

## 电机驱动芯片的系统级静电防护方案

Nison Wang

North West China OEM Team

### 摘要

电机驱动芯片是一种用于电机控制的芯片，可实现对电机的转动方向、速度和运动方式等进行多种模式控制。静电防护在电子元器件领域是至关重要的，因为静电可能会对微小且高度集成的电子元器件造成严重损害。如果设计不合理，电机驱动芯片很容易受到系统级静电的影响导致失效。因此必须对电机驱动芯片的系统级静电防护方案进行研究。

本文首先介绍了电机驱动芯片在冰箱中的应用及面临的挑战，然后实测了 ESD 发生时电机驱动芯片各关键引脚的波形，最后提出了切实可行的静电防护方案，从而为其他设计者提供借鉴。

### 目录

1	电机驱动芯片在冰箱系统中的应用与挑战 .....	2
2	系统级 ESD 实测 .....	3
3	系统级静电防护方案 .....	5
4	小结 .....	8
	参考文献 .....	9

### 图例

图 1	冰箱结构示意图 .....	2
图 2	DRV8847S 的内部功能框图 .....	3
图 3	ESD 测试示意图 .....	3
图 4	ESD 测试波形 1 .....	4
图 5	ESD 测试波形 2 .....	4
图 6	ESD 测试波形 3 .....	5
图 7	ESD 测试波形 4 .....	5
图 8	压敏电阻的静电保护功能 .....	6

## 1 电机驱动芯片在冰箱系统中的应用与挑战

电机驱动芯片可以用来驱动直流电机、步进电机、无刷直流电机和继电器等感性负载，应用范围十分广泛，如白色家电、电动工具、汽车、机器人和无人机等。以冰箱为例，随着风冷冰箱的盛行，其上用到的电机驱动芯片也越来越多，比如风门驱动、风量分配器驱动、风机遮蔽驱动等。目前大部分电机驱动芯片都集成了丰富的保护功能，比如欠压保护、过流保护、短路保护、开路检测和过温保护等，因此足以应对大多数异常状况。但是对于 ESD 保护，大部分电机驱动芯片的规格书里只明确了 HBM 和 CDM 的相关指标，以保证在生产加工和测试过程中的可靠性，却没有 IEC ESD 的相关认证，因此面临系统级的 ESD 时很容易失效，因此必须对系统级静电防护方案进行研究。

研究静电防护首先要研究静电来源和静电路径，以冰箱为例，如图 1 所示，其控制板在冰箱上方，电机驱动芯片在控制板上。显示板在冰箱的正前方，与控制板通过电源线和控制线相连。竖梁加热丝在冰箱的竖梁位置（前方中央），与控制板通过电源线连接，用于定时加热防止凝露。风门在冷藏室的后方，距离控制板比较远，通过驱动线与控制板连接，主要作用为调节冷藏室的进风量。以上所有线缆都埋藏在冰箱箱体里面，以保证美观性。风冷冰箱中最常用的为风门驱动芯片，风门里面有一个步进电机，控制电机把风门开口变大，进风量变大，温度变低，反之亦然。风门用的步进电机一般为双极性步进电机，因此其驱动线有 4 根，分别为 A+、A-、B+和 B-。风门驱动芯片一般选择 TI 的明星产品 DRV8847S，其内部功能框图如图 2 所示<sup>[1]</sup>，将风门的 4 根驱动线与 DRV8847S 的 OUT1-OUT4 连接即可。



图 1 冰箱结构示意图

为保证使用安全，某些品牌冰箱的门体（图 1 中的 4 块前面板）并不接地，除此之外冰箱的箱体（冰箱的侧方、上方及后方）都是接地的。由于门体不接地，所以在带有静电的人体触碰冰箱门体或者新冰箱撕膜时，非常容易在门体积聚静电，静电积聚到一定程度就会通过某些路径放电，通过驱动线和电源线等耦合到控制板上，从而导致电机驱动芯片的损坏。

