

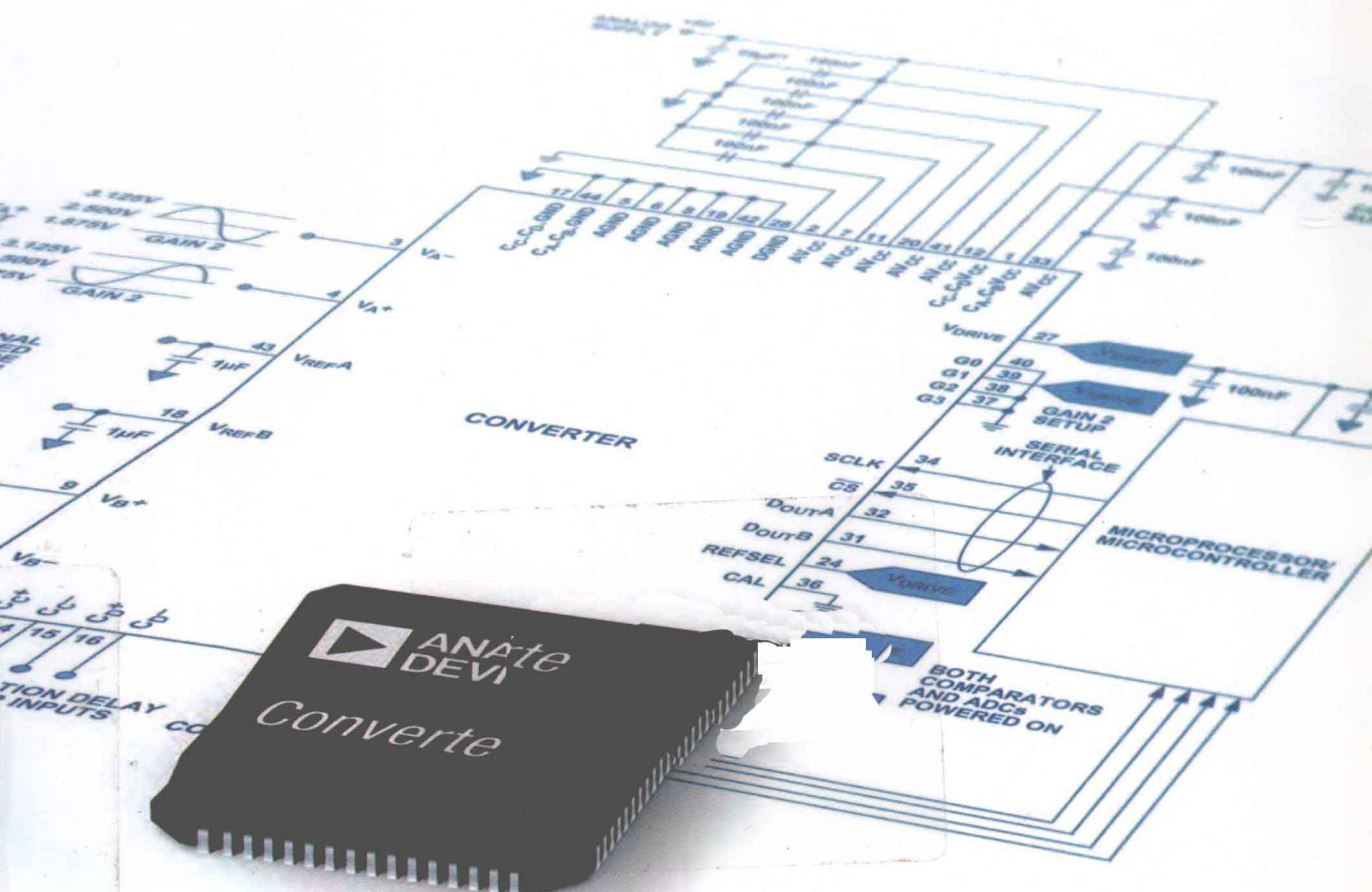
ADI 器件应用丛书

 ANALOG
DEVICES

ADI公司 编译

ADI

模数转换器应用笔记(第1册)



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

ADI 器件应用丛书

ADI 模数转换器应用笔记 (第 1 册)

ADI 公司 编译

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

由 ADI 工程师亲自参与设计、调试并验证的模数转换器应用笔记。通过这些应用笔记,为许多通用应用提供解决方案。每款模数转换器电路包含详细的设计文档。电路功能和性能已经过硬件验证。

本书将是广大工程技术人员、高等学校师生进行电路设计的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ADI 模数转换器应用笔记. 第 1 册/ADI 公司编译. --
北京: 北京航空航天大学出版社, 2011. 7

