

## 摘要

本应用手册介绍了使用隔离式收发器 ISO1050 和变压器驱动器 SN6501 的紧凑型隔离式 CAN 模块参考设计。与业内现有的解决方案相比，此设计具有易于实施、高可靠性、低 EMI 和低成本等优势。也可使用 ISO1042 替代 ISO1050 以升级性能。

## 内容

1 引言.....	2
2 电容隔离技术.....	3
3 隔离式 CAN 模块设计.....	4
3.1 变压器驱动器.....	4
3.2 5V 至 5V 隔离式电源设计注意事项.....	5
3.3 PCB 设计.....	6
4 实验验证.....	7
5 结论.....	9
6 参考文献.....	10
7 修订历史记录.....	11

## 插图清单

图 2-1. 磁场抗扰度.....	3
图 3-1. SN6501 内部方框图.....	4
图 3-2. PSpice 仿真的开关波形和 BBM 波形.....	4
图 3-3. 5V 至 5V 隔离式电源的参考设计 ( PSpice 原理图 ) .....	5
图 3-4. 在输入压降 $s - 10\%$ 下的变压器输出.....	6
图 3-5. 在输入压降 $s + 10\%$ 下的变压器输出.....	6
图 3-6. 隔离式 CAN 模块的正视图和侧视图.....	6
图 4-1. 隔离式 CAN 模块测试设置.....	7
图 4-2. 满载总线测试 ( 数据速率为 1Mbps 时 CANH、CANL 的波形 ) .....	7

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

今天，随着 CAN 总线的快速普及，应用领域比以往更加多样化和复杂化。不正确的节点设计会导致通信不良，甚至一个节点失效也可能导致整个总线损坏，尤其是在恶劣的环境中。因此，应在节点设计中实施必要的保护电路，以便提高可靠性并减少不必要的损坏。常见设计会在控制器和收发器之间隔离数字信号和电源。对于某些需要更强 ESD 保护的应用，应在总线中添加 TVS。

当前的解决方案要么过于复杂（例如，数字隔离器、CAN 收发器和隔离式电源），要么成本过高。一种可行的解决方案是将 ISO1050 与 SN6501 组合，提供一种紧凑的高性能、低成本参考设计。

## 2 电容隔离技术

ISO1050 收发器是一款隔离式 CAN 收发器，其最大数据速率为 1Mbps，支持 4kV 电隔离。ISO1050 收发器符合甚至超过 ISO 11898 标准的所有要求。此器件使用电容隔离技术 ( $\text{SiO}_2$ ) 来隔离信号路径。与电感式和光耦合器类型相比， $\text{SiO}_2$  电容隔离的主要优势在于高可靠性和长预期寿命（得益于其更弱的老化效应特征）。根据行业要求，电感式隔离器在 400V（最低）工作电压下的使用寿命只有 8 年，而电容式隔离器的寿命明显更长，为 28 年。

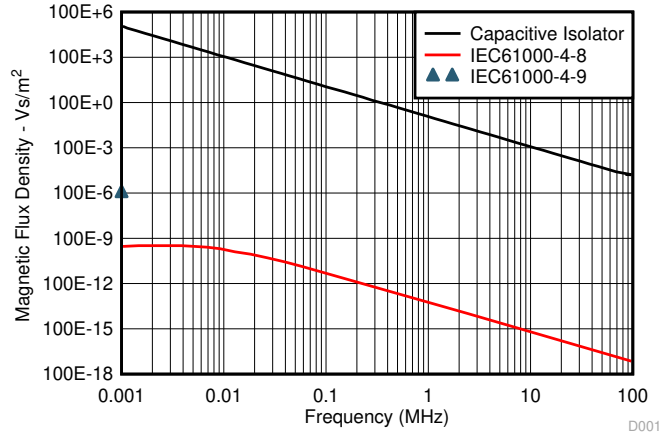


图 2-1. 磁场抗扰度

由于电容隔离器的内部设计结构，这种类型的隔离器可提供几乎无限高的磁场抗扰度。图 2-1 所示为量化的磁抗扰度（应用场强时不会导致误切换）。图 2-1 显示了电容式器件的出色性能，远远超出了 IEC 61000-4-8 和 IEC 61000-4-9 的标准。

