

WEBENCH[®] 工具与光电探测器稳定性

作者: Bonnie Baker,

德州仪器 (TI) WEBENCH 应用工程师

光敏应用的首要工作是让跨阻抗放大器电路拥有良好的稳定性。WEBENCH[®] 设计器工具 TI 开发人员致力于为客户提供拥有 60° 相位裕量的光敏设计, 也即约 8.7% 的阶跃输入信号过冲。

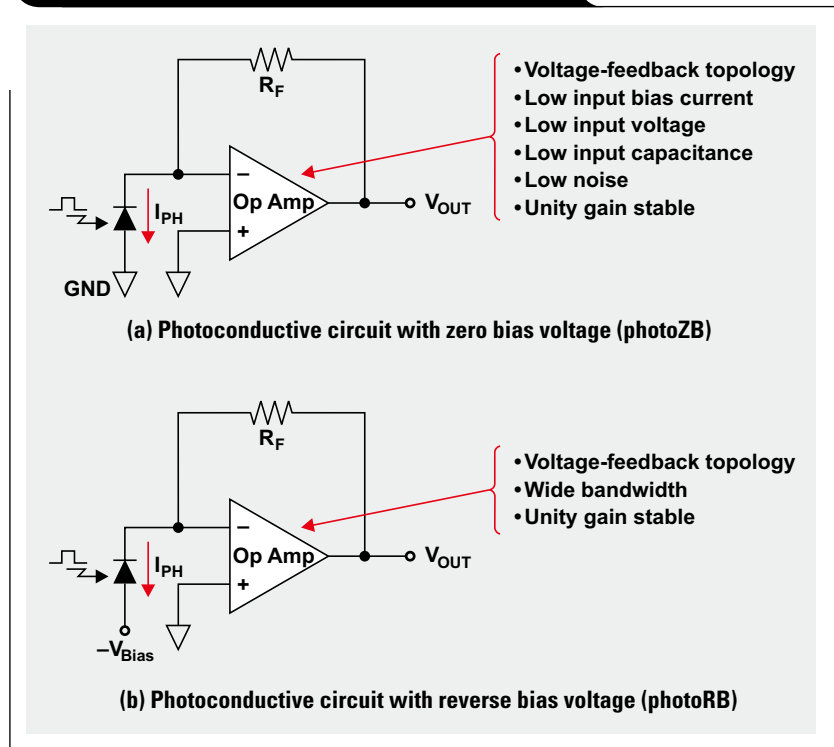
WEBENCH 设计器工具拥有强大的软件算法和可视界面, 可在数秒内生成完整的电源、照明和传感检测应用。这种功能, 可让用户在进行设计以前进行系统和供应链层面的价值比较。WEBENCH 环境中内嵌了众多工具, 其中之一便是“传感设计器”的光电二极管部分。本文将专门为您介绍 WEBENCH 传感设计器的嵌入式光电二极管电路稳定性。

忽略稳定性的后果

很多光敏应用均使用光电二极管前置放大器 (preamp) 电路。这些电路将来自 LED 或者光源的光信息转换为有效电压。使用零偏置电压的精密光电导电路(photoZB) 以及负或者反向偏置电压的高速光电导电路(photoRB) 时, 内嵌电路相位裕量便至关重要。一些使用光电二极管前置放大器的精密 photoZB 应用包括 CT 扫描仪、血液分析仪、烟雾探测器和位置传感器。这些精密电路要求电压反馈放大器拥有低输入偏置电流、低偏移电压和低噪声。利用检测数字光信号的低精度 photoRB 应用包括条形码扫描仪和光纤接收机。这些高速应用电路要求电压反馈放大器拥有更大的带宽。

设计光电二极管前置放大器电路的最简单方法是将光电二极管放置于放大器输入之间, 非反向输入接地, 并在反馈环路中放置一个电阻器。这样, 您便可以在有或者没有偏置电压的情况下对光敏光电二极管进行配置。在精密 photoZB 结构 (请参见图 1a) 中, 输入放大器需要有一个低输入偏置电流和低偏移电压的 FET 或者 CMOS 输入结构。在该电路中, 光电二极管阴极连接放大器反向输入, 而光电二极管阳极接地。该电路的光电二极管传感器为零偏置。就光电二极管的阳极和阴极而言, 注意电流 I_{PH} 的方向。

