

MSP 器件故障排除指南

Dietmar Walther

Connected MCU Quality

摘要

随着应用变得越来越复杂，单芯片上的功能集成度也在不断增加。因此，专用功能有时无法满足开发人员的预期是必然的事情。在这种情况下，通常硅器件的故障会表现为较高的层面上。大部分情况表明，器件本身并不一定引起问题，问题反而与应用有关。由于应用的复杂性，有时很难确定故障的真正原因。但是，我们可提供多种识别故障的方法，为最终客户和供应商节省时间和精力。本文档提供了一些原理性方法来确定发生某些严重错误情况的根本原因。本文档通过让开发人员更好地理解应用相关问题和器件相关规格及功能之间的关系，帮助他们培养故障排除能力。本应用报告描述了器件如何工作以及如何利用测量技术更好地认识和解决这些问题。

注： 本文档没有详细列举可能出现的问题，也不包含针对这些问题的完整解决方案。因为，应用和环境会影响建议操作的适用性。

内容

1	简介	2
2	常规检查项目	2
3	涉及的方面	3
3.1	高电流消耗	4
3.2	JTAG 通信问题	5
3.3	串行接口通信问题	6
3.4	与启动相关的案例	6
3.5	代码执行或挂起问题	8
3.6	存储器相关问题	9
4	结论	10
5	参考文献	10

商标

Code Composer Studio, MSP432, 《通过 JTAG 接口对 MSP430, E2E are trademarks of Texas Instruments.

IAR Embedded Workbench is a registered trademark of IAR Systems.

All other trademarks are the property of their respective owners.

1 简介

使用半导体器件开发电气应用有时会导致意想不到的问题。因为它们通常会影响到市场发布目标，进而会导致长时间的紧张调试工作。首当其冲，应用中的“最大”组件会视为故障的根本原因。大多数情况下，MCU 被视为最大的组件。在某些情况下，最终用户会联系半导体供应商，报告与应用高度相关的问题。以下是问题说明的示例，这些说明并不总是有助于解决问题。

- 应用停止工作或应用无效
- 无通信
- 无法测量
- 电流过高
- 器件卡死
- LED 不闪烁

终端用户和供应商的最终目标都应该是解决故障，以便继续开发或生产（从客户的角度）和提供出色的支持（从供应商的角度）。为了实现这些目标，需要执行一定数量的应用调试工作，将故障源与微控制器的某些模块或专用功能组分离判断。本文档提供了一些基本的故障排除指南，可用于执行有效的分析，以获取重要的初始数据并加速整个问题分析流程。由于大量问题只有在专用的应用程序板上、专用的应用环境条件或用例场景下才能重现，因此为了能解决问题，双方必须了解故障排除知识。

2 常规检查项目

与针对特定问题或故障模式采取的措施无关，必须检查以下各项以确保验证基本情况：

- 验证电源电容器是否按照规格连接，并放置在应用 PCB 上靠近器件电源引脚的位置。
- 用已知良好的 TI 器件替换 TI 故障器件，以确定问题是与 PCB 相关，还是与器件相关（更多详细信息，请参阅《退货指南》中的 A-B-A 交换法）。
- 使用不同的 PC 或调试探针，确保问题是否与环境无关。
- 使用 TI 提供的代码示例来交叉校验专用模块的常规功能。
- 通过将时钟连接至相应的 GPIO 引脚并使用示波器进行检查，确认所用时钟是否正确设置。
- 禁用看门狗，以防止由于软件相关问题导致错误复位。
- 该问题是否与电源电压或温度变化等环境条件有关？
- 执行存储器检查，以确保编程了正确的固件并且存储器内容符合预期。

3 涉及的方面

基于长期数据分析，我们已经划分出几类常见场景，并就以下方面提供了分析方法：

- 高电流消耗
- JTAG 通信问题
- 串行接口通信问题
- 复位相关问题
- 挂起相关问题
- 存储器相关问题

这些不是可能出现的所有问题，但代表了经常出现的问题。

故障排除的关键在于以一种高效且有效的方式，将与应用高度相关的问题转换为与模块相关的问题。要理解组件之间的交互方式，需要具备一定的硬件和软件应用知识。以下示例显示了可以在故障排除第一步确定的内容：

