

探索不同的 SAR ADC 模拟输入架构

Ryan Curran
应用工程师,
ADI公司

逐次逼近型模数转换器又称SAR ADC，是通用级模数转换器，可产生连续模拟波形的数字离散时间表示。它们通过电荷再分配过程完成这一任务；在此过程中，已知的定量电荷与ADC输入端获取的电荷量相比较。期间针对所有可能的数字代码（量化电平）执行二进制搜索，最终结果收敛至某一代码，使内部集成的比较器返回平衡状态。0和1的组合表示电路产生的决策序列，使系统回到均衡状态。

SAR ADC是通用、易用、完全异步的数据转换器。但是，决定特定应用使用哪种转换器时，仍需做出一些选择。本文具体讨论ADI SAR ADC产品组合提供的模拟输入信号类型。但应注意，尽管本文关注的是SAR ADC，输入类型通用用于所有ADC架构。根据所考虑电路的信号源类型或总体目标，需要做出特定设计决策和权衡。最简单的解决方案是匹配ADC输入类型与信号源输出配置。不过，源信号可能需要改变信号类型的调理，或者存在成本、功率或面积考虑因素，影响模拟输入类型决策。我们来了了解一下不同的可用模拟输入类型。

单端

最简单的模拟输入类型是单端输入。此时，信号从来源到达ADC仅需要一条线路。这种情况下将使用单个输入引脚，无信号源直接返回或感测路径。相对于ADC的接地引脚产生转换结果。根据特定器件，输入可能为单极性或双极性。单端情况下，简单是其优点。信号从来源到达ADC仅需要一条走线。这可以减少系统复杂性，同时降低总信号链的功耗。当然简单也可能有代价。单端设置不会抑制信号链内的直流失调。单端系统需要相对于载流地层执行测量，信号源接地与ADC接地之间的电压差异可能出现在转换结果中。而且，设置更易受耦合噪声影响。因此，信号源和ADC应彼此靠近，以缓解这些效应。如果SAR ADC是单极性单端配置，容许信号摆幅介于接地与正满量程之间，

通常由ADC基准电压输入设置。单端单极性输入的直观表示可参见图1。采用单端单极性输入的器件有AD7091R和AD7091R-8。



图1 单端单极性。

如果SAR ADC是双极性单端配置，容许信号摆幅介于对地正满量程与负满量程之间。同样，满量程通常由ADC基准电压输入设置。单端双极性输入的直观表示可参见图2。采用单端双极性输入的器件有AD7656A-1。

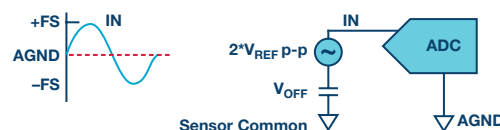


图2 单端双极性。

伪差分

如果需要感测信号地或从载流地层解耦相对测量结果，信号链设计人员可能考虑迁移至伪差分输入结构。伪差分器件本质上是带参考地的单端ADC。器件执行差分测量，但检测的差分电压是相对于输入信号接地电平测量的单端输入信号。单端输入被驱动至ADC的正输入端(IN+)，输入接地电平被驱动至ADC的负输入端(IN-)。需要注意的是，信号链设计人员必须注意负输入的模拟输入范围。一些情况中，负输入引脚相对于正输入具有有限的输入范围。这些情况下，正输入可在容许输入电压范围内自由摆动，而ADC的负输入可限制在ADC接地附近的较小±电压范围内。每个ADC输入的容许输入范围可在数据手册中找到。参见图3中的“绝对输入电压”规格表。

Parameter	Conditions	A Grade			B Grade			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Resolution		16			16			Bits
Analog Input Voltage Range	IN+ – (IN–)	0		V _{REF}	0		V _{REF}	V
Absolute Input Voltage	IN+, IN–	–0.1		V _{REF} + 0.1	–0.1		V _{REF} + 0.1	V
	IN+, IN–	–0.1		+0.1	–0.1		+0.1	V
Analog Input CMRR	F _{IN} = 250 kHz	60			60			dB

图3. 绝对输入电压示例。

如果具有有限IN-电压范围的伪差分器件（比如AD7980）需要抑制大于绝对输入电压范围的干扰信号，信号链设计人员可能需要考虑仪表放大器，以在信号到达ADC前消除较大的共模。有三种伪差配置：单极性、伪双极性及真双极性。ADI SAR ADC 产品组合提供采用以上每一种配置的器件。在单极性伪差分设置中，单端单极性信号被驱动至ADC的正输入端，信号源地被驱动至负ADC输入端，如图4所示。采用单极性伪差分输入的器件有AD7980和AD7988-5。

