



Matthew Pate and Nabil Saheb

摘要

联合测试行动组 (JTAG) 协议是在产品开发、仿真和应用调试期间与微控制器 (MCU) 进行通信的主要方式。所有德州仪器 (TI) C2000™ 器件均支持 JTAG 仿真，而 C2000 评估产品 (如 controlCARD 和 LaunchPad) 则包含板载 JTAG 仿真。本应用报告旨在简要概述 JTAG 的实现并解释在使用 Code Composer Studio™ 软件时用于解决常见 JTAG 连接错误的步骤。

内容

1 什么是 JTAG ?	2
2 常见的 JTAG 调试探针	2
3 JTAG 链中的多个器件	3
4 JTAG 连接调试流程	3
4.1 整体调试流程	4
4.2 高压隔离检查流程	4
4.3 JTAG 调试主流程	5
5 详细的流程步骤信息	6
5.1 隔离预检查流程	6
5.2 JTAG 调试流程	6
6 参考文献	10
7 修订历史记录	10

商标

C2000™, Code Composer Studio™, and Piccolo™ are trademarks of Texas Instruments.

Windows 10™ is a trademark of Microsoft.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 什么是 JTAG ?

JTAG 以为印刷电路板 (PCB) 边界扫描测试制定业界通用的组织命名。它后来经过标准化并成为电气电子工程师协 (IEEE) [IEEE 标准 1149.1](#)。在推出后不久，该标准便得到了广泛应用，并带来了几个额外的标准，包括片上测试访问端口 (TAP) 的实现。这使得 JTAG 成为最适合嵌入式系统开发、调试和测试的方式。JTAG 在大多数系统中使用 5 引脚实现：

- 测试数据输入 (TDI)
- 测试数据输出 (TDO)
- 测试时钟 (TCK)
- 测试模式选择 (TMS)
- 测试复位 (TRSTn)

定制电路板设计中这些引脚的必要偏置可在器件特定数据表或 TI 参考设计中找到。

2 常见的 JTAG 调试探针

[表 2-1](#) 列出了 C2000 生态系统的一些常见调试探针。

表 2-1. 与 C2000 MCU 一起使用的常见 JTAG 调试探针

	XDS100v1 和 XDS100v2	XDS110	XDS200	XDS560
价格/速度	+	+	++	+++
特性	<ul style="list-style-type: none"> • USB 接口 • 闪存编程 • 许多 C2000 EVM 上的内置调试探针 	<ul style="list-style-type: none"> • USB 接口 • 闪存编程 • 用于许多全新 TI C2000 EVM 的内置调试探针 	<ul style="list-style-type: none"> • USB 接口 • 闪存编程 	<ul style="list-style-type: none"> • USB 接口 • 闪存编程 • 代码跟踪选项
制造商	<ul style="list-style-type: none"> • 德州仪器 (TI) • Blackhawk 	<ul style="list-style-type: none"> • 德州仪器 (TI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Blackhawk 	<ul style="list-style-type: none"> • 德州仪器 (TI) • Blackhawk

更多信息可以在 [TI C2000 开发页面](#) 上找到。

3 JTAG 链中的多个器件

JTAG 标准允许单个 JTAG 调试探针与多个器件进行菊花链连接。实际上，各种约束将限制可在链中连接的目标器件数量。XDS 类调试器都具有有限数量的指令寄存器 (IR) 位，它们可以在预期看到返回的位之前循环这些位。许多较旧的 C2000 器件都要求每个器件循环 38 个 IR 位，而由于具有 ICEPick JTAG 路由控制器，所有较新的器件只需循环 6 个 IR 位。在撰写本应用手册时，以下器件具有 ICEPicks：F2807x、F28M3x、F2837xD、F2837xS、F28004x、F2838x、F28002x、F28003x 和 F280013x。如果您想检查器件是否具有 ICEPick，可以使用 Code Composer Studio 来查看目标配置的“Advanced”选项卡，如图 3-1 所示。

