

## Application Note

低功耗 **BAW** 振荡器为工业级 **100Mbit** 以太网 **PHY** 提供时钟

Sandra Saba, Raghavendra Reddy

Clocks and Timing Solutions

## 摘要

CDC6C 是一款面向工业、汽车和企业应用的低功耗、单端 LVCMOS、BAW ( 体声波 ) 振荡器。CDC6C 提供 25MHz、33.333MHz 和 50MHz 等各种频率。按照新罕布什尔大学互通实验室 (IOL) 测试套件中重点介绍的测试程序，本文档详细介绍了 CDC6C 相对于为 100Base-Tx 设备提供时钟的石英晶体振荡器的性能优势。

## 内容

1 简介.....	2
2 BAW 概述.....	2
2.1 BAW 结构概述.....	2
2.2 BAW 振荡器的优势.....	3
3 IEEE 100Mbps 要求.....	4
3.1 通道 A 上的测试概要.....	5
4 CDC6C 时钟 DP83822 评估.....	6
5 为不同的以太网 PHY 提供时钟.....	9
6 总结.....	9
7 参考资料.....	10

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

CDC6C 是一款低功耗 LVCMOS BAW 振荡器，具有集成式整数分频器，可支持从 1MHz 到 200MHz 的任何位置的大频率输出范围。每个频率都使用一次性可编程存储器（简称 OTP）进行编程。CDC6C 还可以使用单个电源轨支持 1.8V-3.3V 的 V<sub>dd</sub> 输入，从而允许使用单个 IC 实现多种不同的配置。有关 CDC6C 功能的更多详细信息，请查看 [CDC6Cx 低功耗 LVCMOS 输出 BAW 振荡器](#)。为便于此评估，我们使用了 25MHz CDC6C - CDC6CE025000ADLFR。

本文档总结了测试设置和测量结果，强调了以太网 PHY 数据包传输的优势。CDC6C 根据 IEEE 802.3 和 IOL（互通实验室）互操作性测试平台中重点介绍的规格进行测试，以确定 100Base-Tx 器件（在本例中为 DP83822）的优势。

## 2 BAW 概述

### 2.1 BAW 结构概述

体声波 (BAW) 谐振器技术 BAW 是一种微谐振器技术，能够将高精度和超低抖动时钟直接集成到包含其他电路的封装中。在 BAW 振荡器中，BAW 与以下各项集成：并置的精密温度传感器；超低抖动、低功耗整数输出分频器 (IOD)；单端 LVCMOS 输出驱动器，以及由多个低噪声 LDO 组成的小型电源复位时钟管理系统。

图 2-1 展示了 BAW 谐振器技术的结构。该结构包括一层夹在金属膜和其他层之间的压电式薄膜，用于限制机械能。BAW 利用这种压电式传导技术产生振动。

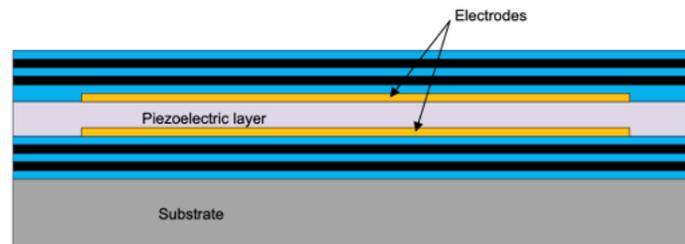


图 2-1. 体声波 (BAW) 谐振器的结构

## 2.2 BAW 振荡器的优势

CDC6C 具有许多优势，包括频率灵活性、温度稳定性、电源噪声抗扰度等。表 2-1 和表 2-2 总结了这些优势，并展示了 BAW 振荡器如何解决在使用石英振荡器时发现的设计限制。有关其他信息，请参阅以下应用手册：

- [独立 BAW 振荡器相对于石英晶体振荡器的优势](#)
- [TI BAW 振荡器的振动和机械冲击性能](#)
- [高可靠性 BAW 振荡器 MTBF 和 FIT 率计算](#)

