

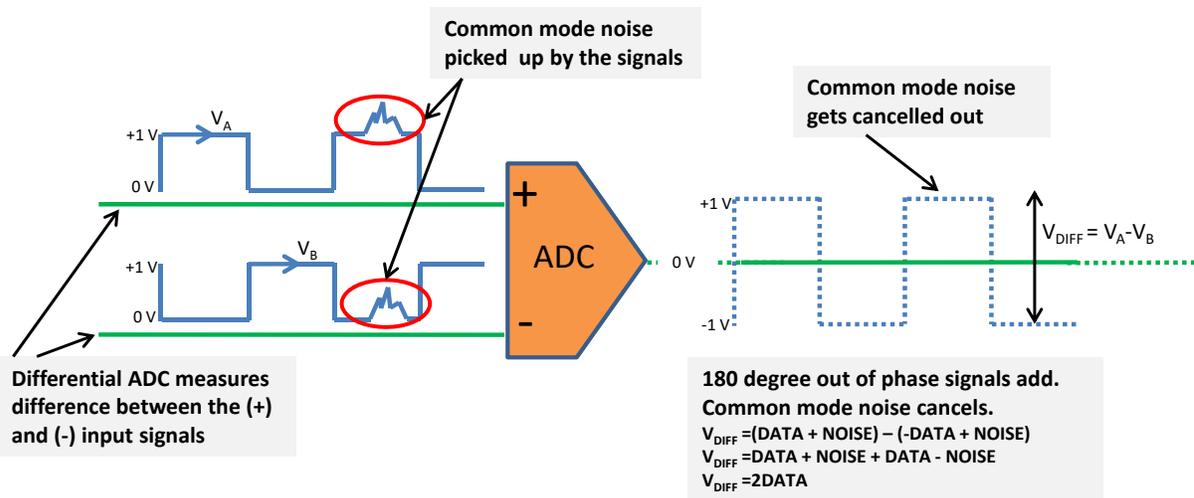
如何在 Cortex® M7 MCU 中使用差分 ADC

简介

差分 ADC 用于测量两个输入之间的电压。在差分 ADC 系统中，两条线携带所需信号，这两个信号的相位彼此相差 180 度且并行运行。因此，两条线上会产生等量的噪声。当信号施加到差分 ADC 的 A(+)和 A(-) 输入时，所需信号之间的电压差会增大，因为所需信号的相位彼此相差 180 度。差分 ADC 会抑制共模噪声等同相信号。这有助于提高信噪比。其他优点包括消除偶数阶谐波。

下图所示为差分 ADC 中共模噪声的消除过程。输出信号是 ADC 转换的数字值的模拟表示。

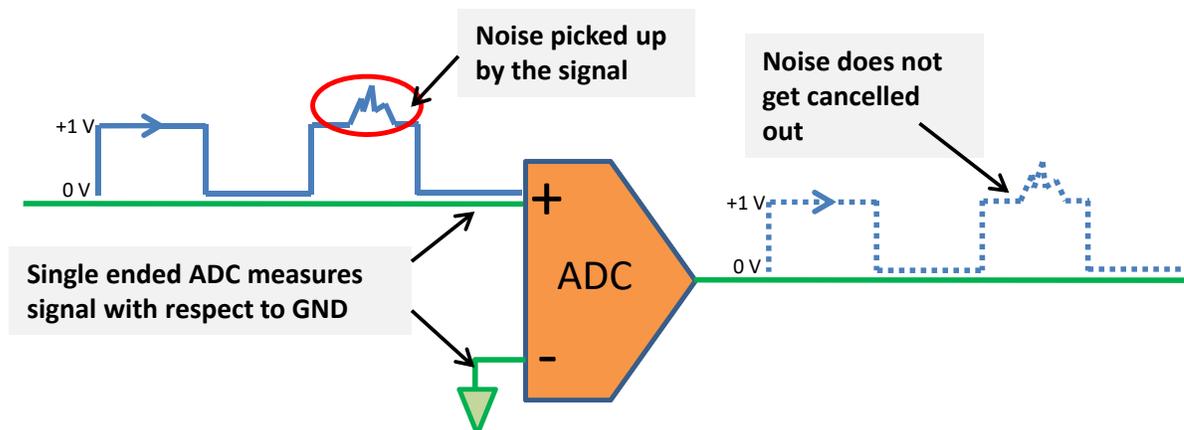
图 1. 差分 ADC 中共模噪声的消除过程



另一方面，单端模数转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC）会测量相对于地的信号电压。当信号源和 ADC 足够接近时，单端 ADC 便已足够。不过，在噪声环境下，单端系统变得更容易受噪声影响。