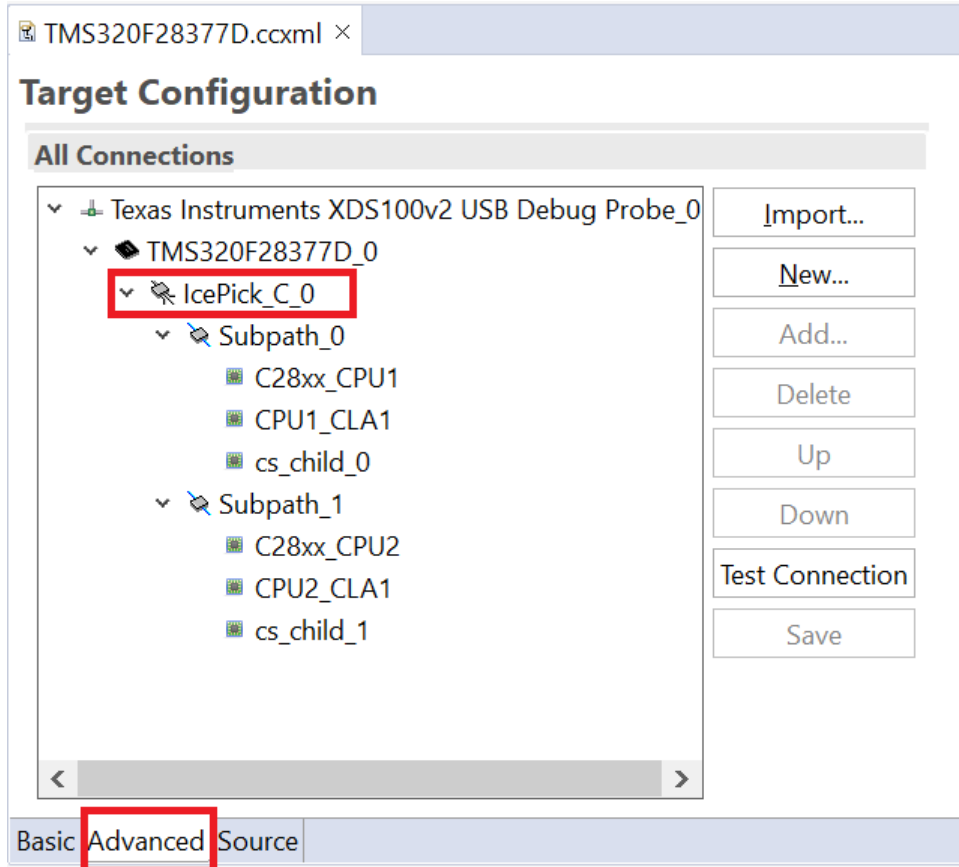


图 3-1. 目标配置高级视图

对于没有 ICEPick 的器件，这意味着 XDS100、XDS110 和 XDS200 调试探针只能在一个链中可靠地连接最多两个器件。但是，您可以通过 ICEPick 在 JTAG 链中连接多达 12 个器件。XDS560 可以在没有 ICEPick 的情况下可靠地连接到三个器件，并且可以通过 ICEPick 连接多达 18 个器件。要了解有关 ICEPick 的更多信息，请参阅 [TI ICEPick Module Type C 参考指南](#)。

4 JTAG 连接调试流程

以下流程图提供了隔离和执行常见故障排除建议的分步指导，以解决 JTAG 连接问题。如果在流程结束时仍有问题，请将问题提交到 [TI 工程师对工程师 C2000 支持论坛](#) 以支持。

4.1 整体调试流程

如何使用这些流程图：

1. 查看图 4-1 中的步骤，并首先浏览高压隔离流程。即使隔离不是主要问题，这也很重要，因为它可能会影响 PCB 的仿真方面。
2. 按照 JTAG 调试主流程图操作。完成中间步骤后，返回主流程，如果仍有问题，则继续。
3. 如果在使用所有流程元素后无法解决问题，请向 TI E2E 支持论坛提交问题。节 5 末尾的列表提供了问题中应包含哪些内容，以能够最为高效地获得 TI 的响应。

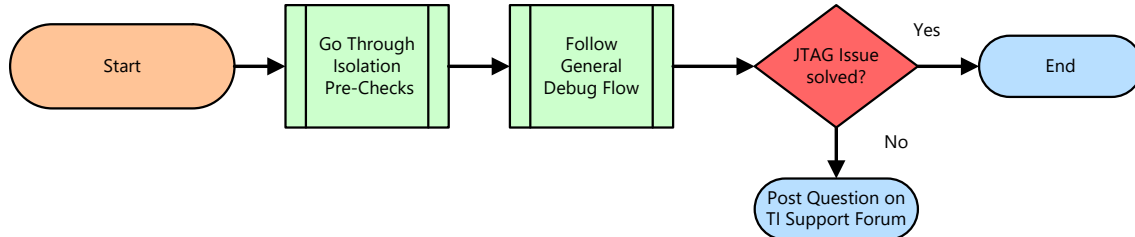


图 4-1. 整体调试流程

4.2 高压隔离检查流程

许多 C2000 应用本质上都是大功率应用。因此，在调试时，需要将目标板的电源平面与主机隔离。许多 TI 制造的电路板都具有隔离仿真，或具有板载选项来实现它。图 4-2 中所示的流程图用于帮助确定是否存在隔离式 JTAG，如果存在，则对这些系统中的常见问题进行故障排除。另外还有独立的调试探针也提供隔离；此流程与它们无关。