应用不正常

- 电源正常吗？
- 是否使用了正确的代码对器件进行编程，是否执行了读出，以及是否将内容与参考进行了比较？
- 是否有任何与软件相关的循环可能会阻止应用的启动？
 - 器件是否在等待触发（例如，GPIO、温度或输入电压）？
 - 所有时钟是否均按预期运行（外部时钟和内部时钟）？
 - 所有内部电源 (Vcore) 是否均处于正确的电平？
 - 是否考虑了频率和电源规格？

无通信

- 引脚是否正确连接（连接主机或从器件）？
- 是否可以用示波器探测接口信号？
- 有没有检查时钟源是否正常工作（例如，外部晶振）？
- 数据损坏位置是否位于接收器和发送器（使用 CRC）？
- 通信模块是否正确设置（正确的 GPIO、正确的时钟设置和正确的协议）？
- 接收器和发送器之间的引脚是否正确连接（触点、电缆长度、交换的 TX 和 RX 线以及电平转换器，如使用）？

无法测量

- 检查的输入信号是否符合预期（使用示波器探测输入）？
- 测量 MCU 是否使用正确的模式执行测量（模块是否已正确激活和配置）？
- 基准（时钟和电压）是否正确？

电流过高

- 是否所有未使用的端口均已初始化并正确终止硬件截断？
- 电流测量期间调试探针是否仍然连接？
- 复位或关开机循环后电流是否会消失？
- 是否测量了器件或应用的电流消耗？

复位相关问题

- 复位事件可否与任何外部事件（例如，电压突降或过电压）关联？
- 软件的特定部分是否会触发复位（是否可追溯到软件的专用部分；例如，特定的中断或特定的循环）？

挂起相关问题（器件卡死）

- 器件是否执行代码特定的无限循环？可否使用“附加到运行目标”或在端口切换到这些循环时对此进行检查？

更多有关如何在 CCS 和 IAR 中使用“附加到运行目标”的详细信息，请参阅以下文档：

- [《使用增强型仿真模块 \(EEM\) 与 Code Composer Studio™ IDE 进行高级调试》](#)
- [《使用增强型仿真模块 \(EEM\) 与 IAR Embedded Workbench® IDE 进行高级调试》](#)

- CPU 时钟是否可用？可否将其路由到外部引脚？
- 电流消耗是多少？器件可能处于低功耗模式还是处于闩锁状态（几毫安到几十毫安的高电流）？
- 器件是应该从睡眠模式中唤醒，还是应该在中断时继续运行？是否启用了该中断并且实际上发生了中断条件？

存储器相关问题

- 哪些存储器位置发生了更改？数据如何更改（期望值与观察值相比）？
- 哪些数据发生了更改（程序代码还是数据值），可以观察到哪些逻辑转换？
- 应用代码中是否有任何函数可能无意中修改了存储器？
- 对于 FRAM 器件，确定是否正确启用和配置了内存保护单元 (MPU) 非常重要。

3.1 高电流消耗

客户在低功耗应用上经常要处理的一个场景是高电流消耗。即使最终问题可能与器件有关并且很复杂，以下简单问题也会单独导致高消耗。

1. 检查是否所有未使用的 GPIO 均已配置且未悬空（配置为输出低电平或高电平，或者如果切换到输入，则使用内部上拉或下拉电阻器）。不恰当地终止硬件截断 GPIO 会导致无法重现的高电流场景，这需要很长时间才能找到，因为症状会随着器件和环境条件（如温度或湿度）而变化（请参阅各系列用户指南或技术参考手册中的未使用引脚的连接部分）。
2. 检查输入信号是否在施密特触发电路上引起横向流交叉电流。任何 GPIO 输入的电平都必须在数据表中规定的 DVSS 或 DVCC $\pm 300\text{mV}$ 范围内。如果将 GPIO 用于模拟功能（例如，ADC 输入），则此项检查不适用。
3. 要检查芯片是否由于损坏而产生高电流，可以从 TI.com 或 CCS Resource Explorer（也考虑到应用特定的 GPIO 设置）中编写一个标准的 LPM3 或 LPM4 示例，看看它是否产生高电流。

