

LM2635,LM2636,LM2637,LM2638

*Application Note 1145 Using Dynamic Voltage Positioning to Reduce the
Number of Output Capacitors in Microprocessor Power Supplies*



Literature Number: ZHCA130

采用动态电压定位来减少微处理器电源中的输出电容数目

美国国家半导体公司
应用注释1145
Dongbing Zhang
Steven Hunt
2000年7月



摘要

使用相对较大的稳态窗口和相对较小的瞬态窗口，来为当代先进的微处理器的内核电压实现非常有吸引力的动态电压定位。采用该技术可减少大容量输出电容的数目，进而可显著地降低成本。对于实现优秀的设计，仔细分析所有误差的来源是非常有必要的。

实例1

在本例中，采用动态电压定位技术（以下简称DVP），可以将成本净节省0.44美金。

假定微处理器要求的最大电流为18A。所容许的内核电压稳态窗口为 $\pm 100\text{mV}$ 。假设采用一个同步降压型转换器，且控制器的DAC容差为 $\pm 30\text{mV}$ 。同时也设定输出电压纹波为 17mV 峰-峰值。

为了适应最差情况下的负载瞬态（例如在几个时钟周期内处理器电流从0A变化到18A），需要在输出端用14个Sanyo 6MV1500GX铝电容。

或者，如果将 $3\text{m}\Omega \pm 5\%$ IRC功率电阻与输出电感串联，可以采用DVP技术，输出电容的数量也被减少至10个。须添加两个额外的信号电平电阻（ $1.00\text{K}\Omega$ 和 $75.0\text{K}\Omega$ ，1%），将初始的输出电压增加 26mV 。

单个功率电阻的成本大约为0.20美金，单个电容的成本约为0.16美金。所以采用DVP技术可以节省的总成本为0.44美金。

该方法的缺点是在功率电阻中存在一个额外的最大功率损耗，约为1W。该方法另一个附加好处是，当需要一个比高侧MOSFET $r_{\text{DS_ON}}$ 感测更严格的过流保护机制时，可以采用相同的功率电阻来提供一个精确的电流限制。

实例2

在本例中，采用动态电压定位技术（以下简称DVP），可以净节省成本0.48美金。

假定考虑与实例1相同的微处理器。如果采用PCB蚀刻电阻替代分立功率电阻，还需要改变很多东西。首先，电阻

的总容差会增加到大约20%，其中包含了温度的影响因素。其次，此例中电阻是免费的。所以减少的输出电容数量是净节省值。

通过计算，蚀刻电阻的优化阻值为 $2.2\text{m}\Omega$ 。初始输出电压值增加 16mV 。可以采用两个信号级的电阻， 100Ω 和 $12.4\text{K}\Omega$ ，1%来实现。

现在，输出电容的数目变为11。所以节省成本为0.48美金。

由蚀刻电阻导致的最大功耗为 0.71W 。

介绍

对于现代高速微处理器，例如在Intel Pentium® pro和Pentium® II系列中，对微处理器的内核电压有非常严格的负载瞬态响应要求。为MPU内核电压定义两种工作窗口，分别是瞬态窗口（或称之为AC窗口）和稳态窗口（或称之为DC窗口）。AC窗口大于或等于DC窗口。举例来说，Klamath处理器（Pentium® II系列）要求，对于一个 2.8V 标称内核电压，在VRM连接器处，DC窗口为 100mV 、 -60mV ，AC窗口为 $\pm 140\text{mV}$ 。在稳态期间，允许内核电压短期内停留在DC窗口以外，但是决不允许其停留在AC窗口外。两种窗口显示的都是瞬态电压，例如，包括设定点容差，纹波和噪声等等。

对于一个典型的内核电源控制器，初始的输出电压容差加上纹波要远小于DC窗口。因此有助于将输出电压在DC窗口内针对不同的负载电流水平而定位在不同的级别。想法是根据负载电流动态地定位内核电压水平，从而为负载瞬态响应产生额外的窗口裕度。

作为图解，如图1为两个负载瞬态响应波形，一个采用DVP，另一个没有。诸如初始输出电压容差（一般为在数字可编程控制器中的DAC容差）、纹波电压等因素都被排除在外。在该图中，标记有“AC”的线是瞬态窗口限制，标记有“DC”的线是稳态窗口限制。标记有“ V_N ”的线则是标称内核电压。