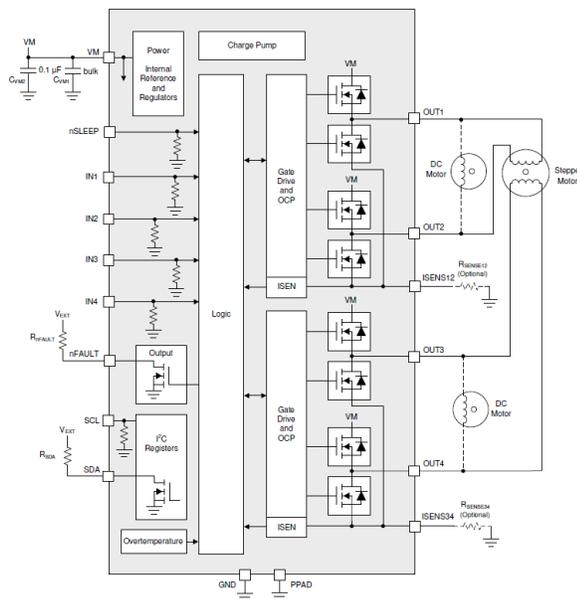


图 2 DRV8847S 的内部功能框图

## 2 系统级 ESD 实测

为量化静电发生时电机驱动芯片所受到的电压应力，需用示波器对其进行测量。图 3 为 ESD 测试示意图，用静电枪对冰箱前面板施加静电，以模拟人体触碰时或者撕膜时产生的 ESD 效应，静电枪用尖头并选择接触放电模式，选择 ESD 等级为+15kV。示波器要选择手持示波器，因为手持示波器是电池供电的，与大地隔离，避免打静电时对示波器的测量产生干扰。

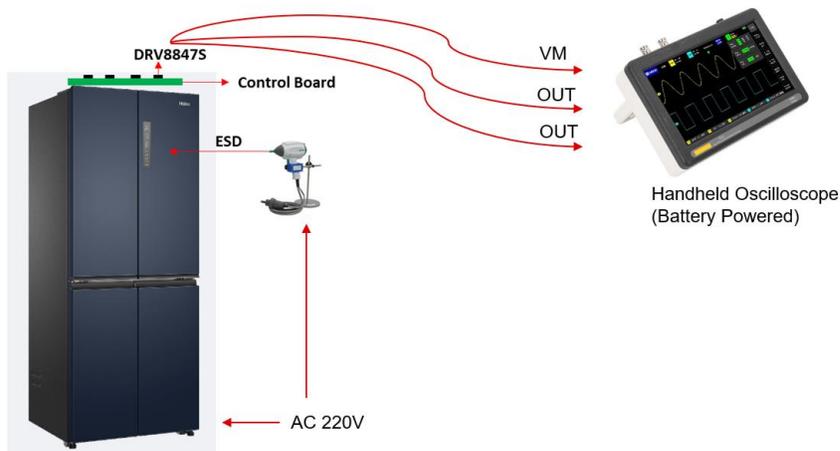


图 3 ESD 测试示意图

接下来研究静电路径，即冰箱前面板的静电是如何传导到控制板上导致芯片损坏的。由于冰箱的箱体是接地的，因此静电肯定不会通过箱体传导到控制板上。因此，比较有可能的就是通过风门驱动线、显示板电源线和信号线以及竖梁加热丝的电源线耦合到控制板上的。控制板上的主要线缆接口为 Connector1（风门驱动线），Connector2（显示板电源线及驱动线），Connector3（竖梁加热丝电源线），Connector4（AC 供电线）。只要把对应的 Connector 拔掉，就可以断开与之对应的线缆，这样静电就无法通过此路径耦合到控制板上，因此可以通过控制变量法研究每条线缆对 ESD 路径的影响。AC 供电线是无法断开的，不然整个冰箱会断电，因此始终保持 Connector4 处于连接状态。用示波器分别测量 DRV8847S 的 VM（CH1），OUT1（CH2），OUT2（CH3）和 OUT3（CH4），断掉 Connector1、Connector2 和 Connector3，在打静电时其波形如图 4 所示；使 Connector4 和 Connector1 处于连接状态，断开 Connector2 和 Connector3，在打静电时其波形如图 5 所示；使 Connector4 和 Connector2 处于连接状态，断开 Connector1 和 Connector3，在打静电时其波形如图 6 所示；使 Connector4 和 Connector3 处于连接状态，断开 Connector1 和 Connector2，在打静电时其波形如图 7 所示。

