

# 将 **TPS65381** 与 **Hercules™** 微控制器对接

Haixiao Weng

MCU Safety Application

## 摘要

此应用报告为设计一个具有 **Hercules** 安全微控制器和 **TPS65381** 电源的安全系统提供帮助。此文档解释了硬件注意事项和软件流程图。

本应用报告中讨论的项目附件和源代码可以从以下的 URL 中下载：<http://www.ti.com/lit/zip/spna176>。

## 内容

1	简介 .....	1
2	硬件接口 .....	2
3	软件流程图 .....	4
4	排错提示 .....	7
5	示例 .....	7
6	参考书目 .....	8

## 图片列表

1	具有德州仪器 (TI) TMS570/RM4x 的示例 TPS65381 .....	3
2	电路上以仿真 IGN 脉冲 .....	4
3	示例中的 WDT 响应时序 .....	6

## 1 简介

**Hercules** 安全微控制器平台包含 3 个基于 ARM® Cortex™ 的微控制器系列：TMS470M，TMS570 和 RM4x。**Hercules** 平台专门设计用于 IEC 61508 和 ISO 26262 安全关键型应用，它可以提供先进的集成安全特性，同时提供可扩展的性能、连通性和内存选项。

**TPS65381** 是一款多轨电源，此电源设计用于为诸如车载安全应用中的微控制器供电。

这份应用报告讨论了如何将 **Hercules MCU** 和 **TPS65381** 集成在一起。硬件和软件示例应用到 **RM46** 控制卡上。

## 2 硬件接口

图 1 显示了 TPS65381 和一个 Hercules MCU 之间的方框图和连接；它复制自《安全应用数据表内用于微控制器的 TPS65381-Q1 多轨电源》(SLVSBC4)。RM46 控制卡设计遵循具有以下差异和突出重点的建议：

- 在图 1 中，在控制卡使用 SPI2 进行与 TPS65381 进行通信时，MCU 侧的 SPI 接口是 MIBSPI1, 3, 5。

TPS65381 可以接受 SPI 兼容性和 MiSPI 模式。在 RM46 控制卡中，MiSPI 被保留用于母板，MiSPI3 被用于 MCU 与桥式驱动器之间的通信，而 MibSPI5 与以太网复用。所以，SPI2 被指定与 TPS65381 通信。

如果 MibSPI 被使用，可通过将几个 SPI 传输组合为一个 MibSPI 传输来减少 CPU 负载 (RM46)。例如，这四个问答安全装置应答可被组合在一个 MibSPI 传输内。请注意，两个邻近 16 位数据（在一个 MibSPI 传输数据帧）之间的缺省 SPICS 无效时间大大短于 TPS65381 能够处理的 SPICS 无效时间。

- 在图 1 中，在控制卡使用 3.3V 用作 VCCAD 输入时，VCCAD 被接至 5V。

这个设置取决于您的系统。在这个系统中，由于来自 DRV8301 母板的模数转换器 (ADC) 输入在 [0, 3.3V] 的范围内调整，一个 3.3V VCCAD 和 VREFHI 能够实现最佳动态范围和准确度。

- 在控制板上，在 DIAG\_OUT 上添加一个 10nF 电容器。

需要一个 10nF 至 33nF 电容器，否则的话，DIAG\_OUT 上的模拟电压不能被正确测量。

- 在控制板上，一个 DIP 开关被放置在 TPS65381（引脚 NRES, ENDRV）和 Hercules 器件（引脚 nPORRST, GIOA4）之间，这样用户能够选择 ON（连接）或 OFF（断开）。

这个 DIP 开关只用于调试。如果 TPS65381 内的安全装置没有正常运转，TPS65381 有可能持续复位 MCU。借助于这个 DIP 开关，在调试阶段，您可以在饱和发生时断开 NRES 和 MCU nPORRST。

在生产阶段，由于正确的闪存镜像已经被写入器件，不在需要这个 DIP 开关。如果需要在生产后重新编辑一个系统，应用引导加载程序能够强制 TPS65381 处于诊断模式中，重新编辑闪存，并且在编程完成后变为激活模式。

