

# 同步整流通过降低功耗提高效率

作者: Anthony Fagnani, 德州仪器 (TI) 电源应用工程师

1-

## 引言

一些应用要求尽可能高的功率效率。例如, 在某种恶劣环境下, 要求DC/DC电源在高环境温度下工作, 这时就需要低功耗, 以让半导体器件的结温保持在其额定范围以内。其它应用可能必须达到“能源之星®”规范或者绿色模式标准的严格效率要求。电池供电型应用的用户希望获得最长的运行时间, 而降低功耗可以直接延迟设备运行时间。今天, 我们都知道, 使用同步整流器可以降低功耗, 并提高散热性能。低功耗应用的降压转换器和控制器设计人员已经在使用这种方法。另外, 人们还开发了同步升压控制器, 用于解决升压应用的功率效率问题。

## 典型应用

我们使用两个典型的升压应用来说明同步和非同步整流之间的差异。第一个是低输入电压应用, 其可工作在低占空比下, 也即输出电压接近输入电压时。

这种系统的输入例子是USB端口, 或者一块2节或者3节串联电池组成的锂离子 (Li-Ion) 电池组。DC/DC电

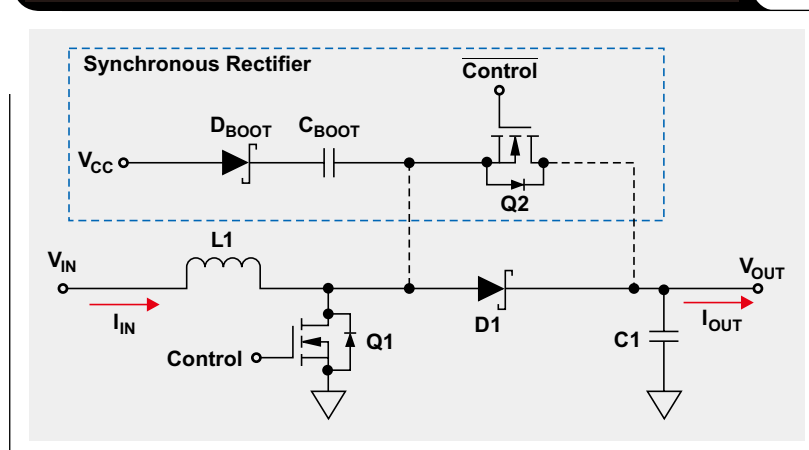
源升高电压, 对2节锂离子电池或者一台平板电脑的电池进行充电。另一个应用增高系统电源轨的电压至高输出电压, 其可工作在更高的占空比下, 这时输出电压远高于输入电压。输入例子为12V电源轨。功率放大器、工业计算机或者高能量密度的能量存储, 均需要高输出电压。

为了说明同步整流的好处, 我们使用真实电路对每个应用进行测试, 以比较效率和功耗。TI的TPS43060/61同步升压控制器, 用于展示这些同步设计。这些电流模式升压控制器集成了控制与门驱动电路, 用于低侧和高侧MOSFET。TI的TPS40210电流模式、低侧开关升压控制器用于非同步设计。

## 基础操作

图1显示了步进 (升压) 拓扑的典型结构图。这种拓扑由低侧功率MOSFET (Q1)、功率电感 (L1) 和输出电容器 (C1) 组成。就同步拓扑而言, 高侧MOSFET (Q2) 用于整流开关。

图1 同步与非同步升压电路



在非同步升压拓扑中，使用了一个功率二极管（D1）。图2显示了开关和电感的电压和电流的等效波形。在Q1“导通”期间，电感电流斜线上升，并且VOUT从VIN断开。在此期间，输出电容器必须为负载供电。在“断开”期间，电感电流斜线下降，并通过整流开关对输出电容器充电。整流器的峰值电流等于开关的峰值电流。