下图所示为单端 ADC 中噪声的影响。

图 2. 单端 ADC 中噪声的影响



Microchip 基于 Arm[®] Cortex[®]-M7 的 MCU（例如 SAM V7x/E7x/S7x）具有模拟前端控制器（Analog Front-End Controller, AFEC），此控制器包含 1 个 12 位 ADC 和 2 个 6 选 1 模拟多路开关，此多路开关与 2 个采样保持（S&H）电路（即 SH-1 和 SH-2）连接。此外，它还包括一个内部数模转换器（Digital-to-Analog Converter, DAC）、一个可编程增益放大器（Programmable-Gain Amplifier, PGA）以及带过采样的数字平均功能，因此分辨率可以扩展到 16 位。本文档介绍如何在 Microchip 基于 Cortex-M7 的 MCU 中使用 ADC 的差分模式。

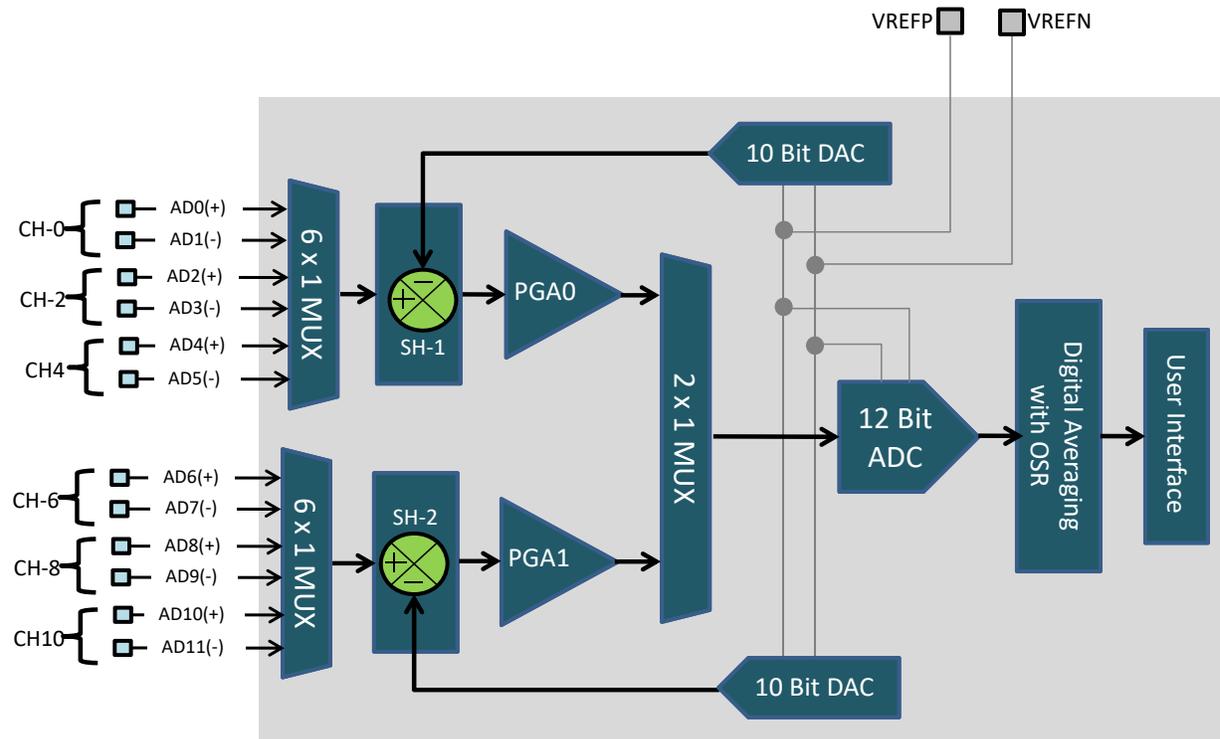
目录

简介.....	1
1. 使能差分模式.....	4
2. 可编程增益.....	7
3. ADC 通道的同时采样.....	9
4. 在差分模式下使用定序器.....	11
5. 其他相关资源.....	12
Microchip 网站.....	13
变更通知客户服务.....	13
客户支持.....	13
Microchip 器件代码保护功能.....	13
法律声明.....	14
商标.....	14
DNV 认证的质量管理体系.....	15
全球销售及服务网点.....	16

1. 使能差分模式

模拟输入可配置为单端模式或差分模式。在差分模式下，AD0-AD1 和 AD2-AD3 等连续模拟输入形成一对正、负模拟输入。下图所示为 AFEC 简化框图，其中 6 对模拟通道显示为差分模式。