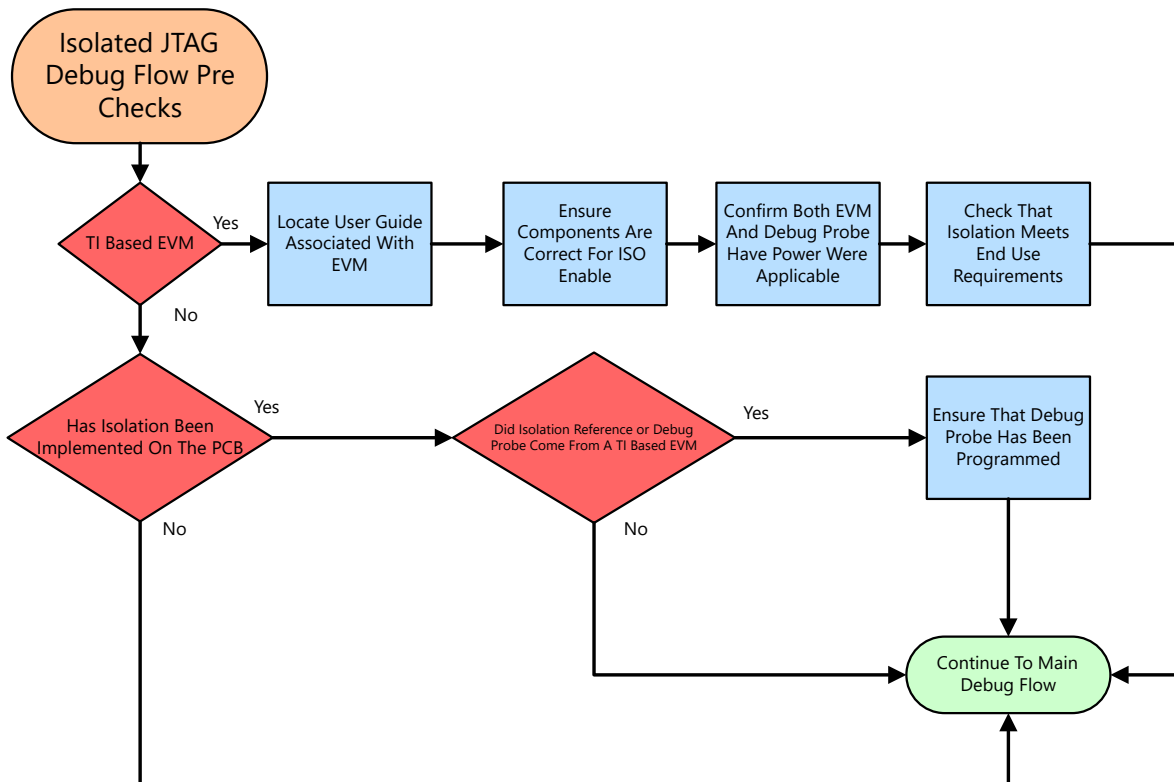


图 4-2. JTAG 隔离预检查

4.3 JTAG 调试主流程

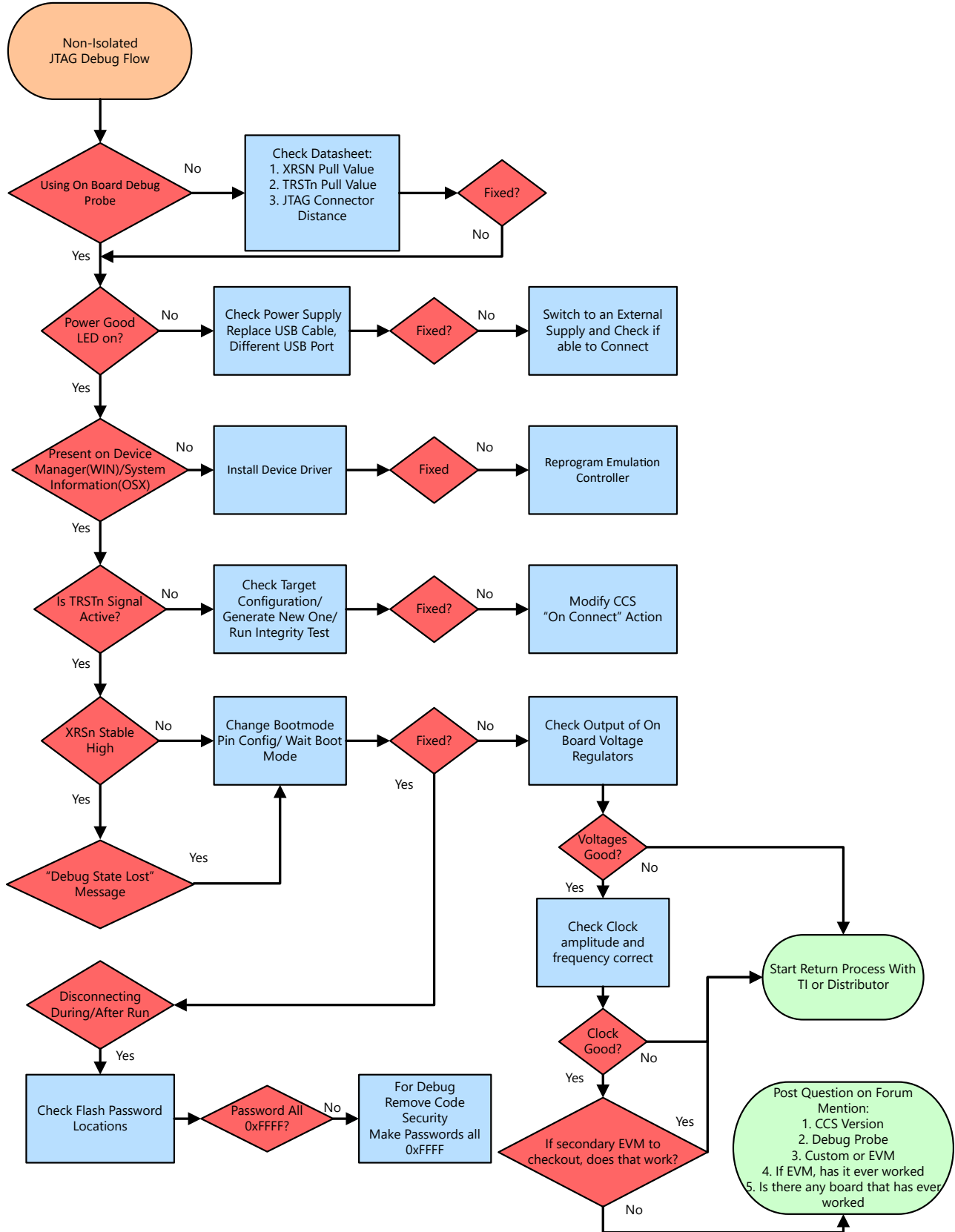


图 4-3. JTAG 调试流程

5 详细的流程步骤信息

从整体调试流程 (图 4-1) 开始, 确定是否需要高压隔离检查流程 (图 4-2)。完成后, 逐步完成主 JTAG 调试流程 (图 4-3)。

这是流程图的补充列表。此列表提供了有关每个步骤的指令的更多背景信息, 以帮助更好地了解要完成的操作。

5.1 隔离预检查流程

1. **基于 TI 的 EVM** : 如果正在调试的 EVM 基于 TI, 则流程会遵循该流程图中的此分支。
2. **找到与 EVM 相关的用户指南** : 所有基于 TI 的 EVM 都有用户指南或快速入门指南, 其中详细介绍了 EVM 的特性以及对 EVM 正确运行至关重要的元件。预先查看这些内容有助于完成调试过程 (本文档中对此进行了说明) 。
3. **电路板上实现了隔离** : 根据上一步中所述的参考指南或其他文档 (如果 EVM 不是 TI 生产的), 确定正在调试的电路板是否实现了隔离电路。
