

使用 IEEE 802.3cg 10BASE-T1L 以太网 PHY 扩大网络覆盖范围



摘要

IEEE 802.3cg 10BASE-T1L 规范释放了以太网通信在远距离应用上的潜力，在这一领域带来了令人兴奋的新机遇。该标准支持通过一对双绞线在最长 1,000 米的距离内进行 10Mbps 全双工通信，因此在利用以太网进行两线制远距离通信方面将不可能变为可能。DP83TD510E 等单线对以太网 PHY 可帮助设计人员更轻松地实施此标准，同时还能超出标准规格延长电缆传输距离。DP83TD510E 超过了该标准以 1.0Vpp 和 2.4Vpp 在 1km 内传输信号的性能要求，能够在最长 2,000 米的距离内传输信号。

随着电缆长度更长，设计人员可以扩展工业通信的范围，而无需增加系统重量或布线成本。支持的电缆长度更长，还会提高短距离电缆的寿命，从而在电缆更加老化时不会影响传输质量。外部元件、布局和电缆类型在实现远距离电缆通信方面均发挥着重要作用。本应用手册讨论了 DP83TD510E 的特性、实现最大电缆长度所需外部元件的主要规格，以及这些远距离应用中要考虑的电缆规格。

内容

1 引言.....	2
2 术语.....	2
3 建立链路.....	2
3.1 自动协商.....	2
3.2 强制执行主机-客户端配置.....	3
3.3 1.0Vpp 与 2.4Vpp 工作模式.....	3
4 10Base-T1L 电缆参数.....	3
4.1 特性阻抗.....	4
4.2 插入损耗.....	4
4.3 回波损耗.....	4
4.4 最大延迟链路.....	5
4.5 电磁分类.....	5
4.6 差分至共模转换.....	5
4.7 耦合衰减.....	5
4.8 DP83TD510 电缆长度性能.....	5
5 修订历史记录.....	7

插图清单

图 4-1. 100 Ω 特性阻抗电缆设计.....	4
图 4-2. 125 Ω 特性阻抗电缆设计.....	4
图 4-3. Siemens 6XV1830-5EH10 电缆.....	6
图 4-4. Belden 3076F.....	6

表格清单

表 3-1. 发送输出工作电压自举.....	3
表 3-2. PMA_CTRL (地址 = 0x18F6) [复位 = 0x0000].....	3
表 3-3. AN_CONTROL (地址 = 0x7200) [复位 = 0x1000].....	3
表 3-4. PMA_PMD_CTRL (地址 = 0x1834) [复位 = 0x4000].....	3
表 3-5. PMA_PMD_CTRL (地址 = 0x1834) [复位 = 0x4000].....	3
表 4-1. 电缆规格.....	5
表 4-2. 差分至共模转换.....	5

表 4-3. 耦合衰减.....	5
表 4-4. 室温下 DP83TD510 支持的电缆长度.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

借助 10Base-T1L 标准，楼宇和工厂自动化、监控站和传感应用中的联网设备能够通过单线对以太网实现更远距离的通信。若要设计稳健的系统来应对在 1,000 米以上远距离通信范围内的各种挑战，需要仔细考虑以太网 PHY 的功能以及电缆的规格。DP83TD510E 单线对以太网 (SPE) PHY 是一款符合 IEEE 802.3cg 10Base-T1L 规范的以太网收发器。DP83TD510E 的 1.0Vpp 和 2.4Vpp 工作模式可提高设计灵活性，在包括本质安全型应用在内的楼宇、工厂和工艺自动化领域中可最大限度地延长电缆长度。以下各部分将逐个介绍这些特性或工具。

电缆长度考虑因素：

- 通过自动协商和强制模式建立链路
- 以 1.0Vpp 和 2.4Vpp 输出工作模式建立链路
- 调整外部 MDI 端接来优化电缆阻抗
- 了解电缆选型的介质要求

各部分都提供了 PHY 功能的相关背景信息，以及有关如何针对每种工作模式进行设计的指南。

2 术语

10Base-T1L	通过单对平衡导体实现 10Mbps 全双工通信的标准
PHY	物理层收发器
Vpp	峰-峰值电压
PAM3	三级脉冲振幅调制
MAC	媒体访问控制器
MDC	管理数据时钟
MDIO	管理数据 I/O
LSM	低速模式
DME	差分曼彻斯特编码
PMA	物理介质连接

