

EVM User's Guide: LAUNCHXL-F28E12X

C2000™ F28E12x 系列 LaunchPad 开发套件



说明

LAUNCHXL-F28E12X 是一款适用于德州仪器 (TI) C2000™ 实时微控制器 (MCU) 系列 F28E12x 器件的低成本开发板。LAUNCHXL-F28E12X 围绕 F28E120SC 实时 MCU 而设计, 具有控制、模拟和通信外设以及集成式非易失性存储器是其一大特色。LaunchPad™ 还具有 BoosterPack 扩展连接器 (40 引脚)、5V 编码器接口 (eQEP) 连接器、电源域隔离和板载 XDS110 调试探针。

开始使用

1. 立即从 [TI.com](https://www.ti.com) 订购 [LAUNCHXL-F28E12X](#)。
2. 下载最新的库。
3. 下载全面的参考设计文件。
4. 请参阅最新的器件支持文件。

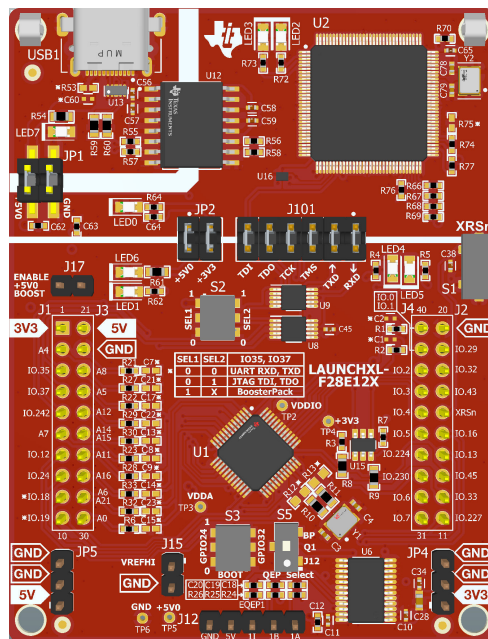
特性

- C2000 系列 F28E120SCTPT (48 引脚) 微控制器
- 板载 XDS110 调试探针

- 两个由用户控制的 LED
- 一个微控制器复位开关
- 可选的电源域:
 - USB (隔离式)
 - BoosterPack
 - 外部电源
- 基于增强型正交编码器脉冲 (QEP) 的独立编码器连接器
- 具有可堆叠接头的 BoosterPack 标准连接器 (40 引脚), 用于更大限度地提高通过 BoosterPack 生态系统实现的扩展能力

应用

- 电机驱动器
- 电器
- 混合动力、电动和动力总成系统
- 太阳能和电动汽车充电
- 数字电源
- 车身电子装置和照明
- 测试和测量



F28E12x LaunchPad™ 电路板

1 评估模块概述

1.1 简介

德州仪器 (TI) 的 F28E12x LaunchPad (LAUNCHXL-F28E12X) 提供了一种了解 F28E12x 器件和对其进行实验的实用方法。F28E12x 器件是 TI C2000 系列微控制器 (MCU) 的一员。此 40 引脚 LaunchPad 旨在提供滤波良好、能够在大多数环境中工作的稳健设计。本文档介绍了 F28E12x LaunchPad 的硬件详细信息，并说明了电路板上跳线和连接器的功能与位置。

备注

此套件旨在探索 F28E12x 微控制器的功能。可将 LaunchPad 视为很好的参考设计，但不能作为完整的客户设计。客户系统的设计人员需完全遵守安全性、EMI/EMC 和其他规定。

1.2 套件内容

F28E12x Series LaunchPad 开发套件包含以下物品：

- C2000 F28E12x 系列 LaunchPad 开发板 (LAUNCHXL-F28E12X)
- USB Type-A 公型转 USB Type-C™ 公型电缆
- 引脚排列图

1.3 规格

表 1-1 总结了 F28E12x LaunchPad 规格。

表 1-1. LAUNCHXL-F28E12X 规格

参数	值
电路板电源	以下其中一种来源的 5V_{DC}： • USB 连接器 (USB1) - 连接到 PC 或其他兼容电源的 USB Type-C® 电缆。 • BoosterPack™ 1 • 辅助电源连接器 以下其中一种来源的 3.3 V_{DC}： • BoosterPack 1 • 辅助电源连接器
尺寸	3.00 x 2.3 x 0.925 英寸 (7.62cm x 5.84cm x 2.35cm) (长 x 宽 x 高)
分接功率输出	• 连接到 BoosterPack 的 3.3V_{DC}，受 TPS7A80 LDO 的输出限制。此 3.3V 层由多个板载元件共享。TPS7A80 的总输出功率限制为 1.0A。
假定的运行条件	此套件假定在标准室内条件下运行。EVM 可以运行在湿度为适度至低的接近标准环境温度和压力 (SATP) 下。

图 1-1 重点介绍了 F28E12x LaunchPad 的主要特性。

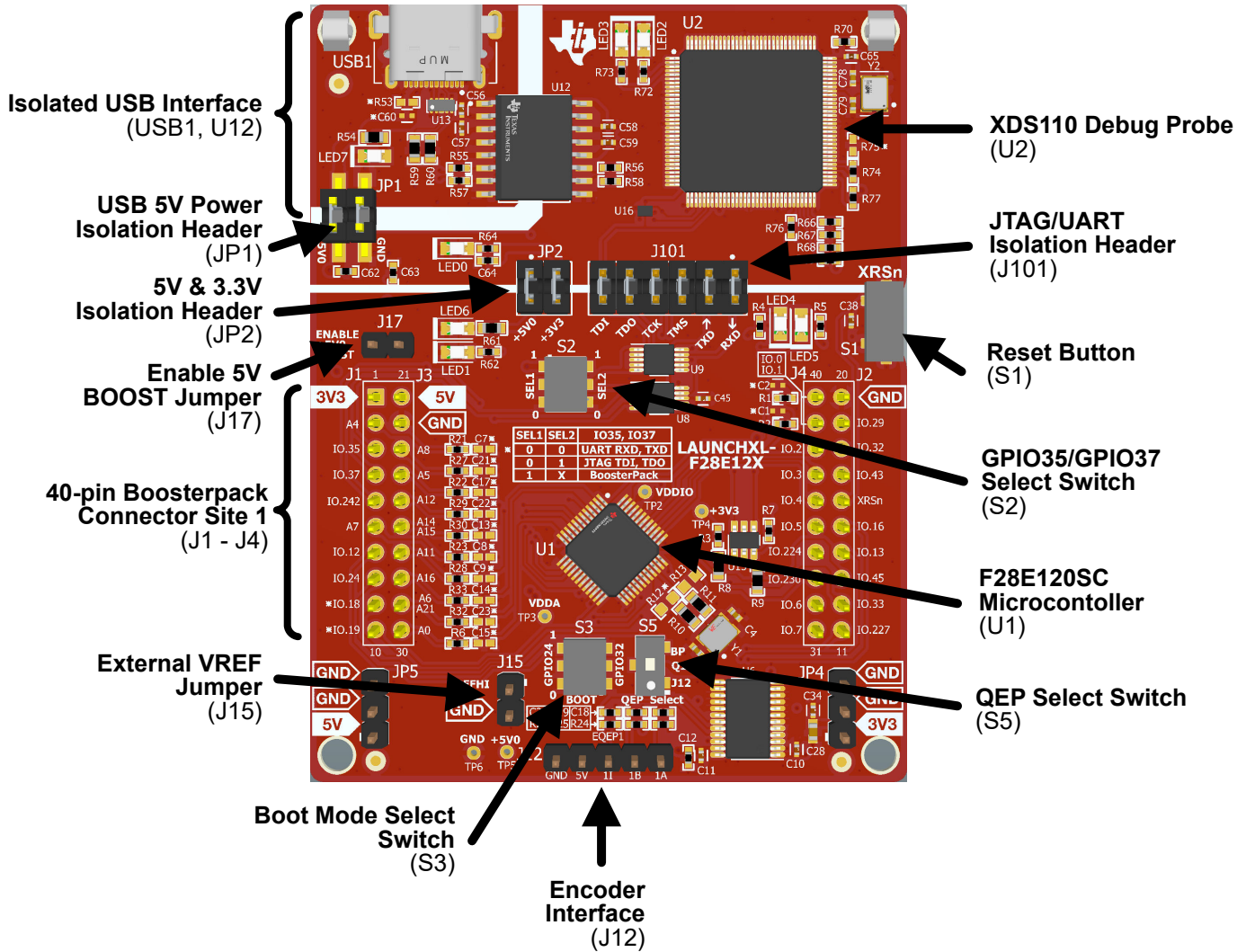


图 1-1. F28E12x LaunchPad 电路板概述



1.3.1 外部电源或配件要求

标称输出电压：5VDC

最大输出电流：3A

效率等级 V

备注

TI 建议使用符合适用地区安全标准 (如 UL、CSA、VDE、CCC 和 PSE 等) 的外部电源或电源配件。

1.4 器件信息

F28E120SC 是一款单核 32 位浮点微控制器，具有 128KB 闪存和 16KB RAM 并在 160MHz 频率下工作。该微控制器包含先进的控制外设、差分模拟和各种通信外设。该器件已针对高性能实时控制应用进行了优化。如需更多信息，请参阅 [F28E12x 实时微控制器](#) 数据表。

该微控制器的大多数信号都路由到布局符合 TI BoosterPack 标准的 2.54mm (0.1 英寸) 间距接头，但有一些例外。借助 F28E12x MCU 的内部多路复用器，可以为每个通用输入/输出 (GPIO) 引脚分配多种不同的外设功能。有关多路复用选项的信息，请参阅具体器件的数据表。添加外部电路时，应考虑开发板电源轨上的额外负载。

F28E12x LaunchPad 带有经出厂编程的快速入门演示程序。该快速入门程序位于片上闪存中，并且每次上电时都会运行，除非此应用程序已经被一个用户程序取代。有关 LaunchPad 演示程序的详细信息，请参阅 [节 3.1.2](#)。

