

EVM User's Guide: BP-AMC0106-LMG-MD

BP-AMC0106-LMG-MD 评估模块



说明

BP-AMC0106-LMG-MD 评估模块 (EVM) 是一款基于氮化镓 (GaN) 的高级逆变器，具有基于分流器的精密隔离式相电流检测以及 AMC0106M05 Δ - Σ 调制器。利用这项技术，可精确控制高精度驱动器（包括伺服驱动器）。EVM 提供与 TI BoosterPack™ 兼容的接口，用于无缝连接到 C2000™ 微控制器 (MCU) LaunchPad™ 开发套件，以便轻松评估性能。此 EVM 是 [TIDA-010936](#) 和 [BOOSTXL-LMG2100-MD](#) EVM 的后继产品。

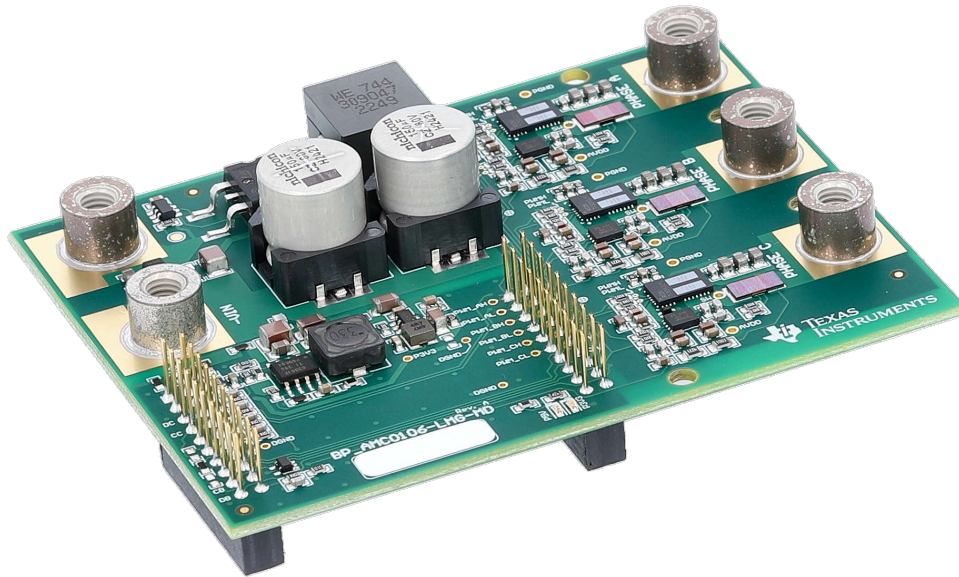
应用

- [机器人](#) (协作机器人、AGV、类人机器人)
- [伺服驱动和运动控制](#)
- 计算机数控 (CNC) 驱动器

- [非军用无人机](#)

特性

- 12V 至 60V 的宽输入电压范围且具备极性反转保护功能
- LMG2100R026 100V 2.6m Ω 的半桥 GaN 功率级
- GaN 半桥功率级可简化 PCB 布局，并减少寄生电感，从而优化开关性能
- 与金属氧化物半导体 (MOS) 设计相比，TI GaN 的尺寸减小了 50% 以上
- 使用 1m Ω 分流器，进行功能隔离式精密直列式相电流检测
- 无需散热器，能在 24A_{RMS} (LMG2100R026) 下运行
- TI BoosterPack 兼容型接口具有 3.3V I/O，便于使用 C2000 MCU LaunchPad 开发套件进行性能评估



BP-AMC0106-LMG-MD 开发套件

1 评估模块概述

1.1 简介

该 EVM 使用 GaN 技术在 C2000 LaunchPad 上实现由 **TMS320F28P650DK** 控制的三相逆变器。GaN 逆变器展示了 GaN 以高于传统 MOSFET 电机驱动器的开关频率运行的能力。相电流检测采用 QFN 封装的最新精密隔离式 $\Delta-\Sigma$ 调制器。此设计提高了电流检测精度，并消除了与共模瞬变相关的问题。默认情况下，EVM 在不带散热器的情况下运行，但包括用于定制散热器的安装孔（如果需要）。

本用户指南介绍了 BP-AMC0106-LMG-MD 的特性、操作和推荐用例。本文档提供了有关如何使用 BP-AMC0106-LMG-MD 电路板和所含软件的示例和说明。本文档中的评估板、评估模块和 EVM 等所有术语均指 BP-AMC0106-LMG-MD。本文档还包含原理图、参考印刷电路板 (PCB) 布局和完整的物料清单 (BOM)。

1.2 套件内容

- BP-AMC0106-LMG-MD 电机驱动板

用户需要单独订购 **LAUNCHXL-F28P65X** C2000 LaunchPad 和 48V 低压伺服电机（例如 **LVSERVOMTR**）。BP-AMC0106-LMG-MD 具有散热器安装孔，为更高功率应用中的 LMG2100 器件提供冷却。但是，该套件不包含散热器。