ISBN 978-7-5124-0415-1

I. ①A… II. ①A… III. ①模-数转换器—研究
IV. ①TP335

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 072420 号

版权所有,侵权必究。

ADI 模数转换器应用笔记(第 1 册)

ADI 公司 编译

责任编辑 张楠王松

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:14.75 字数:330 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0415-1 定价:32.00 元

序 言

这些年,在与电子技术领域的工程师、学者以及大学师生交流的时候,他们的聪明才智和创新能力给我留下了深刻的印象。而他们所做的设计和项目,无一不让我感觉到中国工程师队伍成长之快,和中国电子行业巨大的发展潜力。但另一方面,他们的经历和成功,也带给了我很多思考。

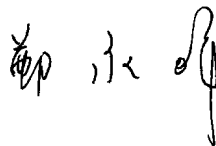
ADI 在模拟和数字信号领域中已经发展了 40 多年。在这几十年间,我们不断推动技术的创新和进步,不断提高相关领域的各类产品性能以满足客户的广泛需求,包括消费类、通信、医疗、运输和工业等方面。令人欣慰的是,至 2009 年,ADI 已经拥有遍布世界各地的 60 000 余家客户。而通过大学计划、培训、研讨会等活动所积累起来的资源更是不计其数。如何让我们的客户,让 ADI 技术产品的使用者和爱好者,真正准确、有效、快捷地掌握相关知识与设计技巧,是我们需要考虑的,也是我们为所有用户提供的非常重要的服务之一。

经过多年的运行和完善,ADI 已经拥有了一整套对中国工程师以及在校工科类学生的培养计划,如每年一届的中国大学创新设计竞赛,在高校建立的联合实验室,各类线上线下研讨会,还有在多个城市开展的高水平培训课程等等。这些计划架起了 ADI 与用户之间最直接、最有效的沟通桥梁。同时,为了使更多的电子技术领域从业者和爱好者了解数字信号处理和电子产品设计理念,我们还邀请了业内具有较深影响力的专家、学者、教授共同编写并出版一套基于 ADI 模拟和数字产品的应用技术丛书。

该丛书详细介绍了 ADI 产品在医疗电子、通信、工业仪器仪表、汽车电子等行业的应用,以理论与实际案例相结合的方式为读者们讲解了世界先进处理器的设计与使用。

丛书的出版凝聚了来自众多院校老师、专家丰富的经验和智慧。在此,感谢他们对 ADI 出版计划的大力支持。同时,也感谢北京航空航天大学出版社对本丛书的出版所做出的贡献!

衷心希望能得到读者朋友的意见反馈,在你们提出的问题和建议下,我们将不断完善 ADI 器件应用丛书,不断完善 ADI 的产品和技术,与客户们一起共同开拓中国市场。



ADI 公司亚太区总裁

目 录

第一部分 ADC 产品的应用

AN-0972 应用笔记: AD7329 如何帮助降低成本	3
AN-0979 应用笔记: 数字滤波器的选择: AD7190、AD7192	10
AN-1011 应用笔记: AD7150 的 EMC 保护	17
AN-1021 应用笔记: 基于 MMSE 的触摸屏应用多点校准算法	29
AN-354 应用笔记: 应用工程师问答(1)	42
AN-351 应用笔记: 应用工程师问答(2)	44
AN-586 应用笔记: 高速模数转换器的 LVDS 数据输出	48
AN-609 应用笔记: Σ - Δ ADC 上的斩波	55
AN-614 应用笔记: 在低功耗应用中使用 AD7782	60
AN-639 应用笔记: 常见问题解答: Analog Devices 电能计量(ADE)产品	63
AN-665 应用笔记: Σ - Δ ADC 的通道切换	89
AN-877 应用笔记: 通过 SPI 与高速 ADC 接口	93
AN-893 应用笔记: 将 AD7656/AD7657/AD7658 配置为串行和菊花链接口工作模式	121
AN-925 应用笔记: AD7147 和 AD7148 CapTouch 控制器应用中的传感器设计	127
AN-935 应用笔记: ADC 变压器耦合前端设计	133

第二部分 ADC 基本概念指标和测试评估

AN-276 应用笔记: 使用电压频率转换器实现模数转换	145
AN-282 应用笔记: 采样数据系统基本原理	159
AN-835 应用笔记: 高速 ADC 测试和评估	194
AN-931 应用笔记: 了解 PulSAR ADC 支持电路	222