2 硬件

2.1 硬件说明

F28E12x LaunchPad 包括一个 F28E120SC MCU，专为高级实时控制应用而设计。通过板载配件和 BoosterPack 连接器，用户可使用大量此类外设。本节介绍这些外设的工作方式及其与 MCU 的连接。

图 2-1 显示了 F28E12x LaunchPad 的简要方框图：

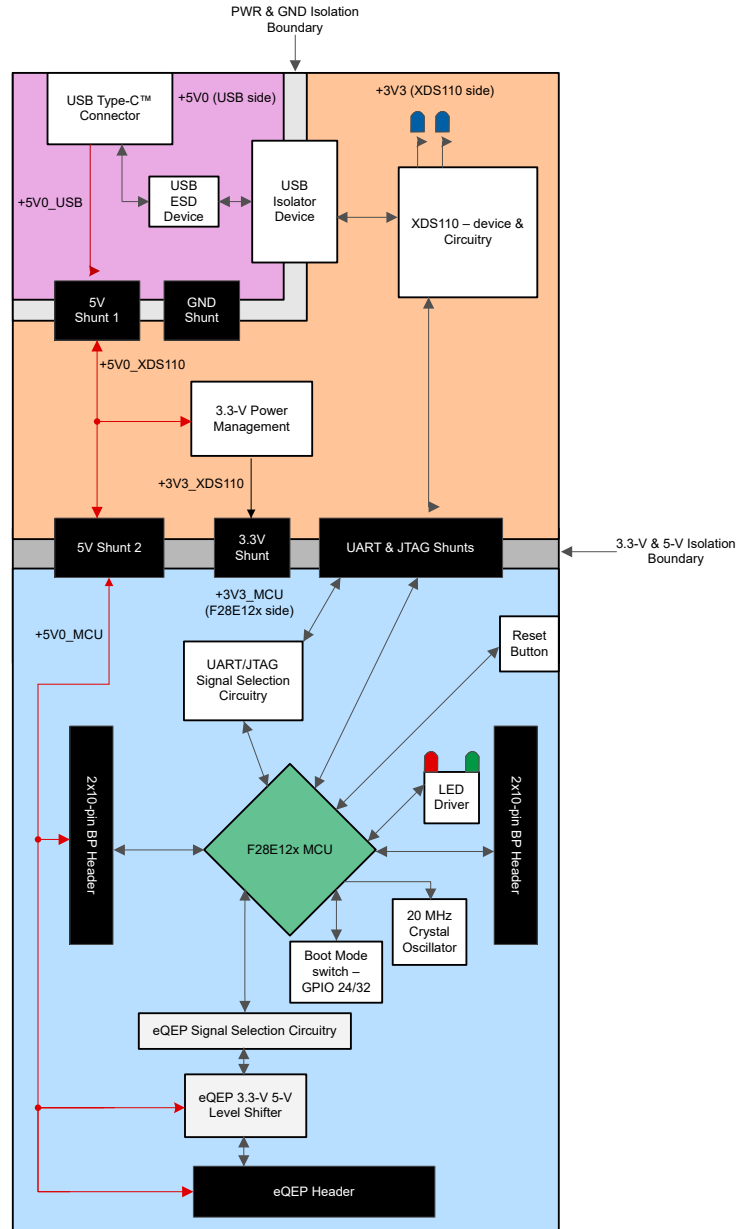


图 2-1. F28E12x LaunchPad 开发套件方框图

2.1.1 功能描述和连接

2.1.1.1 电源域

F28E12x LaunchPad 具有多个电源域，可以通过可拆卸分流器相互连接或隔离。不同的 3.3V 和 5V 电源域在图 2-2 中进行了进一步描述。

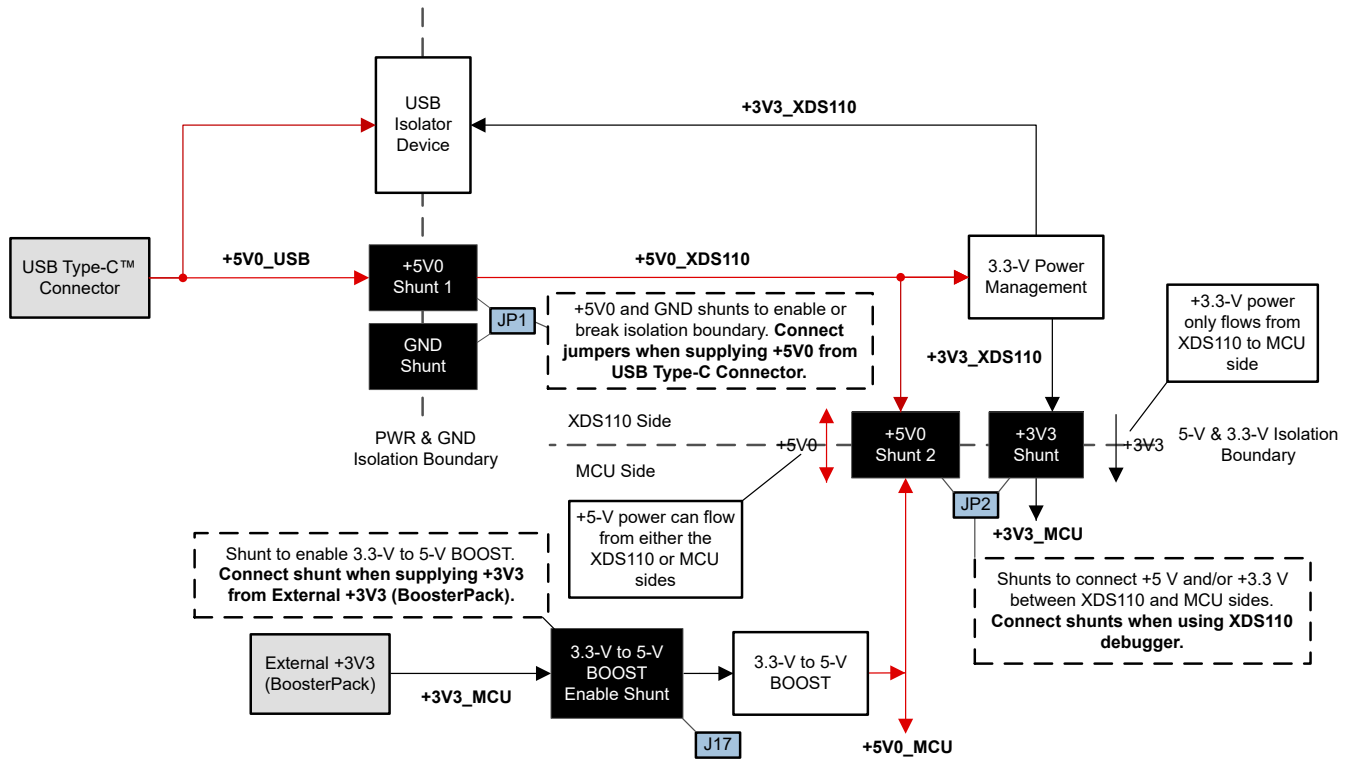


图 2-2. LaunchPad 配电图

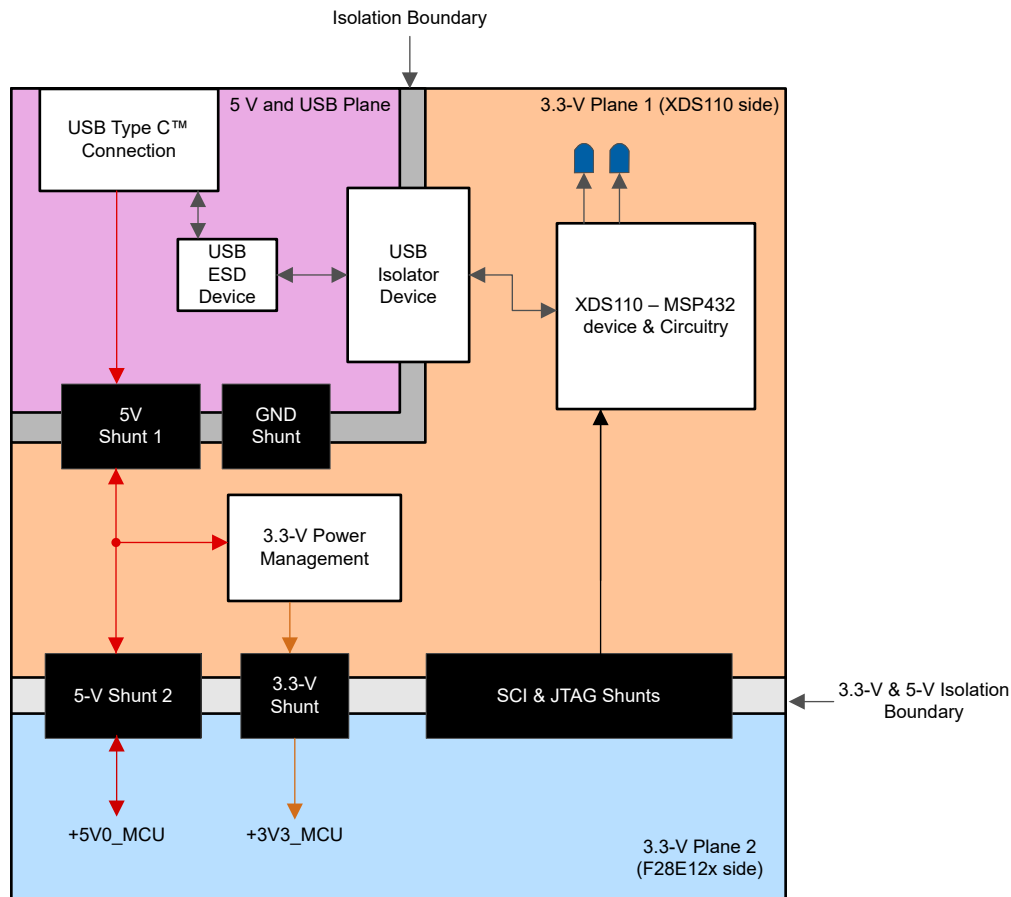


图 2-3. LaunchPad 电源平面图

表 2-1 描述了 LaunchPad 电路板上不同可拆卸分流器的用法。

表 2-1. 电源域分流器

分流器标识符	用法描述
JP1, +5V0	将来自 USB-C 连接器 (+5V0_USB) 的 +5V 电源连接到电路板 XDS 侧的 +5V 电源 (+5V0_XDS110)。在 USB 和 XDS 平面之间桥接电源隔离。
JP1, GND	将电路板隔离 USB-C 连接器侧的电路板接地 (USB_GND) 连接到电路板接地的其余部分 (GND)。在 USB 侧和电路板其余部分之间将接地隔离桥接。
JP2, +5V0	将电路板 XDS 侧的 +5V 电源 (+5V0_XDS110) 连接到电路板 MCU 侧 (+5V0_MCU) 的 +5V 电源。
JP2, +3V3	将电路板 XDS 侧的 +3.3V 电源 (+3V3_XDS110) 连接到电路板 MCU 侧 (+3V3_MCU) 的 +3.3V 电源。
J17	启用板载 3.3V 至 5V 升压稳压器, 将 +3.3V 电源轨转换为 +5V 电源轨。