以上几点有助于确定器件在电流测量期间是执行错误代码，还是使用错误的 CPU 频率。这可通过使用 CCS 或 IAR 中 IDE 的“附加到运行目标”功能来发现。或者，在关键软件点上进行简单的端口切换（例如，在进入 LPM 之前）可以帮助找出问题所在。

3.2 JTAG 通信问题

在该类别中，最终用户经常报告称，无法使用不同类型的工具访问器件或对其进行编程。在大多数情况下，这种概括性说明不够具体，因此，TI 强烈建议检查以下各项：

1. 是否启用了 JTAG 安全机制？

- a. 在 F1xx、F2xx、F3xx 和 F4xx 器件上，JTAG 保险丝可能会熔断。根据数据表测量保险丝感应电流（参阅图 1）可以很好地指示是否启用了安全机制。

JTAG fuse check mode

MSP430 devices that have the fuse on the TDI/TCLK terminal have a fuse check mode that tests the continuity of the fuse the first time the JTAG port is accessed after a power-on reset (POR). When activated, a fuse check current, I_{TF} , of 1 mA at 3 V, 2.5 mA at 5 V can flow from the TDI/TCLK pin to ground if the fuse is not burned. Care must be taken to avoid accidentally activating the fuse check mode and increasing overall system power consumption.

Activation of the fuse check mode occurs with the first negative edge on the TMS pin after power up or if the TMS is being held low during power up. The second positive edge on the TMS pin deactivates the fuse check mode. After deactivation, the fuse check mode remains inactive until another POR occurs. After each POR the fuse check mode has the potential to be activated.

The fuse check current will only flow when the fuse check mode is active and the TMS pin is in a low state (see Figure 16). Therefore, the additional current flow can be prevented by holding the TMS pin high (default condition).

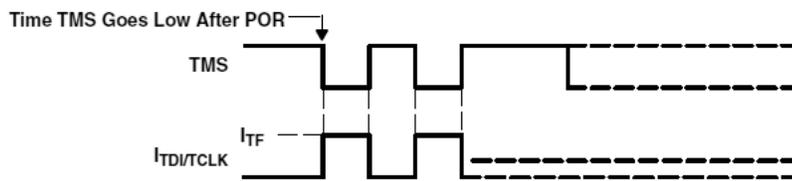


Figure 16. Fuse Check Mode Current: MSP430F13x, MSP430F14x(1)

图 1. F149 的 JTAG 保险丝检查模式

- b. 在 F5xx 和 F6xx 器件上，JTAG 锁由 0x17FC 至 0x17FF 地址上的信息存储器中的签名控制。检查应用是否覆盖了引导加载程序 (BSL) 存储器，或者 JTAG 锁签名是否已损坏。或者，可以使用 BSL 接口来解锁 JTAG 签名。最好的方法是使用简单的 [BSL Scripter](#)，它附带了现成的示例。
- c. 在 FRxx 器件上，JTAG 锁签名位于中断矢量之前。检查堆栈溢出或用户代码是否可能错误写入到这些位置。有关详细信息，请参阅系列用户指南的 [使用电子保险丝的 JTAG 和 SBW 锁定机制](#) 部分。
- d. 在 MSP432™MCU 上，一个引导覆盖序列会触发 JTAG/SWD 锁定机制。有关详细信息，请参阅技术参考手册的 [引导覆盖](#) 部分。