第一部分 ADC 产品的应用

AN-0972 应用笔记

AD7329 如何帮助降低成本

作者: Claire Croke Jakub Szymczak

简介

AD7329 是一款 8 通道、12 位带一个额外符号位的双极性输入 ADC。该器件有 4 种软件可选输入范围: $\pm 4 \times V_{\text{REF}}$ 、 $\pm 2 \times V_{\text{REF}}$ 、 $\pm V_{\text{REF}}$ 和 $0 \sim 4 \times V_{\text{REF}}$ 。每个模拟输入通道支持独立编程, 可设为 4 个模拟输入范围之一。AD7329 采用工业 CMOS(iCMOS) 工艺制成, 与当今市场上的其他双极性 ADC 解决方案相比, 这种 ADC 不但可以输入较大的双极性模拟信号, 还能提升性能, 降低功耗并减小封装尺寸。

AD7329 采用极其灵活的设计, 可根据多种应用要求进行配置。本应用笔记将简要介绍如何通过 AD7329 实现极高的输入阻抗, 同时保持输入较大的双极性模拟信号的能力。同时还将讨论如何配置 AD7329, 以支持较小输入信号并保持较高性能水平。

图 1 为 AD7329 功能框图。

AD7329 模拟输入

AD7329 模拟输入可配置为 8 个单端输入、4 个真差分输入对、7 个伪差分输入或 4 个伪差分输入对。

AD732x 系列 ADC 采用 iCMOS 工艺设计, 可输入真双极性模拟信号。有些双极性输入 ADC 在模拟输入上采用一种电阻式结构, 以便对双极性信号进行缩放和电平转换处理, 使其处于内部 ADC 要求的电压范围之内。这类电阻式模拟输入 ADC 的不足之处在于, 这些模拟输入的驱动源只能实现极低的源阻抗, 因而需要用较大输入电流来驱动这些输入。

AD7329 的等效模拟输入结构如图 2 所示。AD7329 直接在 ADC 采样电容上对双极性模

第一部分 ADC 产品的应用

拟输入信号采样,因此,与电阻式输入 ADC 相比,驱动 AD7329 输入结构只需较少电流。

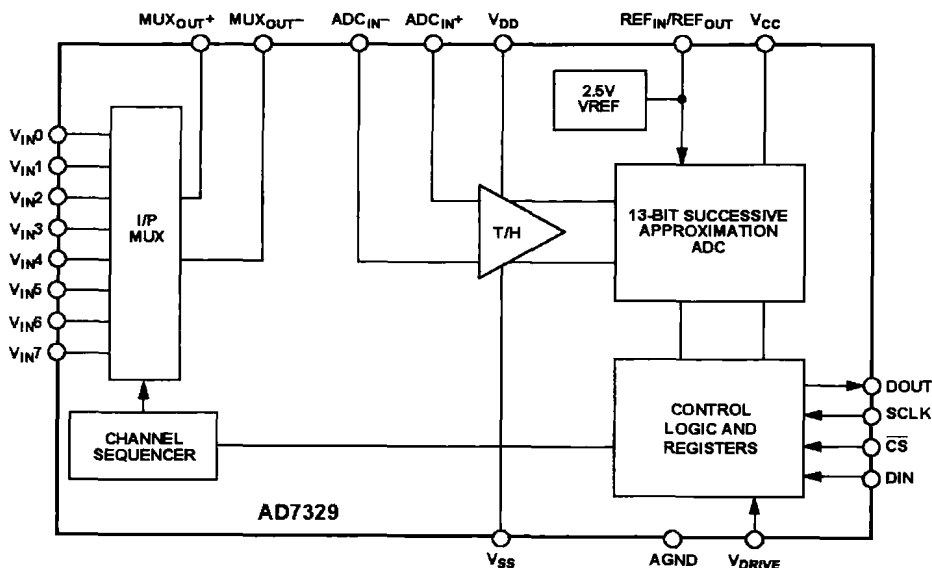


图 1 AD7329 功能框图

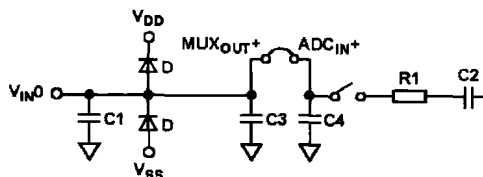


图 2 AD7329 模拟输入结构——单端模式

AD7329 上的模拟输入通道通过一个片内多路复用器,该复用器的输出通向 MUX_{OUT+} 引脚和 MUX_{OUT-} 引脚。AD7329 还具有 ADC_{IN+} 和 ADC_{IN-} 引脚。通过 ADC_{IN+} 和 ADC_{IN-} 两个引脚,可访问 AD7329 采样保持电路和 ADC 上的采样电容。