1.3 规格

图 1-1 展示了 BP-AMC0106-LMG-MD 三相 GaN 逆变器评估模块的系统方框图。

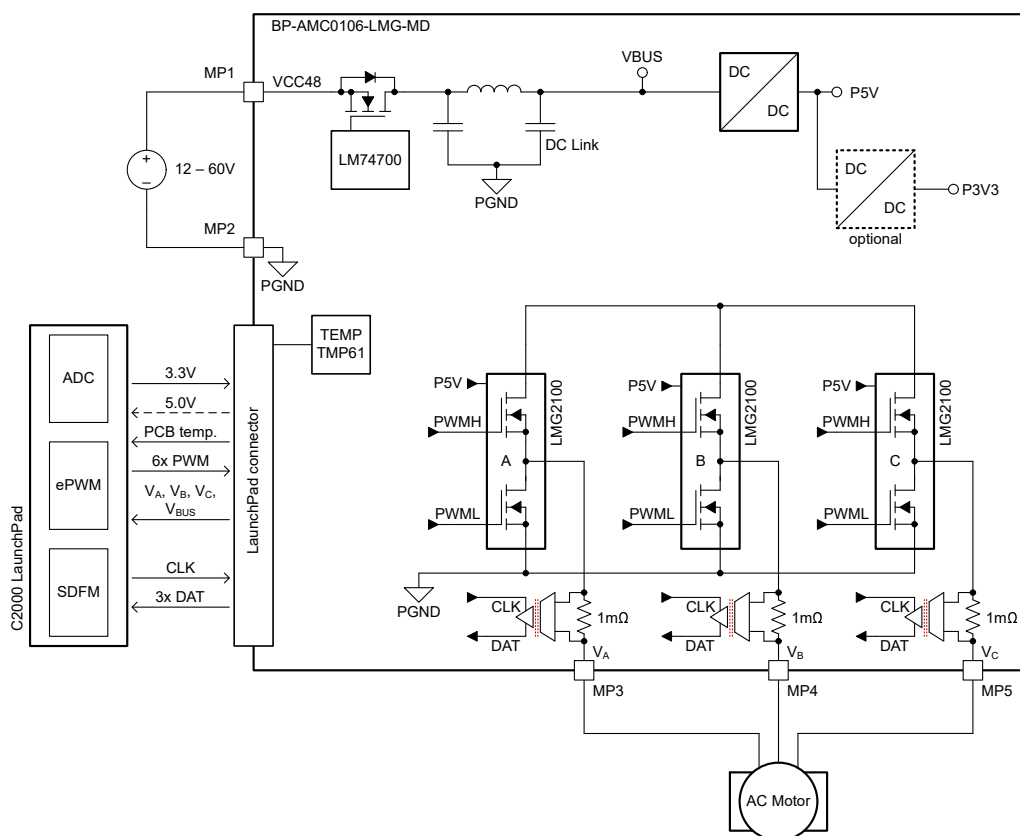


图 1-1. BP-AMC0106-LMG-MD 方框图

该 EVM 可接受来自 12V 至 60V 范围外部电源的电压，标称直流输入电压为 48V。LM7400 二极管控制器可保护系统免受反极性的影响。宽输入电压范围直流/直流转换器 **LMR38010** 为电源轨生成 5V 电压，为 GaN 功率级和可选的 C2000 LaunchPad 供电。还有第二个带有 **LMR50410** 的直流/直流转换器，该转换器会生成 3.3V 电压。由于 LaunchPad 提供 3.3V 电源轨，因此默认禁用此转换器。

逆变器功率级由三个 GaN 半桥模块 (LMG2100) 组成。LMG2100 器件集成了栅极驱动器和具有钳位功能的自举电路。模块的控制输入接受逻辑电平，无需额外的电平转换器即可直接连接来自微控制器的 PWM 信号。

逆变器的精确扭矩控制和动态性能需要精确的相电流检测。具有 $\pm 50\text{mV}$ 输入电压范围的三个独立 Δ - Σ 调制器 (AMC0106M05) 可检测 $1\text{m}\Omega$ 电流检测电阻器 (分流器) 上的压降。功能隔离完全地消除了非隔离式电流检测放大器输出端通常会出现的共模瞬变。调制器的隔离部分重复使用 GaN 半桥模块上的自举电压。逻辑门 (SN74LVC1G17) 缓冲与所有三个调制器共享的时钟信号。

对于温度监测，线性热敏电阻 (TMP61) 可检测靠近 C 相半桥模块的印刷电路板的温度。此外，四个电阻分压器可降低模数 (ADC) 转换器的 VBUS 和相电压，从而实现电压监控。

该 EVM 可连接到主机处理器。连接器与 LaunchPad 外形兼容。默认情况下，信号分配和代码示例与 LAUNCHXL-F28P65X 评估模块兼容。该代码示例使用 InstaSPIN™-FOC 软件实现了同步电机的无传感器、速度可变、磁场定向控制。示例固件作为 C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK 的一部分提供，并使用 48V 低压伺服电机进行测试。

1.4 器件信息

本设计中使用的主要 IC 如下所述：

- [LMG2100R026](#) : 100V 2.6m Ω 半桥氮化镓 (GaN) 功率级
- [LMR38010](#) : SIMPLE SWITCHER® 具有 40 μA I_Q 的 80V、1.0A、2.2MHz 降压转换器
- [LMR50410](#) : SIMPLE SWITCHER® 4V 至 36V、1A 同步降压转换器
- [LM74700-Q1](#) : 3.2V 至 65V、80 μA I_Q 汽车级二极管控制器
- [AMC0106M05](#) : 用于电流检测的 $\pm 50\text{mV}$ 输入功能隔离式 Δ - Σ 调制器
- [SN74LVC1G17](#) : 带施密特触发器输入的单个 1.65V 至 5.5V 缓冲器
- [TMP61](#) : 采用 0402、0603/0805 和通孔封装的 1%、10k Ω 线性热敏电阻

