

$\Delta \Sigma$ ADC工作原理，第2部分

作者: Bonnie Baker,
TI 信号完整性工程师

$\Delta \Sigma$ 模数转换器 (ADC) 的加入, 大大增强了过程控制设计环境。这种器件的主要贡献便是其24位高分辨率, 它可以提供224或者约1.6千万的输出代码。即便不是所有低位都为无噪, 但一个 $\Delta \Sigma$ ADC 拥有 20 个无噪位即约 1 百万无噪输出代码, 也是很正常的事情。这至少比 16 位转换器的性能高 4 倍。

图 1 显示了一个 $\Delta \Sigma$ ADC 的架构图。正如我们在本系列文章第 1 部分中所讲的那样 (见《参考文献 1》), $\Delta \Sigma$ 转换器的调制器通过降低低频噪声获得高分辨率, 从而对数据进行整形。系列文章的第1部分还表明, 调制器输出的不良特性为高频噪声和高速、1 比特输出速率。如果信号驻留在数字域中, 我们可以使用低通数字滤波器模块降低高频噪声, 然后再使用一个抽取滤波器模块降低输出数据速率。本文也即系列文章的第 2 部分, 将

单独介绍每一种功能模块, 尽管现实世界的设计均将这些模块集成到同一块硅片上。

数字滤波器模块

数字滤波器模块通过首次对1比特代码调制器数据流采样, 实现低通滤波器功能。图 2 显示了一个一阶、低通求平均滤波器。求平均滤波器是 $\Delta \Sigma$ 转换器中最为常用的滤波器技术。正如我们所看到的那样, 图 2 中的数字滤波器是一种加权求平均滤波器。几乎所有的 $\Delta \Sigma$ ADC 都有一些被称作 Sinc 滤波器的求平均滤波器, 它们因其频率响应而得名。许多 $\Delta \Sigma$ 器件, 特别是音频器件, 都使用其他滤波器和 sinc 滤波器, 一起作为被称作两级抽取的一个过程的组成部分。低速工业用 $\Delta \Sigma$ ADC 一般只使用 sinc 滤波器。

图 1 $\Delta \Sigma$ ADC 架构图

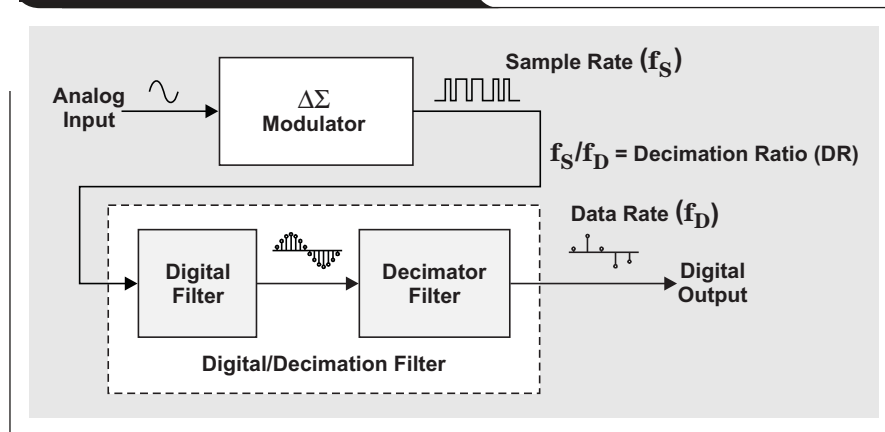
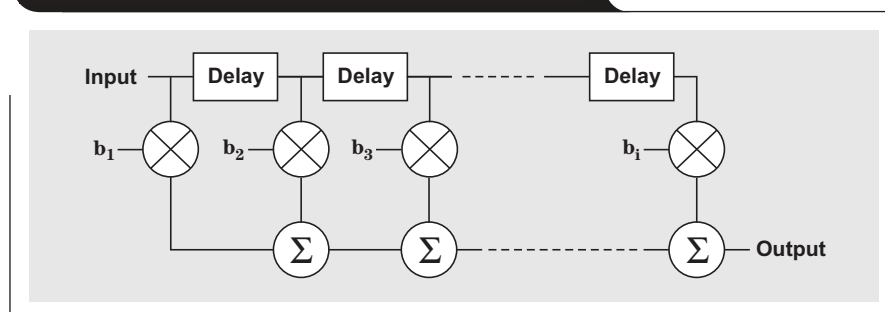


