

# 了解 DCS-Control™ 拓扑中的频率变化

作者: Chris Glaser

应用工程师

## 引言

在汽车市场里, 有一个常见的要求是避免干扰 AM 无线电波段或其他敏感的电子器件(如传感器)。对于电源的一个例子是将其开关频率设定在高于约 1.8 MHz, 旨在把所有的噪声均保持在一个比最高 AM 无线电信号更高的频率。

如果把该频率设定得比最低无线电信号更低, 则较高频率谐波将在带内并很有可能产生干扰。大多数新式电源都不像在传统的电压或电流模式控制中那样采用一个实际的振荡器来设定其开关频率。取而代之的是, 控制导通时间或关断时间, 然后提供一个相对恒定的工作频率。

DCS-Control™ 拓扑是基于导通时间的拓扑的一个实例, 其可有效地提供许多汽车应用中所需的低噪声和快速瞬态响应。虽然其开关频率确实变化, 但是这种变化是得到理解和控制的, 而且对于汽车和其他频率敏感型应用而言通常是足够的。

## 应用示例

图 1 示出了典型汽车信息娱乐设备中使用的 DCS-Control 拓扑的基本方框图。<sup>[1, 2]</sup>

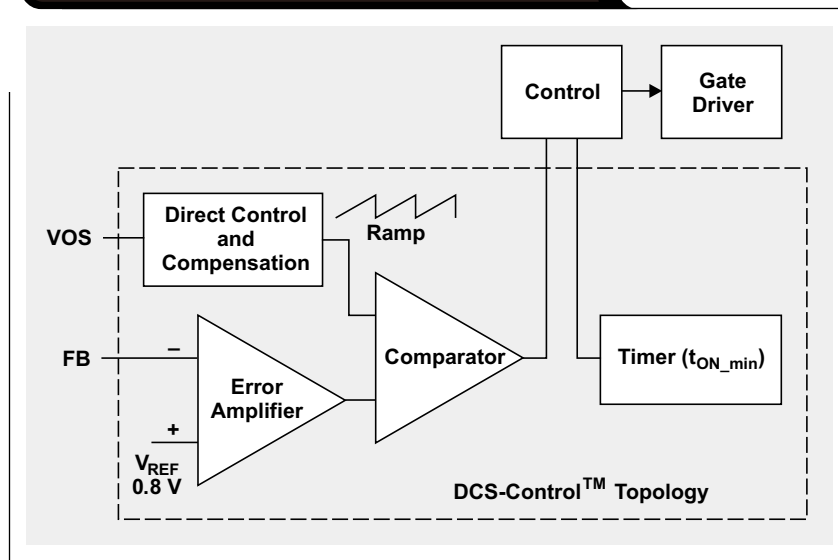
如参考文献 1 中解释的那样, 定时器 ( $t_{ON\_MIN}$ ) 负责通过根据  $V_{IN}$  和  $V_{OUT}$  调整导通时间(借助 (1) 式)来提供一个受控的开关频率。

$$t_{ON} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \times 400 \text{ ns} \quad (1)$$

当 DCS-Control 器件在导通时间由定时器设定的情况下工作时, 400 ns 的数值把理想的开关频率设定在 2.5 MHz。然而, 由于电路损耗、传播延迟的原因, 而且在某些特定的应用情况下, 操作并非始终遵循由定时器设定的导通时间。因此, 频率发生变化。根据器件工作的占空比(理想情况下为  $V_{OUT}/V_{IN}$ )对引起这种变化的原因分组在一起。

实测数据阐释了 DCS-Control 拓扑之频率变化背后的原理。为了更好地说明此概念, 选择了 TPS62130 (目录版本), 这款器件提供了两种开关频率, 即: 2.5 MHz 和 1.25 MHz。2.5 MHz 数据精确地匹配 TPS62130A-Q1 数据, 因为这两款器件均提供了 2.5 MHz 设定值。所有的数据都是在具有一个  $2.2 \mu\text{H}$  电感器和两个  $22 \mu\text{F}$  输出电容器(以抑制 DC 偏置的影响)的评估模块上获取的。