2 硬件

2.1 BP-AMC0106-LMG-MD PCB 概览

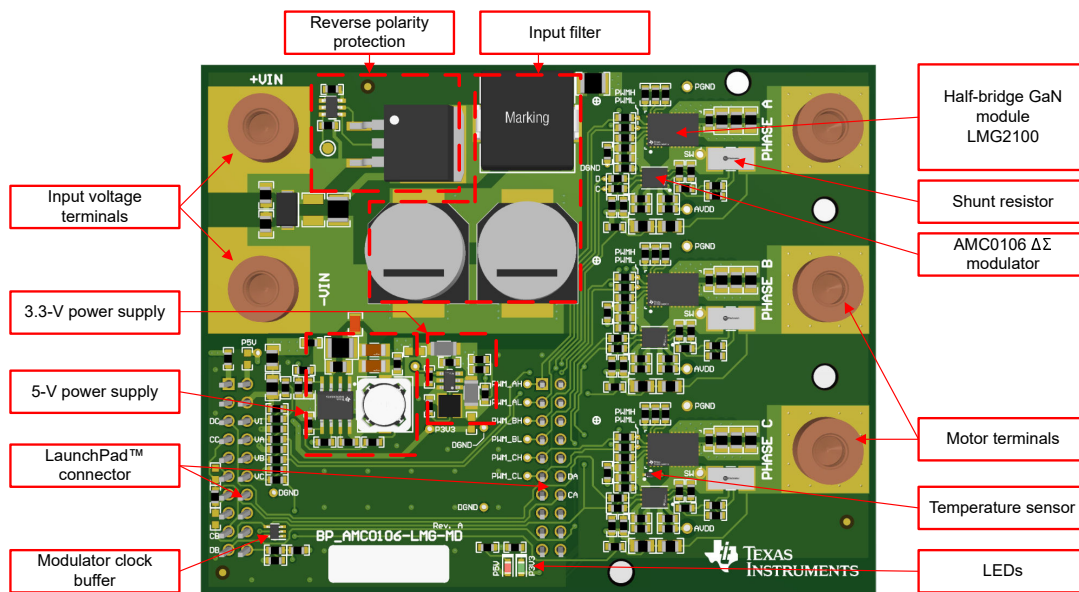


图 2-1. BP-AMC0106-LMG-MD 方框图

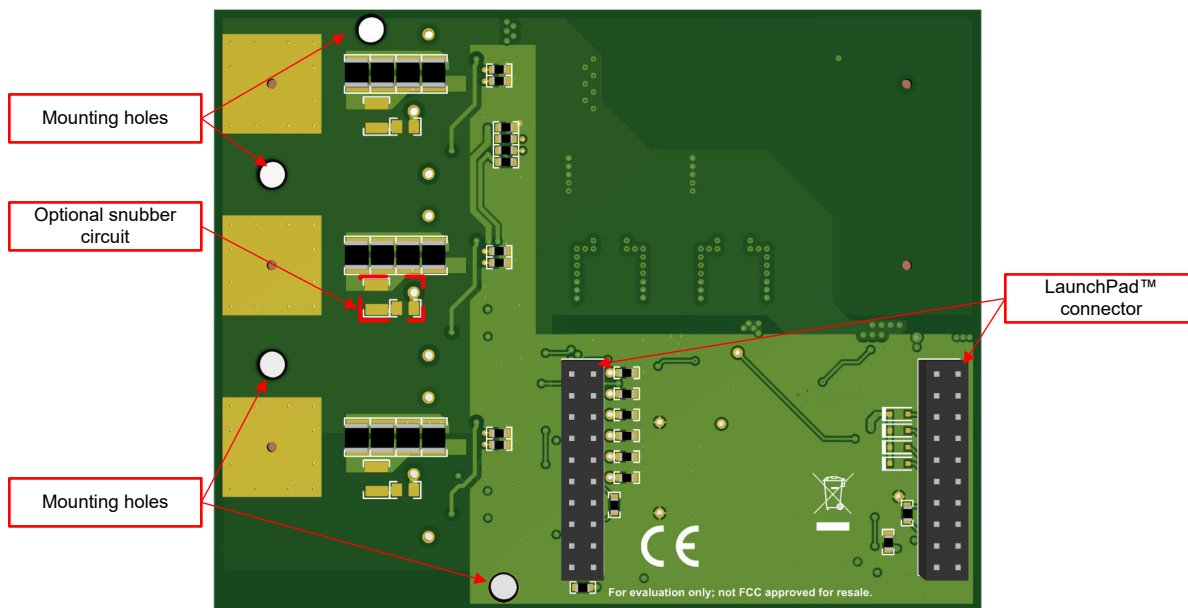


图 2-2. BP-AMC0106-LMG-MD 方框图

2.2 板载配置信息

表 2-1. 板载配置

选项	功能	默认值
R504	通过连接到 VBUS 电源轨 (12-60V) 启用 5V 直流/直流转换器	已组装
R505	将 5V 直流/直流转换器的输出连接到 P5V 电源轨	已组装
R514	通过连接到 P5V 电源轨启用 3.3V 直流/直流转换器	未组装
R512	将 3.3V 直流/直流转换器的输出连接到 P3V3 电源轨	未组装
C211、R206	开关节点缓冲器电路	未组装
R603	将 3.3V 电源轨从 LaunchPad 连接到 $\Delta-\Sigma$ 调制器的 P3V3 电源轨	已组装
R604	将 5V 电源轨从 LaunchPad 连接到 GaN 半桥模块的 P5V 电源轨	未组装
R621	绕过调制器时钟缓冲器	未组装
R613、R614	将调制器数据重新连接到其他引脚，以实现 LAUNCHXL-F280039C 兼容性	已组装
R618	连接 SDFM 模块的调制器时钟返回	已组装
R617	允许将互补调制器时钟 (PWM) 连接到 SDFM 模块以进行延迟补偿。请参阅 隔离式调制器与 MCU 之间的数字接口的时钟边沿延迟补偿应用手册 。	未组装

小心

C2000 LaunchPad 默认采用 USB 供电。组装 R604 跳线可通过 EVM 为 LaunchPad 供电。在这种情况下，请从 LAUNCHXL-F28P65X 上移除 JP1 跳线。请参阅 [C2000™ F28P65x Series LaunchPad™ 开发套件用户指南](#)，了解其他电源配置。

2.3 接头信息

BP-AMC0106-LMG-MD 接口设计为按照 TI BoosterPack 标准工作。BP-AMC0106-LMG-MD 可以通过下面任何一组接头连接到 LAUNCHXL-F28P65X 板。[C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK](#) 中提供的代码示例支持以下配置

- J5、J7 (LAUNCHXL) 连接到 J600 (EVM)，并且 J6、J8 (LAUNCHXL) 连接到 J601 (EVM)

小心

使用第二组接头或不同的 C2000 LaunchPad 会导致 EVM 上的 48V 电路和附加 LaunchPad 引脚接头之间的间隙非常小。使用 kapton 或类似胶带进行绝缘，避免对 LaunchPad 造成意外损坏。

