

交流跳周模式提高了PFC轻负载效率

作者：孙博生，系统工程师

对于输入功率大于或等于75瓦的电源来说，通常需要使用功率因数校正 (PFC)。功率因数校正可强制输入电流随输入电压的变化而发生变化，这样的话，任何电气负载对于为其供电的电压源来说都表现为一个电阻。这一点对于很多服务器、电信和工业应用是必须满足的要求。在这些应用中，对于能效和电能质量的要求已经变得越来越严格。评判PFC性能的最重要标准是效率，总谐波失真 (THD)，和功率因数 (PF)。借助于全新半导体器件和控制方法，最新式的PFC电路已经在中度和重度负载情况下实现了极佳性能。然而，在轻负载条件下，效率，THD和PF性能严重降低。

图表1中显示的是一个典型PFC效率曲线。需要注意的是，轻负载时效率变得越来越低。这是因为在轻负载时，半导体元件的开关损耗、驱动损耗和反向恢复损耗成为影响效率的主要因素。同时，PFC有可能从连续传导模式 (CCM) 转换为断续传导模式 (DCM)，这一转换使得转换器动态性能突然发生变化，并且电流环带宽大大减少。减小的电流反馈信号也使得对电路的控制变得十分困难。因此，电流波形的THD增加（图表2）。本文提出一个在PFC进入轻负载条件下时增加效率并减少THD的全新方法。在这一方法中，当负载被减少到小于预定的阈值时，PFC进入一个特殊的突发模式。在这个模式下，根据负载的大小，PFC会跳过一个或多个交流周

图1 典型PFC效率曲线示例

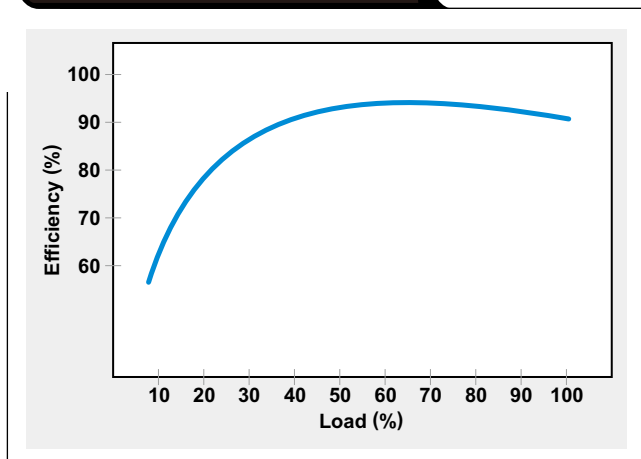
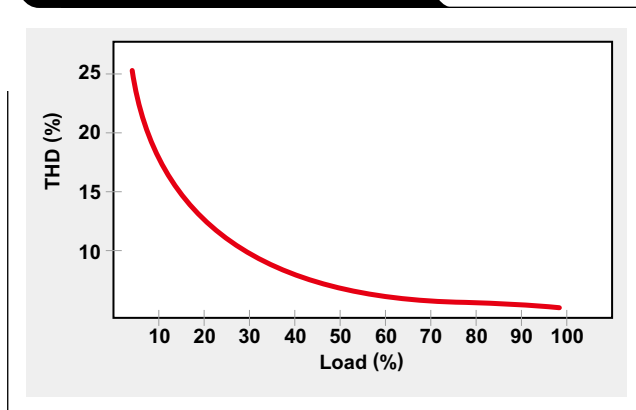


