电源。通过使用肖特基二极管（为低压降电压而选择），将  $V_{CC}$  连接到数据线可以避免器件直接连接到电源。然后将一个储能电容器  $C_{Tank}$  从  $V_{CC}$  连接到 GND 以存储额外电荷，同时将数据线保持为低电平以进行通信。此应用中使用的肖特基二极管，其正向压降必须小于 250mV，以便二极管不会超出 MSP430 器件在  $V_{CC}$  和 GPIO 之间的额定电压。通过查看图 2-2，深入了解在寄生电源模式下为保证运行而需要变更的硬件。表 6-1 列出了所推荐的值和部件编号。

$R_{Pup}$  和  $C_{Tank}$  的值决定了 RC 时间常量（对电容器进行充放电所需的时间），并可以根据最坏情况下所需的字节传输数量对其进行略微更改，而不会耗尽  $C_{Tank}$ ，也不会导致 MSP430 器件进入复位状态。有关寄生电源模式的更多信息，请参阅节 4。

## 4 固件注意事项

### 4.1 代码概览

此款 TI Design 中包含一个软件包，其中包含专为在 MSP430FR5969 器件上进行 1-Wire® EEPROM 仿真而设计的应用固件。若要评估 TIDM-1WIREEEPROM 固件，必须使用 CCS V6.0.1 (或更高版本) 导入 CCS 工程，并将其加载到 MSP-EXP430FR5969 板上。由于本设计中存在一些外设限制，因此可以轻松地对固件进行重新组织，以便在任何 MSP430 FRAM 器件上实施。可以针对其他 1-Wire® 应用程序 (例如 RTC、电池监控和温度检测应用程序) 的操作进一步更改代码。图 4-1 显示了本固件的主方框图。

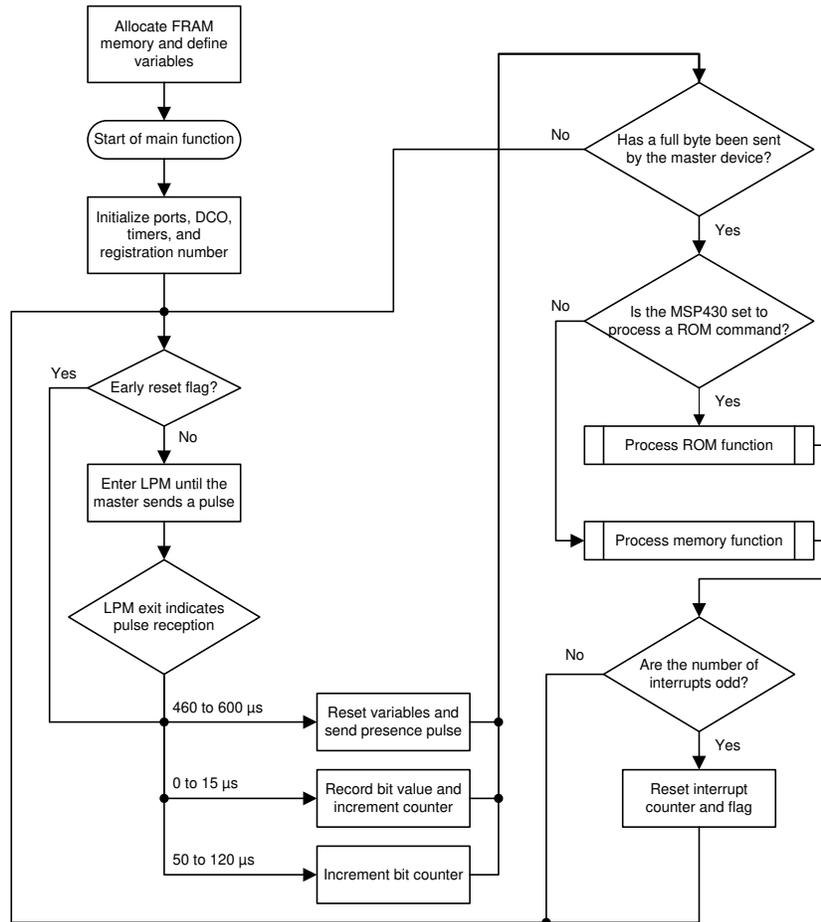


图 4-1. 固件主方框图

此代码在待机模式下使用 LPM4 实现低功耗，而主器件未请求任何对应信息。从 LPM4 上唤醒表示通信已开始，主器件发送复位脉冲，使用 CCI1A 模块测量长度。初始化之后接收到的所有脉冲都可能产生以下三个选项之一：另一个复位命令、值为 0 的位或值为 1 的位。复位命令会产生存在响应，然后重置计数器。否则，会存储位值，计数器会针对下一位递增，直到填充一个完整的字节，并输入命令子函数。器件会重新进入待机模式，并重复整个过程。下述各部分介绍了器件操作流程，包括注册号和地址寄存器的用途、正确的事务序列、通信的初始化方式，以及与 ROM 和存储器功能命令相关的详细信息。此外，还列出了一些设计限制，以使用户了解相关情况。

