

# 带有线路补偿功能的车载 USB 充电器的设计

Jacky Zhang; Osial Ou

China Power Reference Design Team

## 摘要

随着智能手机和平板电脑的普及以及随之而来的高功耗，此类设备的电池大多只能保持一天的使用。越来越多的场合和设备配备了一个或多个 USB 充电端口，而车载 USB 充电器是其中重要的组成部分。由于车身体积较大，车内线路较长，USB 充电端口的电压可能随着线路的阻抗而减小从而造成充电电流不足。本文介绍了一种带有线路补偿功能的车载 USB 充电器的设计，使得 USB 充电端口的电压随着电流的增大而提高，实现了 USB 充电电压的恒定，保证了 USB 端口的充电电流。

## 内容

1	电源方案介绍.....	2
2	DC/DC Buck 变换器的设计.....	2
3	线路补偿电路的设计与计算.....	3
4	输出充电管理.....	5
5	测试结果.....	6
	5.1 效率测试.....	6
	5.2 线路补偿效果.....	7
	5.3 Ipad 充电电压电流对比.....	8
6	结论.....	8

## Figures

Figure 1.	车载 USB 充电器框图.....	2
Figure 2.	LM25117-Q1 控制的同步 Buck 变换器.....	3
Figure 3.	电流采样及放大电路.....	3
Figure 4.	TPS2546-Q1 充电管理电路原理图.....	6
Figure 5.	19Vin 效率曲线.....	6
Figure 6.	w/o 线路补偿曲线.....	7
Figure 7.	Ipad 充电电压电流对比.....	8

## 1 电源方案介绍

整个电源由 LM25117-Q1 控制的降压变换器，INA213-Q1 与电流采样电阻构成的电流放大电路以及 TPS2546-Q1 控制的充电管理三部分组成。图 1 是整个设计的框图。

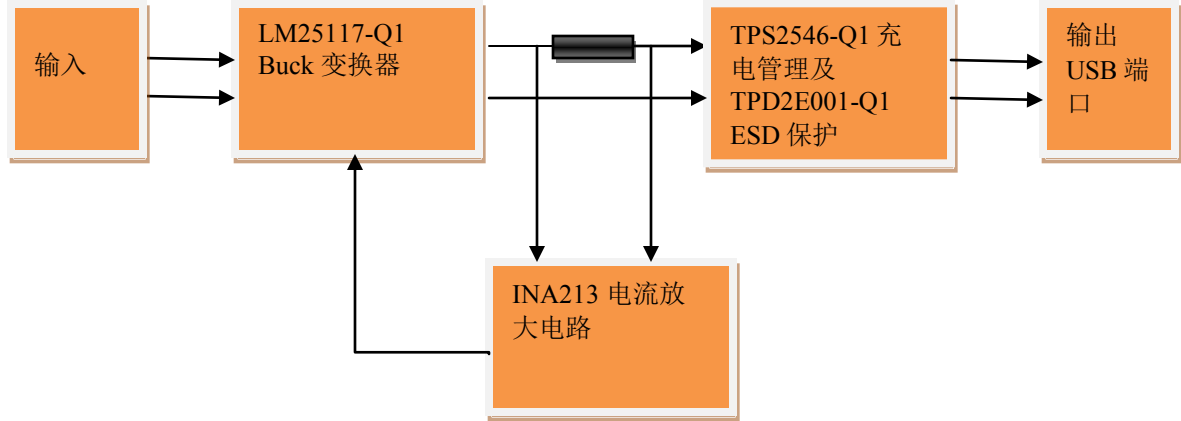


Figure 1. 车载 USB 充电器框图

## 2 DC/DC Buck 变换器的设计

主功率级采用了 TI LM25117-Q1 控制的同步 Buck 变换器。LM25117-Q1 是一款汽车级产品，它提供了功率电路所需要的各种保护，包括可调节输入欠压，过流及短路以及过温保护。另外，LM25117-Q1 可以模拟二极管控制，通过外部设定，使得同步 buck 变换器在轻载时候模拟二极管工作，在检测到下管有反向电流时，关闭下管，提高了变换器的轻载效率。Buck 功率计的设计有很多详细的设计过程，在这里不作介绍。

