

高性能模拟产品

# 模拟应用杂志

2013年第3季度



德州仪器2013年版权所有

## 重要声明

德州仪器(TI)及其下属子公司有权在不事先通知的情况下,随时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,并有权随时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保证其所销售的硬件产品的性能符合TI标准保修的适用规范。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。除非政府做出了硬性规定,否则没有必要对每种产品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产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI知识产权中授予的直接或隐含权限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,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。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI产品或服务时,如果存在对产品或服务参数的虚假陈述,则会失去相关TI产品或服务的明示或暗示授权,且这是非法的、欺诈性商业行为。TI对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI产品未获得用于关键的安全应用中的授权,例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI产品故障将预计造成重大的人员伤亡),除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示,他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识,并且认可和同意,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在关键安全应用中使用其产品及TI产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外,购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI产品而对TI及其代表造成的损失。

TI产品并非设计或专门用于军事/航空应用,以及环境方面的产品,除非TI特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意,对TI未指定军用的产品进行军事方面的应用,风险由购买者单独承担,并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品,除非TI特别注明该产品符合ISO/TS 16949要求。购买者认可并同意,如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品,TI对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL地址以获取有关其它TI产品和应用解决方案的信息:

### 产品应用

数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">http://www.ti.com.cn/interface</a>
通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">http://www.ti.com.cn/amplifiers</a>	逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">http://www.ti.com.cn/logic</a>
计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconvert">ers http://www.ti.com.cn/dataconvert</a>	电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">http://www.ti.com.cn/power</a>
消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	微控制器	(MCU) <a href="http://www.ti.com.cn/microcontroll">ers http://www.ti.com.cn/microcontroll</a>
能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>	无线通信	<a href="http://www.ti.com.cn/wireless">www.ti.com.cn/wireless</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">http://www.ti.com.cn/dsp</a>	RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">http://www.ti.com.cn/rfidsys</a>
工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>	RF/IF 和ZigBee® 解决方案	<a href="http://www.ti.com.cn/radiofre">www.ti.com.cn/radiofre</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtim">ers http://www.ti.com.cn/clockandtim</a>		
医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>		

### TI E2E 工程师社区 <http://e2e.ti.com/cn/> IMPORTANT NOTICE

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 © 2011 德州仪器半导体技术(上海)有限公司

# 目录

引言 .....	4
<b>电源管理</b>	
高效率、低纹波 DCS-Control™ 可提供 PWM/省电模式的无缝切换.....	5
TI 的 DCS 控制技术整合了电压模式、电流模式和迟滞控制拓扑的优势，同时提供了至省电模式的“干净进入”。本文讨论了该技术的工作原理，并用实例说明了其在省电模式中具有的低输出电压纹波、其超群的瞬态响应特性以及其无缝模式切换功能。	
线性稳压器与开关稳压器在工业应用中的比较（采用 24 V 总线） .....	9
本文比较了三种采用 24 V 总线来提供一个 5 V/100 mA 输出的不同解决方案。将同步降压型转换器与集成型线性稳压器和分立式线性稳压器做了对比。对尺寸、效率、热性能、瞬态响应、噪声、复杂性和成本进行了比较，以帮助设计人员选择最适合某种特定应用之限制条件的解决方案。	
利用一款阻抗跟踪 (Impedance Track™) 电量监测计改善了电池后备系统中的磷酸铁锂 (LiFePO <sub>4</sub> ) 电池电荷平衡.....	14
在处理电池后备应用时需要了解某些特殊的条件，在此类应用中，每几天就会经历若干次短暂的充电周期（以补充因自放电而损失的电荷），很少会出现完全放电的状况。当使用磷酸铁锂 (LiFePO <sub>4</sub> ) 电池时，要么必须停用监测计的平衡功能，要么就得使用一种增强型固件。本文提供了有关 TI 专为 bq20z45-R1 电量监测计而特别开发之固件的信息，该固件可通过设置数据闪存参数来实现正确的电池循环和最佳的电荷平衡效果。另外，文章还给出了在平衡功能被停用的情况下通过完成离线式电池平衡以实现正常运作的指引。	
<b>接口（数据传输）</b>	
调试控制器局域网 (CAN) 物理层的基础知识 .....	18
CAN 标准不断地发展并正在逐步地适应汽车和工业网络以外的许多微处理器平台。当设计人员的系统上电之后却不工作时，那该怎么样？本文提出了一种调试 CAN 物理层的优良工程方法。给出了基本的调试步骤，以及有关 CAN 物理层预期运行方式的讨论和帮助查明问题的小贴士。	
<b>放大器：运放</b>	
探究混合信号、多模式传感器调节用信号调节器中的抗混叠滤波器 .....	25
当今领先的智能手机和平板电脑具有电容式触摸屏功能。本文比较了电阻式和电容式触摸屏的工作原理。此外，本文还介绍了电容式触摸屏设计人员所面临的三个主要问题，即：功耗、降噪和手势识别。	
文章索引 .....	29
TI 全球技术支持 .....	35

如需查阅《模拟应用杂志》  
(*Analog Applications Journal*)  
的过往期刊，敬请访问以下网址：

[www.ti.com/aaaj](http://www.ti.com/aaaj)

通过下面的网址订阅 AAJ：  
[www.ti.com/subscribe-aaaj](http://www.ti.com/subscribe-aaaj)

## 引言

《模拟应用杂志》是一本模拟技术文摘，由德州仪器 (TI) 按季度发行。这些文章面向广大设计工程师、工程经理、系统设计师和技术员，旨在让他们了解如何运用TI模拟产品解决各种设计问题和满足设计要求。读者可以在文中找到一些指导性的内容、实用工程设计和详细的数学计算方法，其适用产品类别如下：

- 数据转换器
- 电源管理
- 接口（数据传输）
- 放大器：音频
- 放大器：运算放大器
- 低功耗RF
- 一般常见问题

《模拟应用期刊》文章包括许多有用的建议和经验法则，为广大年青工程人员或者刚刚进入模拟行业的新手以及高级模拟技术工程师们提供指导。适当情况下，读者还会看到软件程序和程序结构相关内容。

# 高效、低纹波DCS-Control™， 实现无缝PWM/节能转换

作者：Chris Glaser，德州仪器 (TI) 应用工程师

TI 推出了采用DCS-Control™技术的同步降压转换器，它是一款可无缝转换至节能模式的直接控制调节拓扑。这种拓扑融合了电压模式、电流模式以及迟滞控制拓扑的众多优点，并同时实现顺滑转入节能模式。本文为您介绍DCS-Control拓扑的工作原理，展示其在节能模式下的低输出电压纹波、优异的瞬态响应以及无缝模式转换性能。

## 基本工作原理

DC-Control拓扑基本上是一种迟滞拓扑。但是，它整合了几种电路，同时拥有电压模式和电流模式拓扑的优点。图1显示了DC-Control拓扑的基本结构图（取自TI的TPS62130降压转换器产品说明书）。<sup>1</sup>

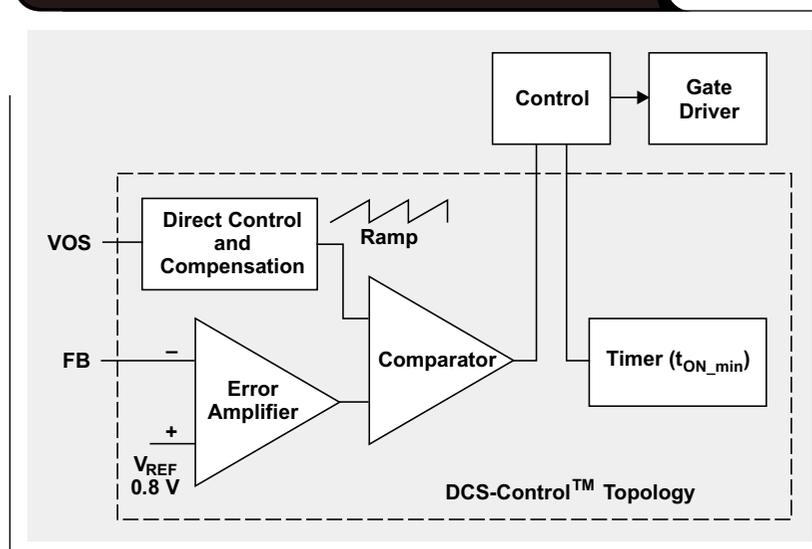
DC-Control拓扑的输入共有两个：反馈 (FB) 引脚和输出电压检测 (VOS) 引脚。大多数DC/DC转换器的FB引脚输入表现均相同。它是误差放大器或者运算放大器的高阻抗输入，其目的是把FB引脚的误差信号输出至某个内部基准电压 $V_{REF}$ 。与其它DC/DC转换器中一样，误差放大器提供精确的输出电压调节。在输

出电压 (FB引脚) 和接地之间的分压器，设置输出电压的设定点。就一些器件而言，例如：TI的TPS62131等，通过一个VOS引脚分压器内部连接FB引脚。这样便可设置输出电压，减少2个外部组件，并同时降低FB引脚的敏感度。在误差放大器周围包含相应的补偿，以确保其稳定性。

在输出电容，VOS引脚直接连接至转换器的输出电压。与FB引脚一样，它是控制环路的高阻抗输入。与FB引脚不同的是，VOS引脚进入某个专有电路，形成电压斜升。之后，将该电压斜升与误差放大器的误差信号比较，其同电压模式和电流模式控制的做法一样。VOS引脚到比较器的通路，让DCS-Control拓扑拥有快速的迟滞响应。VOS的输出电压变化直接馈给比较器，并立即对器件的运行产生影响。正因如此，VOS引脚对噪声敏感；因此，输出电压从输出电容器返回至器件VOS引脚的路线应尽可能地短和直。VOS引脚电路周围的相应补偿，目的是确保稳定性。

之后，比较器向控制电路输出一个信号，告诉它是

图1 DCS-Control™拓扑结构图



否向栅极驱动器输出一个开关脉冲，以控制高侧MOSFET。比较器与计时器电路协同工作，同时提供最迅速的负载瞬态响应和经过调节的开关频率。

根据 $V_{OUT}$ 与 $V_{IN}$ 的比率，计时器设置一个能够扩展比较器“导通”时间控制的最小“导通”时间。器件产品说明书通常会使用一个方程式说明计时器设置的最小“导通”时间，例如：

$$t_{ON} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \times 400 \text{ ns}$$

在这个基于TPS62130的举例中，目标开关时间为400ns；因此，开关频率为其倒数，即2.5MHz。由于 $V_{OUT}/V_{IN}$ 因素，调节后开关频率维持在输入和输出电压范围，其根据某个降压转换器的理想占空比调节最小“导通”时间。因此，“导通”时间方程式还可写为 $t_{ON} = D \times t_{Period}$ ，其准确定义了所有降压转换器的“导通”时间。

低侧MOSFET控制较为简单。在高侧MOSFET关闭以后，低侧MOSFET开启，并有效地使电感电流斜降。当电感电流衰减至零，或者比较器让高侧MOSFET再次开启时，低侧MOSFET关闭。施加相应的死时间，以避免MOSFET出现击穿电流。

### 节能模式

DCS-Control拓扑的一个关键组成部分是其节能模式。一般而言，大多数节能模式均在低负载电流时启用，其通过跳过开关脉冲和降低器件的电流消耗（静态电流）来提高转换效率。跳过开关脉冲让器件工作在非连续导电模式（DCM）下，消除负电感电流（从输出端流向输入端），如若不然，它会出现在轻负载条件下。这类电流只会破坏前面开关周期的工作，并带来更多的损耗，从而降低效率。降低静态电流可以提高超轻负载下的效率，《参考文献2》中对此有详细的说明。

DCS-Control拓扑的节能模式非常简单。它的实现电路与前面所述一样：从节能模式转换至PWM模式期间，在两个不同控制模式之间没有开关操作。其它一些控制拓扑会在一种节能模式控制方法和另一种PWM模式方法之间进行开关切换。这样做，在转换期间可能会出现电子脉冲干扰和随机噪声。本文后面的“无缝转换”将详细说明这种现象。

DCS-Control拓扑使用一种简单的方法实现其节能模式：如果比较器不需要开关脉冲，则不产生脉

冲。因此，如果电感电流衰减至零时输出电压高出其设置点（由误差放大器测得），则器件不输出一个新的开关脉冲；反之，降低其静态电流并进入节能模式。除非误差放大器告诉比较器，输出电压已降至其设置点，现在应该升压，否则它将一直等待。之后，器件输出一个持续最小“导通”时间的开关脉冲，把输出电压升高至足以保持在调节范围内的程度。节能模式下，这些电路的最小传播延迟带来高效率 and 良好调节的输出电压。

持续最小“导通”时间的单个开关脉冲，把最小能量传输至输出端，从而实现最小输出电压纹波。随着轻负载电流增加，单次脉冲更加靠近，并增加开关频率至音频带之上，其速率高于其它节能拓扑。其它拓扑在节能模式下使用数组或者连续脉冲，导致脉冲期间输出端的能量更大。由于输出电压降回其设置点需要花费更长的时间，因此脉冲的间隔更大，从而使有效频率在音频范围内的时间更长。DCS-Control的单脉冲构架，让其可以工作在音频带以上，并且负载电流小于其它拓扑。《参考文献3》介绍了一个节能模式噪声性能的案例研究。

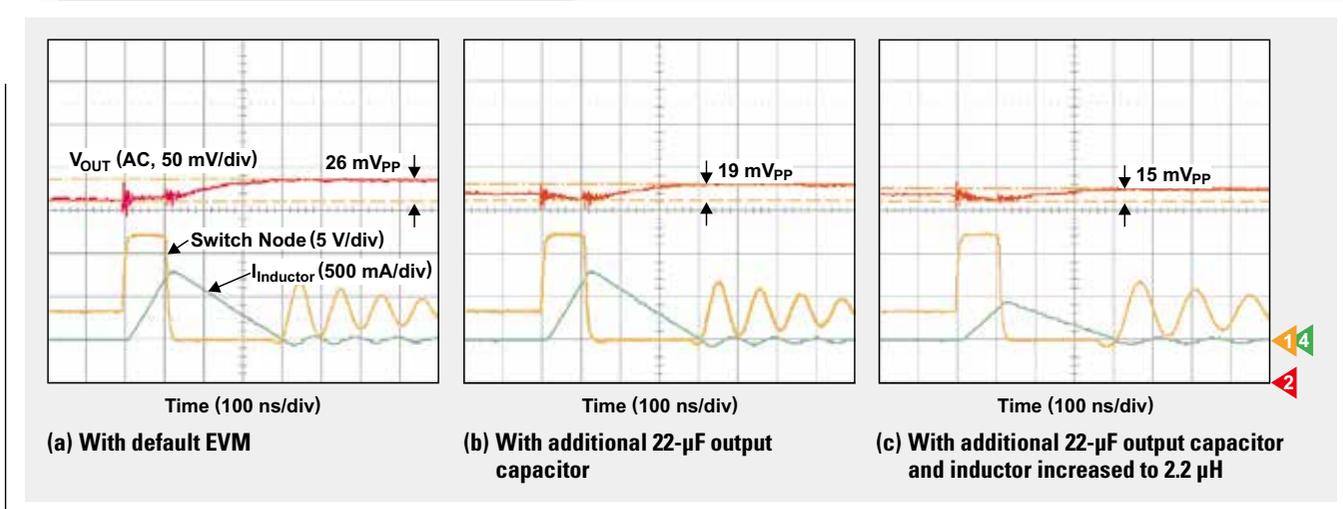
当负载增长到一定程度、单次脉冲之间没有时间间隔时，在比较器告诉高侧MOSFET再次开启以前电感电流不会返回零。DCM边界处出现这种负载状态，届时，转换器退出节能模式，进入PWM模式。

### 节能模式的输出电压纹波

组合使用节能模式（最小“导通”时间的单次脉冲）和达到零电感电流时进入PWM模式，让DCS-Control拓扑比其它拓扑更加灵活，从而实现更加简单的配置，最终满足系统要求。例如，思考一个12V输入和3.3V输出的系统在节能模式下的输出电压纹波情况。TI的TPS62130评估模块（EVM）工作在2.5MHz设置下，用于图2来演示如何通过增加外部电感和输出电容减少这种纹波。无负载状态用于显示节能模式下的极端输出电压纹波。

图2a显示了已经很低的26mV峰值到峰值输出电压纹波，即3.3V输出电压的0.8%，其使用默认电路得到。由于在每个开关脉冲期间传输的能量相同，因此增加输出电容可以减少输出电压纹波。输出电容更高，固定能量带来的电压纹波也就越少（图2b）。由于“导通”时间不变，因此增加电感可以降低开关脉冲内达到的峰值电流。低峰值电流存储的能量也更少（ $E = \frac{1}{2} \times L \times I^2$ ），因此传输至输出的能量也更少，从

图2 TPS62130的输出电压纹波



而再一次降低了电压纹波（图2c）。注意，每个电路的“导通”时间相同，因为其为器件的内部固定值，无法通过外部组件改变。

工程师还可以设置通过调节电感进入节能模式的负载电流，其把边界更改为DCM。更大的电感带来更小的电感电流纹波，其意味着，电感电流保持在零以上，导致更低的输出电流电平。它可以让节能模式的进入点和输出电压纹波满足各种特殊需求，从而让这种拓扑可以用于各种应用中，包括那些对噪声高度敏感的应用，例如：医疗或者工业应用中的低功耗无线发射器和接收器（参见《参考文献5》）、消费类设备的便携式电源以及固态硬盘电源。

### 瞬态响应

由于DCS-Control拓扑通过VOS引脚检测实际输出电压，因此其非常适合于对负载瞬态做出响应。该信号直接馈给比较器，并不通过带宽限制误差放大器传输，不影响“导通”时间。因其迟滞特性，DCS-Control拓扑的负载瞬态响应更迅速，而器件100%占空比又进一步增强了它的这种能力。