在所有情况下，TI 都强烈建议查看 [《通过 JTAG 接口对 MSP430™ 进行编程》](#)，以详细了解特定于器件的锁定机制。

检查器件引脚是否与 DVCC 和 DVSS 短路，以确保 JTAG 接口引脚上没有出现物理损坏。

掌握有关 JTAG 安全保险丝和接口引脚物理状况的信息，有助于进一步解决访问问题。另请参阅 [《MSP430™ 硬件工具用户指南》](#)，以了解有关 JTAG 连接的详细信息。

除了与器件相关的项目外，还要检查目标应用与编程器适配器之间是否存在任何接触问题或接线问题。TI 强烈建议使用数字示波器记录四线制 JTAG 或者 SBW 上的信号，并将合格样片与故障样片进行比较。

2. 使用了哪些软件和硬件工具？
 - a. 务必要了解使用了哪些工具。GUI 版本和 MSP 调试堆栈版本必不可少。
 - b. 用于器件编程的接口（4 线 JTAG、SBW 或 BSL）也很重要。TI 建议尝试不同的接口，以确定其中一个接口是否有问题。
 - c. 确保工具和器件之间的连接与建议的完全相同（包括正确的连接和正确的电容）。
3. 使用数字示波器跟踪通信，并将正常运行的通信实例与不能正常运行的通信实例进行比较，以确定是接触问题导致了故障，还是噪音干扰了 JTAG 通信。
4. 之前是否在器件中加载过任何代码？是否存在导致器件复位或阻止 JTAG 访问的错误代码（尝试使用 BSL 擦除器件）？

3.3 串行接口通信问题

大量应用都离不开串行通信，在这种情况下，通信过程因 UART、SPI、I²C、软件 UART 或自定义的 Bit-banging 接口而异。有一些要素需要验证，以确定为什么串行通信不能按预期工作。

主要问题之一是时钟源不正确或受到干扰，特别是在将低频振荡器 (LFO) 用作时钟源时。有关详细信息，请参阅《MSP430™ 32kHz 晶体振荡器》。具体原因可能是时钟干扰或压降、完全丢失时钟。检查时钟行为可以很好地理解通信可能失败的原因。

除了时钟外，还必须用适当的数字示波器来测量通信信号，这样您就可以尝试触发失败状态，并将其与已知良好的参考状态进行比较。信号干扰和相移很容易检测。此外，根据所使用的协议检查通信，可能会在检查过程中发现异常。使用逻辑分析仪代替示波器可能不够，因为可能看不到干扰或压降。

3.4 与启动相关的案例

导致器件无法启动的原因可能有多种，但是可以使用一些简单的故障排除方法来快速查明可能发生的情况。

较简单器件（如 MSP430F1xx 到 MSP430F4xx）的故障排除方法与具有多个电源域的较先进器件（如 MSP430F5xx 或 MSP430FRxx）不同。

对于 MSP430F1xx 至 MSP430F4xx 器件，上电或启动序列非常简单。通电后，一些电压监控器或欠压电路会检查电压，并在安全电压下释放器件。因此，务必验证是否执行了第一条指令。可以通过在代码开头添加端口切换来检查这一点。对于 C 代码项目，TI 建议在 C 启动代码中添加此切换，以确保在低级别初始化期间不会发生启动问题。《MSP430 优化 C/C++ 编译器用户指南》中的系统初始化一章对此流程进行了说明。还要检查是否将存储在地址 0xFFFFE 的复位矢量设置为期望值（程序的入口点）。如果无法实现初始端口切换，则问题可能与硬件有关。检查电源是否存在高电流消耗，并检查电源电压正时是否符合数据表规格。务必要考虑数据表 BOR 部分中的电压斜坡规格。图 2 表明整个 BOR 电路的功能只有在 DVCC 斜坡速率超过 3V/s 时才能得到保证。

还必须考虑频率与电源电压的规格，尤其是对于没有 SVS 的器件。一个常见问题是，用户在电压斜坡期间增加了 CPU 频率，而没有考虑 DVCC 尚未达到适当的电平。这会导致频率与电源电压的冲突，从而由于超频而导致不可预测的器件行为。