图 1: TPS62130A-Q1 转换器中的 DCS-Control™ 拓扑的方框图



### 中等占空比

在把 12 V 汽车电池转换为用于通用串行总线 (USB) 端口之 5 V 的典型应用中, 所需的占空比不是极高或极低。该场合中的频率变化非常低, 因为导通时间和关断时间并不位于其极限值。图 2 示出了采用一个 5 V 输出电压、两种频率设置和两种不同负载电流时的实测开关频率、导通时间和关断时间。中等占空比指的是那些高于 9 V (对于 2.5 MHz 设置) 和高于 7 V (对于 1.25 MHz 设置) 的输入电压。

图 2b 示出了频率变化水平很低背后的原因。导通时间与定时器设定的理想导通时间以及 (1) 式匹配得非常好 (对于负载和频率设定值)。在中等占空比条件下频率变化幅度很小的原因是: 抑制了损耗和传播延迟。

在图 2a 中, 由于损耗的缘故, 频率随着负载的加重而增加。较高的负载需要略高一点的占空比以抑制电路中的阻性损耗。由于导通时间对于 1 A 负载和 3 A 负载是相同的, 因此减少关断时间以实现较高的占空比 (图 2c)。相同的导通时间和一个缩短的关断时间将导致较短的周期和较高的频率。

而且, 频率随着输入电压的增加而轻微减小。由于导通时间随着输入电压的增加而减少, 因此对于较小的导通时间值而言, 器件中的固定传播延迟对实现的导通时间具有更加明显的影响。定时器负责设定导通时间以实现某个频率, 但是其输出信号在到达功率晶体管之前通过控制和栅极驱动器 (示于图 1)。穿越该路径需要花费有限的时间量。例如, 倘若需要一个 200 ns 的导通时间, 而且传播延迟为 20 ns, 则实际导通时间将为 220 ns (比所需的高出 10%)。但是, 假如输入电压增加且期望的导通时间减少至 100 ns, 那么相同的 20 ns 延迟将使实际导通时间增加 20%。对于低占空比, 这种影响将进一步明显。

### 高占空比

虽然汽车电池的标称工作电压在 12 V 左右, 但来自大电流负载的瞬变 (比如: 起动引擎) 会降低电池电压。对于电源这表现为线路电压瞬变, 这意味着在某些应用中需要采用更加先进的控制。只要输入电压未降至低于输出电压的电平, DCS-Control 拓扑就可在此类线路电压和负载瞬变期间保持输出调节作用。