使用  $\text{SiO}_2$  电容技术的另一个优势是它与标准半导体制造工艺兼容。因此，可实现更低的生产成本，从而直接为客户降低成本。

### 3 隔离式 CAN 模块设计

对于隔离式 CAN 设计，电源和信号路径都必须进行电气隔离以达到特定的隔离级别。由于 ISO1050 已对信号路径进行了内部电隔离，因此设计稳健的隔离式电源便是整个模块的关键设计注意事项。在常见设计中，为了方便起见，总是使用注胶成模块的隔离式电源（如 DCR010505，这是一款 1W 隔离式 5V 至 5V 直流/直流转换器）。但是，使用此类现成的电源模块会占用更多的 PCB 空间，在某些成本敏感型应用中并不适合。也可以通过使用 TPS61085 等直流/直流转换器来实现 PCB 级分立式解决方案；大约需要 20 个外部元件（包括变压器和二极管）。这种解决方案太复杂，难以为小型封装隔离式 CAN 模块设计所需的隔离式电源。

#### 3.1 变压器驱动器

另一种更紧凑、更低成本、更易于设计的方法是使用变压器驱动器。SN6501 便是这样的变压器驱动器。SN6501 使用推挽式拓扑来驱动变压器；旨在实现低成本的小型隔离式直流/直流转换器。此器件采用微型 SOT23 封装，高电平初级侧可在 5V 电源电压下驱动高达 350mA 的电流，在 3.3V 电源电压下驱动高达 150mA 的电流。得益于整流输出端的低纹波，允许使用小型输出电容器。这些优势使得 SN6501 适用于隔离式接口电源。

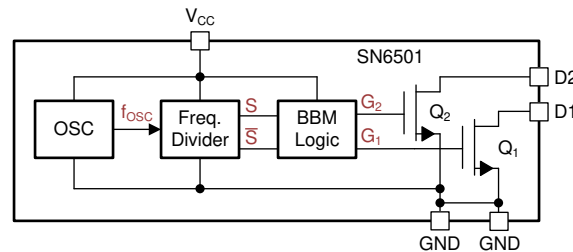


图 3-1. SN6501 内部方框图

图 3-1 所示为 SN6501 内部方框图，其中包括一个振荡器、一个分频器和一个先断后合 (BBM) 逻辑。BBM 逻辑可输出两个互补信号以交替导通和关断两个输出功率晶体管。Pspice 模型仿真（请参阅图 3-2）显示了互补推挽波形及 BBM 波形（ $V_{cc}$  为 5V，变压器次级侧无负载）。