### 4.2 设计限制

由于采样分辨率要求符合 1-Wire® 协议，MSP430 器件必须以最低处理器频率 16MHz 运行。固件针对此频率进行了优化，若要进行更改，需要对代码的时序进行多次更改。MSP430 器件只有在主器件处于活动状态时才能进入 LPM0，因为效率更高的 LPM 没有足够的唤醒时间来正确测量和响应所发送的最短脉冲。当检测到复位脉冲时，器件恰好进入 LPM4。

## 备注

过驱模式无法通过 MSP430 器件上的 1-Wire<sup>®</sup> 设计实现，并且未作为选项包含在固件中。

在寄生模式下运行时，可在  $C_{\text{Tank}}$  放电之前，连续发送最坏情况下的最大数量字节（即 00h，因为这样能将数据线保持最长时间）。MSP430 器件功率不足，无法继续运行，会进入复位状态。最大值取决于  $R_{\text{Pup}}$  和  $C_{\text{Tank}}$ ，它们能定义 RC 时间常量并且能用作主器件的 VCC 电平和下拉强度。在测试 TM4C129XNCZAD 开发板的设置时， $R_{\text{Pup}}$  的值为  $1\text{k}\Omega$ ，而  $C_{\text{Tank}}$  的值为  $22\mu\text{F}$ 。最坏情况下的最大传输数约为 100 字节。将  $R_{\text{Pup}}$  的值降低到小于  $280\Omega$  并在实际设计情况允许时将  $C_{\text{Tank}}$  的值增加到尽可能高的值，从而进一步改善此结果。但是，在大多数应用中，因为有了这种差异，就不能一次性发送完整的 EEPROM 内容。相反，为了给  $C_{\text{Tank}}$  充电，必须以预定的大小发送存储器且中间有一个延迟。在此过程的详细指南中，还陈述了节 4.8 中提供的固件设计。可以在专用电源模式下连续发送完整的 EEPROM 内容。

如果使用 MSP430FR5969 器件模拟 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 功能（例如在本设计指南中使用 MSP-EXP430FR5969），则必须考虑一项独特的运行条件。如果在寄生电源模式下响应一个读取存储器命令而未适当考虑单次  $C_{\text{Tank}}$  充电期间可以发送的 EEPROM 存储器容量，则 MSP430 器件可能会将电源轨降低至超过 SVSH 断电电平并导致器件复位。一旦发生器件复位，MSP430 器件不再拉取共享数据/V<sub>CC</sub> 线路，从而使电源轨返回到工作电压。但是，在 MSP430 器件已处于复位状态后不久，主器件可以发出复位脉冲来防止发生这种情况。复位脉冲可能会导致 MSP430 器件进入 BOR 条件，在此条件下，MSP430FR596x, MSP430FR594x 混合信号微控制器数据表中会显示欠压和器件复位电源斜坡要求表，并要求器件的 V<sub>CC</sub> 在再次上电之前一直降至 GND。要缓解此问题，主器件必须在读取存储器命令完成后等待一段时间（时间长短取决于  $R_{\text{pup}}$  和  $C_{\text{Tank}}$  的值），然后再发出复位命令。否则，如果已经进入 BOR 条件，则主器件必须抑制共享数据和 V<sub>CC</sub> 线，直到 MSP430 器件电源轨达到 GND 并释放，以便器件可以返回到正常工作电压。只有在需要使用 MSP430FR5969 器件时，该预防措施才能在寄生电源模式下有效。

### 4.3 注册号

在固件的初始化阶段，会创建一个专用于器件的 64 位注册号，用于区分和验证连接到数据线的 1-Wire<sup>®</sup> 从动器件。由节 4.6 中所述的几个 ROM 函数命令调用。最低有效字节 (LSByte) 是系列代码，用户可以通过更改系列常量的值来确定该代码。以下 6 个字节包含批次或晶圆 ID，以及裸片 X 和 Y 位置的 LSBytes。可在 MSP430FR5969 器件存储器的器件描述符 (TLV) 表中的裸片记录部分找到上述数值，并且这些数值是每个器件专用的。这些值在器件的有效期内保持为常量值，在任何情况下都不得在注册号中将其代替或替换。最高有效字节是通过将前 7 个字节加载到 CRC8 算法而生成的 CRC 代码。

### 4.4 地址寄存器

固件使用两个地址寄存器：2 个字节的目標地址 (TA) 和带有数据状态字节的结束地址 (E/S)。TA 表示要写入或读取数据的地址。TA 寄存器的长度为 2 个字节，可扩展到最大地址 0xFFFF。它受分配给 EEPROM 存储器存储的 FRAM 空间量的限制，该空间量由固件中定义的 MEMORY\_SIZE 决定。固件可根据应用要求进行修改。结束地址表示写入 32 位暂存区时相对于目标地址的偏移量，并且解释了此地址只有 5 位（代表最大为 31 的偏移量）的原因。

E/S 字节的第六位和第八位代表两个不同的数据状态标志：已接受的授权 (AA) 和部分字节标志 (PF)。鉴于经设置的 PF 会提示在上次尝试期间数据未正确写入暂存区，为此，AA 也会提示存储在暂存区中的数据何时成功复制到目标存储器地址。第七个 E/S 位是空的，仅读取 0 值。有关这些标志的更多信息，请参见节 4.7。