当 MUX_{OUT+} 引脚直接连接至 ADC_{IN+} 引脚时,AD7329 应用与许多其他 ADC 类似。输入信号直接通过采样电容采样。在这种配置中,AD7329 驱动源需提供用于驱动 ADC 输入的电流,并要在 ADC 采样时间(300 ns)内建立至所需精度。

图 3 显示的是当 MUX_{OUT+} 引脚短接至 ADC_{IN+} 引脚时 AD7329 模拟输入所需要的驱动电流。从坐标图可以看出,随着采样速率的增加,模拟输入所需驱动电流也随之增加。

与所有 SAR 转换器一样,当内部采样保持开关从保持切换至采样时,ADC 会有瞬时反冲。AD7329 驱动源必须能从该瞬变中恢复过来,并在 ADC 采集时间之内建立至所需精度。对于工作于最大采样频率的应用,可能需要用一个输入缓冲放大器来驱动 ADC,并将驱动源

与 ADC 采样保持开关隔离。

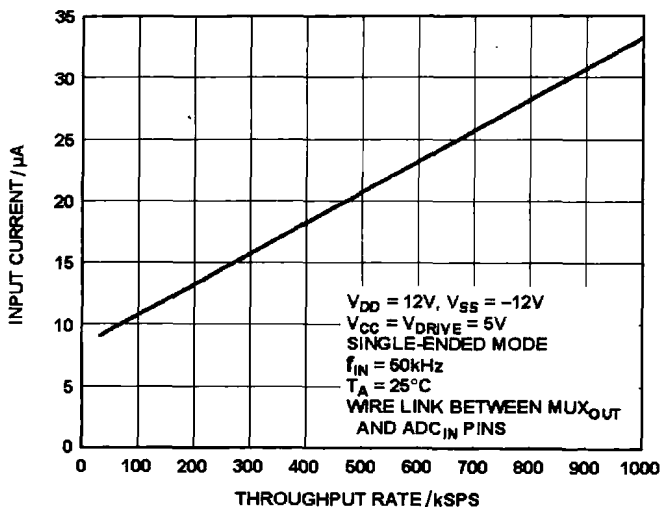


图 3 直接连接 MUX_{OUT} 引脚和 ADC_{IN} 引脚时的输入电流与吞吐速率关系曲线

AD7329 设计灵活,可在 MUX_{OUT} 和 ADC_{IN} 引脚之间放置一个运算放大器。在这种配置中,AD7329 可实现极高的模拟输入阻抗,并且运算放大器可使驱动源与 AD7329 输入结构隔离。

这种配置中使用的运算放大器必须能够接受最高 $\pm 10\text{ V}$ 的双极性信号。来自 MUX_{OUT} 引脚的信号仍为高电压双极性信号。在图 4 中,采用了 AD8021 低噪声高速放大器。AD8021 可输入较大双极性模拟信号,同时还能在 ADC 所需采样时间之内建立信号。

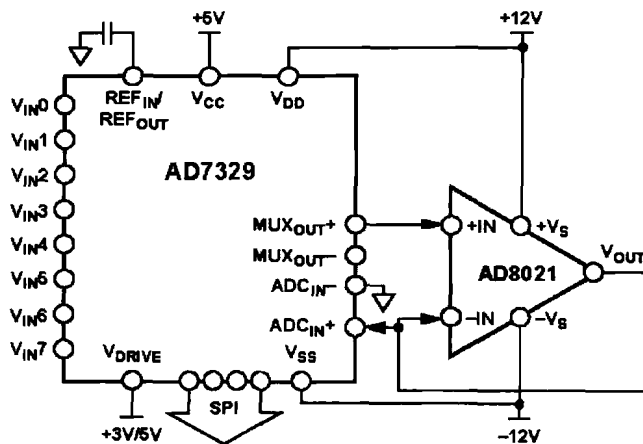
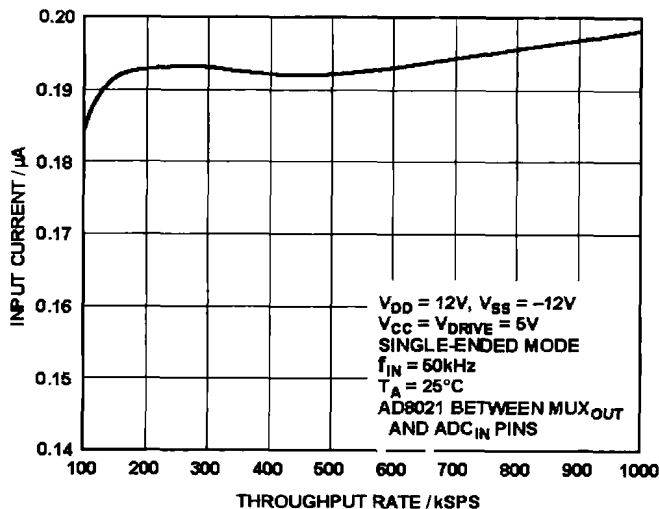
此时,对驱动源来说,AD7329 的输入阻抗为 AD8021 的输入阻抗。这种配置中,AD8021 置于 MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间,用于驱动 AD7329 的源电流小于 $0.2\text{ }\mu\text{A}$ 。