在这种模式下，只要输出电压恢复需要，器件便可以让高侧MOSFET保持开启。换句话说，比较器的“导通”时间要求得到完全满足。图3显示了TPS62130 EVM通过其100%占空比对无负载到1A负载瞬态做出响应的情况。在瞬态开始和高侧MOSFET开启时之间的300ns时间延迟意味着，瞬态响应几乎完全受大信号问题（电感）的限制，而非小信号问题（控制拓扑）。因此，DCS-Control

拓扑并非是器件瞬态响应能力局限的主要方面；在使用特定输出滤波器组件时，它实现了优异的瞬态响应。

### 无缝转换

在前面，我们注意到，在DCS-Control拓扑中，仅一个电路控制PWM和节能模式。它实现了两种控制模式之间的迅速且无缝的转换。另外，当电路的工作状态接近两种模式之间的边界时，它仍然拥有更高的性能。由于不存在模式开关，因此便没有输出脉冲干扰。

图3 瞬态响应期间TPS62130 EVM的100%占空比模式

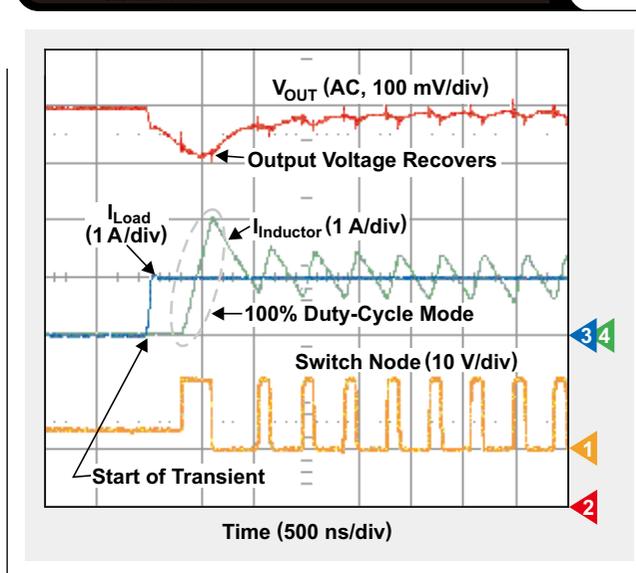


图4 PWM模式到节能模式转换

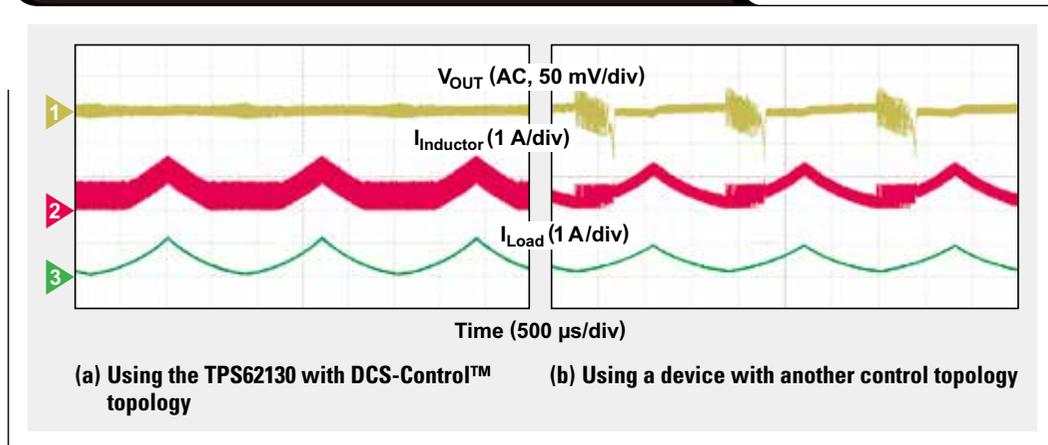


图4把TPS62130的模式转换性能同使用另一种控制拓扑的器件进行了比较。在类三角模式下，负载电流（绿色表示的底部线条）范围为10mA到1A。我们同时观察到了扰动或者干扰电感电流和输出电压纹波。

对于使用DCS-Control拓扑的TPS62130来说，图4表明，相比使用另一种控制拓扑的器件，它的输出电压和电感电流波形都更加平滑。在所有负载电流下，TPS62130输出的电压纹波都更小。更负载时纹波稍有增加；但是，由于器件进入节能模式，这种纹波增加远低于使用另一种拓扑的器件。最后也是最重要的一点是，随着负载增加输出电压下降较明显（在一些有限工作条件下，例如：负载斜升），而使用另一种拓扑的器件则退出节能模式，进入PWM模式。很明显，这是负载或者系统不希望出现的情况，而DCS-Control拓扑可以避免这种情况的出现。

### 结论

DCS-Control拓扑相比其它控制拓扑有了巨大的改进，它拥有优异的瞬态响应，并可无缝地转换至节能模式。它的单脉冲节能模式具有较低的输出电压纹波，并提高了各种终端设备和系统的性能，包括噪声敏感型应用。

### 参考文献

- 1、《采用3x3 QFN封装的3-17V 3A降压转换器》，见于TPS62130/1/2/3产品说明书，  
网址：[www.ti.com/slvsag7-aaj](http://www.ti.com/slvsag7-aaj)

- 2、《IQ：如何辨别和使用》，作者：Chris Glaser，见于《模拟应用杂志》（2011年第2季度），  
网址：[www.ti.com/slyt412-aaj](http://www.ti.com/slyt412-aaj)
- 3、《TPS62125低噪声设计》，作者：Brian Berner，见于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slva523-aaj](http://www.ti.com/slva523-aaj)
- 4、《采用3x3mm、16引脚QFN的3A同步降压转换器TPS62130的评估模块》，TI TPS62130EVM-505，  
网址：[www.ti.com/tps62130evm-aaj](http://www.ti.com/tps62130evm-aaj)
- 5、《超低功耗无线应用的旁路模式降压转换器》，TPS62732/33/30产品说明书，  
网址：[www.ti.com/slvsac3-aaj](http://www.ti.com/slvsac3-aaj)

### 相关网站

电源管理：

[www.ti.com/power-aaj](http://www.ti.com/power-aaj)

[www.ti.com/dcs-control-aaj](http://www.ti.com/dcs-control-aaj)

[www.ti.com/tps62130-aaj](http://www.ti.com/tps62130-aaj)

[www.ti.com/tps62131-aaj](http://www.ti.com/tps62131-aaj)

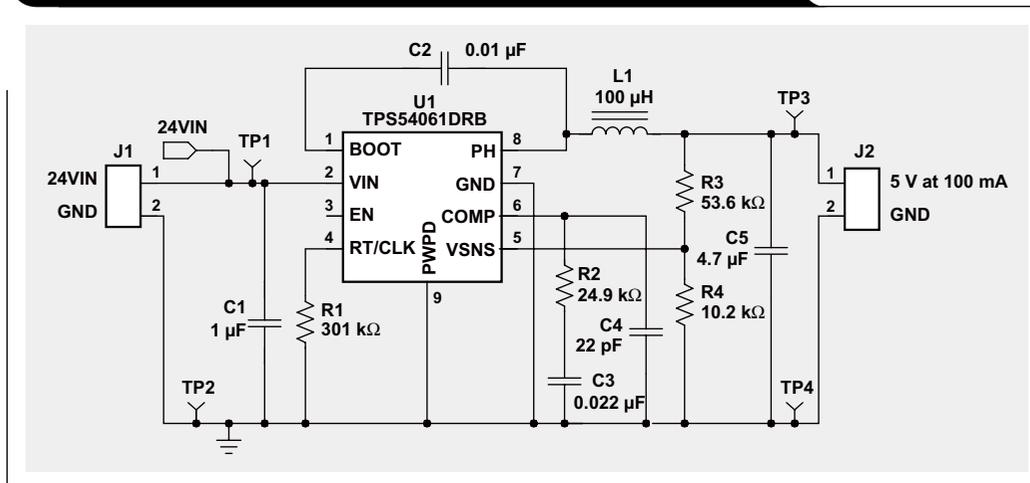
订阅《模拟应用杂志》，请访问：

[www.ti.com/subscribe-aaj](http://www.ti.com/subscribe-aaj)

# 24V总线工业应用中线性稳压器 与开关式稳压器比较

作者：德州仪器 (TI) 电源管理组产品营销经理Rich Nowakowski和应用工程师兼技术员组成员Robert Taylor

图1 集成MOSFET的开关式（降压）转换器



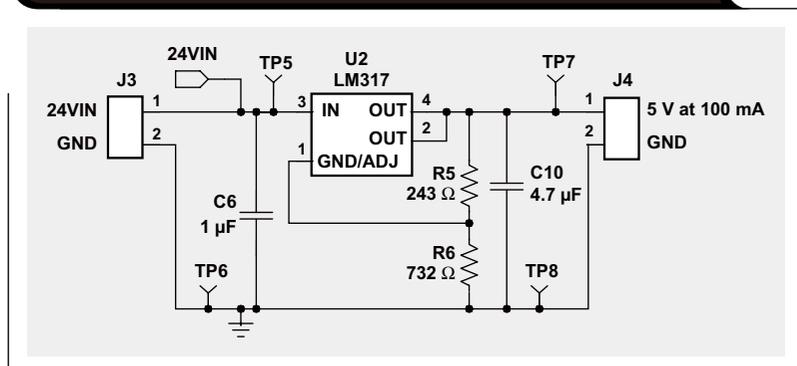
线性稳压器已存在了许多年。一些设计人员仍然把已存在了20多年之久的线性稳压器用于众多新老项目。另一些设计人员则通过离散组件制作出属于自己的线性稳压器。在进行宽范围电压转换时，线性稳压器的简单性是一个难以超越的优势。但是，如果压降过大，则24V总线的低电流应用（例如：工业应用或者HVAC控制等）可能会遇到热问题。幸运的是，设计人员现在有许多选择，可以使用小型、高效、宽输入电压开关式稳压器。

本文将对24V总线、100mA和5V输出的三种不同解决方案进行比较。我们把一个同步降压转换器与一个集成线性稳压器和一个离散线性稳压器进行对比。通过比较它们的尺寸、效率、散热性能、瞬态响应、噪声、复杂度和成本，帮助广大设计人员选择最能满足某个特殊应用要求的解决方案。

## 比较条件

大多数工业应用都使用24V总线，并要求

图1 集成、宽输入电压线性稳压器



5V电压来驱动各种负载，例如：逻辑和低电流微处理器等。我们选择100mA的输出电流，原因是它可适应许多逻辑和处理器负载。但是，功耗水平会影响我们使用开关式稳压器还是线性稳压器的决定。图1、2和3所示电路均建立在相同电路板基础上，并使用相同额定值的1μF输入和4.7μF输出陶瓷电容器。

图1所示设计使用一个具有集成MOSFET的同步降压转换器，即德州仪器的TPS54061。注意，该电路并不要求使用一个保护二极管，但却包含了1个电感、5个电容器和4个电阻器。该器件还使用了外部补偿，并使用与图2和图3所示线性电路一样的输入和输出电容器。

图2所示设计使用了一个集成、宽输入电压线性稳压器，即德州仪器的LM317，它是一种具有1.5A输出能力的流行工业标准稳压器。该电路使用2个外部电阻器和2个外部电容器。输入和输出电压的巨大差异，要求双decawatt封装（DDPak）的低热电阻。

图3显示的是一个离散线性稳压器，它使用一个晶体管和一个齐纳二极管，并有2个外部电容器和4个外部电阻器。5.6V下时，齐纳二极管损坏，该电压被馈给NPN晶体管的基极。由于存在基极-发射极压降，输出被调节至~5V。外部电阻器用于帮助降低NPN晶体管的功耗。

表1概括了这类设计的板面积和组件数目。

线性稳压器解决方案要求使用更多的板面积来缓解电路板上的热问题。全负载下时，所有线性稳压器解决方案的功耗都必须达到约2W。一般而言，1平方英寸板面积内，1W左右的功耗会带来100°C的温升。按照设计，线性稳压器解决方案仅允许40°C的温升。如果不考虑外部组件的数目以及补偿反馈环路和选择电感的大量设计工作，在板面积有限时，同步降压转换器无疑是理想选择。

### 散热性能

图4所示热图像表明了这类电路板设计的温升情况。这样设计电路板的目的是，让所有电路均不会干扰相邻电路的散热性能。表2表明，开关式稳压器具有低温升，其温度为11°C。输入和输出电压之间存在巨大差异时，相比线性电路，同步整流开关式稳压器的效率表现优异。（参见表3）有趣的是，我们注意到，集成线性电路的温升不同于离散线性电路。由于集成线性稳压器的封装（DDPak）更大，因此它的散热所分布面积也更大。使用SOT-23和SOT223封装的离散线性电路比DDPak小，并拥有更高的封装功耗额定值，从而让散热更加困难。

图3 离散线性稳压器

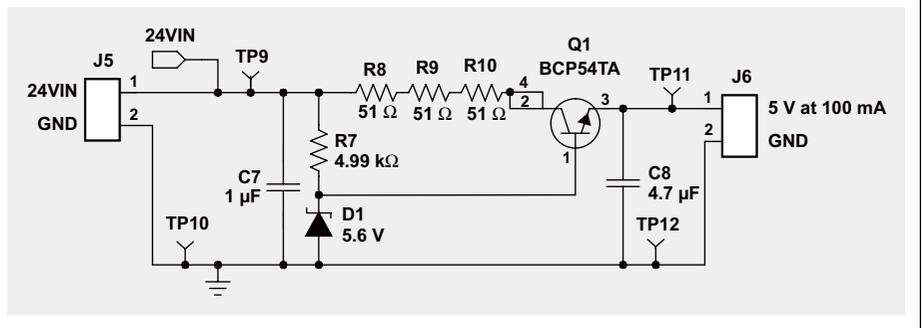


表1 板面积和组件数目概括表

REGULATOR TYPE	BOARD AREA (in <sup>2</sup> )	NUMBER OF COMPONENTS	COMPLEXITY
Switching (Buck) (TPS54061)	0.14	11	High
Integrated Linear (LM317)	2.25	5	Low
Discrete Linear (Zener/Transistor)	2.25	8	Medium

表2 散热性能总结表

REGULATOR TYPE	TEMPERATURE RISE (°C)	MAXIMUM TEMPERATURE (°C)	PACKAGE
Switching	11	40.7	3x3-mm VSON
Integrated Linear	27	56.2	DDPak
Discrete Linear	40	69.1	SOT-23, SOT223

图4 每种电路的发热情况（白色表示最高温度）

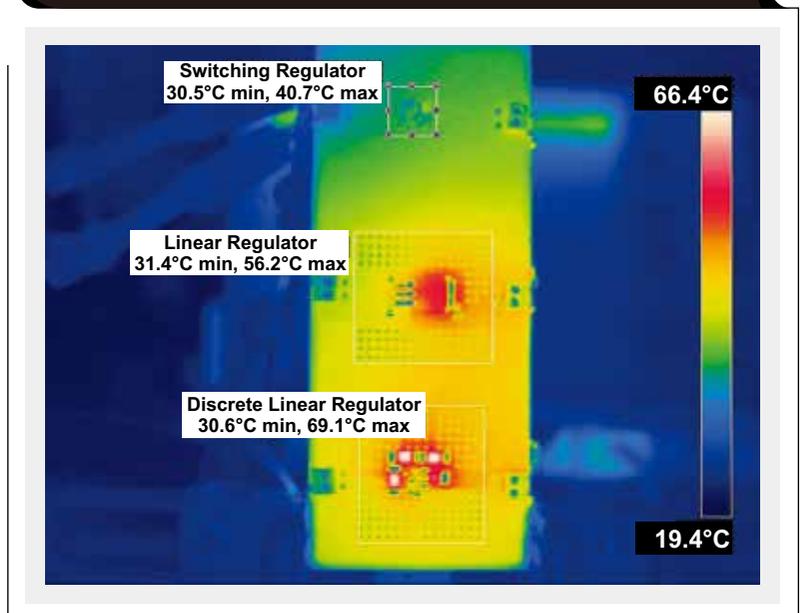


表3 效率和功率损耗总结表

REGULATOR TYPE	MAXIMUM LOAD		NO LOAD
	EFFICIENCY (%)	POWER LOSS (W)	QUIESCENT CURRENT (mA)
Switching	84.5	0.093	0.5
Integrated Linear	20.0	2.06	5.5
Discrete Linear	20.1	2.02	4

### 效率比较

散热性能直接与每种稳压器的效率有关。图5显示了所有三种电路的效率比较情况。正如我们所预测的那样，在轻负载和全负载效率两方面，开关式稳压器均表现优异。在轻负载下，开关损耗和静态电流损耗更加明显，其解释了更轻负载下效率较低的原因。轻负载下时，最好是查看功耗曲线图（图6），而非效率曲线图，因为10mA下50%的效率差异看似为一个较大的余量。但是，负载消耗的电流较小。当输入电压为24V而输出电流为10mA时，开关式稳压器的功耗为2.8mW，集成线性稳压器的功耗则为345mW。在全负载条件下，开关式稳压器的测得功耗为0.093 W，而线性稳压器则为2.06W，其表明余量较宽并且性能获得明显改善。

表3总结了所有三个电路的效率和功耗。注意，离散线性电路的静态电流小于集成线性电路。相比离散线性电路，集成线性稳压器内部电路的功耗更高，并拥有更多的功能。

### 输出电压特性

模拟电路对电压纹波敏感，而数字处理器则对内核电压的精度敏感。应查看电源的电压纹波、电压调节精度以及负载瞬态期间的电压峰值偏差，这一点很重要。线性稳压器本身的纹波较低，可用于消除开关式稳压器的噪声。在最大负载条件下，集