### 4.5 事务序列

与 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 器件的所有通信都必须遵守以下协议：

1. 初始化
2. ROM 功能命令
3. 存储器功能命令
4. 事务/数据

然后重复该过程，直到主器件不再需要向从动器件发送指令，或不再要求从动器件提供其他信息。以下各节详细说明了事务序列的每个步骤。

## 4.6 初始化

基于 1-Wire<sup>®</sup> 协议的每个事务都以初始化序列开始，其包含一个由主器件发出的复位脉冲和一个由从器件发出的存在脉冲。这种脉冲交换会与数据线的每一侧同步，并准备脉冲以开始新事务。固件旨在识别 460 $\mu$ s 至 600 $\mu$ s 长的复位脉冲，并以 100 $\mu$ s 长的脉冲进行响应（在 30 $\mu$ s 延迟后）。然后，为节省电力，固件会进入 LPM0，但仍准备从主器件快速获取预计为 ROM 功能命令的下一个字节。

## 4.7 ROM 函数命令

此命令旨在确保所需的 1-Wire<sup>®</sup> 器件已正确连接并准备好接收主器件发出的存储器功能命令。此任务主要是通过使用从器件的唯一注册号来完成的。此数字有助于主器件区分所连接的器件。此外，如不需要，可提供替代命令来跳过识别。图 4-2 展示了 ROM 功能命令方框图。

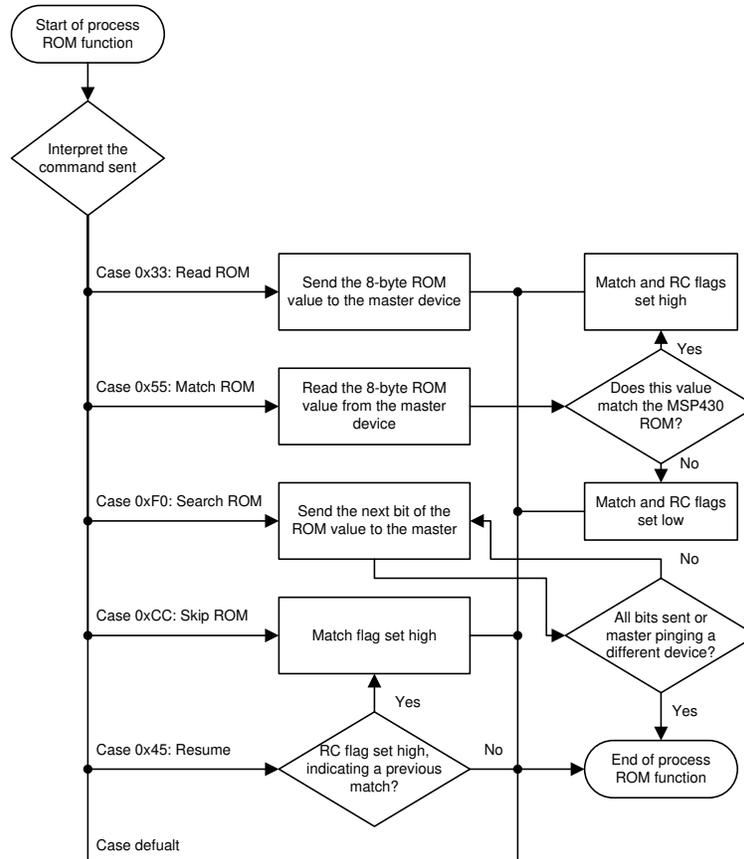


图 4-2. ROM 命令功能方框图

每个 ROM 命令的说明如下：

- 读取 ROM (0x33)：MSP430 器件通过向主器件发送 64 位注册号进行响应。仅当总线上有单个从动器件时才可以此命令，否则会发生数据冲突。
- 匹配 ROM (0x55)：在此命令之后，主器件有一个 64 位注册号，只有与此 ROM 序列精确匹配的从动器件才会响应后面的存储器功能命令。RC 标志也设置为高电平，用于与恢复命令相关联的目的。总线上的所有其它从动器件将各自的 RC 标志保持在低电平并等待一个复位脉冲。
- 恢复 (0xA5)：只有最近通过匹配 ROM 命令（即 RC 标志设置为高电平）连接到主器件的从动器件才会响应后续的存储器函数命令；其余从动器件再次保持为休眠状态，直到发生复位。
- 跳过 ROM (0xCC)：如果单总线系统不需要识别从动器件，此命令允许在不提供 64 位 ROM 代码的情况下访问存储器功能。该命令不能与总线上的多个从动器件一起使用，因为这会导致传输混淆。
- 搜索 ROM (0xF0)：为了在总线上有多个从动器件时使用，该命令通过运用消除这一道程序来帮助主器件区分每个从动器件的注册号。首先，每个从动器件发送该从动器件 ROM 的最低有效位 (LSB) 后跟该位的补码。然

后，主器件以一个位值进行响应。如果主器件发送的位与从器件的位值匹配，则该过程继续进行，直到发送完整的 64 位寄存器编号。然而，如果在任何时候位值不匹配，那么从器件停止运行，直到发生脉冲复位。主器件可能会重复该命令，直到识别总线上的所有从器件。