图 1-1. 模拟通道配置为差分模式下时的 AFEC 简化框图

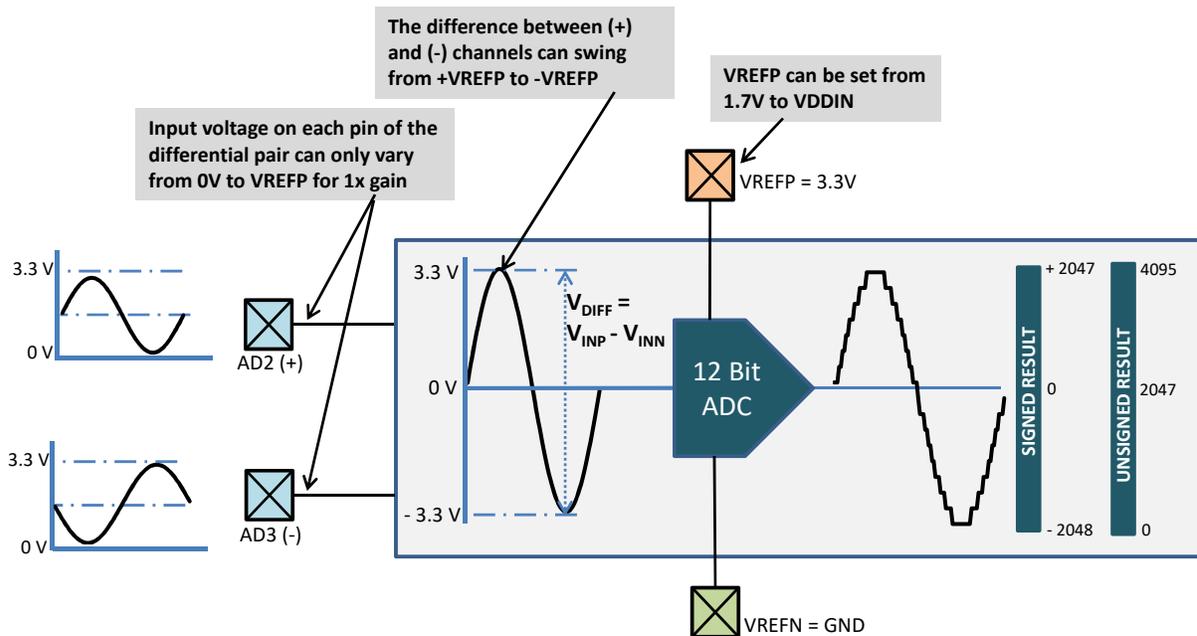


差分对每个引脚的输入电压限制为 $0V$ 至 V_{REFP} ，其中 V_{REFP} 为 ADC 的正参考电压，其值在 $1.7V$ 至 V_{DDIN} 之间变化。负参考电压引脚 V_{REFN} 必须连接至 GND 。下图所示为 $V_{REFP}=3.3V$ 且增益为 1 时的输入电压范围。ADC 检测到的差分电压可在 $-V_{REFP}$ 至 $+V_{REFP}$ （即 $-3.3V$ 至 $+3.3V$ ）之间变化；但差分对各输入的电压必须介于 0 至 V_{REFP} 之间。

转换的结果取决于符号模式。对于有符号结果， $-V_{REFP}$ 对应于 -2048 ， $+V_{REFP}$ 对应于 $+2047$ 。对于无符号结果， $-V_{REFP}$ 对应于 0 ， $+V_{REFP}$ 对应于 4095 。

小于 $-V_{REFP}$ 的差分电压将导致负饱和（有符号模式为 -2048 ，无符号模式为 0 ），大于 $+V_{REFP}$ 的差分电压将导致正饱和（有符号模式为 $+2047$ ，无符号模式为 4095 ）。

图 1-2. 通道配置为差分模式时的输入信号范围



先将通道使能位 (AFEC_CHER.CHx) 置 1, 随后将差分模式位 (AFEC_DIFFR.DIFFx) 置 1, 这样就能配置为差分模式, 其中 x 是差分对的偶数通道编号。要将 AD2 和 AD3 配置为差分模式, 必须将 AFEC_CHER.CH2 和 AFEC_DIFFR.DIFF2 位置 1。AD3 将自动使能差分模式, 详见下表。转换完成后, 转换位 (AFEC_ISR.EOC2) 将置 1, 之后可将通道选择寄存器 AFEC_CSELR.CSEL 中的通道配置为 0x02, 以便从 AFEC_LCDR.LDATA 寄存器或内部复用的 AFEC_CDR.DATA 寄存器中读取结果。