图5 效率与负载电流的关系曲线图

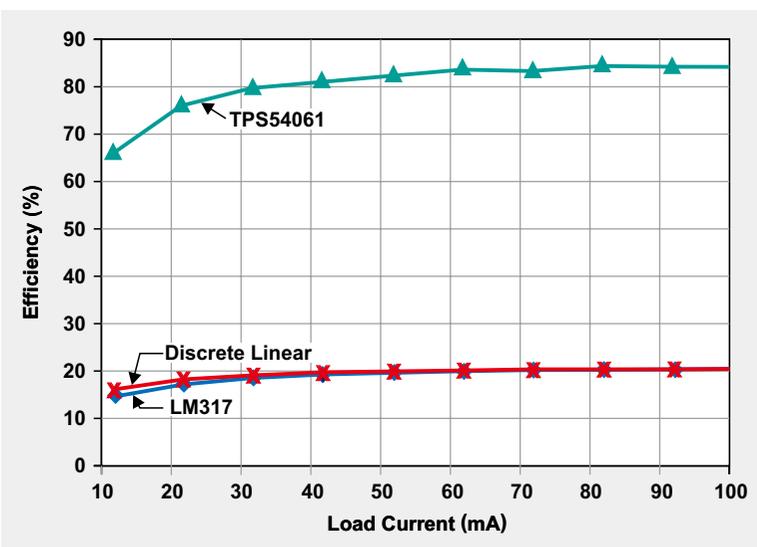
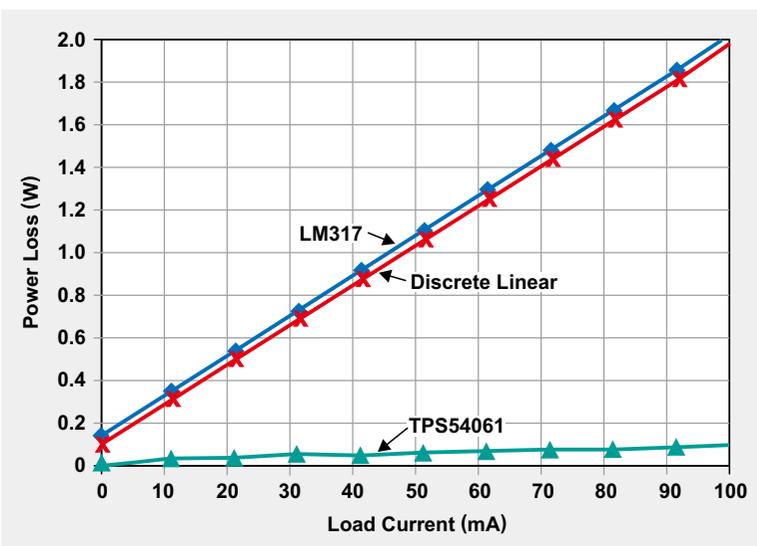


图6 功耗与负载电流的关系曲线图



成和离散线性稳压器电路的电压纹波均小于10mV。以输出电压百分比表示时，精度应大于0.2%。另一方面，开关式稳压器的电压纹波为75mV，即输出电压的1.5%。开关式稳压器的陶瓷输出电容器的低等效串联电阻特点，使这种电路的纹波较低，但存在开关式稳压器的固有噪声。

比较空载到全负载时开关式稳压器和线性稳压器的输出电压精度表明，开关式稳压器拥有更高的性能。进一步查看产品规格表，我们可知道，开关式稳压器的基准电压是三种电路中精度最高的。开关式稳压器是一种相对较新的集成电路，并且DC/DC转换器正朝着更高的基准电压精度发展。离散线性电路使用一种更加简单的方法来调节输出电压，其性能最低。在许多情况下，由于调节后输出电压为5V，许多应用不需要高电压精度。

图7到图9显示了负载瞬态曲线图。尽管开关式稳压器拥有高输出电压精度，但其在负载瞬态期间测得的峰值到峰值电压并没有线性电路好。50mA到100mA负载步进期间，开关式稳压器的测得峰值到峰值电压为250mV，即输出电压的5%，而线性电路则为40mV。我们可以为开关式稳压器添加更多输出电容，以降低电压峰值，但是代价是成本和尺寸的增加。注意，离散线性电路的设计目的并非是恢复负载瞬态期间的输出电压。另外，简单电路无法实现限流或者热关断保护功能！

图7 负载瞬态期间的开关式稳压器

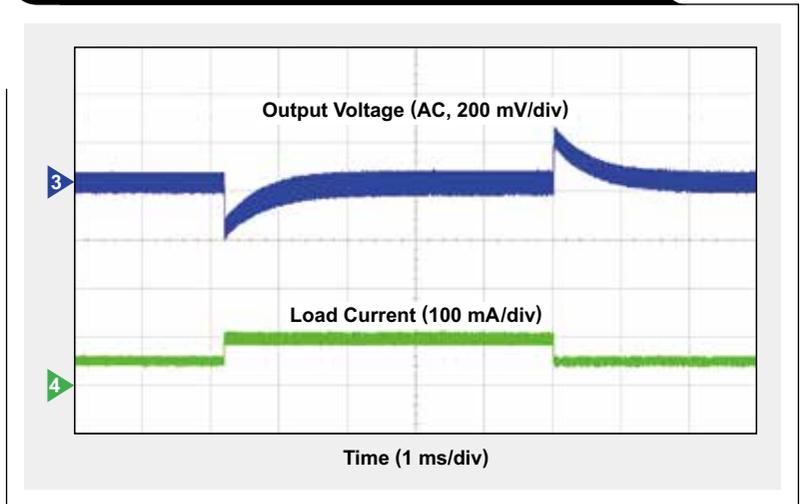


图8 负载瞬态期间的集成线性稳压器

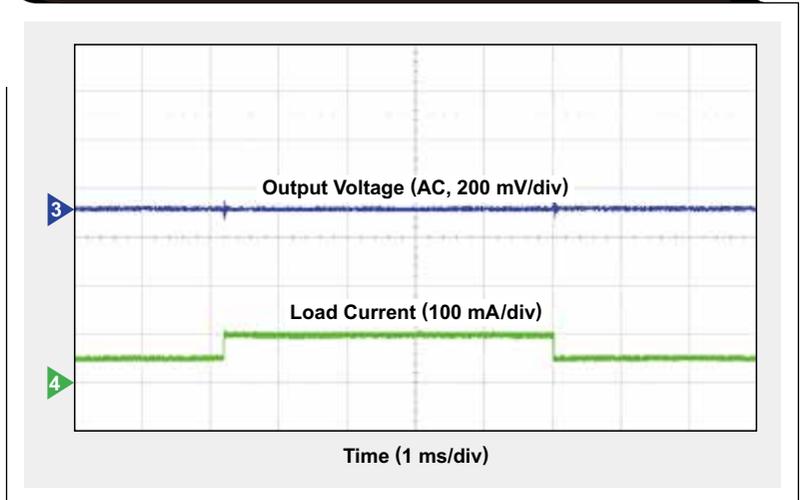


图9 负载瞬态期间的离散线性稳压器

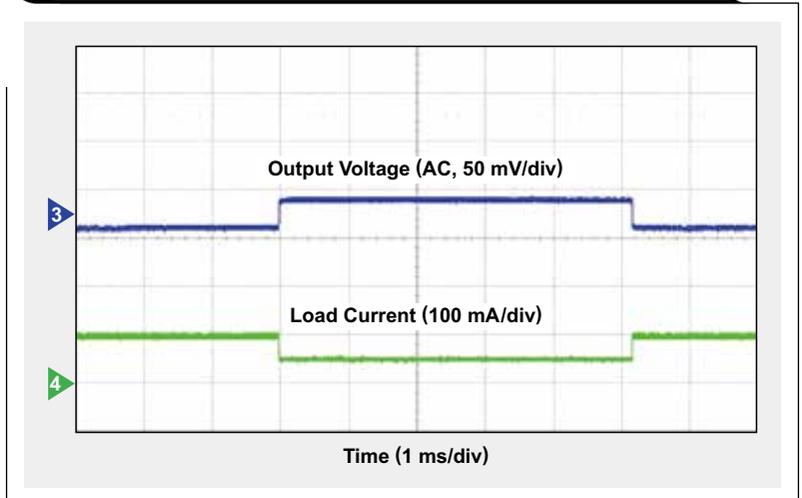


表4总结了三种稳压器设计的输出电压特性。

### 成本比较

这些电路中使用的大多数外部组件均为小型、无源电阻器和电容器，成本不超过0.01美元。三个电路中成本最高的组件是硅。所有三个材料清单（BOM）的费用（如表5所示），均收集自10000颗批发建议销售定价的美国销售渠道。正如我们所看到的那样，线性稳压器解决方案的成本远低于开关式稳压器。不幸的是，开关式稳压器要求使用一个外部电感，其费用约为0.10美元，但它所带来的效率提高和尺寸缩减值得我们为此多给钱。集成和离散线性稳压器的成本差异仅为0.06美元！单是保护功能就能证明集成线性稳压器相比离散线性稳压器的优势所在。

### 结论

有许多电源管理解决方案可供设计人员选择，但需根据具体应用需求来选择最佳的解决方案。那些能够降低能耗和节省板空间的电源管理解决方案，使设计人员让其产品具备更加差异化的特性，并在市场上表现出对用户的吸引力。相比线性电路，同步降压转换器的

效率更高，板空间更节省。如果某个设计必须实现最低的成本，则可使用离散线性电路，但其性能最低，并且还存在着许多潜在问题，例如：散热和缺少保护功能等。

表6总结了所有三种稳压器设计的特性，帮助设计人员为某种具体应用选择最佳解决方案。

### 参考文献

- 1、《3端可调节稳压器》，LM317产品说明书，网址：[www.ti.com/slvs044-aaj](http://www.ti.com/slvs044-aaj)
- 2、《低IQ的60V、200mA同步降压DC-DC转换器》，TPS54061产品说明书，网址：[www.ti.com/slvsbb7-aaj](http://www.ti.com/slvsbb7-aaj)

### 相关网站

电源管理：

[www.ti.com/power-aaj](http://www.ti.com/power-aaj)

[www.ti.com/lm317-aaj](http://www.ti.com/lm317-aaj)

[www.ti.com/tps54061-aaj](http://www.ti.com/tps54061-aaj)

订阅AAJ，请访问：[www.ti.com/subscribe-aaj](http://www.ti.com/subscribe-aaj)

表4 输出电压特性总结表

REGULATOR TYPE	MAXIMUM LOAD RIPPLE (mV)	OUTPUT TRANSIENT WITH 50- TO 100-mA LOAD STEP (mV)	REGULATION ERROR WITH 0- TO 100-mA LOAD STEP (mV)
Switching	75	250	1.5
Integrated Linear	<10	40	0.7
Discrete Linear	<10	40	21.8

表5 BOM成本总结表

REGULATOR TYPE	BOM COST AT 10-ku RESALE PRICE (U.S. DOLLARS)
Switching	1.80
Integrated Linear	0.32
Discrete Linear	0.26

表6 24V输入5V/100mA稳压器特性

REGULATOR TYPE	BOM COST AT 10-ku RESALE PRICE (U.S. DOLLARS)	V <sub>OUT</sub> RIPPLE (mV)	FULL-LOAD EFFICIENCY (%)	BOARD AREA (in <sup>2</sup> )	COMPLEXITY
Switching	1.80	75	84.5	0.14	High
Integrated Linear	0.32	<10	20.0	2.25	Low
Discrete Linear	0.26	<10	20.1	2.25	Medium

# 利用阻抗跟踪™电量计改善电池备用系统的LiFePO<sub>4</sub>电池平衡

作者: Keith James Keller, 德州仪器 (TI) 模拟现场应用

TI 的阻抗跟踪™电池电量计技术是一种专有算法, 它可获取随时间变化的电量和阻抗信息, 从而精确地计算出充电状态 (SOC) 和剩余电量。

电池备用电源应用中, 每隔几天电池便会出现短暂的充电以对自放电进行再补充, 很少会出现完全放电的情况。在处理这种应用时, 我们需要知道一些特殊条件。使用磷酸铁锂 (lithium-iron-phosphate, 即LiFePO<sub>4</sub>) 电池时, 必须关闭电量计的平衡功能, 或者必须使用一种增强型固件。本文将介绍一款TI专门为bq20z45-R1电量监测计而开发的固件, 它对数据闪存参数进行编程以实现正常电池循环和最佳的平衡结果。我们还将介绍当正常工作状态下闭关平衡功能时实现离线电池平衡的一些原则。

图1显示了TI经过约10年的分析所得出的所有锂离子电池的单电池、开路电压 (OCV) 电压密度曲线图与放电深度 (DOD) 的对比情况。(DOD刚好为1/SOC。) 您可以看到, SOC曲线的很大一部分, LiFePO<sub>4</sub>电池的电压均非常扁平。这种电压扁平, 导致很难通过阻抗跟踪算法精确地估算电池平衡所需的SOC。在充电结束时 (约0% DOD), 电压上升明显, 其导致明显的电池到电池电压发散, 从而进一步使SOC估算和电池平衡变得更加复杂。

消除工作期间的Q<sub>max</sub>更新

在现场运行时, 允许无Q<sub>max</sub>更新。尽管不要求, 但是一种高度可靠电池备用电源应用的理想情况是, 通过制造工艺期间的完全放电来确定封装的Q<sub>max</sub>。知道Q<sub>max</sub>以后, 无需再更新Q<sub>max</sub>。

确定初始Q<sub>max</sub>的事件

表1显示了bq20z45-R1的典型增强型数据闪存参数, 其固件为7.02版, 必须通过TI的bq评估软件工具进行修改, 以实现一次Q<sub>max</sub>更新。这些特殊参数均受到保护 (类别为“隐藏”), 但可通过TI的应用技术人员解锁。表1的电池参数来自TI数据库, 用于404化学ID的2串联、2并联 (2s2p) 2500mAh LiFePO<sub>4</sub>电池组。该表

图1 锂电池的电压密度曲线

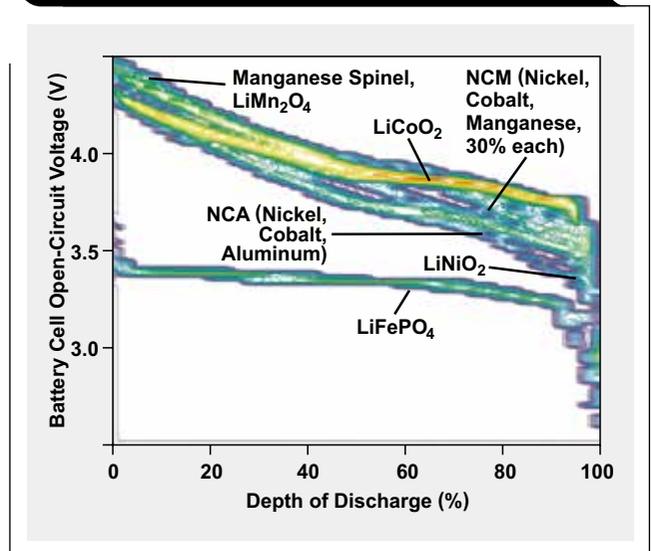


图1 锂电池的电压密度曲线

DATA-FLASH PARAMETER	DEFAULT VALUE	NEW VALUE
Operation Cfg C	0130	05B0
Min % Passed Charge for Q <sub>max</sub>	37%	No Change
Min % Passed Charge for 1st Q <sub>max</sub>	90%	No Change
Q Invalid MaxV	3351 mV (chemical ID 404 default)	No Change
Q Invalid MinV	3274 mV (chemical ID 404 default)	No Change
OCV Wait Time	1800 seconds	600 seconds
Max Delta V	40 (10-μV units)	160 (10-μV units)
DOD Capacity Err	2%	No Change
Q <sub>max</sub> Max Time	18,000 seconds	No Change
Max Capacity Error	1.0%	3.0%
Q <sub>max</sub> Filter	96	26
Q Invalid MaxT	40.0°C	55.0°C
Q Invalid MinT	10.0°C	No Change
Min Cell Deviation	1750 s/mAh	1909 s/mAh

还列举了必须根据这些特性对数据闪存参数进行的一些修改。“C配置运行”寄存器修改，实现了7.02固件提供的一些新功能。“OCV等待时间”和“最大三角V”修改，可在充电完成后立即进行OCV测量。“最大电量误差”和“ $Q_{max}$ 滤波器”修改，给更小电量电池的 $Q_{max}$ 更新留出更多的时间（原因是使用18650尺寸的LiFePO<sub>4</sub>电池一般仅有1100mAh电池）

一旦默认值被改变，便可利用这种方法实现一次理想的 $Q_{max}$ 更新。

### 1、 $Q_{max}$ 更新周期开始

在一次完全充电以后电池闲置时应开始 $Q_{max}$ 更新周期。理想情况下，电池应尽可能地“休息”。但是，如果由于板上电路，电池组有较高的自放电电流，则这种等待时间可短至2小时。

### 2、完全充电与有效OCV信息获取

当充电终止时，在电池电压稳定以前，必须发送IT激活命令（0X0021）来阻止获取OCV信息。之后，应尽可能地允许电池休息。压降期间，LiFePO<sub>4</sub>电池组的一节电池往往会在充电末尾逃离。通过充电至更低电压（每节电池3.5V），或者在一节电池的电压超过或者低于其它电池20mV时关闭充电器，可以防止这种电压偏移现象出现。