介绍 (续)

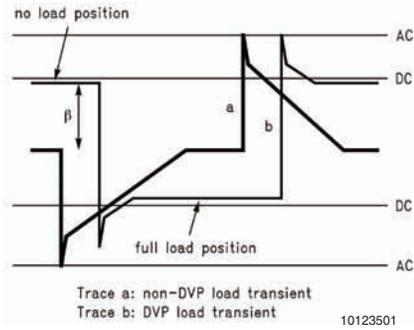


图1. 负载瞬态造成的DVP和非DVP输出电压瞬态

对于非DVP转换器，稳态内核电压不会随着负载电流而变化。因此，在任一方向上的瞬态之后，内核电压返回至 V_N 。参见“a”线。对于一个DVP转换器，内核电压是关于负载电流的函数。参见“b”线。在无负载情况下，内核电压接近DC窗口的上限，然而在满负载情况下，内核电压会接近DC窗口的下限。这为负载瞬态在两个方向上都提供了额外的裕度。在图1中， β 是DVP技术产生的额外瞬态裕量。标称输出电压也应该上升如此的数量值。

DVP的实现

正如以上所述，为了实现DVP，在无负载情况下应略微提高稳态的输出电压，输出电压随着负载电流的增加而下降。可以通过在反馈回路中使用一个分压器，并在电感后面添加一个外置下垂电阻来实现该特性。参见图2，在该图中使用同步降压型PWM控制器，例如美国国家半导体的LM2635/6/7/8。现在，替换非DVP转换器中的稳压点“a”，而将稳压点设在“c”。在“b”，“c”和地之间的分压器会提高“b”点的电压，使得在无负载条件下输出电压略高于标称值。（注意在无负载条件下，“b”点和“a”点处于相同的电势）。在稳态期间，下垂电阻上的电压与负载电流成正比。因此，负载电流越高，输出电压越低。电压与输出电流特性之间的关系如图3所示。

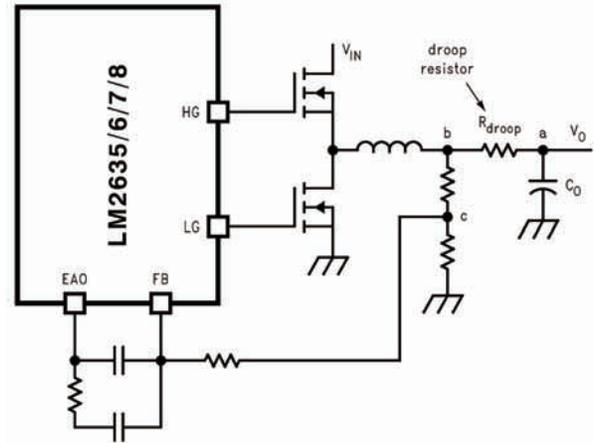


图2. 采用下垂电阻和美国国家半导体的LM2635/6/7/8控制器实现DVP

若为了采用DVP，开关控制器IC中的内置基准电压（一般在数字可编程控制器中为DAC输出）已被预先偏置，则不必使用电阻分压器。

因为下垂电阻在功率路径中，所以必须是一个功率电阻。它也可以是一个分立的电流感测电阻或是一个PCB蚀刻电阻。典型的电阻值为几个毫欧姆。

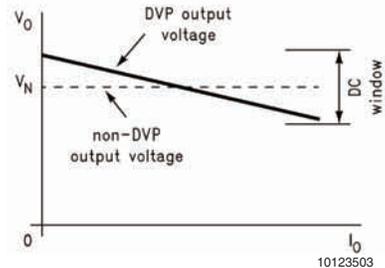


图3. DVP转换器的输出特性

分立电阻的优点是有更好的容差性和超低的温度系数（典型值为 $\pm 20\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ）。它对PCB产生较少的热应力。缺点是器件成本高和不太易于实现，极大地限制了对电阻的选择。

PCB蚀刻电阻的优点是成本很低且灵活的电阻值。缺点是较差的容差性，高温度系数（大约为 $4000\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ）以及对PCB产生较大的热应力。具体哪一种下垂电阻能更多地节约成本主要取决于负载电流、DC和AC窗口尺寸、初始输出电压容差等。