图 1 光电二极管预放大结构



如果数字速度和快速响应时间很重要, 则 photoRB 结构 (请参见图 1b) 使用反向偏置电压的光电二极管。这种反向偏置电压在光电二极管形成漏电流。但是, 相比 photoZB 结构, 光电二极管的寄生电容相当的低。光电二极管电容的减少, 增加了电路的带宽。反向偏置光电二极管前置放大器配置使用的放大器, 可以使用 FET、CMOS 或者双极输入; 但是, 放大器的带宽越高越好。

不管是哪种结构, 光电二极管的入射光都会使电流 (I_{PH}) 经二极管从阴极流至阳极。该电流还会流经反馈电阻器 R_F , 从而引起电阻器出现压降。放大器输入级使放大器反向输入保持在接地电平左右。

图 1a 和 1b 所示简易解决方案通常不会成功。图 2 显示了一个阶跃输入光信号如何在放大器输出端 V_{OUT} 产生可怕的振铃。如果幸运的话，这种光敏电路也可能不会出现振铃，但我们最好是理解并对这种稳定性问题进行补偿。

图 3 中，在反馈环路中添加的电容 C_F 改变了电路的整体相位裕量，并消除了输出信号的振荡。但是，由于 C_F 值设置过高，导致这种简易解决方案过渡补偿，从而使放大器输出传输过慢。

在 photoZB 应用中，图 3 所示过渡补偿或许能够接受，但相比适当补偿的电路，这种电路的功耗和噪声更高。至于 photoRB 应用，这种电路响应则不可接受，因为它没有产生较好的方波响应。由于 photoRB 电路依赖于无噪数字方波信号，因此我们需要更多地关注图 2 和 3 所示结构，以获得正确的补偿。

图 2 未经补偿的 photoZB 光电二极管电路

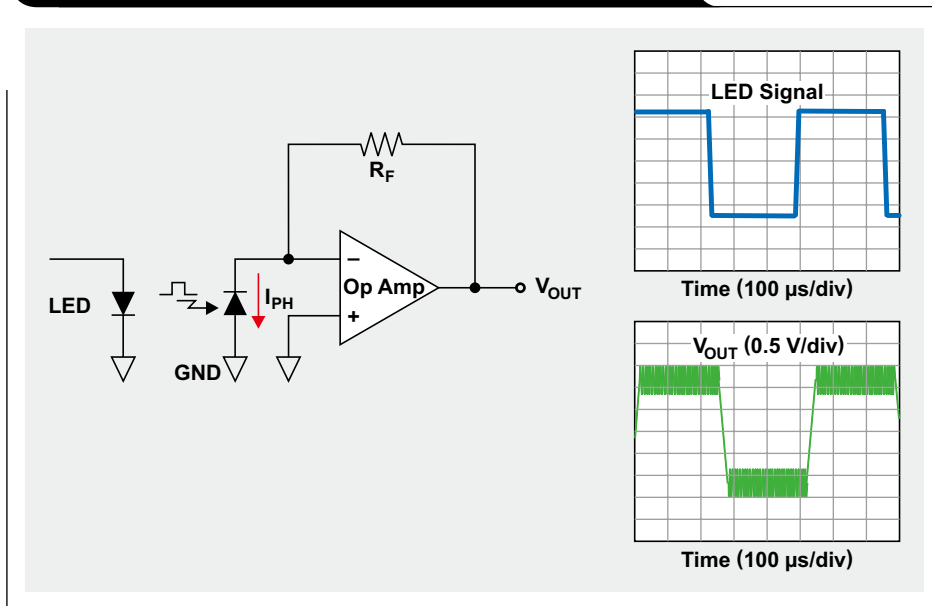
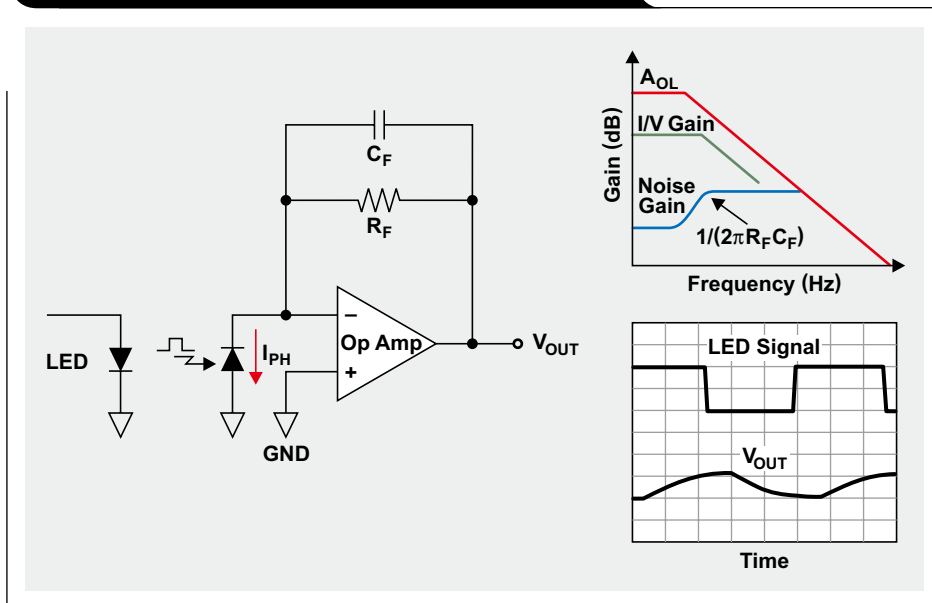


