

# **LMZ10503,LMZ10503EXT,LMZ10504, LMZ10504EXT,LMZ10505,LMZ10505EXT**

*Application Note 2013 LMZ1050x / LMZ1050xEXT SIMPLE SWITCHER® Power Module*

*- Quick Compensation Design*



Literature Number: ZHCA382

# LMZ1050x / LMZ1050xEXT SIMPLE SWITCHER®电源模 块-快速补偿设计

美国国家半导体  
应用说明2013  
Ricardo Capetillo  
2010年10月8日



## 简介

LMZ1050x由WEBENCH®设计工具提供全面支持，该软件可在最短的时间内设计出一款包括回路补偿的完整电源解决方案。本应用说明为电源设计师提供了更加详细的设计信息，它们会帮助设计师利用任何类型的输出电容材料实现LMZ1050x稳定工作。LMZ1050x可在较宽的输出电容(CO)和等效串联电阻范围(ESR)内维持稳定。

反馈回路系统稳定性是开关电源最重要的设计指标之一。稳定反

馈回路需要控制理论方面的知识，设计起来也是一项很艰巨的任务。幸运的是，LMZ1050x通过集成II型补偿方案简化了补偿设计，它将外部补偿元件的数量减少到两个。对于任何应用，都可以通过一些简单方程轻松实现最优的瞬态性能和稳定性。下面是针对LMZ1050x的一些用来快速计算补偿元件的方程。“快速启动”部分之后给出了如何推导这些方程的背景知识。下面的两个表格也给出了常规应用中的元件快速选择标准。

表1. LMZ10505/LMZ10504补偿元件值

V <sub>IN</sub> (V)	C <sub>O</sub> (μF)	ESR (mΩ)		R <sub>fbt</sub> (kΩ)	C <sub>comp</sub> (pF)	R <sub>comp</sub> (kΩ)
		最小值	最大值			
5.0	22	2	20	200	27	1.5
	47	2	20	124	56	1.4
	100	1	10	82.5	120	1
	150	1	5	63.4	180	1.21
	150	10	25	63.4	220	16.5
	150	26	50	44.2	220	23.7
	220	15	30	63.4	220	23.7
	220	31	60	76.8	220	57.6
3.3	22	2	20	118	39	9.09
	47	2	20	76.8	82	8.45
	100	1	10	49.9	180	4.12
	150	1	5	40.2	330	2.0
	150	10	25	43.2	330	11.5
	150	26	50	49.9	270	25.5
	220	15	30	40.2	390	15.4
	220	31	60	48.7	330	35.7

表2. LMZ10503补偿元件值

V <sub>IN</sub> (V)	C <sub>O</sub> (μF)	ESR (mΩ)		R <sub>fbt</sub> (kΩ)	C <sub>comp</sub> (pF)	R <sub>comp</sub> (kΩ)
		最小值	最大值			
5.0	22	2	20	143	39	8.06
	47	2	20	100	100	8.25
	100	1	10	71.5	180	4.32
	150	1	5	56.2	270	2.1
	150	10	25	59	270	10.8
	150	26	50	66.5	270	23.7
	220	15	30	53.6	360	14
	220	31	60	59	360	30.1

本文是National Semiconductor英文版的译文，本公司不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。如需确认任何内容的准确性，请参考本公司提供的英文版。

$V_{IN}$ (V)	$C_O$ ( $\mu$ F)	ESR (m $\Omega$ )		$R_{fbt}$ (k $\Omega$ )	$C_{comp}$ (pF)	$R_{comp}$ (k $\Omega$ )
		最小值	最大值			
3.3	22	2	20	100	56.2	5.62
	47	2	20	66.5	150	5.49
	100	1	10	45.3	270	2.8
	150	1	5	40.2	360	1.5
	150	10	25	40.2	360	7.32
	150	26	50	43.2	360	15.4
	220	15	30	40.2	470	10.5
	220	31	60	40.2	470	20.5

在输出电压为0.8V的特殊情况下，建议去掉 $R_{fbb}$ ，保留 $R_{fbt}$ 、 $R_{comp}$ 和 $C_{comp}$ ，形成一个III型补偿网络。