F28E12x LaunchPad 可提供灵活的电源域方案, 允许用户以各种不同的配置为电路板供电。表 2-2 显示了不同的电源配置以及为整个电路板供电而需要安装的所需分流器。

表 2-2. 电源配置

供电方	连接的分流器	电源说明
USB-C 连接器	JP1、JP2	+5V0_USB : 由 USB-C 连接器供电 +5V0_XDS110 : +5V0_USB 会传递给 JP1, 并且与 +5V0_XDS110 是同一个电源 +5V0_MCU : +5V0_XDS110 会传递给 JP2, 并且与 +5V0_MCU 是同一个电源 +3V3_XDS110 : 由 XDS 侧 5V 至 3.3V LDO 稳压器生成 +3V3_MCU : +3V3_XDS110 会传递给 JP2, 并且与 +3V3_MCU 是同一个电源
外部 +3.3V (连接到 BoosterPack 接头)	JP2 +5V0 (可选), J17	+5V0_USB : 如果正在调试器件, 则连接 JP2 +5V0 分流器以对 XDS110 调试器供电。+5V0_USB 通过 USB-C 连接器供电, 并且与 MCU 侧 +5V0 电源轨隔离。否则, 如果不进行调试, 则不需要 +5V0_USB, 并且可以断开 JP2 +5V0 +5V0_XDS110 : 仅当调试器件时才需要。+5V0_MCU 会传递给 JP2, 并且与 +5V0_XDS110 是同一个电源 +5V0_MCU : 由 3.3V 至 5V BOOST 稳压器生成 +3V3_XDS110 : 仅当调试器件时才需要。+3V3_XDS110 由 XDS 侧 5V 至 3.3V LDO 稳压器生成。确保 JP2 +3V3 分流器断开, 以防止 3.3V 电源轨上发生争用 +3V3_MCU : 由外部 +3.3V 电源供电
外部 +5.0V (连接到 BoosterPack 接头)	JP2	+5V0_USB : 如果正在调试器件, +5V0_USB 通过 USB-C 连接器供电, 并且与 MCU 侧 +5V0 电源轨隔离。否则, 如果不进行调试, 则不需要 +5V0_USB。 +5V0_XDS110 : 5V0_XDS110 会传递给 JP2, 并且与 +5V0_MCU 是同一个电源 +5V0_MCU : 由外部 +5.0V 电源供电 +3V3_XDS110 : +3V3_XDS110 会传递给 JP2, 并且与 +3V3_MCU 是同一个电源 +3V3_MCU : 由 XDS 侧 5V 至 3.3V LDO 稳压器生成

2.1.1.2 LED

F28E12x LaunchPad 电路板上具有 LED 电源指示灯 (红色)。表 2-3 展示了每个 LED 的说明。

表 2-3. LED 电源指示说明

LED 编号	指示说明
LED7	从 USB Type-C™ 连接器获得 +5V 电源
LED0	PCB XDS110 侧的 +3.3V 电源
LED6	PCB F28E12x 侧的 +5V 电源
LED1	PCB F28E12x 侧的 +3.3V 电源

该电路板上提供了两个用户 LED：LED4 (红色) 和 LED5 (绿色)，请参阅表 2-4。这两个用户 LED 分别连接至 F28E120SC 的 GPIO45 和 GPIO33。这些信号连接到 SN74LVC2G07 LED 驱动器 IC，并采用低电平有效配置；也就是说，将 GPIO 驱动至低电平时，LED 会亮起；驱动至高电平时，LED 会熄灭。这些 LED 专供软件程序使用。

表 2-4. 用户可配置 LED 说明

LED 编号	说明
LED4	由 GPIO45 控制的低电平有效用户可配置 LED
LED5	由 GPIO33 控制的低电平有效用户可配置 LED

XDS110 调试探针上连接了两个蓝色 LED：LED2 和 LED3，请参阅表 2-5。这些 LED 指示调试器活动，并且无法通过任何应用软件进行控制。

表 2-5. XDS110 LED 说明

LED 编号	指示说明
LED2	指示 XDS110 器件主动连接到调试器目标会话 (例如，CCS IDE 调试会话)
LED3	表示 XDS110 器件已通电并正常工作

2.1.1.3 编码器连接器

F28E12x LaunchPad 包含 J12 接头，该接头可用于连接线性或旋转增量编码器。这两个接头采用 5V 输入信号，信号会降压至 3.3V 并连接至 F28E120SC MCU。恰当地设置开关 S5 后，这些信号会连接到器件上的 eQEP 模块，具体请参阅表 2-9。每个接头都具有用于 eQEP 模块 (1) 的 EQEPA、EQEPB 和 EQEPI 信号，以及用于 GND 和 5V 的引脚。

2.1.1.4 引导模式

F28E120SC 引导 ROM 包含该器件每次上电或复位时执行的引导加载软件。GPIO24 和 GPIO32 两个引脚连接到引导选择开关 (S3)。默认情况下，这两个引脚都设为高电平 (1)，因此该器件会从闪存引导。有关 F28E12x 引导模式的更多信息，请参阅 [F28E12x 实时微控制器](#) 数据表。

表 2-6. 引导选择开关表 - S3

引导模式	GPIO24 (LEFT)	GPIO32 (RIGHT)
从并行 GPIO 引导	0	0
从 SCI 引导/等待引导	0	1
从 CAN 引导	1	0
从闪存引导 (默认)	1	1

2.1.1.5 BoosterPack 站点

F28E12x LaunchPad 具有 BoosterPack 连接器。BoosterPack 站点 1 符合 BoosterPack 标准。为了扩展此 LaunchPad 可供用户使用的功能，某些信号也会路由至电路板上的替代位置。可以通过操作板载开关或通过增加并去掉 0Ω 电阻器来选择这些备用路线。节 2.1.3 进行了相关介绍。

可以在 [LAUNCHXL-F28E12X 引脚排列图](#) 中查看 GPIO 引脚编号以及有关 BoosterPack 的特性。每个 GPIO 都通过 F28E12x 器件的 GPIO 多路复用器提供多项功能。引脚排列图中列出了其中一些具体的功能；如需查看完整的 GPIO 多路复用器表格，请参阅 [F28E12x 实时微控制器数据表](#)。

F28E12x MCU 的所有模拟信号（以 ADCIN 表示）都会路由到电路板左侧的 J1/J3 BoosterPack 接头。在靠近相应 BoosterPack 接头的地方，每个 ADC 输入信号都有元件焊盘，用于焊接串联电阻器和并联电容器，以构成 RC 滤波器。默认情况下，会组装 0 Ω 电阻器，而电容器不予组装。用户可以组装上述具有特定数值的元件，以滤除到达器件 ADC 输入端的噪声。

2.1.1.6 模拟电压基准

F28E12x 的模拟子系统支持灵活的电压基准源。ADC 模块以 VREFHix 和 VREFLOx 引脚电压为基准。VREFHix 可由外部驱动或由内部带隙电压基准生成。可以在接头 J15 上施加一个外部电压，来作为 VREFHix 的外部电压源。请注意，没有针对外部电压基准的信号调节电路。为了获得良好性能，可能需要一些额外的电路。

2.1.1.7 其他接头和跳线

LaunchPad 具有多个跳线，用于为电路板选择不同的电源。此 LaunchPad 还提供了一种将连接的 USB 与器件相隔离的方法，从而能够在更高电压的应用中安全工作并进行调试。

2.1.1.7.1 USB 隔离模块

JP1 用于在高压应用中实现该器件和所连 USB 之间的隔离。隔离区域由 LaunchPad 左上角的白色轮廓处定义。JP1 有两个可拆卸分流器，用于将 USB 区域的 GND 和 5V 电源以及 LaunchPad 的 XDS110 和 F28E12x MCU 区域分开。默认情况下，两个分流器均已填充，并且由连接的 USB 供电，这意味着 USB 未与 XDS110 和 F28E12x MCU 区域隔离。如果需要电源隔离，请将 JP1 上的分流器拆下。在此配置中，需要以下两个外部电源选项之一：

- 一个外部 5V 电源为 3.3V LDO (TPS7A80) 供电，该电源为电路板的 XDS110 和 F28E12x MCU 区域提供 3.3V。
- 为电路板的 F28E12x MCU 区域供电的外部 3.3V 电源。使用板载 5V 升压 (TPS61241) 生成 5V。