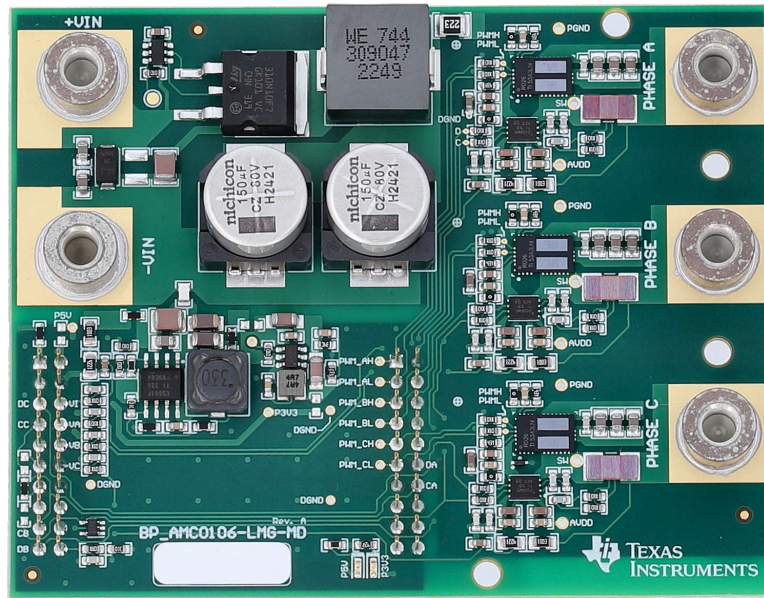


图 2-3. BP-AMC0106-LMG-MD EVM (顶视图)

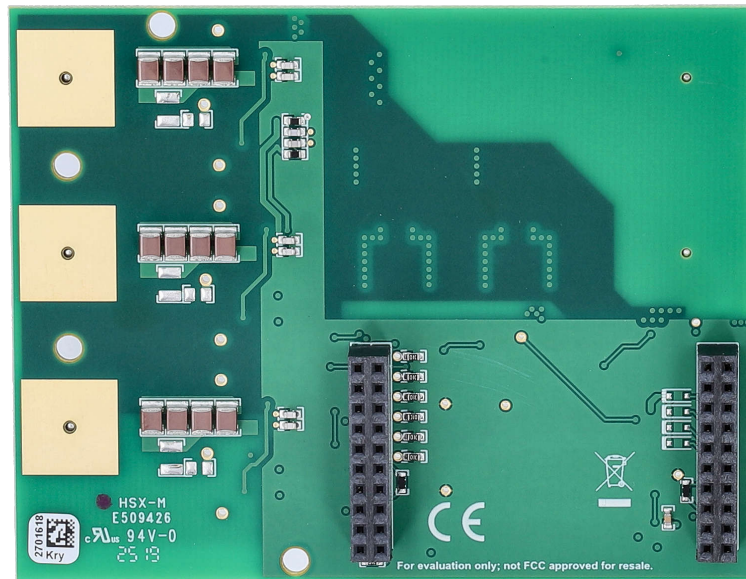


图 2-4. BP-AMC0106-LMG-MD EVM (底视图)

2.4 EVM 设置

以下各节介绍了如何准备 BP-AMC0106-LMG-MD EVM 并用 LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad 运行 LVSERVOMTR。

小心

在处理 EVM、更改接线或配置之前，请关闭电源并断开 USB 电缆。

1. 将直流电源 (12V 至 60V，额定电压为 48V) 连接到直流输入电压端子 MP1、MP2
2. 使用 [LVSERVOMTR](#) 提供的线束，将电机连接到 LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad 和 BP-AMC0106-LMG-MD EVM
 - a. 将正交编码器连接器 (J4) 连接到 LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad 上的 J12 接头
 - b. 将电机相位导线 (白色、红色、黑色) 连接到 EVM 上的电机端子 MP3、M4、MP5。使用 M3 电缆接线片，或者使用螺钉和垫圈将其固定到位。
3. 调整 LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad 配置开关：
 - a. 将开关 S2 SEL1 (LEFT) 设置为 1 (UP 朝向 USB 连接器)
 - b. 将开关 S5 Q1 (LEFT) 设置为 12 (DOWN 朝向 LAN 连接器)
4. 使用提供的 USB Type-C® 电缆将 LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad 连接到 PC
 - a. 检查 EVM 上的绿色 LED 是否亮起
5. 启用直流电源输出
 - a. 检查 EVM 上的红色 LED 是否亮起
6. 继续软件部分

小心

为避免潜在的损坏或安全危险，请避免在可能出现电弧时热插拔直流电源。相反，应使用电源上的输出使功能开启系统。如果无法使用此选项，则考虑将输入电压降至 24V 以下作为替代方案，以更最大限度地降低电弧或损坏的风险。