**表 2-1. BAW 谐振器与石英晶体谐振器**

参数	BAW	石英晶体	优势
频率灵活性	单个 IC 通过一次性编程 (OTP) 缓解供应限制，支持大范围频率。	输出频率通过机械参数控制，一旦截止，就无法修改这些参数。	BAW 振荡器
温度稳定性	±10ppm (保持温度范围外的温度稳定性)	ppm 稳定性随温度升高而升高	BAW 振荡器
振动	典型值为 1ppb/g。满足 MIL_STD_883F 方法 2002 版条件 A	可超过 10+ppb/g。通常不会通过 MIL-STD 标准。	BAW 振荡器
机械冲击	变化小于 0.5ppm，高达 1500g。满足 MIL_STD_883F 方法 2007 条件 B	通常不会通过 MIL-STD 标准。可能会在 2,000g 时失败	BAW 振荡器

**表 2-2. BAW 振荡器解决石英晶体限制**

参数	BAW 振荡器设计	石英晶体限制
电源噪声	集成 LDO，可改进电源噪声抑制 (500kHz 时 PSRR 为 -72dBc、纹波为 50mV)	通常没有集成式 LDO
故障间隔平均时间	33 亿小时运行时间	3300 万小时运行时间
频率灵活性	支持 LVCMOS 型号中从 1MHz 到 200MHz 的任何频率	受谐振器晶体的限制；不同的频率需要不同的谐振晶体
供应链	由 TI 内部制造、组装和封装	多个第三方制造，可支持不同元件 (谐振器、ASIC、封装等) 的构建。
焊盘图案	通用——业界通用封装	焊盘图案取决于供应商

### 3 IEEE 100Mbps 要求

德州仪器 (TI) 遵循名为快速以太网联盟第 25 条物理介质相关子层 (PMD) 测试套件版本 3.5 的技术文档中提到的规范。本技术文档由新罕布什尔大学互通实验室 (IOL) 发布。

测试分为两组，分别是有源输出接口 (AOI) 测试 (组 1) 和有源输入接口 (AII) 测试 (组 2)。有关每种规格的更详细说明，请参阅上述文档。

表 3-1 汇总了测试设置和使用 Tektronix 示波器中提供的内置以太网软件完成的测试。

**表 3-1. Tektronix TekExpress 以太网 100BASE-T : 测试设置说明**

测试设置	说明
测试日期	2024/05/03
器件类型	以太网
TEKExpress 以太网版本	10.2.1.11
TEKExpress 固件版本	4.11.0.45
执行模式	实时
合规性模式	是
整体测试结果	通过
范围信息	MSO70404C、C600447
范围 F/W 版本	10.12.1, 内部版本 26
回波损耗信号发生器	AFG31152
数据探针模型	P6248
数据探针序列号	B022354

**表 3-2. Tektronix TekExpress 以太网 100BASE-T : 测试名称概要表**

测试名称	评估状态
AOI 模板	通过
下降时间 (正)	通过
下降时间 (负)	通过
上升时间 (正)	通过
上升时间 (负)	通过
RF 对称性 (正)	通过
RF 对称性 (负)	通过
过冲 (正)	通过
过冲 (负)	通过
差分输出电压 (正)	通过
差分输出电压 (负)	通过
振幅对称性	通过
抖动 (正)	通过
抖动 (负)	通过
占空比失真	通过

