

TI 正交调制方案 QMC 及 Group Delay 模块的原理与应用

Robin Feng

德州仪器公司 (TI) 高速应用工程师

ABSTRACT

QMC(Quadrature modulation correction)相关功能模块在TI的高速DAC中如DAC34H84, DAC3484/2, DAC3283/2以及DAC5688/9的中均有应用, 在DAC348X系列中还增加了Group delay调整功能。在正交调制方案中, 此模块能够通过对中频I/Q信号相位幅度以及Group Delay的不平衡在数字域进行补偿以校正调制器输出的镜像, 以及对中频直流偏置的调整校正调制器输出的本振泄漏。本文将对这个模块的工作原理以及应用方法作出总结, 以便在工作中能够更有效的应用这个模块, 提高系统效能。

Contents

1	系统概要	3
2	内部功能模块与调试方法	3
	2.1 DAC QMC Block Application	4
	2.2 DAC Offset Block Application	5
	2.3 Group Delay Application.....	6
3	应用与测试	7
	3.1 应用注意事项	7
	3.2 应用电路环境.....	8
	References	10

Figures

Figure -1.	系统结构示意图	3
Figure -2.	QMC 模块	4
Figure -3.	DC OFFSET 模块	5
Figure -4.	Group Delay 结构示意图	6
Figure -5.	Group Delay 测试结果	7
Figure -6.	应用原理图	8
Figure -7.	测试软件	9
Figure -8.	校正前与校正后对比	9

Tables

Table -1.	QMC 增益调整	4
------------------	-----------------------	----------

Table -2. QMC 相位调整.....5

1 系统概要

QMC 模块在 TI 的高速 DAC 正交调制方案中的位置如下图所示：

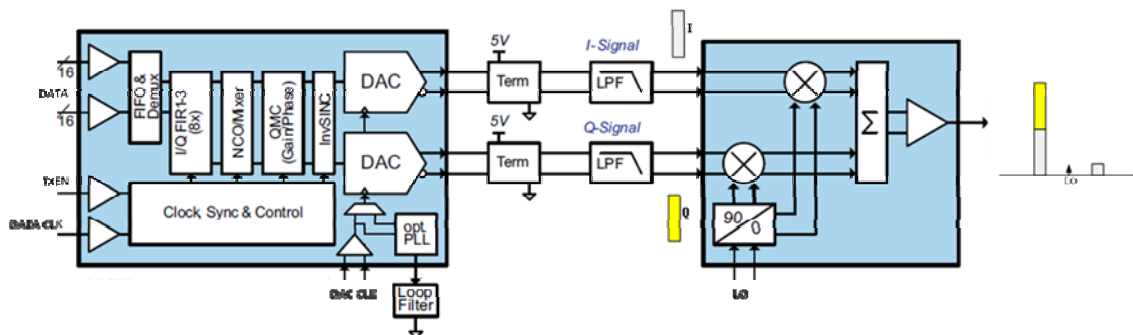


Figure -1. 系统结构示意图

该模块位于 DAC 中的数字域部分，能够分别对 I/Q 两路信号进行精密的补偿和调整，在 DAC3484 中还增加了 Group Delay 调整功能，后面将进行分析。

实际中正交调制器输出信号如上图所示将会有本振泄漏和一个边带。此模块作用是补偿模拟链路上的 I/Q 链路不平衡以及直流分量偏置，以补偿输出的边带抑制和本振泄漏，以减轻射频链路中对滤波器的抑制要求。

2 内部功能模块与调试方法

下面以 DAC5689 为例介绍内部 QMC 和 DAC OFFSET 模块使用方法。DAC3484/2 系列的该模块与此类似，但是 qmc_phase 的寄存器位数增加了 2 位，另增加了 group delay 功能。

2.1 DAC QMC Block Application

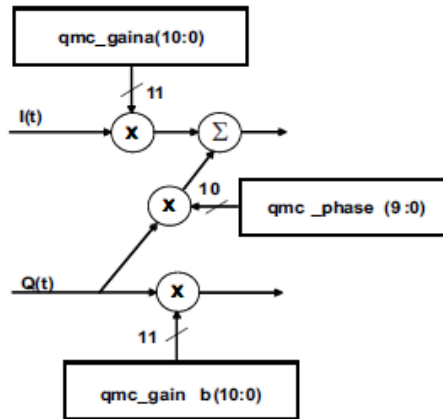


Figure -2. QMC 模块

在这个模块中有三个可以调整的参数,主要是用来调整调制器输出的镜像信号的。

寄存器 qmc_gainI(10:0)和 qmc_gainQ(10:0)分别调整 I/Q 通道的增益的 11 位无符号数 , 范围是从 0 到 1.9990 , 默认为 1.0000, 小数点在 bit9 和 bit10 之间.换算方法如下:

qmc_gaina(10:0) [Binary]	qmc_gaina(10:0) [Decimal]	Format	Gain Value
00000000000	0	0 + 0/1024 =	0.0000000
00000000001	1	0 + 1/1024 =	0.0009766
.....
01111111111	1023	0 + 1023/1024 =	0.9990234
10000000000	[Default] 1024	1 + 0/1024 =	1.0000000
10000000001	1025	1 + 1/1024 =	1.0009766
.....
11111111111	2047	1 + 1023/1024 =	1.9990234

Table -1. QMC 增益调整

寄存器 qmc_phase(9:0)是一个 10bit 的值用来控制 I 和 Q 之间的相位平衡,范围是-0.125 到接近 +0.12475 默认为 0。这个数字被称到每一个 Q 样点上再加合到 I 路数据上。这个操作实现为一个简单的相位旋转从-7.5 度到+7.5 度有 1024 个步进。

qmc_phase(9:0) [Binary]	qmc_phase(9:0) [Decimal]	Format	Phase Correction
1000000000	-512	$(-1 + 0/512) / 8 =$	-0.1250000
10000000001	-511	$(-1 + 1/512) / 8 =$	-0.1234559
.....
1111111111	-1	$(-1 + 511/512) / 8 =$	-0.0002441
0000000000	[Default] 0	$(+0 + 0/512) / 8 =$	+0.0000000
00000000001	1	$(+0 + 1/512) / 8 =$	+0.0002441
.....
0111111111	511	$(+0 + 511/512) / 8 =$	+0.1247559

Table -2. QMC 相位调整

DAC3482/4 此处略有不同是 qmc_phaseAB/CD(11:0)有 12 个 bit 做相位平衡控制，范围从-0.5 到接近 0.49975 默认为 0，能够在+26.5 度到 -26.5 度之间有 4096 个步进。这个 QMC Phase 并不是直接进行的相位旋转，而是一个常数乘上 Q 路再加入到 I 路上去，因此该模块能够以一个最简单的操作近似为一个真实的相位旋转。

2.2 DAC Offset Block Application

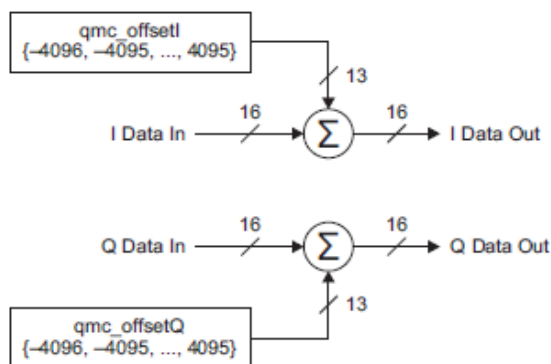


Figure -3. DC OFFSET 模块

这个模块中的两组寄存器主要是用来调整直流偏置,优化调制器输出的本振泄漏的。

寄存器 $qmc_offsetI(12:0)$ 和 $qmc_offsetQ(12:0)$ 分别可以独立地用来调整各自的直流偏置，以 2 进制补码的形式在-4096 到 4095 之间调整。此偏移量引入了一个数字偏置在做 DA 转换之前被加入到数字信号中。由于直流调整是直接加在 DAC 的数据上，低位对齐，因此要注意的回退以防止溢出。本模块需要与调制器间是直流耦合电路才能起作用。

2.3 Group Delay Application

由于在正交发射系统中 I/Q 信号的滤波网络，调制器和 PCB 等，除了引入幅度和相位上的不平衡以外还会引入群时延上的不平衡。这种不平衡将会导致另一个的边带升高。DAC3484/2 中增加了 group delay 调整功能可以帮助纠正时延上的不平衡。其原理是将时延加入到 DAC 的转换时钟上，靠调整各个 DAC 转换时钟来实现调整各个 DAC 的输出模拟群时延，其结构如下图所示。