图 3 过渡补偿的光电二极管电路



光电二极管补偿作用因素

该跨阻抗放大器的目标相位裕量为 60° 。就阶跃响应而言，这种相位裕量可实现8.7%的过冲（请参见图 4）。一些设计人员会说，这种双极系统正确的相位裕量应为 45° 。如图 4 所示， 45° 相位裕量电路的阶跃响应应为 22.5%。

理论上而言，两种相位裕量都可以实现稳定的电路设计；但是，我们还没有考虑到放大器带宽、电阻、电容和杂散电容的变化。这些变化都会对 45° 相位裕量的电路产生极大的不利影响。

图 3 所示简易电路的正确补偿，要求我们清楚地了解电容和电阻作用因素。图 5 显示了一个系统模型，其包括一个反馈网络（ R_F 和 C_F ）和一个运算放大器。后面的讨论将为您介绍，所有电容组成部分结合在一起以后，如何对电路的频率响应产生直接的影响。在安装硬件或者进行手动计算以前，我们可以首先使用WEBENCH传感器设计工具来生成良好系统稳定性的设计。

图 4 过冲响应与相位裕量的关系

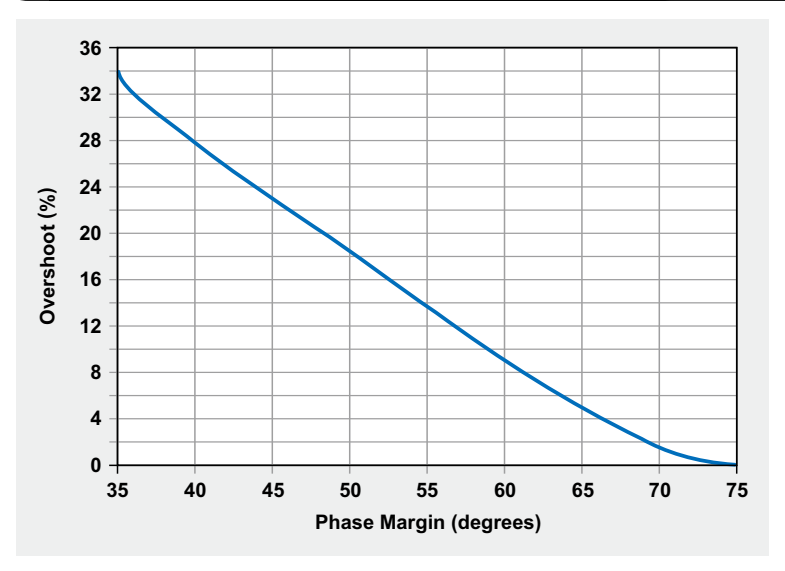
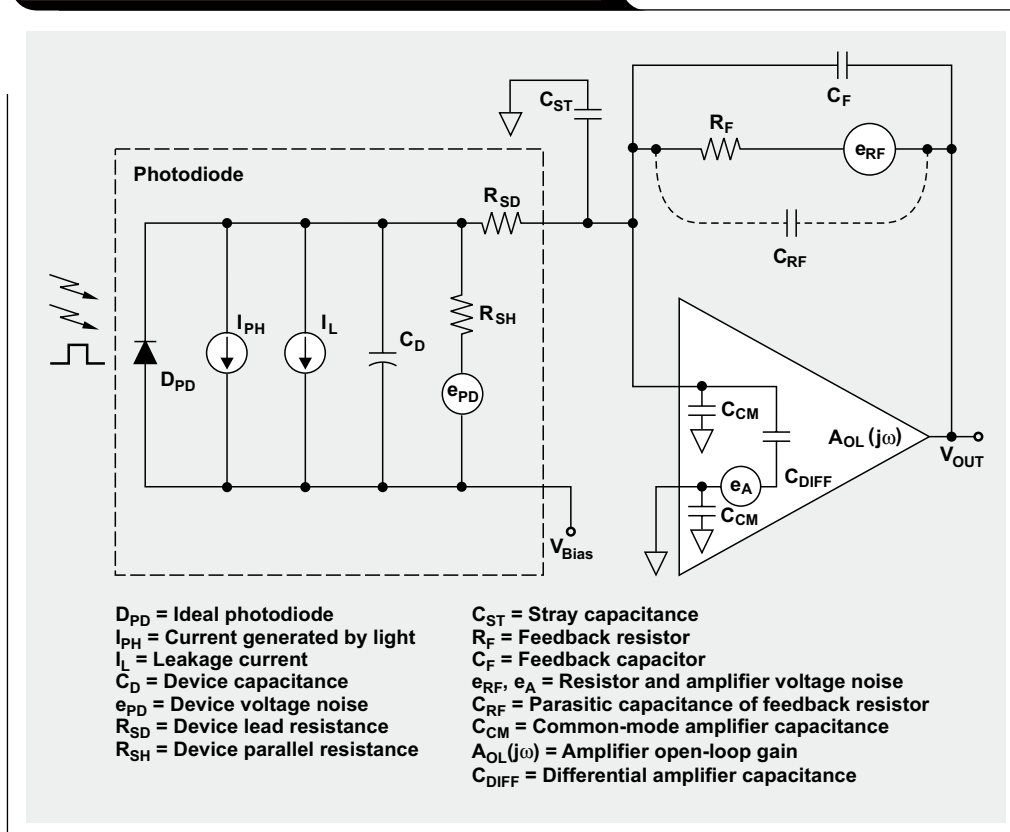


图 5 所示双极系统电路的传输函数为：

$$V_{OUT} = \frac{I_{PD} \times R_F}{1 + 1/[A_{OL}(j\omega) \times \beta]}$$

图 5 光电探测器电路的系统模型



其中 β 为噪声增益的倒数，即：

$$\beta = \frac{1}{1 + Z_{IN}/Z_F}$$

Z_{IN} 为输入网络阻抗，即：

$$Z_{IN} = R_{SH} \parallel j\omega(C_D + C_{CM} + C_{DIFF} + C_{ST})$$

Z_F 为反馈网络阻抗，即：

$$Z_F = R_F \parallel j\omega(C_{RF} + C_F)$$

运用代数计算方法得到系统极点频率 f_p 和系统零频率 f_z 的方程式分别为：

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_F C_F}$$

$$f_z = \frac{1}{2\pi \times \left(\frac{R_F \times R_{SH}}{R_F + R_{SH}} \right) \times (C_D + C_{CM} + C_{DIFF} + C_{ST} + C_F)}$$