在拆下 JP1 分流器的隔离式电源应用中，确保在板的 F28E12x MCU 区域组装了正确的分流器。有关更多详细信息，请参阅 [节 2.1.1.1](#)。

2.1.1.7.2 备用电源

在 BoosterPack 连接器之外还提供了其他跳线，用于提供额外的 3.3V 或 5V 外部电源连接。这些引脚可用于为外部电路板供电或通过外部电源为 LaunchPad 供电。使用这些连接点时，请确保未连接其他电源。

- 提供的 JP4 用作将 3.3V 电源连接至该 LaunchPad 的额外连接点。
- 提供的 JP5 用作将 5V 电源连接至该 LaunchPad 的额外连接点。

2.1.1.7.3 5V 升压转换器

J17 会切断板载升压转换器的电源，并防止 TPS61241 升压直流/直流转换器 (U23) 为 LaunchPad 的 5V 电源域供电。如果未连接其他 5V 电源，此稳压器可将电压从 3.3V 升至 5V。除非 JP2 为开路并且 LaunchPad 未连接其他 5V 电源，否则请勿在 J17 上放置分流器。

2.1.1.8 可编程增益放大器 (PGA)

F28E12x MCU 具有片上可编程增益放大器 (PGA)，用于放大输入电压，以增加下游 ADC 和 CMPSS 模块的动态范围。集成的 PGA 有助于使传统上需要外部独立放大器的许多控制应用降低成本和设计工作量。通过片上集成可确认 PGA 与下游 ADC 及 CMPSS 模块兼容。软件可选增益和滤波器设置使 PGA 能够满足各种性能需求。如需有关 PGA 的更多信息，请参阅器件特定数据表和技术参考手册。

F28E12x LaunchPad 旨在优化某些 PGA 信号到 BoosterPack 连接器的路由。如果需要，此设计选择允许对片上 PGA 进行评估。一个支持引脚多路复用器的 PGA 模块支持 3 个正输入和 2 个负输入，并路由至 BoosterPack 连接器。可以在这些信号中的每一个信号上放置一个 RC 滤波器，以提供对输入信号的额外滤波。默认情况下，在

每个 PGA 输入信号上放置 $0\ \Omega$ 串联电阻器和去耦电容器的焊盘。可以根据应用要求修改这些值。只要将 PGA 信号引入 BoosterPack 连接器，也会提供 ADC 输入。

表 2-7 汇总了可用的 PGA 信号和连接。有关完整的连接详细信息，请参阅 [LAUNCHXL-F28E12X 原理图](#)。

表 2-7. PGA 信号和相关连接

Booster Pack 站点	引脚位置	PGA 信号	ADC 输入信号	注释
1	J3.27	PGA1_INP1	ADCINA11	如果需要，组装 RC 滤波器
	J3.28	PGA1_INP2	ADCINA16	如果需要，组装 RC 滤波器
	J3.29	PGA1_INP3	ADCINA6/ADCINA21	如果需要，组装 RC 滤波器
	J1.2	PGA1_INM1	ADCINA4	在默认情况下，处于断开连接状态。根据需要跳接至板 GND 或外部电压。
	J3.30	PGA1_INM2	ADCINA0	在默认情况下，处于断开连接状态。根据需要跳接至板 GND 或外部电压。
	J3.23	PGA1_OUT	ADCINA8	用于确认 PGA1 的输出

2.1.2 调试接口

2.1.2.1 XDS110 调试探针

F28E12x LaunchPad 具有一个板载 XDS110 调试探针。借助 XDS110，可以使用 [Code Composer Studio \(CCS\)](#) IDE 或任何其他受支持的工具链来对 F28E120SC 器件进行编程和调试。在默认配置中，会连接 XDS110 来支持 4 引脚 JTAG 模式。还支持 2 引脚 cJTAG。请参阅 [节 2.1.3.2](#) 了解限制。

2.1.2.2 虚拟 COM 端口

插接至 USB 主机时，XDS110 会作为调试器和虚拟 COM 端口进行枚举。J101 允许用户将来自 F28E12x 的 SCI UART 连接到调试探针，从而传递到 USB 主机。默认情况下，F28E12x SCIA 通过 GPIO35 和 GPIO37 映射至 XDS110 的虚拟 COM 端口。请参阅 [节 2.1.3.2](#) 了解限制。

要在 F28E12x LaunchPad 上启用 SCI 引导，请执行以下步骤：

1. 确保 S2 配置为启用与虚拟 Com 端口的 UART 通信。
2. 确保将 S3 配置为从 SCI 引导或等待引导。
3. 拆下 J101 上对应于 TXD 和 RXD 的两根跳线。
4. 使用跳线将 GPIO29 (J2.19) 连接到 XDS 侧 J101 上的 TXD。
5. 使用跳线将 GPIO28/ADCINA16 (J3.28) 连接到 XDS 侧 J101 上的 RXD。

有关使用 SCI 引导加载程序的更多信息，请参阅 [C2000 微控制器的串行闪存编程](#)。

2.1.3 备选布线

2.1.3.1 概述

F28E120SC MCU 是一款采用小型封装的多用途器件。为了平衡与 BoosterPack 标准的兼容性并展示 F28E120SC 的多功能性，该设计增加了一些复杂性。默认提供的大多数功能均符合 BoosterPack 标准。其他功能通过可添加或删除的开关或静态电阻器来配置。本节介绍了各种备选功能以及如何启用这些功能。请注意，启用某些备选功能时，标准 BoosterPack 功能可能会丢失。开关和电阻器配置成无法将多项功能连接到同一接头。

2.1.3.2 GPIO35/GPIO37 布线

为了在评估 F28E12x MCU 时提供更大的灵活性，此 LaunchPad 具有多种配置来对 GPIO35 和 GPIO37 引脚进行布线。默认情况下，GPIO35 (RXD) 和 GPIO37 (TXD) 路由到虚拟 COM 端口，而在 BoosterPack 连接器中不可用。这些 GPIO 引脚支持 SCIA 外设及高速 UARTA 外设。或者，GPIO35 (TDI) 和 GPIO37 (TDO) 可作为 JTAG 信号路由到 XDS110 调试器，以启用使用 4 引脚 JTAG 进行的调试。当不需要 UART 或 4 引脚 JTAG 时，这些 GPIO 可以路由至 BoosterPack 连接器，以提供 BoosterPack 标准功能。

这些信号对的路由目的地使用板载开关 S2 来选择，如 [表 2-8](#) 所述。

表 2-8. GPIO35/GPIO37 选择表 - S2

SEL1 (左侧)	SEL2 (右侧)	GPIO35 功能	GPIO37 功能	预期用例
0	0	UART RXD	UART TXD	2 引脚 cJTAG + 串行 UART
0	1	JTAG TDI	JTAG TDO	4 引脚 JTAG
1	x	BP 接头 J1.3	BP 接头 J1.4	BoosterPack 功能

请注意，LAUNCHXL-F28E12X 硬件不支持使用 4 引脚 JTAG 与虚拟 COM 端口进行串行 UART 通信。如果需要 UART 通信，请使用 2 引脚 cJTAG + 串行 UART 配置。

2.1.3.3 eQEP 路由

LaunchPad 能够通过 F28E12x 片上 eQEP 接口连接线性或旋转编码器：接头 J12 连接至 eQEP1。默认情况下，此连接未处于活动状态，这两个 GPIO 路由至 BoosterPack 连接器。来自 J12 连接器的 5V eQEP 输入信号通过 TI SN74LVC8T245 电平转换器 (U6) 降压至 3.3V。然后信号通过 TI SN74LV4053A 三路 2 通道模拟多路复用器/

多路信号分离器 IC (U7) 进行路由。开关 S5 通过控制 IC 的选择输入以将 eQEP 信号目的地配置为 J12 连接器或 BoosterPack 接头，具体如表 2-9 所示。

表 2-9. QEP 选择表 - S5

QEP1 SEL	QEP1 信号 (GPIO6/7/43)
0 (关)	J12
1 (开)	BP 接头

2.1.3.4 X1、X2 布线

F28E12x 晶体振荡器输出信号 X2 与 GPIO18 进行多路复用，而晶体振荡器输入 X1 与 GPIO19 进行多路复用。默认情况下，LaunchPad 采用板载晶体振荡器 Y2 作为片上锁相环 (PLL) 的时钟源，该锁相环需要 MCU 的 X1 和 X2 信号。若要满足具有干净路由的振荡器信号与将所有可能的 GPIO 连接到 BoosterPack 连接器这两个要求，可以通过 0 Ω 电阻器将 GPIO18 和 X2 和 GPIO19 和 X1 路由至 BoosterPack 连接器。如果需要在 BoosterPack 连接器处使用 GPIO18 或 GPIO19，则必须将片上零引脚振荡器用作片上 PLL 的时钟源。有关 X1、X2 配置的更多信息，请参阅 [F28E12x 实时微控制器](#) 数据表。

如果在 BoosterPack 连接器处需要用到 GPIO18 功能：

1. 去掉 R10 以将 GPIO18 与 Y2 分隔开来。
2. 填充 R12 以将 GPIO18 连接到 BoosterPack 连接器

如果在 BoosterPack 连接器处需要用到 GPIO19 功能：

1. 去掉 R11 以将 GPIO19 与 Y2 分隔开来。
2. 填充 R13 以将 GPIO19 连接到 BoosterPack 连接器。

2.1.3.5 PWM DAC

除了 BP 引脚 30 上提供的缓冲 DAC 输出外，F28E12x LaunchPad 还使用 GPIO0 (BP 引脚 40) 和 GPIO1 (BP 引脚 39) 在 BoosterPack 接头上最多提供两个 PWM DAC 信号。PWM DAC 信号的预期用途是将 F28E12x 器件的 PWM 用作数模转换器 (DAC)。此方法涉及对 PWM 信号进行低通滤波来去除其高频分量，仅保留直流分量。更多细节，请参阅在 [TMS320F280x 数字信号控制器上将 PWM 输出用作一个数模转换器](#)。