图 2 一阶、低通求平均滤波器



数字滤波器的输出速率与采样速率相同。图 3 显示的是一个数字滤波器的输出。在时域 (图 3a) 中, 数字滤波器负责 $\Delta\Sigma$ 转换器的高分辨率。请注意, 24 位代码串看起来像原始信号。但是, 在频域 (图 3b) 中, 数字滤波器仅对信号使用了一个低通滤波器。这样, 它便降低了调制器的量化噪声; 但是它与所有低通滤波器一样, 同时也降低了频率带宽。由于量化噪声降低了, 信号又重新出现在时域中。

现在, 信号成为一种高分辨率、数字化的输入信号, 但其速率仍然过高, 以至于无法使用。设计人员可能会让转换器提供每一个采样, 但这样做没有意义, 因为:

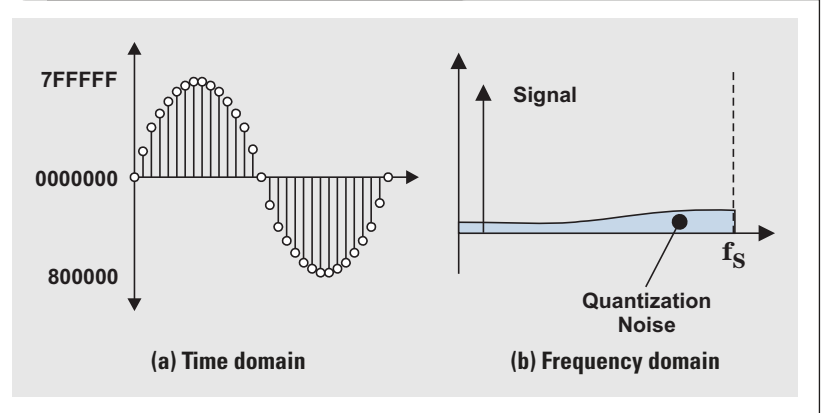
- 这种转换器需要一个高速控制器或者处理器。
- 尽管在调制器的高采样速率下好像有大量的高质量采样, 但它们中的大多数并没有提供什么有用的信息, 因为使用了低通滤波器。换句话说, 额外采样为插值结果, 也即中间结果。

抽取滤波器功能模块

数字/抽取滤波器的第二个功能模块是抽取器。“抽取”这个词最初由罗马军队使用, 意思是杀死十分之一的兵变军人。换成是数字/抽取滤波器, 数字滤波器采样“抽取”显得更加生动形象。在抽取电路中, 通过扔掉或者“杀掉”部分输出数据, 从而降低了数字信号的输出速率。这种方法是通过丢弃某些采样来实现。

这样做看起来似乎有点残酷。使用这种方法之前, 有一个漂亮的正弦波, 其由大量采样完美地定义。去除大量这些

图 3 数字滤波器的输出



采样以后, 让原始信号成了一副空骨架; 但是, 请记住大多数这些采样并不“真实”。我们可以将它们看成是滤波器的半成品采样。实际上, 根据奈奎斯特定理, 新的“骨架”型信号拥有与之前波形完全相同的信息内容, 但却具有了易于控制的数据速率。抽取一些采样并没有导致丢失任何信息。

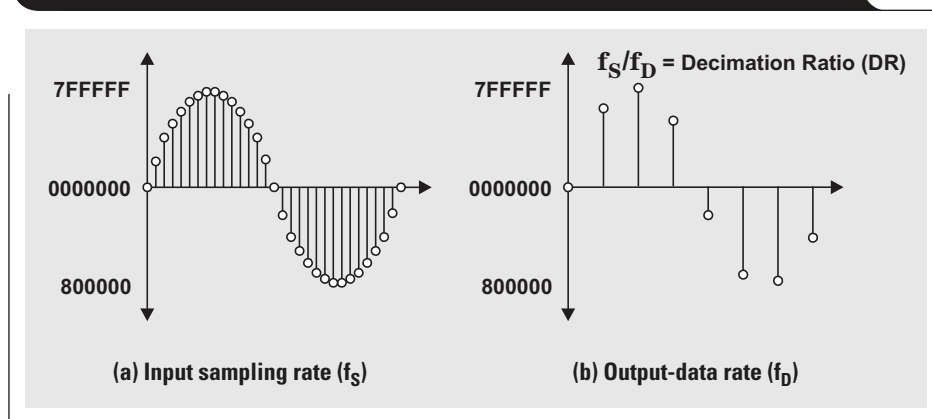
图 4 以概念的形式说明了这种抽取过程。图 3a 所示数字滤波器的时域输出, 被提交至图 4a。图 4b 显示了抽取器-滤波器功能模块的输出信号。