图 6 以图形的方式显示了系统的频率响应。该图中， f_i 为反馈系统 ($1/\beta$) 和放大器开环增益 (A_{OL}) 之间的截止频率。频率 f_{BW} 为放大器的增益带宽积。该系统中，DC 增益 $G1$ 由电阻器 R_F 和 R_{SH} 决定。注意，反馈电阻 (R_F) 在第二项的分子中，而输入电阻 (R_{SH}) 在分母中。该系

统的高频增益 $G2$ 依赖于系统的电容。请注意，第二项的分子包含输入电容的和，而分母则包含电路的反馈电容 (C_F)。

稳定性设计原则

极点频率 (f_p) 和 $1/\beta$ 和 A_{OL} 之间截止频率的分布情况，决定这种电路的稳定性。反馈曲线和放大器开增益曲线相交的点，决定了电路的稳定性。特别是， f_i 的相位裕量决定电路所产生的振铃或者过冲的类型和大小。例如，如果 f_p 等于 f_i ，则电路相位裕量为 45° 。 45° 相位裕量在方波输入信号上产生 $\sim 22.5\%$ 的过冲。如果电路的相位裕量等于 $\sim 60^\circ$ ，则该极的角频率出现在放大器 A_{OL} 曲线交叉之前（请参见图 6）。如果 f_p 的角频率低于 A_{OL} 截止频率，则设计拥有 60° 的相位裕量是可能的。 60° 相位裕量得到 $\sim 8.7\%$ 的方波输入信号过冲。

图 6 光电二极管电路的频率响应

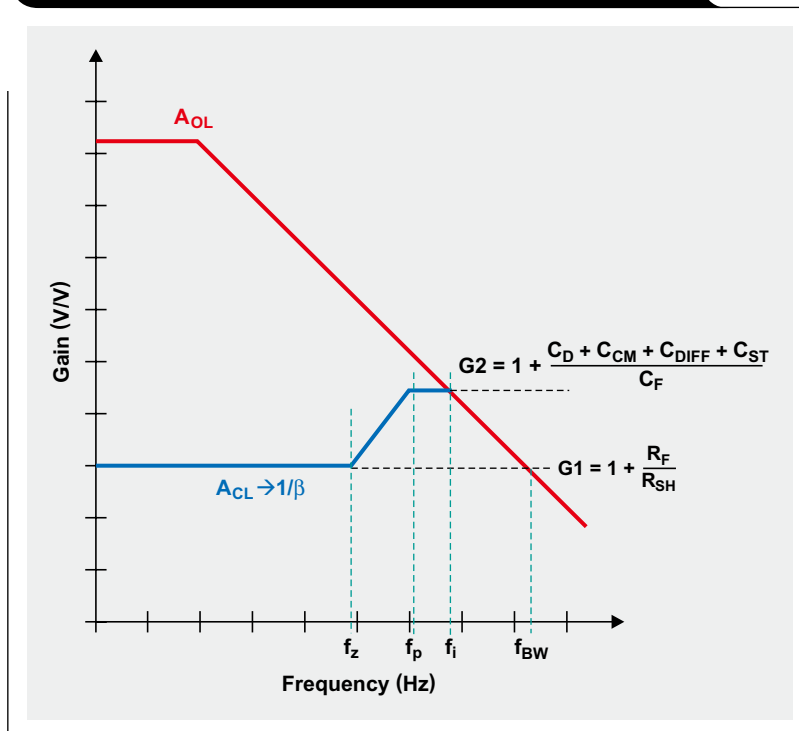
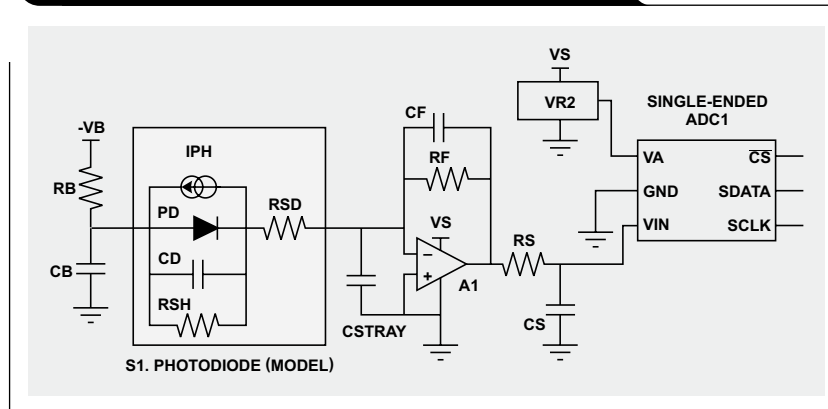