默认情况下不组装 RC 滤波器，而是组装 0 Ω 电阻器，电容器也不予组装。

2.2 使用 F28E12x LaunchPad

使用 F28E12x LaunchPad 的建议步骤如下：

1. 按照节 3.1.2 中的说明开始运行 **LaunchPad 演示程序**。只需几分钟，即可通过预编程的快速入门应用程序来控制 and 监测 F28E12x LaunchPad。此外，如果您有希望快速得到解决的任何问题，本文档中包含的[常见问题解答部分](#)可能会有帮助。
2. 尝试使用 **BoosterPack**。此开发套件符合最新版的 **BoosterPack** 引脚排列标准。此开发套件具有两个独立的 **BoosterPack** 站点，可支持多种扩展情况，例如同时使用两个 **BoosterPack**。有关 **TI LaunchPad** 和 **BoosterPack** 标准的更多信息，请参阅 [TI LaunchPad](#)。
3. 自行开发控制应用的首要步骤。F28E12x LaunchPad 由 [C2000Ware](#) 开发包提供支持。安装 **C2000Ware** 后，在安装目录中查找 `\f28e12x\examples\c28x\launch\l_f28e12x`，并找到为此电路板预先配置的示例应用。`\f28e12x\examples` 目录中的任何其他示例只需经过少量修改，即可在 **LaunchPad** 上运行。有关软件开发的更多详细信息，请参阅节 3.1。
 - a. 有关应用、特性和优势信息，请参阅 [F28E12x 实时微控制器](#) 数据表。
 - b. 查看这篇[介绍 C2000 实时微控制器的技术文章](#)，了解开发人员如何充分利用这些器件带来的可扩展性和可持续性优势。
4. 定制并集成硬件，以符合终端应用要求。在基于 C2000 F28E12x 系列微控制器构建自己的定制电路板和电路时，此开发套件可用作参考。还可基于该 **LaunchPad**，使用定制 **BoosterPack** 和其他电路进行扩展。本文档可用作此类工程的起点。
5. 接受培训。查看并下载关于 C2000 实时微控制器及相关 **LaunchPad** 的书面和视频培训资料，这些培训资料需要花费数小时来查看。
 - a. 请参阅 [C2000™ 实时控制微控制器 \(MCU\) 使用入门](#)
 - b. 查看 [TI 培训和视频](#) 页面
 - c. 参阅 [C28x Academy](#) 页面

2.3 BoosterPack

LAUNCHXL-F28E12X 提供了一种简单而又经济的方法来使用 F28E12x 系列微控制器开发各种应用。

BoosterPack 是 **LaunchPad** 生态系统的可插拔附加板，符合德州仪器 (TI) 制定的引脚排列标准。TI 和第三方 **BoosterPack** 生态系统极大地扩展了外设和潜在应用，让您可使用 F28E12x LaunchPad 进行探索。

表 2-10 中列出了一些与 F28E12x LaunchPad 兼容的 **BoosterPack** 示例。请注意，该列表并未详尽列出受硬件支持的 **BoosterPack**。

表 2-10. 针对 F28E12x LaunchPad 的精选 **BoosterPack**

BoosterPack/电路板	应用和使用
BOOSTXL-DRV8320RS	DRV8320RS 15A 三相无刷直流驱动级。具有独立的直流总线和相电压传感，因此评估模块十分适合无传感器 BLDC 算法。
BOOSTXL-3PHGANINV	采用 48V/10A 三相 GaN 逆变器，具备基于分流器的精密直列式相电流检测功能，从而能够对精密驱动器（例如，伺服驱动器）进行精准控制。
BOOSTXL-LMG2100-MD	实现 GaN 逆变器，具备基于分流器的精密直列式相电流检测功能，从而能够对精密驱动器（例如，伺服驱动器）进行精准控制。
BOOSTXL-DRV8323RS BOOSTXL-DRV8323RH	DRV8323RS/H 具有降压、分流放大器的三相 15A 智能栅极驱动器（SPI 或硬件接口）评估模块。
DRV8353RS-EVM	基于 DRV8353RS 栅极驱动器和 CSD19532Q5B NexFET™ MOSFET 的 15A 三相无刷直流驱动级。
DRV8316REVM	DRV8316REVM 提供三个半 H 桥集成式 MOSFET 驱动器，用于驱动具有 8A 峰值电流驱动的三相无刷直流 (BLDC) 电机，适用于 12V/24V 直流电源轨或电池供电应用。
DRV8317HEVM	DRV8317 是一款适用于电机驱动应用的 4.5V 至 20V、5A 峰值集成式三相 FET 驱动器 IC。DRV8317 提供三个集成式半桥，能够直接驱动三相无刷直流电机。
DRV8300DRGE-EVM	DRV8300DRGE-EVM 是 30A 三相无刷直流驱动级，其具有三个电流分流放大器，可用于低侧电流测量以及 PV_{DD}/GV_{DD} 电压和电路板温度反馈。

表 2-10. 针对 F28E12x LaunchPad 的精选 BoosterPack (续)

BoosterPack/电路板	应用和使用
DRV8328AEVM	DRV8328AEVM 是 30A 三相无刷直流驱动级，其具有电流分流放大器，用于低侧电流测量并提供用于评估 DRV8328 器件的所有型号 (A、B、C 和 D) 的可配置性。
DRV8329AEVM	DRV8329AEVM 是 30A 三相无刷直流驱动级，其具有用于低侧电流测量电流分流放大器、80mA LDO、死区时间控制引脚、VDS 过流电平引脚和栅极驱动器关断引脚。
DRV8334EVM	DRV8334EVM 是 30A 三相无刷直流驱动级，可快速评估 DRV8334 器件，该器件通过梯形换向和控制来旋转 BLDC 电机。
DRV8161EVM	DRV8161EVM 是 30A 三相无刷直流驱动级，使用三个 DRV8161 栅极驱动器来旋转 BLDC 电机。该 EVM 可快速评估 DRV8161 器件，该器件通过梯形换向和控制来旋转 BLDC 电机。
DRV7308EVM	DRV7308EVM 是专为全面评估 DRV7308 电机驱动器而设计的模块。该器件是一款 250W、450V 集成式三路氮化镓 (GaN) FET 半桥栅极驱动器，适用于电机驱动器应用。DRV7308EVM 提供三个 650V E 模式 GaN FET 半桥，能够直接驱动三相无刷直流电机。
DRV8376EVM	DRV8376EVM 是一款用于三相电机驱动器应用的集成驱动器 IC EVM，可为客户提供驱动 4.5V 至 65V 无刷直流电机的单芯片功率级设计。
BOOSTXL-BUCKCONV	数字电源降压转换器 BoosterPack ，用于学习涉及 C2000 微控制器的数字电源控制基础知识。降压转换器功率级支持动态负载，可以将外部 9V 直流电源转换为可配置的直流输出电压。
BOOSTXL-SHARP128	Sharp® 128x128 内存 LCD 和 microSD 卡 BoosterPack (使用 SPI 进行控制)。使用 LCD 屏幕来显示传感器读数、时间、图形或其他信息。

备注

所列 **BoosterPack** 和电路板的软件支持会有所不同。

用户也可以设计用于 F28E12x LaunchPad 的 **BoosterPack**。请参阅 [LAUNCHXL-F28E12X 引脚排列图](#) 或 [LAUNCHXL-F28E12X 原理图](#) 中的信号引脚映射，确保满足相关的兼容性要求。

2.4 硬件版本

本节包含 LAUNCHXL-F28E12X 的缩写修订历史记录以及每次修订的已知问题。

2.4.1 修订版 A

LAUNCHXL-F28E12x 的第二个量产版本于 2025 年 8 月发布。此版本可通过 EVM 背面 BoosterPack 连接器之间标记的 **MCU152A** 来识别。

下面列出了 EVM 上已确定的问题：

已知问题：

- 发布版本目前未报告任何问题。

要注意的特殊说明和注意事项：

- 请注意，除了 F28E120SC 器件的更新版本之外，此版本的 LAUNCHXL-F28E12X 与修订版 E2 板相同。因此，仅提供一个标签来指示修订版 A，丝印仍然显示为修订版 E2。适用于修订版 E2 的所有设计文件和原理图也适用于修订版 A。

2.4.2 版本 E2

LAUNCHXL-F28E12x 的第一个量产版本于 2025 年 4 月发布。此版本可通过 EVM 背面 BoosterPack 连接器之间标为“MCU152E2”的丝印来识别。

下面列出了 EVM 上已确定的问题：

已知问题：

- 初始发布版本目前未报告任何问题。

要注意的特殊说明和注意事项：

- 初始发布版本目前未报告任何内容。

3 软件

3.1 软件开发

本节提供了软件开发的一般信息以及有关编程设置 LaunchPad 的说明。[C2000 评估和开发](#)页面上列出了适用于 F28E12x 等 C2000 实时控制器的软件工具和软件包。

3.1.1 软件工具和软件包

[Code Composer Studio \(CCS\)](#) 是一种免费的集成开发环境 (IDE)，支持 TI 的微控制器和嵌入式处理器产品系列。Code Composer Studio™ (CCS) IDE 提供了功能丰富的环境，用于在 C2000 系列 MCU 上开发、编写和调试代码。

[C2000WARE](#) 是一个资源库，其中包含适用于 C2000 MCU 的器件特定驱动程序、位字段支持文件、库、外设示例、实用程序、硬件文件和文档。C2000WARE 为在 LAUNCHXL-F28E12X 上开始开发和评估 F28E12x 器件提供了坚实的基础，并能够更大程度地缩短软件开发时间。

借助提供的软件开发套件 (SDK)，可以轻松地在特定系统用例中评估 C2000 MCU，并缩短整体开发时间。[Motor Control SDK \(C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK\)](#) 面向各种电机控制应用，例如工业驱动器。[Digital Power SDK \(C2000WARE-DIGITALPOWER-SDK\)](#) 适用于各种交流/直流、直流/直流和直流/交流电源应用的数字电源系统开发。