图 5 显示的是在采用图 4 所示配置时,AD7329 所需要的驱动电流。该输入电流与吞吐速率关系坐标图生成于单通道转换过程中。

这种配置的优势在于,在最大采样频率下,8 个模拟输入通道只需一个运算放大器即可。在驱动源看来,AD7329 的模拟输入阻抗是 $\text{M}\Omega$ 级的,只需很少电流即可驱动 8 个模拟输入引脚。MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间的运算放大器将驱动源与 ADC 输入端隔离。这种配置可减少元件数量,减小电路板面积,降低电路板成本。

根据具体应用要求,比如模拟输入电压、电源电压和采样频率等,可在 AD7329 上的 MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间使用其他双极性输入运算放大器。

第一部分 ADC 产品的应用

图4 在 AD7329 的 MUX_{OUT} 与 ADC_{IN} 引脚之间加缓冲器图5 用 AD8021 连接 MUX_{OUT} 和 ADC_{IN} 引脚时的输入电流与吞吐速率关系曲线

双极性模拟输入信号

AD7329 上的模拟输入通道支持独立编程,可配置为 4 种输入范围之一。AD7329 可输入 $\pm 4 \times V_{REF}$ 、 $\pm 2 \times V_{REF}$ 、 $\pm V_{REF}$ 和 $0 \sim 4 \times V_{REF}$ 四种信号。采用内部 2.5 V 基准电压时,这些输入范围即为 $\pm 10 V$ 、 $\pm 5 V$ 、 $\pm 2.5 V$ 及 $0 \sim +10 V$ 。AD7329 还允许将一个外部基准电压应用

第一部分 ADC 产品的应用

于 REF_{IN}/REF_{OUT} 引脚。基准电压的输入范围为 $2.5 \sim 3\text{ V}$ 。采用 3 V 外部基准电压时, AD7329 可输入 $\pm 12\text{ V}$ 、 $\pm 6\text{ V}$ 、 $\pm 3\text{ V}$ 和 $0 \sim +12\text{ V}$ 的信号。在差分输入模式下, 若采用 3 V 外部基准电压, AD7329 可输入 $\pm 24\text{ V}$ 、 $\pm 12\text{ V}$ 、 $\pm 6\text{ V}$ 和 $0 \sim +24\text{ V}$ 的差分信号, 具体取决于所选范围。在增加 AD7329 基准输入电压以提高模拟输入电压范围时, 要保证 MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间的运算放大器必须能够支持此类较大的双极性输入信号。

当增加 AD7329 上的模拟输入电压时, V_{DD} 和 V_{SS} 电源电压应大于等于 ADC 的最大模拟输入电压。在最大采样频率下, 随着 V_{DD} 和 V_{SS} 电源电压的降低, AD7329 的总谐波失真性能会随之下降(见图 6)。因此, V_{DD} 和 V_{SS} 电源电压取决于具体应用所要求的总谐波失真性能。当 V_{DD} 和 V_{SS} 电源电压降低时, 输入多路复用器和采样保持开关的导通电阻(R_{ON})会增大。当采用对应于模拟输入范围的最低 V_{DD} 和 V_{SS} 电源电压时, 为达到额定性能要求, 应降低 AD7329 的采样速率。这样允许 ADC 有更多建立时间, 以补偿输入多路复用器导通电阻的增加。