表 1-1. 差分模式下 AFEC_AD2 和 AFEC_AD3 的寄存器配置

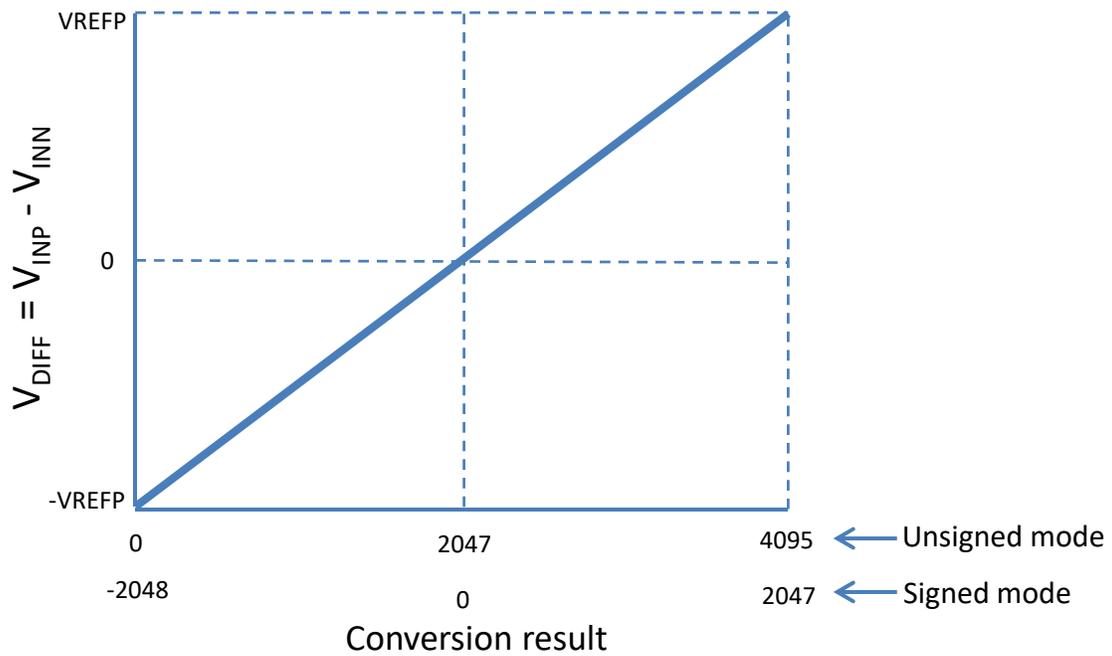
	配置		状态	结果	
x	DIFFR.DIFFx	CHER.CHx	ISR.EOCx	CSELR.CSEL	CDR.DATA
2	1	1	1	0x02	有效
3	0	0	0	-	-

注:

1. 有关 AFEC 寄存器的详细说明, 请参见相应的 SAM V7x/E7x/S7x 数据手册。
2. 此外, 在差分模式下, 如果没有 DAC 失调误差需要补偿, 则 DAC 输出必须编程为中等量程或 512。要补偿 n LSB 的 DAC 失调误差 (正或负), 必须将其设置为 512+n。当 AD2-AD3 配置为差分模式时, 必须将 DAC 输出设置为 512+n, 方法是先将 AFEC_CSELR.CSEL 寄存器中的通道配置为 0x02, 随后将 AFEC_COCHR.AOFF 位设置为 512+n。
3. 要使能模拟输入 AFE_ADx, 必须先在 PIO 用户接口中禁止 I/O 线上的上拉电阻, 然后才能写入寄存器 AFEC_CHER 或 DACC_CHER。

默认情况下, 差分通道的结果以有符号模式提供 (AFEC_EMR.SIGNMODE = 0x00)。可通过将 AFEC_EMR.SIGNMODE 位设置为 0x01 来使能无符号模式。

图 1-3. 转换结果



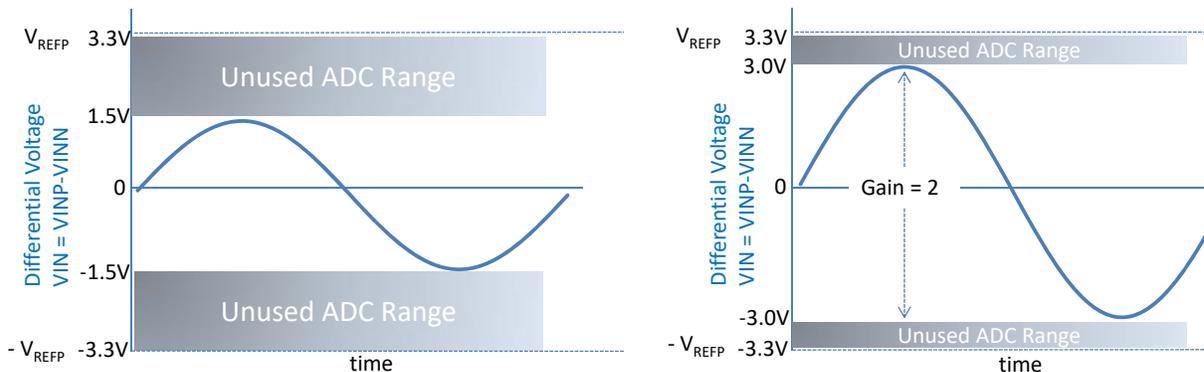
注：转换结果取决于有符号或无符号模式，具体通过 AFEC_EMR.SIGNMODE 位来设置。