POR/Brownout Reset (BOR)⁽¹⁾⁽²⁾

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

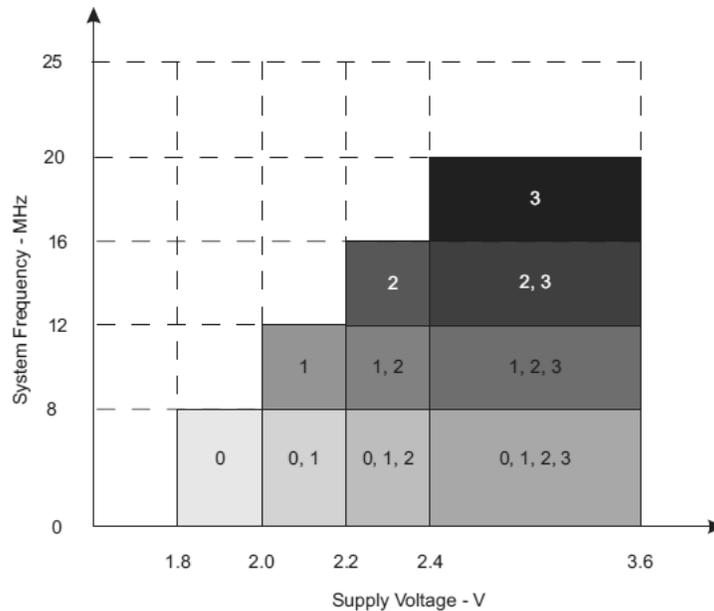
PARAMETER		TEST CONDITIONS	V _{CC}	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC(start)}	See Figure 9	dV _{CC} /dt ≤ 3 V/s			0.7 × V _(B_IT-)		V
V _(B_IT-)	See Figure 9 through Figure 11	dV _{CC} /dt ≤ 3 V/s				1.71	V
V _{hys(B_IT-)}	See Figure 9	dV _{CC} /dt ≤ 3 V/s		70	130	210	mV
t _{d(BOR)}	See Figure 9					2000	μs
t _(reset)	Pulse length needed at RST/NMI pin to accepted reset internally		2.2 V/3 V	2			μs

- (1) The current consumption of the brownout module is already included in the I_{CC} current consumption data. The voltage level V_(B_IT-) + V_{hys(B_IT-)} is ≤ 1.8 V.
- (2) During power up, the CPU begins code execution following a period of t_{d(BOR)} after V_{CC} = V_(B_IT-) + V_{hys(B_IT-)}. The default DCO settings must not be changed until V_{CC} ≥ V_{CC(min)}, where V_{CC(min)} is the minimum supply voltage for the desired operating frequency.

图 2. F2132 的 POR/BOR 复位规格

这种简单的调试工作作为供应商判断是否与规格不符提供了许多细节。

对于具有不同电源域的较复杂器件（如 F5xx 和 F6xx），您不仅必须观察电压斜坡，还必须观察内部 LDO 的行为。这种行为可提供有关内部可能问题的信息。同样，必须为 LDO 电压和外部 DVCC 选择正确的频率。图 3 所示为 F6638 的频率与电源电压规格示例。



The numbers within the fields denote the supported PMMCOREVx settings.

Figure 5-1. Frequency vs Supply Voltage

图 3. F6638 的频率与电源电压规格

例如，如果客户增加了 V_{core} 电平，则务必要了解 V_{core} 引脚在启动期间的行为。V_{core} 是否在数据表中指定的相应 DVCC 电平内逐步增加？在 V_{core} 增加期间是否考虑了 PMM 模块的延迟？通常，TI 建议使用 MSP 驱动程序库函数，管理软件级别的所有详细信息。

在这两种情况下，确保满足数据表中各工作条件的最大值至关重要（参阅图 4）。经常看到的一种情况是，在对 GPIO 引脚施加另一个电压后，器件在 DVCC 上通电。这可能导致通过 ESD 电源轨供电，从而导致器件启动不符合预期。更多详细信息，请参阅《ESD 二极管电流规格》。