图 7 photoRB 应用电路的 WEBENCH 实施



WEBENCH实施

PhotoRB 检测网络的 WEBENCH 实施包括为理想 60° 相位裕量选择正确的反馈电容器 (C_F)，选择正确的放大器，并遵守电路的 ADC 建议。WEBENCH 传感器设计工具提供一个工作电路，以及一块可以买到的、没有安装组件的印制电路板。图 7 显示了 WEBENCH photoRB 系统的结构图。

结论

要想设计一个拥有良好稳定性的光敏电路，您需要遵循一些方法。WEBENCH 传感器设计工具功能强大，可以为您提供拥有稳定 60° 相位裕量的电路。

参考文献

- 1、《跨阻抗放大器噪声问题》，作者：Bonnie C. Baker，（2008年10月2日），发表于《EDN》（在线版），地址：<http://www.edn.com>。
- 2、《跨阻抗放大器稳定性是光敏应用的关键》，作者：Bonnie C. Baker，（2008年9月4日），发表于《EDN》（在线版），地址：<http://www.edn.com>。

3、《利用集成光电二极管/运算放大器提高光敏性能》，作者：Bonnie C. Baker，1996年6月1日发表于《加拿大电子》。

4、《光电二极管放大器》，作者：Jerald G. Graeme，发表于1996年《Boston: McGraw-Hill》。

5、《跨阻抗放大器的理解与应用（第1部分，共2部分）》，作者：David Westerman，（2007年8月8日），发表于《EE时代》（在线版），地址：<http://eetimes.com>。

6、《跨阻抗放大器的理解与应用（第2部分，共2部分）》，作者：David Westerman，（2007年8月10日），发表于《EE时代》（在线版），地址：<http://eetimes.com>。

相关网站

www.ti.com.cn/lstds/ti_zh/analog/dataconverters/data_converter.page

www.ti.com.cn/webench

www.ti.com/ww/en/analog/webench/sensors/index.shtml

TI Worldwide Technical Support

Internet

TI Semiconductor Product Information Center Home Page

support.ti.com

TI E2E™ Community Home Page

e2e.ti.com

Product Information Centers

Americas	Phone	+1(972) 644-5580
Brazil	Phone	0800-891-2616
Mexico	Phone	0800-670-7544
	Fax	+1(972) 927-6377
	Internet/Email	support.ti.com/sc/pic/americas.htm

Europe, Middle East, and Africa

Phone	
European Free Call	00800-ASK-TEXAS (00800 275 83927)
International	+49 (0) 8161 80 2121
Russian Support	+7 (4) 95 98 10 701

Note: The European Free Call (Toll Free) number is not active in all countries. If you have technical difficulty calling the free call number, please use the international number above.

Fax	+ (49) (0) 8161 80 2045
Internet	www.ti.com/asktexas
Direct Email	asktexas@ti.com

Japan

Phone	Domestic	0120-92-3326
Fax	International	+81-3-3344-5317
	Domestic	0120-81-0036
Internet/Email	International	support.ti.com/sc/pic/japan.htm
	Domestic	www.tij.co.jp/pic

Asia

Phone	
International	+91-80-41381665
Domestic	<u>Toll-Free Number</u>
Note: Toll-free numbers do not support mobile and IP phones.	
Australia	1-800-999-084
China	800-820-8682
Hong Kong	800-96-5941
India	1-800-425-7888
Indonesia	001-803-8861-1006
Korea	080-551-2804
Malaysia	1-800-80-3973
New Zealand	0800-446-934
Philippines	1-800-765-7404
Singapore	800-886-1028
Taiwan	0800-006800
Thailand	001-800-886-0010
Fax	+8621-23073686
Email	tiasia@ti.com or ti-china@ti.com
Internet	support.ti.com/sc/pic/asia.htm

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

A011012

E2E is a trademark and WEBENCH is a registered trademark of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

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

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 © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司