就化学ID404而言，如果电池休息以后，电池组的电池最低电压为3353mV或者更高，则可开始放电程序。如果休息期间，有电池电压降至3353mV以下，则要求开始另一个充电周期，以充满电池，必须再次开始该过程。不同电压适用于不同的化学ID。更多详情，请参见《参考文献1》和本文结尾处的“相关网站”。

再次发送IT激活命令，以开始 $Q_{max}$ 更新过程。在发送该命令以后，在放电开始以前需等待5分钟，原因有两个：（1）清除5分钟积累的库伦计数字滤波器；（2）让电量计有时间在激活命令发送以后完成计算工作。

### 3、放电与休息

电池应放电至空电量，也即电压降至最小不合格电压以下。电池休息时，其电压上升。在“ $Q_{max}$ 最大时间”设置规定的完整休息时间加上5分钟缓冲时间期间，所有电池电压都必须保持在最小不合格电压以下。

### 4、 $Q_{max}$ 更新完成

可从数据闪存“状态”补偿82/ $Q_{max}$ 电池补偿0-8读取已更新的 $Q_{max}$ 值。如果 $Q_{max}$ 未知或者未更新，则重新开始

更新周期，这样电池便被再次充电至全电量，发布正确的命令，并且允许电池休息。

### 黄金周期

为了给所有电池组创建黄金镜像数据，应运行几个充电和放电周期，以获得可靠的 $Q_{max}$ 和电阻表（Ra表）值。使用LiFePO<sub>4</sub>电池时，最好是在前述过程之后的放电周期，更新 $Q_{max}$ 。

在黄金周期的充电和放电周期，利用bq评估软件工具创建一个日志文件（.LOG），这一点很重要。这样，便可以利用TI应用人员提供的Mathcad®计算工具，验证 $Q_{max}$ 和Ra表值的正确性。

在创建黄金电量监测计（.GG）文件以后，应将基于周期数据的保守数值分配给 $Q_{max}$ 值。每个电池的Ra表值分配集应相同，而并联电池的 $Q_{max}$ 值也应相同。使用连续周期的非对称 $Q_{max}$ 和Ra表开始值，可能会引起SOC误差和平衡问题。表2列举出了经过调整的黄金.GG值的一个例子，它可以改善2s2p电池组配置的电池平衡性。

表2 相比黄金.GG文件的数据闪存参数例子

Example Learned .GG Parameters for 2s2p Configuration with 2500-mAh Capacity (not comprehensive)	Values Used in a Golden .GG File
[Cell Balancing Cfg (Charge Control)]	[Cell Balancing Cfg (Charge Control)]
FC-MTO = 32400	FC-MTO = 0
[State(Gas Gauging)]	[State(Gas Gauging)]
Qmax Cell 0 = 2583	Qmax Cell 0 = 2510
Qmax Cell 1 = 2510	Qmax Cell 1 = 2510
Qmax Cell 2 = 2500 (not used)	Qmax Cell 2 = 2500 (not used)
Qmax Cell 3 = 2500 (not used)	Qmax Cell 3 = 2500 (not used)
Qmax Pack = 2583	Qmax Pack = 2510
Update Status = 06	Update Status = 02
[R_a0(Ra Table)]	[R_a0(Ra Table)]
Cell0 R_a flag = 0000	Cell0 R_a flag = 0055
Cell0 R_a 0 = 34	Cell0 R_a 0 = 34
Cell0 R_a 1 = 37	Cell0 R_a 1 = 37
Cell0 R_a 2 = 49	Cell0 R_a 2 = 49
Cell0 R_a 3 = 59	Cell0 R_a 3 = 59
Cell0 R_a 4 = 54	Cell0 R_a 4 = 54
Cell0 R_a 5 = 60	Cell0 R_a 5 = 60
Cell0 R_a 6 = 73	Cell0 R_a 6 = 73
Cell0 R_a 7 = 67	Cell0 R_a 7 = 67
Cell0 R_a 8 = 73	Cell0 R_a 8 = 73
Cell0 R_a 9 = 81	Cell0 R_a 9 = 81

(Continued on next page)

在黄金镜像数据创建期间和正常工作期间，应关闭电量监测计的充电超时功能即FC-MTO（设置为0），这样便可在不要求放电来清除该计时器的情况下连续充满电池。FC-MTO隐藏在TI的bq20z4x/7x产品中，但幸运的是，它已被默认设置为0。TI的bq20z80将该功能称作“FC-MTO”，而bq20z6x/9x则将其称作“CMTO”。

### 电池平衡

就3节或者4节串联电池而言，应仅在电池备用电源应用中使用内部电池平衡。这是因为，利用外部电池平衡时，相邻的电池无法得到正确的平衡。但是，在2节串联电池组中，允许使用外部电池平衡。由于备用电池大多数时候均处于休息状态，充电时间较少，因此需要正确地平衡相邻电池<sup>2</sup>。

如前所述，必须对增强型bq20z45-R1固件的数据闪存参数进行修改，以用于电池备用电源应用，并适应设计人员的特殊电池组特性（本文中为化学ID404）。增强型固件提供对整个休息期间OCV值的加权测量，并在充电完成后首次OCV测量后立即锁定电池平衡计算。另外，它在上电以后或者重置状态下，让不合格范围内的电池平衡失效。

建议定期放电来更新Ra-表值。放电期间SOC每变化约11%便对这些值进行更新（例如：89%、78%、67%等）。

另外，利用电量监测计的备用电量功能，可估算和补偿随时间而产生的电池电量损失。补偿电量损失的另一种方法是让主机系统进行计算。如果系统将在没有 $Q_{max}$ 更新的情况下工作，则主控制器必须通过在充电完成以后发布IT激活命令（0x0021）来确保没有出现 $Q_{max}$ 更新。

### 无增强型固件时的离线电池平衡

TI的bq20z6x/7x/8x/9x器件没有LiFePO<sub>4</sub>电池增强型固件。如果这些器件用于待机应用中，则在正常工作期间必须关闭平衡功能。通过设置最小电池偏差为0可以实现这个目标。如果主机系统确定电池随时间而出现错配，则应采取如下步骤：

设置最小电池偏差为1909（或者《参考2》中计算的任何正确值），开启电池平衡。

结合前面所述事件和条件，采取步骤2到6，以确保有效 $Q_{max}$ 更新。

Table 2 (Continued from previous page)

Example Learned .GG Parameters for 2s2p Configuration with 2500-mAh Capacity (not comprehensive)	Values Used in a Golden .GG File
Cell0 R_a 10 = 85	Cell0 R_a 10 = 85
Cell0 R_a 11 = 94	Cell0 R_a 11 = 94
Cell0 R_a 12 = 93	Cell0 R_a 12 = 93
Cell0 R_a 13 = 204	Cell0 R_a 13 = 204
Cell0 R_a 14 = 304	Cell0 R_a 14 = 304
[R_a1(Ra Table)]	[R_a1(Ra Table)]
Cell1 R_a flag = 0055	Cell1 R_a flag = 0055
Cell1 R_a 0 = 137	Cell1 R_a 0 = 34
Cell1 R_a 1 = 144	Cell1 R_a 1 = 37
Cell1 R_a 2 = 165	Cell1 R_a 2 = 49
Cell1 R_a 3 = 178	Cell1 R_a 3 = 59
Cell1 R_a 4 = 168	Cell1 R_a 4 = 54
Cell1 R_a 5 = 180	Cell1 R_a 5 = 60
Cell1 R_a 6 = 211	Cell1 R_a 6 = 73
Cell1 R_a 7 = 210	Cell1 R_a 7 = 67
Cell1 R_a 8 = 223	Cell1 R_a 8 = 73
Cell1 R_a 9 = 241	Cell1 R_a 9 = 81
Cell1 R_a 10 = 257	Cell1 R_a 10 = 85
Cell1 R_a 11 = 287	Cell1 R_a 11 = 94
Cell1 R_a 12 = 322	Cell1 R_a 12 = 93
Cell1 R_a 13 = 650	Cell1 R_a 13 = 204
Cell1 R_a 14 = 962	Cell1 R_a 14 = 304

电池完全放电，并允许电池休息5小时5分钟（或者5分钟以上，设置“Qmax最大时间”）。一旦在零电量时出现这种电池休息，则可通过测量每节电池的电压来准确估算SOC。

将电池完全充电，以允许在整个充电周期进行电池平衡。

充电完成以后，主机系统应发送一条IT激活命令，读取电池电压，然后决定是否还需要另一个深度放电平衡周期和休息。

如果需要另一个平衡周期，则马上开始完全放电，并如前所述在零电量时要求再休息5小时5分钟。

在确定需要正确平衡的电池以后，应再把最小电池偏差设置为0，以使电池平衡失效。

### 结论

TI的阻抗跟踪电池电量计技术是一种自适应计量算法，它可以在整个电池寿命周期对电池SOC进行准确的测量。但是，在电池备用电源应用中，为了获得最

佳的运行效果，我们需要考虑一些问题，并做出一些修改。本文介绍了如何利用TI的LiFePO<sub>4</sub>电池增强型bq20z45-R1固件，实现正确的电池平衡，以及获得可靠的Q<sub>max</sub>更新，从而达到最佳的准确性。

### 参考文献

- 1、《在浅放电应用中对TI的LiFePO<sub>4</sub>电池阻抗跟踪™电池电量计进行微调》，作者 Keith James Keller，刊发于《模拟应用杂志》（2011年第1季度），  
网址：[www.ti.com/slyt402-aaj](http://www.ti.com/slyt402-aaj)
- 2、《使用外部MOSFET实现快速电池平衡》，作者 Simon Wen，刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slua420-aaj](http://www.ti.com/slua420-aaj)
- 3、《bq20zxx产品系列阻抗跟踪™电池电量计算法理论与实现》，刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slua364-aaj](http://www.ti.com/slua364-aaj)
- 4、《电池备用存储系统的电量计考虑》，作者Keith James Keller，刊发于《模拟应用杂志》（2010年第1季度），  
网址：[www.ti.com/slyt364-aaj](http://www.ti.com/slyt364-aaj)

### 相关网站

电源管理：

[www.ti.com/power-aaj](http://www.ti.com/power-aaj)

[www.ti.com/bq20z45-r1-aaj](http://www.ti.com/bq20z45-r1-aaj)

[www.ti.com/bq20z70-v160-aaj](http://www.ti.com/bq20z70-v160-aaj)

[www.ti.com/bq20z80a-v110-aaj](http://www.ti.com/bq20z80a-v110-aaj)

[www.ti.com/bq27520-g3-aaj](http://www.ti.com/bq27520-g3-aaj)

[www.ti.com/bq27541-g1-aaj](http://www.ti.com/bq27541-g1-aaj)

bq评估软件工具下载地址：

[www.ti.com/bq20z45-r1-bqeasy-sw-aaj](http://www.ti.com/bq20z45-r1-bqeasy-sw-aaj)

bq评估软件工具电量监测计化学更新器下载地址：

[www.ti.com/gasgaugechem-aaj](http://www.ti.com/gasgaugechem-aaj)

《模拟应用杂志》订阅地址：

[www.ti.com/subscribe-aaj](http://www.ti.com/subscribe-aaj)

# 控制器局域网 (CAN) 物理层调试基础知识

作者: Scott Monroe, 德州仪器 (TI) 工业接口系统工程师

## 引言

控制器局域网 (CAN) 标准不断发展, 正用于车载和工业网络之外的许多新应用。支持它的微处理器变得普遍且价格低廉, 并且开源协议栈让其非常容易访问, 同时也容易添加至新系统。有许多CAN板可用于 BeagleBone (Capes)、Stellaris® (BoosterPacks)、Arduino (Shields) 和其他微处理器开发平台。当设计人员的系统上电却不能工作时, 应该怎么办呢? 本文为您介绍一种对CAN物理层进行调试的较好工程方法。我们将介绍基础调试步骤, 并说明一个CAN物理层应有的性能, 以及找出问题的一些小技巧。

## 调试基础知识

ISO11898-2和ISO11898-5规范详细说明了高速CAN物理层即收发器。掌握CAN物理层的基础知识以后, 利用简单的调试工具便可迅速地找出常见问题。所需的基本实验室工具为示波器、数字万用表 (DMM) 和一个电源。如果想要深入了解问题, 则需要更高

精度和更复杂的工具。这种问题已非本文讨论的范畴, 但是这里介绍的基础知识可帮助确定问题所属类别, 以及进一步调试所需的其他工具。一个由 TI 组装的CAN演示系统以及TI的SN65NVD255D评估模块 (EVM)<sup>1</sup>, 用于演示硬件。另外, 我们还使用了其他一些东西, 例如: CAN连接器外接头电缆和芯片钩 (抓住收发器引脚, 让其连接至电缆, 以更加容易地连接示波器指针, 如图1所示)。

## 连接检查

开始调试对话时, 使用DMM确认印刷电路板 (PCB) 上连接如我们所预计的那样一系统未上电。这看似很基础, 但令人吃惊的是, 这个简单的方法却解决了许多简单问题。所有人都会认为原理图、布局和制造工艺没有问题, 但不幸的是, 它们有时却并不如人愿。子插件板位置错误、虚焊和错误端接或者连接的电缆, 都是一些常见问题。利用DMM电阻设置来确认所有线路和连接均正确。图2所示CAN应用的简易原理图用作参考。

图1 CAN物理层调试基本工具

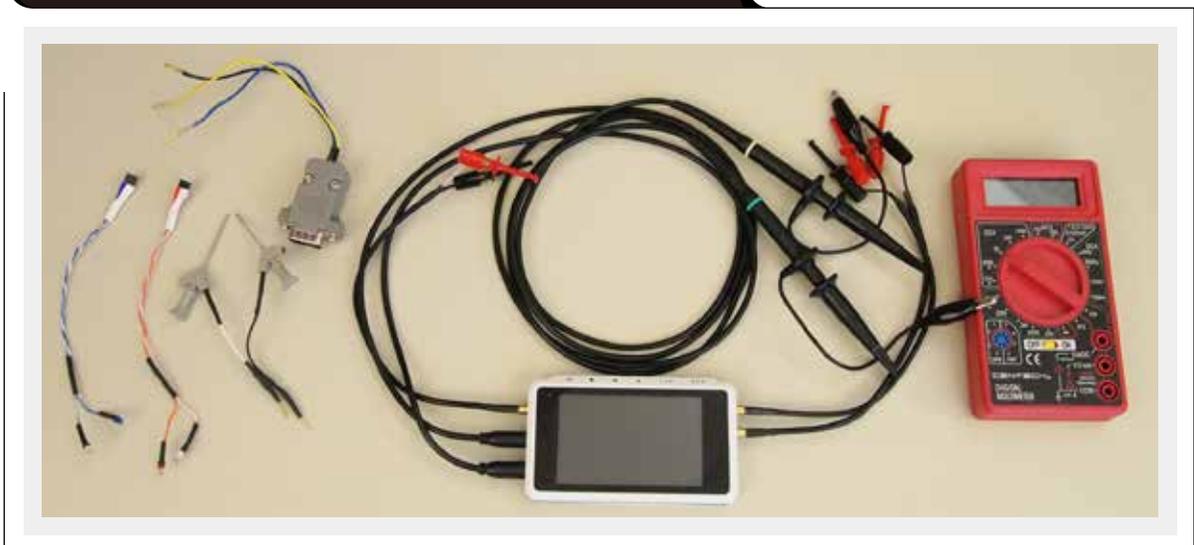


表1列举了需要检查的PCB和网络连接。收发器引脚和PCB上其他相关连接之间的电阻应为 $0\ \Omega$ ，除非设计使用表注里介绍的一些选项。例如，限流串联电阻器、总线端接电阻器或者数字I/O的上拉或下拉电阻器。

### 总线端接检查

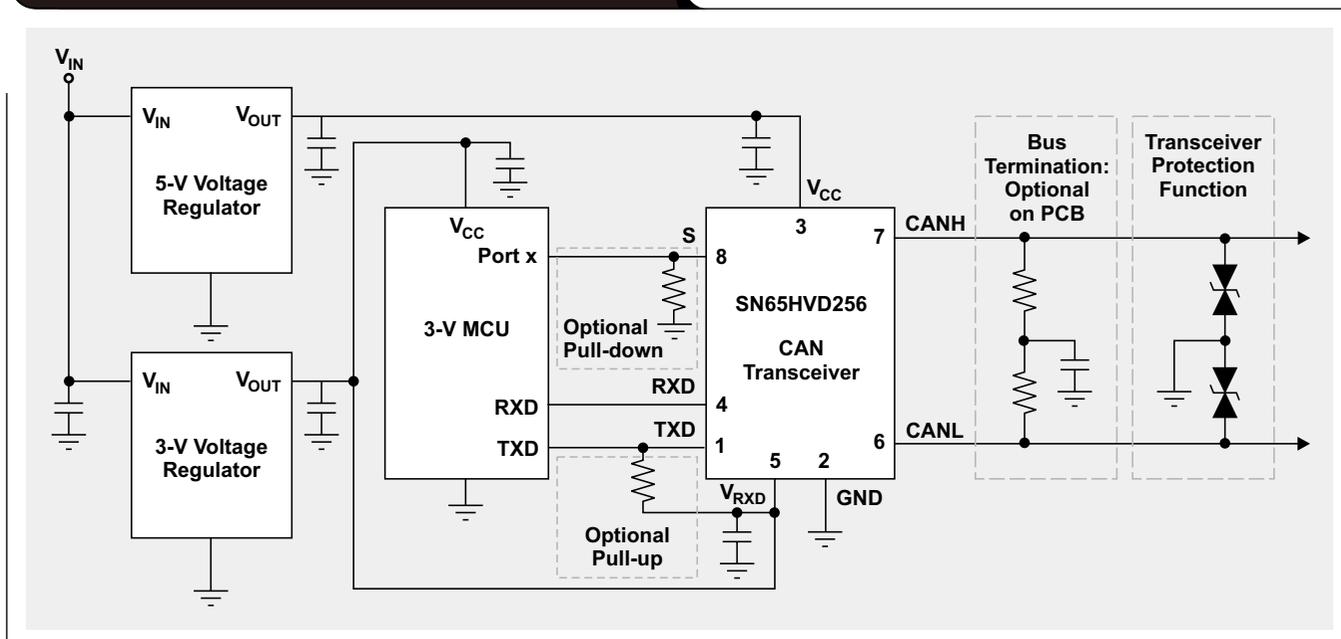
大多数CAN标准均规定使用一条单双绞线（有或者无

屏蔽层），其特性阻抗（ $Z_0$ ）为 $120\ \Omega$ 。应使用与线路特性阻抗相同的电阻器来端接电缆两端，以防止信号反射。端接可以为电缆上总线端的单 $120\ \Omega$ 电阻器，如图3中CAN总线左侧所示；或者，它也可以位于某个端接节点内，如图3右侧所示。不得将端接电阻从总线移除。如果CAN端接电阻负载不存在，则信号完整性会受到影响，并且无法满足比特计时要求。如果