## 快速启动补偿方程

首先解决下列方程：

$$f_{LC} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_O C_O}}$$

$$f_{ESR} = \frac{1}{2\pi R_{ESR} C_O}$$

其中 $C_O$ 是输出电容值，它可根据外加电压和工作温度进行适当降额； $R_{ESR}$ 是输出电容的总等效串联电阻；对于LMZ10504/5和LMZ10503器件， $L_O$ 分别为1.5  $\mu$ H和2.2  $\mu$ H。

$$C_{comp}(pF) = 7.5 \times \frac{L_O(\mu H) \times C_O(\mu F)}{V_{IN(MAX)}(V)}$$

其中 $V_{IN(MAX)}$ 是最大工作电压。最后两个元件值可按下式计算：

$$R_{comp} = \frac{1}{2\pi C_{comp} f_{ESR}}$$

$$R_{fbt} = \frac{1}{2\pi C_{comp} f_{LC}}$$

这些方程得到的回路增益带宽为100 kHz，相位裕度约为50°。

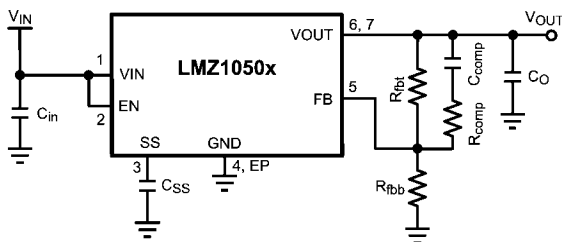


图1. 典型应用电路

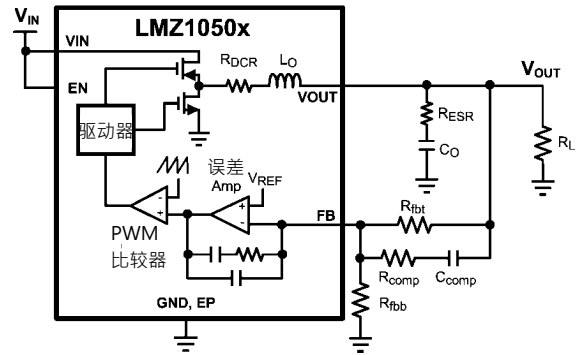
30109512

## 补偿方程背景知识

我们设计补偿级的最终目标是为任何应用都提供最优的瞬态性能和稳定性。通常，220 kHz的带宽会提供快速的瞬态性能，更低的带宽一般会有更高的相位裕度。第一步是确定功率级传递函数的极点和零点。电压模式降压转换器的功率级传递函数拥有一个与LC输出滤波器相关的复杂双极点(double pole)和一个由输出电容器ESR(表示为 $R_{ESR}$ )所引起的左半面零点。这些奇异点的位置可分别由以下两式给出：

$$f_{LC} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_O C_O}}$$

$$f_{ESR} = \frac{1}{2\pi R_{ESR} C_O}$$



30109507

图2. 完整回路增益原理图

与电压模式控制一起应用的传统补偿策略是利用两个补偿器零点抵消LC双极点( $f_{LC}$ )，一个补偿器极点抵消输出电容ESR零点( $f_{ESR}$ )，一个补偿器极点位于半开关频率处( $f_{0.5 \times f_{sw}}$ )来衰减高频噪声。

LMZ1050x内部补偿频率点是这么设计的：一个极点位于原点，一个极点位于上述的高频区域。而且，一个零点位于17.6 kHz处，可以近似抵消一个LC滤波器极点的影响。

三个外部补偿器件 $R_{fbt}$ 、 $R_{comp}$ 和 $C_{comp}$ 的选取原则是使零点位于 $f_{LC}$ 处，极点可抵消 $f_{ESR}$ 。图3和图4示意了上述的补偿机制。