以上便是关于 $\Delta\Sigma$ 转换器中数字滤波器和抽取器-滤波器功能模块的完整介绍。

让 $\Delta\Sigma$ ADC 各部分协同工作

系列文章的第 1 部分说明了时域和频域中调制器的内部工作原理。文章还介绍了调制器如何利用负反

图 4 抽取过程的数字/抽取滤波器输出



馈过采样系统，把噪声整形为高频率噪声。如前所述，数字/抽取滤波器可降低高频噪声，然后以低数据速率将输入信号传送至转换器的输出端。将这两种组件组合使用，可实现一种高分辨率的 ADC。

这种系统的重要变量为：调制器采样速率 (f_s) 和数字/抽取滤波器的输出数据速率 (f_D)。这两个变量之比，便为抽取比 (DR)。抽取比等于每数据输出的调制器采样数。抽取比值范围为 4 到 32768，其中 TI ADS1605 ADC 的抽取比值为 4，而 TI ADS1256 ADC 的抽取比值为 32768。

请思考图 5 中 $\Delta\Sigma$ 调制器的输出频谱。调制器在 f_s 频率下采样，从而将量化噪声整形为更高频率。许多 $\Delta\Sigma$ 转换器允许设计人员直接通过调节抽取比来控制数据速率。假设所选数据速率为 f_s 的一部分，如图 5a 所示。那么，构成输出的 0 到 f_D 频率便位于信号频带内。请注意信号频带中的噪声水平。

图 5a 中，有效位数 (ENOB) 非常高。由于输出数据速率 (f_D) 由抽取器-滤波器功能模块决定，因此其取决于抽取比 (DR)，而 $DR = f_s/f_D$ 。图 5b 表明，右移的 f_D 值更高。不幸的是，噪声还是增加了。大多数噪声都位于高频下，从而降低了信噪比和 ENOB。

有一种方法可以在保持 ENOB 不变的同时提高采样速度 (f_s)，也即提高主时钟速率。它还可以增加 f_D ，但却不会降低抽取比。不幸的是，提高主时钟速率，同时也会增加功耗。另外，大多数转换器都有一个实用 f_s 限值，超出该限值转换器就会出问题。

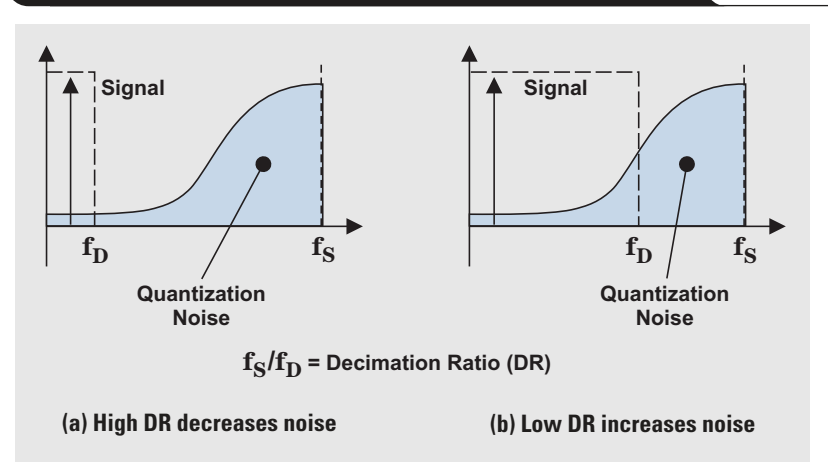
结论

$\Delta\Sigma$ ADC 基本上包括一个调制器和一个数字/抽取滤波器。调制器利用一个 1 比特 ADC 和过采样，直接将模拟信号转换成数字域。调制器拓扑实现一种噪声整形功能，将低频量化噪声推至高频。低通数字/抽取滤波器扔掉经过调制器级整形的高频噪声，然后将器件的数据输出速率降至某个可用频率。

