

**LMZ10503,LMZ10504,LMZ10505,LMZ12001,  
LMZ12001EXT,LMZ12002,LMZ12002EXT,  
LMZ12003,LMZ12003EXT,LMZ14201,  
LMZ14201EXT,LMZ14201H,LMZ14202,  
LMZ14202EXT,LMZ14202H,LMZ14203,  
LMZ14203EXT,LMZ14203H,LMZ22003,LMZ22005,  
LMZ23603,LMZ23605**

*Application Note 2052 National Semiconductor's Simple Switcher® Power  
Modules and EMI*



Literature Number: ZHCA388

# 美国国家半导体SIMPLE SWITCHER®电源模块和电磁干扰

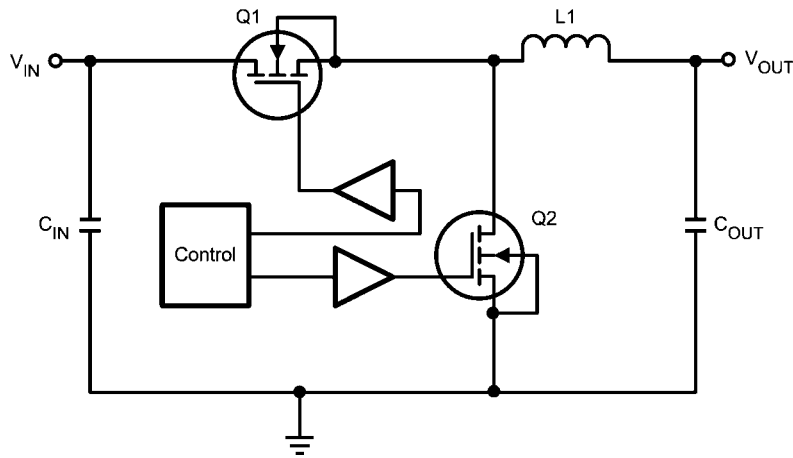
美国国家半导体  
应用说明2052  
Don Rhodes  
2010年4月26日



电源设计过程中会出现一系列问题，即使是设计普通的直流到直流开关转换器，尤其在高功率电源设计中更是如此。除功能性考虑以外，工程师必须保证设计的鲁棒性，符合成本目标要求以及热性能和空间限制，当然同时还要保证设计进度。另外，出于产品规范和系统性能的考虑，电源产生的电磁干扰(EMI)必须足够低。不过，电源的电磁干扰水平却是设计中最难精确预计的项目。有些人甚至认为这简直是不可能的，设计人员能做的最多就是在设计中给予其足够多的考虑，尤其在布局时。

尽管本文所讨论的原理适用于更广泛的电源设计，但我们在此只关注直流到直流转换器，因为它的应用相当广泛。几乎每一位硬件工程师都会接触到与它相关的工作，说不定什么时候就必须设计一个电源转换器。本文中我们将考虑与低电磁干扰设计相关的两种常见的折衷权衡方案；热性能、电磁干扰以及与PCB布局和电磁干扰相关的解决方案尺寸。

我们用一个简单的降压转换器作例子，如图1所示。



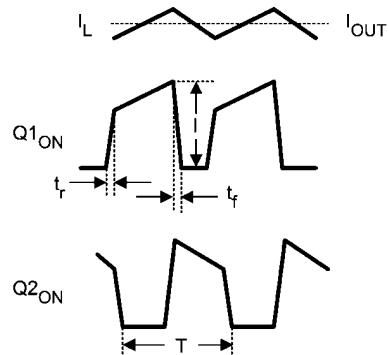
30122301

图1.

辐射和传导电磁干扰都在频域内进行测量，而这无非就是对已知波形做傅里叶级数展开。本文中我们着重考虑辐射电磁干扰。在同步降压转换器中，引起电磁干扰的主要开关波形是由Q1和Q2产生的；也就是每个场效应管在各自导通周期内从漏极到源极的电流 $d_i/d_t$ 。图2所示的电流波形(Q1<sub>on</sub>和Q2<sub>on</sub>)不是很规则的梯形，但是这样我们的操作自由度也就更大，因为导体电流的过渡相对较慢，所以我们可以应用Henry Ott经典著作《电子系统中的噪声降低技术》中的方程1。我们发现，对于一个类似这样的波形，其上升和下降时间会直接影响谐波振幅或傅里叶系数( $I_n$ )。

$$I_n = 2Id \sin(n\pi d)/n\pi d \times \sin(n\pi t_r/T)/n\pi t_r/T \quad (1)$$

其中n是谐波次数，T是周期，I是波形的峰-峰电流幅度，d是占空比， $t_r$ 是 $t_{r1}$ 或 $t_{r2}$ 的最小值。



30122302

图2.