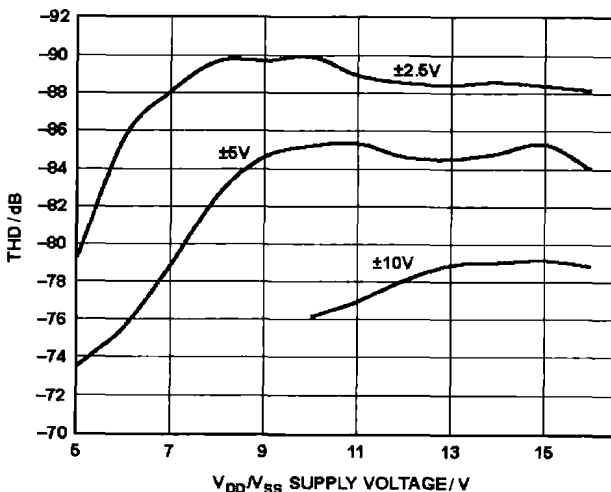


图 6 总谐波失真与电源电压关系曲线

除可以转换较大双极性模拟输入信号外, AD7329 还可以被配置为转换毫伏级信号的 ADC。如图 7 所示, 通过运算放大器设置增益, AD7329 可以转换毫伏级小信号。

如使用图 7 所示配置, 可将毫伏级的小信号应用于模拟输入; 然后通过 AD797 对这些信号进行放大处理。接下来将放大后的信号连接至 ADC_{IN} 引脚, 该引脚再通过采样保持开关连接至内部采样电容。

可选择 AD797 上的增益, 以确保应用于 ADC_{IN} 引脚的信号利用 ADC 的整个动态范围。这样可从 AD7329 获得更好的结果。

表 1 所列性能为当 AD7329 输入范围为 $\pm 10\text{ V}$, 采样速率为 1 MSPS 时, 用单端模式输入

第一部分 ADC 产品的应用

10 kHz 的单音信号,而后改变位于 MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间运算放大器 AD797 的增益所获得的结果。

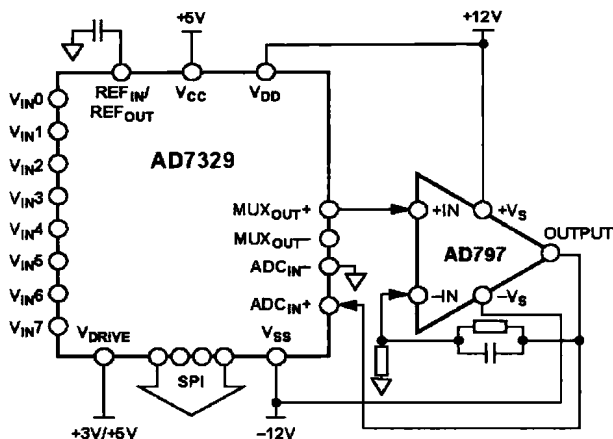


图 7 AD7329 MUX_{OUT} 与 ADC_{IN} 引脚之间的增益级

表 1 在 MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间插入不同增益值时的交流特性

增益/(V/V)	信噪比(SNR)/dB	总谐波失真/dB	有效位数/位
1	73.57	-80.80	11.93
20	73.00	-79.91	11.83
50	72.34	-79.90	11.72
100	72.28	-79.81	11.71
200	71.66	-78.99	11.61
500	71.48	-78.46	11.58
1000	69.94	-75.38	11.32

增益越大,信噪比和总谐波失真的性能下降越明显。若采用 AD7329 且按图 7 进行配置,增益设为 1000,转换器仍可取得 11 位以上的有效位数(ENOB)。若在 MUX_{OUT} 引脚与 ADC_{IN} 引脚之间的增益级使用此值,则 AD7329 可取得相当于 21 位 ADC 的极宽动态范围。

在某些应用中,可能需要改变增益,以适应不同输入通道的信号幅度(见图 8)。这种情况下,可在 AD797 反馈通道中使用一个多路复用器,以允许切换不同的电阻值,从而改变增益设置。对于可编程增益放大器(PGA)设计,建议采用 AD797 和 ADG412。图 9 显示的是针对可编程增益放大器应用的推荐原理图。

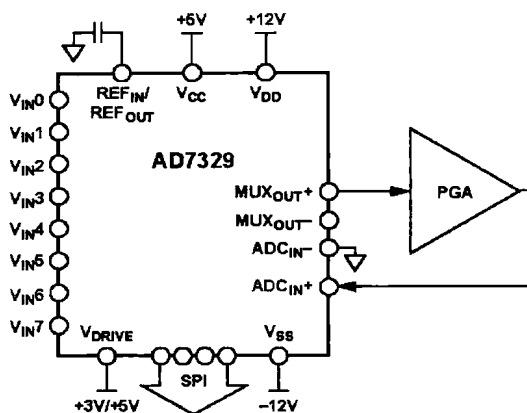
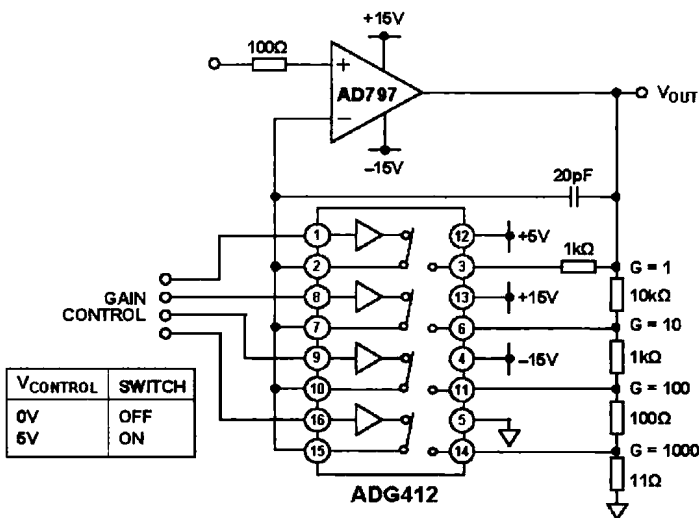
图 8 AD7329 MUX_{OUT}与 ADC_{IN}引脚之间的可编程增益放大器