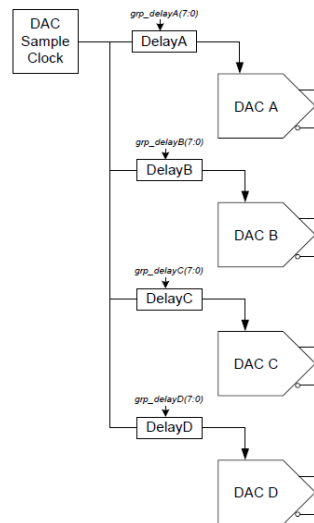


Figure -4. Group Delay 结构示意图

在实际中根据不同的转换速率，利用寄存器（config46,47）控制该群时延调整字，可以从 0 到最大在 30ps 到 100ps 之间范围内有 256 个步进。由于该电路不是直接对数字信号进行调整，在高转换速率和大的延迟设置下该电路会有一些的误差畸变，具体如下图测试结果所示，当转换速率高于 800Msps 后误差变大，高于 1.2288G 后当设置较大补偿值时（eg:>150）群时延补偿将会有畸变。

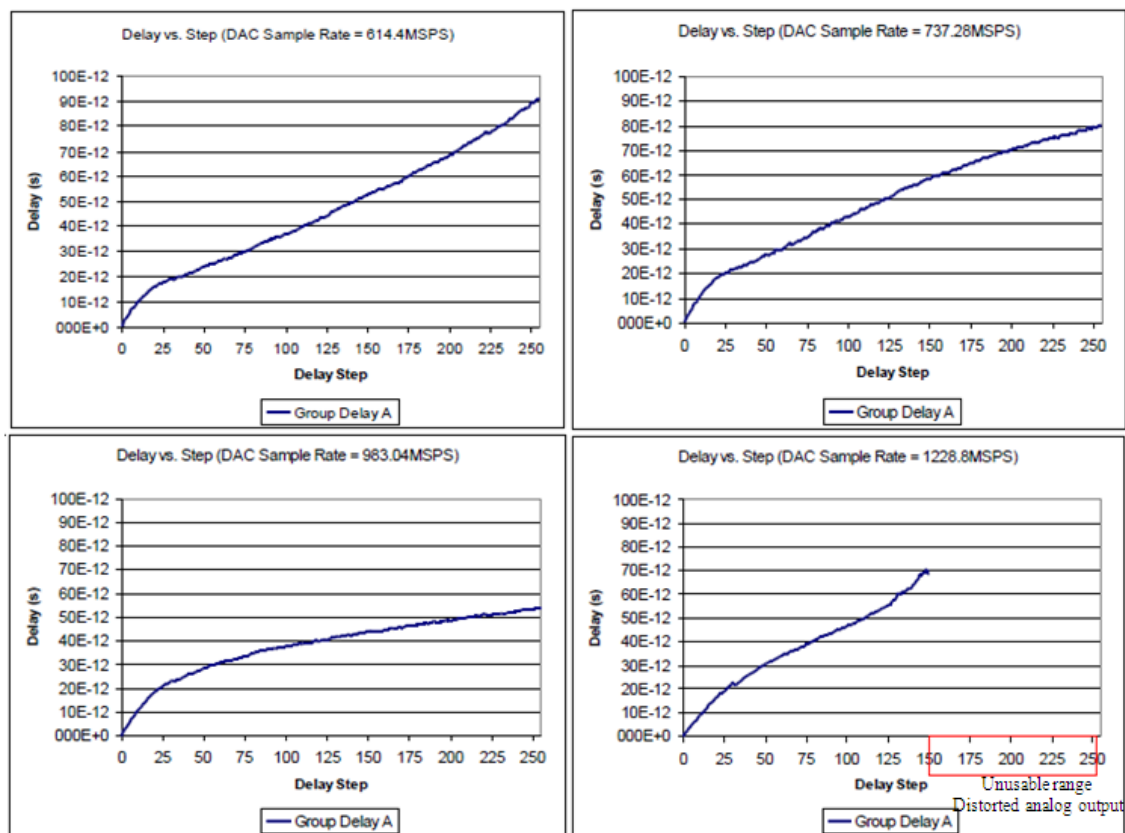


Figure -5. Group Delay 测试结果

因此目前如果进行一个比较大范围的数字群时延调整是在前级的 FPGA/ASIC 中实现的，这样可以进行一个线性的调整，而 DAC348X 中的群时延调整可以在比较高的精度下进行微调，以对链路进行高精度补偿。