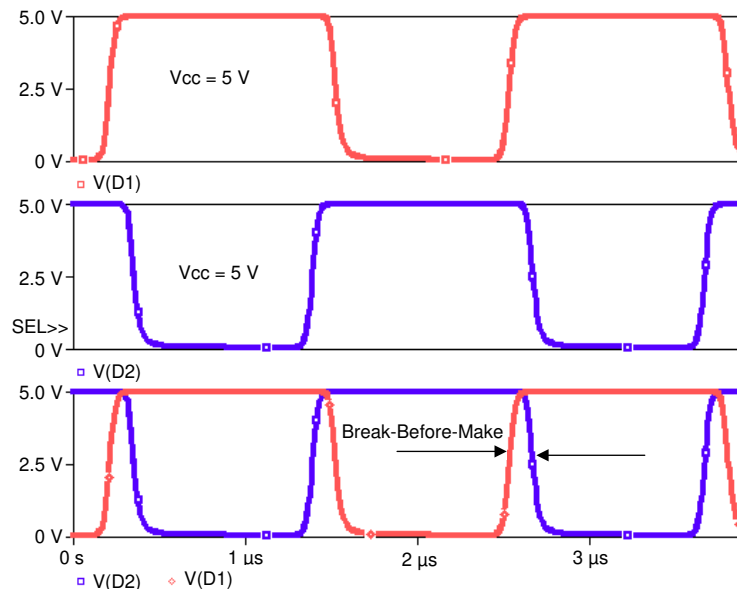


图 3-2. PSpice 仿真的开关波形和 BBM 波形

### 3.2 5V 至 5V 隔离式电源设计注意事项

图 3-3 是 5V 至 5V 隔离式电源的参考原理图。

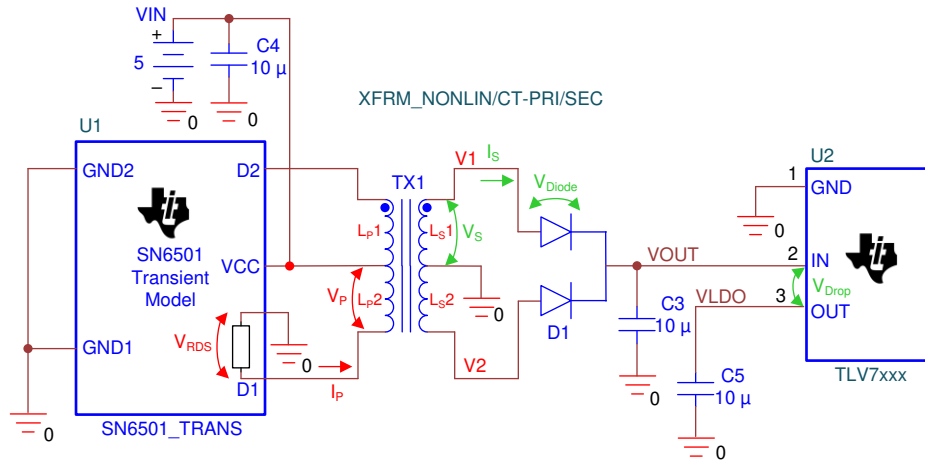


图 3-3. 5V 至 5V 隔离式电源的参考设计 ( PSpice 原理图 )

SN6501 的整流输出具有低纹波。当变压器的初级侧由稳定的 5V 电源 (VIN) 供电时，不能使用线性稳压器。但是，尤其是在与安全相关的应用中，例如分布式控制系统 (DCS)、可编程逻辑控制器 (PLC) 和纺织机械控制器中，应考虑有 ±10% 的 VIN 容差。因此，5V 电源在 4.5V 至 5.5V 范围内变化，整流器输出 (VOUT) 也以相同的比率变化。虽然 ISO1050 次级侧电源 (VLDO) 仅允许 4.75V 至 5.25V 的电压，但需要使用一个 5V LDO 来稳定整流器的输出。

选择 LDO 时的两个主要考虑因素是电流驱动能力和输入电压范围。SN6501 仅为 ISO1050 提供电流，因此电流驱动能力取决于 ISO1050，并且应该为最大电流留出裕量。当 ISO1050 具有 80mA (最大值) 负载时，适合使用 100mA 至 150mA 的 LDO，例如 TPS70950 或 TLV70450。

变压器输出电压范围取决于变压器匝数比。在确定匝数比时，应考虑最小 VIN 和 LDO 效率。较大的匝数比可以避免 LDO 在 VIN 下降 (VOUT 相应下降) 时进入非线性区域，并保持稳定的 5V 输出。但是，由于 LDO 上的电压降较大，这会导致效率低下，并且还会在 VIN 急剧增加时迫使 LDO 输入电压超过额定值。

根据变压器的功率守恒原理，

$$V_P \times I_P = V_S \times I_S \quad (1)$$

此外，根据流经变压器初级和次级线圈的磁通量相同，我们得到：

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{n_S}{n_P} = n \quad (2)$$

- $V_P = V_{IN} - V_{RDS}$ ，是变压器初级侧的电压。
- $V_S = V_{LDO} + V_{Diode} + V_{Drop}$ ，是次级侧的电压。
- $V_{RDS}$  是 SN6501 功率晶体管导通电阻上的压降，随负载电流的变化而变化。
- $V_{Diode}$  是二极管正向电压。
- $V_{Drop}$  是 LDO 压降。