- 在控制卡上，一个 500Ω 外部上拉电阻器被添加到 ENDRV 引脚 (TPS65381)。

TPS65381 ENDRV 引脚内部上拉电阻器为 4.87kΩ。你必须考虑高端或低端驱动器侧的电阻值以及桥式驱动器的时序要求。如果这个 4.87kΩ 不能足够快的将电路上拉，需要一个缓冲器或一个外部上拉电阻器。

RM46 控制卡与 DRV8301 母板一同工作，此母板在这个引脚上由一个 1kΩ 下拉电阻器。控制卡上的 500Ω 电阻器被执行用来对抗这个 1kΩ 下拉电阻器。实际上，从技术角度讲，最好拆除 DRV8301 板上的下拉电阻器，但是不能改动此电路板。

- 在 RM46 控制卡中由一个圆柱式连接器，而所有 C2000™ 控制卡由母板供电（例如，DRV8301）。

TPS65381 要求最小为 5.8V 的电源，而 DRV8301 母板只能提供 5V 电源。因此，必须分别提供电源。

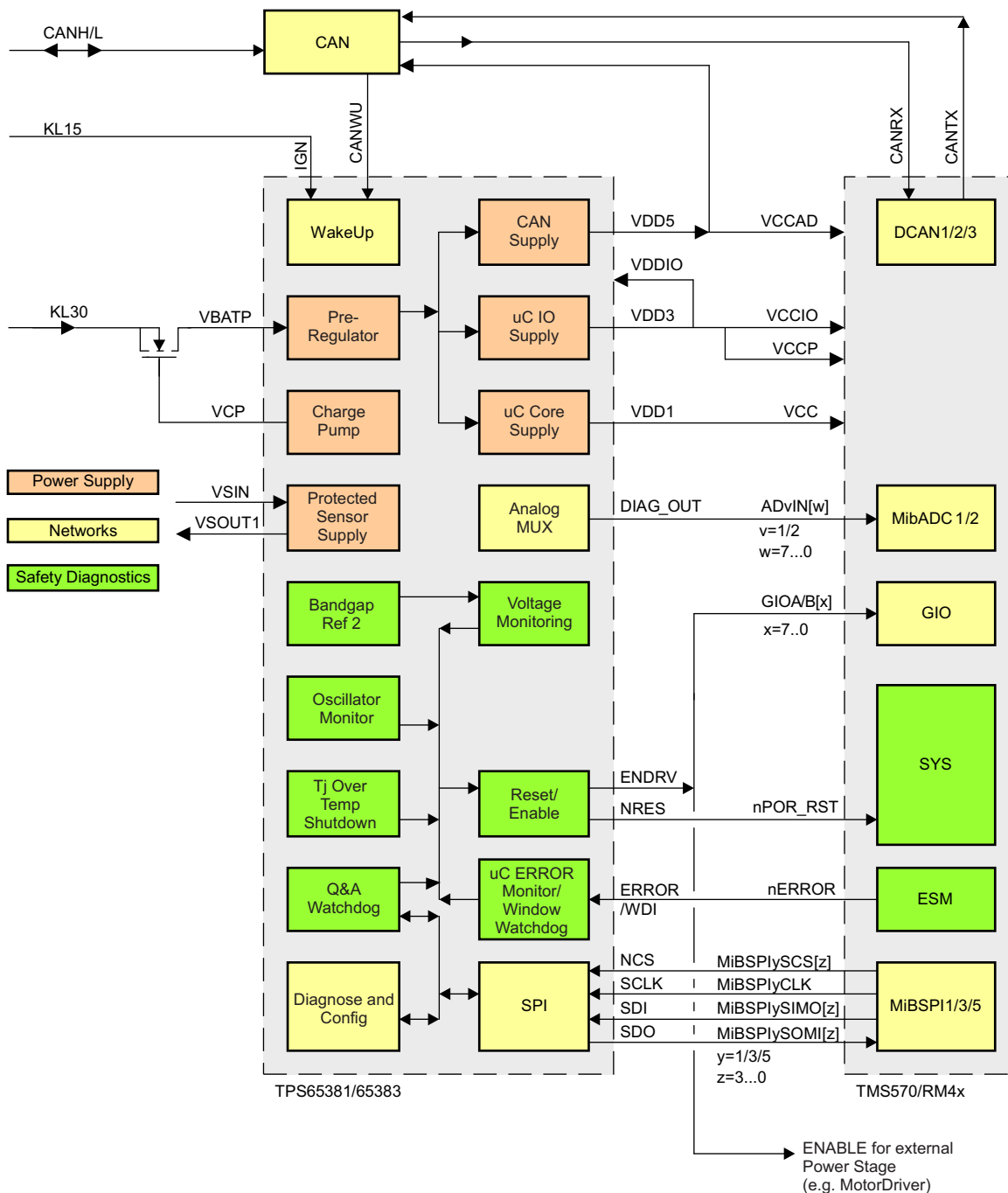


图 1. 具有德州仪器 (TI) TMS570/RM4x 的示例 TPS65381

- 在控制卡中，以下的电路被添加以仿真一个点火脉冲。TPS65381 的 IGN 输入应该在电源（图 2 中的 VBAT，TPS\_POW）达到 5.8V 前应该保持低电平。否则，您必须再次接通 IGN 脉冲以使 TPS65381 正常工作。在 IGN 引脚上有内部延迟和去毛刺脉冲。