4. **确保元件针对 ISO 启用是正确的** : 参考 EVM 的文档, 确保正确安装了所有开关、跳线或分流器, 以实现 EVM 所需的隔离状态。
5. **确认 EVM 和仿真都具有电源 (如果适用)** : 为了在本地域和高功率域之间实现电源平面的适当隔离, 使用了隔离器来连接这两个平面并允许仿真信号到达 MCU。由于有单独的电源平面, 因此必须有两个路径, 从而为每个平面供电。通过仿真确保两个平面都有电源连接到器件。
6. **检查隔离是否满足最终使用要求** : 虽然这不是初始系统调试的必要检查, 但务必要熟悉所使用的隔离器件, 以便了解它们是否满足终端系统的要求。虽然 TI EVM 已经充分考虑了其最终应用中的这个方面, 但如果有 TI EVM 与定制 EVM 混合使用, 这可能仍是一项必要的检查。
7. **隔离\仿真参考是否来自基于 TI 的 EVM** : 很多时候, 定制设计会重复使用 TI EVM 的隔离和仿真电路。虽然从电气方面来说这样听起来不错, 但经常被忽略的是仿真芯片组本身仍需要进行编程。对于基于 TI 的 EVM, 这种情况会在该 EVM 销售之前发生于定制电路板上; 但是, 仍需要在生产流程中了解此流程。