3 建立链路

3.1 自动协商

802.3cg 标准要求 10Base-T1L PHY 在 *低速模式 (LSM)* 下支持自动协商。在 LSM 模式下，PHY 会以 625Kb/s 的速度发送差分曼彻斯特编码 (DME) 页面，将其能力广播给链路伙伴。

在正常运行时，DP83TD510E 对通过单个差分对以 7.5MBd 速率传输的三级脉冲振幅调制 (PAM3) 信号加以利用。10Base-T1L 标准的独特之处在于，它规定 PHY 可支持更高的传输和接收能力，因此可将 PAM3 振幅从 1.0Vpp 升至 2.4Vpp。借助更加出色的传输能力，PHY 能够在更长的电缆长度范围内克服信号衰减，从而延长 PHY 支持的最大通信距离。

DP83TD510E 支持通过硬件和软件配置来广播 1.0Vpp 能力或在自动协商期间广泛告知 2.4Vpp 和 1.0Vpp 能力。它还能够根据自动协商期间的决定，将发送电压调节至 2.4Vpp 或 1.0Vpp。默认情况下，DP83TD510E 仅广播 1.0Vpp。如果要同时广播 1.0Vpp 和 2.4Vpp 并且链路伙伴也支持 2.4Vpp，DP83TD510E 将配置为 2.4Vpp。DP83TD510E 通过 LED 提供指示信息，用于说明 PHY 采用的是 2.4Vpp 还是 1.0Vpp 工作模式。

自举引脚定义了 PHY 在自动协商期间请求的电压电平，反映在寄存器 0x020E[12] 中。使用强制模式来建立链路期间，该自举引脚控制输出电压并反映在寄存器 0x18F6[12] 中。

表 3-1. 发送输出工作电压自举

引脚名称	自举名称	引脚编号	默认值	设置	
LED_2	Strap7	28	0	0	1.0Vpp
				1	2.4Vpp

表 3-2. PMA_CTRL (地址 = 0x18F6) [复位 = 0x0000]

位	字段	类型	复位	说明
12	CFG_INCR_TX_LVL	读/写	0x0	1 = 启用 2.4Vpp 工作模式
				0 = 启用 1.0Vpp 工作模式

3.2 强制执行主机-客户端配置

在建立网络链路时，以太网 PHY 用作主机或客户端。主机设备使用本地时钟来通过以太网端口设置发送器时序。客户端设备依靠从接收的信号恢复的时钟来设置其发送器时序操作。如果启用了自动协商功能，DP83TD510 将通过自动协商解决主机-客户端关系。

如果禁用了自动协商功能，则可手动设置主机-客户端配置以及输出电源模式。通过强制设置主机-客户端关系以及输出电压工作模式，可延长 PHY 支持的最大电缆长度。特定电缆特性可能会导致通道内 DME 衰减或失真，因而会限制 10BASE-T1L 低速自动协商协议支持的通信距离。例如，具有约 625kHz 高插入损耗的电缆会导致自动协商脉冲失真，因此链路伙伴可能无法正确地解析接收的信号，从而无法完成自动协商过程。强制将 PHY 置于所需的工作模式，则可绕过自动协商并支持更长的电缆长度。DP83TD510E 提供了以下配置来启用“强制模式”。请注意，使用强制模式时，应在 DUT 和链路伙伴上禁用 MR_AN_ENABLE 来阻止自动协商。请参阅表 3-3。其中一个 PHY (DUT 或链路伙伴) 应配置为主机，而另一个应配置为客户端。

3.2.1 AN_CONTROL (地址 = 0x7200) [复位 = 0x1000]

表 3-3. AN_CONTROL (地址 = 0x7200) [复位 = 0x1000]

位	字段	类型	复位	说明
12	MR_AN_ENABLE	读/写	0x1	1 = 启用自动协商过程
				0 = 禁用自动协商过程

3.2.2 PMA_PMD_CTRL (地址 = 0x1834) [复位 = 0x4000]

表 3-4. PMA_PMD_CTRL (地址 = 0x1834) [复位 = 0x4000]

