

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）。¹

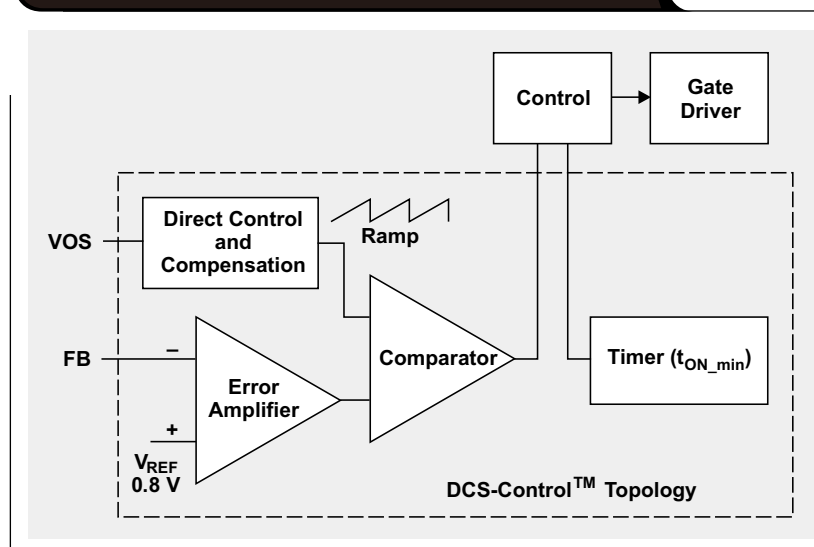
DC-Control拓扑的输入共有两个：反馈 (FB) 引脚和输出电压检测 (VOS) 引脚。大多数DC/DC转换器的FB引脚输入表现均相同。它是误差放大器或者运算放大器的高阻抗输入，其目的是把FB引脚的误差信号输出至某个内部基准电压 V_{REF} 。与其它DC/DC转换器中一样，误差放大器提供精确的输出电压调节。在输

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。

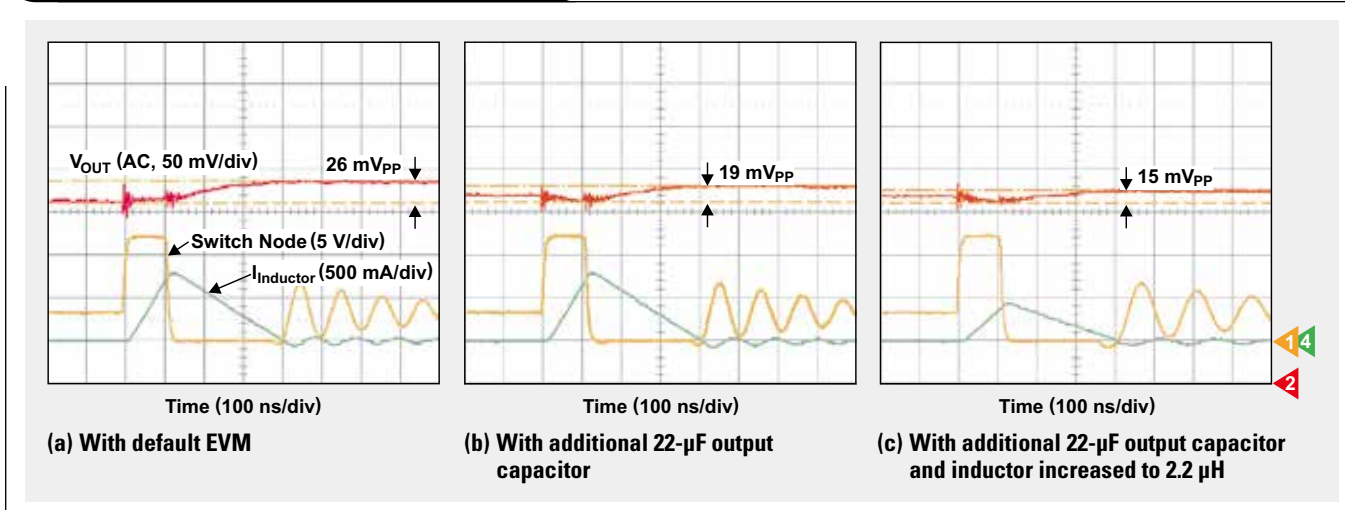
当负载增长到一定程度、单次脉冲之间没有时间间隔时，在比较器告诉高侧 MOSFET 再次开启以前电感电流不会返回零。DCM 边界处出现这种负载状态，届时，转换器退出节能模式，进入 PWM 模式。