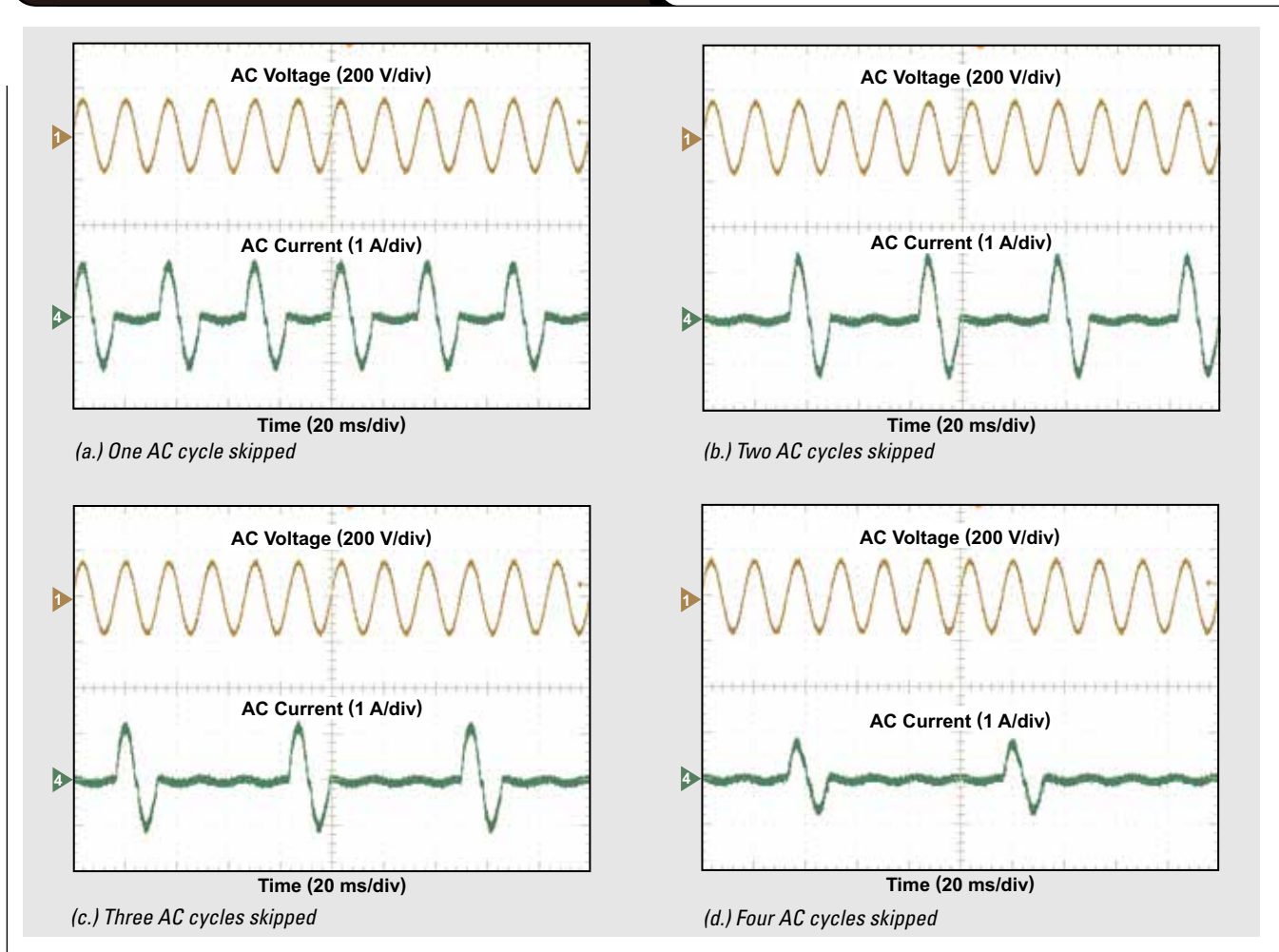
图2 典型PFCTHD曲线示例



期。换句话说，PFC会在一个或多个交流周期内关闭，而在下一个交流周期到来时重新打开。打开/关闭情况出现在交流零交叉点上，这样的话就跳过了整个交流周期。此外，由于PFC打开/关闭出现在电流为零的时候，所以产生的应力 and 电磁干扰 (EMI) 噪声会更小。这一点与传统脉宽调制 (PWM) 脉冲跳跃突发模式不同；在这种模式下，PWM脉冲被随机跳过。将被跳过的交流周期数