假设 ISO1050 具有最大负载，LDO 必须提供 80mA 电流 ( $I_{S-max}$ )。

$$(V_{LDO} + V_{Diode} + V_{Drop-max}) \times I_{S-max} (80 \text{ mA}) = (V_{IN} - RDS \times I_P) \times I_P \quad (3)$$

$$V_{LDO} + V_{Diode} + V_{Drop-max} = (V_{IN} - RDS \times I_P) \times n \quad (4)$$

在以下条件下求解这两个未知数 ( $n$  和  $i_p$ ) 的线性方程:  $V_{LDO} = 5V$ ,  $V_{Diode} = 0.2V$ ,  $R_{DS} = 2\Omega$  (5V 时)。通常, LDO 在 100mA 负载下的压降大约为 150mV, 但某些低成本 LDO 的压降会更大。在最坏的情况下, 假设  $V_{Drop-max} = 1V$  (100mA 时)。得到  $n = 1.25$ ,  $i_p = 100mA$ 。

根据前面的理论计算公式, 如果 ISO1050 处于最大电流负载下, 则 LDO 必须提供大约 80mA 的电流以及 1V 的压降。变压器的匝数比不应小于 1.25。同时, SN6501 提供的最大初级电流为 100mA ( $i_p$ ), 处于 5V 电源供电时的 350mA 电流范围内。图 3-4 和图 3-5 显示了输入电压下降或增加到设计限值时的 PSpice 仿真。根据仿真和计算结果, 变压器最小输出为 5.45V; 因此, 选择一个在 100mA 的最大负载下压降低于 450mV 的 LDO 非常重要。

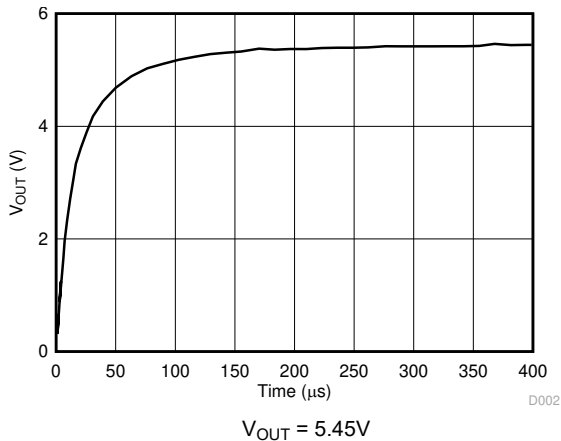


图 3-4. 在输入压降  $s - 10\%$  下的变压器输出

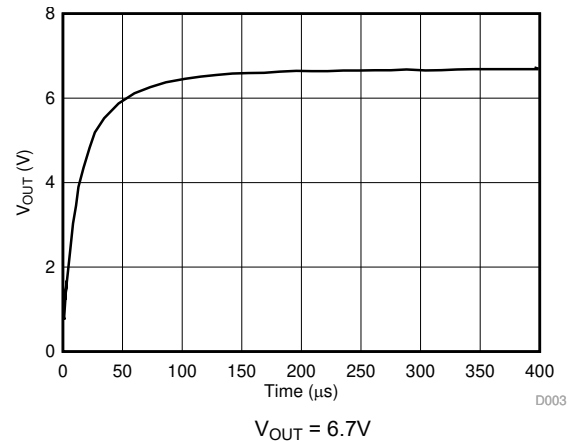


图 3-5. 在输入压降  $s + 10\%$  下的变压器输出

### 3.3 PCB 设计

为了满足 CAN 模块的 2500Vrms 隔离 (ISO1050DUB 的隔离级别) 要求, 除了选择合适的变压器外, 还必须精心设计 PCB 布局。

PCB 爬电距离是实现 2500Vrms 隔离的重要因素。对于 ISO1050DUB, 最小爬电距离 (封装表面上的最短端子到端子距离) 约为 6.8mm。其他组件 (初级侧的 SN6501 和次级侧的 LDO) 应远离此距离。因此, 更适合采用小型封装 LDO (SOT-23 或 SC70) 来实现可满足模块 PCB 小尺寸要求的爬电距离。所选变压器的引脚连接点也应保持爬电距离。此外, 应在变压器下方切割出与 ISO1050 宽度相同的槽 (通过空气隔离)。图 3-6 显示了模块的最终轮廓 (采用胶合封装)。