3.1.2 F28E12x LaunchPad 演示程序

LAUNCHXL-F28E12X 具有一个已预先编程了演示程序的 F28E120SC 器件。当 LaunchPad 上电时，演示程序会先让 LED4 和 LED5 以 LED 闪烁序列进行闪烁。几秒钟后，该器件会切换至 ADC 采样模式。

每隔 1 秒，ADC 会对引脚 ADCINA8 进行一次采样，采样值表示如下：如果样本高于中标度 (2048)，红色 LED4 将亮起。如果样本低于中标度，绿色 LED5 将亮起。

除 LED 指示灯之外，ADC 采样结果还通过 USB/UART 接口显示在 PC 上。要在 PC 上查看 UART 信息，请首先确定与 LaunchPad 关联的 COM 端口（请参阅[图 3-1](#)）。为此，请在 Windows 中打开设备管理器。在“Ports (COM & LPT)”下查找名为“XDS110 Class Application/User UART (COMX)”的条目，其中 X 为数字。记住该编号，以便打开某个串行终端。

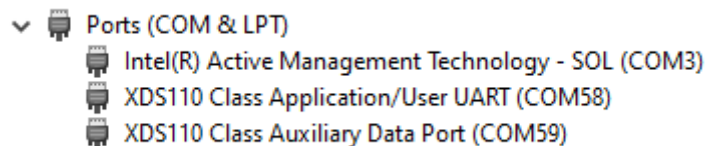


图 3-1. LaunchPad XDS110 COM 端口

PuTTY 是一款免费的开源终端仿真器，演示程序的 UART 数据便是使用 PuTTY 进行测试的。要在串行终端程序中查看 UART 数据，请通过 Windows 设备管理器打开显示的 COM 端口并使用以下设置：

115200 波特、8 个数据位、无奇偶校验、1 个停止位。

在串行终端中正确打开相应的串行端口后，通过按下 S1 复位按钮来复位 LaunchPad，并观察串行终端中是否以 ASCII 字符形式显示了 TI 标识（请参阅[图 3-2](#)）。

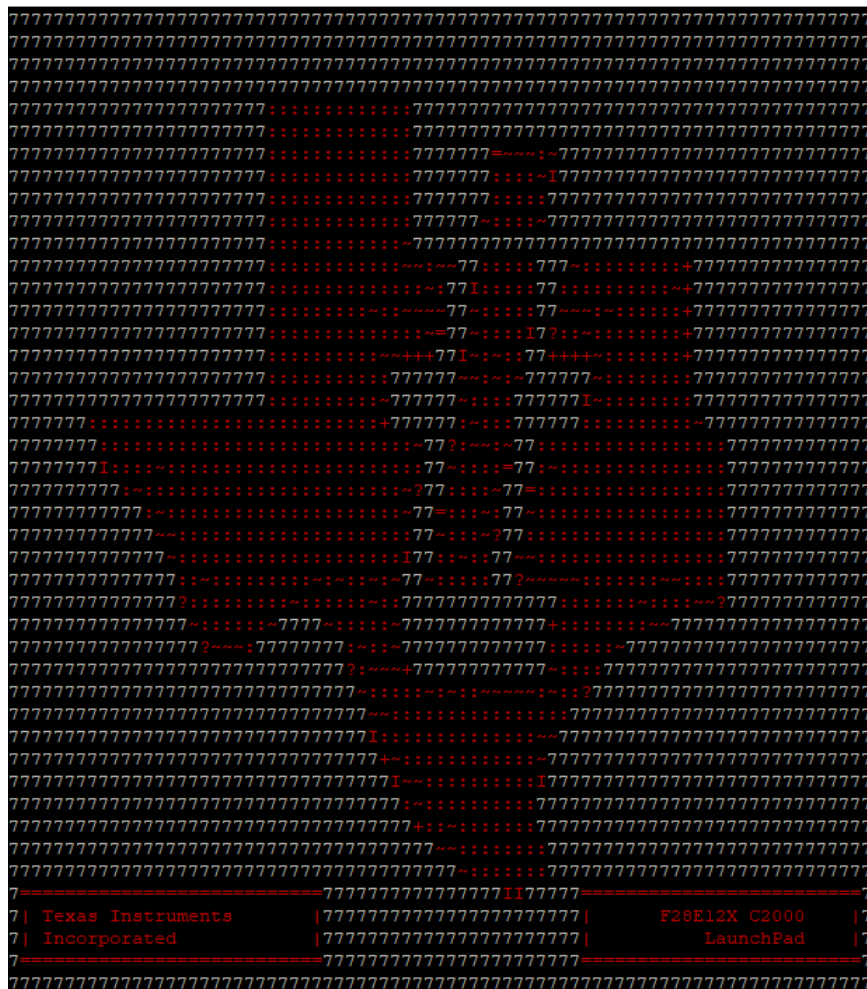


图 3-2. LaunchPad 演示串行终端 - TI 标识

片刻之后，在 ADCINA8 引脚上通过采样得到的 ADC 值便会显示在终端的右下角，并且每秒会更新一次（请参阅图 3-3）。通过跳线将 ADCINA8 接头连接到 3.3V、GND 或其他 0V 至 3.3V 信号接头，观察出现在屏幕上的值的变化。

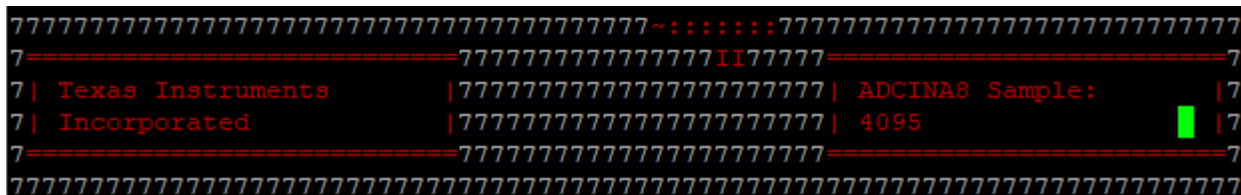


图 3-3. LaunchPad 演示串行终端 - ADC 采样

3.1.3 在 F28E12x LaunchPad 上编写和运行其他软件

节 3.1.1 中所示的软件包内包含可在 F28E12x LaunchPad 上加载并运行的示例工程。如果在 `C:\ti\c2000\C2000Ware_<version>` 的默认安装路径中安装了 C2000WARE 软件，则可以在 `C:\ti\c2000\C2000Ware_<version>\examples\lf28e12x` 中找到基于 DriverLib 的示例应用。板载 XDS110 与片上闪存编辑器工具一同使用，以将应用编入 F28E12x LaunchPad。

请遵循如下步骤，使用板载 XDS110 调试探针将示例应用编入 F28E12x LaunchPad 开发套件：

1. 在运行 Microsoft Windows 的 PC 上安装 [Code Composer Studio \(CCS\) IDE](#)。
2. 将 USB-A 电缆插头连接至 PC 上的空闲 USB 端口并将 USB Type-C™ 插头连接至 F28E12x LaunchPad 上的端口 (USB1)。
3. 验证以下 LED 是否亮起：
 - a. 电路板左上方的 LED7，指示 5V USB 电源。
 - b. LED0 指示 XDS110 调试探头的 3.3V 电源。
 - c. LED6 指示 F28E120SC MCU 的 5.0V 电源。
 - d. LED1 指示 F28E120SC MCU 的 3.3V 电源。
4. 出现提示时，安装 Windows XDS110 和 Virtual COM Port 驱动程序。安装说明可以在 [XDS110 产品页面](#) 上找到。
5. 在 PC 上运行 CCS IDE。
6. 将 C2000WARE 中的 F28E12x 工程或其他已安装的软件包导入 CCS IDE 工作区。
7. 将 `_LAUNCHXL_F28E12X` 预定义的符号添加到导入的 DriverLib 示例工程，以便软件可以使用相关的 F28E12x LaunchPad 信号。
 - a. 打开工程的“Properties” → 展开 *Build* 选项卡 → 展开 *C2000 Compiler* 选项卡 → 选择 *Predefined Symbol* → 添加 `_LAUNCHXL_F28E12X` 预定义 NAME。
8. 在 CCS IDE 中，右键点击工程名称，然后选择 *Rebuild Project*。
9. 启动 LAUNCHXL-F28E12X 目标配置文件并连接至 F28E12x 器件。确保目标配置文件设置为使用 2 引脚 cJTAG 高级配置。有关更多详细信息，请参阅[常见问题解答部分](#)。
10. 点击“Load Program”并选择要加载的程序二进制文件。对应的二进制文件便会加载到器件上，现在即可运行和调试。