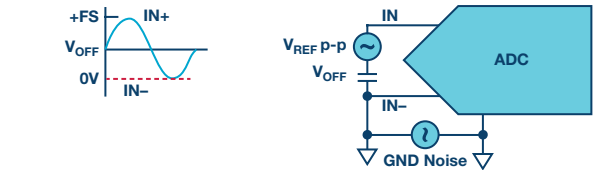


图4. 单极性伪差分。

在伪双极性设置中，单端单极性信号被驱动至ADC的正输入端。然而，信号源地未被驱动至ADC的负输入端，此输入到达满量程电压的一半。本例中，输入范围为 $\pm V_{FS}/2$ ，而非0至 V_{FS} 。未出现动态范围增加，单极性情况与伪双极性情况之间的差异是测量正输入所依靠的相对电压。与单极性伪差分情况相同，伪双极性负输入具有有限的输入范围。不过，此时电压将在 $V_{FS}/2$ 而非接地左右变化。图5是伪双极性输入范围图。本例中， $V_{OFF} = V_{FS}/2$ 。提供伪双极性输入选项的器件有AD7689。

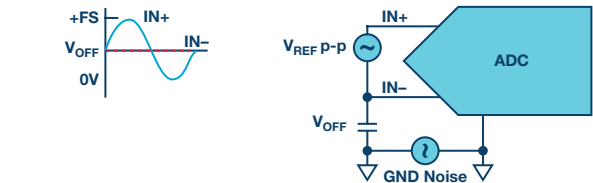


图5. 伪双极性。

伪差分真双极性情况与单极性伪差分情况很相似，只不过单端正ADC输入可在低电压上下摆动。通常，峰峰值输入范围是基准电压的两倍或此比例的倍数。例如，如果基准电压为5 V，那

么伪差分真双极性器件可接受 ± 5 V范围内的输入。图6显示伪差分真双极性输入范围图。提供伪差分真双极性输入的器件有AD7606。

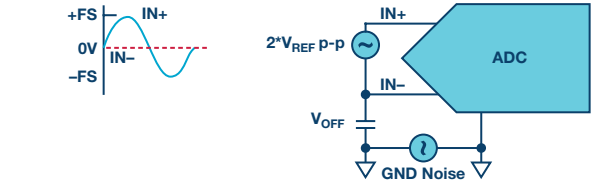


图6. 伪差分真双极性。

差分

伪差分架构优于单端架构之处在于能够抑制转换系统内的特定扰动信号。不过，存在可提供相同抑制优势，同时也增加系统动态范围的架构。差分架构允许用户最大限度地增加ADC的输入范围。与单端或伪差分方案相比，差分信号可将给定电源和基准电压设置的输入范围加倍，提供最多6 dB的动态范围增加，而不增加器件功耗。

ADI提供两种带有差分输入的器件。本文介绍的第一种是差分反相。本例中，ADC转换ADC正负输入之间的差异，同时正负输入彼此180°反相摆动。通常，差分反相器件为单极性。因此，差分器件的每一侧将在低电压与正满量程（由基准电压输入设置）之间摆动。由于差分器件每一侧180°反相，输入共模固定。与伪差分器件相似，差分反相器件可限制其容许共模输入范围。此范围可在产品数据手册的规格表中找到。如下图7所示。对于ADC输入的绝对输入范围为0伏至正满量程的器件，共模电压为 $V_{FS}/2$ 。大多数情况下，对于高分辨率（16位及更高）差分反相SAR ADC，共模电压范围为典型共模电压 ± 100 mV。

需要绝对最佳性能时，通常选择差分反相器件。差分信号将提供最大噪声抑制，趋于消除偶次项失真特性。如图8所示，由于差分器件引脚以相反方向摆动，动态范围和SNR相对于单端和伪差分配置有所改善。

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Analog Input Voltage Range	IN+ – (IN–)	–V _{REF}		+V _{REF}	V
Absolute Input Voltage	IN+, IN–	–0.1		V _{REF} + 0.1	V
Common-Mode Input Range	F _{IN} = 250 kHz	–V _{REF} /2 – 0.1	–V _{REF} /2	V _{REF} /2 + 0.1	dB
Analog Input CMRR			65		