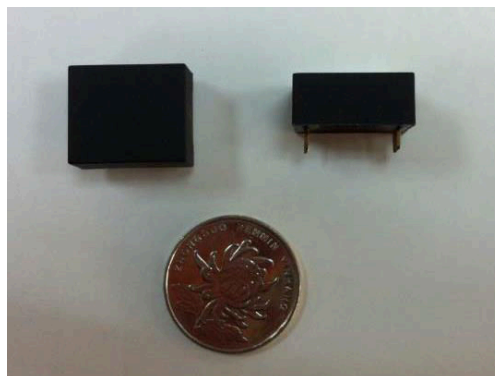


图 3-6. 隔离式 CAN 模块的正视图和侧视图

## 4 实验验证

为了验证参考设计 ( 包括 5V 隔离式电源和整个模块通信功能 ) ，我们设置了一个测试台 ( 请参阅 图 3-6 ) 。两个 MCU 控制板与以下基本设备搭配使用：六位半万用表 (34401A-Agilent)、示波器 (TPS2024-Tektronix) 和直流电源 (GPS3303-GWINSTEK)。

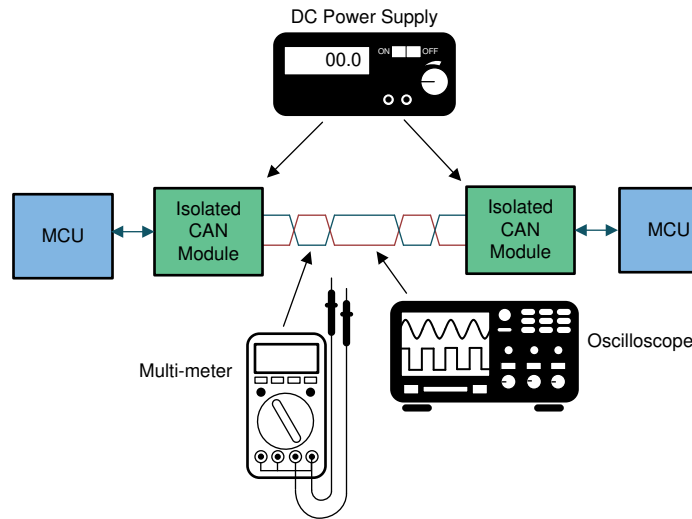


图 4-1. 隔离式 CAN 模块测试设置

在这个测试隔离式 CAN 模块的实验中使用一个非隔离式 CAN 器件 SN65HVD1050 作为接收器。一个 MCU 通过隔离式 CAN 模块发送预先指定的数据序列 ( 握手 ) 。另一个 MCU 通过 SN65HVD1050 接收数据并同时检查错误率；如果发现错误，这个接收器 MCU 板上的绿色 LED 将熄灭。还需要使用示波器观察 CAN 总线波形：我们测试了 250Kbps、500Kbps 和 1Mbps 数据速率，未发现数据错误。第二个实验分别使用两个隔离式 CAN 模块作为发送器和接收器。使用与第一个实验中相同的数据速率进行测试的结果为成功。