5.1 Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Voltage applied at DVCC and AVCC pins to V _{SS}	-0.3	4.1	V
Voltage difference between DVCC and AVCC pins ⁽²⁾		±0.3	V
Voltage applied to any pin ⁽³⁾	-0.3	V _{CC} + 0.3 V (4.1 Max)	V
Diode current at any device pin		±2	mA
Storage temperature, T _{stg} ⁽⁴⁾	-40	125	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) Voltage differences between DVCC and AVCC exceeding the specified limits may cause malfunction of the device including erroneous writes to RAM and FRAM.
- (3) All voltages referenced to V_{SS}.
- (4) Higher temperature may be applied during board soldering according to the current JEDEC J-STD-020 specification with peak reflow temperatures not higher than classified on the device label on the shipping boxes or reels.

图 4. FR6989 的绝对最大额定值

3.5 代码执行或挂起问题

对于与挂起相关的项目，应检查一些关键项目，以便更好地了解出了什么问题。

1. 时钟

观察是否存在系统时钟 (MCLK) 或者计时器或 ADC 等模块所需的其他时钟，以确保逻辑有效。最简单的方法是将时钟切换到其替代功能中的相应 GPIO 引脚，然后使用数字示波器进行测量。

2. 电源电压

检查电源电压是否是 3V 或内部调节电压（例如 V_{core}），并且没有出现与频率和电源电压规格不符的错误压降或尖峰。最好的方法是使用具有足够带宽和存储深度的数字示波器探测这些信号。

3. 软件

应用代码中是否存在 CPU 轮询某些标志或等待输入信号的任何软件环路？

- 外部晶振损坏或未连接时，器件将停留在该环路中，因此 OFIFG 标志是常用的候选对象。
- 有时，因为外部传感器无法按预期工作，软件会在 ADC 环路中挂起，等待某个永远无法达到的阈值。

4. 电流消耗

还可以通过电流消耗来深入了解器件正在执行的操作。如果电流非常低，与典型的低功率模式电流相当，则该器件可能处于睡眠模式还没有被唤醒。

- 这种情况可能是由于故障与时钟或输入相关，而未按预期触发中断。

如果电流消耗出乎意料地高，则物理损坏可能会阻止器件按预期运行，或者可能导致闩锁情况。在这种情况下，循环通电有助于区分永久性损坏（将保持高电流）或闩锁。有关 TI 建议，请参阅《MSP430™ 系统级 ESD 注意事项》。

3.6 存储器相关问题

对于存储器相关问题，必须通过存储器技术加以区分。MSP 系列主要使用三种类型的存储器：

1. RAM
2. 闪存
3. FRAM

RAM 是易失性存储器，在断电期间会丢失信息。RAM 主要用于数据存储或节能代码执行。RAM 可能损坏的典型场景包括堆栈溢出、由于函数间指针的索引不正确而导致的数据访问冲突，以及功率损耗。电源中的短暂压降或尖峰会导致临时性的频率与电源电压冲突，并导致代码执行问题。这些问题模式大多是由于软件编写不正确而引入。

闪存是非易失性存储器，在关开机循环期间不会丢失信息。但是，与 MSP 器件中的其他存储器技术相比，它需要更多的能量来存储逻辑信息。更多有关调试闪存相关问题的详细信息，请参阅《[调试 MSP430™ 系列微控制器上的闪存问题](#)》。

对于闪存而言，务必确定存储器发生了哪些变化。校准存储器或应用数据是否已更改，或者程序代码是否已更改？如果应用所在的存储器发生更改，则很可能是在擦除或编程期间出错。在意外修改闪存期间，应检查应用中的以下关键项目：

1. 电源电压是否在规格范围内？闪存擦除或编程期间，电源是否有尖峰或压降？
2. 擦除或编程期间，是否满足闪存程序的频率规格？
3. 闪存擦除或编程期间是否发生任何错误复位？