### 整流开关的选择

非同步控制器使用一个外部功率二极管作为整流开关。选择功率二极管时需考虑的三个主要方面是：反向电压、正向电流和正向压降。反向电压应高于输出电压，包括开关节点振铃余量。正向额定电流应至少等于电感器的峰值电流。正向电压应较小，以提高效率和降低功耗。平均二极管电流等于平均输出电流。所选二极管封装必须能够处理功耗。

同步控制器控制整流开关的另一个MOSFET。如果使用N通道MOSFET，则必须产生高于输出电压的电压，以用于门驱动器。利用一个自举电路来产生

这种电压。图1包括了一个标准自举电路的典型结构图，其由自举电容器（ $C_{BOOT}$ ）和自举二极管（ $D_{BOOT}$ ）组成。在Q1“导通”期间，自举电容器被充电至某个稳定电压（ $V_{CC}$ ），其通常由一个控制器内部的低压降稳压器来调节。当Q1关闭时，电容器到接地的电压为 $V_{OUT}+V_{CC}$ ，并且要求电压可用于开启高侧开关。控制电路也必须更加复杂，以确保整流开关导通之前有足够的延迟，从而避免两个开关同时开启。如果出现这种情况，输出电压通过两个开关短路至接地，引起可损坏开关的强电流。

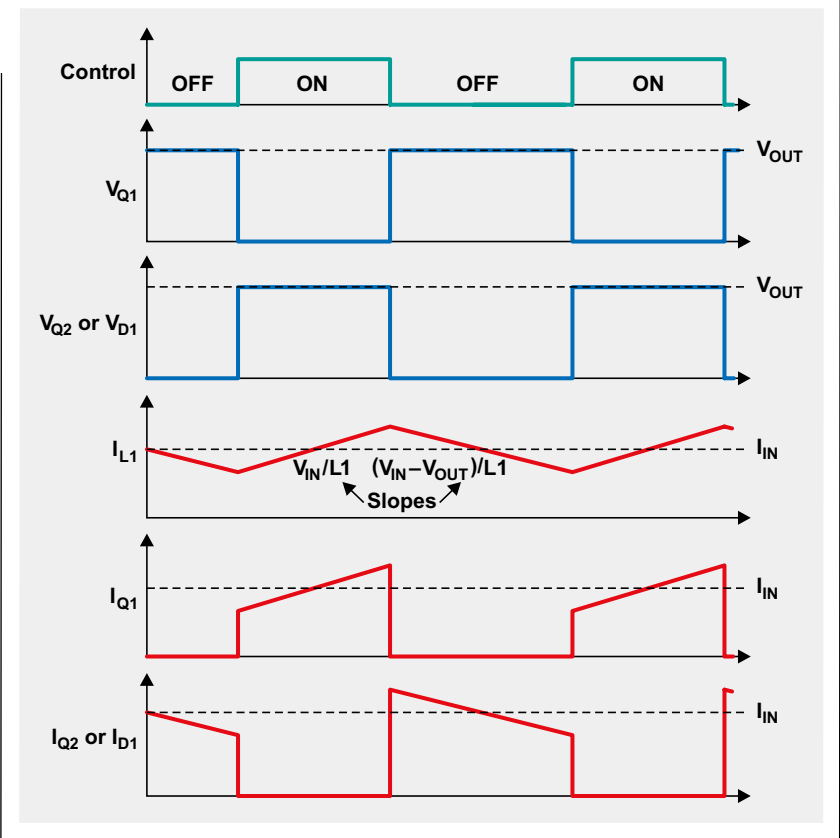
### 整流开关的功耗

为了比较两个不同整流器的效率，我们应计算出功耗。在非同步拓扑中，可使用方程式1估算出整流功率二极管的功耗：

$$P_{D1} = I_{OUT} \times V_{FWD} \quad (1)$$

使用一个同步整流器时，共有两个主要功耗源：传导功耗和空时损耗。当低侧开关关闭时，在高侧开关导通以前存在一定的时间延迟（ $t_{DELAY}$ ）。在这种延迟期间，高侧开关的体二极管（ $V_{SD}$ ）导电。一般而言，这被称作空