2. 可编程增益

AFEC 模块提供可编程增益，该增益可用于放大小信号电压以及利用完整的 ADC 范围。

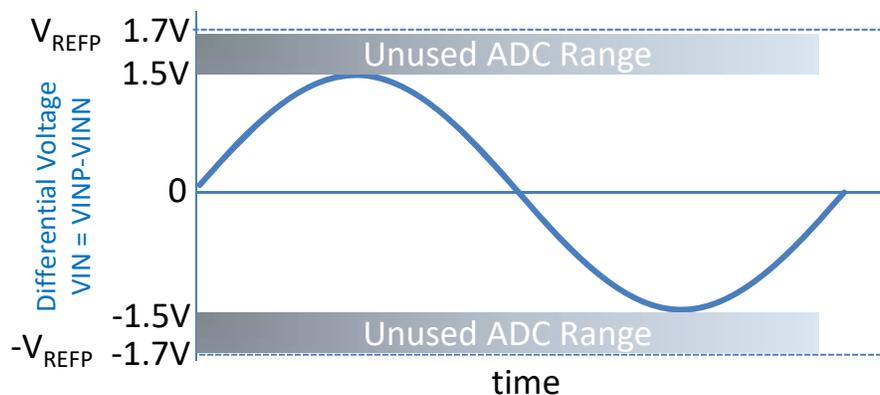
差分输出电压范围为+1.5V 至-1.5V 的传感器与 V_{REFP} 设置为 3.3V 的 12 位 ADC 连接。在这种情况下，+1.5V 至+3.3V 以及-1.5V 至-3.3V 的 ADC 范围中几乎有一半未使用。使用可编程增益，可以增加输入信号的幅值，从而利用完整的 ADC 范围。在这种情况下，将增益值编程为 2 可使输入电压从+3.0V 变化为-3.0V，从而提高所测量输入电压的分辨率。

图 2-1. 使用内部可编程增益放大器放大信号以利用完整的 ADC 范围



或者，可通过降低 ADC 参考电压来匹配传感器输出范围。降低 ADC 参考电压 V_{REFP} 同样可以提高 ADC 所测量电压的精度。可通过向 V_{REFP} 引脚施加 1.7V 至 V_{DDIN} 范围内的外部电压来设置 AFEC 模块的参考电压。 V_{REFN} 引脚必须接地。 V_{REFP} 设置为 1.7V 时，-1.7V 至+1.7V 电压范围将分为 4096 步，因此步长为 0.83 mV ($3.4V/4096 \approx 830 \mu V$)。 V_{REFP} 设置为 3.3V 时，步长将为 1.61 mV。