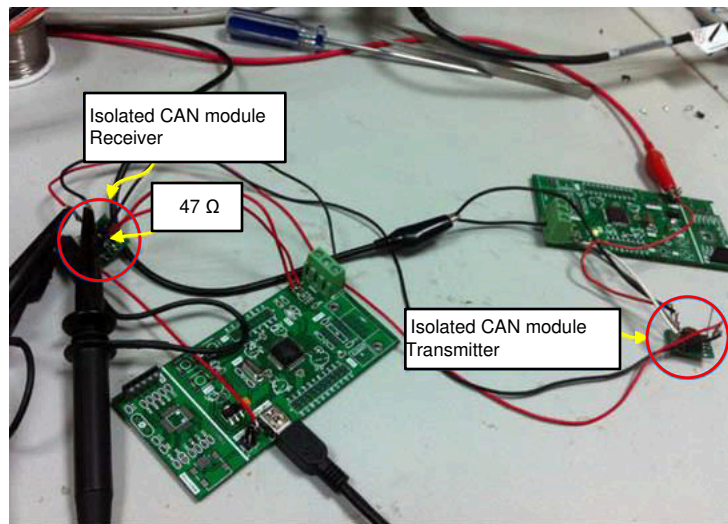


图 4-2. 满载总线测试 ( 数据速率为 1Mbps 时 CANH、CANL 的波形 )

总线负载是 CAN 器件的重要特性。此特性与 CAN 发送器的驱动器电流容量有关。较大的电流输出能力意味着可以在其他条件保持不变的情况下在总线上添加更多节点。对于隔离式 CAN，隔离式电源必须在总线满载时提供足够的电流以实现所需的输出摆幅。在 ISO 11898-2 的 CAN 标准中，差分输出在 60Ω 负载下必须大于 1.5V，在总线满载时必须大于 1.2V ( CAN 器件的总线节点除了依赖驱动器容量外，还取决于接收器差分输入阻抗 ) 。

只要电源保持稳定，并且 ISO1050 在重载条件下的电流消耗较大时电源无压降，该器件便可支持至少 167 个节点。对于 SN6501 设计的这一隔离式电源，可确保次级侧的电流为 100mA。为了测试模块的总线负载能力，使用



一个电阻器仿真包含 167 个节点的收发器网络。ISO1050 的差分输入电阻最小为  $30\text{k}\Omega$ ，最大为  $80\text{k}\Omega$ 。假设总线上并联了 167 个电阻均为  $30\text{k}\Omega$  的节点 ( 相当于  $180\Omega$  差分负载 )，再加上两个  $120\Omega$  终端电阻器 ( 产生总共  $45\Omega$  的电阻 )。在测试中，接收器侧并联了一个  $47\Omega$  电阻器。数据速率测试在 250Kbps、500Kbps 和 1Mbps 下均成功。图 4-2 显示了数据速率为 1Mbps 时 CANH、CANL 的波形。差分输出电压为 2.4V，处于 1.4V 至 3V ( 数据表中确定的值 ) 范围内，并具有 1.2V 的更大裕量 ( ISO11898-2 要求 )。



## 5 结论

本应用报告中讨论了隔离式 CAN 模块参考设计。设计人员可以通过使用 [SN6501](#) 和一些外部元件轻松实现高度可靠、低成本的紧凑型 5V 至 5V 隔离式电源。[ISO1050](#) 可替换为 [ISO1042](#) 以升级性能。报告中介绍了关于如何选择 LDO 和计算适当变压器匝数比的详细设计注意事项。同时，采用了 PSpice 仿真来验证理论计算结果。最后通过一系列实验来实现最大总线负载（167 个节点）和最高数据速率（1Mbps），演示了隔离式 CAN 模块的稳健性。若要比较此分立式解决方案与集成式电源和隔离式 CAN 解决方案，请阅读[如何在隔离式 CAN 系统中隔离信号和电源](#)

## 6 参考文献

相关文档如下：

- 德州仪器 (TI) , [在不影响性能或占用空间的情况下隔离 CAN 系统](#)
- 德州仪器 (TI) , [ISO72x 系列数字隔离器高压使用寿命应用报告](#)

## 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

<b>Changes from Revision A (August 2018) to Revision B (September 2022)</b>	<b>Page</b>
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	<a href="#">1</a>

---

<b>Changes from Revision * (January 2013) to Revision A (August 2018)</b>	<b>Page</b>
• 添加了 ISO1042 器件建议.....	<a href="#">1</a>

## 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