然而，如果电源斜升极低（从 0V 至 5.8V 的 300ms 上升时间），这个内部延迟不够长，而需要一个启动复位电路（请见图 2）。否则，NRST 会在 VBAT 达到 5.8V 前被释放，而且会导致一个 TPS65381 内置自检 (BIST) 故障。为了使其简化，如果以下情况发生时，这个电路可被拆除：

  - 电源斜升比较快（例如，从 0V 至 6V 30ms）；或者
  - 此应用能够在晚些时候将一个点火脉冲应用到

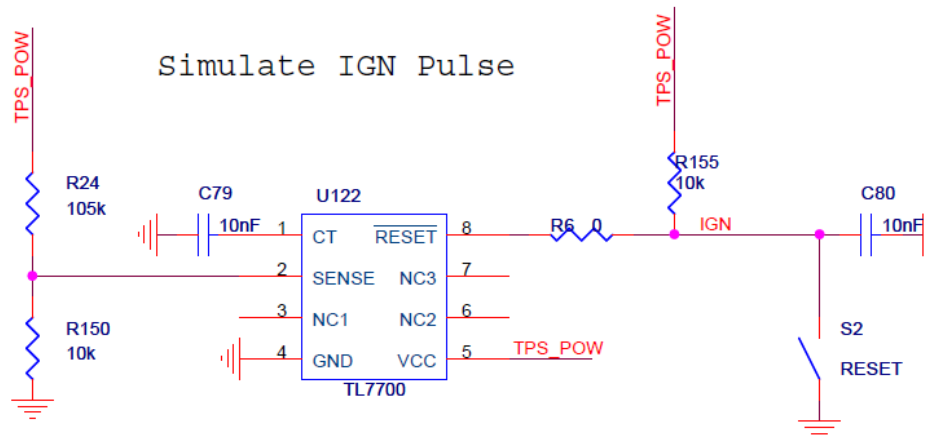


图 2. 电路上以仿真 IGN 脉冲

### 3 软件流程图

这部分提供了如何配置具有 Hercules 器件的 TPS65381 的分步注释。

#### 1. 初始化 SPI 模块。

请确保针对 SPICLK 的 TPS65381 最大速度是 5MHz (3.3V 系统)，而最小建立时间 NCS ( $t_{sucs}$ ) 和保持时间 NCS ( $t_{hcs}$ ) 为 45ns。SPI 模块缺省设置 (复位后) 不满足这个要求。请注意，SPI 传输无效时间 ( $t_{hlcs}$ ) 应该至少为 2-3 个系统时钟周期 (典型值 250ns)。这个应用编码必须设定 MCU 一侧内 SPI 数据格式寄存器 (SPIFMT0) 内的 `wdelay` 字段以满足这个 70ns 要求。