假设请求了与 MSP430 1-Wire® 兼容的器件，则会设置匹配标志来指示主器件接收的下一个字节必须是一个存储器功能命令，之后会发生信息事务。如果字节未正确转换为 ROM 功能命令，则默认操作是让 MSP430 器件继续读取字节，直到器件接收到适当的 ROM 命令或接收到复位脉冲。如 节 4.6 所述，固件在等待存储器命令字节时使用 LPM0，以便固件可以有效地节省电量。

#### 4.8 存储器功能命令

目前已正确识别了与 1-Wire® 兼容的器件并注明了其地址，可以开始合法运用 EEPROM 的功能了。利用此功能，您可以修改暂存区内容，或读取或写入器件存储器。在执行命令之前，必须重置匹配标志，以便处理的下一个字节是新事务序列期间的 ROM 函数命令。如果主器件发送了无意义的存储器命令，则所发送的下一个字节必须是复位脉冲或重复的 ROM 命令。图 4-3 展示了存储器功能命令方框图。

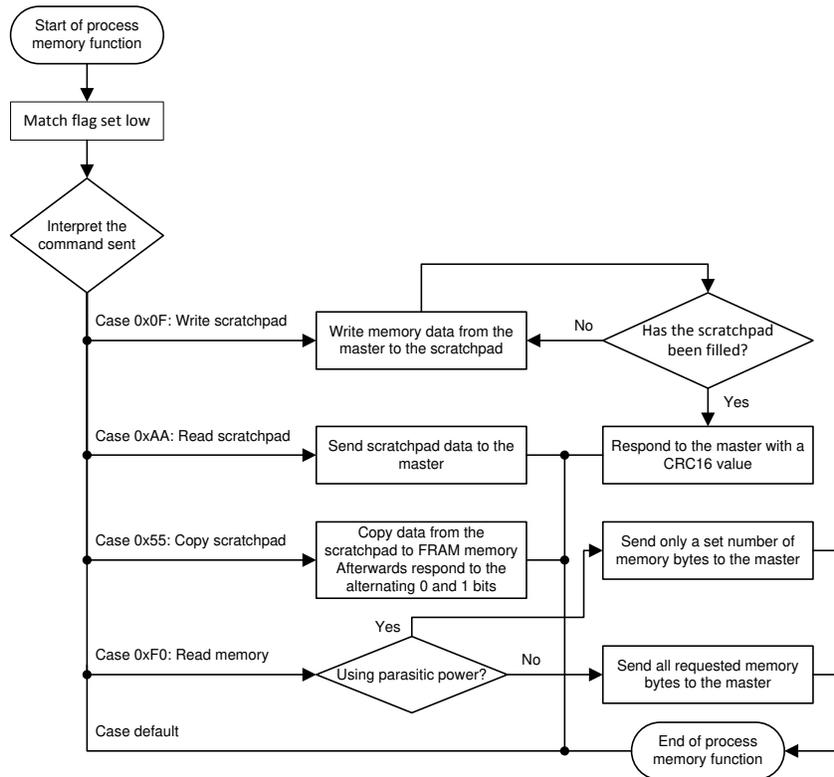


图 4-3. 存储器命令功能方框图

每个存储器命令解释如下：

- 写入暂存区 (0x0F)：主器件紧跟此命令，提供有 2 个字节的地址和要写入暂存区的数据。写入暂存区的数据从 TA 的 5 个 LSB 所指示的偏移开始，这个值与最初加载到 E/S 字节的结束地址位的值相同。然后，每次将随后的字节写入暂存区后，E/S 的值都会递增。填充暂存区时，MSP430 器件执行 16 位 CRC 算法（从命令代码开始，到最后一个数据字节结束），并向主器件返回 CRC16 值的反码。在执行读取暂存区命令时，使用从器件发送的字节计算出各个值，主器件再对此类值进行一对一比较。上述操作均是为了在通过复制暂存区命令写入器件存储器之前，验证暂存区内容。主器件可以选择随时结束写入暂存区命令，并且不完全填充暂存区，在这种情况下，从器件不执行 CRC16 功能。在该存储器命令开始时，将部分标志 (PF) 位设置为高电平，并且仅在写入暂存区完成后复位，从而提示用户通信在此过程中是否中断。
- 复制暂存区 (0x55)：使用此命令将数据从暂存区复制到 FRAM 存储器。主器件必须首先发送正确的 TA 和 E/S 地址寄存器，可通过前一个读取暂存区命令获取此寄存器。如果成功，则设置 E/S 寄存器的 AA 标志，器件开始写入数据。采用这种格式时，可以将 EEPROM 存储想象成分成与暂存区长度相同的 32 字节段，并且每个

复制命令只能写入一段。完成后，MSP430 器件以交替的位值 1 和 0 响应主器件，并继续执行此操作，直到检测到复位脉冲。如果处于寄生电源模式，则交替位模式最终会耗尽  $C_{\text{Tank}}$ ，从而导致器件复位，再结束回复；不过，这不会影响已成功写入 FRAM 存储器的数据。