图 2-2. 调节 ADC 参考电压以利用完整的 ADC 范围

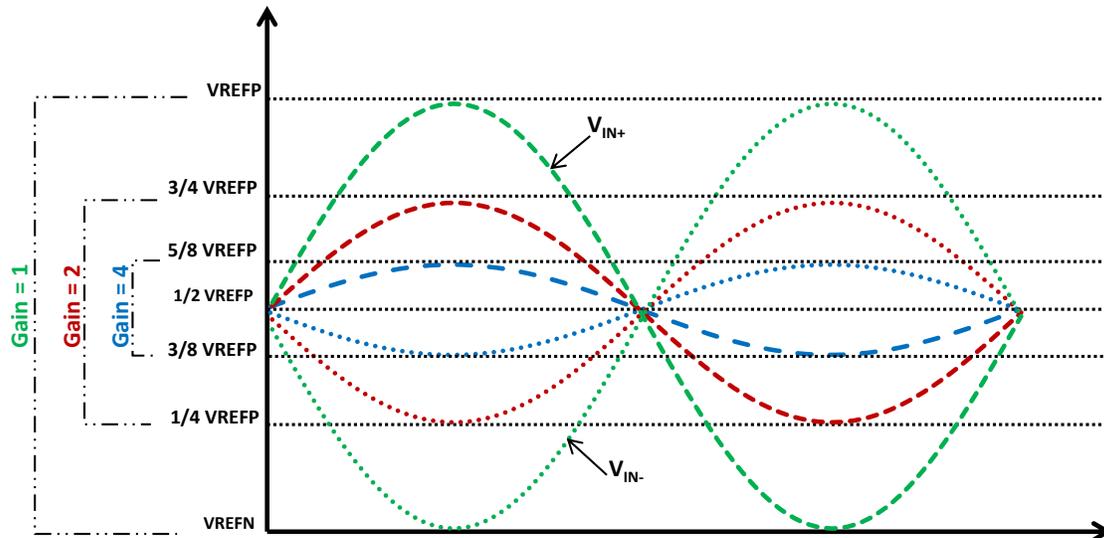


注： 凭借上述两种方法（即应用增益和降低 ADC 参考电压），用户能够通过缩小输入电压范围以更高的电压精度测量模拟信号。

许多传感器的动态范围均超出 12 位 ADC 能够支持的范围。在这些情况下，可通过用软件动态控制增益的方式扩大动态范围。此时，整个传感器输出范围可以分为多个子范围，在运行时通过软件将最高增益应用于最小传感器输出电压，将最低增益应用于最大传感器输出电压。

下图所示为每个增益范围内允许的最大差分模拟输入电压。例如，如果 $V_{REFP} = 3.3V$ 且增益 = 4，则最大差分输入电压必须介于 $[0V, \pm 0.825V]$ 范围内。

图 2-3. 1x、2x 和 4x 增益下的最大差分输入电压范围



要使能增益，必须通过将 `AFEC_ACR.PGA0EN`（适用于 AN0-AN5）和 `AFEC_ACR.PGA1EN`（适用于 AN6-AN11）位置 1 来使能可编程增益放大器。要设置一对差分通道的增益，必须将 `AFEC_CGR.GAINx` 位设置为 0-3 之间的值，其中 x 为差分对的偶数通道编号。要将差分通道 AD4-AD5 的增益设置为 2，必须将 `AFEC_CGR.GAIN4` 位设置为 0x01。

表 2-1. 2 倍增益时差分模式下 `AFEC_AD4` 和 `AFEC_AD5` 的寄存器配置

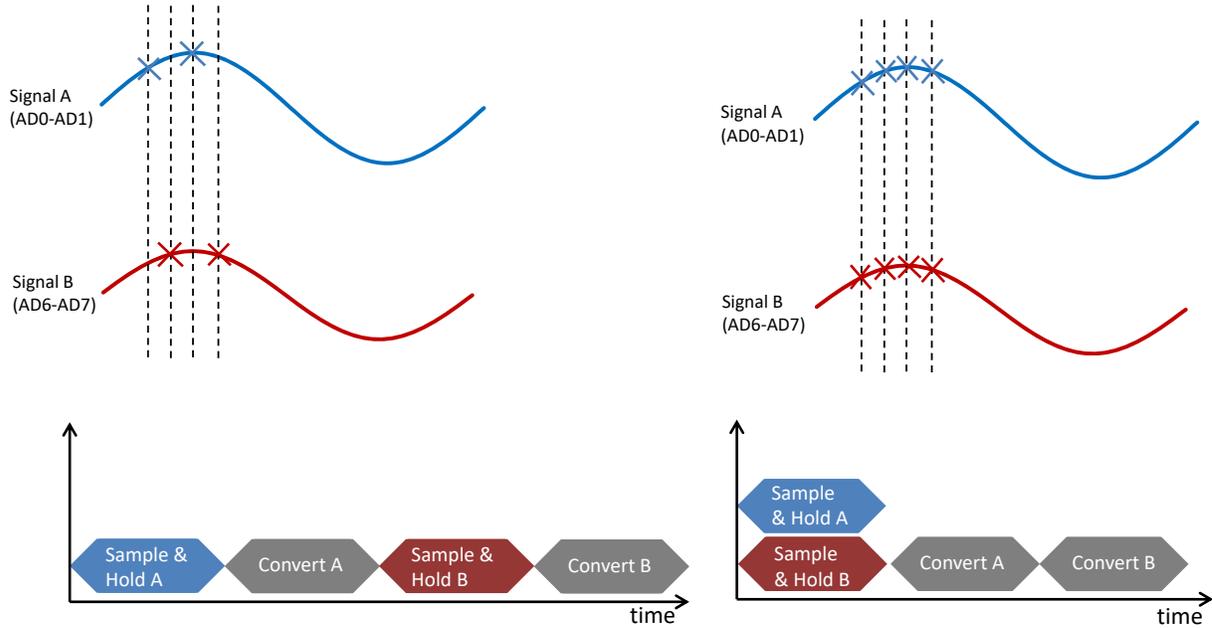
	配置			状态	结果	
x	<code>DIFFR.DIFFx</code>	<code>CHER.CHx</code>	<code>CGR.GAINx</code>	<code>ISR.EOCx</code>	<code>CSELR.CSEL</code>	<code>CDR.DATA</code>
4	1	1	1 (见注)	1	0x04	有效
5	0	0	-	0	-	-