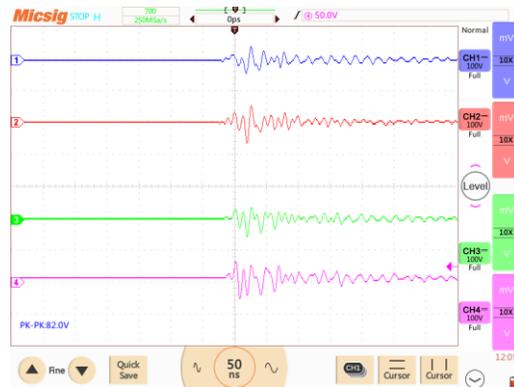


图 4 ESD 测试波形 1

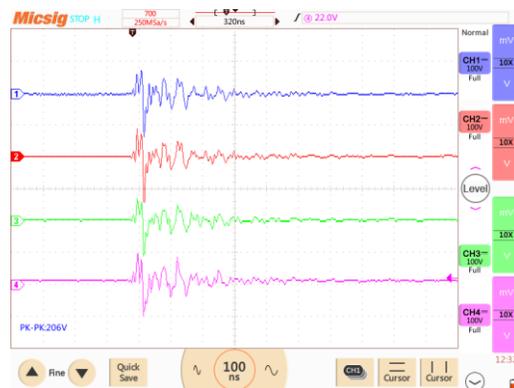


图 5 ESD 测试波形 2

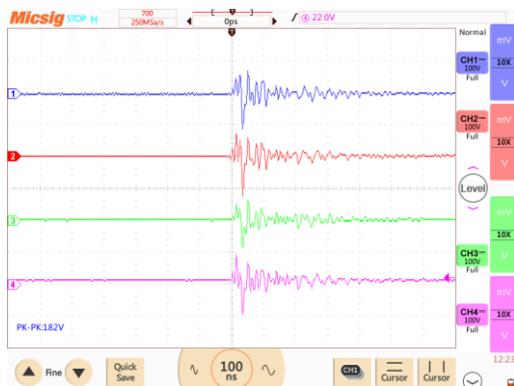


图 6 ESD 测试波形 3

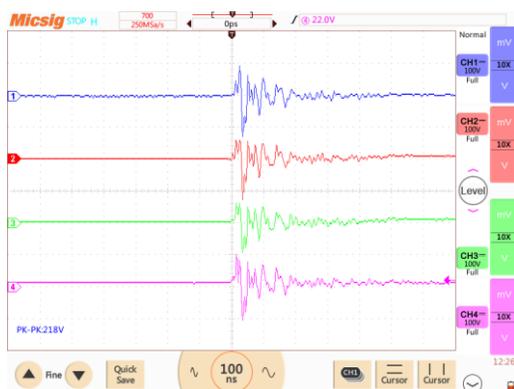


图 7 ESD 测试波形 4

表 1 为不同测试条件下的 ESD 幅值结果，将图 5、图 6 和图 7 的结果分别与图 4 进行对比，发现 Connector1、Connector2、Connector3 对应的线缆对 VM 和 OUT 影响都很大，因此可以得出结论：静电从冰箱面板传导到 DRV8847S 的引脚有多条路径，每条路径都会对 DRV8847S 引脚上的电压幅值产生影响，因此无法从根本上切断静电路径。并且，VM Pin 和 OUT Pin 的峰峰值都很大，因此必须对 VM、OUT1-OUT4 全都加以防护才能保证可靠性。