位	字段	类型	复位	说明
14	CFG_M-S_Value	读/写	0x1	1 = 将 PHY 配置为 HOST
				0 = 将 PHY 配置为 CLIENT

3.3 1.0Vpp 与 2.4Vpp 工作模式

根据 IEEE 802.3cg 规范，PMA 发送器输出电压必须位于所选工作模式 (2.4Vpp 或 1.0Vpp) 的 +5% 至 -15% 范围内。下表显示了每种工作模式的 10Base-T1L 输出差分电压限值。

表 3-5. PMA_PMD_CTRL (地址 = 0x1834) [复位 = 0x4000]

工作模式	最小值	典型值	最大值	单位
1.0Vpp	0.85	1.0	1.05	V
2.4Vpp	2.04	2.4	2.52	V

DP83TD510 的工作模式可通过自动协商来配置，如果同时广播这两种模式，则优先使用 2.4Vpp。如果禁用了自动协商功能，PHY 将采用 1.0Vpp 工作模式，并可通过寄存器设置来配置为 2.4Vpp 工作模式。

4 10Base-T1L 电缆参数

DP83TD510 旨在通过满足下述特性的单对平衡导体，支持最长 2,000 米的通信距离。电缆可以是屏蔽或非屏蔽电缆。

4.1 特性阻抗

DP83TD510 在 MDI 引脚上支持外部端接，适用于本质安全型应用。这个设计的一项关键优势是让 DP83TD510 能够与具有不同特性阻抗的电缆配合使用。10Base-T1L 标准采用其链路段特性规格中的 100 Ω 基准阻抗。不过，如果客户希望在具有不同特性阻抗的现有应用中使用 DP83TD510，可根据应用要求调整 DP83TD510 的外部端接。

图 4-1 中所示的原理图突出显示了 DP83TD510 设计中可根据电缆阻抗进行调节的外部 MDI 端接电阻器。图 4-1 显示了针对 100 Ω 特性阻抗的设计，其中 TD_P 和 TD_N 引脚上的 R1 和 R2 值为 49.9 Ω。