量与负载成反比。如果负载持续减少到阈值以下，将会有更多的交流周期被跳过。按照负载与将被跳过的周期数量之间的关系可生成一张查询表格。这张表格将显示将输出电压纹波保持在额定范围内时可跳过的最大交流周期数量。图表3显示了在不同负载下跳过的四个不同数量的交流周期。

图1 交流电 (AC) 周期在不同负载上急速变化



一旦PFC关闭，开关损耗、驱动损耗和反向恢复损耗全部减少为零，并且功率损耗只是PFC待机功率。由于电流为零，THD为零。当PFC打开时，它传送的功率大于轻负载条件下所需要的功率，这是因为它需要对关闭期间的功率进行补偿。由于现在PFC在中度负载中运行或者完全关闭以跳过交流周期，轻负载效率被增加，而THD被减少。图表4和5显示了这一特殊突发模式所带来的效率和THD方面的改进。

需要注意的是，当PFC关闭来跳跃交流周期时，需要将电流环路和电压环路冻结。否则的话，这些环路中的积分器发生累积，在PFC重新打开时生成一个较大的PWM脉冲，这个脉冲会导致一个很大的电流尖峰。

为了确定PFC是否进入轻负载状态，需要监视负载信息。正常情况下，在PFC输出上没有电流传感器，所以无法直接测量输出负载。然而，在 V_{IN} 固定时，PFC电压环路输出与负载成比例。因此，环路输出可大体上用作一个指示器，确定PFC是否运行在轻负载条件下。

如果需要跳过精确数量的交流周期才能将输出电压纹波保持在额定范围内，那么就需要准确的负载信息。由于电路中有一个测量PFC电流环路稳压输入电流的电流分流器，那么就可以测量PFC的输入功率。输入电流和电压可由模数转换器 (ADC) 进行监视，然后这些转换器可被用来计算实际的输入功率。这些准确的输入功率信息可被用来精确地调节将被跳过的交流周期的数量。无需任何额外硬件。要获得准确PFC输入功率测量值的详细信息，请见参考文献1。