图 2: 具有一个 5 V 输出的 TPS62130

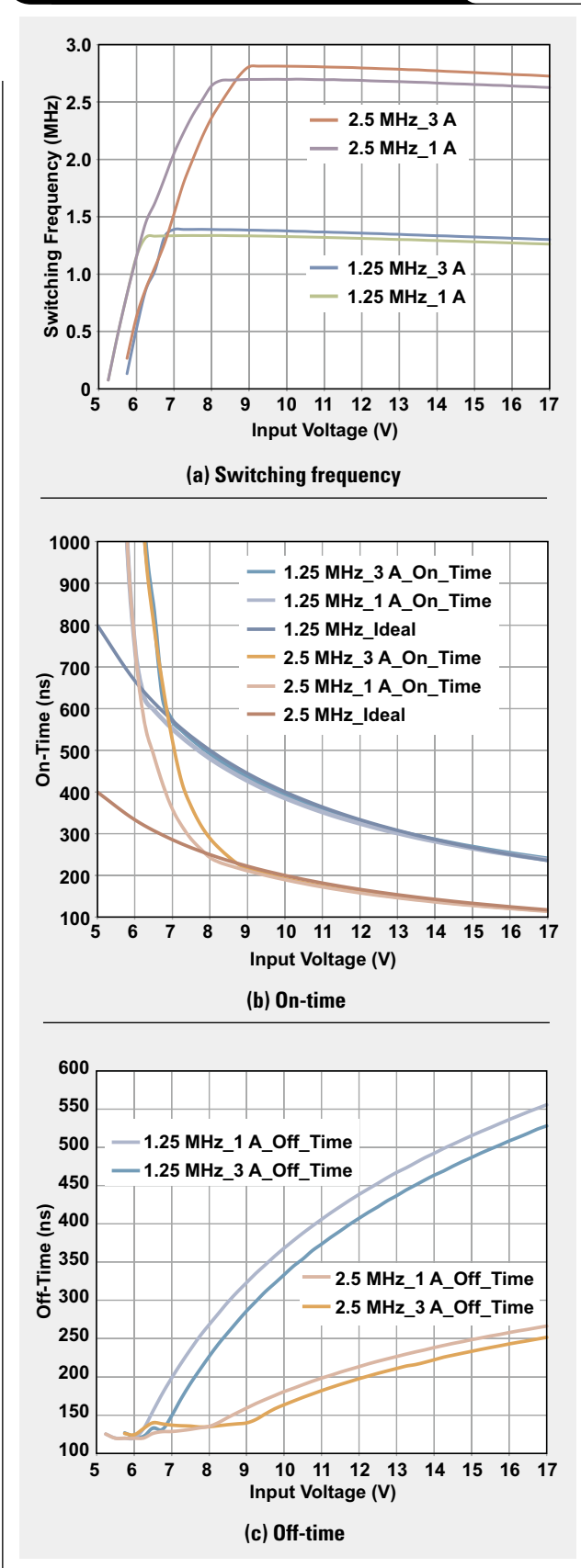


图 3 示出了对于一个 3.3 V 输出的实测数据。当转换器的输入电压下降时，占空比增加。在高占空比条件下，开关频率由于损耗和最小关断时间的原因而减小。高占空比指的是图 2a 和 3a 最左边的部分，开关频率在此区域中从其标称值逐渐减小至接近于零。

高占空比在该拓扑中展示了一个最小关断时间。由于高占空比出现在较低输入电压和较高输出电压的条件下，所以在导通时间里存储于电感器中的能量较低。这个结果源于电感器两端的电压低得多。为了最大限度地提升效率，设定了一个最小关断时间以确保给输出端提供充足的电能。这在省电模式中是特别有帮助的，此模式中提供一定量的电能以使输出在更长的时间里处于较高的电平。这在开关脉冲和较高效率之间导致了一个间隙。从图 3c 可见，一旦达到最小关断时间（对于 2.5 MHz 设置，其在一个 6 V 输入电压的附近），导通时间开始从理想值上升，以在与较低输入电压对应的占空比中实现所需的增加。图 2c 和图 3c 示出了最小关断时间的 120 ns 近似值。

此外，由于输入电压值也较低，因此最小关断时间在高占空比条件下迅速达到。当输入电压低于 6 V 时，位于 DCS-Control 器件内部的高端 MOSFET 的电阻 ( $R_{DS(on)}$ ) 增大，从而产生较高的损耗并加大了所需的占空比扩展。例如：在较低的输入电压条件下，3 A 负载显示的导通时间长于 1 A 负载。

### 低占空比

低占空比随着较低的输出电压（例如：1 V 和 1.8 V）而出现。相对高的 12 V 输入电压需要有时低于 10% 的占空比。至于期望的 400 ns 周期，这要求接近甚至低于 40 ns 的导通时间。对于任何转换器而言，要实现这么小的导通时间都是颇具挑战性的，或者实际上是不可能的（因绝对最小导通时间之故）。TPS62130 数据表注释了一个在这些场合中出现的 80 ns（典型值）绝对最小导通时间。这是在低占空比条件下引起频率变化的主要根源。如前文说明的那样，添加至小导通时间的固定传播延迟是另一个导致频率变化的起因。图 4 示出了对于一个 1.8 V 输出电压的实测数据。