图2 升压电路理想电压和电流波形



时（停滞时间）。当高侧开关开启时，同样存在MOSFET的 $R_{DS(ON)}$ 带来的传导损耗。方程式2计算占空比（D），而方程式3估算损耗（ $P_{Q2}$ ）：

$$D = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}} \quad (2)$$

$$P_{Q2} = \left( \frac{I_{OUT}^2}{1-D} \times R_{DS(ON)} \right) + \left( V_{SD} \times \frac{I_{OUT}}{1-D} \times 2 \times t_{DELAY} \times f_{SW} \right) \quad (3)$$

在要求低占空比的应用中，整流开关导电时间占每个开关期间的百分比更大。但是，升压拓扑中非同步整流器的功耗与 $V_{IN}$ 变化带来的占空比变化无关。这是因为， $V_{IN}$ 变化使二极管所导电流的变化大小相等但方向相反。根据方程式1，整流器损耗刚好等于正向压降乘以输出电流。同步整流器情况下，功耗对占空比有一定的依赖度，这是因为传导损耗由FET的电阻引起。这与二极管不同，二极管的损耗由正向压降引起。电阻传导损耗因电流的平方而不同，导致对占空比的依赖性，占空比更高，传导功耗也随之增加。

### 低占空比应用的效率

为了评估低占空比应用的功率效率，我们可对同步设计和非同步设计进行比较。同步设计使用TPS43061同步升压控制器，其与TI的CSD86330Q3D功率模块搭配。该功率模块同时集成了低侧和高侧MOSFET。非同步设计使用TPS40210非同步升压控制器和一个CSD17505Q5A低侧开关，其规格与功率模块类似。这种设计具有一个肖特基二极管，用于整流器，其额定电压和电流至少为15V和7A。具有这种额定值的肖特基二极管的可用最小封装尺寸为TO-277A (SMPC)。仅根据典型开关封装比较解决方案尺寸，我们发现，非同步开关和二极管占用面积为65mm<sup>2</sup>，而同步功率模块开关的占用面积为12mm<sup>2</sup>。后者节省了53mm<sup>2</sup>的面积。两种设计都使用了相同的LC滤波器和750kHz开关频率。图3显示了12V输入和15V输出的这两种设计的效率和功耗情况。理想占空比为20%。本例中，同步整流器的好处很明显。满负载效率提高了约3%，而非同步设计的功耗几乎是同步设计的两倍。

### 高占空比应用的效率

为了评估高占空比应用的功率效率，我们再次对同步设计和非同步设计进行比较。同步设计使用TPS43060同步升压控制器，其有一对功率MOSFET，用于低侧和高侧开关。MOSFET使用30mm<sup>2</sup>的典型8引脚SON封装。非同步设计使用TPS40210非同步升压控制器以及一个相同的MOSFET用于低侧开关。整流器的肖特基二极管额定值至少为48V和16A。肖特基整流器使用D2PAK封装，典型面积为155mm<sup>2</sup>。相比非同步设计，同步解决方案节省了125mm<sup>2</sup>的电路板空间。两种设计都使用相同的LC滤波器和300kHz开关频率。图4显示了12V输入和48V输出时两种设计的效率和功耗情况。理想占空比为75%。效率曲线表明，在这种应用中，使用同步整流