- 读取暂存区 (0xAA)：从动器件通过发送 2 个字节的 TA、E/S 字节和从偏移量开始暂存区内容进行响应，在此，由目标地址的 5 个 LSB 确定偏移量。这有助于验证地址寄存器和暂存区数据。
- 读取存储器 (0xF0)：这是一个通用命令，能读取用于存储 EEPROM 数据的 MSP430 FRAM 存储器。在已确定的存储器尺寸范围内，主器件必须使用所需的 2 字节目标地址来取代此命令。如果在专用电源模式下运行，则从动器件以从目标地址开始的所有数据字节进行回复，并一直持续，直至到达指定存储器的末尾。在寄生电源模式下，由固件定义 USE\_PAR\_POWER 和 PARASITE\_BYTES 值，以便 MSP430 器件从目标地址开始，仅以 PARASITE\_BYTES 设置的字节数进行响应。这样，器件可以确保在  $C_{\text{Tank}}$  耗尽且器件进入复位状态之前发送预定的存储器段。主器件暂停通信，以允许  $C_{\text{Tank}}$  在重复该过程之前再次充满电，这次从已访问的字节中偏移目标地址，以读取所需的 FRAM 存储器。

接收到存储器命令并相应地处理事务/数据后，器件会重新进入 LPM0（复制暂存区命令除外），从中可以随时允许事务序列重新启动。如果休止状态的持续时间超过 1 毫秒，器件将进入 LPM4，启动待机模式，从而进一步降低功耗。但对于复制暂存区命令，MSP430 器件必须通过发送交替位值，而不是输入任何 LPM 来发出完成信号。器件会继续这样做，直到主器件发出复位脉冲，或者在寄生电源模式的情况下，直到  $C_{\text{Tank}}$  完全放电且 MSP430 器件被强制进入复位状态。在这种情况下，器件不再继续拉取数据线，从而使  $C_{\text{Tank}}$  能够为 MSP430 器件充电并重新启动。此时，器件已准备好启动另一个事务序列。

## 5 测试数据

### 5.1 事务序列示例

为了进一步帮助生成以下各节中提供的逻辑分析仪屏幕截图和 EnergyTrace 记录，我们生成了一个事务序列示例系列。在这种情况下，生成五个单独序列的目的是：

- 使用 Search ROM 命令识别从动器件。
- 写入暂存区。
- 读取并验证暂存区内容。
- 将暂存区复制到分配的 FRAM 存储器中。
- 读回整个 EEPROM 存储器。

采用跳行 ROM 命令，证明可进行适当的操作，但只能将一个从动器件连接到总线。图 5-1 显示了与这些序列应用相关的说明。

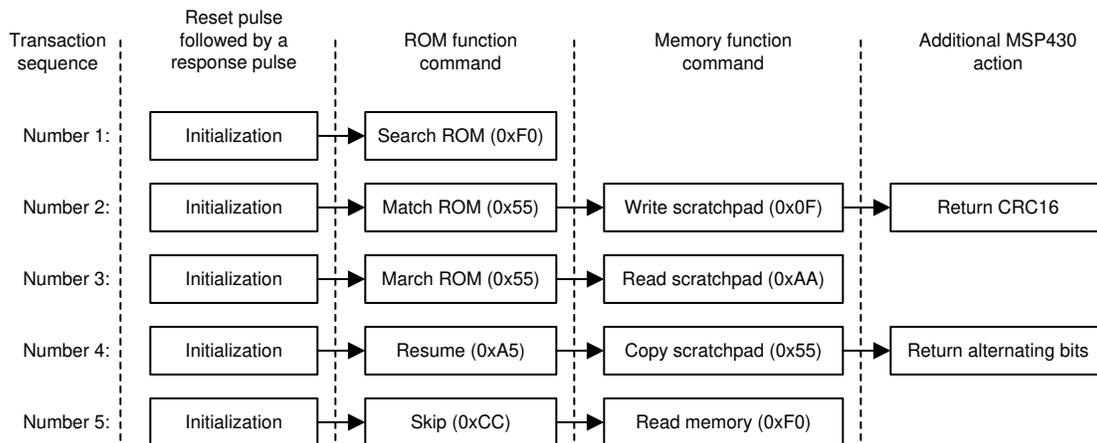


图 5-1. 事务序列示例的描述

### 5.2 逻辑分析仪屏幕截图

已使用逻辑分析仪测试和确认 MSP430FR5969 器件的运行与 1-Wire<sup>®</sup> 协议兼容。此设置还能有效地将 MSP430 器件方案与其他 1-Wire<sup>®</sup> EEPROM 器件进行比较，从而演示相同的通信和功能。已提供了几张屏幕截图，以通过常用 1-Wire<sup>®</sup> ROM 和存储器命令验证设计的可操作性 and 有效性。

图 5-2 显示了事务序列的启动，该事务序列从主器件发送的复位脉冲开始，并以 MSP430 器件发出的存在脉冲进行响应。通过查看逻辑分析仪环境中的测量选项卡，复位脉冲的长度大概为 480 $\mu$ s。MSP430 器件在回复一个大约为 120 $\mu$ s 的存在脉冲之前会等待另一个 40 $\mu$ s。然后，主器件能识别到总线上有一个从动器件，并通过发送一个有效的 ROM 函数命令继续。