4 硬件设计文件

点击以下链接即可下载整个 LAUNCHXL-F28E12X 设计文件：[LAUNCHXL-F28E12X 设计文件](#)。

4.1 原理图

可通过以下链接找到该 LaunchPad 的原理图：[LAUNCHXL-F28E12X 原理图](#)。

4.2 PCB 布局

[LAUNCHXL-F28E12X 设计文件](#) 下载中包含 LAUNCHXL-F28E12X 的布局源文件。

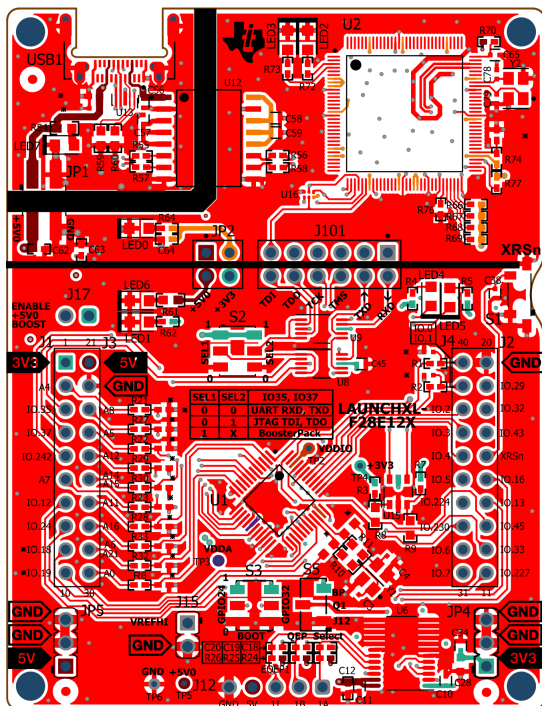


图 4-1. 顶部信号 - 第 1 层

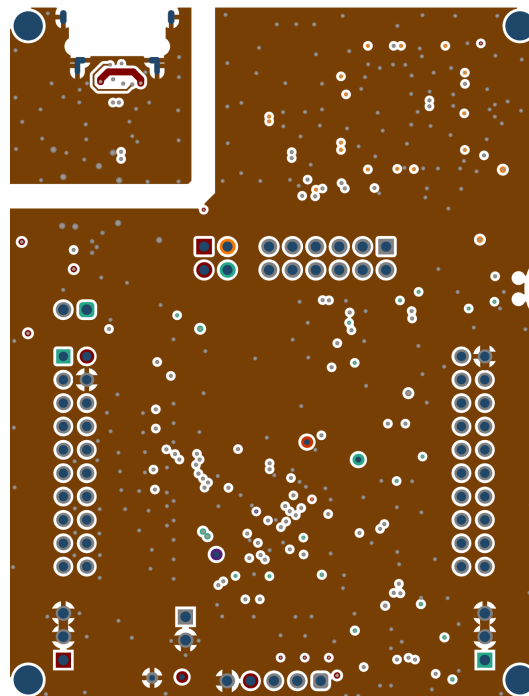


图 4-2. GND - 第 2 层

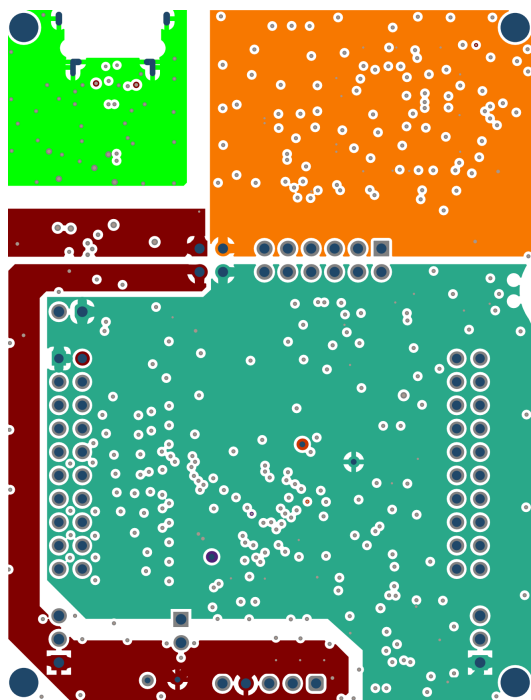


图 4-3. PWR - 第 3 层

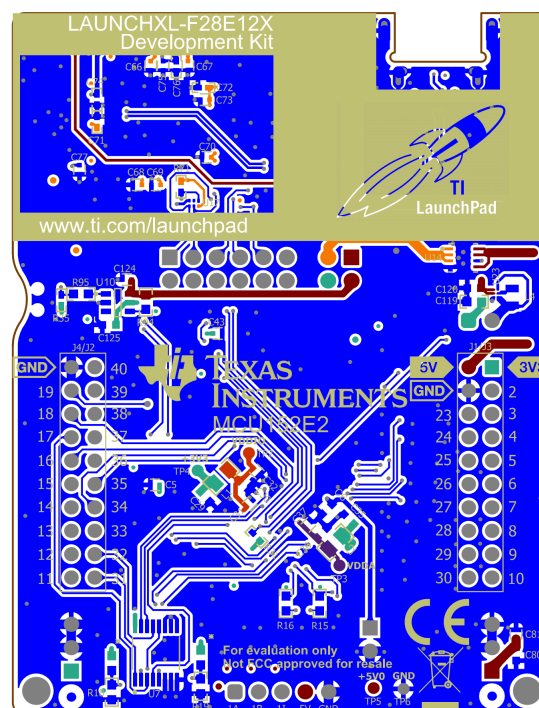


图 4-4. 底部信号 - 第 4 层

4.2.1 LAUNCHXL-F28E12X 电路板尺寸

图 4-5 是 F28E12x LaunchPad 的尺寸图，其中显示了电路板选定功能的位置以及各个元件位置。

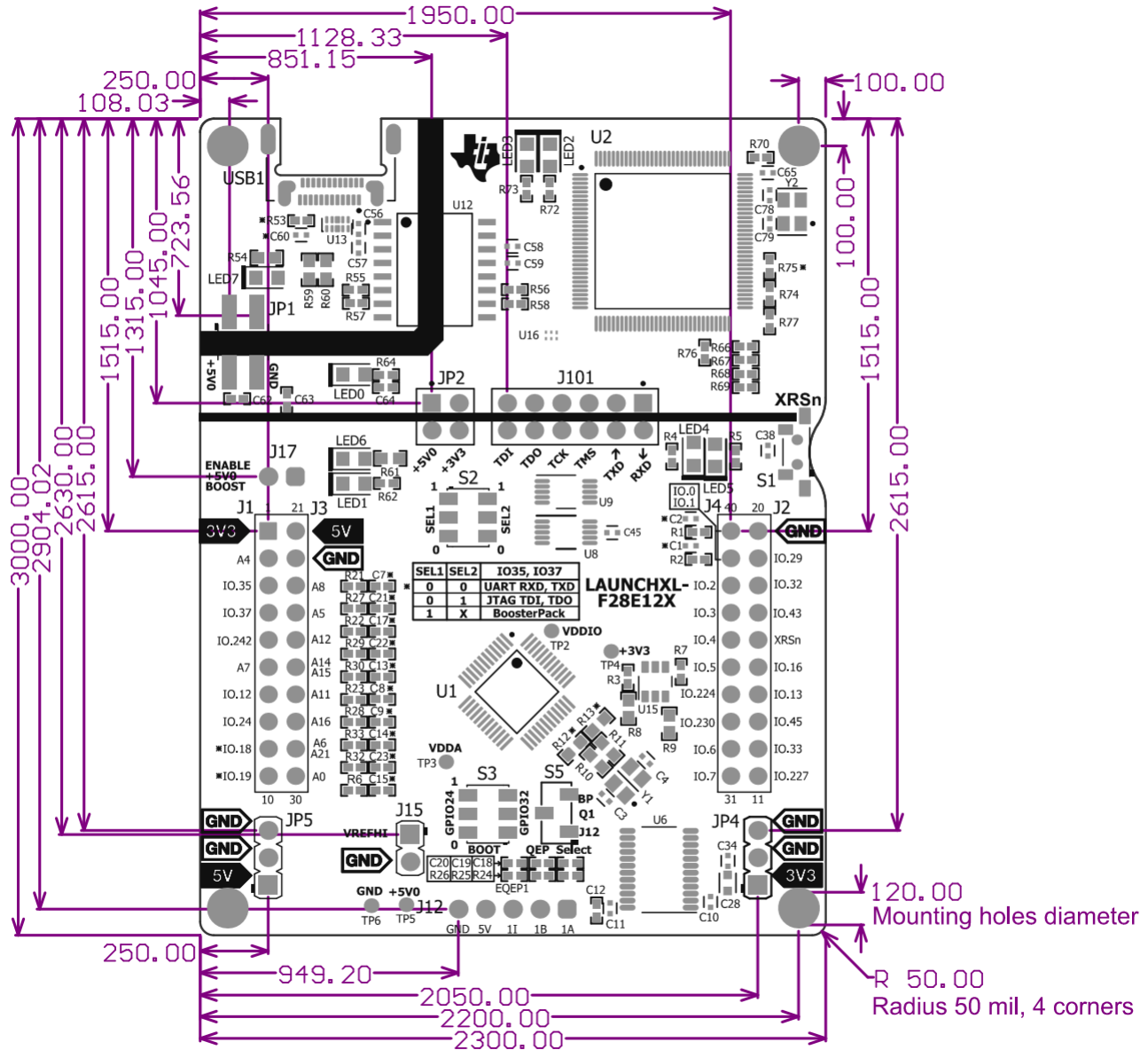


图 4-5. F28E12x LaunchPad 尺寸和元件位置

4.3 物料清单 (BOM)

下载的 [LAUNCHXL-F28E12X 设计文件](#) 中包含 LAUNCHXL-F28E12X 的 BOM。

5 其他信息

5.1 常见问题解答

1. 为什么即使将 USB-C 电缆连接到 USB1，我的 C2000 器件也无法获得任何电力？
 - a. 确保 USB 5V 电源和 GND 跳线已连接 (JP1)。
 - b. 确保 XDS110 5V 和 3.3V 电源跳线已连接 (JP2)。
2. 其他编程和调试工具 (例如 XDS200 调试探针) 是否可与 F28E12x LaunchPad 搭配使用？
 - a. F28E12x LaunchPad 在 4 引脚 JTAG 配置中使用板载 XDS110 调试探针。
3. 哪些版本的 Code Composer Studio IDE 可用于开发 F28E12x LaunchPad 相关软件？
 - a. 板载 XDS110 调试探针与 Code Composer Studio 6.1.0 及更高版本的开发环境兼容。
4. 为什么我无法在 Code Composer Studio IDE 中连接至 LaunchPad？
 - a. J101 上是否存在用于 TCK 和 TMS 的分流器？
 - b. XDS110 和 F28E120SC MCU 是否已通电？LED7、LED0、LED6 和 LED1 是否亮起？有关为 LaunchPad 供电的详细信息，请参阅 [节 2.1.1.1](#)。
 - i. 如果 JP1 分流器断开连接，通过 USB 提供的电源会与电路板的其余部分隔离开来。确保向目标隔离侧上的任意可用连接器施加 3.3V 或 5V 电压。
 - c. USB-C 电缆是否已连接至 PCB，以及 USB 区域是否已上电？LED7 是否亮起？
 - i. XDS 区域必须通过 USB 电缆由 5V 电源供电。连接 5V USB 电源后，LED7 会亮起。XDS 侧 5V 至 3.3V LDO 稳压器需要 USB 侧的 5V 电压来为 XDS110 器件生成 +3V3 电源轨。
 - d. 确保 S2 开关配置与所使用的目标配置相匹配。在 Code Composer Studio IDE 中打开目标配置文件 (.ccxml)。点击“Advanced”选项卡。在 JTAG / SWD / cJTAG 模式字段中，如果选择了 *JTAG (1149.1) SWD and cJTAG are disabled*，请确保 S2 处于 JTAG TDI、TDO 模式。如果选择了 *cJTAG (1149.7) 2 引脚高级模式*，则可以使用任何 S2 配置。此外，launchxl_ex1_f28e12x_demo 工程 *F28E120SC.ccxml* 中添加了一个可正常运行的目标配置文件。无需修改即可使用此文件。