### 3.1 通道 A 上的测试概要

表 3-3 总结了前面提到的测试的规范以及来自 CDC6C 和石英晶体振荡器的通道 A 的测量结果。

表 3-3. 10 次通道 A 测量平均值的测试概要

测试编号	测试名称	下限	上限	测得的 CDC6C 平均值	测得的石英晶体平均值	单位
1	AOI 模板	不适用	1	0	0	命中 (Hits)
2	下降时间 (正)	3	5	3.96897	4.00266	ns
3	下降时间 (负)	3	5	3.85165	3.89152	ns
4	上升时间 (正)	3	5	3.96931	4.01750	ns
5	上升时间 (负)	3	5	3.85290	4.25979	ns
6	RF 对称性 (正)	不适用	500.0	140.68743	101.89091	ps
7	RF 对称性 (负)	不适用	500.0	99.86156	51.00726	ps
8	过冲 (正)	不适用	5.0	1.73302	2.06688	%
9	过冲 (负)	不适用	5.0	1.79440	1.93031	%
10	差分输出电压 (正)	0.95	1.05	0.98036	0.98014	V
11	差分输出电压 (负)	-1.05	-0.95	-0.97686	-0.97649	V
12	振幅对称性	0.98	1.02	1.00449	1.00318	
13	抖动 (正)	不适用	1.4	0.59000	0.58000	ns
14	抖动 (负)	不适用	1.4	0.53200	0.62000	ns
15	占空比失真	不适用	500	251.72400	240.55200	ps

## 4 CDC6C 时钟 DP83822 评估

使用以太网 PHY 器件时，抖动和误码率 (BER) 是两个重要的测量值，因为这会影响信号完整性和数据包数据。抖动越差，数据信号的时序精度就越差。这会导致以太网封装器损坏。以下重点介绍了测试程序、设置以及基于板载石英晶体振荡器和 TI CDC6C BAW 振荡器的抖动和 BER 对比结果。

使用以太网 PHY (DP83822 EVM) 进行测试，以比较板载石英晶体振荡器和 BAW 振荡器 CDC6CE025000ADLFR 的性能。BAW 振荡器输出来自 CDC6CEVM，其通过连接到时钟输入引脚的跳线电缆连接到以太网 PHY EVM。请参阅图 4-1，其中用红色框显示了跳线引脚的位置。