在实际应用中，你极有可能会同时遇到奇次和偶次谐波发射。如果要只产生奇次谐波，那么波形的占空比必须精确为50%。

而实际情况中极少有这样的占空比精度。谐波系列的电磁干扰幅度受Q1和Q2的通断影响。在测量漏源电压 $V_{DS}$ 的上升时间 $t_r$ 和下降时间 $t_f$ ，或流经Q1和Q2的电流上升率 $d_i/d_t$ 时，可以很明显地看到这一点。这也表示，我们可以很简单地通过减缓Q1或Q2的通断速度来降低电磁干扰水平。事实上这也是如此，延长开关时间的确对频率高于 $f = 1/\pi t_r$ 的谐波有很大影响。不过，此时必须在散热增加和过渡损耗降低二者之间进行折衷。尽管如此，对这些参数加以控制仍然是一个好办法，这样就能在电磁干扰和热性能之间取得平衡。这可以通过增加一个小阻值电阻(通常小于 $5\Omega$ )实现，该电阻与Q1和Q2的栅极串联即可控制 $t_r$ 和 $t_f$ 。你也可以给栅极电阻串联一个“关断二极管”来独立控制过渡时间 $t_r$ 或 $t_f$ ，见图3。这其实是一个迭代过程，甚至连经验最丰富的电源设计人员都使用这种方法。我们的最终目标是通过放慢晶体管的通断速度，使电磁干扰降低至可接受的水平，同时保证其温度不至于过高而影响稳定性。

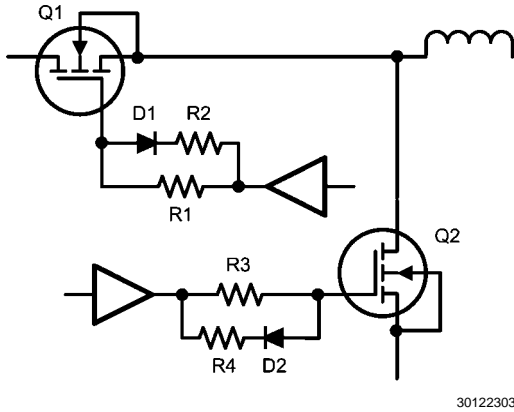


图3.

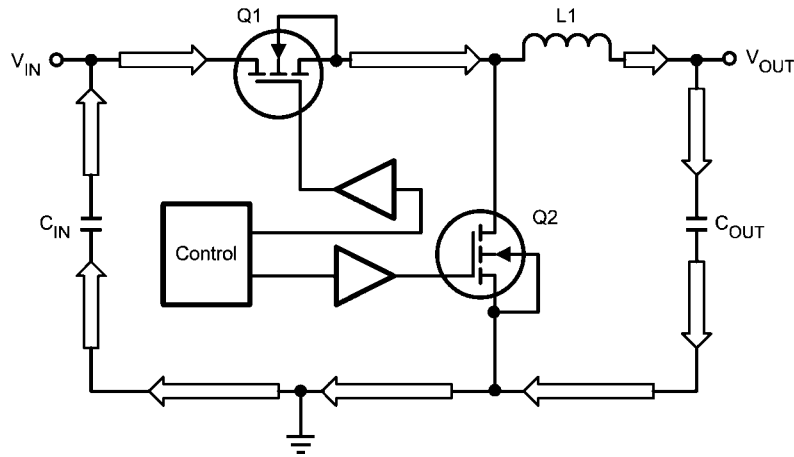


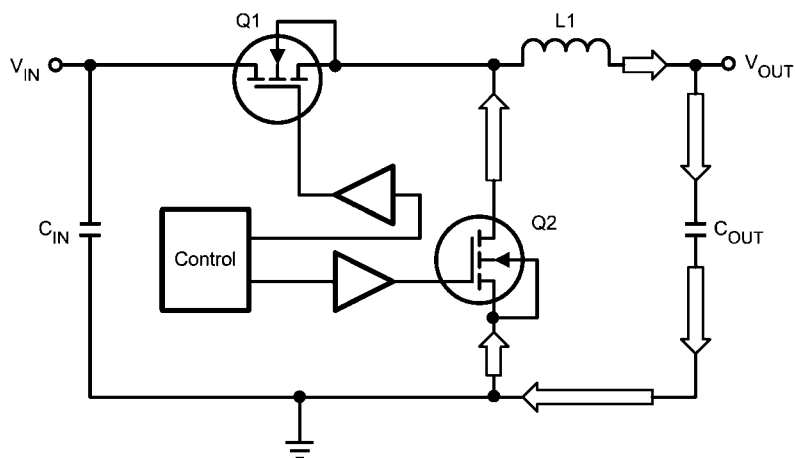
图4.