表 1 不同测试条件下的 ESD 幅值结果

	Connector1	Connector2	Connector3	Connector4	VM 峰峰值	OUT1 峰峰值
图 4	×	×	×	√	110V	120V
图 5	√	×	×	√	200V	230V
图 6	×	√	×	√	190V	180V
图 7	×	×	√	√	200V	190V

### 3 系统级静电防护方案

常用的静电防护方案为陶瓷电容、压敏电阻和 ESD 二极管。

陶瓷电容可以用来吸收静电，一般靠近 PCB 的连接器放置，其主要目的是吸收连接器引入的静电，防止静电进入 PCB，对 PCB 板上的电子元件造成潜在的损坏。它们通常是容值很小（最常见的是 0.1 $\mu$ F），0603 封装（足够大的物理尺寸，以避免静电击穿），中等电压(50V 和 100V 是最常见)的贴片陶瓷电容<sup>[2]</sup>。

压敏电阻也可以用来吸收静电，如图 8 所示，当电压高于定义的压敏电阻电压（类似于 TVS 击穿电压）时，压敏电阻的阻值就会突然下降，允许电流流过，以降低浪涌电压<sup>[3]</sup>。

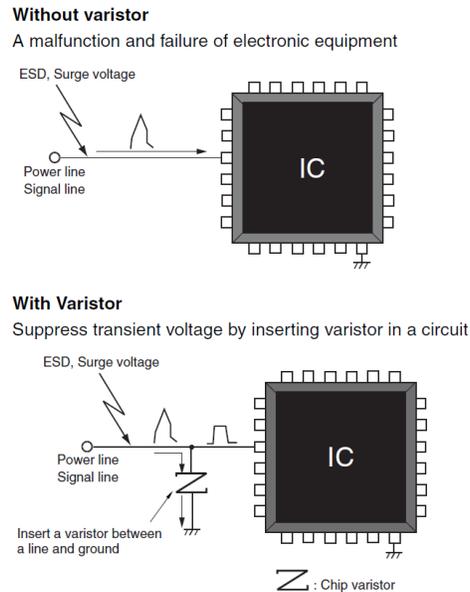


图 8 压敏电阻的静电保护功能

TVS 二极管专为静电防护设计，由一个 PN 结构成，该结会发生雪崩击穿现象，允许较大电流流过，以吸收静电能量，把电压钳位到较低水平，以保护电子器件。TVS 二极管的静电防护效果比陶瓷电容和压敏电阻都要好，因此本文用 TVS 二极管对静电进行防护。TVS 二极管的选择标准如下：

- (1) 极性：由于 DRV8847S 的供电和输出都为正值，因此选择单极性的 TVS 即可。当遇到正静电时，TVS 二极管反向钳位吸收能量；当遇到负静电时，TVS 二极管正向导通把能量泄放掉。
- (2) 反向工作电压：由于 DRV8847S 供电电压为 12V，因此选择反向工作电压为 14V 或 15V 比较合适。
- (3) 反向击穿电压：反向击穿电压高于反向工作电压，因此越低越好，由于 DRV8847S 的最高耐压为 20V，因此反向击穿电压一定要低于 20V。
- (4) 反向钳位电压：反向钳位电压高于反向击穿电压，在同等电流下越低越好，由于 DRV8847S 的最高耐压为 20V，因此反向钳位电压应尽可能低于 20V 或者不要超出 20V 太多。
- (5) 寄生电容：信号频率越高，应选择寄生电容越小的 TVS 二极管。本文应用中电机驱动频率很低，因此此参数不太关键。

- (6) 封装：封装越大，能耐受的静电能量越大，但是占用 PCB 面积较大，因此需要权衡考虑。
- (7) ESD 认证等级：IEC ESD 认证等级越高，其性能越好，TVS 二极管本身越不容易损坏。