随附的示例调用 `spiInIt()` 函数来初始化 SPI2。

```
spiInIt();
```

#### 2. 强制 TPS65381 保持在诊断状态。

随附的示例调用 `ecmpInIt` 来强制 TPS65381 保持在诊断状态。在这个函数内部，Hercules 将 TPS65381 `SAFETY_CHECK_CTRL` 寄存器设定为 0x17。

```
ecmpIfSetRegister(ECMP_SAFETY_CHECK_CONTROL, 0x17);
```

#### 3. 将 TPS65381 配置为问答安全装置模式和 Hercules 错误引脚模式。

下面 `ecmpInIt()` 内的编码将 TPS65381 配置为问答模式和 Hercules 错误引脚模式。

```
ecmpIfSetRegister(ECMP_SAFETY_FUNCTION_CONFIG, 0xE4);
```

#### 4. 例如，执行诊断测试，驱动 DIAG\_OUT 引脚至 MCU 的 ADC 模块。

随附的示例将电压监控带隙 (VMON\_BG) 驱动至 RM46 ADIN0 引脚以检查它是否在 [2.2V, 2.8V] 范围内。

```
ecmpDiagMuxOutputMode(2); //analog output
ecmpDiagMuxSelectSignal(0x80); //select VMON Bandgap
```

```

ecmpDiagMuxEnable();
for(temp=0;temp<20000;temp++); //add some delay so that the output is stable
adcInit();
adcStartConversion(adcREG1,1);
while(adcIsConversionComplete(adcREG1,1)==0);
adcGetData(adcREG1,1, ADC_Group1);
if((ADC_Group1[0].value <2731) || (ADC_Group1[0].value > 3475))
{
//VMON_BG is out of [2.2v 2.8v]
sciSend(scilinREG, 28, (uint8_t *) "\r\nVMON_BG is out of range!\r\n");
while(1);
}

ecmpDiagMuxDisable();
    
```

5. 强制程序进入一个无限循环。

这个步骤只用于调试用途，并且应该在生产中被移除。调试期间，您可以使用 **Code Composer Studio™**（或其它 IDE）连接至器件，并且将程序计数器 (PC) 移动到下一个指令以运行程序。

```
asm(" b #-8")
```

6. 将 MCU 安全装置触发器同步至安全装置定时器。

在处理安全装置前，应用编码必须将 MCU 安全装置触发器与安全装置定时器同步（在 TPS65381 内）。在随附的示例中，应用编码在安全装置超时前不处理安全装置。（问答开窗口在安全装置超时后启动）。

```
while (ecmpIfGetBit(ECMP_WDG_STATUS, 2) == 1);
```

注： 这个操作应该在安全装置超时发生前，在配置安全装置定时器或安全装置模式后立即执行。

7. 处理安全装置。

(a) 安全装置应答计算。

函数 **ecmpSendWdgAnswer(void)** 读取安全装置令牌和安全装置状态寄存器以计算安全装置应答。此算法显示在《用于安全应用数据表内微控制器的 TPS65381-Q1 多轨电源》(SLVSB4) 内的安全装置令牌值响应计算（或安全装置应答计算）图。

```

void ecmpSendWdgAnswer(void)
{
    unsigned short answer;
    unsigned short token0 = ecmpIfGetRegister(ECMP_WDG_TOKEN) & 0xF;
    unsigned short token1 = (token0 >> 1) & 1;
    unsigned short token2 = (token0 >> 2) & 1;
    unsigned short token3 = (token0 >> 3);
    unsigned short aswCnt0 = (ecmpIfGetRegister(ECMP_WDG_STATUS) >> 6) & 3;
    unsigned short aswCnt1 = (aswCnt0 >> 1) & 1;

    token0 &= 1;
    aswCnt0 &= 1;

    answer = (token0 ^ (aswCnt1 ^ token3)) |
             ((token0 ^ aswCnt1 ^ (token1 ^ token2)) << 1) |
             ((token0 ^ aswCnt1 ^ (token3 ^ token1)) << 2) |
    
```

```

        ((token2 ^ aswCnt1 ^ (token0 ^ token3)) << 3) |
        ((token1 ^ aswCnt0) <, 4) |
        ((token3 ^ aswCnt0) << 5) |
        ((token0 ^ aswCnt0) << 6) |
        ((token2 ^ aswCnt0) << 7);

    ecmpIfSetRegister(ECMP_WDG_ANSWER, answer);
}
    
```