图 5-2. 存在脉冲示例

图 5-3 会显示写入暂存区命令的结束，其中 0x02 是主器件发送的、填充至暂存区所需的最后一个数据字节。MSP430 器件现在对主器件发送的所有字节采用 CRC16 算法，从存储器命令代码开始，到最后一个数据字节结束。然后通过 0xEA 和 0x9C 字节将反相的 CRC16 值返回到主器件，如 图 5-3 所示。MSP430 器件固件输出的值已与 CRC16 算法和其他 1-Wire<sup>®</sup> 器件进行交叉检查，以保证正常运行。此功能是可选的。可以通过未完全填充暂存区或在发送所有数据字节后不发送任何读取时间来撤销此功能。

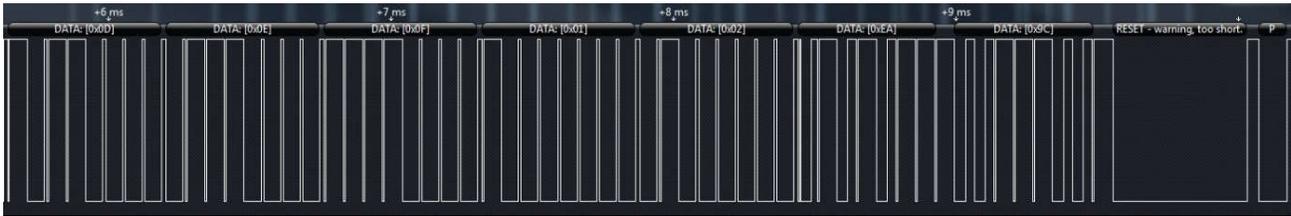


图 5-3. 编写能响应 CRC16 的暂存区示例

图 5-4 显示了一条复制暂存区命令，其中主器件提供正确的 3 字节授权模式。此过程允许 MSP430 器件将暂存区的内容复制到已分配的 FRAM 存储器中。复制内容只需要几微秒，然后 MSP430 器件以 0 和 1 交替位响应主器件，以提示命令完成，如 图 5-4 中的 0x55 字节所示。在读取该响应时，主器件发出一个复位脉冲来开始下一个事务序列。

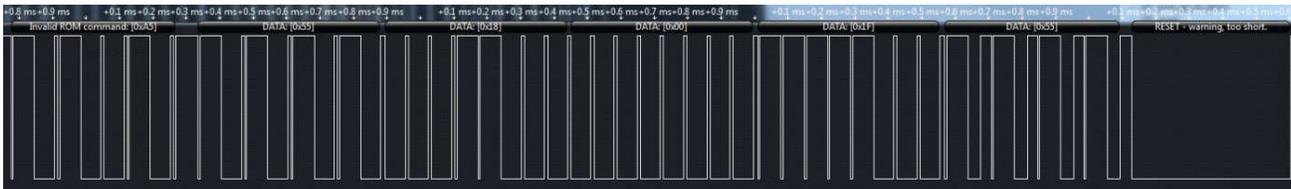


图 5-4. 复制暂存区示例采用交替位响应

虽然缺少一些上下文，但 图 5-5 显示器件复位后仍保留 FRAM。在读取存储器命令期间会记录 图 5-5，其中从暂存区复制 EEPROM 存储器的一部分，MSP430 器件进行电源循环，然后写入存储器的另一部分。屏幕截图的左侧显示已保留第一段数据，右侧则会显示新记录的数据，两部分之间以非触控的存储器字节隔开。由于两个单独的复制暂存区命令是在电源循环的另一端执行的，因此在 MSP430 器件经历断电或复位时，已正确保留存储器。

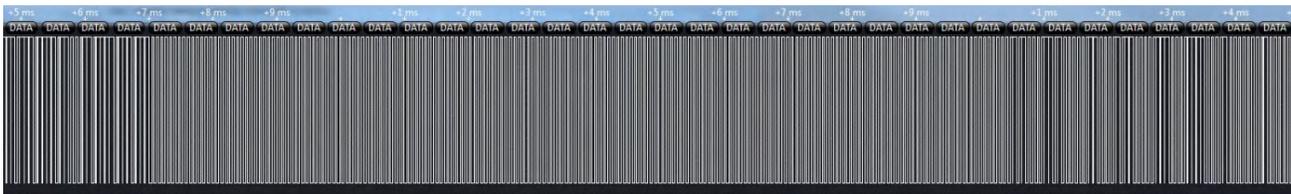


图 5-5. 存储器保持示例

如果在寄生电源模式下尝试连续发送大量字节，MSP430 器件将进入复位状态。当数据线用于通信而不是将线路保持在高电平为 MSP430 器件供电时发生的  $C_{Tank}$  放电。如 图 5-6 所示，在连续重复 0x00 的存储器内容后，器件最终关闭。器件不再响应生成 0xFF 值的主器件读取时隙。必须允许数据线保持为高电平状态，以便  $C_{Tank}$  能充电，从而可以重新启动事务序列。