图4 效率比较

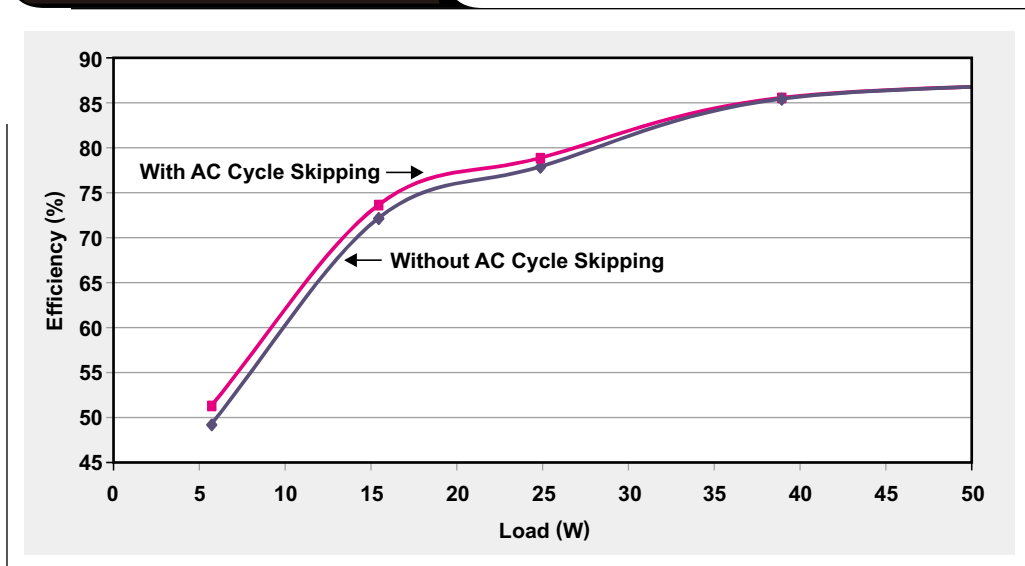


图5 THD比较

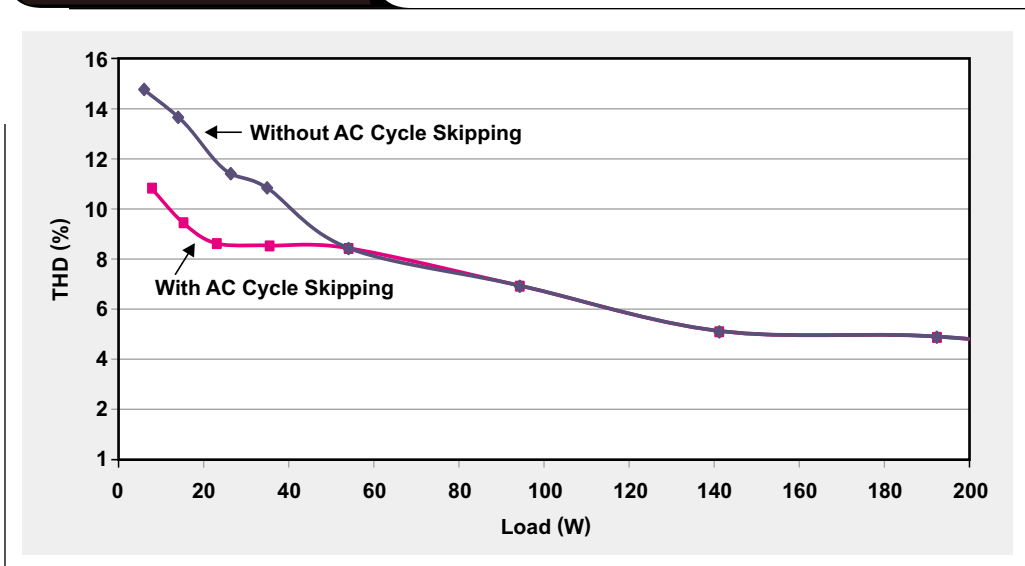
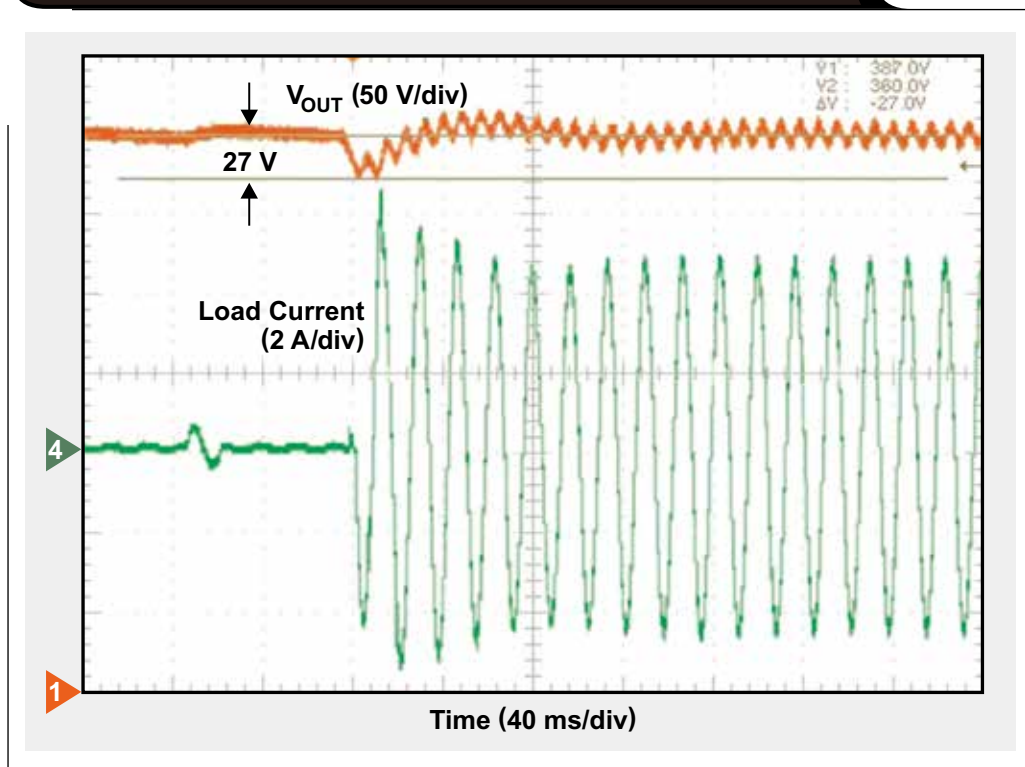