表1 PCB和CAN收发器连接总结

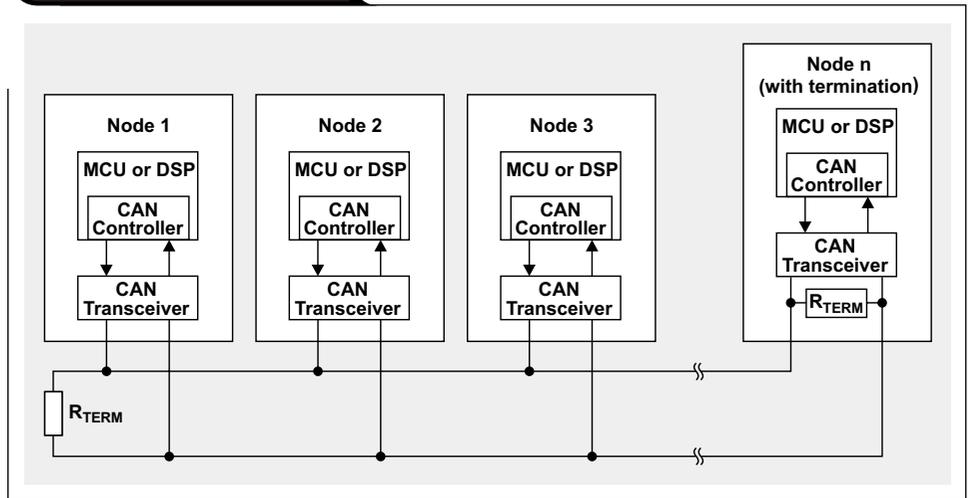
CONNECTION	COMMENTS
Ground	The transceiver GND should be connected to the PCB ground plane.
Power Supply ( $V_{CC}$ , $V_{IO}$ , $V_{RXD}$ )	The $V_{CC}$ on the transceiver should be connected to the voltage regulator's output. One should be careful in multirail designs: The $V_{CC}$ of the transceiver may be 5 V or 3.3 V, depending on the CAN transceiver family. Some 5-V CAN transceivers have an I/O level-shifting pin ( $V_{IO}$ or $V_{RXD}$ ).
Transmit Data (TXD or D)	If a current-limiting series resistor is used, that is the expected resistance value. The TXD may need a pull-up to the $V_{CC}$ if an open-drain output on a microprocessor is used.
Receive Data (RXD or R)	If a current-limiting series resistor is used, that is the expected resistance value.
Mode	$R_S$ , S, STB, EN, AB, or LBK may be available, depending on the specific CAN transceiver. $R_S$ provides three modes of operation that need to be checked: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>High-speed mode</i>. There should be a connection to ground or low from the microprocessor's output pin.</li> <li>2. <i>Slope-control mode</i>. There should be a pull-down resistor to ground between 10 and 100 kW.</li> <li>3. <i>Low-power mode</i>. There should be a logic high via a pull-up resistor or via the output from the microprocessor's output pin.</li> </ol> The other pins are digital inputs with logic-low and -high thresholds that may be either driven by a microprocessor output or pulled high or low via a resistor. It should be verified that the device is in the proper mode.
$V_{REF}$ or SPLIT pin	Some transceivers may have a $V_{CC}/2$ output reference. It may be floating, connected by a bypass capacitor to ground, or used to actively drive split termination. The application use should be verified.
CAN Bus (CANH, CANL)	The transceiver's CANH and CANL pins should be connected to the respective pins on the CAN bus. More information is provided under "Checking bus termination" in this article.

图2 CAN应用简易原理图



总线共模电压滤波和稳压理想，则使用分裂端接，如图2所示。在该图中，每个电阻器均为 $60\ \Omega$ ，而分裂电容器范围为 $1\ \text{nF}$ 到 $100\ \text{nF}$ ，具体取决于共模滤波器所需的频率。<sup>2</sup>CANH到CANL的测得电阻应介于 $45\ \Omega$ 到 $65\ \Omega$ 之间，以达到CAN标准、两个端接电阻器的并联阻抗以及并关节点输入电阻的容差。应根据可能碰到的极端故障状态（通常为系统接地的电源电压）来确定端接电阻器的额定功率。

图3 典型CAN总线



### 电源检查

在系统上电以前，应首先检查CAN收发器的一个或者多个电源。根据所使用的收发器类型， $V_{CC}$ 应为 $3.3\text{V}$ 或者 $5\text{V}$ 。不管您相不相信，在一些情况下，丢失 $V_{CC}$ 确实为问题的根本原因。因此，我们应确保 $V_{CC}$ 存在于收发器的 $V_{CC}$ 引脚上。只需检查DMM，便可确认有电源存在。必须注意电源短路接地（不幸的是，该引脚就在 $V_{CC}$ 引脚的旁边）。

显性状态（ $60\ \Omega$ 总线负载时约为 $60\text{mA}$ ）和隐性状态（ $10\text{mA}$ ）之间所需电流（ $I_{CC}$ ）差约为 $50\text{mA}$ 。显性总线状态期间端接电阻差分电压的产生需要这 $50\text{mA}$ 的电流差，并且其随总线负载变化而变化。DMM还可用在电流模式下，以验证预计 $I_{CC}$ 电源电流。由于CAN的开关性质，DMM测得的电流伪平均读取值。

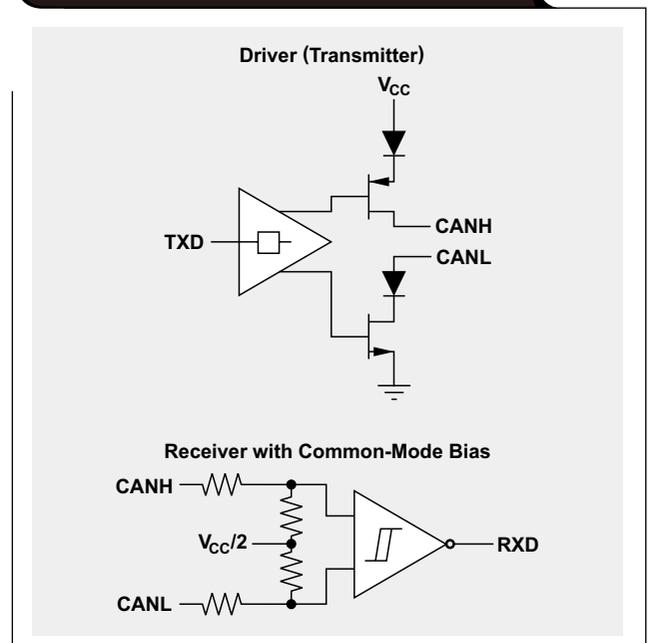
建议本地旁路电容器至少应为 $4.7\ \mu\text{F}$ ，以确保总线状态转换期间有足够的电源缓冲。否则，收发器的突入电流可能会引起明显的电压电源纹波。我们可以使用一个示波器来验证电源电压是稳定，还是随着总线状态变化而变化。转换期间，最好不要让收发器“饥饿”。收发器受到其限流的保护，但是，当收发器试图驱动总线至显性状态时，如果其中一条总线短路至电源或者接地，则电源电流极高。如果电压调节器无法提供这么多的电流，则电压电平降至收发器规格范围以下，甚至可能会低至触发收发器的欠压锁定状态。

### CAN物理层基础知识

一旦完成所有基础检查，就可以检查CAN物理层的核心CAN总线了。收发器的两个关键组件便是接收器和发射器。发射器被称作CAN的驱动器。通过 $V_{CC}/2$ 共模点（约 $2.5\text{V}$ ）对CAN物理层偏置，见图4。

收发器将单端数字逻辑信号、TXD（或者D）和RXD（或者R）转换为差分CAN总线所要求的电平。当总线为显性时，在接收节点，其CAN标准定义的差分电压（ $V_{diff(D)}$ ）大于 $1.2\text{V}$ ，并且处于逻辑低状态。当总线为隐性时，在接收节点，其CAN标准定义的差分电压（ $V_{diff}$ ）

图4 简易CAN总线收发器



$(R)$  ) 为  $-120\text{mV} \leq (V_{\text{diff}(R)}) \leq 12\text{ mV}$ ，并且处于逻辑高状态。两种总线状态均通过收发器内共模网络偏置。图5显示了典型的总线层级。

对总线进行调试时，最为有用的工具之一便是示波器。尽管单通道示波器便可看到信号，但最好还是用双或者四通道。理想情况下，可同时看到TXD、RXD、CANH和CANL，以确保收发器和总线性能如预期。进行初次调试时，只需一个低带宽示波器，因为标准CAN被限定在1Mbps。（在不远的将来，在引入拥有灵活数据速率的CAN以后，这种情况将有所改变。）如果该节点正发送数据比特流，则可在TXD输入端看到输入数据。差分CAN总线引脚（CANH/CANL）存在传输延迟，同时还存在RXD输出传输延迟。在CAN中，这些延迟均为循环时间，或者说循环延迟。如果该节点正在接收，则TXD闲置；但是总线和RXD输出会显示CAN帧。

为了演示基础CAN总线工作情况，图6显示了一个示波器，它拥有两个模拟通道和两个数字通道，以及一个函数生成器。CAN总线由两个SN65HVD255D EVM组成，每个在总线上的端接电阻均为120Ω。示波器函数生成器连接至顶部EVM的TXD输入引脚。图7中，数字通道1显示了CANH信号（蓝色）；模拟通道2显示了CANL信号（黄色）；数字通道2显示了RXD信号（绿色）。尽管该示波器的精确度很低，但这个简单的测试表明，该CAN物理层的表现总体上符合我们的预期。

图5 CAN总线状态

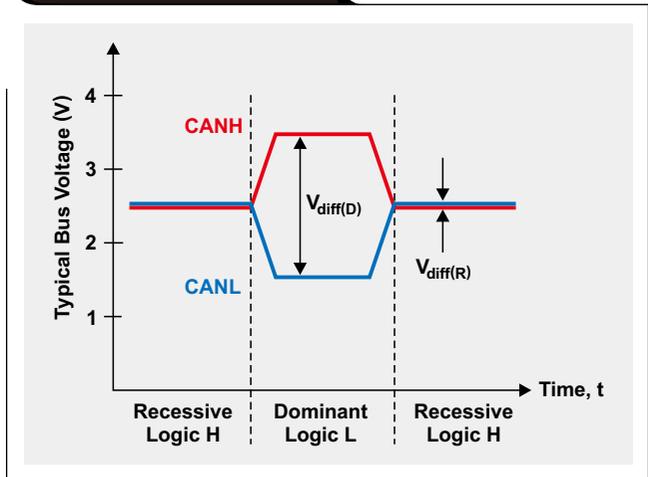


图6 两个EVM的CAN总线调试

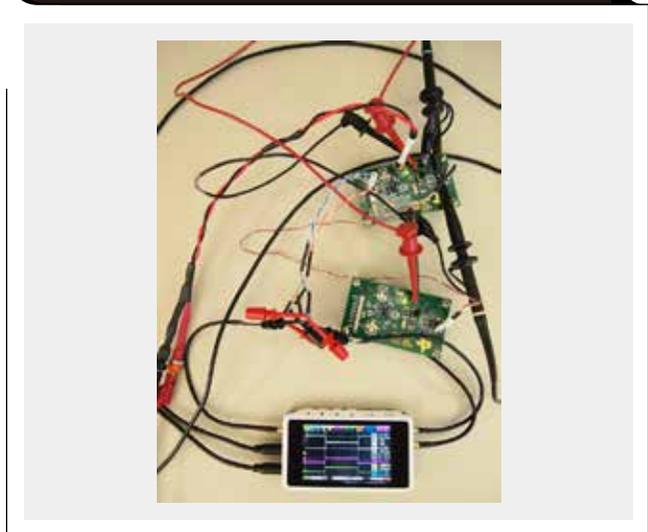


图7 TI CAN EVM信号



图8显示了该示波器和用于调试TI CAN演示系统的探针装置。该节点使用菊形链，并使用CANopen® D-SUB 9针连接器。一个总线外接头连接器位于图8左上方。利用它，我们可以轻松地连接模拟示波器探针至CAN总线的CANH和CANL引脚以及GND。由于探针过大，无法抓住中间CAN节点的TXD和RXD IC引脚，因此可通过连接至探针的芯片钩和一小段电缆，将这些引脚连接至示波器的数字通道。另一种方法是，给每个收发器焊接一小段线，这样示波器探针便可更容易地连接。

图9显示了示波器获得的CAN信号详细情况。尽管这些信号的分辨率和精度均不高，但它们可以帮助确定需要了解CAN节点工作的信息。中间节点的TXD触发了示波器；CANH和CANL信号差异符合预期；在CAN构架端可清楚地看到高差分电压的收到确认（ACK）位。该高压为同时并行产生ACK位的多个CAN节点的结果。轻松找出ACK位的另一个方法是其存在于RXD信号中而非TXD信号中，这意味着它由另一些节点产生。

### CAN调试例子

图10显示了一个CAN演示系统，在PCB右边，连接至菊形链输出的CANH线路被损坏。出现这种情况的原因是，系统后面的一个固定螺栓摩擦PCB，而在几年的时间里该系统被运输至世界各地。当系统通过菊形链总线接口连接至其他CAN节点时，便故障无法工作。

图8 TI CAN演示系统调试



图9 TI CAN演示系统的信号



图10 带有损坏CANH线路的CAN演示系统



图11所示CANH信号表明了该损坏PCB线路的效果。另外，DMM连续性检查也可证实该开路。

图11还突出详细显示了CAN帧的另一个重要部分，即ACK位。示波器使用单一模式，在某个单比特发现触发器时，其在右手节点的TXD引脚上被触发。该单比特为这一节点产生的ACK位，目的是确认接收到一个有效的CAN帧。所有接收节点确认收到发送节点的CAN帧。相比在TXD上看到的发送ACK位，总线上所看到的ACK位的位时间稍长。这是同时发送ACK位的多个节点的假象。影响这种长位时间的一些因素包括：通过线缆的5ns/m延迟、三个CAN节点之间的时钟计时漂移以及同时发送一个ACK位的两个节点所产生的高差分电压。如果这些因素使ACK位（空档）变得更长，并在ACK分隔

符内保持显性，则其可能引起CAN误差帧。

CAN总线调试的另一个例子是，在某个系统中，只有非常慢的CAN数据速率（比特计时）才会起作用。把一个示波器连接至TXD引脚，在TXD输入端显示出非常慢的上升时间，如图12所示。1Mbps的CAN数据速率下，9.6 $\mu$ s计时延迟相当于10比特。它的根本原因是：我们正使用一个具有开路漏极的微处理器来驱动收发器的TXD引脚。在这种情况下，没有真正的逻辑高电平驱动。仅有CAN收发器的弱内部上拉正驱动TXD引脚高，因此它的RC时间常量非常长。通过在TXD引脚上添加一个上拉电阻器，便可轻松解决这个问题。

图11 PCB上CANH线路遭损坏的TI CAN信号

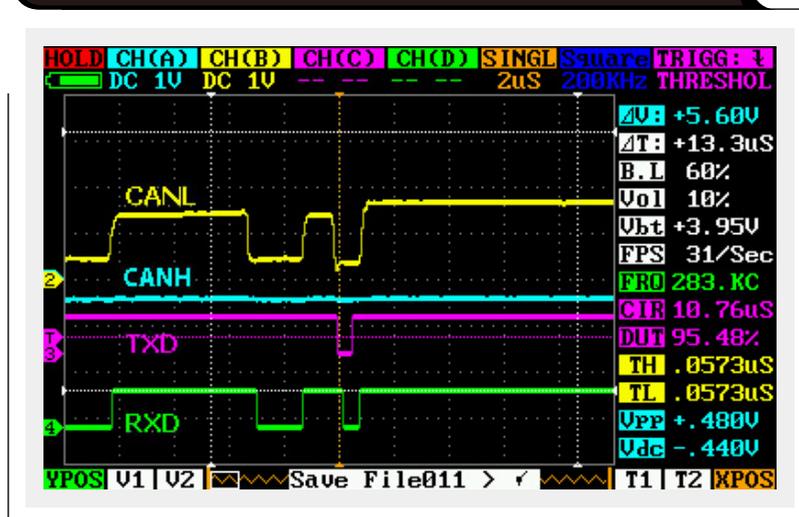
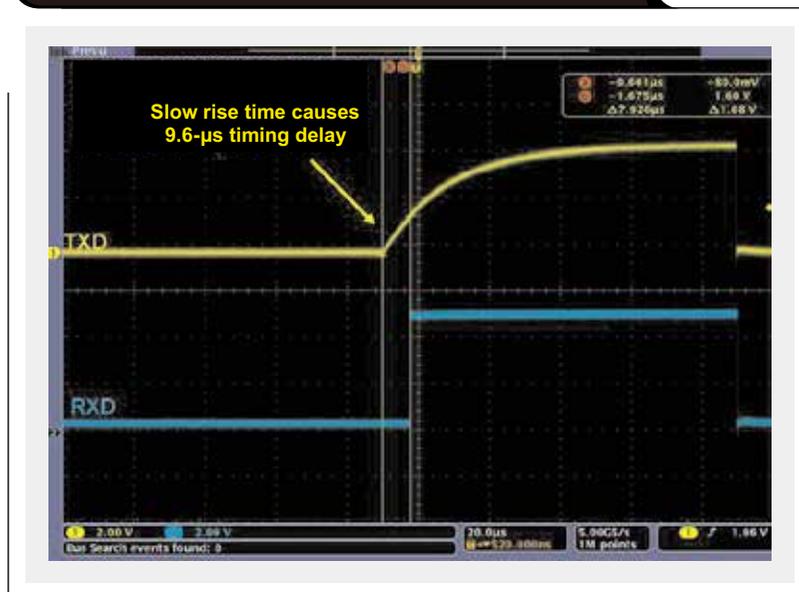