请参阅图 2-5 和图 2-6，其中显示了具有原型硬件的系统正确配置。

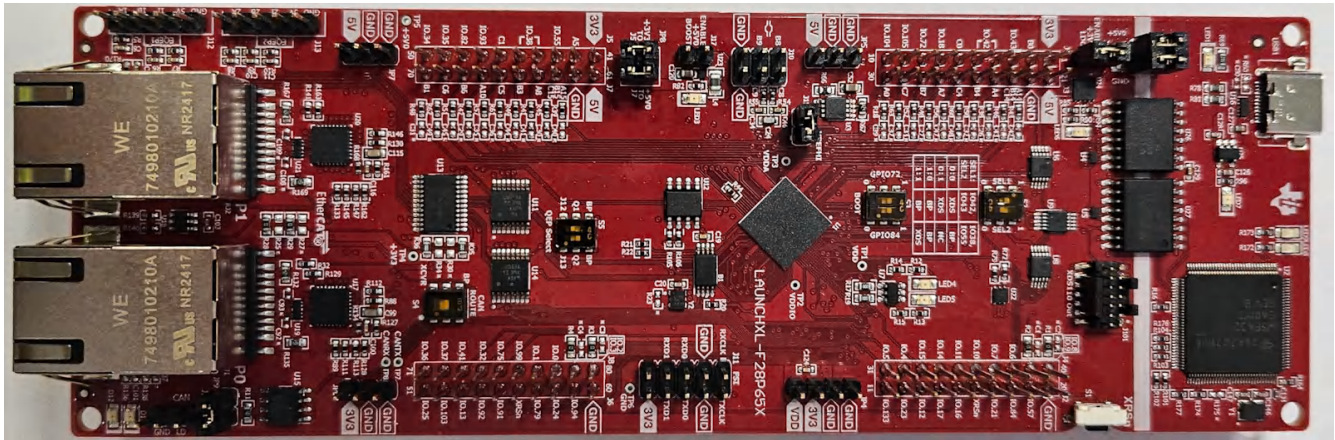


图 2-5. LAUNCHXL-F28P65X C2000 针对 EVM 的 LaunchPad 配置

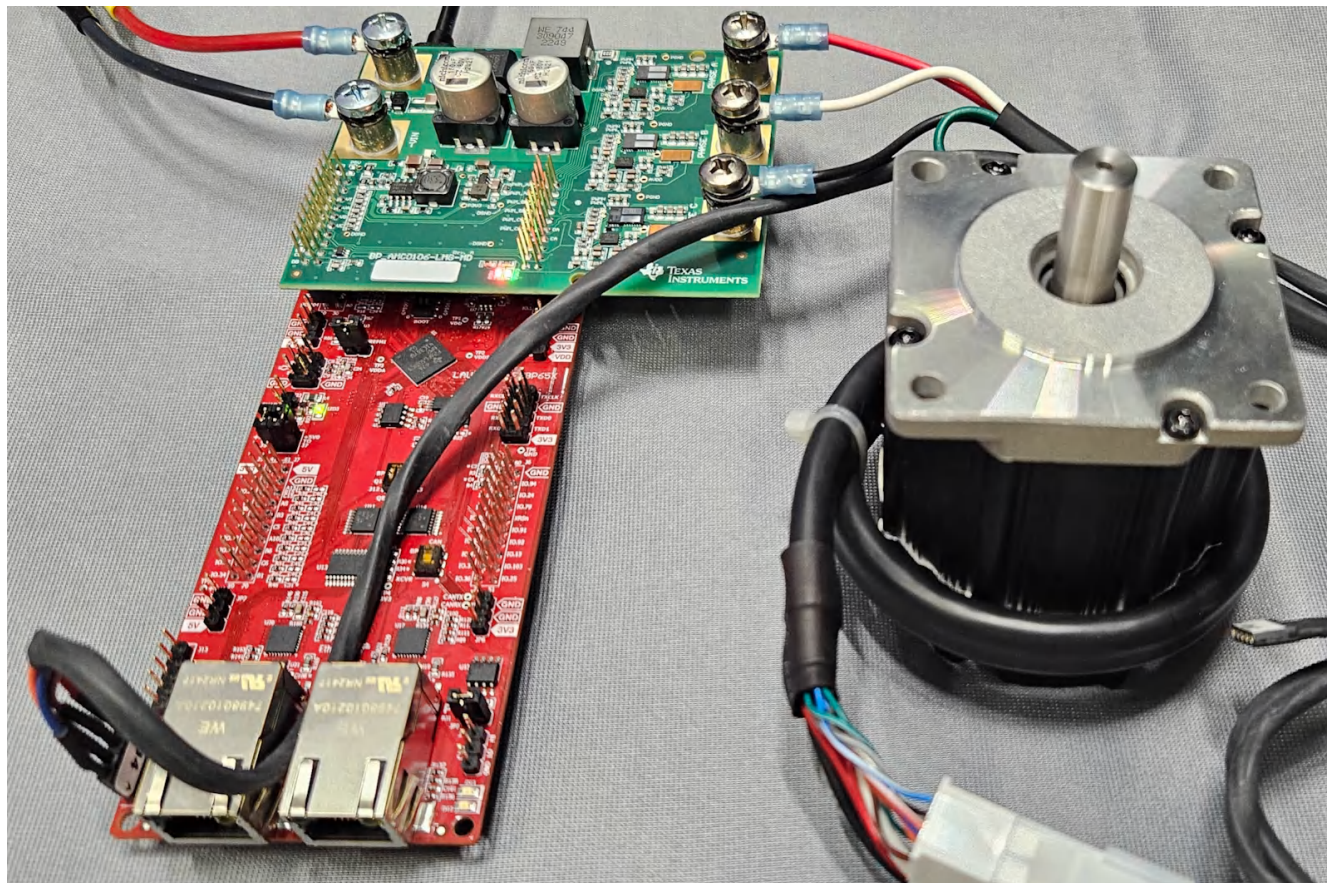


图 2-6. LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad (带 EVM) 已准备好运行

3 软件

3.1 软件说明

以下说明与下面版本的软件包兼容。为了确保成功测试 EVM，请安装所有必需的软件包，然后再继续。

- [Code Composer Studio \(版本 12.8.1\)](#) (最新基于 Eclipse 的 CCS)
- [适用于 C2000™ MCU 的 MotorControl 软件开发套件 \(SDK\)](#) (版本 5.04.00.00)

备注

所提供的演示和手册适用于 MotorControl SDK 和 CCS 的未来版本。但是，请参考更改日志，因为可能必须进行细微调整。

该 EVM 使用 *universal_servo_drive* 工程运行，该工程是 MotorControl SDK 的一部分。此工程重复使用 *universal_motorcontrol_lab* 工程，但删除了无传感器算法，并使用 *sysconfig* 系统配置工具。*universal_servo_drive* 项目需要电机位置检测，并且默认情况下与正交编码器接口兼容。有关电机控制软件的详细信息，请参阅 MotorControl SDK 文档，该文档位于相应的工程文件夹。

按照 [节 3.2](#) 中的步骤创建通用伺服驱动器工程来评估 BP-AMC0106-LMG-MD EVM。

3.2 在 Code Composer Studio 中导入工程

首先按照下面步骤将工程导入 Code Composer Studio™ (CCS)：

1. 打开 CCS (版本 12.8.1)，并在出现提示时设置工作区
2. 转到 *File->Import->Code Composer Studio->CCS Projects*，然后单击下一步
3. 在 Windows® 机器上，使用 *universal_servo_drive* 在
C:\ti\c2000\C2000Ware_MotorControl_SDK_5_04_00_00\solutions\universal_servo_drive 浏览搜索目录
4. 在发现的工程窗口中选择 *universal_servo_drive* 工程
5. 单击结束将工程导入工作区