图6 交流跳周期间0至100%的负载瞬态



这一方法中需要注意的一点是负载瞬态期间的压降。假定PFC关闭时出现负载升压， V_{OUT} 有可能会下降很多。为了解决这个问题，用比较器将 V_{OUT} 与预定阈值进行比较。一旦 V_{OUT} 低于这个阈值，PFC将立即退出突发模式，交流周期跳跃被禁用，并且PFC返回到正常运行。这种处理瞬态响应的方法就好像没有特殊突发模式一样。图表6显示交流周期跳跃期间0至100%的负载瞬态效应。需要注意的是，瞬态期间的 V_{OUT} 压降只有27V，这一压降值对于一个360W PFC来说很正常。

结论

全新的PFC突发模式可以在PFC运行在轻负载条件下时实现一个或多个交流周期的跳跃。因此，效率和THD都有所提升。此外，由于PFC在交流零交叉点上打开/关闭，电路应力和EMI噪声被相应地减少。可以根据负载来精确地调节将被跳过的交流周期数量，以便最大限度地提

高性能，并且将输出电压纹波保持在额定的范围内。如果负载瞬态在PFC关闭时出现，突发模式被立即禁用，而由PFC正常处理负载瞬态效应。最后，可使用一个数字控制器来轻松实现此功能，而无需其他硬件。

参考文献

孙博生，“测量输入功率和RMS电流的低成本解决方案，”模拟应用期刊，德州仪器 (TI)，2013年4季度。在线版地址：

www.ti.com/3q14-SLYT545

相关网站

www.ti.com/3q14-UCD3138

订阅《模拟应用期刊》：

www.ti.com/subscribe-aaaj

TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 TI.COM.CN/TIDESIGNS 查询最适合您的设计文档。



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
www.ti.com.cn/powerlab
www.ti.com.cn/powertraining

WEBENCH® Designer My Designs

Clocks	Filters	传感器
电源	FPGA/μP	LED

输入您的供电要求:

直流 交流

最小 最大

输入电压 14.0 V 22.0 V

输出 3.3 V 2.0 A

环境温度 30 °C

多负载 单输出

Power Architect **开始设计**

WEBENCH® Designer My Designs

最小 最大

输入电压 14.0 V 22.0 V

输出 3.3 V 2.0 A

环境温度 30 °C

SIMPLE SWITCHER®

开始设计 ▶

德州仪器在线技术支持社区

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

热门产品

- | | |
|------------|--|
| DAC8760 | 用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC |
| DAC7760 | 单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC |
| ADS1247 | 极低噪音、精密 24 位 模数转换器 |
| ADS1120 | 具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC |
| ISO7242 | 四通道 2/2 25MBPS 数字隔离器 |
| ISO7631FM | 4kV _{PK} 低功耗三通道、150MBPS 数字隔离器 |
| TPS54062 | 4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器 |
| TLK105L | 工业温度、单端口 10/100Mbs 以太网物理层 |
| SN65HVD255 | CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络 |

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760



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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司