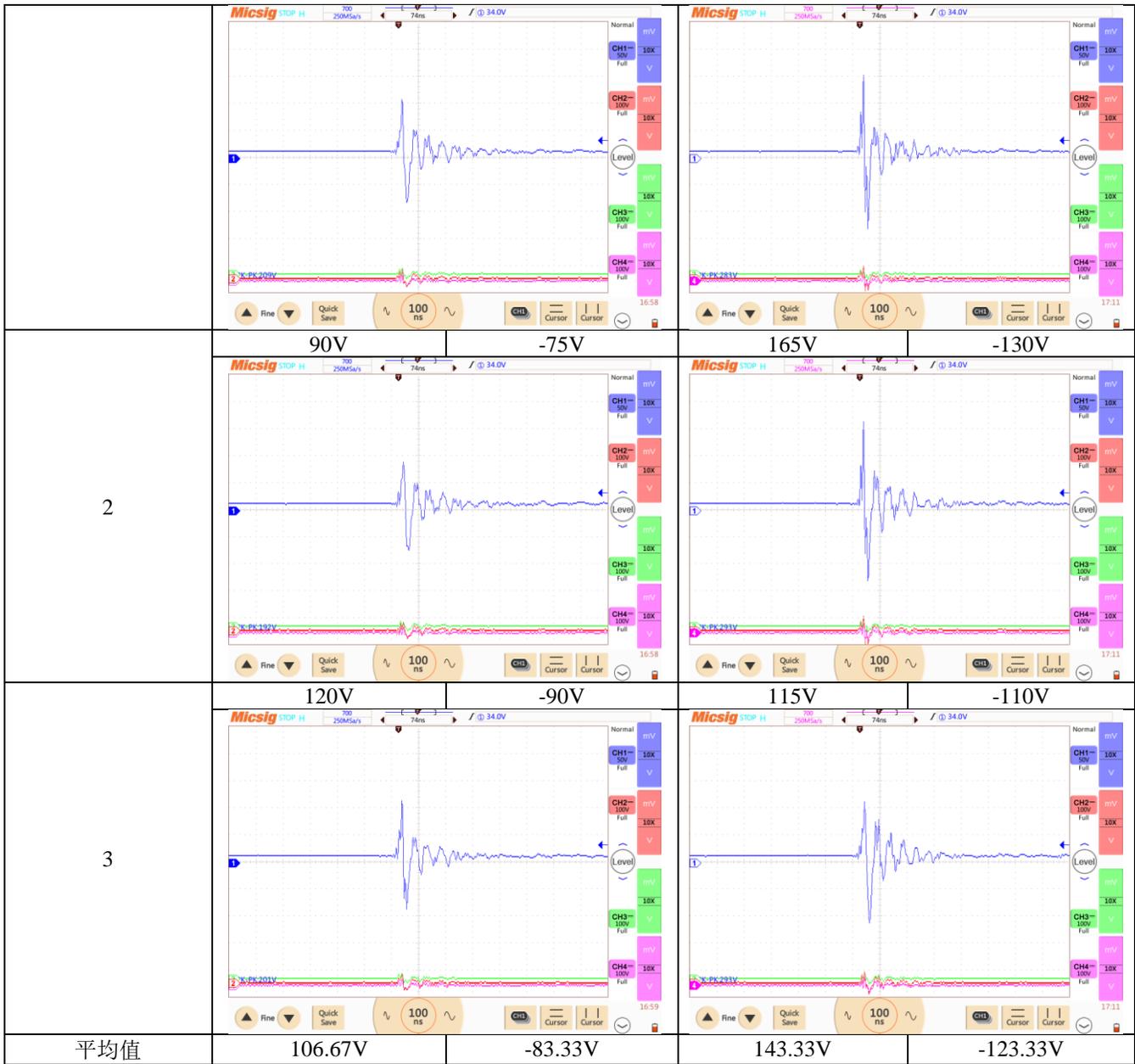
表 2 为典型 TVS 二极管的参数对比，按照如上标准最后选择 D15V0H1U2LP 进行测试，将其放在连接器附近，以提供更好的静电防护性能<sup>[4]</sup>。测试结果表明：在冰箱面板施加 ±15kV 接触放电时，无论有没有加 TVS 二极管，都不会导致 DRV8847S 的损坏。当把静电等级提高到 ±20kV 时，施加几次 ESD 就会导致 DRV8847S 损坏。将 5 个 D15V0H1U2LP 分别加到 VM 和 OUT1-OUT4 上之后，这几个 Pin 与 GND 之间就有了静电泄放路径，再次施加 ±20kV 接触放电 200 次，都不会导致 DRV8847S 损坏，因此证明了此防护方案的有效性。表 3 为 TVS 二极管对电压幅值的影响，当加上 TVS 二极管之后，其电压最大值和电压最小值都降低了 40V 左右，效果非常显著。由于静电放电瞬间干扰很大，即使用手持示波器测量也会受到影响，因此只需要关注加 TVS 前后的相对值，而无需求关注波形的绝对值。