等式

为了在非DVP转换器和DVP转换器之间作实际的比较，并为实现DVP提供一种设计工具，必须仔细考虑DAC容差（假定是数字可编程控制器），输出电压纹波和下垂电阻容差和温度系数等因素。

图4为非DVP转换器中稳态电压的分布图。前提是假定负载调节是理想的。注意到负载电流与该分布状态无关。

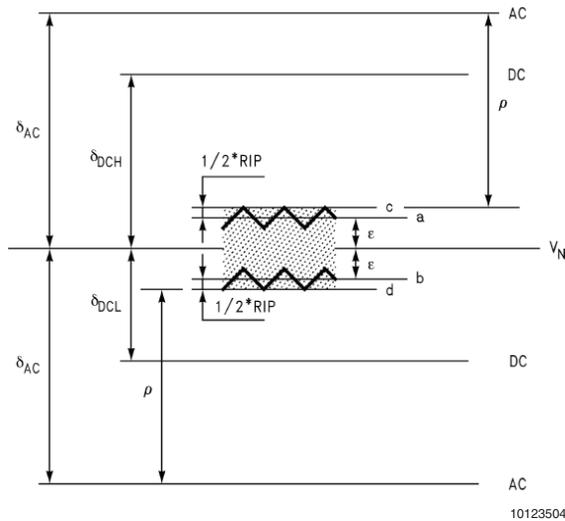


图4. 非DVP的稳态输出电压分布和瞬态裕度

在“a”线和“b”线之间的灰色地带符合总体DAC容差，大约为 2ϵ 。当考虑到电压纹波时，必须将稳态容差带拓宽到“c”线和“d”线所限定的范围内。例如 $2\epsilon + RIP$ 。RIP指的是峰峰值纹波电压。当满负载时稳态电压处于“c”线时，会产生最差情况下满负载至无负载的瞬态。这是因为该情况下有最小的瞬态裕度（该图中的 ρ ）。相应的瞬态裕度为：

$$\rho = \delta_{AC} - \left(\frac{1}{2} RIP + \epsilon \right), \quad (1)$$

其中， δ_{AC} 是AC窗口尺寸的一半。假定AC窗口是围绕标称电压 V_N 对称分布，相同的公式也适用于相反方向中的负载瞬态（无负载至满负载）。

在有DVP的情况下，容差带的位置变成负载电流的函数。该值在轻负载时变得更高，在重负载时变得更低。参见图5。

跨越下垂电阻（ V_{droop} ）两端的最大电压确定在无负载情况下输出电压应该增加多少。如果下垂电阻引入的误差可以忽略（图5中所示的例子），输出电压容差带的中间应该是，在无负载情况下比 V_N 高二分之一 V_{droop} ，在满负载情况下比 V_N