图3 低占空比应用的测得效率与功耗

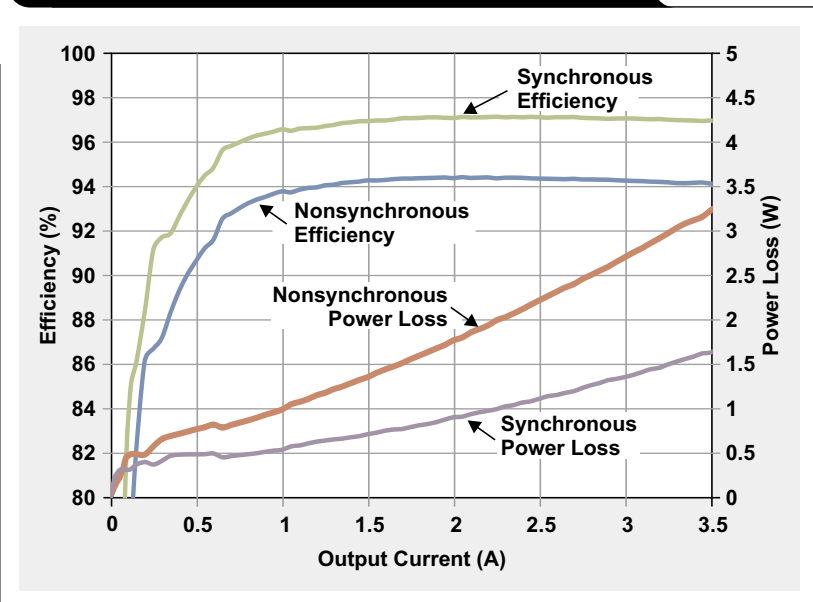
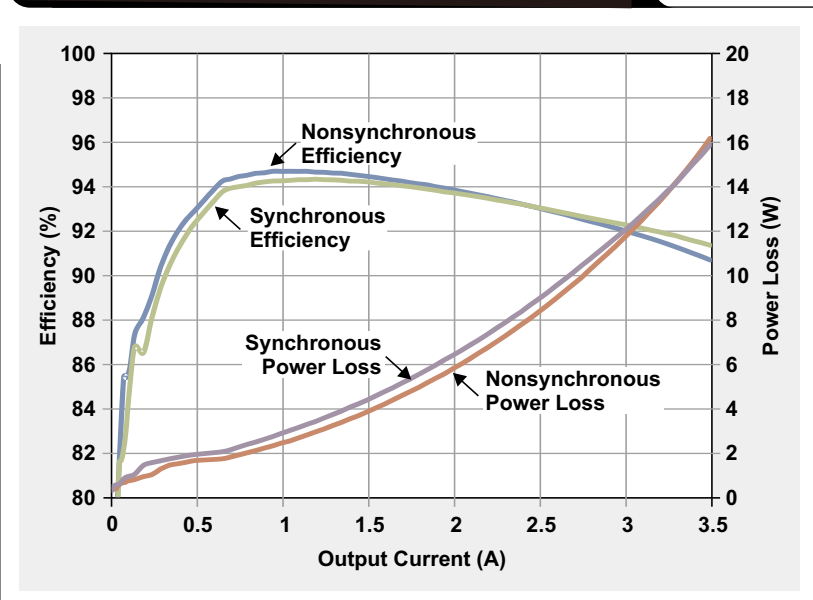
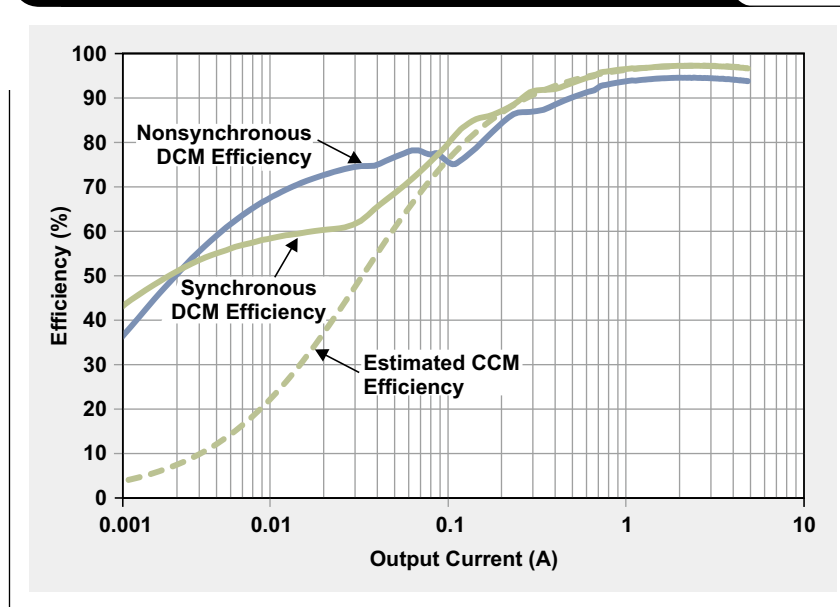