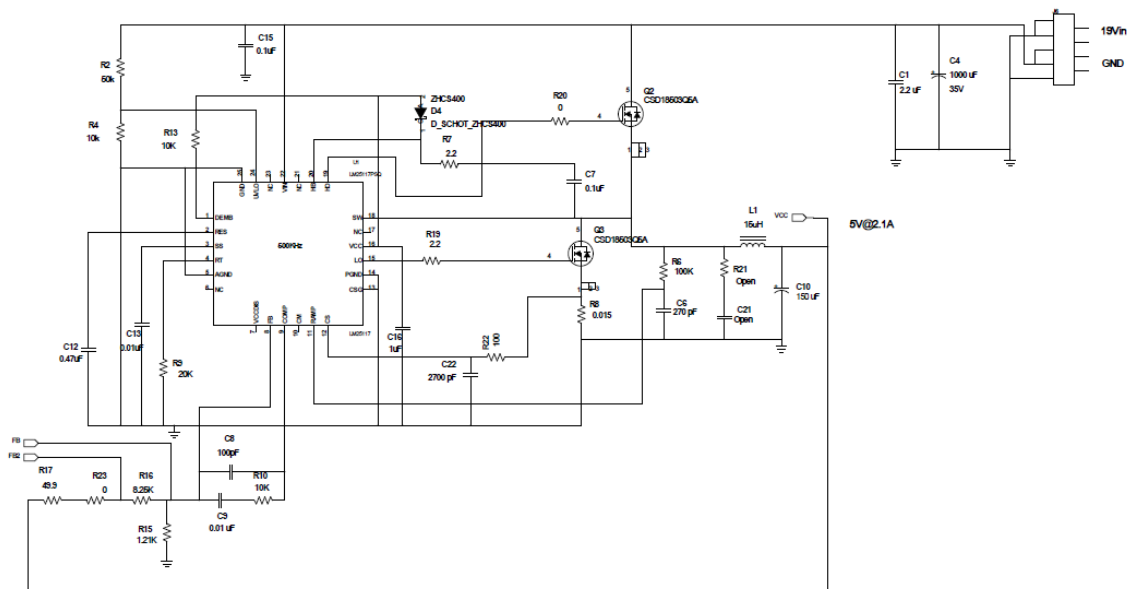


Figure 2. LM25117-Q1 控制的同步 Buck 变换器

### 3 线路补偿电路的设计与计算

为了实现线路补偿的目的，一个 10 毫欧的电路串联在变换器输入做电流采样，电流采样信号经过 INA213A-Q1 放大，将放大的电流信号参与反馈，电流越大，输出电压越高，达到线路补偿的目的。INA213A-Q1 是一款增益固定为 50 的高精度放大器。由其构成的电流采样及放大电路如图 3。

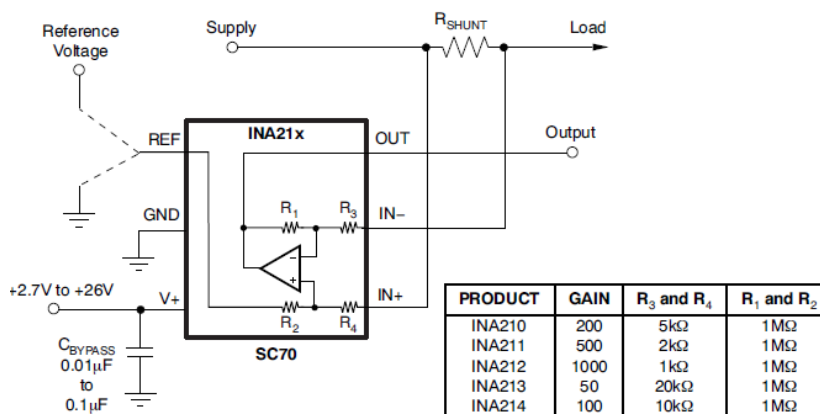


Figure 3. 电流采样及放大电路

使用 mathcad 作为设计工具，计算反馈电阻的各个阻值：

输出线路补偿的目标为:

$$V_{omin}=5.1V$$

$$V_{omax}=5.6V$$

$$I_{omin}=0A$$

$$I_{omax}=2.1A$$

$$R_s=0.01\Omega$$

$$R_{15}=1.21k\Omega$$

$$V_{ref}=0.8V$$

参看图 2 和 3, 可作出如下等式

$$\frac{V_{omin} - V_{ref}}{R_{16}} + \frac{\frac{V_{omin}}{2} - V_{ref} - R_s * I_{omin} * 50}{R_{26}} = \frac{V_{ref}}{R_{15}}$$

$$\frac{V_{omax} - V_{ref}}{R_{16}} + \frac{\frac{V_{omax}}{2} - V_{ref} - R_s * I_{omax} * 50}{R_{26}} = \frac{V_{ref}}{R_{15}}$$