低二分之一 V_{droop} ，如图5所示。因此产生的额外瞬态裕度为二分之一 V_{droop} 。

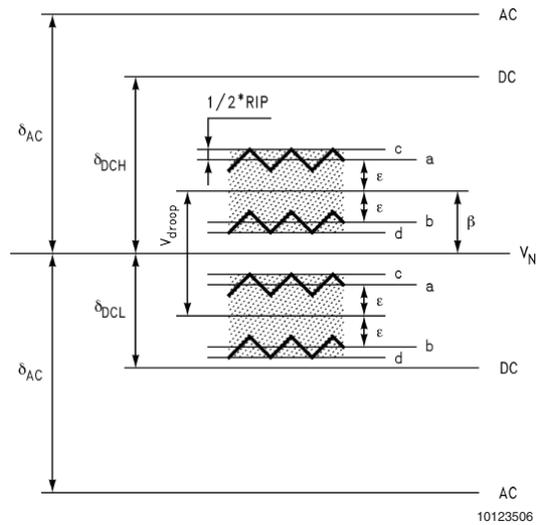


图5. 带零容差下垂电阻的DVP的稳态输出电压分布

然而，不可避免地存在与下垂电阻相关的容差和温度系数。假定由于温度变化造成下垂电阻的容差和变化为 $\pm\lambda$ 。参见以下图6。

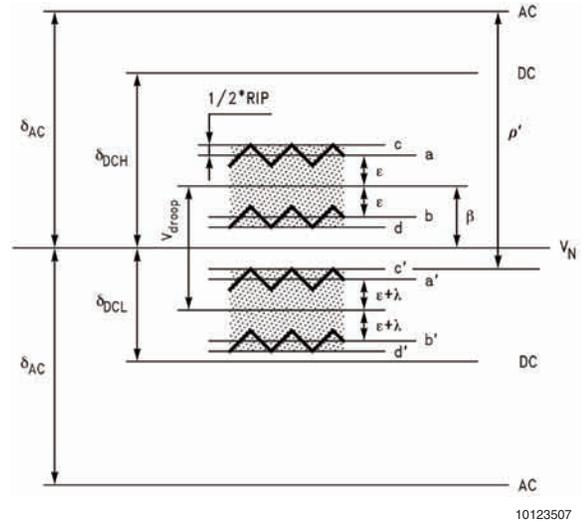


图6. 带有限容差下垂电阻的DVP的稳态输出电压分布

这个误差使得满载时容差带的上边界（“c'”线） 1λ 相比于无负载时的容差带下边界（“d”线）更靠近 V_N 值。为了使 V_N 到两个边界（“c'”线和“d”线）保持等距离，则两个方向

等式 (续)

上的瞬态有相同的裕度, 无负载失调 β 应该调整为小于 V_{droop} 的一半。

无负载容差带的合适失调为:

$$\beta = \frac{1}{2} V_{\text{droop}} (1 - \Sigma), \quad (2)$$

其中 V_{droop} 是最大下垂电压, 例如在满负载时的下垂电压, Σ 是下垂电阻容差。 ($\lambda = V_{\text{droop}} \times \Sigma$)。

现在, 新瞬态裕度 ρ' 是“c”线和AC窗口上边界之间的距离, 或者是“d”线和AC窗口下边界之间的距离。计算裕度的公式为:

$$\rho' = \rho + \beta \quad (3)$$

所以新旧瞬态裕度之间的差别为失调 β 。

有必要检查一下“d”线是否仍高于DC窗口的下边界。“d”线更为重要的原因是它比“c”线离 V_N 更远, 并且在某些情况下DC窗口的较低的一半要小于较高的一半。判据如下,

$$V_{\text{droop}} \leq \frac{2\delta_{\text{DCL}} - \text{RIP} - 2\epsilon}{1 + 3\Sigma}, \quad (4)$$

其中 δ_{DCL} 是DC窗口较低一半的尺寸。输出电容数量的节约百分比为:

$$\text{SVGS}\% = \frac{\beta}{\rho'}. \quad (5)$$

可以通过下列公式来确定输出电容的成本节约:

$$\Delta\$ = \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} \right) \cdot \text{ESR} \cdot \text{PRICE} \cdot I_{\text{CORE}}, \quad (6)$$

其中ESR为每个输出电容的等效串联电阻。PRICE是电容的单价。 I_{CORE} 是最大负载电流。

实际的成本可能会略高于或低于公式(6)的结果, 因为电容的数目总归是一个整数。

一旦已知输出电容的类型, 可以通过下列标准来确定电容的数目。

$$N \geq \frac{\text{ESR} \cdot I_{\text{CORE}}}{m}, \quad (7)$$

其中, m 是瞬态裕度, 例如 ρ 或者 ρ' 。

修改后的实例 1

假定:

$$\begin{aligned} \text{RIP} &= 17\text{mV}, \epsilon = 30\text{mV}, \\ \delta_{\text{AC}} &= 100\text{mV}, \delta_{\text{DCH}} = \delta_{\text{DCL}} = 70\text{mV}, \end{aligned}$$

$$R_{\text{droop}} = 3\text{m}\Omega \pm 5\%, I_{\text{CORE}} = 18\text{A}.$$

因此,

$$V_{\text{droop}} = 3\text{m}\Omega \times 18\text{A} = 54\text{mV}.$$

然后由等式(1), 得到非DVP负载瞬态裕度为:

$$\rho = 100\text{mV} - (\frac{1}{2} \times 17\text{mV} + 30\text{mV}) = 61.5\text{mV}.$$