表 2 TVS 二极管参数对比

	D15V0H1U2LP	D15V0HA1U2LP	BV-FE15ZS	BV-FE12ZS	D15V0HA1U2LP	VS15VUA1VWVM
Channel	1	1	1	1	1	1
Direction	UNIDIRECTIONAL	UNIDIRECTIONAL	UNIDIRECTIONAL	UNIDIRECTIONAL	UNIDIRECTIONAL	UNIDIRECTIONAL
Reverse Working Voltage	15V@100nA	15Vmax@100nA	15V@1uA	12V@1uA	15Vmax@100nA	15Vmax@100nA
Reverse Breakdown Voltage@1mA	16Vmin, 19Vmax	16Vmin, 19.5Vmax	16.5Vmin	13.3Vmin	16Vmin, 19.5Vmax	16.2Vmin, 18.3Vmax (IT=20mA)
Reverse Clamping Voltage	22Vmax@5A	20Vtyp@10A	22Vmax@10A	18Vmax@10A	20Vtyp@10A	
	27Vmax@10A	23Vtyp@20A	30Vmax@65A	25Vmax@80A	23Vtyp@20A	24.4Vmax@8.2A
IPP(8/20us)	12A	20A	65A	80A	20A	8.2A
Peak Pulse Power Dissipation	300W	460W	1950W	2000W	460W	200W
Input Capacitance	70pF typ	95pF typ	300pF typ	350pF	95pF	90pF
IEC 61000-4-2 Air	±30kV	±30kV	±30kV	±30kV	±30kV	±30kV
IEC 61000-4-2 Contact	±30kV	±30kV	±30kV	±30kV	±30kV	±30kV
Package	1mm*0.6mm	1mm*0.6mm	1.6mm*1mm	1.6mm*1mm	1mm*0.6mm	2.5mm*1.3mm

表 3 TVS 二极管对电压幅值的影响

次数	加 TVS 二极管		不加 TVS 二极管	
	Vmax	Vmin	Vmax	Vmin
1	110V	-85V	150V	-130V



#### 4 小结

电机驱动芯片的静电防护至关重要的，不然会导致芯片损坏，因此必须对电机驱动芯片的系统级静电防护方案进行研究。本文首先介绍了电机驱动芯片在冰箱中的应用及面临的挑战，然后实测了 ESD 发生时电机驱动芯片各关键引脚的波形，最后提出了切实可行的静电防护方案，从而为其他设计者提供借鉴。

## 参考文献

- [1]. DRV8847S Datasheet. <https://www.ti.com/lit/gpn/tps548c26>
- [2]. 什么是 ESD 电容. <https://www.digikey.cn/zh/forum/t/topic/291>
- [3]. TDK Chip Varistors.  
[https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/protection/voltage/varistor\\_ctvs/catalog/vpd\\_automotive\\_varistors\\_avr\\_en.pdf](https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/protection/voltage/varistor_ctvs/catalog/vpd_automotive_varistors_avr_en.pdf)
- [4]. Design considerations for system-level ESD circuit protection. <https://www.ti.com/lit/an/slyt492/slyt492.pdf>

## 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