图7. 差分共模输入范围。

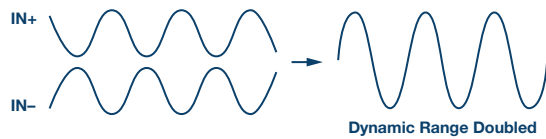


图8. 差分信号带来的动态范围增加。

如果需要在信号源为单端的信号链中最大限度地提高系统性能, 可使用单端至差分放大器, 例如ADA4940-1或ADA4941-1, 以适当调理输入信号, 匹配其与ADC的共模。如同伪差分器件, 如果系统内存在较大共模, 应使用仪表放大器来调理共模主体。差分ADC可处理共模中的精细变化, 且聚合信号链具有极佳的CMRR。图9显示了差分反相输入范围图。采用差分反相输入的器件有AD7982、AD7989-5以及AD7915。

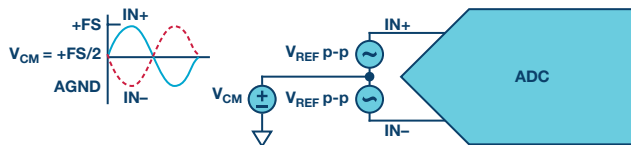


图9. 差分反相。

共模范围限制是实现最佳性能和避免影响转换器动态范围所必需的。使用差分反相器件时有一些常见错误, 可能违反共模范围。图10显示了实施差分反相器件时常发生的用户错误。此情形中, 差分信号非180°反相。因此, 共模在两个ADC输入引脚间剧烈变化, 违反在图7限制下工作的器件的数据手册。

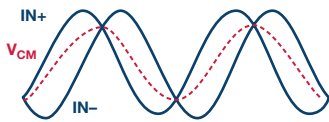


图10. 违反共模。

另一个常见的差分反相失误是180°反相、但共模不当的信号, 或者将ADC的IN-引脚连接至直流基底电压。在负ADC输入端提供直流电压很快便会违反共模范围规格, 同时消除差分信号的动态范围优势。第二种差分信号是测量任意两个信号之间的差分, 而不论共模如何。ADI提供一系列基于SAR ADC技术的集成式数据采集解决方案测量全差分信号。对于寻找具有宽容许输入共模范围的集成式数据采集解决方案的信号链设计人员, ADI提供ADAS3022和ADAS3023。它们分别是双极性连续和同步采样数据采集系统, 共模范围宽达 $\pm 10\text{ V}$ 。在此范围内, 它们可展示任意两个信号间的差异。

模拟输入类型可影响数字输出编码。具有单极性输入范围的转换器, 例如单端单极性和伪差分器件, 采用直接二进制编码。

代码0将代表负满量程输入电压, 代码 $2^N - 1$ (N 为位数) 将代表正满量程输入。具有 \pm 极性输入的器件将采用二进制补码, 以便将符号位提供给用户。具有 \pm 极性的器件包括单端双极性、伪差分双极性、伪双极性和全差分器件。对于这些ADC, 负满量程输入将由代码 -2^{N-1} 代表, 正满量程输入将由代码 $2^{N-1} - 1$ 代表。

SAR ADC是创建模数转换信号链的通用、低功耗、高性能选项。这些器件易于实施。不过, 为获得系统的所需性能, 必须做出特定架构选择。本文具体讨论ADI SAR ADC产品组合提供的模拟输入类型选择。每种输入类型提供特定优势, 同时必须做出特定权衡。如上所述, 正确的选择对于实现最佳性能至关重要。

有关选择正确驱动器放大器配置的信息, 请参阅以下链接: [驱动单极性精密ADC的单/双通道放大器配置](#)。

有关为既定应用正确选择ADC驱动器的信息, 请参阅以下链接: [精密SAR模数转换器的前端放大器和RC滤波器设计](#)。

作者简介

Ryan Curran [ryan.curran@analog.com] 是ADI公司精密转换器业务部门的一名产品应用工程师。自2005年加盟ADI以来, 他一直主要从事SAR ADC方面工作。Ryan获缅因大学欧洛诺电子工程学士学位, 目前在阿默斯特马萨诸塞大学伊森伯格管理学院攻读工商管理硕士学位。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区, 与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问ezchina.analog.com

EngineerZone™
中文技术论坛

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices.
TA13734sc-0-1/16

analog.com/cn