这个函数正在计算一个应答，并且需要在安全装置周期内被调用 4 次。在每个应答生成后，此应答被发送至 TPS65381 来递减应答计数器。然后，此函数可被调用来计算下一个应答。这个函数只针对 WDT\_TOKEN\_FDBCK [7:4] = 0（缺省条件）有效。

(b) 在 MCU 一侧触发安全装置。

为了在正确的窗口内处理安全装置，随附的两个示例略有不同。在项目 CCS\_RM46\_NoRTOS 内，安全装置触发器由 RTI 中断控制。RTI 中断处理例程 (ISR) 调用 `ecmpSendWdgAnswer()` 来处理安全装置。项目 CCS\_RM46\_FreeRTOS 创建一个任务 `vTaskSendWdgAnswer` 来处理安全装置。此安全装置触发器由 `vTaskDelay` 函数控制。

在两个情况下，MCU 用与图 2 中显示的时间戳来处理安全装置。它在开窗口的中间提供 3 个开窗口安全装置响应，并在关闭的窗口启动后 5ms 提供第四个响应。正如《安全应用数据表内用于微控制器的 TPS65381-Q1 多轨电源》(SLVSBC4) 中提到的那样，“在这个最终正确的 SPI WD 令牌响应后，下一个令牌将在 1 个系统时钟周期（典型值 250ns）内生成，这之后，下一个 WD 开窗口（问答 + 1）启动”。因此，当第四个响应被提供时，MCU 和 TPS65381 安全装置被同步。

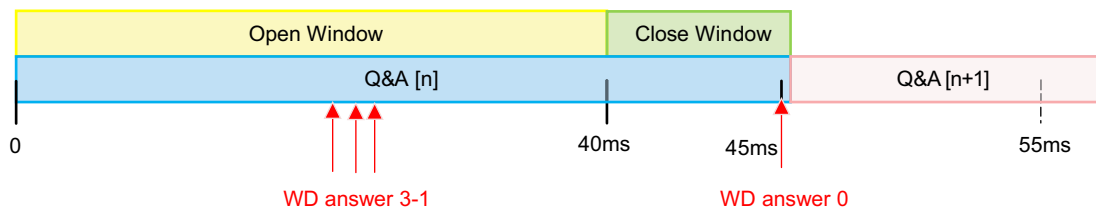


图 3. 示例中的 WDT 响应时序

(c) 进入激活状态。

一旦安全装置故障计数器减少为零，示例编码

(i) 启用安全装置复位。

```
ecmpEnableWdg()
```

(ii) 强制 MCU 离开诊断模式。

```
ecmpLeaveDiagnosticState()
```

除了强制 TPS65381 离开诊断状态，此函数清除错误状态寄存器（如果这个寄存器不等于零，那么 TPS65381 将进入安全状态）并且启用 ENDRV 信号。

## 4 排错提示

**Q.** 我的程序无法进入诊断状态。它停留在：

```
while (ecmpIfGetBit(ECMP_WDG_STATUS, 2) == 1);
```

**A.** 请确保 DIP 开关 PORRST 的位置为“on”。如果它的位置是“off”，MCU SPI 也许在 TPS65381 就绪前（正在自检）发送命令。这之后，为电路板断电再加电或者按下 PORCYC 按钮 (S2) 来生成一个 IGN 脉冲。