5.2 JTAG 调试流程

1. **使用板载调试探针** :
 - a. **是** : 许多 C2000 MCU 板均在 PCB 上实现了 JTAG 调试探针。除非有应用要求, 否则 TI 建议使用板载调试探针进行开发。XDS100 和 XDS110 是两款可在 TI C2000 评估模块 (EVM) 上找到的目标调试探针。
 - b. **否** : 如果电路板设计是定制的并且使用独立调试探针, 则在继续调试流程之前, 需要先验证 JTAG 接头和无源器件的实现。器件特定数据表中包含参考原理图, 其中提供了正确的上拉/下拉值, 以确保器件正常运行。如果 PCB 由 TI 制造, 则可以跳过此步骤。
2. **电源正常 LED 亮起** : 此步骤旨在验证目标是否由电源正确供电, 而无需使用电压表等任何外部设备。所有 TI C2000 开发板都有 LED 指示正在为 MCU 供电。其他 LED 可用于指示一些开箱即用的代码正在成功运行。有关这些 LED 的位置和功能, 请参阅调试中 EVM 的器件特定用户指南。

3. **更换电缆**：如果未观察到电源正常 LED，则 EVM 的电源可能存在问题。许多 TI EVM 不仅使用 USB 连接来提供从主机到目标的调试路径，而且还使用 USB 的 5V 电压来为 EVM 供电。简单的检查可以是更改 USB 电缆，以确保不会出现这种问题。如果主机的功率不足，也可以使用插电的 USB 集线器。
4. **切换到外部电源**：如果电路板由 TI 制造，但板载电源无法提供适当电平的电源，并且 USB 电缆已知良好，则可以切换到 EVM 的外部电源。要了解是否支持此功能，请参阅 EVM 的器件特定用户指南。在这种情况下，需要探测电路板上的一些电压，以确定是电源由问题，还是 PCB 上的某个元件会抑制 MCU 的电压。
5. **出现在器件管理器中**：为了让 JTAG 调试探针与 PC 通信，需要安装驱动程序文件。这通常与安装 Code Composer Studio (CCS) 同时发生。要验证驱动程序是否已成功安装，请将 PC 连接到 JTAG 调试探针并开机。然后转至“Control Panel”→“Device Manager” (图 5-1) 并找到相关的调试探针。