图 9 采用 AD797 和 ADG412 构建的一种极低噪声可编程增益放大器

结 论

AD7329 是一款多功能器件。在数据采集系统中,该器件可节省物料,从而显著降低成本。只需一个放大器即可提供 8 个模拟输入通道所需要的高输入阻抗,从而省去了 7 个放大器的费用。采用 AD7329 的数据采集系统可连接至动态范围从毫伏级到±12V 不等的传感器,这可以通过添加一个可编程增益放大器实现。

AN-0979 应用笔记

数字滤波器的选择:AD7190、AD7192

作者:Mary McCarthy

简介

标题所列 $\Sigma - \Delta$ ADC 内置用户可选的 sinc^3 和 sinc^4 数字滤波器。本应用笔记将比较这两种滤波器,明确各自的优点以及使用每种滤波器的影响。

sinc 滤波器

$\Sigma - \Delta$ ADC 内置一个 $\Sigma - \Delta$ 调制器,后接一个数字滤波器。调制器以高采样速率对模拟输入连续采样,并输出 1 位数据流。位流中 1 的数量对应于模拟输入电压。然后,数字滤波器处理位流并执行抽取,以产生 24 位转换结果。

sinc 滤波器用作所讨论产品的数字滤波器。输出数据速率 f_{ADC} ,即 ADC 在单一通道上连续转换的速率等于:

$$f_{\text{ADC}} = f_{\text{CLK}} / (1024 \times \text{FS}[9:0])$$

式中:

f_{CLK} 为主时钟频率(标称值 4.92 MHz)。

$\text{FS}[9:0]$ 为模式寄存器 FS9 位至 FS0 位中的码的十进制等效值。

这是禁用斩波时输出数据速率的计算公式。请注意,本应用笔记假设禁用斩波,除非另有说明。

图 1 显示 10 Hz 输出数据速率时 sinc^3 滤波器的频率响应,图 2 显示 10 Hz 输出数据速率时 sinc^4 滤波器的频率响应。陷波位置由输出数据速率决定。陷波宽度取决于滤波器阶数。随着阶数提高,陷波将变得更宽。因此,输出数据速率决定陷波位置,滤波器阶数则决定可以

在陷波周围获得的抑制。随着滤波器阶数提高,滚降、阻带衰减、建立时间和噪声都会受影响。

50 Hz /60 Hz 抑制

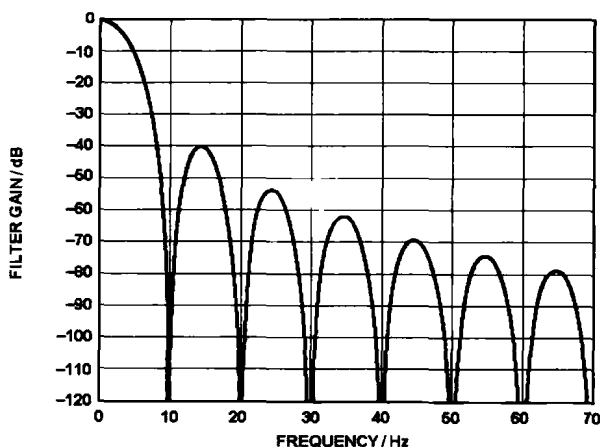


图 1 sinc^3 滤波器响应 ($f_{\text{ADC}} = 10 \text{ Hz}$)