图12 TXD引脚上慢上升时间例子



## 结论

本文介绍的CAN物理层基础和调试举例，应该让您不那么惧怕进入CAN世界了吧。利用本文提供的其他一些参考资料以及相应的数据表，设计人员应该可以马上让其CAN系统正常运行了。

## 参考文献

- 1、TI SN65HVD255D评估模块，  
网址：[www.ti.com/sn65hvd255devm-aaj](http://www.ti.com/sn65hvd255devm-aaj)
- 2、“控制器局域网（CAN）介绍”作者: Steve Corrigan  
见于《应用报告》5.1.13小节，  
网址：[www.ti.com/sloa101-aaj](http://www.ti.com/sloa101-aaj)
- 3、《控制器局域网物理层要求》，作者: Steve Corrigan，刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slla270-aaj](http://www.ti.com/slla270-aaj)
- 4、《3.3V CAN（控制器局域网）收发器概述》，  
作者: Jason Blackman和Scott Monroe，刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slla337-aaj](http://www.ti.com/slla337-aaj)

- 5、《CAN总线连接的关键间隔》，作者: Steve Corrigan，  
刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slla279-aaj](http://www.ti.com/slla279-aaj)
- 6、《CAN收发器的系统评估》，作者: Sam Broyles，  
刊发于《应用报告》，  
网址：[www.ti.com/slla109-aaj](http://www.ti.com/slla109-aaj)

## 相关网站

接口（数据传输）：

[www.ti.com/interface-aaj](http://www.ti.com/interface-aaj)

[www.ti.com/can-aaj](http://www.ti.com/can-aaj)

[www.ti.com/sn65hvd255-aaj](http://www.ti.com/sn65hvd255-aaj)

[www.can-cia.org](http://www.can-cia.org)

购买ISO标准，网址：[www.iso.org](http://www.iso.org)

订阅《模拟应用杂志》：

[www.ti.com/subscribe-aaj](http://www.ti.com/subscribe-aaj)

# 利用信号调节器的抗混淆滤波器，实现混合信号、多模态传感器调节

作者：Arun T. Vemuri，德州仪器 (TI) 增强型工业应用系统构架部

## 引言

一些传感器信号调节器用于处理多个传感元件的输出。这种处理过程通常由多模态、混合信号调节器完成，它可以同时处理数个传感元件的输出。本文对这类传感器信号调节器中抗混淆滤波器的工作情况进行详细分析。

## 传感器信号调节器基础知识

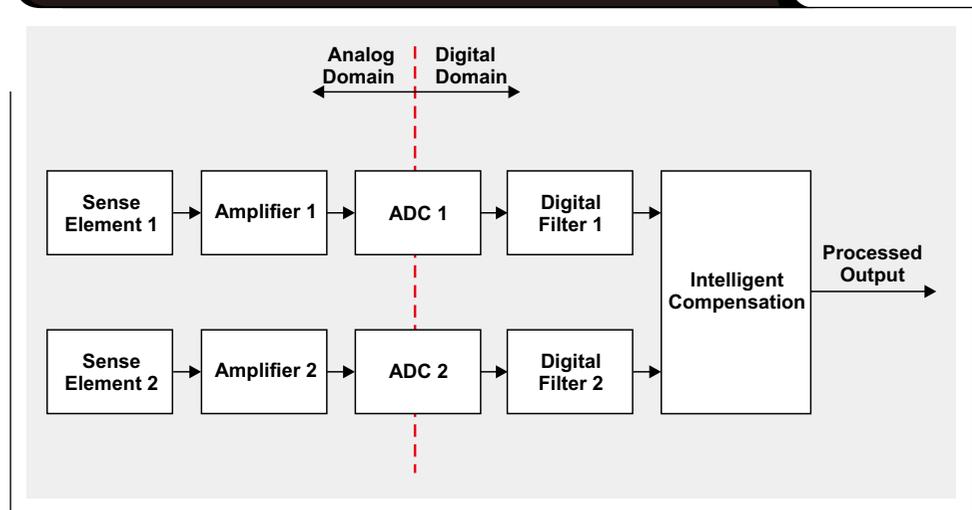
传感元件（变送器）将有用的物理信号转换为电信号，例如：用于测量压力的压阻桥、用于检测超声波的压电传感器以及用于测量气体浓度的电化单元等。传感元件产生的电信号都很小，并且为非理想状态，例如：温度漂移和非线性传输函数等。

传感器模拟前端（例如：德州仪器LMP91000）和传感器信号调节器（例如：德州仪器PGA400/450），用于把这些传感元件所产生的小信号放大到可用水平。PGA400/450包含完整的信号调节电路，以及可刺激传感元件、管理功率并与外部控制器连接的一些电路。另外，如PGA400等器件还能够对这些传感元件的非理想状态进行校准。

## 多模态信号调节

通常，为了实现信号调节或者更高级别的监控，我们需要对多个传感元件的输出进行测量。例如，处理某个典型压阻桥的输出，便要求同时对桥和温度传感器的输出进行测量。同样，处理热电偶的输出，要求同时对该热电偶和测量连接器温度的传感器的输出进行测量。测量连接器温度的目的是完成冷接点补偿。同一个信号调节器对多个传感元件进行处理的情况被称作“多模态信号调节”。

图1 多模态、混合信号传感器信号调节器



## 混合信号信号调节

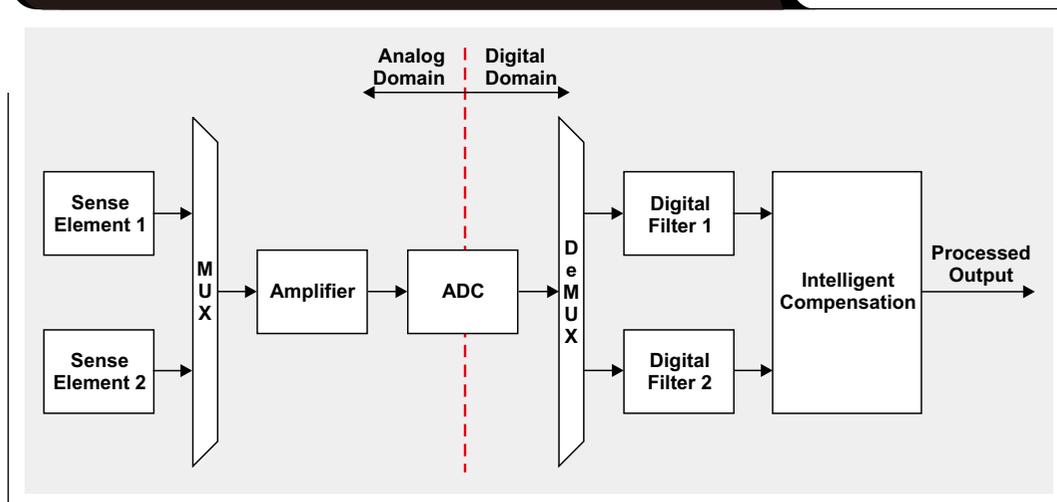
传感器信号调节的另一个方面是发生信号调节的电域。德州仪器PGA309器件的电阻桥传感元件的信号调节发生在模拟域内。在如PGA400等器件中，信号调节同时发生在模拟和数字域内。后一种情况被称作“混合信号信号调节”。

混合信号调节器的一个关键组成部分是模数转换器（ADC）。图1显示了一个多模态、混合信号传感器信号调节器的框图。该图表明，在信号达到智能补偿模块以前，两个传感元件始终都有独立的信号通路。之后，该模块组合这两个信号，产生经过处理之后的输出。

## 尼奎斯特（Nyquist）准则

混合信号传感器信号调节的一个重要方面是，将连续时间模拟域信号离散化为离散时间数字域信号。换句话说，混合信号调节器为采样系统。因此，著名的尼奎斯特采样准则适用于混合信号传感器信号调节。简单来说，该准则是指，采样频率必为信号带宽的两倍。就图1而言，我们假设每个信号通路

图2 共用一个放大器和一个ADC的模拟信号通路



中的放大器均对信号带宽进行限制，以满足尼奎斯特准则要求。换句话说，放大器放大信号的同时，进行必要的抗混淆（限制带宽），以满足尼奎斯特准则要求。

图1还显示了信号通路中的数字滤波器。这些数字滤波器用于降低信号带宽，从而进一步帮助改善系统的信噪比（SNR）。

### 多余的正弦波信号

对于一些应用来说，可能需要降低图1所示电路的成本。图2显示了一个更具性价比的例子，其中，两个模拟信号通路共用一个放大器和一个ADC。上述两个电路中的信号通路都有带外正弦波分量，其会进入传感元件（例如，由于电磁干扰），或者进入信号通路本身（例如，由于相邻电路的干扰）。由于图2所示公共信号通路的存在，数字滤波器可能在消除带外或者多余正弦波分量方面不起作用。本小节将对该问题进行分析。

为了方便分析，我们假设图1和图2的条件相同：

ADC采样率：10kHz

满足尼奎斯特准则的放大器带宽：5kHz

信号带或者数字滤波器带宽：2.5kHz

传感元件1通路的3kHz多余正弦波分量

在图1所示电路中，多余3kHz信号被数字滤波器有效衰减。这是因为3kHz信号未进入基带。也就是说，3kHz将出现在3kHz下，甚至是在数字域内。

但是，如果相同的5kHz放大器用于图2所示电路，并且两个传感元件的信号被依次采样，则数字滤波器在

衰减多余3kHz信号方面不起作用。这是因为，传感元件1信号的有效采样频率仅为5kHz，尽管ADC采样率为10kHz。因此，3kHz会进入基带（即表现为带内信号），从而让数字滤波器在消除多余信号方面不起作用。

请注意，为了防止出现多余信号失真，并满足尼奎斯特准则要求，放大器带宽必须降至2.5kHz。在这种情况下，便不再需要一个2.5kHz数字滤波器；数字化信号带宽被模拟放大器限制在2.5kHz。

### 多余宽带白噪声

图1和图2所示信号通路会产生多余宽带白噪声。为了研究和清楚地理解这个问题，我们假设信号通路没有任何多余正弦波分量。同时，我们还假设，相比量化噪声，信号通路的白噪声是主要噪声源（这类信号通路的常见情况）。

### 白噪声抗混淆滤波器：案例1

由于存在图1所示独立信号通路，每个5kHz放大器都起到一个抗混淆滤波器的作用，从而将各个信号的白噪声带宽限制在5kHz。数字滤波器进一步将这种带宽降至2.5kHz，从而实现某个信白噪比。

由于图2所示两个模拟信号通路共用一个5kHz放大器，因此传感元件1的有效采样频率再一次为5kHz（假设对两个传感元件输出进行依次采样）。在这种情况下，2.5kHz到5kHz的所有模拟域噪声均进入0kHz到2.5kHz范围（有用频带）。但是，该频率范围内的均方根（RMS）噪声不受影响！换句话说，该电路的SNR与图1所示电路一样。

## 白噪声抗混淆滤波器：案例2

案例2中，我们假设有用信号带为1.25kHz，其为案例1的二分之一。也就是说，由于在1.25kHz以外没有我们想要的信号内容，并且噪声带宽限制改善了SNR，因此信号带得到了降低。假设5kHz放大器用于抗混淆，则我们会理所当然地得出结论：1.25kHz数字滤波器可降低带宽，并实现与图2所示电路一样的图1电路的SNR。但是，实际却并非如此。利用5kHz抗混淆滤波器，两种构架的采样域内RMS噪声相同，这的确没有错，但是它们的噪声密度却不同。使用独立信号通路时，采样信号的噪声密度为  $\text{Noise}_{\text{RMS}}/\sqrt{5 \text{ kHz}}$ ，而公共信号通路的噪声密度为  $\text{Noise}_{\text{RMS}}/\sqrt{2.5 \text{ kHz}}$ 。因此，在公共模拟信号通路中使用1.25kHz限带滤波器，会导致数字滤波器输出下的RMS噪声为  $\sqrt{1.25 \text{ kHz}} \times \text{Noise}_{\text{RMS}}/\sqrt{2.5 \text{ kHz}}$ 。该噪声高于独立信号通路 ( $\sqrt{1.25 \text{ kHz}} \times \text{Noise}_{\text{RMS}}/\sqrt{5 \text{ kHz}}$ ) 的RMS噪声。也就是说，公共信号通路的SNR比独立信号通路差。注意，这些RMS计算均假设使用理想的滤波器，也即0dB通带增益和无限抑止带衰减的滤波器。

## 仿真模型

图3显示了一个MATLAB®/Simulink®模型，其用于分析信号通路构架对多余宽带白噪声的影响。该模型同时包括使用独立信号通路和公共信号通路的电路。注意，采样缩减2模块 (downsample-by-2 block) 用于表示公共信号通路依次采样的效果。假设模拟放大器增益为10，并且为是一个四阶椭圆低通滤波器。MATLAB/Simulink

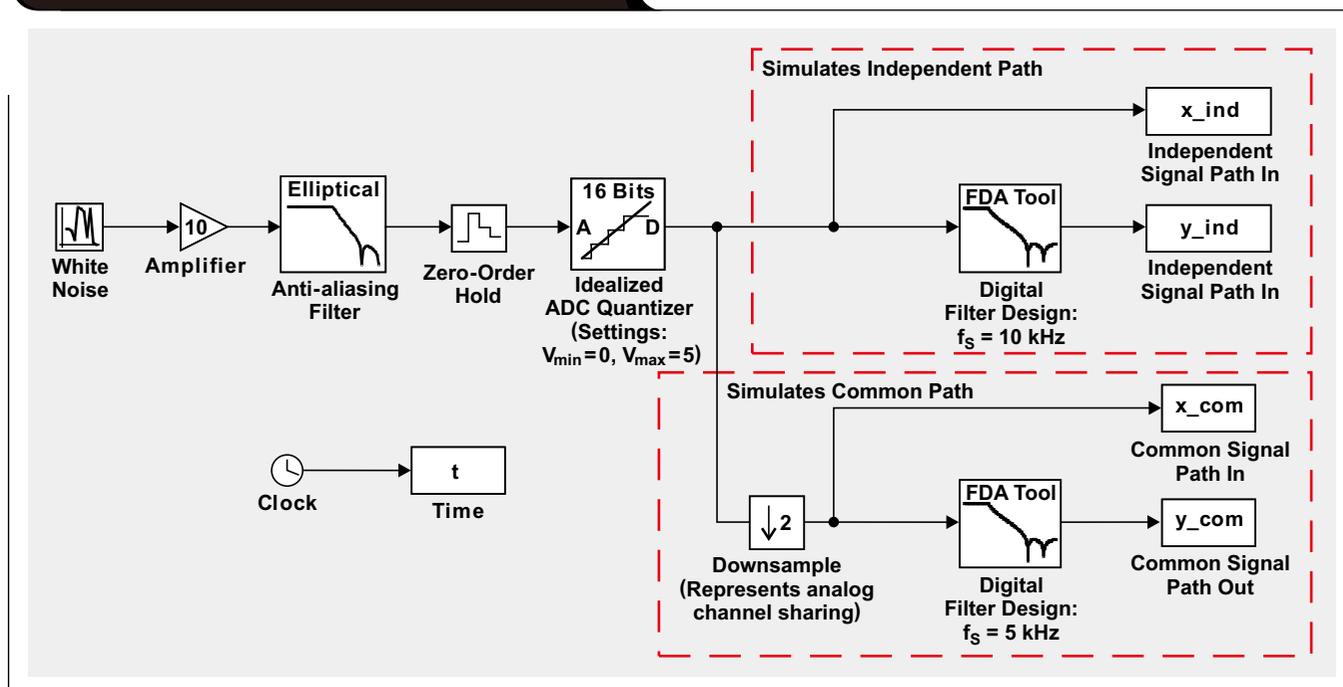
表1 独立和公共信号通路的RMS噪声

AMPLIFIER BANDWIDTH (kHz)	std(x_ind)	std(y_ind) WITH DIGITAL FILTER	std(x_com)	std(y_com) WITH DIGITAL FILTER
5	7018	3250	7004	4806
2.5	4934	3300	4938	3365