由以上两等式, 可以得出 **R16** 以及 **R26** 的值。使得在 **2.1A** 输出电流时, 端口电压达到 **5.6V**。由于输出阻抗各有不同, 端口电压所需要的最大电压也会有所不同, 只需要微调反馈参数即可得到期望的输出电压。

Mathcad 计算过程如下:

$V_{omin} := 5.1V$        $V_{omax} := 5.6V$   
 $I_{omin} := 0A$        $I_{omax} := 2.1A$   
 $R_s := 0.01\Omega$        $R_{15} := 1.21 \cdot 10^3 \Omega$   
 $V_{ref} := 0.8V$   
 $R_{16} := 1\Omega$        $R_{26} := 1\Omega$

Given

$$\frac{V_{omin} - V_{ref}}{R_{16}} + \frac{\frac{V_{omin}}{2} - V_{ref} - R_s \cdot I_{omin} \cdot 50}{R_{26}} = \frac{V_{ref}}{R_{15}}$$

$$\frac{V_{omax} - V_{ref}}{R_{16}} + \frac{\frac{V_{omax}}{2} - V_{ref} - R_s \cdot I_{omax} \cdot 50}{R_{26}} = \frac{V_{ref}}{R_{15}}$$

$$\text{Find}(R_{16}, R_{26}) = \begin{pmatrix} 8.158 \times 10^3 \\ 1.305 \times 10^4 \end{pmatrix} \Omega$$

## 4 输出充电管理

TPS2546-Q1 是一款汽车级产品，具有集成的 USB 2.0 高速数据线路(D+/D-) 开关的 USB 充电端口控制器和电源开关。TPS2546-Q1 支持 BC1.2 的 SDP/CDP, DCP 模式，也支持非 BC1.2 标准的快速充电模式，比如 D+/D-分配模式 2.0V/2.7V 和 2.7V/2.0V、D+/D- 1.2V 模式。

在本设计中，TPS2546-Q1 配置成 DCP-Auto 模式（CTL1=0, CTL2=1, CTL3=1, ILIM\_SEL=1），该模式支持 BC1.2 DCP 及非 BC1.2 标准快速充电模式的自动切换，能支持目前世界上主流智能手机、平板电脑快速充电。处于该模式下，当充电电流超过负载检测电流阈值（ $I_{LD}$  典型值 700mA）时，STATUS 被拉低，LED 灯 D3 会点亮。当充电电流下降到典型值 650mA，3 秒之后，D3 会熄灭。

根据数据手册，选在 22.1k $\Omega$  的电阻 R11 连接到 ILIM\_HI 脚，设置限流值典型值为 2.275A，最小值为 2.12A，最大值为 2.43A，以支持最大 12W（5V, 2.1A）的充电功率。