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

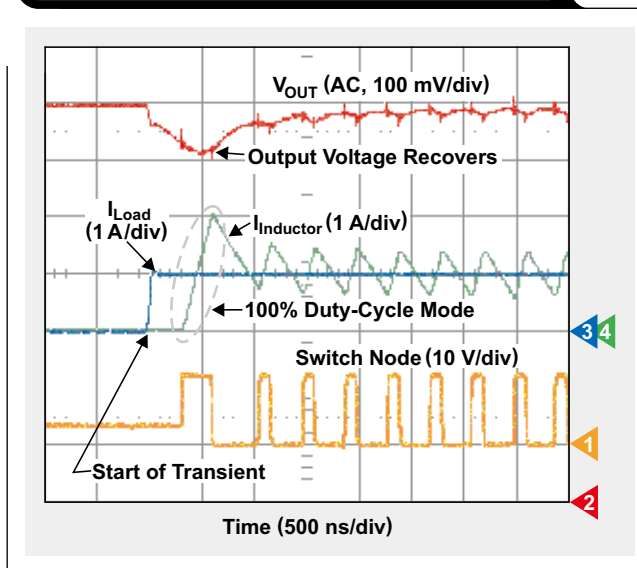


图4 PWM模式到节能模式转换

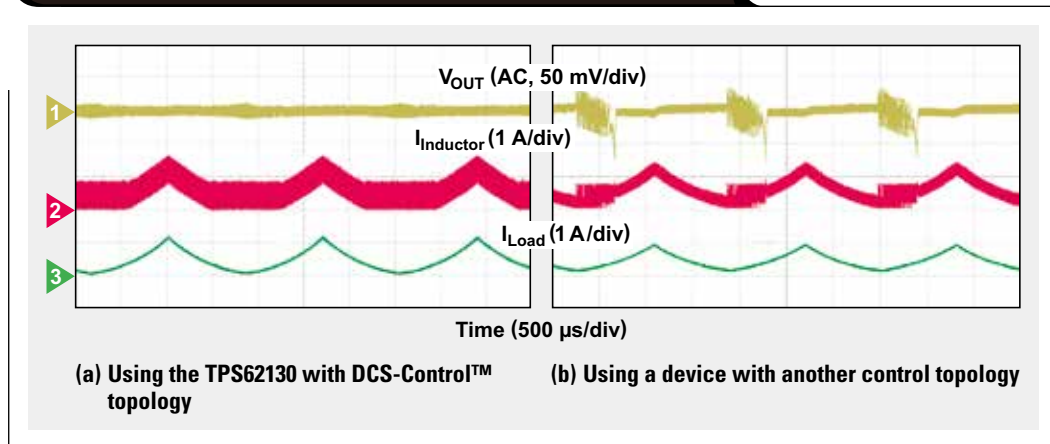


图4把TPS62130的模式转换性能同使用另一种控制拓扑的器件进行了比较。在类三角模式下，负载电流（绿色表示的底部线条）范围为10mA到1A。我们同时观察到了扰动或者干扰电感电流和输出电压纹波。

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

- 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
- 3、《TPS62125低噪声设计》，作者：Brian Berner，见于《应用报告》，
网址：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
- 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

相关网站

电源管理：

www.ti.com/power-aaj

www.ti.com/dcs-control-aaj

www.ti.com/tps62130-aaj

www.ti.com/tps62131-aaj

订阅《模拟应用杂志》，请访问：

www.ti.com/subscribe-aaj



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

Power | **FPGA/μP** | Sensors | LED

Enter your power supply requirements:

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

Multiple Loads | Single Output

Power Architect | **Start Design**

WEBENCH® Designer My Designs

	最小	最大
输入电压	14.0 V	22.0 V
	输出电压	输出电流
输出	3.3 V	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

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

- | | |
|-----------|--|
| 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	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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司