图4 高占空比应用的测得效率与功耗



器没有什么好处。从2.5到3.5A负载电流，同步解决方案的效率开始提高。但是，同步整流的主要好处是要求的电路板空间更少。

图5 DCM和CCM设计轻负载效率



### 轻负载效率

同步设计使用的TPS43060和TPS43061的特点是连续导电模式（CCM）反向电流检测，其提高了更轻负载条件下的效率。它降低了开关、电感和检测电阻器的传导损耗，让轻负载效率与非同步解决方案情况相同。作为参考，图5显示了强制连续导电模式（CCM）下工作的估计转换器效率的虚线曲线。CCM工作期间，开关、电感和检测电阻器的估计损耗，决定了该效率的大小。这些曲线表明了DCM下工作的转换器的轻负载效率相对改善情况。但是，对于一些低噪应用或者要求快速轻负载瞬态响应的应用来说，牺牲高轻负载效率来让CCM运行保持在整个负载范围，可能是一种更好的选择。

### 结论

很明显，同步整流具有许多好处，特别是在一些负载电流增长的低占空比应用中更是如此。但是，在更低输出电流的高占空比应用中，非同步设计拥有足够高的效率。同步整流的低损耗特点可提高效率，并能减少温升和降低解决方案尺寸。

### 参考文献

- 1、《宽VIN范围低静态电流同步升压DC-DC控制器》，TPS43060/61产品说明书，网址：[www.ti.com/slvsp4-aaj](http://www.ti.com/slvsp4-aaj)
- 2、《4.5V到52V输入电流模式升压控制器》，TPS40210/11产品说明书，网址：[www.ti.com/slus772-aaj](http://www.ti.com/slus772-aaj)

### 相关网站

电源管理：

[www.ti.com/power-aaj](http://www.ti.com/power-aaj)  
[www.ti.com/csd17505q5a-aaj](http://www.ti.com/csd17505q5a-aaj)  
[www.ti.com/csd86330q3d-aaj](http://www.ti.com/csd86330q3d-aaj)  
[www.ti.com/tps40210-aaj](http://www.ti.com/tps40210-aaj)  
[www.ti.com/tps43060-aaj](http://www.ti.com/tps43060-aaj)  
[www.ti.com/tps43061-aaj](http://www.ti.com/tps43061-aaj)

订阅《模拟应用杂志》，请访问：  
[www.ti.com/subscribe-aaj](http://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](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          | <input type="text" value="14.0"/> V | <input type="text" value="22.0"/> V |
|              | Vout                                | Iout                                |
| Output       | <input type="text" value="3.3"/> V  | <input type="text" value="2.0"/> A  |
| Ambient Temp | <input type="text" value="30"/> °C  |                                     |

Multiple Loads | Single Output

**Power Architect** | **Start Design**

**WEBENCH® Designer** My Designs

|      |                                     |                                     |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|      | 最小                                  | 最大                                  |
| 输入电压 | <input type="text" value="14.0"/> V | <input type="text" value="22.0"/> V |
|      | 输出电压                                | 输出电流                                |
| 输出   | <input type="text" value="3.3"/> V  | <input type="text" value="2.0"/> A  |
| 环境温度 | <input type="text" value="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