要进一步排除故障，还应检查受影响闪存单元的逻辑信息是否更改。如果只是从逻辑 0 更改为逻辑 1，则可能不恰当的调用了擦除功能。如果始终从逻辑 1 更改为逻辑 0，则编程过程可能出错。这些简单的检查可能有助于识别与行为相关的软件功能。

FRAM 是非易失性存储器，结合了 RAM 和闪存的优势。它不需要很高的电源即可存储数据，并具有极高的耐久性和可靠性。更多详细信息，请参阅《[MSP430FRxx FRAM 微控制器](#)》。FRAM 的典型误用包括由于堆栈冲突或错误处理的函数指针引起的错误写入。如果未使用内存保护单元进行保护，则这些错误写入操作会直接更改程序代码。更多信息，请参阅《[MSP430 FRAM 技术 – 操作方法和最佳实践](#)》。FRAM 与闪存不同，需要专用的解锁和写入序列来存储信息。对于 FRAM，要考虑的另一个重要因素是数据表中的频率规格。

对于所有存储器技术，存储器相关问题的许多分析方面均相同：

1. 哪些存储器位置发生了更改？最佳实践是将发生故障后的存储器与参考存储器转储进行比较，以获取所有发生故障的位置。
2. 所识别位置的逻辑更改是什么（0 到 1，还是 1 到 0）？
3. 电源电压和频率是否在规格范围内？这可以通过使用数字示波器观察电源电压、调节电压和频率来进行检查。
4. 其行为是否与温度有关？
5. 在某些条件下行为是否可以重现？
6. 所识别的位置（数据或程序代码）发生了哪些错误更改？

4 结论

即使德州仪器 (TI) 为防止器件在客户方出现故障而建立了严格的质量体系，还是有可能出现与器件有关的问题。因此，尽可能多从开发人员或制造商那里获得所出现问题的相关信息至关重要。只有通过最终用户和供应商的良好协作，才能更快、有效地分析电气问题，并尽可能高效地解决问题。本文档也为开发人员提供了调试和解决 MCU 相关故障的指南，帮助他们了解如何避免因操作不符合规格的半导体组件而带来的问题。

TI 强烈建议所有用户阅读正式文档（特别是勘误表、数据表和设备系列用户指南或技术参考手册），以确保满足规定的设备操作条件。

所有用户也可以利用 [TI E2E™ 社区](#) 上的工程社区，搜索其他用户经历的与应用相关的类似问题，从而更快地解决。除了允许用户之间互动外，此论坛还由经验丰富的 TI 员工积极提供支持。

表 1 列出了更详细描述某些模块或功能的其他文档。

表 1. 模块特定的文档

模块或功能	可用文档
BSL Scripter	《引导加载程序 (BSL) Scripter》
eUSCI 和 USCI	《MSP430™ MCU 上常见 eUSCI 和 USCI 串行通信问题解决方案》
编译器	《MSP430™ 优化 C/C++ 编译器 – 用户指南》
调试	《MSP 调试器指南》
驱动程序库	《MSP 驱动程序库》
ESD	《MSP430™ 系统级 ESD 注意事项》
ESD	《ESD 二极管电流规格》
闪存	《调试 MSP430™ 系列微控制器上的闪存问题》
FRAM	《MSP430™ FRAM 技术 – 操作方法和最佳实践》
JTAG	《通过 JTAG 接口对 MSP430™ 进行编程》
JTAG 和工具	《MSP430™ 硬件工具用户指南》
低频振荡器	《MSP430™ 32kHz 晶体振荡器》

5 参考文献

1. [MSP430F13x、MSP430F14x、MSP430F14x1 混合信号微控制器](#)
2. [MSP430F21x2 混合信号微控制器](#)
3. [MSP430F663x 混合信号微控制器](#)
4. [MSP430FR698x\(1\)、MSP430FR598x\(1\) 混合信号微控制器](#)

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司