的FDA工具用于设计图3所示数字滤波器，其同样为四阶椭圆低通滤波器。<sup>1</sup>

表1总结了放大器带宽为5kHz到2.5kHz时1.25kHz数字滤波器的RMS噪声。MATLAB “std” 函数用于计算RMS噪声。

图3 MATLAB®/Simulink®仿真模型



使用5kHz放大器带宽时，ADC输出RMS值及其采样缩减2值分别列举在“std (x\_ind)”和“std (x\_com)”两栏内，其大概相等。也就是说，采样缩减不影响RMS值。因此，如果采样缩减值在没有进一步数字滤波的情况下直接使用，公共信号通路的信白噪比与独立信号通路相同。

放大器带宽为2.5kHz时，数字滤波器输出的RMS值列举在“std (y\_ind)”和“std (y\_com)”栏内。由这些数据，我们可以清楚地知道，1.25kHz数字滤波器的效果取决于模拟抗混淆滤波器的频率。如果抗混淆滤波器的带宽为2.5kHz（相当于公共信号通路采样频率的一半），则公共通路数字滤波器输出的噪声与独立信号通路中数字滤波器输出的噪声不相上下。但是，如果抗混淆滤波器的带宽为5kHz，则数字滤波器输出的RMS值非常不同，从而产生不同的信白噪比。

### 结论

就多模态、混合信号传感器信号调节器而言，必须正确选择抗混淆滤波器的带宽，以消除多余信号和达到理想的SNR。如果使用 $\Sigma$ - $\Delta$ 调制器ADC，则必须丢弃那些在转换之后仍不稳定的ADC采样。这可以进一步降低有效采样率。

### 参考文献

- 1、《数字信号处理》，作者Alan V. Oppenheim和Ronald W. Schaffer, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1975年。

### 相关网站

放大器：运算放大器：

[www.ti.com/amplifier-aaj](http://www.ti.com/amplifier-aaj)

[www.ti.com/lmp91000-aaj](http://www.ti.com/lmp91000-aaj)

[www.ti.com/pgs309-aaj](http://www.ti.com/pgs309-aaj)

[www.ti.com/pgs400-q1-aaj](http://www.ti.com/pgs400-q1-aaj)

[www.ti.com/pgs450-q1-aaj](http://www.ti.com/pgs450-q1-aaj)

订阅《模拟应用杂志》：

[www.ti.com/subscribe-aaj](http://www.ti.com/subscribe-aaj)

# Index of Articles

Title	Issue	Page	Lit. No.
<b>Data Converters</b>			
Grounding in mixed-signal systems demystified, Part 2	2Q, 2013	5	SLYT512
Add a digitally controlled PGA with noise filter to an ADC	1Q, 2013	9	SLYT500
Grounding in mixed-signal systems demystified, Part 1	1Q, 2013	5	SLYT499
WEBENCH® tools and the photodetector's stability	4Q, 2012	5	SLYT487
How delta-sigma ADCs work, Part 2	4Q, 2011	5	SLYT438
How delta-sigma ADCs work, Part 1	3Q, 2011	13	SLYT423
Clock jitter analyzed in the time domain, Part 3	3Q, 2011	5	SLYT422
The IBIS model, Part 3: Using IBIS models to investigate signal-integrity issues	2Q, 2011	5	SLYT413
The IBIS model, Part 2: Determining the total quality of an IBIS model	1Q, 2011	5	SLYT400
The IBIS model: A conduit into signal-integrity analysis, Part 1	4Q, 2010	11	SLYT390
Clock jitter analyzed in the time domain, Part 2	4Q, 2010	5	SLYT389
Clock jitter analyzed in the time domain, Part 1	3Q, 2010	5	SLYT379
How digital filters affect analog audio-signal levels	2Q, 2010	5	SLYT375
How the voltage reference affects ADC performance, Part 3	4Q, 2009	5	SLYT355
How the voltage reference affects ADC performance, Part 2	3Q, 2009	13	SLYT339
Impact of sampling-clock spurs on ADC performance	3Q, 2009	5	SLYT338
How the voltage reference affects ADC performance, Part 1	2Q, 2009	5	SLYT331
Stop-band limitations of the Sallen-Key low-pass filter	4Q, 2008	5	SLYT306
A DAC for all precision occasions	3Q, 2008	5	SLYT300
Understanding the pen-interrupt (PENIRQ) operation of touch-screen controllers	2Q, 2008	5	SLYT292
Using a touch-screen controller's auxiliary inputs	4Q, 2007	5	SLYT283
Calibration in touch-screen systems	3Q, 2007	5	SLYT277
Conversion latency in delta-sigma converters	2Q, 2007	5	SLYT264
Clamp function of high-speed ADC THS1041	4Q, 2006	5	SLYT253
Using the ADS8361 with the MSP430™ USI port	3Q, 2006	5	SLYT244
Matching the noise performance of the operational amplifier to the ADC	2Q, 2006	5	SLYT237
Understanding and comparing datasheets for high-speed ADCs	1Q, 2006	5	SLYT231
Low-power, high-intercept interface to the ADS5424 14-bit, 105-MSPS converter for undersampling applications	4Q, 2005	10	SLYT223
Operating multiple oversampling data converters	4Q, 2005	5	SLYT222
Simple DSP interface for ADS784x/834x ADCs	3Q, 2005	10	SLYT210
Using resistive touch screens for human/machine interface	3Q, 2005	5	SLYT209A
Implementation of 12-bit delta-sigma DAC with MSC12xx controller	1Q, 2005	27	SLYT076
Clocking high-speed data converters	1Q, 2005	20	SLYT075
14-bit, 125-MSPS ADS5500 evaluation	1Q, 2005	13	SLYT074
Supply voltage measurement and ADC PSRR improvement in MSC12xx devices	1Q, 2005	5	SLYT073
Streamlining the mixed-signal path with the signal-chain-on-chip MSP430F169	3Q, 2004	5	SLYT078
ADS809 analog-to-digital converter with large input pulse signal	1Q, 2004	8	SLYT083
Two-channel, 500-kSPS operation of the ADS8361	1Q, 2004	5	SLYT082
Evaluation criteria for ADSL analog front end	4Q, 2003	16	SLYT091
Calculating noise figure and third-order intercept in ADCs	4Q, 2003	11	SLYT090
ADS82x ADC with non-uniform sampling clock	4Q, 2003	5	SLYT089
Interfacing op amps and analog-to-digital converters	4Q, 2002	5	SLYT104
Using direct data transfer to maximize data acquisition throughput	3Q, 2002	14	SLYT111
MSC1210 debugging strategies for high-precision smart sensors	3Q, 2002	7	SLYT110
Adjusting the A/D voltage reference to provide gain	3Q, 2002	5	SLYT109
Synchronizing non-FIFO variations of the THS1206	2Q, 2002	12	SLYT115
SHDSL AFE1230 application	2Q, 2002	5	SLYT114
Intelligent sensor system maximizes battery life: Interfacing the MSP430F123 Flash MCU, ADS7822, and TPS60311	1Q, 2002	5	SLYT123
A/D and D/A conversion of PC graphics and component video signals, Part 2: Software and control	July 2001	5	SLYT129
A/D and D/A conversion of PC graphics and component video signals, Part 1: Hardware	February 2001	11	SLYT138

Title	Issue	Page	Lit. No.
<b>Data Converters (Continued)</b>			
Using SPI synchronous communication with data converters — interfacing the MSP430F149 and TLV5616	February 2001	7	SLYT137
Building a simple data acquisition system using the TMS320C31 DSP	February 2001	1	SLYT136
Using quad and octal ADCs in SPI mode	November 2000	15	SLYT150
Hardware auto-identification and software auto-configuration for the TLV320AIC10 DSP Codec — a “plug-and-play” algorithm	November 2000	8	SLYT149
Smallest DSP-compatible ADC provides simplest DSP interface	November 2000	1	SLYT148
Efficiently interfacing serial data converters to high-speed DSPs	August 2000	10	SLYT160
Higher data throughput for DSP analog-to-digital converters	August 2000	5	SLYT159
New DSP development environment includes data converter plug-ins	August 2000	1	SLYT158
Introduction to phase-locked loop system modeling	May 2000	5	SLYT169
The design and performance of a precision voltage reference circuit for 14-bit and 16-bit A-to-D and D-to-A converters	May 2000	1	SLYT168
The operation of the SAR-ADC based on charge redistribution	February 2000	10	SLYT176
A methodology of interfacing serial A-to-D converters to DSPs	February 2000	1	SLYT175
Techniques for sampling high-speed graphics with lower-speed A/D converters	November 1999	5	SLYT184
Precision voltage references	November 1999	1	SLYT183
Evaluating operational amplifiers as input amplifiers for A-to-D converters	August 1999	7	SLYT193
Low-power data acquisition sub-system using the TI TLV1572	August 1999	4	SLYT192
Aspects of data acquisition system design	August 1999	1	SLYT191
<b>Power Management</b>			
Improved LiFePO <sub>4</sub> cell balancing in battery-backup systems with an Impedance Track™ fuel gauge	3Q, 2013	14	SLYT528
Linear versus switching regulators in industrial applications with a 24-V bus	3Q, 2013	9	SLYT527
High-efficiency, low-ripple DCS-Control™ offers seamless PWM/power-save transitions	3Q, 2013	5	SLYT531
Digital current balancing for an interleaved boost PFC	2Q, 2013	19	SLYT517
Designing a negative boost converter from a standard positive buck converter	2Q, 2013	13	SLYT516
Synchronous rectification boosts efficiency by reducing power loss	2Q, 2013	9	SLYT515
How to pick a linear regulator for noise-sensitive applications	1Q, 2013	25	SLYT504
35-V, single-channel gate drivers for IGBT and MOSFET renewable-energy applications	1Q, 2013	22	SLYT503
Power MOSFET failures in mobile PMUs: Causes and design precautions	1Q, 2013	17	SLYT502
Design of a 60-A interleaved active-clamp forward converter	1Q, 2013	13	SLYT501
Simple open-circuit protection for boost converters in LED driver applications	4Q, 2012	21	SLYT490
LDO noise examined in detail	4Q, 2012	14	SLYT489
Harnessing wasted energy in 4- to 20-mA current-loop systems	4Q, 2012	10	SLYT488
Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1	3Q, 2012	8	SLYT479
Easy solar-panel maximum-power-point tracking for pulsed-load applications	3Q, 2012	5	SLYT478
Design considerations for a resistive feedback divider in a DC/DC converter	2Q, 2012	18	SLYT469
Charging a three-cell nickel-based battery pack with a Li-Ion charger	2Q, 2012	14	SLYT468
Remote sensing for power supplies	2Q, 2012	12	SLYT467
A solar-powered buck/boost battery charger	2Q, 2012	8	SLYT466
Controlling switch-node ringing in synchronous buck converters	2Q, 2012	5	SLYT465
High-efficiency AC adapters for USB charging	1Q, 2012	18	SLYT451
Downslope compensation for buck converters when the duty cycle exceeds 50%	1Q, 2012	14	SLYT450
Benefits of a multiphase buck converter	1Q, 2012	8	SLYT449
Turbo-boost charger supports CPU turbo mode	1Q, 2012	5	SLYT448
Solar lantern with dimming achieves 92% efficiency	4Q, 2011	12	SLYT440
Solar charging solution provides narrow-voltage DC/DC system bus for multicell-battery applications	4Q, 2011	8	SLYT439
A boost-topology battery charger powered from a solar panel	3Q, 2011	17	SLYT424
Challenges of designing high-frequency, high-input-voltage DC/DC converters	2Q, 2011	28	SLYT415
Backlighting the tablet PC	2Q, 2011	23	SLYT414
I <sub>Q</sub> : What it is, what it isn't, and how to use it	2Q, 2011	18	SLYT412
Benefits of a coupled-inductor SEPIC converter	2Q, 2011	14	SLYT411
Implementation of microprocessor-controlled, wide-input-voltage, SMBus smart battery charger	2Q, 2011	11	SLYT410

Title	Issue	Page	Lit. No.
<b>Power Management (Continued)</b>			
Fine-tuning TI's Impedance Track™ battery fuel gauge with LiFePO <sub>4</sub> cells in shallow-discharge applications . . . . .	1Q, 2011	13	SLYT402
An introduction to the Wireless Power Consortium standard and TI's compliant solutions . . . . .	1Q, 2011	10	SLYT401
Save power with a soft Zener clamp . . . . .	4Q, 2010	19	SLYT392
A low-cost, non-isolated AC/DC buck converter with no transformer . . . . .	4Q, 2010	16	SLYT391
Computing power going "Platinum" . . . . .	3Q, 2010	13	SLYT382
Coupled inductors broaden DC/DC converter usage . . . . .	3Q, 2010	10	SLYT380
Designing DC/DC converters based on ZETA topology . . . . .	2Q, 2010	16	SLYT372
Discrete design of a low-cost isolated 3.3- to 5-V DC/DC converter . . . . .	2Q, 2010	12	SLYT371
Power-supply design for high-speed ADCs . . . . .	1Q, 2010	12	SLYT366
Li-Ion battery-charger solutions for JEITA compliance . . . . .	1Q, 2010	8	SLYT365
Fuel-gauging considerations in battery backup storage systems . . . . .	1Q, 2010	5	SLYT364
Efficiency of synchronous versus nonsynchronous buck converters . . . . .	4Q, 2009	15	SLYT358
Designing a multichemistry battery charger . . . . .	4Q, 2009	13	SLYT357
Using power solutions to extend battery life in MSP430™ applications . . . . .	4Q, 2009	10	SLYT356
Reducing radiated EMI in WLED drivers . . . . .	3Q, 2009	17	SLYT340
Selecting the right charge-management solution . . . . .	2Q, 2009	18	SLYT334
Designing a linear Li-Ion battery charger with power-path control . . . . .	2Q, 2009	12	SLYT333
Taming linear-regulator inrush currents . . . . .	2Q, 2009	9	SLYT332
Using a portable-power boost converter in an isolated flyback application . . . . .	1Q, 2009	19	SLYT323
Cell balancing buys extra run time and battery life . . . . .	1Q, 2009	14	SLYT322
Improving battery safety, charging, and fuel gauging in portable media applications . . . . .	1Q, 2009	9	SLYT321
Paralleling power modules for high-current applications . . . . .	1Q, 2009	5	SLYT320
Designing DC/DC converters based on SEPIC topology . . . . .	4Q, 2008	18	SLYT309
Compensating and measuring the control loop of a high-power LED driver . . . . .	4Q, 2008	14	SLYT308
Getting the most battery life from portable systems . . . . .	4Q, 2008	8	SLYT307
New current-mode PWM controllers support boost, flyback, SEPIC, and LED-driver applications . . . . .	3Q, 2008	9	SLYT302
Battery-charger front-end IC improves charging-system safety . . . . .	2Q, 2008	14	SLYT294
Understanding output voltage limitations of DC/DC buck converters . . . . .	2Q, 2008	11	SLYT293
Using a buck converter in an inverting buck-boost topology . . . . .	4Q, 2007	16	SLYT286
Host-side gas-gauge-system design considerations for single-cell handheld applications . . . . .	4Q, 2007	12	SLYT285
Driving a WLED does not always require 4 V . . . . .	4Q, 2007	9	SLYT284
Simultaneous power-down sequencing with the TPS74x01 family of linear regulators . . . . .	3Q, 2007	20	SLYT281
Get low-noise, low-ripple, high-PSRR power with the TPS717xx . . . . .	3Q, 2007	17	SLYT280
TPS6108x: A boost converter with extreme versatility . . . . .	3Q, 2007	14	SLYT279
Power-management solutions for telecom systems improve performance, cost, and size . . . . .	3Q, 2007	10	SLYT278
Current balancing in four-pair, high-power PoE applications . . . . .	2Q, 2007	11	SLYT270
Enhanced-safety, linear Li-Ion battery charger with thermal regulation and input overvoltage protection . . . . .	2Q, 2007	8	SLYT269
Power management for processor core voltage requirements . . . . .	1Q, 2007	11	SLYT261
LDO white-LED driver TPS7510x provides incredibly small solution size . . . . .	1Q, 2007	9	SLYT260
Selecting the correct IC for power-supply applications . . . . .	1Q, 2007	5	SLYT259
Fully integrated TPS6300x buck-boost converter extends Li-Ion battery life . . . . .	4Q, 2006	15	SLYT256
bq25012 single-chip, Li-Ion charger and dc/dc converter for <i>Bluetooth</i> ® headsets . . . . .	4Q, 2006	13	SLYT255
A 3-A, 1.2-V <sub>OUT</sub> linear regulator with 80% efficiency and P <sub>LOST</sub> < 1 W . . . . .	4Q, 2006	10	SLYT254
Complete battery-pack design for one- or two-cell portable applications . . . . .	3Q, 2006	14	SLYT248
Single-chip bq2403x power-path manager charges battery while powering system . . . . .	3Q, 2006	12	SLYT247
TPS65552A powers portable photoflash . . . . .	3Q, 2006	10	SLYT246
TPS61059 powers white-light LED as photoflash or movie light . . . . .	3Q, 2006	8	SLYT245
Powering today's multi-rail FPGAs and DSPs, Part 2 . . . . .	2Q, 2006	18	SLYT240
Wide-input dc/dc modules offer maximum design flexibility . . . . .	2Q, 2006	13	SLYT239
TLC5940 PWM dimming provides superior color quality in LED video displays . . . . .	2Q, 2006	10	SLYT238
Practical considerations when designing a power supply with the TPS6211x . . . . .	1Q, 2006	17	SLYT234
TPS79918 RF LDO supports migration to StrataFlash® Embedded Memory (P30) . . . . .	1Q, 2006	14	SLYT233
Powering today's multi-rail FPGAs and DSPs, Part 1 . . . . .	1Q, 2006	9	SLYT232
TLC5940 dot correction compensates for variations in LED brightness . . . . .	4Q, 2005	21	SLYT225