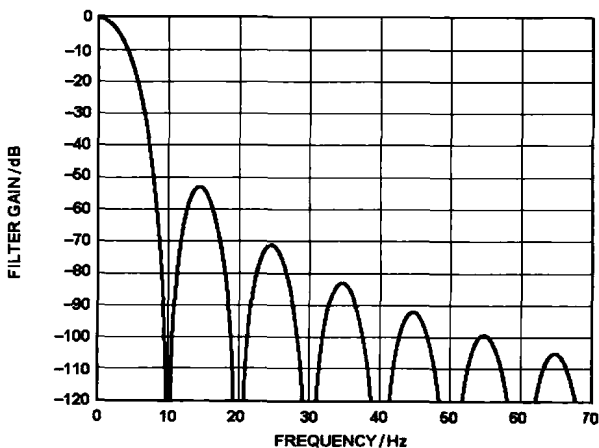


图 2 sinc^4 滤波器响应 ($f_{\text{ADC}} = 10 \text{ Hz}$)

图 1 显示输出数据速率为 10 Hz 时 sinc^3 滤波器的频率响应。陷波出现在输出数据速率及其倍数处。因此,陷波位于 10 Hz、20 Hz、30 Hz 等。可以利用此特性来抑制来自主电源的

第一部分 ADC 产品的应用

干扰,这是许多应用的关键要求。在世界上的一些地区,需要抑制 50 Hz 干扰,而在另一些地区,则需要抑制 60 Hz 干扰。可以利用 sinc 滤波器的陷波来抑制这种干扰。当输出数据速率为 10 Hz 时,陷波位于 50 Hz 和 60 Hz,因而能够实现 50 Hz 和 60 Hz 同时抑制。终端系统如果需要销往世界上的许多国家和地区,则必须具备此特性。

从图 1 可知,当输出数据速率等于 10 Hz 时,50 Hz $\pm$ 1 Hz 和 60 Hz $\pm$ 1 Hz 抑制超过 100 dB;其前提是系统时钟具有低抖动和漂移,例如利用晶振提供系统时钟。

图 2 显示输出数据速率为 10 Hz 时 sinc⁴ 滤波器的频率响应。与 sinc³ 滤波器一样,陷波位于 10 Hz 和 10 Hz 的倍数。但是,由于陷波更宽,50 Hz $\pm$ 1 Hz 和 60 Hz $\pm$ 1 Hz 抑制超过 120 dB。

如果只需要 50 Hz 抑制或 60 Hz 抑制,则可以提高输出数据速率;因此,对于仅 50 Hz 抑制,可以使用的最大输出数据速率为 50 Hz。此时,sinc 滤波器的第一陷波位于 50 Hz。同样,60 Hz 输出数据速率将使第一陷波位于 60 Hz。

当 ADC 以 50 Hz 输出数据速率工作时,有一个片内特性也能使陷波位于 60 Hz。如果模式寄存器的 REJ60 位设为 1,则当输出数据速率为 50 Hz 时,60 Hz 处也有一个陷波。因此,可以将输出数据速率从 10 Hz 提高到 50 Hz,同时仍然能够获得 50 Hz 和 60 Hz 同时抑制。图 3 显示输出数据速率为 50 Hz 且 REJ60 设为 1 时的滤波器响应。最差情况的 50 Hz $\pm$ 1 Hz 和 60 Hz $\pm$ 1 Hz 抑制为 67 dB。当使用 sinc⁴ 滤波器时(见图 4),最差情况的 50 Hz $\pm$ 1 Hz 和 60 Hz $\pm$ 1 Hz 抑制为 82 dB。

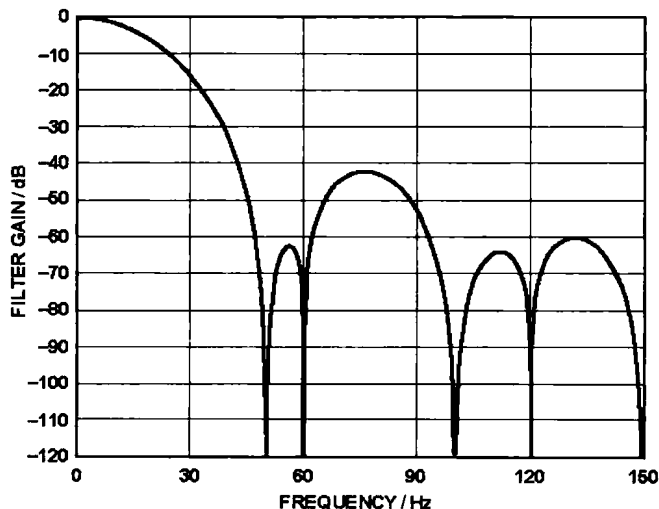


图 3 sinc³ 滤波器响应($f_{\text{ADC}}=50$ Hz, REJ60=1)