继续为 EVM 设置正确的构建配置。右键单击导入的工程名称，转到 *Build Configurations*，并在 *Set Active* 下选择 *BXL_AMC0106_LMG_MD*，如 [图 3-1](#) 中所示。现在，转到 *Project->Build Project*。确保编译器成功构建工程，没有任何错误或警告。确保目标配置 *TMS320F28P650DK9.ccxml* 为活动状态，否则右键单击 *TMS320F28P650DK9.ccxml*，然后单击 *Set as Active Target Configuration*。

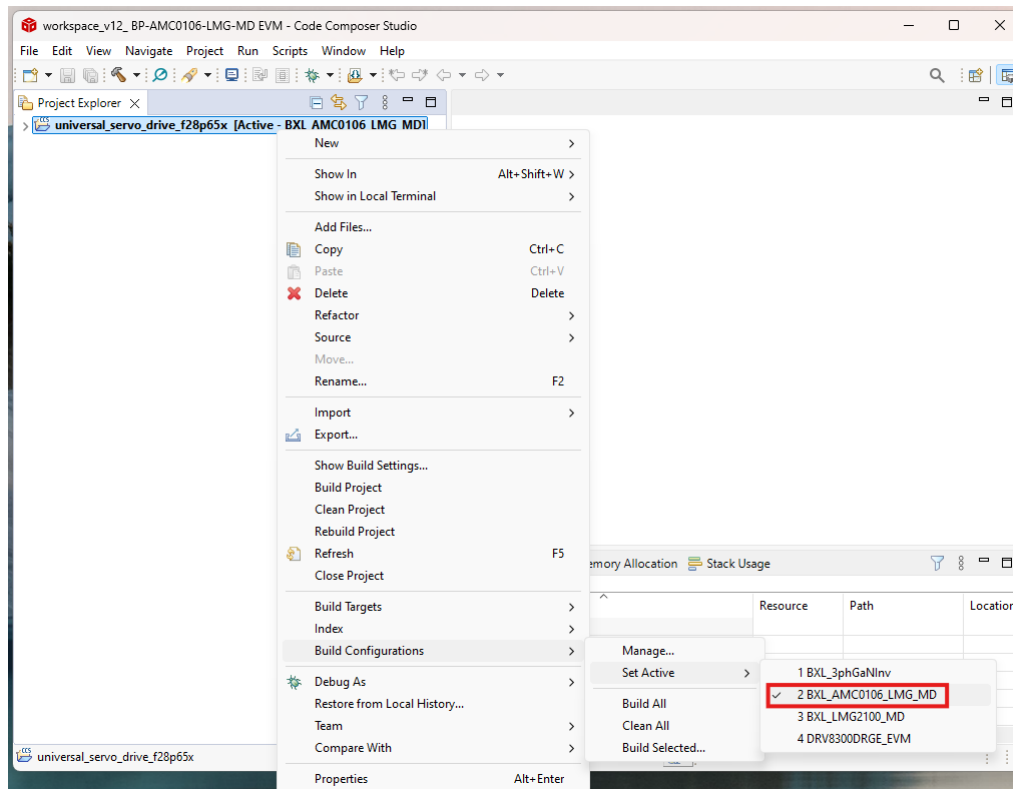


图 3-1. 选择合适的构建配置

转至 **Run->Debug** 以运行演示软件。首次运行该工程时，CCS 会要求选择要在其上加载程序的 CPU。按照图 3-2 所示禁用 CPU2。确认后，调试器将二进制文件上传到 C2000 LaunchPad。

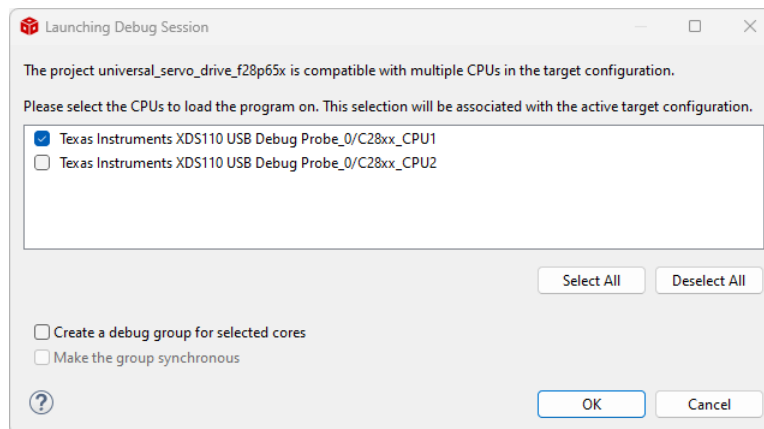


图 3-2. 禁用 CPU2

在调试器接口中，转到 **Expressions** 窗口，右键单击并选择 **Import...** 在对话框中，搜索 **universal_servo_drive** 工程文件夹下 **common\debug** 文件夹中的 **universal_servo_drive_expressions.txt** 文件。单击 **Open** 一次性导入所有重要表达式。这些表达式控制和监测伺服驱动器系统。

3.3 通用伺服驱动器示例修改

通用伺服驱动器工程不需要修改任何源代码即可运行为第一个测试建议的 **LVSERVOMTR** 电机。

该工程支持四个增量构建选项，这些选项在调试伺服驱动器 **EVM** 时很有用。打开 **sys_settings.h** 文件，将 **DMC_BUILDLEVEL** 宏调整为：

- **DMC_LEVEL_1**，用于生成 50% 占空比的所有电机相位
- **DMC_LEVEL_2**，用于开环控制，以验证电机电流和电压检测信号
- **DMC_LEVEL_3**，用于闭合电流环路，以验证电路板上的电流检测和使用 PID 进行电流控制
- **DMC_LEVEL_4**，用于与估算器或观测器的闭环运行。