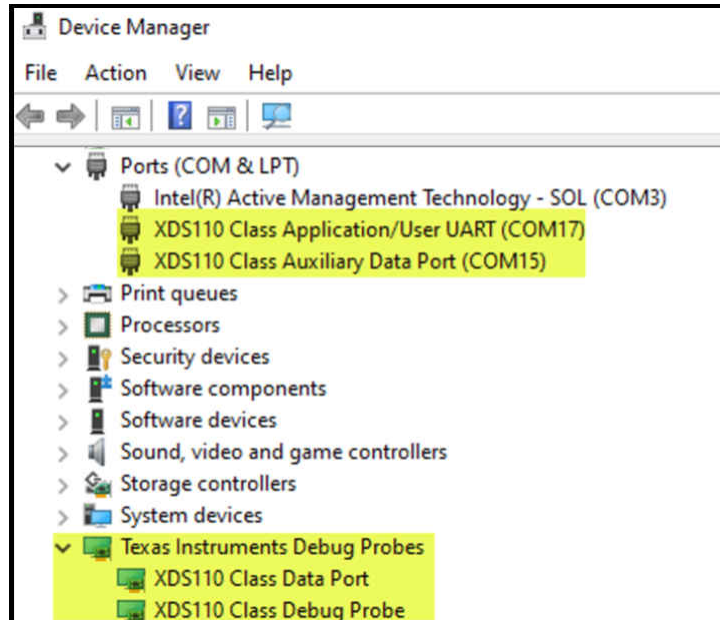


图 5-1. Windows 10™ 器件管理器显示成功检测到 XDS110 调试探针

6. **对仿真控制器进行重新编程**：此步骤确保用作仿真控制器的器件具有正确的固件。
 - a. XDS100v1：主机器件是 FTDI FT2232 [遵循重新编程指南](#)
 - b. XDS100v2：主机器件是 FTDI FT2232 [遵循重新编程指南](#)
 - c. XDS110：主机器件是 TI MCU TM4C1294NCPDRI3R [遵循重新编程指南](#)。
7. **安装器件驱动程序**：主机 PC/MAC 系统中没有显示调试探针的另一个可能原因是未安装驱动程序。通常，驱动程序会在安装 CCS 时安装，但请参阅调试探针产品页面，以了解可能的驱动程序。
8. **MCU 上的 TRSTn 信号是否为高电平**：此步骤会检查 CCS 尝试连接到目标时是否存在特定行为。其中一个首要操作是测试复位 (TRSTn) 将变为高电平无效，从而激活到外部调试探针的内核调试连接。如果 TRSTn 在 CCS 连接目标操作期间没有改变状态，则需要检查调试探针，以确保器件级和主机操作系统内部是否都配置正确。

9. **检查目标配置**：目标配置文件 (.ccxml) 包含连接到目标器件和在用 JTAG 调试探针所需的信息。要查看当前目标配置，请在 CCS 的“View”选项卡下选择“Target Configurations” (图 5-2)。双击与要调试的目标对应的 .ccxml。如果正确安装了调试探针的驱动程序并且选择了正确的选项，则“Test Connections”按钮 (图 5-3) 应该可供使用并准备好执行。此测试的数据日志可以帮助查明连接问题的原因，请勿跳过此步骤。请注意，许多示例工程作为 C2000Ware 或 controlSUITE 的一部分进行安装，它们具有一个“target configs”文件夹。这个文件夹中包含一个 .ccxml 文件，该文件是基于默认 EVM 和调试器的假设预先创建的。当使用“Debug”图标启动调试会话时，会使用此文件。如果“Debug”按钮是启动调试会话所需的方法，则需要修改“target configs”中的 .ccxml。