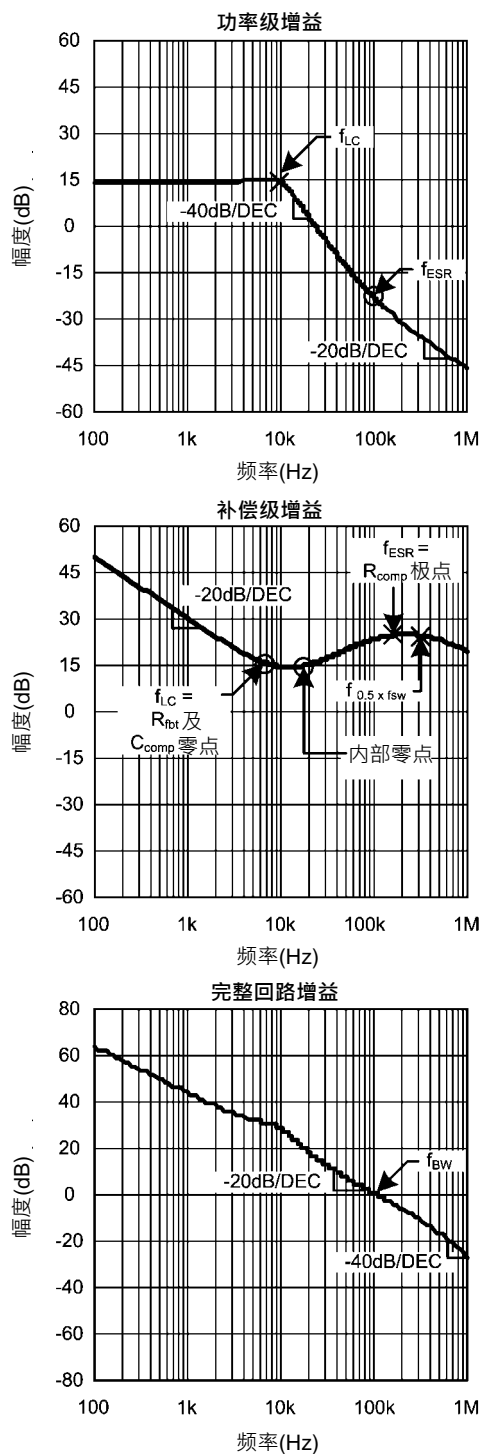


图3. 增益曲线

30109520

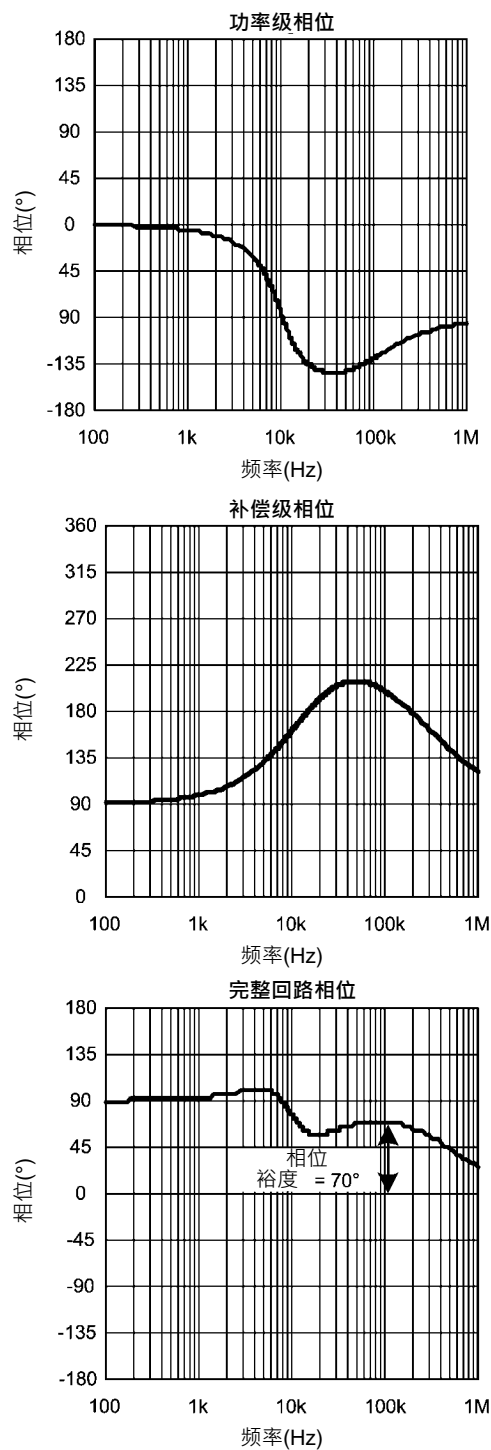


图4. 相位曲线

30109522

建议回路增益带宽频率 $f_{BW}$ 为开关频率的1/10到1/5。此范围可提供相位裕度为30°到60°的快速反馈回路响应。根据 $f_{BW}$ 与 $f_{0.5 \times f_{sw}}$ 的接近程度不同，相位裕度也会变化。

$$0.1 \times 1\text{MHz} \geq f_{BW} \geq 0.2 \times 1\text{MHz}$$

如前所述，III型补偿中所要求的外部补偿电容 $C_{comp}$ 的计算表达式为：

$$C_{comp}(\text{pF}) = \alpha \times \frac{L_o(\mu\text{H}) \times C_o(\mu\text{F})}{V_{IN(\text{MAX})}(\text{V})} \times f_{BW}(\text{kHz})$$

其中常数 $\alpha$ 的标称值为0.075。 $V_{IN(\text{MAX})}$ 是最大工作电压。此时假设一个补偿器极点将抵消 $f_{ESR}$ ，可通过 $R_{comp}$ 实现。所以，建议按照最大 $V_{IN(\text{MAX})}$ 设计回路，因为调制器增益正比于 $V_{IN}$ ， $f_{BW}$ 随着 $V_{IN}$ 的增大而增大。串联电阻 $R_{comp}$ 应当使一个极点位于 $f_{ESR}$ 。所以