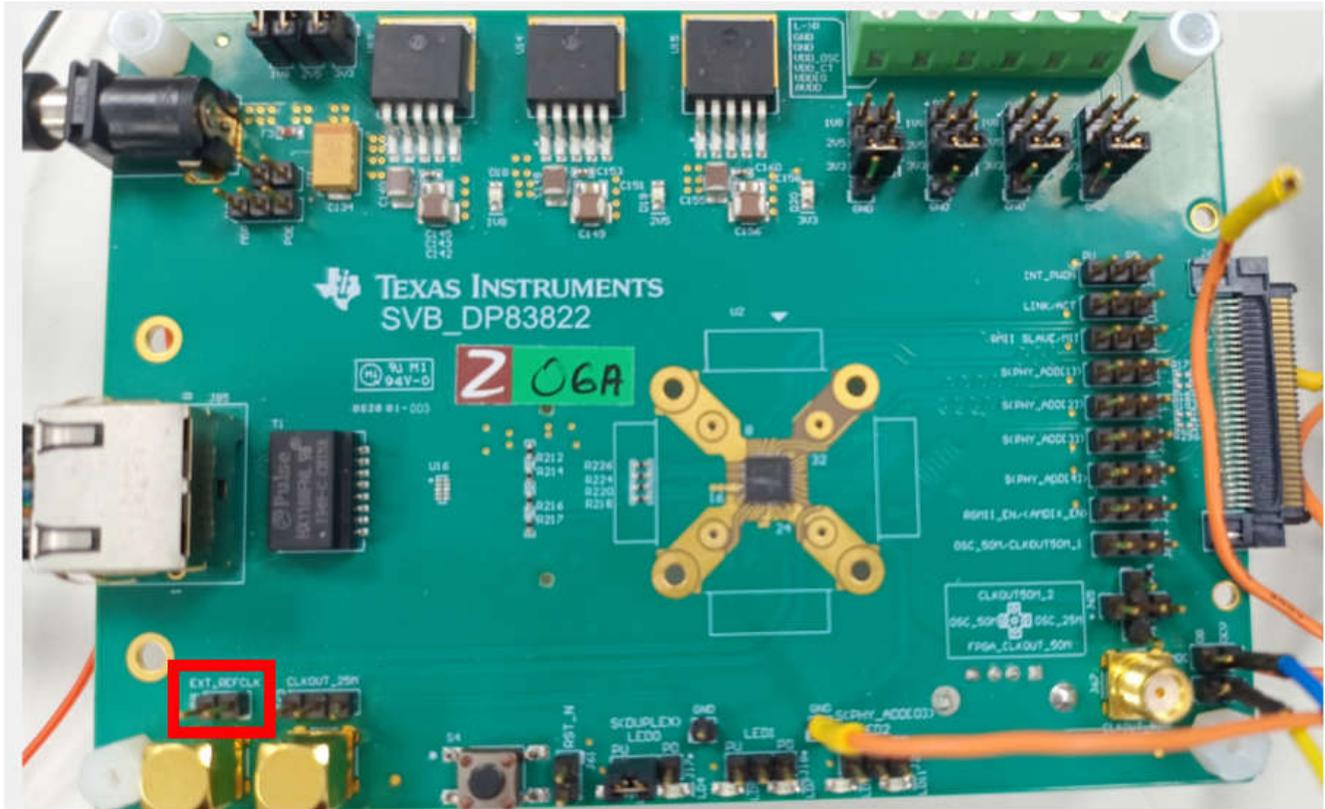


图 4-1. DP83822 EVM

为了测试振荡器的抖动性能，将 PHY EVM 连接到一个测试装置，并在该装置中读取通道 A 和 B 的数据。在测试模式下，MDI CHA (P9) 和 CHB (P10) 上生成 MLT-3 模式。图 4-2 和图 4-3 展示了抖动测试设置，同时表 4-1 突出显示了石英晶体振荡器和 CDC6C 振荡器对 PHY 输出的影响结果。