Title	Issue	Page	Lit. No.
<b>Power Management (Continued)</b>			
Li-Ion switching charger integrates power FETs . . . . .	4Q, 2005 . . . . .	19	SLYT224
New power modules improve surface-mount manufacturability . . . . .	3Q, 2005 . . . . .	18	SLYT212
Miniature solutions for voltage isolation . . . . .	3Q, 2005 . . . . .	13	SLYT211
Understanding power supply ripple rejection in linear regulators . . . . .	2Q, 2005 . . . . .	8	SLYT202
Understanding noise in linear regulators . . . . .	2Q, 2005 . . . . .	5	SLYT201
A better bootstrap/bias supply circuit . . . . .	1Q, 2005 . . . . .	33	SLYT077
Tips for successful power-up of today's high-performance FPGAs . . . . .	3Q, 2004 . . . . .	11	SLYT079
LED-driver considerations . . . . .	1Q, 2004 . . . . .	14	SLYT084
UCC28517 100-W PFC power converter with 12-V, 8-W bias supply, Part 2 . . . . .	4Q, 2003 . . . . .	21	SLYT092
UCC28517 100-W PFC power converter with 12-V, 8-W bias supply, Part 1 . . . . .	3Q, 2003 . . . . .	13	SLYT097
Soft-start circuits for LDO linear regulators . . . . .	3Q, 2003 . . . . .	10	SLYT096
Auto-Track™ voltage sequencing simplifies simultaneous power-up and power-down . . . . .	3Q, 2003 . . . . .	5	SLYT095
Using the TPS61042 white-light LED driver as a boost converter . . . . .	1Q, 2003 . . . . .	7	SLYT101
Load-sharing techniques: Paralleling power modules with overcurrent protection . . . . .	1Q, 2003 . . . . .	5	SLYT100
Understanding piezoelectric transformers in CCFL backlight applications . . . . .	4Q, 2002 . . . . .	18	SLYT107
Power conservation options with dynamic voltage scaling in portable DSP designs . . . . .	4Q, 2002 . . . . .	12	SLYT106
Using the UCC3580-1 controller for highly efficient 3.3-V/100-W isolated supply design . . . . .	4Q, 2002 . . . . .	8	SLYT105
Powering electronics from the USB port . . . . .	2Q, 2002 . . . . .	28	SLYT118
Optimizing the switching frequency of ADSL power supplies . . . . .	2Q, 2002 . . . . .	23	SLYT117
SWIFT™ Designer power supply design program . . . . .	2Q, 2002 . . . . .	15	SLYT116
Why use a wall adapter for ac input power? . . . . .	1Q, 2002 . . . . .	18	SLYT126
Comparing magnetic and piezoelectric transformer approaches in CCFL applications . . . . .	1Q, 2002 . . . . .	12	SLYT125
Power control design key to realizing InfiniBand <sup>SM</sup> benefits . . . . .	1Q, 2002 . . . . .	10	SLYT124
Runtime power control for DSPs using the TPS62000 buck converter . . . . .	July 2001 . . . . .	15	SLYT131
Power supply solution for DDR bus termination . . . . .	July 2001 . . . . .	9	SLYT130
-48-V/+48-V hot-swap applications . . . . .	February 2001 . . . . .	20	SLYT140
Optimal design for an interleaved synchronous buck converter under high-slew-rate, load-current transient conditions . . . . .	February 2001 . . . . .	15	SLYT139
Comparison of different power supplies for portable DSP solutions working from a single-cell battery . . . . .	November 2000 . . . . .	24	SLYT152
Understanding the load-transient response of LDOs . . . . .	November 2000 . . . . .	19	SLYT151
Optimal output filter design for microprocessor or DSP power supply . . . . .	August 2000 . . . . .	22	SLYT162
Advantages of using PMOS-type low-dropout linear regulators in battery applications . . . . .	August 2000 . . . . .	16	SLYT161
Low-cost, minimum-size solution for powering future-generation Celeron™-type processors with peak currents up to 26 A . . . . .	May 2000 . . . . .	14	SLYT171
Simple design of an ultra-low-ripple DC/DC boost converter with TPS60100 charge pump . . . . .	May 2000 . . . . .	11	SLYT170
Powering Celeron-type microprocessors using TI's TPS5210 and TPS5211 controllers . . . . .	February 2000 . . . . .	20	SLYT178
Power supply solutions for TI DSPs using synchronous buck converters . . . . .	February 2000 . . . . .	12	SLYT177
Understanding the stable range of equivalent series resistance of an LDO regulator . . . . .	November 1999 . . . . .	14	SLYT187
Synchronous buck regulator design using the TI TPS5211 high-frequency hysteretic controller . . . . .	November 1999 . . . . .	10	SLYT186
TI TPS5602 for powering TI's DSP . . . . .	November 1999 . . . . .	8	SLYT185
Migrating from the TI TL770x to the TI TLC770x . . . . .	August 1999 . . . . .	14	SLYT196
Extended output voltage adjustment (0 V to 3.5 V) using the TI TPS5210 . . . . .	August 1999 . . . . .	13	SLYT195
Stability analysis of low-dropout linear regulators with a PMOS pass element . . . . .	August 1999 . . . . .	10	SLYT194
<b>Interface (Data Transmission)</b>			
Basics of debugging the controller area network (CAN) physical layer . . . . .	3Q, 2013 . . . . .	18	SLYT529
RS-485 failsafe biasing: Old versus new transceivers . . . . .	2Q, 2013 . . . . .	25	SLYT514
Design considerations for system-level ESD circuit protection . . . . .	4Q, 2012 . . . . .	28	SLYT492
How to design an inexpensive HART transmitter . . . . .	4Q, 2012 . . . . .	24	SLYT491
Data-rate independent half-duplex repeater design for RS-485 . . . . .	3Q, 2012 . . . . .	15	SLYT480
Extending the SPI bus for long-distance communication . . . . .	4Q, 2011 . . . . .	16	SLYT441
Industrial data-acquisition interfaces with digital isolators . . . . .	3Q, 2011 . . . . .	24	SLYT426
Isolated RS-485 transceivers support DMX512 stage lighting and special-effects applications . . . . .	3Q, 2011 . . . . .	21	SLYT425
Designing an isolated I <sup>2</sup> C Bus <sup>®</sup> interface by using digital isolators . . . . .	1Q, 2011 . . . . .	17	SLYT403
Interfacing high-voltage applications to low-power controllers . . . . .	4Q, 2010 . . . . .	20	SLYT393

Title	Issue	Page	Lit. No.
<b>Interface (Data Transmission) (Continued)</b>			
Magnetic-field immunity of digital capacitive isolators	3Q, 2010	19	SLYT381
Designing with digital isolators	2Q, 2009	21	SLYT335
Message priority inversion on a CAN bus	1Q, 2009	25	SLYT325
RS-485: Passive failsafe for an idle bus	1Q, 2009	22	SLYT324
Cascading of input serializers boosts channel density for digital inputs	3Q, 2008	16	SLYT301
When good grounds turn bad— isolate!	3Q, 2008	11	SLYT298
Enabling high-speed USB OTG functionality on TI DSPs	2Q, 2007	18	SLYT271
Detection of RS-485 signal loss	4Q, 2006	18	SLYT257
Improved CAN network security with TI's SN65HVD1050 transceiver	3Q, 2006	17	SLYT249
Device spacing on RS-485 buses	2Q, 2006	25	SLYT241
Maximizing signal integrity with M-LVDS backplanes	2Q, 2005	11	SLYT203
Failsafe in RS-485 data buses	3Q, 2004	16	SLYT080
The RS-485 unit load and maximum number of bus connections	1Q, 2004	21	SLYT086
Estimating available application power for Power-over-Ethernet applications	1Q, 2004	18	SLYT085
Power consumption of LVPECL and LVDS	1Q, 2002	23	SLYT127
The SN65LVDS33/34 as an ECL-to-LVTTL converter	July 2001	19	SLYT132
The Active Fail-Safe feature of the SN65LVDS32A	November 2000	35	SLYT154
A statistical survey of common-mode noise	November 2000	30	SLYT153
Performance of LVDS with different cables	August 2000	30	SLYT163
LVDS: The ribbon cable connection	May 2000	19	SLYT172
LVDS receivers solve problems in non-LVDS applications	February 2000	33	SLYT180
Skew definition and jitter analysis	February 2000	29	SLYT179
Keep an eye on the LVDS input levels	November 1999	17	SLYT188
TIA/EIA-568A Category 5 cables in low-voltage differential signaling (LVDS)	August 1999	16	SLYT197

## Amplifiers: Audio

Precautions for connecting APA outputs to other devices	2Q, 2010	22	SLYT373
Audio power amplifier measurements, Part 2	1Q, 2002	26	SLYT128
Audio power amplifier measurements	July 2001	40	SLYT135
An audio circuit collection, Part 3	July 2001	34	SLYT134
An audio circuit collection, Part 2	February 2001	41	SLYT145
Notebook computer upgrade path for audio power amplifiers	February 2001	27	SLYT142
1.6- to 3.6-volt BTL speaker driver reference design	February 2001	23	SLYT141
An audio circuit collection, Part 1	November 2000	39	SLYT155
PCB layout for the TPA005D1x and TPA032D0x Class-D APAs	February 2000	39	SLYT182
Power supply decoupling and audio signal filtering for the Class-D audio power amplifier	August 1999	24	SLYT199
Reducing the output filter of a Class-D amplifier	August 1999	19	SLYT198

## Amplifiers: Op Amps

Exploring anti-aliasing filters in signal conditioners for mixed-signal, multimodal sensor conditioning	3Q, 2013	25	SLYT530
Using a fixed threshold in ultrasonic distance-ranging automotive applications	3Q, 2012	19	SLYT481
Source resistance and noise considerations in amplifiers	2Q, 2012	23	SLYT470
Measuring op amp settling time by using sample-and-hold technique	1Q, 2012	21	SLYT452
Converting single-ended video to differential video in single-supply systems	3Q, 2011	29	SLYT427
Using single-supply fully differential amplifiers with negative input voltages to drive ADCs	4Q, 2010	26	SLYT394
Operational amplifier gain stability, Part 3: AC gain-error analysis	3Q, 2010	23	SLYT383
Operational amplifier gain stability, Part 2: DC gain-error analysis	2Q, 2010	24	SLYT374
Interfacing op amps to high-speed DACs, Part 3: Current-sourcing DACs simplified	1Q, 2010	32	SLYT368
Signal conditioning for piezoelectric sensors	1Q, 2010	24	SLYT369
Operational amplifier gain stability, Part 1: General system analysis	1Q, 2010	20	SLYT367
Interfacing op amps to high-speed DACs, Part 2: Current-sourcing DACs	4Q, 2009	23	SLYT360
Using fully differential op amps as attenuators, Part 3: Single-ended unipolar input signals	4Q, 2009	19	SLYT359
Using the infinite-gain, MFB filter topology in fully differential active filters	3Q, 2009	33	SLYT343
Interfacing op amps to high-speed DACs, Part 1: Current-sinking DACs	3Q, 2009	24	SLYT342
Using fully differential op amps as attenuators, Part 2: Single-ended bipolar input signals	3Q, 2009	21	SLYT341
Using fully differential op amps as attenuators, Part 1: Differential bipolar input signals	2Q, 2009	33	SLYT336

Title	Issue	Page	Lit. No.
<b>Amplifiers: Op Amps (Continued)</b>			
Output impedance matching with fully differential operational amplifiers	1Q, 2009	29	SLYT326
A dual-polarity, bidirectional current-shunt monitor	4Q, 2008	29	SLYT311
Input impedance matching with fully differential amplifiers	4Q, 2008	24	SLYT310
A new filter topology for analog high-pass filters	3Q, 2008	18	SLYT299
New zero-drift amplifier has an $I_Q$ of 17 $\mu$ A	2Q, 2007	22	SLYT272
Accurately measuring ADC driving-circuit settling time	1Q, 2007	14	SLYT262
Low-cost current-shunt monitor IC revives moving-coil meter design	2Q, 2006	27	SLYT242
High-speed notch filters	1Q, 2006	19	SLYT235
Getting the most out of your instrumentation amplifier design	4Q, 2005	25	SLYT226
So many amplifiers to choose from: Matching amplifiers to applications	3Q, 2005	24	SLYT213
Auto-zero amplifiers ease the design of high-precision circuits	2Q, 2005	19	SLYT204
Active filters using current-feedback amplifiers	3Q, 2004	21	SLYT081
Integrated logarithmic amplifiers for industrial applications	1Q, 2004	28	SLYT088
Op amp stability and input capacitance	1Q, 2004	24	SLYT087
Calculating noise figure in op amps	4Q, 2003	31	SLYT094
Expanding the usability of current-feedback amplifiers	3Q, 2003	23	SLYT099
Video switcher using high-speed op amps	3Q, 2003	20	SLYT098
Analyzing feedback loops containing secondary amplifiers	1Q, 2003	14	SLYT103
RF and IF amplifiers with op amps	1Q, 2003	9	SLYT102
Active output impedance for ADSL line drivers	4Q, 2002	24	SLYT108
FilterPro™ low-pass design tool	3Q, 2002	24	SLYT113
Using high-speed op amps for high-performance RF design, Part 2	3Q, 2002	21	SLYT112
Using high-speed op amps for high-performance RF design, Part 1	2Q, 2002	46	SLYT121
Worst-case design of op amp circuits	2Q, 2002	42	SLYT120
Fully differential amplifier design in high-speed data acquisition systems	2Q, 2002	35	SLYT119
Designing for low distortion with high-speed op amps	July 2001	25	SLYT133
Frequency response errors in voltage feedback op amps	February 2001	48	SLYT146
Pressure transducer-to-ADC application	February 2001	38	SLYT144
Fully differential amplifiers applications: Line termination, driving high-speed ADCs, and differential transmission lines	February 2001	32	SLYT143
Analysis of fully differential amplifiers	November 2000	48	SLYT157
Thermistor temperature transducer-to-ADC application	November 2000	44	SLYT156
Reducing PCB design costs: From schematic capture to PCB layout	August 2000	48	SLYT167
The PCB is a component of op amp design	August 2000	42	SLYT166
Fully differential amplifiers	August 2000	38	SLYT165
Design of op amp sine wave oscillators	August 2000	33	SLYT164
Using a decompensated op amp for improved performance	May 2000	26	SLYT174
Sensor to ADC — analog interface design	May 2000	22	SLYT173
Matching operational amplifier bandwidth with applications	February 2000	36	SLYT181
Reducing crosstalk of an op amp on a PCB	November 1999	23	SLYT190
Single-supply op amp design	November 1999	20	SLYT189
<b>Low-Power RF</b>			
Selecting antennas for low-power wireless applications	2Q, 2008	20	SLYT296
Using the CC2430 and TIMAC for low-power wireless sensor applications: A power-consumption study	2Q, 2008	17	SLYT295
<b>General Interest</b>			
Introduction to capacitive touch-screen controllers	2Q, 2013	29	SLYT513
High-definition haptics: Feel the difference!	3Q, 2012	29	SLYT483
Applying acceleration and deceleration profiles to bipolar stepper motors	3Q, 2012	24	SLYT482
Industrial flow meters/flow transmitters	2Q, 2012	29	SLYT471
Analog linearization of resistance temperature detectors	4Q, 2011	21	SLYT442
Spreadsheet modeling tool helps analyze power- and ground-plane voltage drops to keep core voltages within tolerance	2Q, 2007	29	SLYT273
Analog design tools	2Q, 2002	50	SLYT122
Synthesis and characterization of nickel manganite from different carboxylate precursors for thermistor sensors	February 2001	52	SLYT147



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。  
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。  
电源在线培训课程

[www.ti.com.cn/webench](http://www.ti.com.cn/webench)  
[www.ti.com.cn/powerlab](http://www.ti.com.cn/powerlab)  
[www.ti.com.cn/powertraining](http://www.ti.com.cn/powertraining)

**WEBENCH® Designer**

Power **FPGA/μP** Sensors LED

Enter your power supply requirements:

Min	Max
Vin 14.0 V	22.0 V
Vout 3.3 V	Iout 2.0 A
Ambient Temp 30 °C	

Multiple Loads **Power Architect**    Single Output **Start Design**

**WEBENCH® Designer** My Designs

最小	最大
输入电压 14.0 V	22.0 V
输出电压 3.3 V	输出电流 2.0 A
环境温度 30 °C	

**SIMPLE SWITCHER®**  
开始设计 ▶



从通讯、计算机、消费类电子到汽车、工业, 从能源、医疗到安防、航空航天, TI推出一系列创新、完整、独特的制胜解决方案, 给您带来前所未有的技术支持体验。 <http://www.ti.com.cn/www/more/>



德州仪器在线技术支持社区

[www.deyisupport.com](http://www.deyisupport.com)

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



[e.weibo.com/tisemi](http://e.weibo.com/tisemi)

热门产品

- |           |  |
|-----------|--|
| TPS92075  | 具有自适应基准的非隔离式、相位可调光、降压 PFC LED 驱动器              |
| BQ24195   | 具有 5.1V 1A/2.1A 同步升压运行的由 I2C 控制的 2.5A/4.5A 单电池 |
| LM3447    | 相位调光、初级侧电源调整的准谐振反激式控制器                         |
| LM34917   | 具有智能电流限制的超小型 33V、1.25A 恒准时降压开关稳压器              |
| ADS1298   | 具有集成 ECG 前端的 8 通道 24 位模数转换器                    |
| SN65HVD82 | 针对要求严格的工业类应用的稳健耐用的驱动器和发送器                      |
| LM22670   | 具有同步或可调节开关频率的 3A SIMPLE SWITCHER、降压电压稳压器       |
| ISO1050   | 电镀隔离的隔离式 CAN 收发器                               |

了解更多, 请搜索以下产品型号:

TPS92075



## 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