$$R_{comp} = \frac{1}{2\pi C_{comp} f_{ESR}}$$

上反馈电阻 $R_{fbt}$ 需提供足够的中频带增益，并使一个零点位于 $f_{LC}$ 。

$$R_{fbt} = \frac{1}{2\pi C_{comp} f_{LC}}$$

根据上方算出 $R_{fbt}$ 后，根据要求的输出电压就可选择 $R_{fbb}$ 。

$$R_{fbb} = R_{fbt} \times \frac{V_{FB}}{V_{OUT} - V_{FB}}$$

其中 $V_{FB} = 0.8\text{V}$ 。

留意交流角度，阻值较低的反馈电阻 $R_{fbb}$ 对控制回路没有影响，因为FB脚是误差放大器的输入，对于交流地是有效的。因此，控制回路的设计可以不考虑输出电平 $V_{OUT}$ 。需要注意的唯一一点是输出电容随外加电压进行的必要降额。

LMZ1050x数据表提供了一份补偿元件查询表，这些元件与常用输出电容材料共同确保运行的稳定性。当然也可使用与所列元件值不同的元件，不过此时需要重新计算，以避免带宽和相位裕度降低。留意LMZ1050x数据表中表2的电容值(即"补偿元件值")被适当降额了80%。

LMZ1050x为电压模式控制结构提供了简化的III型补偿，它足够灵活，支持一切类型的输出电容材料设计。LMZ1050x被优化为支持大范围的 $R_{ESR}$ 和 $C_o$ 值，同时将补偿元件的数量减少到两个。若需要数据表、WEBENCH®、评估板、应用说明和参考设计信息，请访问网址：