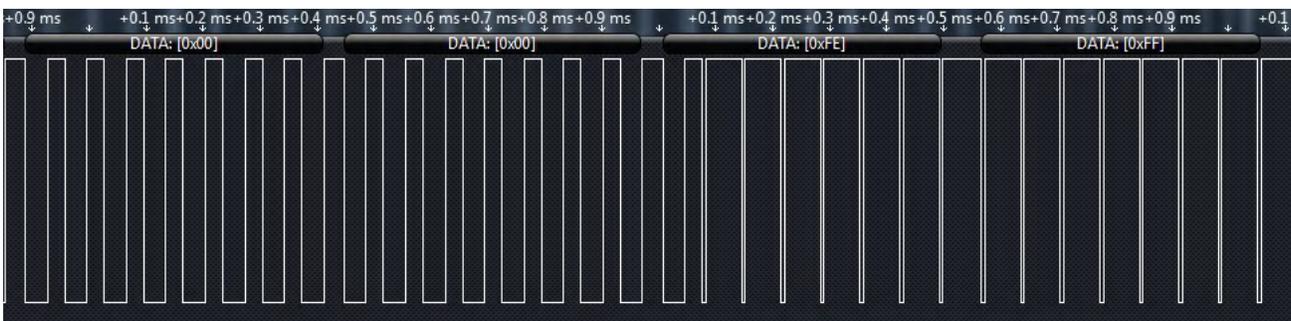


图 5-6. 在寄生功率下运行时  $C_{Tank}$  的功耗示例

### 5.3 Keysight EnergyTrace 录制

为了进一步了解 MSP430 器件的能耗要求，我们使用 Keysight N6705B 直流电源分析仪测量了工作模式和待机模式的功耗统计信息。EnergyTrace 是一款基于能耗的核心分析工具，能测量和显示应用中的电能系统配置并帮助优化应用，从而实现超低功耗。

图 5-7 和 图 5-8 分别显示了 MSP430 器件在事务序列示例期间运行模式和待机模式的电流消耗测量值，如 节 5.1 所述。如 图 5-7 所示，整个过程需要将近 340ms 才能完成，其中，在运行模式下平均需要 640 $\mu$ A 电流，而在待机模式下电流消耗为 570nA，如 图 5-8 所示。在待机模式期间，平均电流和所显示的波形（每 26.6ms 显示一次即时峰值以提示 SVS 的运行情况）严密地反映了 MSP430FR596x 和 MSP430FR594x 混合信号微控制器数据表的低功耗模式电源电流部分中引用的预期 LPM4 电流数。



图 5-7. 1-Wire® 运行期间的功率 ( 单位为 mW )



图 5-8. 1-Wire® 运行期间的电能 (单位为  $\mu\text{J}$ )

由于 MSP-EXP430FR5969 eZ-FET 包含内置的 EnergyTrace++ 支持，因此也可能包含有关微控制器内部状态的信息。这些状态包括外设的开关状态，以及当前使用的所有系统时钟和 LPM。此工具还提供了一种方法，可直接验证应用是否在代码中的正确位点执行预期行为，比如确保外设特定活动后关闭，或者确保已正确进入所需的 LPM。有关 EnergyTrace++ 技术的完整指南，请参阅[适用于 MSP430™ MCU 的 Code Composer Studio™ IDE 用户指南的开发流程部分](#)。由于 EnergyTrace++ 要求 MSP430 器件由位于 MSP-EXP430FR5969 LaunchPad 的 eZ-FET 部分且受软件控制的 DC-DC 转换器供电，因此在专用电源模式下获取以下读数。

图 5-9 显示了运行模式期间的 MSP430 1-Wire® 功能。本设计仅使用的外设包括用于存储 EEPROM 存储器的 FRAM、用于测量脉冲宽度的 TA0，以及用于一般延迟和其他时间测量的 TA1。图 5-9 显示运行周期的大部分时间用在 LPM0 上，稍后当主器件不再请求通信时，器件进入 LPM4。该设计优化了超低功耗能力。图 6-1 展示了 TIDM-1WIREEEPROM 的原理图。