开关节点的物理回路面积在电磁干扰水平控制中也非常重要。通常，出于PCB面积的考虑，设计者都希望结构越紧凑越好。但是许多设计人员并不知道哪部分布局对电磁干扰的影响最大。回到我们的降压稳压器例子，这里有两个回路节点(如图4和图5所示)，它们的尺寸会直接影响到电磁干扰水平。Ott关于不同模式电磁干扰水平的方程(方程2)给出了回路面积给电路电磁干扰水平带来的直接线性影响。

$$E = 263 \times 10^{-16} (f2AI)(1/r) \quad (2)$$

辐射场正比于下列参数：涉及的谐波频率( $f$ ，单位Hz)、回路面积( $A$ ，单位 $m^2$ )电流( $I$ )和测量距离( $r$ ，单位 $m$ )。

这个概念可以推广到所有利用梯形波形进行电路设计的场合，不过这里我们仅讨论电源设计。考虑图4中的交流模型，研究其回路电流流动：起点为输入电容器，然后在Q1导通期间流向Q1，再通过L1进入输出电容器，最后返回输入电容器。Q1关断、Q2导通时，就形成了第二个回路。之后存储在L1内的能量流经输出电容器和Q2，如图5所示。这些回路面积控制对于降低电磁干扰是很重要的，在PCB走线排布时就要预先细致考虑器件的布置问题。当然，回路面积到底能够多小也是有实际限制的。



30122305

图5.

从方程2可以看出，减小开关节点的回路面积会有效降低电磁干扰水平。如果回路面积减小为原来的3倍，电磁干扰会降低9.5dB，如果减小为原来的10倍，则会降低20dB。应用说明AN-1229列举了直流到直流转换器设计中的其他一些指导性原则，具体可查看

[www.national.com](http://www.national.com)。设计时，最好从最小化图4和图5所示的两个回路节点的回路面积着手。细致考虑器件的布置问题，同时注意铜线连接问题。尽量避免同时使用PCB的两面，因为通孔会使电感显著提高，进而带来其他问题。

高频输入和输出电容器布置的重要性经常被忽略。若干年以前，我所在的公司把我们的产品设计转让给国外制造商。结果，我的工作职责也发生了很大变化，我成了一名顾问，帮助电源设计新手解决这里提到的一系列需要权衡的事宜以及其他更多问题。这里有一个含有集成镇流器的离线式开关设计例子：设计人员希望降低最终功率级中的电磁干扰。我只是简单地将高频输出电容器移动到更靠近输出级的位置，回路面积大约变为原来的一半，于是电磁干扰降低了约6dB。这位设计者不太懂得其中的原理，他称那个电容为“魔法帽子”，其实是减小了开关节点的回路面积。

有一点与上面的讨论明显有关：改进所带来的新问题可能比原先的问题更严重。换句话说，尽管延长过渡时间可以减少电磁干扰，但其引起的热效应现在也随之成了大问题。有一种控制电磁干扰的方法是用全集成电源模块代替传统的直流到直流转换器。电源模块是含有全成功率晶体管和电感的开关稳压器，它和线性稳压器一样可以很轻松地融入系统设计。模块开关节点的回路面积远小于类似尺寸的稳压器或控制器。电源模块并不是新生事物，它的面世已经有一段时间了。

但是直到现在，由于一系列问题的存在，模块无法进行有效散热，而且一旦安装之后就无法更改。

美国国家半导体的新型SIMPLE SWITCHER®电源模块为设计者提供了一个有效替代产品，不仅电磁干扰低，同时解决了电源模块长期存在的一些问题。这一部分要归功于封装技术的进步，与功率模块相比，它们现在更多地应用于功率元件。以LMZ10505为例：这种模块的工作电流为5A，最大输入电压 $V_{in}$ 为5V，封装尺寸为10mm x 10mm。裸露式连接焊盘用于将热量传至接地层，其尺寸相对来说也很大(8.5 x 6.4 mm)，这样也就可以不用冷却气流。在进行电源设计时，散热和电磁干扰问题也不再成为权衡设计中的固有问题。所以尽管本文讨论的电磁干扰解决方案适用于任何电源设计，要寻求合适的平衡还是要花一些时间的。即使经验丰富的电源设计人员也要花费相当多的时间布置器件，更何况是电源的回路走线安排，而且其尺寸不可能做到跟这些功率模块一样小。用于SIMPLE SWITCHER®电源模块的高级封装技术使开关节点的回路面积远小于其他产品。在输出电流增大时，回路面积减小带来的好处会更加明显。

美国国家半导体还通过采用便于修改的封装方式，解决了其他电源模块常见的修改困难的问题。另外，对于这个系列的部件，其管脚都可互相兼容；像LMZ10503/04/05、LMZ12001/02/03和LMZ14201/02/03，都允许设计人员根据需要替换部件。部件编号的最后两位表示额定输出电流，再往前两位数字表示额定输入电压。

## 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: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.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