**Q.** 在 CCS 中编辑 RM46 器件并单击“run”后，它进入安全状态。

**A.** 通常情况下，在编辑闪存后，您需要为电路板断电后再加电以使编码正确运行。TPS65381 不能在没有复位器件的情况下从安全状态返回到诊断或激活状态。推荐的调试顺序为：

- 1) 编辑闪存。
- 2) 确保 DIP 开关 nPORRST 的位置为“on”。
- 3) 为电路板断电后再加电。
- 4) 连接 Code Composer Studio。现在编码应该停止在：

```
asm(" b #-8")
```

- 5) 移动 PC 至下一条指令。
- 6) 在 Code Composer Studio 中单击“run”。

**Q.** TPS 器件一直复位 MCU（PRST 橙色 LED 闪烁），我该怎么办？

**A.** 关闭 PORRST DIP 位置。或者，按住 nRST 按钮 (S1)，按下或释放 PORCYC 按钮 (S2)，一秒钟后，释放 nRST 按钮。通过这些操作，TPS65381 器件将被强制进入安全状态，nPORRST 在这里为高电平，3.3V 和 1.2V 正常提供，ENDRV 被驱动为低电平。然后，您可以重新写入器件闪存。

**Q.** 我的编码在没有优化的情况下运转良好。然而，在我启用优化后，TPS65381 安全装置故障，并且将 MCU 复位，这是怎么了？

**A.** 初始化时，两个相邻 SPI 传输间的时间会变短。检查  $t_{hlcs}$ ，两个邻近 SPI 传输之间的最小 CS 高电平时间。在 Hercules 器件上，可通过 SPI 发送数据寄存器 (SPIDAT1) 和 SPI 数据格式寄存器 (SPIFMT[0-2]) 来调整这个值。建议将 SPIFMT 寄存器内的 wdelay 字段设定为 0x3F（80MHz 的 VCLK），作为效率和时序裕量之间的均衡。有关详细信息，请参阅 5 节。

## 5 示例

提供了两个例子来演示基于 RM46 控制卡的 TPS65381 安全驱动器：一个 FreeRTOS 项目和一个 NoRTOS 项目（没有任何 RTOS）。FreeRTOS 和 NoRTOS 项目支持超级终端（19200 波特率、两个停止位且无奇偶校验）。这个部分简要解释了这三个项目是如何生成的。

### 5.1 FreeRTOS 项目

1. 用 HalCoGen 03.02.02 打开 FreeRTOS\_CCS\_RM46.hcg，从而生成编码。（由于 HalCoGen 03.02.02 不支持 RM46 FreeRTOS，所以使用 RM48 FreeRTOS 模板）
2. 将 os\_app.c, ecmp\_if.c 和 ecmp.c 复制到源代码；将 ecmp\_if.h 和 ecmp.h 复制到 include；
3. 修改 sys\_main.c 和 notification.c。所有修改都在 /\* USER CODE BEGIN \*/和/\* USER CODE END \*/之间。

## 5.2 NoRTOS 项目

1. 用 HalCoGen 03.02.02 打开 NoRTOS\_CCS\_RM46.hcg，生成编码。
2. 将 ecmp\_if.c 和 ecmp.c 复制到源代码；将 ecmp\_if.h 和 ecmp.h 复制到 include；
3. 修改 sys\_main.c 和 notification.c。所有修改可在/\* USER CODE BEGIN \*/和/\* USER CODE END \*/之间找到。

## 6 参考书目

- 《RM46x 16/32 位精简指令集计算机 (RISC) 闪存微控制器技术参考手册》([SPNU514](#))
- 《RM46L852 16/32 位精简指令集计算机 (RISC) 闪存微控制器数据表》([SPNS185](#))
- 《安全应用数据表内用于微控制器的 TPS65381-Q1 多轨电源》([SLVSB4](#))



## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司