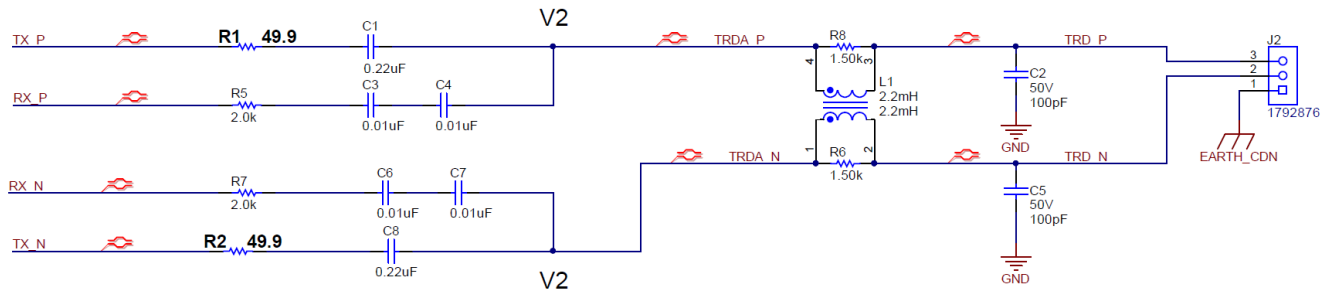


图 4-1. 100 Ω 特性阻抗电缆设计

图 4-2 显示了针对 125 Ω 特性阻抗电缆的设计，其中 TD_P 和 TD_N 引脚上的 R3 和 R4 值为 62.5 Ω。

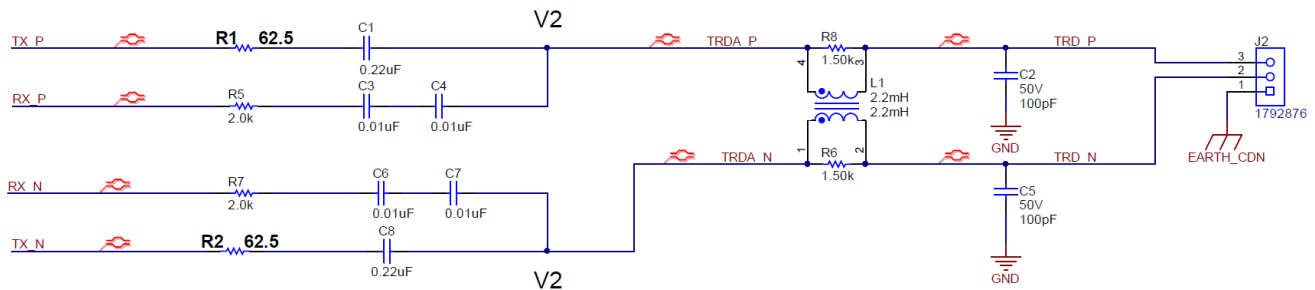


图 4-2. 125 Ω 特性阻抗电缆设计

4.2 插入损耗

2.4Vpp 工作模式下的插入损耗可通过以下方式建模：

$$2.4V_{pp} \text{ Insertion loss } (f) \leq 10 \left(1.23 * \sqrt{f} + 0.01 * f + \frac{0.2}{\sqrt{f}} \right) + 10 * 0.02 * \sqrt{f} \quad (dB)$$

Where f is the frequency in MHz between $0.1 \leq f \leq 20$

(1)

1.0Vpp 工作模式下的插入损耗可通过以下方式建模：

$$1.0V_{pp} \text{ Insertion loss } (f) \leq 5.9 \left(1.23 * \sqrt{f} + 0.01 * f + \frac{0.2}{\sqrt{f}} \right) + 10 * 0.02 * \sqrt{f} \quad (dB)$$

Where f is the frequency in MHz between $0.1 \leq f \leq 20$

(2)

4.3 回波损耗

10Base-T1L 链路应当遵循以下回波损耗规格，以限制因与 100Ω 基准阻抗失配而产生的噪音。

$$\begin{aligned} &\geq 9 + 8 * f \text{ where } 0.1 \leq f < 0.5 \text{ MHz (dB)} \\ &\geq 13 \text{ where } 0.5 \leq f \leq 20 \text{ MHz (dB)} \end{aligned} \quad (3)$$

4.4 最大延迟链路

当频率介于 0.1MHz 至 20MHz 之间时，10Base-T1L 链路传播延迟应小于 8,834ns。

4.5 电磁分类

以下电缆规格取决于电缆所在的电磁噪声环境，在表 4-1 中分类为 E₁、E₂ 或 E₃。

表 4-1. 电缆规格

电磁	E ₁	E ₂	E ₃
传导射频	3V (150kHz 至 80MHz)	3V (150kHz 至 80MHz)	10V (150kHz 至 80MHz)

4.6 差分至共模转换

差分至共模转换适用于 E₁ 和 E₂ 环境中的非屏蔽电缆，具体如表 4-2 中所示。

表 4-2. 差分至共模转换

	频率 (MHz)	E ₁	E ₂
TCL	$0.1 \leq f \leq 10$	$\geq 50 \text{ dB}$	$\geq 50 \text{ dB}$
TCL	$0.1 \leq f \leq 20$	$\geq 50 - 20 \log_{10} \left(\frac{f}{10} \right) \text{ dB}$	$\geq 50 - 20 \log_{10} \left(\frac{f}{10} \right) \text{ dB}$

4.7 耦合衰减

耦合衰减适用于 E₁、E₂ 和 E₃ 环境中的屏蔽电缆，具体如表 4-3 中所示。

表 4-3. 耦合衰减

频率 (MHz)	(dB)		
	E ₁	E ₂	E ₃
0.1 至 20	≥ 50	≥ 50	≥ 60

4.8 DP83TD510 电缆长度性能

上述通道特性对 PHY 建立链路的能力有着明显的影响。本文以 Siemens 6XV1830-5EH10 和 Belden 3076F 两种现场总线电缆为例，介绍了插入损耗可能会对 DP83TD510 最大电缆长度产生的影响。这两种示例电缆都是适用于工艺和工厂自动化的单根双绞线现场总线屏蔽电缆。