图 3: 具有一个 3.3 V 输出的 TPS62130

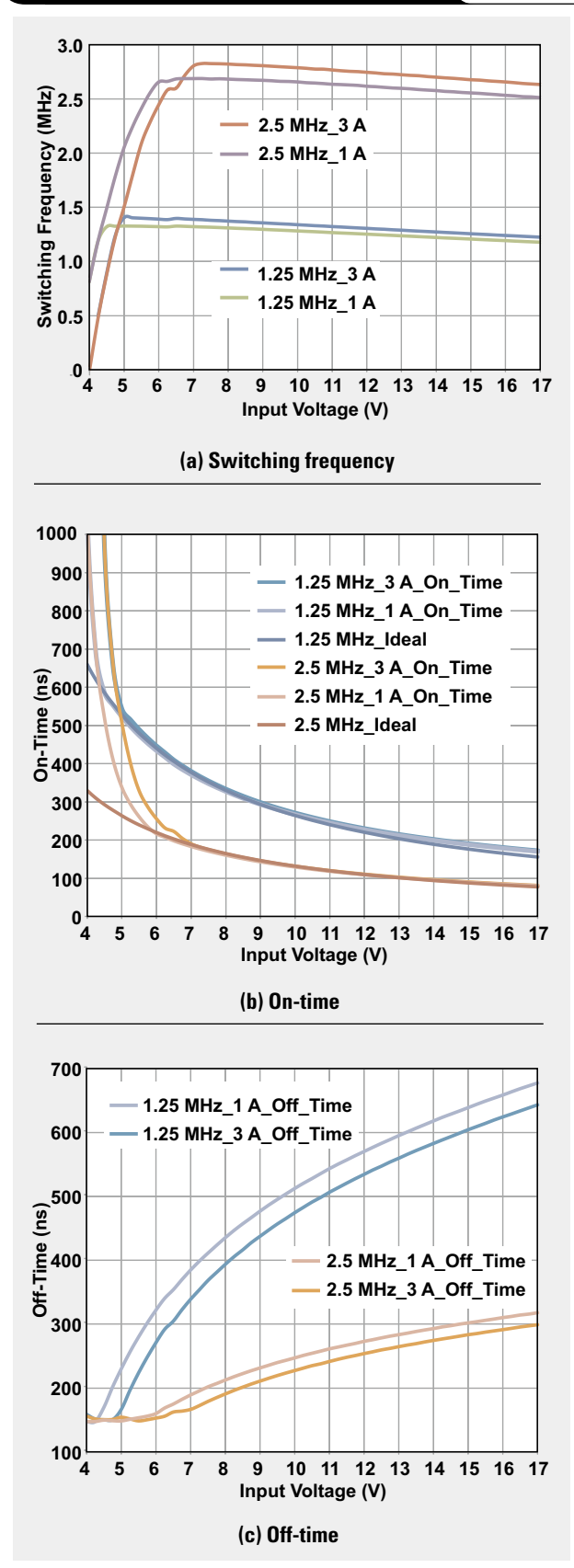


图 4b 中的 2.5 MHz 曲线清楚地显示了一个在 80 ns 左右的最小导通时间。这给可实现的开关频率设定了一个上限。1.25 MHz 曲线显示了与图 2a 和 3a 相似的良好频率变化。由于该 1.8 V 输出时的导通时间较小，因此固定的传播延迟相对于输出电压的升高引起了一个更加陡峭的向下频移，这导致了一个较低的频率。

此外，我们在 2.5 MHz 曲线中看到的颠簸不平（图 4a）还显示了对导通时间的第三个影响因素：比较器。在某个瞬变期间，该比较器把导通时间扩展至超过定时器的输出以向输出端提供更多的能量，从而使输出电压更快地恢复。这是迟滞转换器的一个关键的方面，并解释了 DCS-Control 拓扑的快速瞬态响应。