注：无论是否使用增益，都必须通过将 `ACR_PGA0EN` 和 `ACR_PGA1EN` 位置 1 来使能可编程增益放大器。

3. ADC 通道的同时采样

采样保持电路连接的所有模拟输入均通过多路开关进行选择并按顺序采样。但是，某些电机控制和计量应用要求同时采样模拟输入以保留各模拟输入间的相位信息。

图 3-1. 通过单一采样保持电路和双重采样保持电路采样 ADC 通道

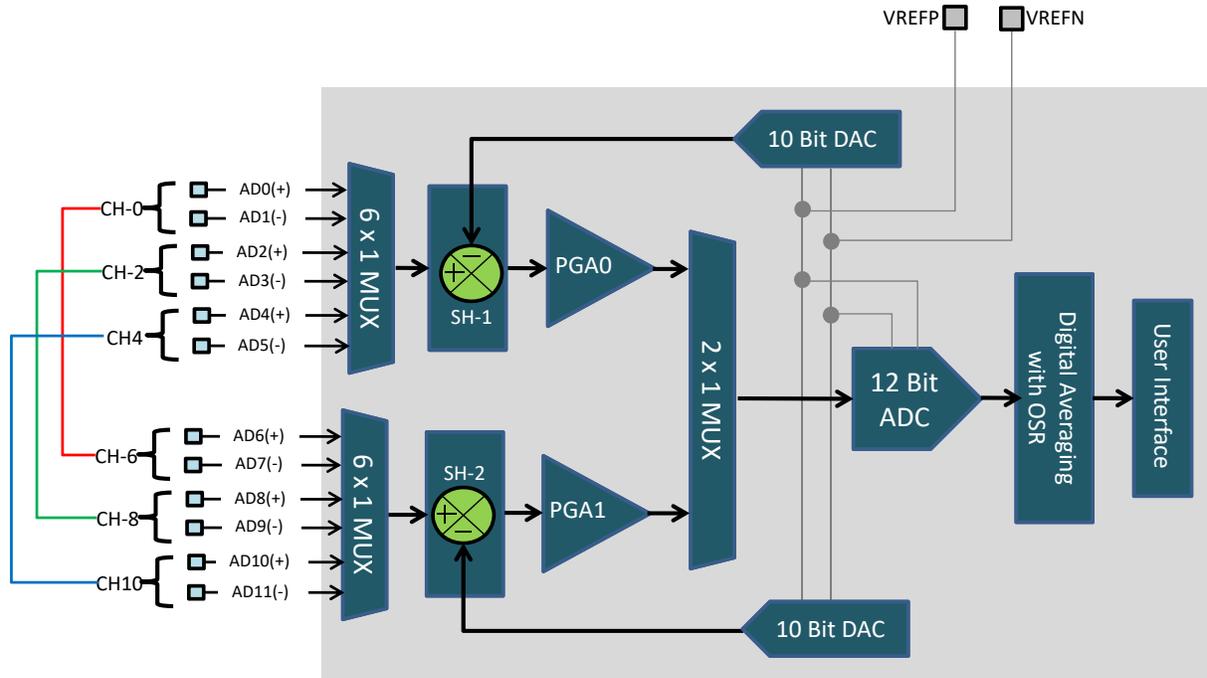


注：

1. 图的左侧显示了使用一个采样保持电路按顺序采样的模拟输入。
2. 图的右侧显示了使用两个采样保持电路并行采样模拟输入的情况。

AFEC 模块有 2 个采样保持电路，可实现并行采样模拟输入。下图所示为配置为并行采样模式（也称为双重采样保持模式）的差分通道对。

图 3-2. 差分通道对配置为双重采样保持模式时的 AFEC 简化框图



注：以下差分通道对可配置为双重采样保持模式。

1. AD0-AD1 和 AD6-AD7（红线）。
2. AD2-AD3 和 AD8-AD9（绿线）。
3. AD4-AD5 和 AD10-AD11（蓝线）。

可通过将 AFEC_SHMR.DUALx 位置 1 来使能双重采样保持模式。下表汇总了使能同时采样差分通道 AD0-AD1 和 AD6-AD7 时需要设置的配置位。转换完成后，AFEC_ISR.EOC0 和 AFEC_ISR.EOC6 位立即置 1，可通过先选择 AFEC_CSELR.CSEL 寄存器中的通道 0x00，随后选择通道 0x06 从复用的 AFEC_CDR.DATA 寄存器中读取每个差分通道的结果。

表 3-1. 使能并行采样差分通道 AFEC_AD0-AD1 和 AFEC_AD6-AD7 所需的寄存器配置

	配置				状态	结果	
x	DIFFR.DIFFx	CGR.GAINx	SHMR.DUALx	CHER.CHx	ISR.EOCx	CSELR.CSEL	CDR.DATA
0	1	0-3	1	1	1	0x00	有效
1	0	-	0	0	0	-	-
6	1	0-3	0	0	1	0x06	有效
7	0	-	0	0	0	-	-