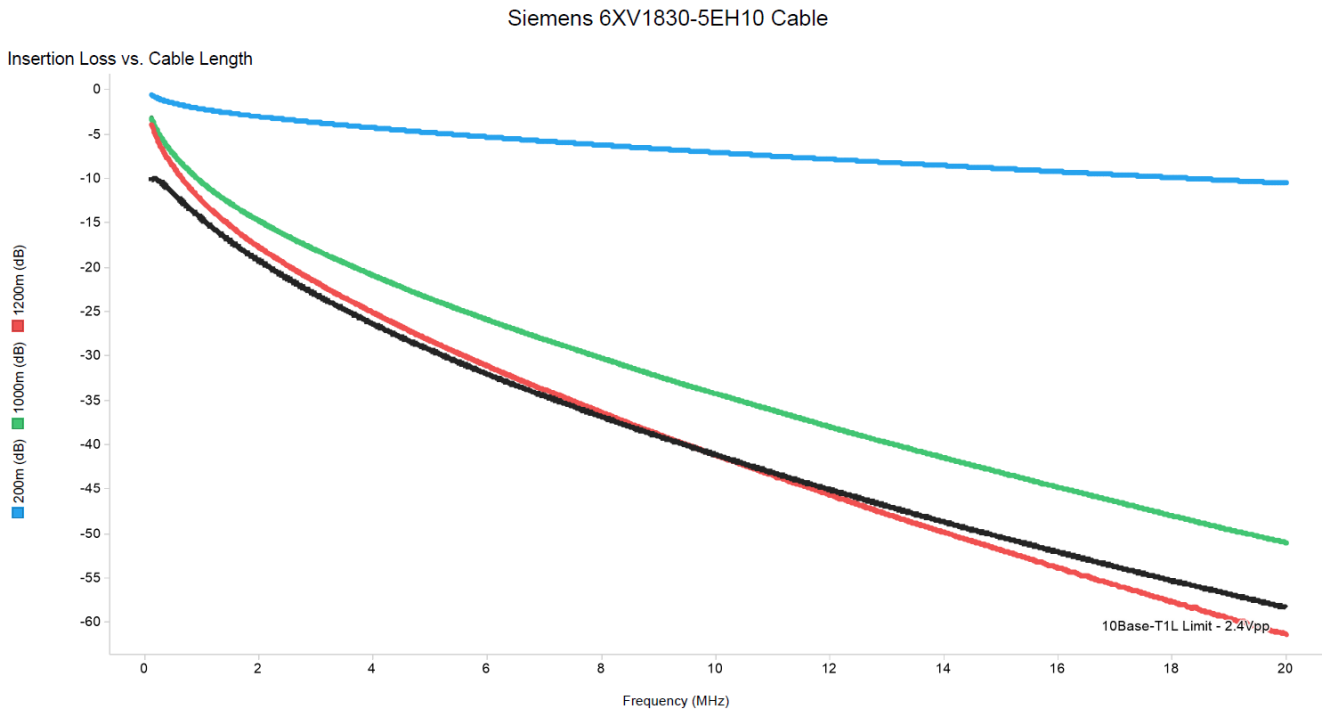


图 4-3. Siemens 6XV1830-5EH10 电缆

Siemens 电缆的插入损耗曲线显示了它在 1,000 米范围内符合 10Base-T1L 插入损耗曲线，但在 1,200 米附近出现了偏离。表 4-4 展示了 DP83TD510 使用此电缆时可在最多 1,200 米范围内通过自动协商建立链路。