3 应用与测试

3.1 应用注意事项

若需要应用上 DC-OFFSET 模块，在电路上应注意使用直流匹配，以保证直流分量调整模块能够生效。使用 TI ADC 与调制器配合得直流匹配电路能够做到电路的简化，列如 DAC5688/9 与 TRF370333 配合可以使用 3.3V 的共模电压无缝匹配，而 DAC3484/2 系列是 0.5V 的共模电压可以与 TRF3705 实现无缝配合，模拟链路的波动可以在数字域进行补偿。

3.2 应用电路环境

实际 DAC3482/4 与 TRF3705 的匹配原理图如下图所示：在 DAC 输出后加上对高频谐波抑制要求的差分滤波器后可以直接与调制器匹配，无需额外的匹配电路。

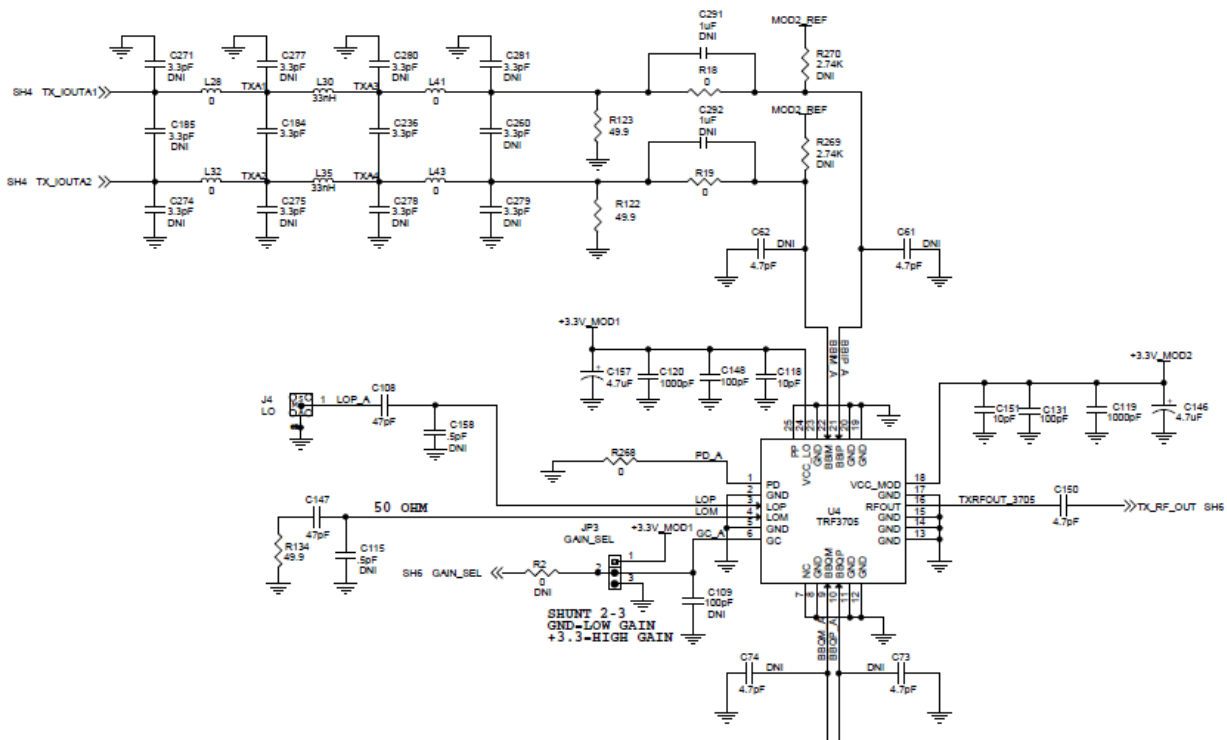


Figure -6. 应用原理图

调试中建议先将 16 进制的寄存器值转化为 10 进制在百位上先做调整，如果某一通道朝正方向调整没有反应则可向负方向调整,然后再调整另外一个通道，如此往复然后再调整十位和个位。由于幅度相位的不均衡对边带的影响越接近临界值越敏感，因此调试中需要比较仔细，一般电路没有问题都能够找到一组合适的值满足边带和本振泄漏都比较小。