通过等式(2) 计算得到本例中的DAC失调:

$$\beta = 0.5 \times 54\text{mV} \times (1 - 5\%) = 26\text{mV}.$$

通过等式(3), 得到DVP瞬态裕度为:

$$\rho' = 61.5\text{mV} + 26\text{mV} = 87\text{mV}.$$

使用等式(4) 来检查容差带是否超出DC窗口,

$$(2 \times 70\text{mV} - 17\text{mV} - 2 \times 30\text{mV}) \div (1 + 3 \times 5\%) = 54.8\text{mV}.$$

该值大于54mV的实际最大下垂电压, 所以满足该条件。

假定输出电容源于Sanyo MV-GX系列, 单价是0.16美金, 每个电容的ESR是47m Ω , 于是节约的输出电容成本为:

$$\Delta\$ = (1/61.5\text{mV} - 1/87\text{mV}) \times 47\text{m}\Omega \times \$0.16 \times 18\text{A} = \$0.64.$$

在减去下垂电阻的成本之后, 净节省0.44美金。

修改后的实例 2

因为下垂电阻的取值比较灵活, 有必要首先找到最优化的值。下垂电压越高, 失调 β 越大且额外的裕度也就越大。通过等式(4) 可确定容许的最大下垂电压值:

$$V_{\text{droop}} = (2 \times 70\text{mV} - 17\text{mV} - 2 \times 30\text{mV}) \div (1 + 3 \times 20\%) = 39.4\text{mV}.$$

因此, 优化下垂电阻值为:

$$R_{\text{droop}} = V_{\text{droop}} \div I_{\text{CORE}} = 39.4\text{mV} \div 18\text{A} = 2.2\text{m}\Omega.$$

由等式(2) 确定初始失调 β :

$$\beta = 0.5 \times 39.4\text{mV} \times (1 - 20\%) = 16\text{mV}.$$

通过等式(3) 确定新瞬态裕度:

$$\rho' = \rho + \beta = 61.5\text{mV} + 16\text{mV} = 77\text{mV}.$$

因此, 通过等式(5), 节省的输出电容成本为

$$\Delta\$ = (1/61.5\text{mV} - 1/77\text{mV}) \times 47\text{m}\Omega \times \$0.16 \times 18\text{A} = \$0.45.$$

为了计算实际的节省成本, 我们计算在非DVP情况下所需电容的数目:

$$N1 = 47\text{m}\Omega \times 18\text{A} \div 61.5\text{mV} \approx 14.$$

并且计算在DVP情况下所需电容的数目:

$$N2 = 47\text{m}\Omega \times 18\text{A} \div 77\text{mV} \approx 11.$$

所以差别是三个电容, 因此节约成本为0.48美金。

评论

- 随着分立电阻的电阻值逐渐降低, 对于电阻供应商而言很难将它们做得非常精确。IRC可以生产低于3m Ω 的电阻值。某些情况下将两个分立电阻并联是唯一的解决方案。
- 当设计板上电源时, 可以放宽DC窗口至略大于在VRM规格中的定义。请参考处理器的规格。一般采用 $\pm 10\text{mV}$ 的宽松范围。
- 当从非DVP设计转换为DVP设计时, 有必要采用略大些的电感来保持相同的输出纹波电压。

评论 (续)

- 通常PCB的顶层和底层都镀铜，两层上的铜箔厚度不太精确。尽量采用一个内置层来放置蚀刻电阻。
- 一个好的规则是，在设计一个蚀刻电阻时，对于1 oz铜箔要采用20mil/A的电流密度。
- 从作者处可以得到以Microsoft Excel电子数据表形式

的DVP设计工具，可以帮助读者使设计流程自动化。该工具非常适合于设计美国国家半导体LM2635/6/7/8系列产品的DVP。

- 为了在快速负载瞬态期间实现与图1中“b”线类似的无摆响应，需要更好地细调转换器的环路特性。

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。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，恕不另行通知。
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

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/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，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/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范 (CSP-9-111C2)》以及《相关禁用物质和材料规范 (CSP-9-111S2)》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。
无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

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	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/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/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 机动性处理器	www.ti.com/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 © 2011 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司