备注

默认的构建配置为 **DMC_LEVEL_4**

有关其他配置选项和详细信息，请参阅 **Motor Control SDK 通用工程和实验室用户指南**，其为 MotorControl SDK 的一部分。

3.4 变更 PWM 频率和死区时间

默认 PWM 开关频率为 20kHz。本节介绍如何修改 PWM 频率和死区时间，以便进一步评估 EVM。

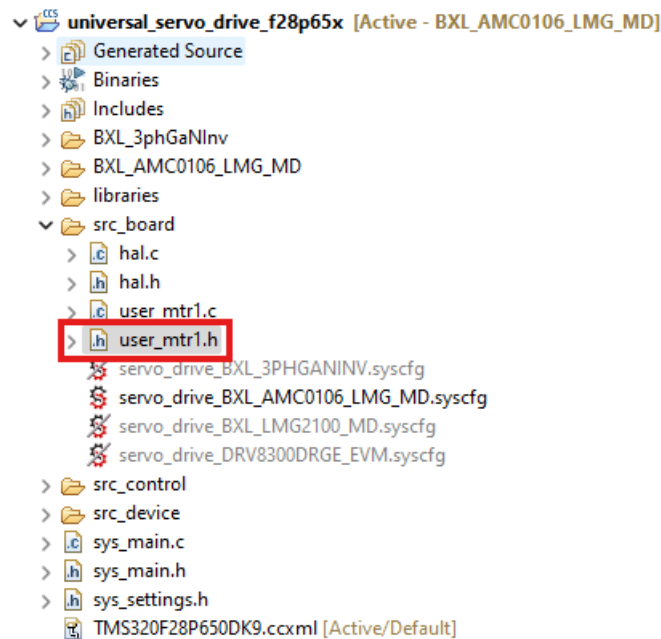


图 3-3. 文件 PWM 频率和死区时间

要更改 PWM 频率，打开 **src_boarduser_mtr1.h** 文件，将宏定义 **USER_M1_PWM_FREQ_kHz** 更改为所需的 PWM 频率（第 579 行）。

小心

请注意，随着 PWM 频率的增加，还需要相应地调整控制环路频率。这可以使用宏定义 **USER_M1_NUM_PWM_TICKS_PER_ISR_TICK**（第 559 行）进行设置，其默认值为 1。此默认值意味着控制计算周期和 PWM 周期同步。

已在 TI 实验室验证了表 3-1 中的组合。

表 3-1.

PWM 开关频率 (kHz)	USER_M1_NUM_PWM_TICKS_ PER_ISR_TICK 值	USER_M1_NUM_PWM_TICKS_ PER_ISR_TICK 值
15	(15.0f)	(1)
20	(20.0f)	(1)
40	(40.0f)	(1)
60	(60.0f)	(2)
80	(80.0f)	(2)

在 SysConfig 工具中，对死区时间配置进行了硬编码。默认值为 10，对应于 50ns。默认 PWM 时基时钟 TBCLK = EPWMCLK = 200MHz，死区时间的计算公式如下：

$$\text{Falling edge delay} = [\text{value}] \times (1/\text{EPWMCLK}) = 10 \times (1/200\text{MHz}) = 50\text{ns} \quad (1)$$

$$\text{Rising edge delay} = [\text{value}] \times (1/\text{EPWMCLK}) = 10 \times (1/200\text{MHz}) = 50\text{ns} \quad (2)$$