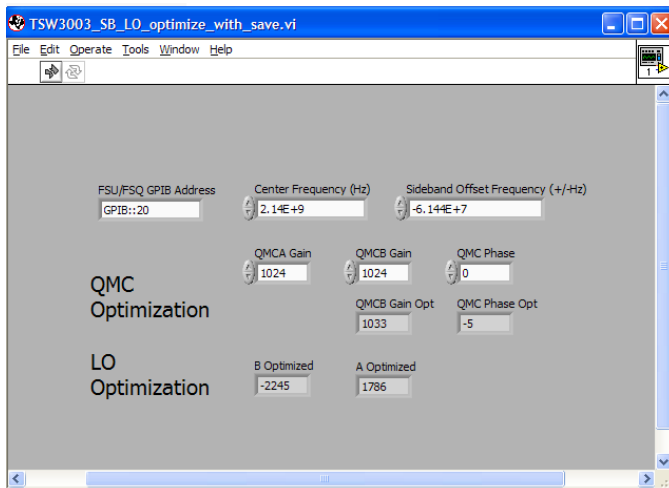


Figure -7. 测试软件

如果在生产测试过程中建议使用自动测试设备，连接仪器和电脑，客户可自行编写程序自动进行测试以找出最小值来。在实际测试的时候要注意 A,B 通道分别调整，下面是在完成 QMC 与 DC-OFFSET 调整前后的测试对比图，可以明显的看出在调整之后镜像信号与本振泄漏得到明显抑制。

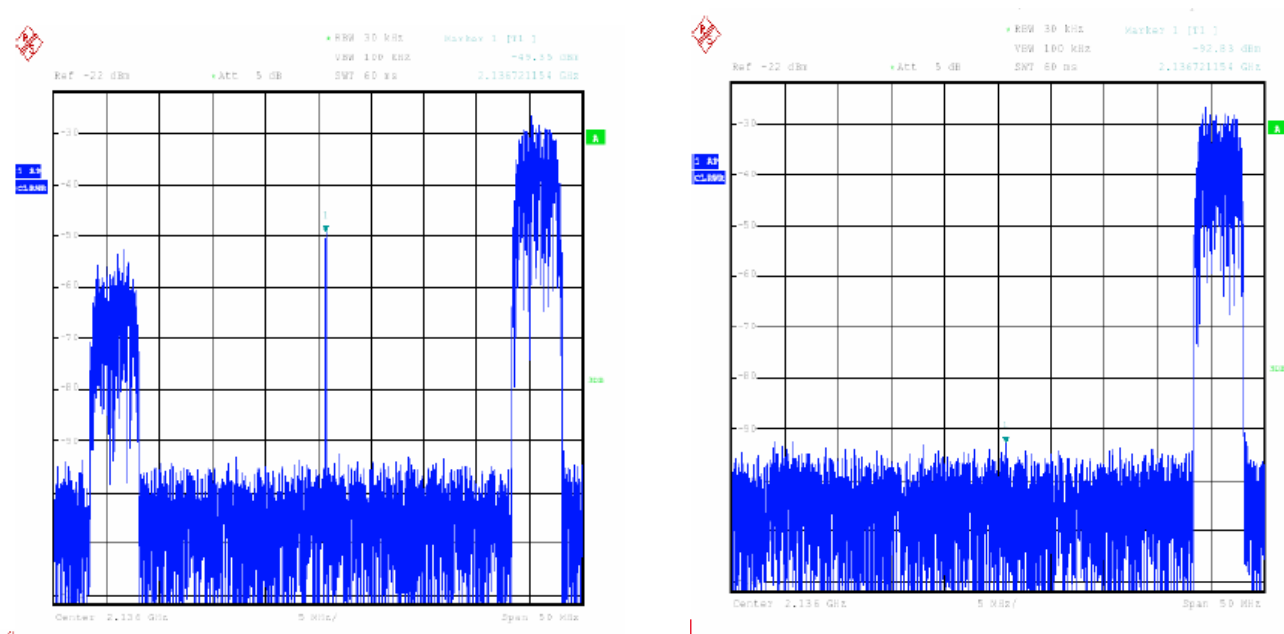


Figure -8. 校正前与校正后对比

而在实际测试中由于 I/Q 链路的参数特性受到温度环境变化的影响，以及元器件的高低温离散性会出现一些波动。因此在高低温变化情况下也可以利用板上温度传感器，或 DAC3484 的片上温度传感器 (地址 config6) 分别针对高温和低温做查表进行高低温波动的补偿。在补偿后某一温度范围内的的边带抑制和本振泄漏均优于未作补偿的测试结果，此处本文不作详述。

References

DAC3484 EVM user guide

DAC3484 datasheet

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	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.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/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应用处理器	www.ti.com.cn/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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司