图 5-9. 1-Wire® 运行期间的 CPU 和外设状态

## 6 设计文件

### 6.1 原理图

要下载每块电路板的原理图，请参阅 [TIDM-1WIREEEPROM](#) 处的设计文件。

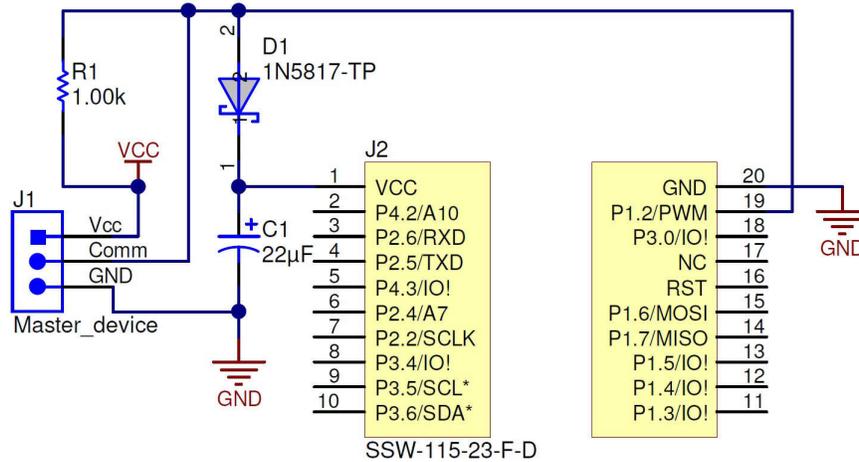


图 6-1. TIDM-1WIREEEPROM 原理图

### 6.2 物料清单

若要下载每块电路板的物料清单，请参阅 [TIDM-1WIREEEPROM](#) 中的设计文件。

表 6-1. TIDM-1WIREEEPROM 物料清单

物品	数量	参考，标志符	值	部件说明	制造商	制造商器件型号	备用部件	ALTIUM 封装
1	1	C1	22µF	铝制电容器，22µF，25V，+/-20%，TH	Panasonic™	20SEP22M		M:_500×500
2	1	D1		肖特基二极管，800mA，20V，SM	Toshiba™	CUS08F30，H3F		SOD-323
3	1	J1		接头，100mil，3×1，锡，TH	Würth Electronics®	61300311121		5-146278-3
4	1	J2		接头，100mil，15×1，锡，TH	Samtec™	SSW-115-23-F-S		自定义
5	1	R1	1.00k Ω	1.00k Ω 的电阻，1%，0.25W，TH	Stackpole Electronics™	CF14JT1K00		CMF50

### 6.3 寄生电源模式布局建议

由于此设计侧重于 MSP430 器件固件，并且不需要对硬件进行多项附加才能运行，因此尚未开发 PCB 布局。然而，用户可以使用 [节 3.1](#) 所述的寄生电源模式，将 MSP-EXP430FR5969 LaunchPad 连接到中，具体如 [图 2-1](#) 所示。在设计评估时，TI 建议使用与 Samtec SSW-115-23-F-S 类似的排母。

该 15 位置的长引线接头放置在 MSP-EXP430FR5969 的右侧接头和板右下角的额外 V<sub>CC</sub>/GND 接头上。然后，R<sub>Pup</sub> 从 P1.2 (CC1A/数据线路输入的位置) 连接到未填充的接头处。反过来，未填充的接头连接到 D<sub>SCHOTTKY</sub> 阴极端的阳极端，该阳极端连接到 V<sub>CC</sub> 接头。C<sub>Tank</sub> 连接在 V<sub>CC</sub> 和 G<sub>ND</sub> 接头之间。使用标准跳线电缆，V<sub>CC</sub> 随后连接至 R<sub>Pup</sub>/D<sub>Schottky</sub> 未填充接头，数据线连接至 P1.2，GND 连接至 GND。[表 6-1](#) 列出了所推荐的硬件部件号。

## 6.4 MSP430 FRAM 器件移植建议

如果 MSP430FR5969 器件需要使用 FRAM MSP430 器件进行 1-Wire® EEPROM 仿真，则必须考虑一些外设移植指南。首先，替代品 MSP430 器件必须能够以 16MHz 的 CPU 速度运行。该器件需要至少有一个 CCIxA 或 CCIxB 可中断引脚，以及一个能用于通用计时目的单独计时器。必须相应地重新评估该 TI Design 固件中时钟系统和计时器的初始化。在 FR2xx 和 FR4xx 系列中，必须将 MPU 代码替换为 SYSCFG0 寄存器中的 FRAM 写保护。更多有关 FRAM 写保护的信息，请参阅《MSP430FR4xx 和 MSP430FR2xx 系列用户指南》中的 FRAM 写保护部分。使用 MSP430FR4133 器件操作 1-Wire® EEPROM 的 CCS v6.1 项目已经包含在此 TI Design 附带的软件包中。

## 7 软件文件

若要下载本参考设计的软件文件，请参阅 [TIDM-1WIREEEPROM](#) 处的链接。

## 8 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[使用 TMP1826 和 TM4C129x 微控制器为 1-Wire® 协议实现枚举功能之应用说明](#)

## 9 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

## 10 商标

E2E™, LaunchPad™, 代码编译器套件™, EnergyTrace™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments. Panasonic™ is a trademark of Panasonic Corporation.

Toshiba™ is a trademark of Toshiba Corporation.

Samtec™ is a trademark of Samtec Inc.

Stackpole Electronics™ is a trademark of Stackpole Electronics Inc.

1-Wire® is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

Saleae® is a registered trademark of Saleae, Inc.

Würth Electronics® is a registered trademark of Würth International AG.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 11 作者简介

**RYAN M. BROWN** 是 TI 的 MSP430 器件客户应用工程师，负责支持开发各种客户应用的设计。在担任此职务期间，Ryan 能将其在 PCB 设计软件、MSP430 架构，以及 LaunchPad 和 BoosterPack 协议方面的经验运用于工作中。Ryan 在德克萨斯州拉伯克的德克萨斯理工大学获得了电气工程硕士学位 (MSEE)。

## 12 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (July 2016) to Revision B (February 2025)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 更新了整个文件中有线半双工串行总线术语。.....	1

## 重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司