4. 在差分模式下使用定序器

AFEC 模块可以按用户提供的任何顺序转换通道，并且可以通过将 AFEC_MR.USEQ 位置 1 来使能定序器。通过在 AFEC_SEQ1R 和 AFEC_SEQ2R 寄存器中写入通道编号，最多可以对 12 个通道进行排序，这些通道编号可以按任意顺序写入且可以多次重复。

当通过将 AFEC_MR.USEQ 位置 1 来使能定序器模式时，AFEC_CHER.CHx 寄存器的行为略有不同。在定序器模式下，AFEC_CHER.CHx 寄存器对应 AFEC_SEQ1R 和 AFEC_SEQ2R 寄存器中编程的序列中的第 x 个通道。也就是说，如果定序器配置为转换差分通道 AD4-AD5 和 AD6-AD7，则应使能 CHER.CH0 和 CHER.CH1（设置为 1），而不是使能 CHER.CH4（对应于 AD4-AD5）和 CHER.CH6（对应 AD6-AD7）。

下表提供了按顺序转换差分通道（如 AD2-AD3、AD0-AD1、AD6-AD7、AD0-AD1 和 AD2-AD3）所需的寄存器配置。

表 4-1. 按顺序转换差分通道所需的寄存器配置

x	配置		状态			结果	
	SEQ1R.USCHx	CHER.CHx	ISR.EOC0	ISR.EOC2	ISR.EOC6	CSELR.CSEL	CDR.DATA
0	0x02 (AD2-AD3)	0x01	0	1	0	0x02	有效
1	0x00 (AD0-AD1)	0x01	1	0	0	0x00	有效
2	0x06 (AD6-AD7)	0x01	0	0	1	0x06	有效
3	0x00 (AD0-AD1)	0x01	1	0	0	0x00	有效
4	0x02 (AD2-AD3)	0x01	0	1	0	0x02	有效

可通过先选择 AFEC_CSELR.CSEL 寄存器中的通道编号，随后读取 AFEC_CDR.DATA 寄存器来读取转换结果。

要按顺序禁止第 3 个通道（AFEC_SEQ1R.USCH2），必须将 AFEC_CHER.CH2 位设置为 0，如下表所示。

表 4-2. 禁止转换序列中的第 3 个通道（AFEC_AD6-AD7）所需的寄存器配置

x	配置		状态			结果	
	SEQ1R.USCHx	CHER.CHx	ISR.EOC0	ISR.EOC2	ISR.EOC6	CSELR.CSEL	CDR.DATA
0	0x02 (AD2-AD3)	0x01	0	1	0	0x02	有效
1	0x00 (AD0-AD1)	0x01	1	0	0	0x00	有效
2	0x06 (AD6-AD7)	0x00	0	0	0	-	-
3	0x00 (AD0-AD1)	0x01	1	0	0	0x00	有效
4	0x02 (AD2-AD3)	0x01	0	1	0	0x02	有效

5. 其他相关资源

更多信息，请参见“Using the Analog Front End in the SAM V7/E7/S7 MCUs Application Note”，此文档可从以下位置下载：

- http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-44046-Cortex-M7-Microcontroller-Using-the-Analog-Front-End-in-the-SAM-V7-E7-S7-MCUs_Application-Note.pdf

Microchip 网站

Microchip 网站 <http://www.microchip.com/> 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极有可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如

果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKIT、PICKIT、PICKIT、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-3346-0

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、

POP、RealView、SecurCore、Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINK-PLUS、ULINKpro、 μ Vision 和 Versatile 是 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

DNV 认证的质量管理体系

ISO/TS 16949

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC[®] MCU 和 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®]跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器及模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 1-480-792-7200 传真: 1-480-792-7277 技术支持: http://www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 檳榔嶼 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-67-3636 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 赖阿南纳 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-7289-7561 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 乔治亚州 电话: 1-678-957-9614 传真: 1-678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 1-512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 1-774-760-0087 传真: 1-774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 1-630-285-0071 传真: 1-630-285-0075 达拉斯 艾迪生, 德克萨斯州 电话: 1-972-818-7423 传真: 1-972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 1-248-848-4000 休斯敦, 德克萨斯州 电话: 1-281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 1-317-773-8323 传真: 1-317-773-5453 电话: 1-317-536-2380 洛杉矶 米申维耶霍, 加利福尼亚州 电话: 1-949-462-9523 传真: 1-949-462-9608 电话: 1-951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 1-919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 1-631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 1-408-735-9110 电话: 1-408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 1-905-695-1980 传真: 1-905-695-2078			