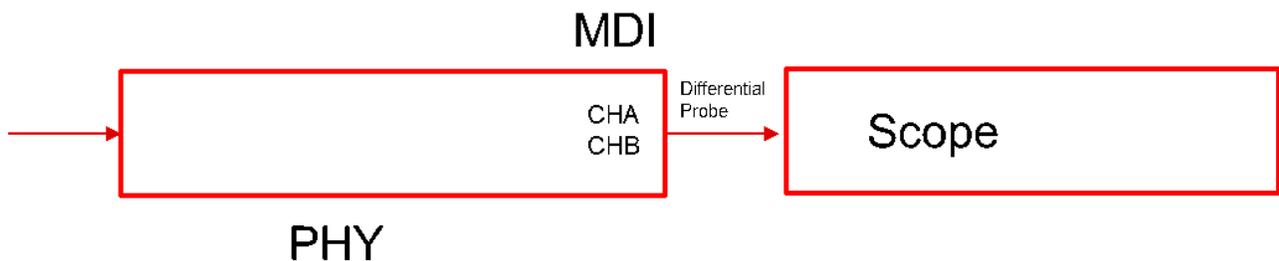


图 4-2. 抖动测试方框图

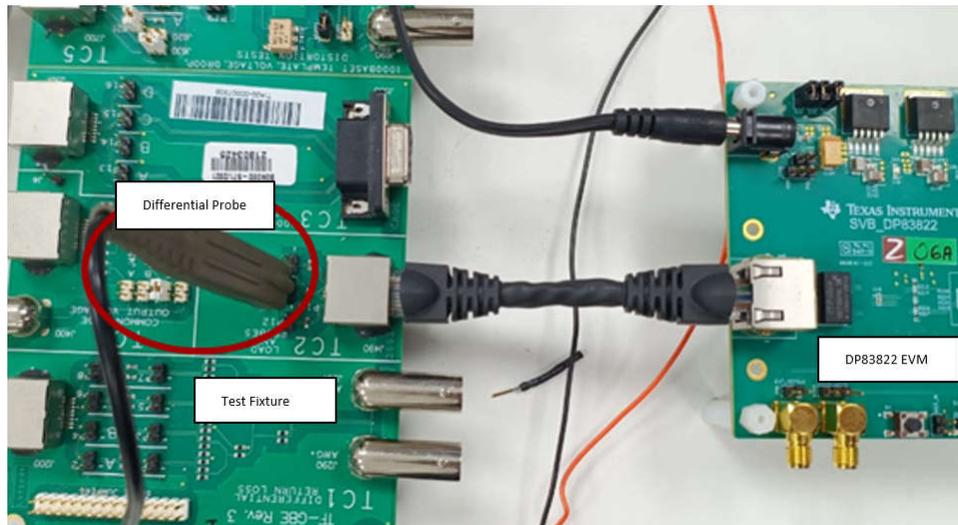


图 4-3. 抖动测试装置

表 4-1. 使用石英晶体振荡器和 CDC6C 对通道 A 和 B 进行 10 次抖动测量迭代的平均值

参数	CHA 平均值	CHB 平均值	单位
CDC6C Pos_E	0.56	0.544	ns
CDC6C Neg_E	0.532	0.468	ns
石英晶体 Pos_E	0.685	0.643	ns
石英晶体 Neg_E	0.647	0.593	ns

为了测试振荡器对 BER 的影响，将 DP83822 PHY EVM 连接到一个具有 100M 铜缆接口的数据包生成器，同时将数据包环回到 PHY。使用 UNH 互通测试套件进行 BER 测试。此测试保持与抖动测试相同的振荡器设置，请参见图 4-4。

从数据包生成器传输和接收的数据为随机数据模式和随机帧大小，并以持续的数据包生成方式进行。使用 CDC6C 作为 DP83822 的参考输入时钟时，113,505,895,589 字节在传输和接收过程中无错误，在  $1e11$  字节范围内无故障（如表 4-1 高亮所示）。