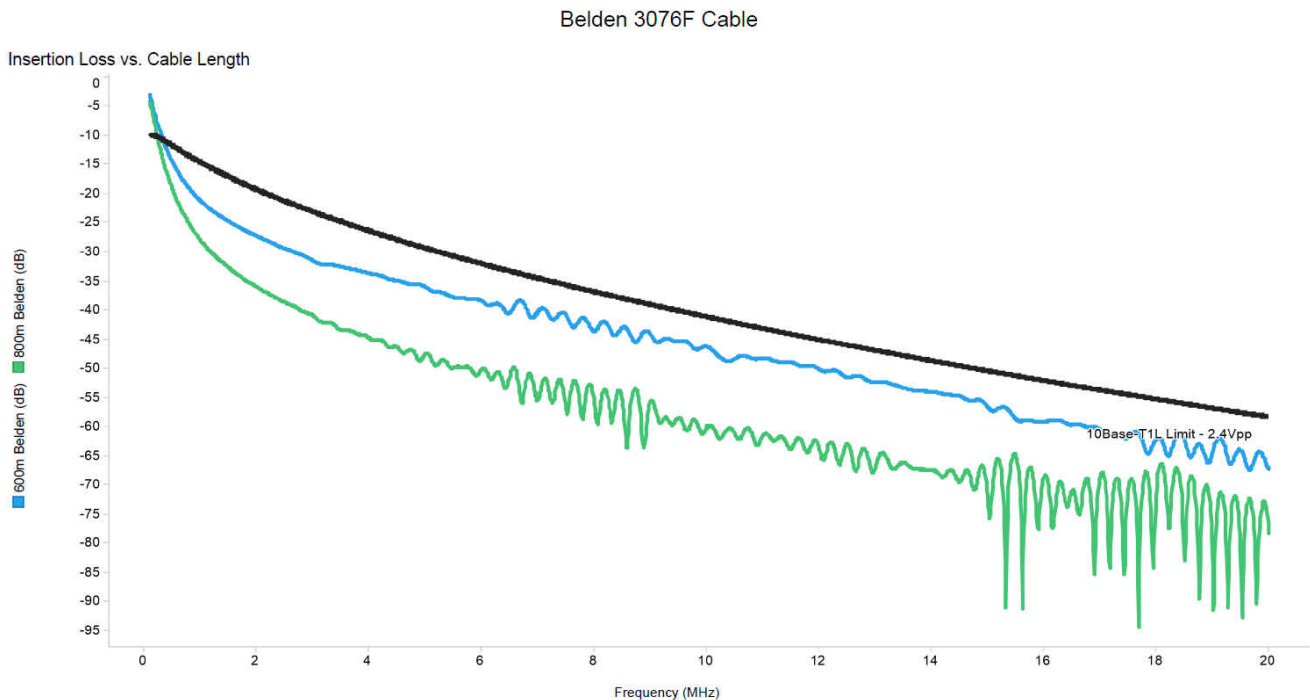


图 4-4. Belden 3076F

Belden 电缆不满足 10Base-T1L 插入损耗曲线规格。请注意，625kbps 处的 LSM 自动协商信号受到了此曲线的影响，而 DP83TD510 最长可在 260 米范围内进行自动协商，如表 4-4 中所示。

表 4-4. 室温下 DP83TD510 支持的电缆长度

电缆	自动协商支持的电缆长度 (m)	采用额外 DSP ANEG 配置时自动协商支持的电缆长度 (m)	强制模式支持的电缆长度 (m)
Siemens 6XV1830-5EH10	1700	2000	2000
Belden 3076F	400	600	600

解除 LSM 自动协商速率处的插入损耗限制后，DP83TD510 可支持更长的电缆长度。采用自动协商功能时，可运行 DSP ANEG 脚本来实现强制模式下可支持的相同电缆长度。下面显示了对应的脚本。此脚本只会写入 MMD 0x1F 处的寄存器。如果使用 USB-2-MDIO 工具配置寄存器，请确认 *Extended Register* 下拉菜单设置为 Yes。

```
begin
001F 8000 // 硬复位
08A6 04A8 // belden 使能且 IDX 强制使能
08A1 0D14 // FAGC 禁用
08A4 0180 // FAGC 初始化
08A5 0824 // DEQ 偏移 = 2
08F0 0088 // IDX lim = 8, 比例因子 7
08A2 7A66 // ADC BO aneg
08A3 0552 // ADC BO aneg
001F 4000 // 软复位
end
```

5 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 * (October 2020) to Revision A (April 2021)	Page
• 通篇将 1,700 米更新为 2,000 米.....	1
• 将...楼宇自动化和本质安全型应用 更新为 ...工厂和工艺自动化，包括本质安全型应用	2
• 将两个表格合并为一个并更新了一些参数.....	5

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司