<http://www.national.com/pf/LM/LMZ10504.html>

## 注释

欲了解有关美国国家半导体的产品和验证设计工具的更多信息，请访问以下站点：

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

产品		设计支持工具	
放大器	<a href="http://www.national.com/amplifiers">www.national.com/amplifiers</a>	WEBENCH® 设计工具	<a href="http://www.national.com/webench">www.national.com/webench</a>
音频	<a href="http://www.national.com/audio">www.national.com/audio</a>	应用注解	<a href="http://www.national.com/appnotes">www.national.com/appnotes</a>
时钟及定时	<a href="http://www.national.com/timing">www.national.com/timing</a>	参考设计	<a href="http://www.national.com/refdesigns">www.national.com/refdesigns</a>
数据转换器	<a href="http://www.national.com/adc">www.national.com/adc</a>	索取样片	<a href="http://www.national.com/samples">www.national.com/samples</a>
接口	<a href="http://www.national.com/interface">www.national.com/interface</a>	评估板	<a href="http://www.national.com/evalboards">www.national.com/evalboards</a>
LVDS	<a href="http://www.national.com/lvds">www.national.com/lvds</a>	封装	<a href="http://www.national.com/packaging">www.national.com/packaging</a>
电源管理	<a href="http://www.national.com/power">www.national.com/power</a>	绿色公约	<a href="http://www.national.com/quality/green">www.national.com/quality/green</a>
开关稳压器	<a href="http://www.national.com/switchers">www.national.com/switchers</a>	分销商	<a href="http://www.national.com/contacts">www.national.com/contacts</a>
LDOs	<a href="http://www.national.com/lido">www.national.com/lido</a>	质量可靠性	<a href="http://www.national.com/quality">www.national.com/quality</a>
LED 照明	<a href="http://www.national.com/led">www.national.com/led</a>	反馈及支持	<a href="http://www.national.com/feedback">www.national.com/feedback</a>
电压参考	<a href="http://www.national.com/vref">www.national.com/vref</a>	简易设计步骤	<a href="http://www.national.com/easy">www.national.com/easy</a>
PowerWise® 解决方案	<a href="http://www.national.com/powerwise">www.national.com/powerwise</a>	解决方案	<a href="http://www.national.com/solutions">www.national.com/solutions</a>
串行数字接口 (SDI)	<a href="http://www.national.com/sdi">www.national.com/sdi</a>	军事 / 宇航	<a href="http://www.national.com/milaero">www.national.com/milaero</a>
温度传感器	<a href="http://www.national.com/tempsensors">www.national.com/tempsensors</a>	SolarMagic™	<a href="http://www.national.com/solarmagic">www.national.com/solarmagic</a>
无线通信解决方案(PLL/VCO)	<a href="http://www.national.com/wireless">www.national.com/wireless</a>	PowerWise® 设计大学	<a href="http://www.national.com/training">www.national.com/training</a>

本文内容涉及美国国家半导体公司(NATIONAL)产品。美国国家半导体公司对本文内容的准确性与完整性不作任何表示且不承担任何法律责任。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行公司通知。本文没有明示或暗示地以禁止反言或其他任何方式，授予过任何知识产权许可。

美国国家半导体公司按照其认为必要的程度执行产品测试及其它质量控制以支持产品质量保证。没有必要对每个产品执行政府规定范围外的所有参数测试。美国国家半导体公司没有责任提供应用帮助或者购买者产品设计。购买者对其使用美国国家半导体公司的部件的产品和应用承担责任。在使用和分销包含美国国家半导体公司的部件的任何产品之前，购买者应提供充分的设计、测试及操作安全保障。

除非有有关该产品的销售条款规定，否则美国国家半导体公司不承担任何由此引出的任何责任，也不承认任何有关该产品销售权与/或者产品使用权利的明示或暗示的授权，其中包括以特殊目的、以营利为目的的授权，或者对专利权、版权、或其他知识产权的侵害。

#### 生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

生命支持设备或系统指：(a)打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b)支持或维持生命的设备或系统，其在依照使用说明书正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备或系统失效，或影响生命支持设备或系统的安全性或效力的任何部件。

National Semiconductor和National Semiconductor标志均为美国国家半导体公司的注册商标。其他品牌或产品名称均为有关公司所拥有的商标或注册商标。

美国国家半导体公司2010版权所有。

欲了解最新产品信息，请访问公司网站：[www.national.com](http://www.national.com)



美国国家半导体美洲区技术支持中心

电子邮件: [support@nsc.com](mailto:support@nsc.com)  
电话: 1-800-272-9959

美国国家半导体欧洲技术支持中心

电子邮件: [europa.support@nsc.com](mailto:europa.support@nsc.com)

美国国家半导体亚太区技术支持中心

电子邮件: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

美国国家半导体日本技术支持中心

电子邮件: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)

## 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>	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/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/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 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/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 © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司