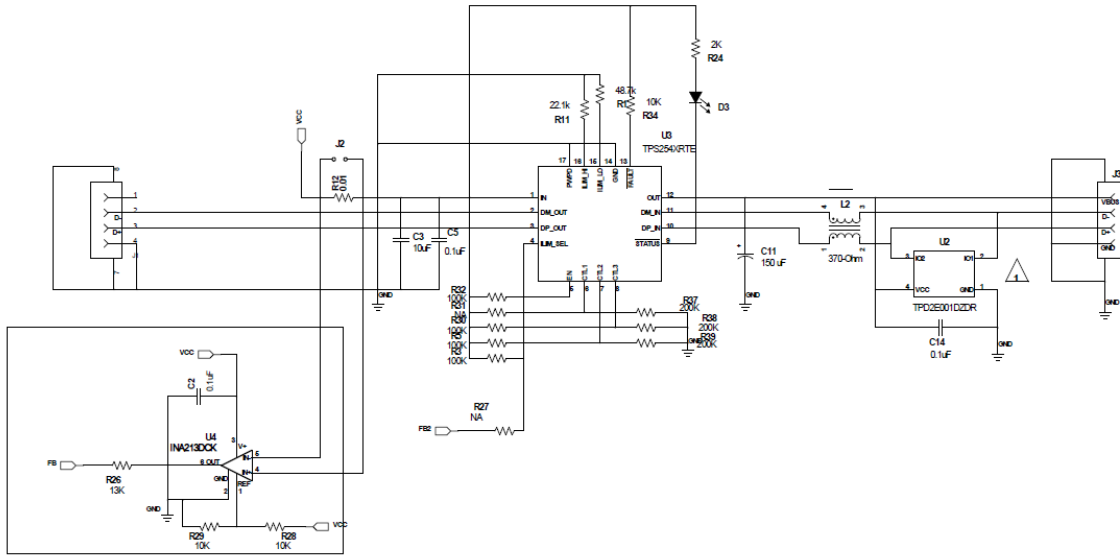


Figure 4. TPS2546-Q1 充电管理电路原理图

## 5 测试结果

根据以上分析和设计，制作了样机并验证其性能，实验结果如下。

### 5.1 效率测试

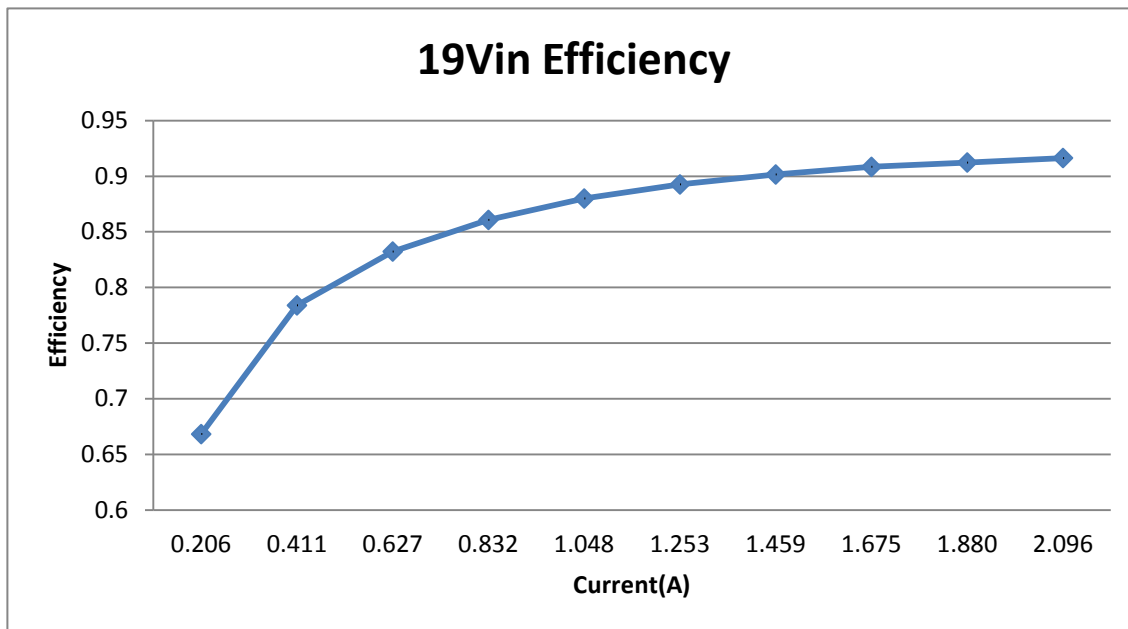


Figure 5. 19Vin 效率曲线

## 5.2 线路补偿效果

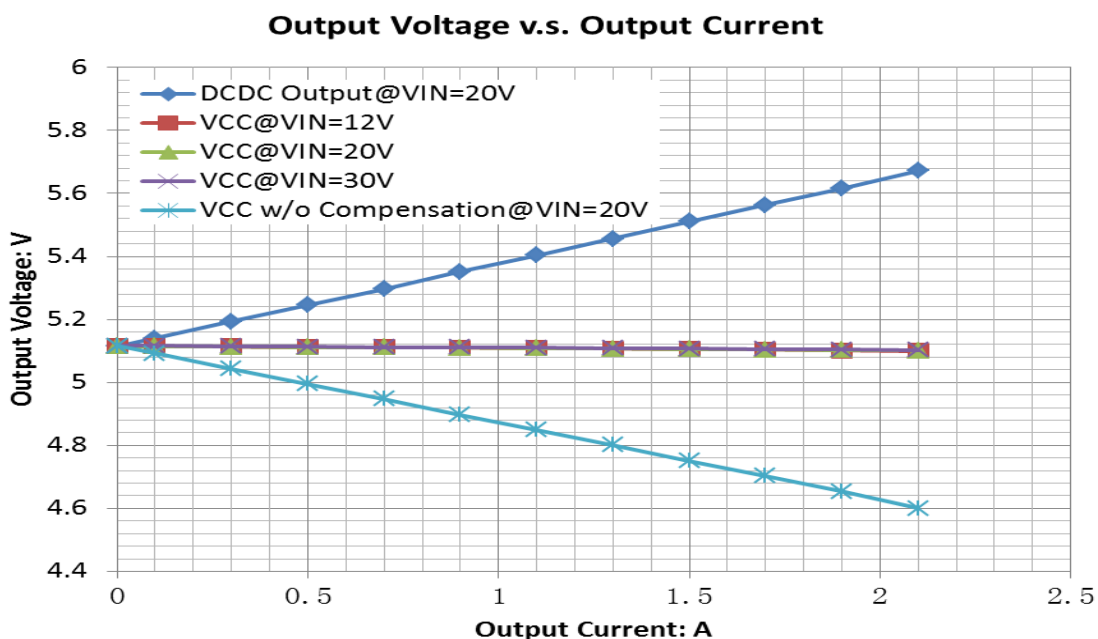


Figure 6. w/o 线路补偿曲线

图 6 中给出了 DC/DC 输出端口的电压以及不同 12V、20V 以及 30V 输入电压下的线端电压，还包括了 20V 输入电压时，未加线路补偿时，线端电压。从中可以看到，DC/DC 输出端的电压随着电流的增加而增大，而线端的电压在不加线路补偿时，随电流的增大而降低，带线路补偿的线端电压随着电流的增大基本保持恒定。从中可以看出，线路补偿电路达到了设计目的。