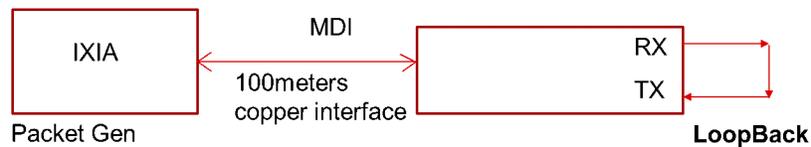


图 4-4. 误码率测试方框图

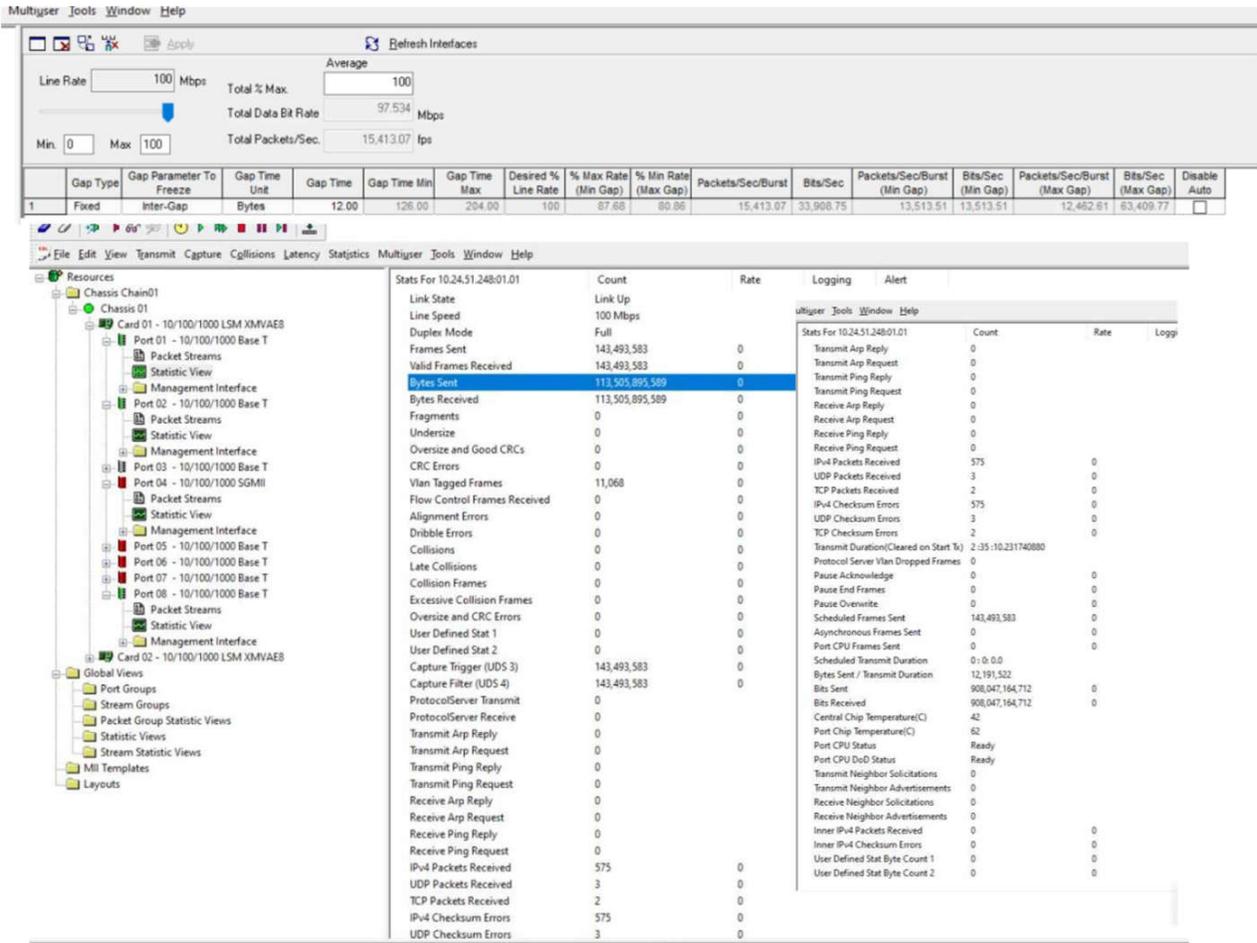


图 4-5. 使用 CDC6C 振荡器计时的 DP83822 的 BER 测试结果

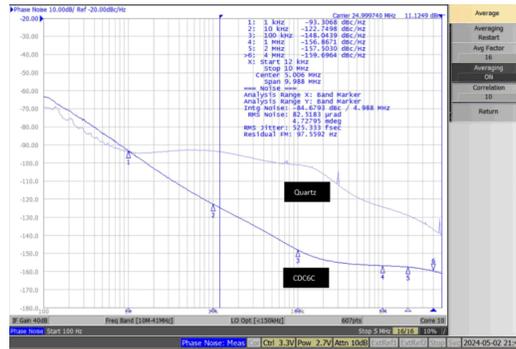


图 4-6. 比较石英晶体振荡器和 BAW 振荡器的相位噪声和抖动测量

## 5 为不同的以太网 PHY 提供时钟

表 5-1. 为不同的 PHY 提供时钟

以太网 PHY 零件型号	信令差异	振荡器建议
DP83822	电流模式驱动程序	CDC6C
DP83826	电压模式驱动程序	CDC6C

## 6 总结

根据所执行的抖动和误码测试，可以观察到以下关键情况。

- CDC6C 通过了 IEEE 802.3 和 IOL (互通实验室) 互操作性测试台的 IEEE 100Mbps 要求
- BAW 振荡器有助于降低通道 A 和 B 的输出抖动，从而降低以太网 PHY 输出的噪声。
- BAW 振荡器有助于提高 PHY 性能，进而降低以太网 PHY 的误码率

## 7 参考资料

- 德州仪器 (TI) [CDC6Cx 低功耗 LVCMOS 输出 BAW 振荡器](#)
- [快速以太网联盟第 25 条](#)，物理介质相关子层 (PMD) 测试套件版本 3.5。新罕布什尔大学互通实验室 (IOL)
- 德州仪器 (TI) [高可靠性 BAW 振荡器 MTBF 和 FIT 率计算](#)应用手册。
- 德州仪器 (TI) [独立 BAW 振荡器相对于石英振荡器的优势](#)应用手册。
- 德州仪器 (TI) [TI BAW 振荡器的振动和机械冲击性能](#)应用手册。
- 德州仪器 (TI) [DP8382x IEEE 802.3u 合规性和调试](#)应用手册。
- 德州仪器 (TI) [DP83822 抖动分析](#)应用手册。

## 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