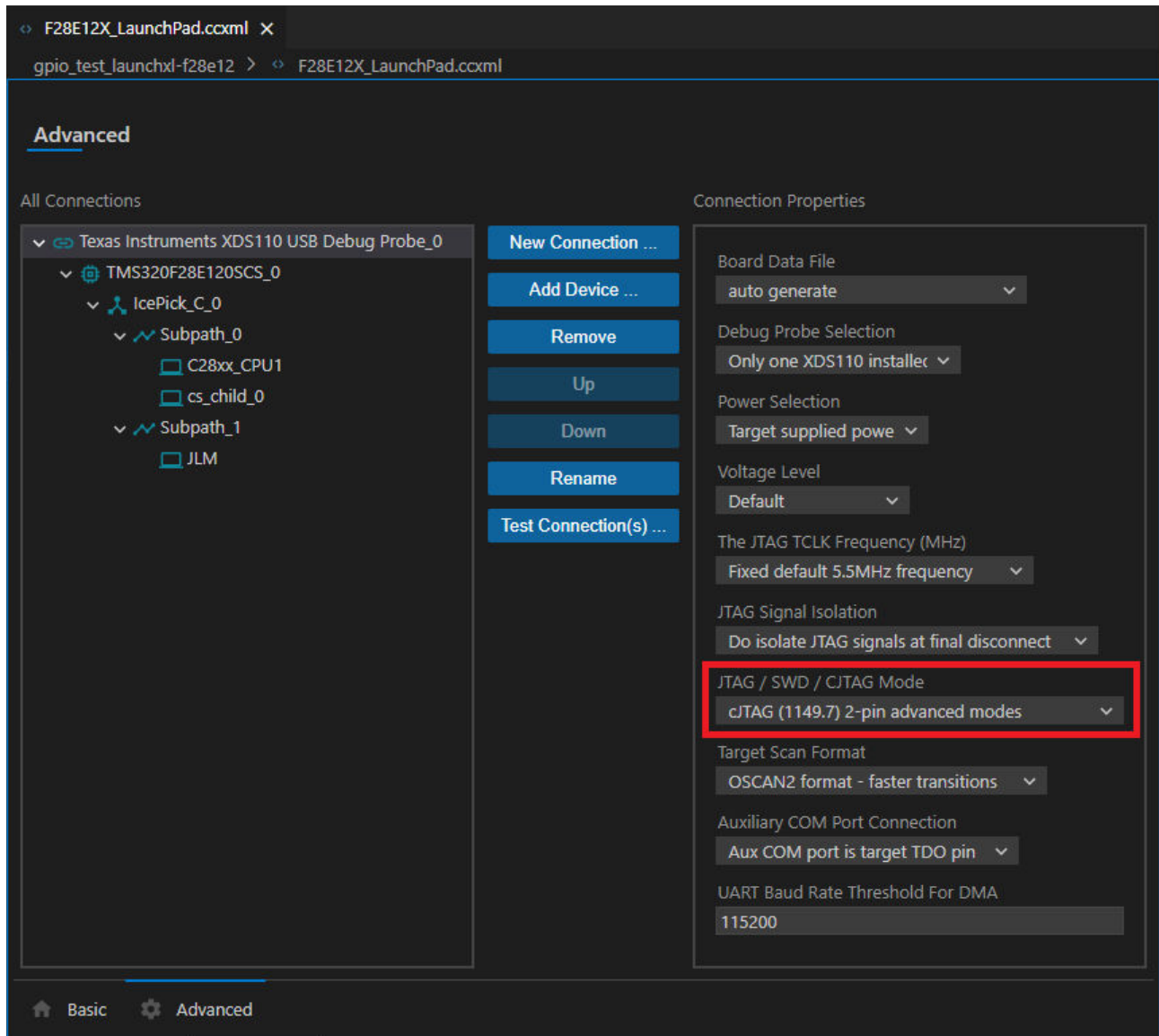


图 5-1. 目标配置高级选项

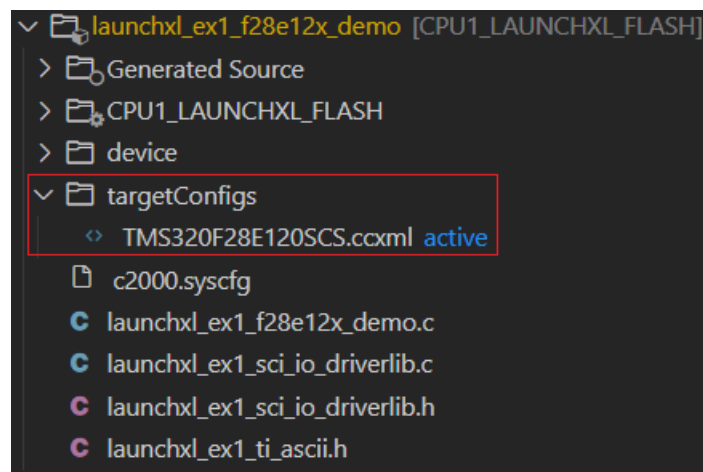


图 5-2. 演示工程中包含的目标配置

5. 为什么串行连接无法正常工作？

- a. 您使用的是正确的 COM 端口吗？
 - i. 右键点击“My Computer”，并选择“Properties”。在对话框中导航至“Hardware”选项卡，并打开设备管理器。滚动到“Ports (COM & LPT)”，并展开此条目。是否列出了“XDS110 Class Application/User UART”？如果是，请查看该条目右侧的 COM 编号；这就是要使用的 COM 编号。
- b. 您使用的波特率正确吗？当 CPU 以 160MHz 运行时，大多数（即使不是全部）示例的波特率都被配置为 115200。如果您更改了 PLL 设置或开发了自己的代码，可以重新计算具体应用的波特率。有关如何执行此操作的信息，请参阅 [F28E12x 实时微控制器技术参考手册](#)。
- c. 是否启用了与调试探针的 UART 通道连接，它是否与软件中配置的通道匹配？
 - i. F28E12x LaunchPad 提供了用于自定义 GPIO35 和 GPIO37 用法的选项。在此程序中，使用 GPIO35 和 GPIO37 作为 UART 信号，与调试探针建立串行连接。确保已在应用软件中将 S2 配置为适当的 UART 通道。相关详细信息，请参阅 [节 2.1.3.2](#)。

5.2 商标

C2000™, LaunchPad™, BoosterPack™, and Code Composer Studio™ are trademarks of Texas Instruments. USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum. 所有商标均为其各自所有者的财产。

6 参考资料

6.1 参考文档

除了本文档外，还可以从 www.ti.com 下载下面的参考资料。

- [F28E120SCT C2000 实时微控制器](#)
- 德州仪器 (TI) : [F28E12x 实时微控制器数据表](#)
- 德州仪器 (TI) : [F28E12x 实时微控制器技术参考手册](#)
- 德州仪器 (TI) : [C2000™ 实时控制微控制器 \(MCU\) 使用入门](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用 C2000™ 实时微控制器的基本开发指南](#)
- 德州仪器 (TI) : [F28E12x 实时 MCU 器件勘误表](#)
- 德州仪器 (TI) : [LAUNCHXL-F28E12X LaunchPad 引脚排列图](#)
- [适用于 C2000 MCU 的 C2000Ware](#)
- [使用 C2000 实时微控制器的应用特定设计和评估](#)
- [C2000WARE 快速入门指南](#)
- 德州仪器 (TI) [Code Composer Studio](#)
- 德州仪器 (TI) [LaunchPad 开发环境](#)

6.2 此设计中使用的其他 TI 元件

此 LaunchPad 使用各种其他 TI 元件来实现各种功能。下面显示了这些组件的汇总清单以及 TI 产品页面链接。

- [ISOUSB111 全速/低速隔离式 USB 中继器](#)
- [MSP432E401Y SimpleLink™ 32 位 Arm Cortex-M4F MCU](#)
- [SN74LV4053A 三路 2 通道模拟多路复用器/多路解复用器 IC](#)
- [SN74LVC2G07 具有漏极开路输出的双路缓冲器/驱动器](#)
- [SN74LVC8T245 具有可配置电压电平转换和三态输出的 8 位双电源总线收发器](#)
- [TPD4E004 用于高速数据接口的 4 通道 ESD 保护阵列](#)
- [TPD4E05U06 用于 USB、HDMI 高速接口的 4 通道 ESD 保护阵列](#)
- [TPS3808E 低静态电流、可编程延迟监控电路](#)
- [TPS61241 5V、500mA、4MHz 升压直流/直流转换器](#)
- [TPS7A80 低噪声、高带宽、高 PSRR、低压降 1A 线性稳压器](#)
- [TS5A23157 5V、2:1 \(SPDT\)、2 通道模拟开关](#)

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 * (April 2025) to Revision A (July 2025)	Page
• 更新了整个文档以反映 EVM 的修订版 A.....	1
• 添加了节 1.3.1	3

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