### 5.3 Ipad 充电电压电流对比

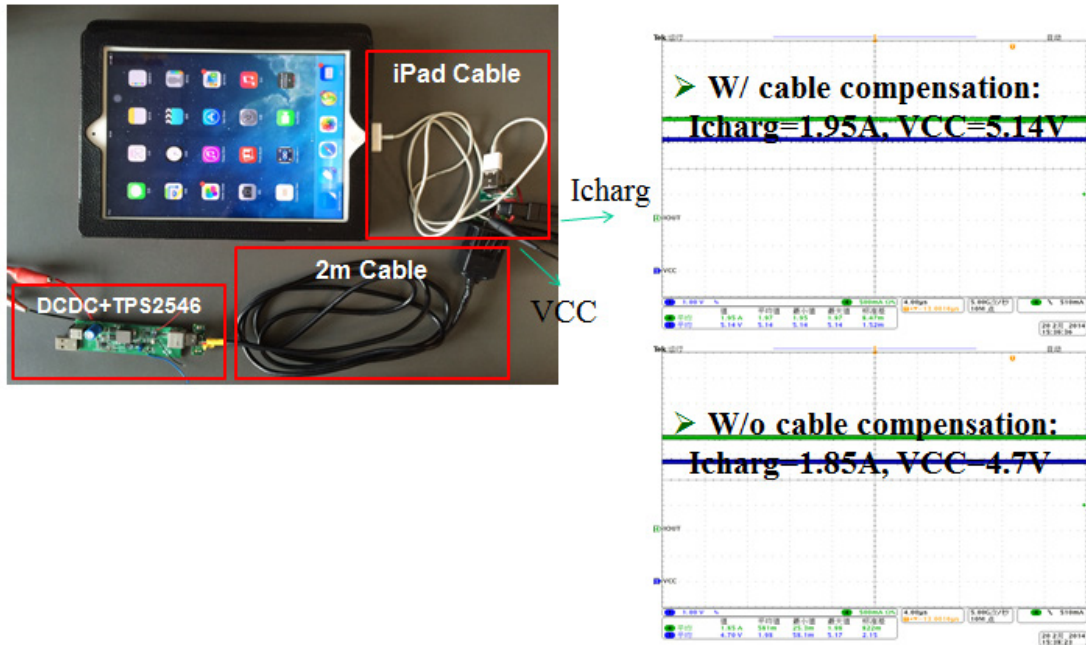


Figure 7. Ipad 充电电压电流对比

用设计的充电板经过两米长线给 Ipad 充电，测试结果表明，不加线路补偿的线端电压降到 4.7V 充电电流也降到 1.85A；而加了线路补偿的线端电压仍然为 5.14V，充电电流也达到 1.95A。

## 6 结论

本文介绍了一款带有线路补偿的 USB 充电器的设计方案。给出了线路补偿的计算方式以及 mathcad 的设计过程。制作了样机，测试验证了方案的可行性，给出了测试结果，对比了实际使用中带有/没有线路补偿的充电电流。



## 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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司