图 3-4 展示了允许死区时间调整的 SysConfig 变量。

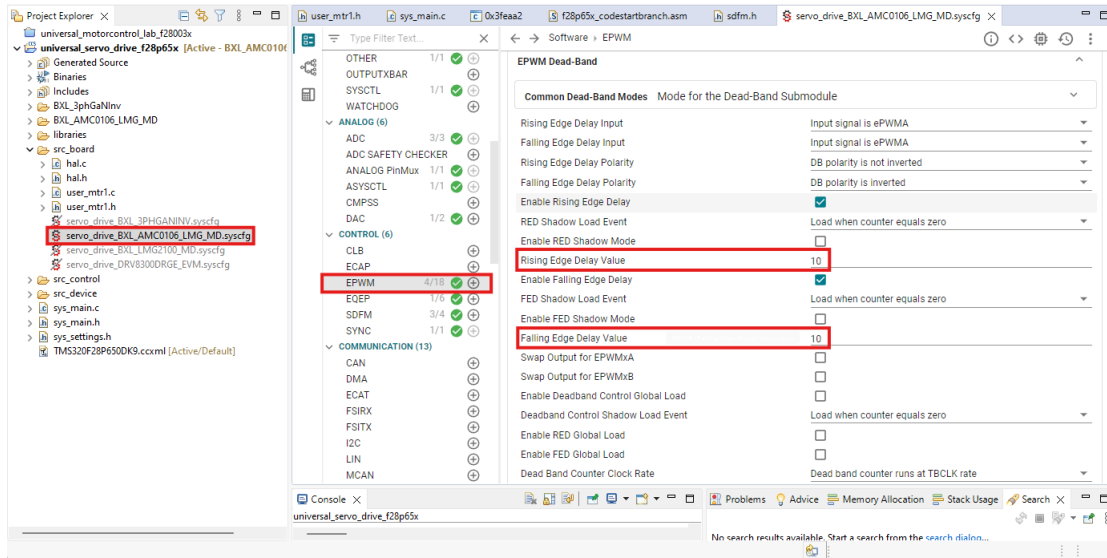


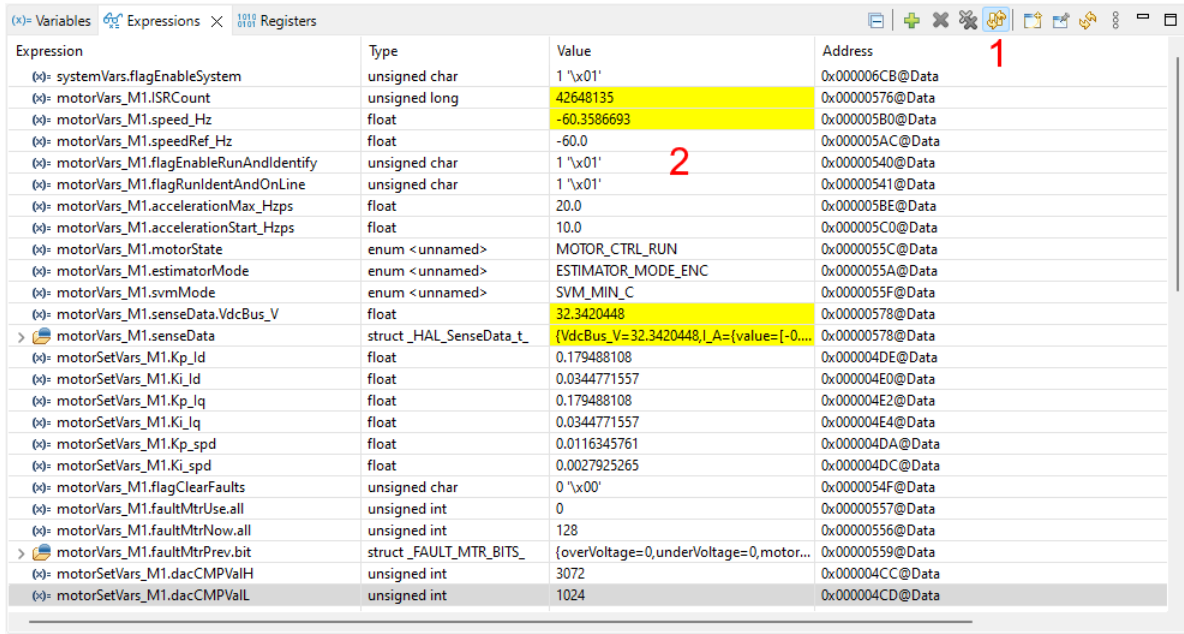
图 3-4. SysConfig 工具中的 PWM 死区时间调整

3.5 运行电机

如果未修改源代码并使用推荐的 LVSERVOMTR 电机，则可执行以下步骤。

1. 确保按照节 2.4 和节 3.2 中所述执行了所有步骤
2. 在 CCS 中进入调试模式 (运行调试)。外部 48V 直流电源的电流消耗不能超过 15mA
3. 运行代码 (Run-Resume)
 - a. LAUNCHXL-F28P65X C2000 LaunchPad 上的绿色 LED5 开始闪烁
4. 在“表达式”窗口中启用连续刷新 (1)
5. 转到表达式窗口并将 1 写入 `motorVars_M1.flagEnableRunAndIdentify` 变量 2
6. 电机开始缓慢地旋转
7. 使用 `motorVars_M1.speedRef_Hz` 浮动变量控制转速
 - 更改变量的极性会更改旋转方向

8. 使用 `motorVars_M1.speed_Hz` 变量监测转速



Expression	Type	Value	Address
systemVars.flagEnableSystem	unsigned char	1 '\x01'	0x000006CB@Data
motorVars_M1.ISRCCount	unsigned long	42648135	0x00000576@Data
motorVars_M1.speed_Hz	float	-60.3586693	0x000005B0@Data
motorVars_M1.speedRef_Hz	float	-60.0	0x000005AC@Data
motorVars_M1.flagEnableRunAndIdentify	unsigned char	1 '\x01'	0x00000540@Data
motorVars_M1.flagRunIdentAndOnLine	unsigned char	1 '\x01'	0x00000541@Data
motorVars_M1.accelerationMax_Hzps	float	20.0	0x0000058E@Data
motorVars_M1.accelerationStart_Hzps	float	10.0	0x000005C0@Data
motorVars_M1.motorState	enum <unnamed>	MOTOR_CTRL_RUN	0x0000055C@Data
motorVars_M1.estimatorMode	enum <unnamed>	ESTIMATOR_MODE_ENC	0x0000055A@Data
motorVars_M1.svmMode	enum <unnamed>	SVM_MIN_C	0x0000055F@Data
motorVars_M1.senseData.VdcBus_V	float	32.3420448	0x00000578@Data
motorVars_M1.senseData	struct _HAL_SenseData_t	{VdcBus_V=32.3420448,I_A={value=[-0.0...	0x00000578@Data
motorSetVars_M1.Kp_Id	float	0.179488108	0x000004DE@Data
motorSetVars_M1.Ki_Id	float	0.0344771557	0x000004E0@Data
motorSetVars_M1.Kp_Iq	float	0.179488108	0x000004E2@Data
motorSetVars_M1.Ki_Iq	float	0.0344771557	0x000004E4@Data
motorSetVars_M1.Kp_spd	float	0.0116345761	0x000004DA@Data
motorSetVars_M1.Ki_spd	float	0.0027925265	0x000004DC@Data
motorVars_M1.flagClearFaults	unsigned char	0 '\x00'	0x0000054F@Data
motorVars_M1.faultMtrUse.all	unsigned int	0	0x00000557@Data
motorVars_M1.faultMtrNow.all	unsigned int	128	0x00000556@Data
motorVars_M1.faultMtrPrev.bit	struct _FAULT_MTR_BITS_	{overVoltage=0,underVoltage=0,motor...	0x00000559@Data
motorSetVars_M1.dacCMPValH	unsigned int	3072	0x000004CC@Data
motorSetVars_M1.dacCMPValL	unsigned int	1024	0x000004CD@Data

图 3-5. 调试会话期间的表达式窗口

小心

如果电机方向与位置检测不匹配，则电机不会运行。在这种情况下，请尝试交换两根电机相线。

要探索此电路板的完整选项和实验，请查看 [Motor Control SDK 通用工程和实验室用户指南](#)。

4 硬件设计文件

BP-AMC0106-LMG-MD EVM 设计文件可在 TI.com 上的 [BP-AMC0106-LMG-MD](#) 产品页面上找到。

5 其他信息

5.1 商标

BoosterPack™, C2000™, LaunchPad™, InstaSPIN™, and Code Composer Studio™ are trademarks of Texas Instruments.

SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of Texas Instruments.

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

Windows® is a registered trademark of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 相关文档

- 德州仪器 (TI), [TIDA-010936](#)
- 德州仪器 (TI), [C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK](#)
- 德州仪器 (TI), “[适用于 48V 机器人和伺服驱动器的高分辨率、小尺寸相电流检测](#)”, 应用手册
- 德州仪器 (TI), [GaN FET 在类机器人中的应用](#), 应用简报
- 德州仪器 (TI), [类机器人中的电机控制](#), 应用简报

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