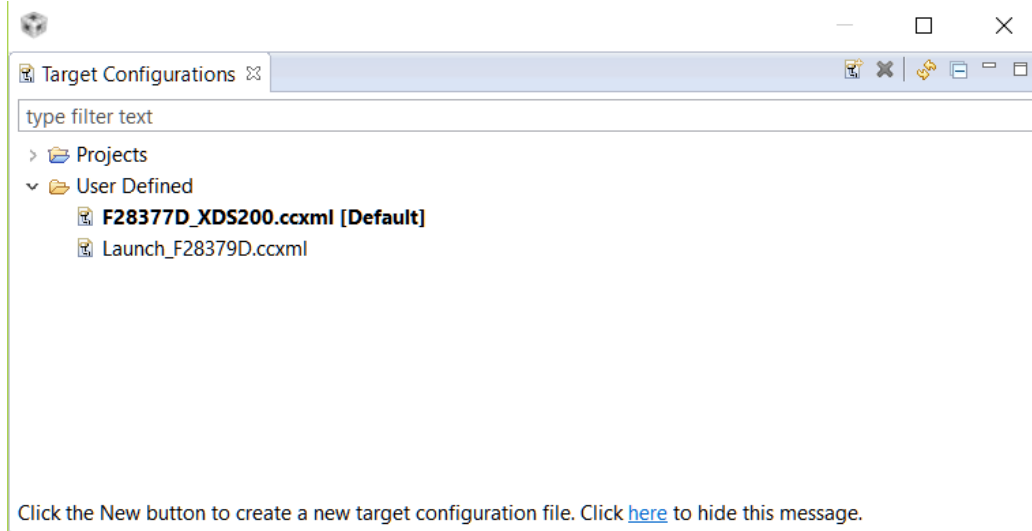


图 5-2. 目标配置视图

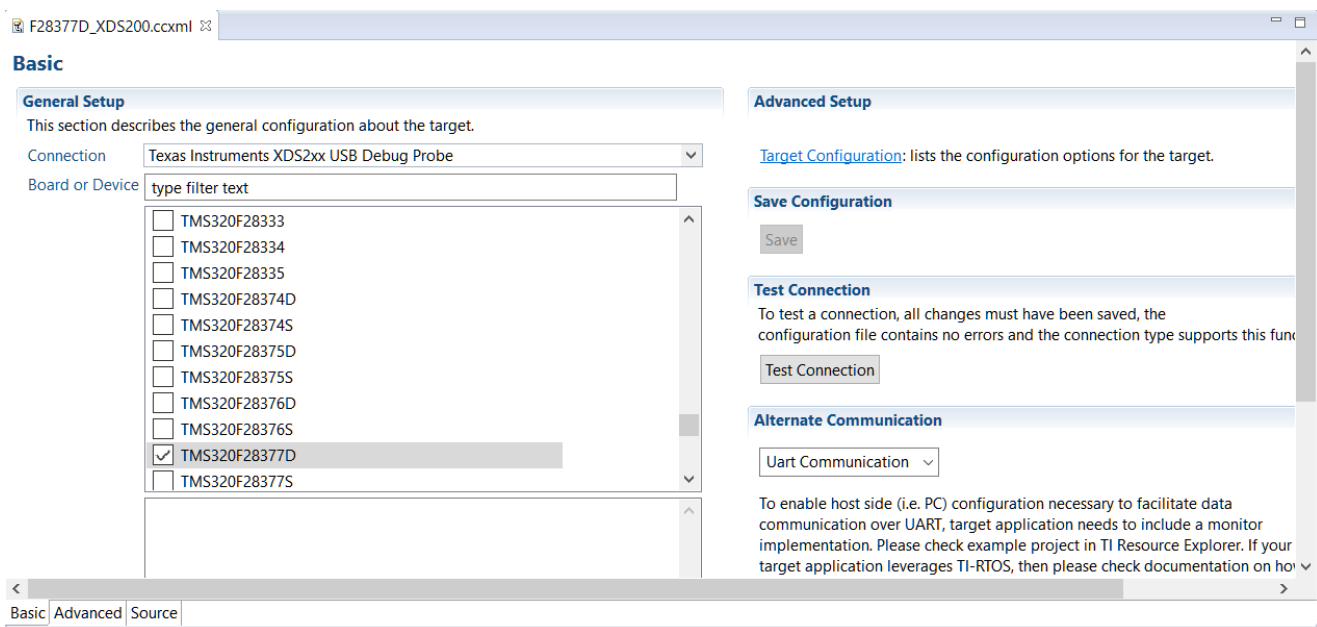


图 5-3. 测试连接

10. **修改 CCS “On Connect” 操作**：有两种方法可以从 CCS 启动调试会话。一种方法是右键点击上一步中所需的目标配置，然后选择“Launch Selected Configuration”。完成此操作后，可以通过右键点击 CPU 内核并选择“Connect Target”来连接目标 CPU。另一种方法是使用“Debug”按钮 (图 5-4)，使用该按钮时不仅会启动配置，而且还会建立连接，将目标程序文件加载到存储器中，并执行到“main”。这些设置可以修改，但这是默认操作。可以通过以下方式修改默认操作：右键点击使用的 .ccxml 文件或从“Debug”按钮旁边的箭头下拉菜单中选择“Debug Options”，并更改“Target”子菜单中的自动运行和启动选项。在本文档的故障排除阶段，建议使用以前的“连接目标”方法。这有助于查明并非纯粹与 JTAG 相关、而是由代码执行或其他系统交互引起的任何问题。验证系统在启动和连接目标时保持稳定后，使用“Debug”按钮来处理这些步骤。