尽管 80 ns 的最小导通时间和定时器的输出在整个输入电压范围内并未发生很大的改变，然而输出信号则由于电感器电流上变化不定的纹波之故而确实有所变化。输入电压升高时纹波增大。在输出电容器中的等效串联电阻 (ESR) 和等效串联电感 (ESL) 两端拥有更大的纹波将产生更多供比较器做出响应的信号，从而提高系统的速度。在 12 V 和 13 V 之间，存在足够的信号且比较器不再控制导通时间。最小导通定时器负责控制它。于是，在高于该输入电压的条件下实现了较高的频率。

针对较低频率的一种解决方案是 12 V 至负载的两级转换。由于更加适中的每级导通时间，所以至非常低输出电压的两级转换（比如：通过 5 V）可在两级中均实现一个较高的频率。

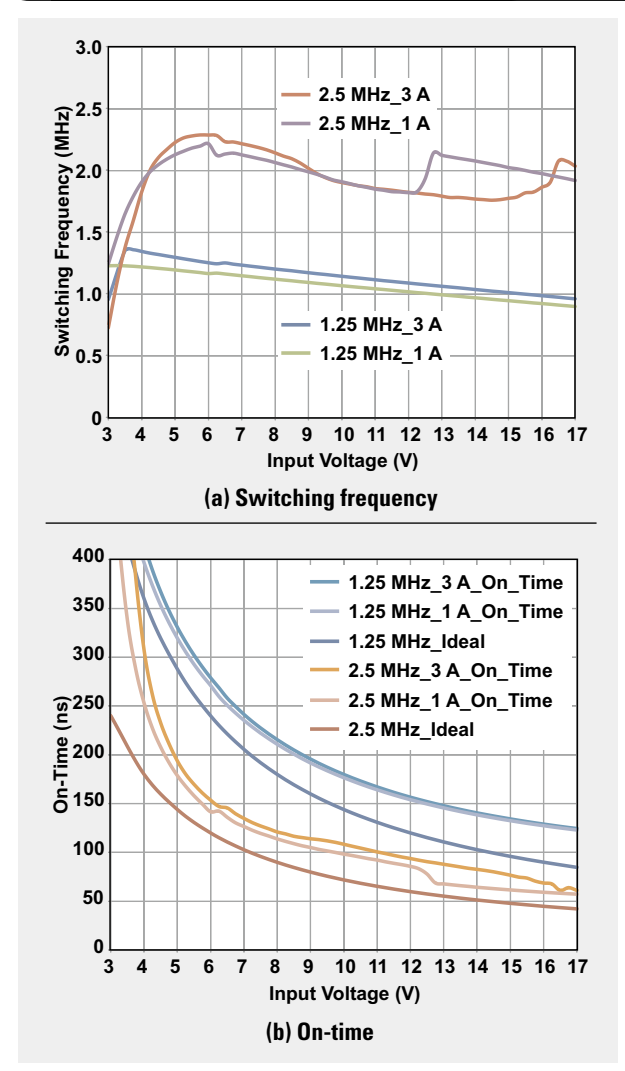
最后，随着输出电压的降低而出现的较低开关频率将增加电感器电流纹波，但是此纹波已经因为低输出电压的缘故而被降低了（(2) 式）。较低的输出电压在开始时具有较少的电流纹波。当遵循数据表中针对电感和开关频率给出的建议时，这个较低的开关频率并未把输出电流限制在 3 A 的器件额定值以下。

$$\Delta I_{L(\max)} = V_{\text{OUT}} \times \left( \frac{1 - \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}(\max)}}}{L_{(\min)} \times f_{\text{SW}}} \right) \quad (2)$$

## 结论

DCS-Control 拓扑和其他非基于振荡器的控制拓扑的开关频率随着应用条件的变化而改变。视占空比的不同，导通时间和频率受到损耗、最小关断时间、绝对最小导通时间、传播延迟或比较器的影响。这种运行方式是得到理解并在预料之中的，并且保持了输出电压调节。较低的工作频率提供了较高的效率，且并未降低输出电流能力。对于 USB 端口和具有较高电压的系统电源轨的常见应用，高频操作得以保持。