输出数据速率和转换器分辨率之间存在密切的关系。如果采样速率保持恒定，则低数据速率可在转换器输出端提供较高的有效分辨率，即 ENOB。

除本系列文章所介绍的一些基本功能外， $\Delta\Sigma$ ADC 还有其他一些功能模块，例如：电流源功能模块、电压源功能模块、输入缓冲器等。但是，所有 $\Delta\Sigma$ ADC 都肯

图 5 改进的 RD 具有更低的噪声以及更慢的输出信号



定有一个调制器和一个数字/抽取滤波器。在选择 $\Delta\Sigma$ ADC 时，应先看它的一些基本功能，然后再看它还有一些其他什么功能。

参考文献

如欲了解本文的更多详情，敬请访问 www.ti.com/lit/litnumber (用 TI 文档编号替换“litnumber”)，下载 Acrobat® Reader® 文件，获取下列相关资料。

文献标题

TI 文献编号

- 1、《 $\Delta\Sigma$ ADC 工作原理，第 1 部分》，作者是：Bonnie Baker，刊发于 2011 年第 3 季度《模拟应用期刊》..... SLYT423
- 2、《16 位、5MSPS 模数转换器》，《ADS1605/6 产品说明书》..... SBAS274
- 3、《12 位、500-/550-MSPS 模数转换器》，ADS5463/54RF63 产品说明书..... SBAS288

相关网站

- Dataconverter.ti.com
- www.ti.com/product/ADS1256
- www.ti.com/product/ADS1605

TI Worldwide Technical Support

Internet

TI Semiconductor Product Information Center Home Page

support.ti.com

TI E2E™ Community Home Page

e2e.ti.com

Product Information Centers

Americas	Phone	+1(972) 644-5580
Brazil	Phone	0800-891-2616
Mexico	Phone	0800-670-7544
	Fax	+1(972) 927-6377
	Internet/Email	support.ti.com/sc/pic/americas.htm

Europe, Middle East, and Africa

Phone	
European Free Call	00800-ASK-TEXAS (00800 275 83927)
International	+49 (0) 8161 80 2121
Russian Support	+7 (4) 95 98 10 701

Note: The European Free Call (Toll Free) number is not active in all countries. If you have technical difficulty calling the free call number, please use the international number above.

Fax	+ (49) (0) 8161 80 2045
Internet	support.ti.com/sc/pic/euro.htm
Direct Email	asktexas@ti.com

Japan

Phone	Domestic	0120-92-3326
Fax	International	+81-3-3344-5317
	Domestic	0120-81-0036
Internet/Email	International	support.ti.com/sc/pic/japan.htm
	Domestic	www.tij.co.jp/pic

Asia

Phone	
International	+91-80-41381665
Domestic	<u>Toll-Free Number</u>
Note: Toll-free numbers do not support mobile and IP phones.	
Australia	1-800-999-084
China	800-820-8682
Hong Kong	800-96-5941
India	1-800-425-7888
Indonesia	001-803-8861-1006
Korea	080-551-2804
Malaysia	1-800-80-3973
New Zealand	0800-446-934
Philippines	1-800-765-7404
Singapore	800-886-1028
Taiwan	0800-006800
Thailand	001-800-886-0010
Fax	+8621-23073686
Email	tiasia@ti.com or ti-china@ti.com
Internet	support.ti.com/sc/pic/asia.htm

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

A122010

DLP is a registered trademark and Auto-Track, E2E, FilterPro, Impedance Track, MSP430, OMAP, and SWIFT are trademarks of Texas Instruments. Acrobat and Reader are registered trademarks of Adobe Systems Incorporated. The *Bluetooth* word mark and logos are owned by the Bluetooth SIG, Inc., and any use of such marks by Texas Instruments is under license. Celeron is a trademark and StrataFlash is a registered trademark of Intel Corporation. Excel is a registered trademark of Microsoft Corporation. I²C Bus is a registered trademark of NXP B.V. Corporation. InfiniBand is a service mark of the InfiniBand Trade Association. WinZip is a registered trademark of WinZip International LLC. All other trademarks are the property of their respective owners.

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 © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司