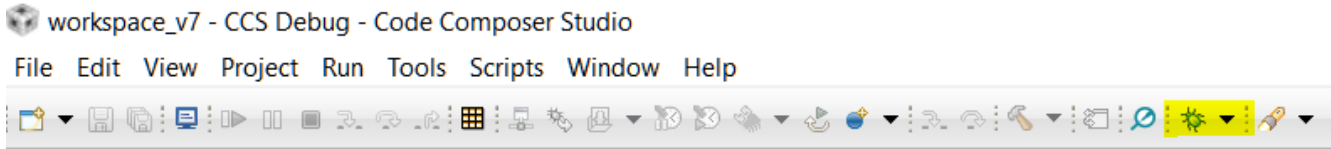


图 5-4. Code Composer 的调试按钮

11. **XRSn 状态**：观察示波器上的 XRSn，当器件运行时，XRSn 应该为高电平无效。如果 XRSn 为低电平或从低电平到高电平再到低电平的脉冲，则可能表示存在多个问题之一。如果脉冲是周期性的，则可能是 MCU 上的看门狗 (WD) 导致复位，因为它未得到处理或未被禁用。这种切换行为本身并不是坏事，因为它表明 MCU 正在加电并执行代码，但这可能会导致调试流程不稳定。如果存在不确定的脉冲或 XRSn 始终为低电平，则可能表示由于电源电压问题或 PCB 本身上的某些问题而触发内部欠压复位 (BOR)。请注意，这与前面提到的静态电源检查不同。这两个潜在问题也可能在代码执行期间发生。它们可以断开调试会话或阻止其可靠连接。
12. **更改引导模式**：检查硬件文件，以确保引导模式引脚处于与预期模式对应的正确状态。如果 XRSn 引脚表现出上述行为，或者如果闪存存储器的状态未知，则进入等待引导模式将使器件进入允许读取存储器和寄存器的安全状态。如需更详细地了解等待引导模式所需的引导引脚和选择，请查看器件特定数据表的引导部分。
13. **“调试状态丢失” CCS 消息**：即使 XRSn 处于所需的高电平无效状态，仍然存在会阻止或终止调试连接的问题。此行为通常与在器件上执行的代码有关。因此，还建议将器件置于等待引导模式。
14. **检查 VREG 设置**：为器件提供推荐工作条件之外的任何电压可能会导致发生掉电复位 (BOR) 事件。在这些情况下，测量器件的电压轨会有所帮助。可以根据 C2000Ware 或 controlSUITE 中的原理图文件来验证器件电源轨的探测点。如果在代码执行期间发生此问题，则电源可提供给器件的电流大小可能会存在问题。如果正在调试的 EVM 是 TI 制造的器件，则根据设计，从外部电源生成的任何电源轨都应该正常，此时将进行检查以验证电路板的完整性是否良好。
15. **检查时钟 (JTAG 时钟/系统时钟)**：测量并确认 JTAG 时钟和晶体或外部时钟源是否符合数据表定义的电平。检查制造商的数据表中是否有调试探针。这是确保为器件提供正常工作所需的输入的最后一步。许多 Piccolo™ 类器件都具有内置的零引脚振荡器。在外部时钟不确定的情况下，将此振荡器用作功能时钟会有所帮助。如需了解可用的时钟源及其容差，请参阅器件特定数据表。虽然 JTAG 时钟通常在初始设置文件中保持其默认速度，但降低时钟速率会有所帮助，可以看看这样是否会改善初始连接或提高连接稳定性。对于定制设计的 PCB，这可能特别有用。
16. **第二个器件检查**：如果在执行上述所有步骤后无法解决问题，则可以使用第二个 PCB/EVM 来确定问题是否是一个 EVM 的局部问题。如果第二个器件以相同的方式发生故障，则可能存在设置问题或 EVM 的外部发生问题。

17. **运行期间\运行后断开连接**：如果器件被密码锁定，代码安全模块 (CSM) 中的仿真代码安全逻辑 (ECSL) 将禁用到器件的 JTAG 仿真，从而导致 JTAG 连接问题。如上文所述，此问题可能发生在连接之前，但如果在调试器连接期间访问了存储器的安全区域，也可能发生在调试期间。当等待引导模式允许连接时，它不会在调试期间纠正访问安全存储器的问题。要纠正此问题，必须使用已知的密码来解锁 CSM。要了解如何锁定和解锁器件，请参阅 CSM 模块上的器件特定数据表和相关步骤。如果不知道密码，则无法解锁器件。调试将限制为不安全的区域。
18. **在 E2E.ti.com 上发帖提问**：在此流程结束后，如果通过 JTAG 连接器件或与器件保持连接时仍存在问题，建议您将问题或疑问发布到我们的 [TI C2000 工程师对工程师论坛](#)。发帖时，除了您的问题外，请提供以下信息：
- 帖子的主题/标题：JTAG 连接问题 - (在此处插入器件型号)
 - CCS 版本
 - 使用的调试探针
 - 目标类型：TI 制造的 EVM 或定制 EVM
 - 确认已执行本指南中的步骤
 - JTAG 连接的定制电路板原理图 (如果不是 TI EVM 且在可能的情况下)

6 参考文献

以下是有助于调试 JTAG 问题或为终端系统选择合适的 JTAG 仿真器件的具体支持页面

- [TI 常见 JTAG 问题调试指南](#)
- 德州仪器 (TI)： [C2000™ 实时控制微控制器 \(MCU\) 使用入门](#)
- [C2000 MCU 参考设计](#)

7 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 (January 2022) to Revision B (January 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	2
• 记录某些 JTAG 调试探针能够支持 JTAG 菊花链.....	3

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司