图 4: 具有一个 1.8 V 输出的 TPS62130



## 参考文献

1. 作者: Chris Glaser, 《高效率、低纹波 DCS-Control 可提供脉宽调制 (PWM) / 节能模式的无缝转换》, TI 模拟应用期刊, 2013 年第三季度 (SLYT531)。
2. 数据表, “采用 DCS-Control™ 的 TPS6123xA-Q1 3 V 至 17 V 3 A 降压型转换器”, 德州仪器, 2014 年 5 月。
3. TPS62130EVM-505, “用于采用 3 x 3 mm、16 引脚 QFN 封装的 3 A、同步、降压型转换器 TPS62130 的评估模块”, 德州仪器。

## 相关网站

订阅 AAJ:

[www.ti.com/subscribe-aj](http://www.ti.com/subscribe-aj)

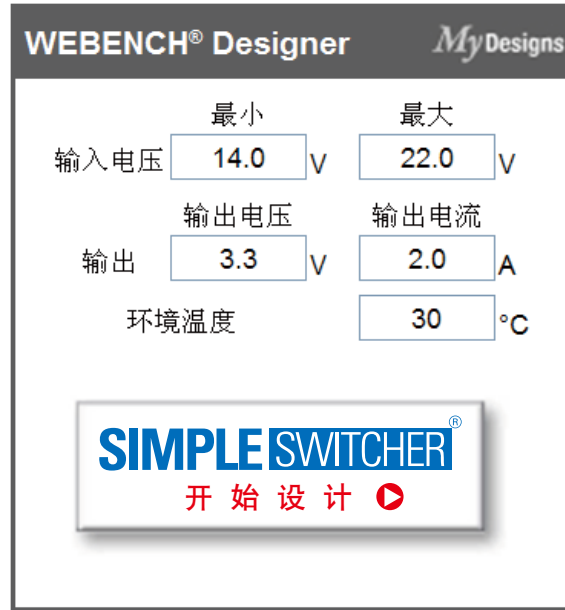
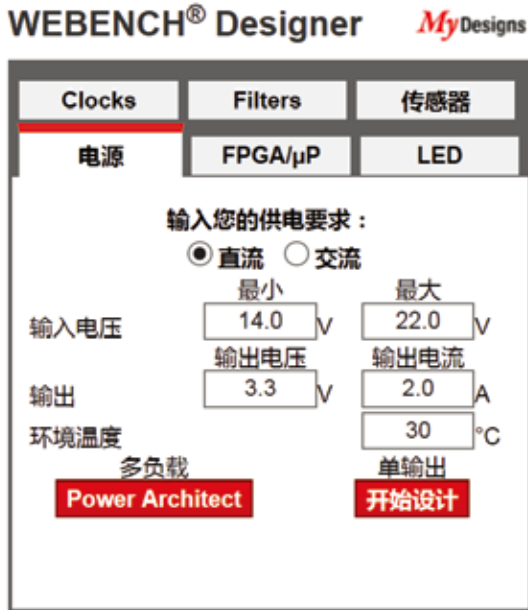
TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 [ti.com.cn/tidesigns](http://ti.com.cn/tidesigns) 查询最适合您的设计文档。



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)



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



[weibo.com/tisemi](http://weibo.com/tisemi)

## 热门产品

DAC8760	用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC
DAC7760	单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC
ADS1247	极低噪声、精密 24 位 模数转换器
ADS1120	具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC
ISO7242	四通道 2/2 25Mbps 数字隔离器
ISO7631FM	4kV <sub>PK</sub> 低功耗三通道、150Mbps 数字隔离器
TPS54062	4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器
TLK105L	工业温度、单端口 10/100Mbps 以太网物理层
SN65HVD255	CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760



## 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间接版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, 但他们将独立负责满足与其产品及其应用中使用 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, 并且由客户独立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>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated