

如何实施自校准?

为进行校准, 无论在所选通道上使用何种校准模式, ADC的片内微控制器都必须记录两种不同模拟输入条件下的调制器输出: “零电平”点和“满量程”点。利用这些转换结果, 微控制器可以计算转换器的输入到输出传递函数的增益斜率。器件在内部利用33位分辨率来确定16位转换结果。

在自校准模式下, ADC确定ADC内部的校准点。用来确定校准系数的零电平点是将两路输入在ADC内部短路(即 $A_{IN(+)} = A_{IN(-)} = V_{ref}$)。与器件的模拟输入引脚相连的信号只要是在输入的共模范围内, 就不会影响校准程序。满量程系数通过对调制器输入施加 V_{REF} 电压而确定。

自校准模式可通过对设置寄存器中的MD1位和MD0位写入数据来调用。

在这种校准模式中, 先将短路输入节点切换到调制器, 并执行一次转换。然后切换 V_{REF} 节点, 再执行一次转换。可以用DRDY确定转换何时完成, 并在输出端获得与模拟输入相关的新数据。DRDY在校准启动时变为高电平, 直到获得外部模拟输入的相关转换结果时才变回低电平。自校准程序会考虑所选的PGA增益。

什么是系统校准? 如何实施系统校准?

通过系统校准, 转换器不仅可以补偿外部系统增益和失调电压误差, 也可以补偿自身的内部误差。校准基本上是在两个特定输入电压(零电平和满量程)上执行转换过程, 由此确定失调电压误差系数和满量程误差系数。对于系统校准, 必须由用户将零电平电压和满量程电压施加于ADC。

系统校准分两步来执行。首先必须将零电平点提供给转换器。该电压在零电平系统校准步骤开始之前施加于转换器的模拟输入, 并且必须保持稳定, 直到该步骤完成为止。系统校准通过向设置寄存器中的MD1位和MD0位写入适当的值而启动。DRDY输出指示该步骤何时完成(变为低电平), 或者可以通过软件监控模式位; 当校准完成时, 它将返回到正常模式。校准零电平点之后, 输入满量程点, 再次通过向MD位写入适当的码来启动满量程系统校准过程。满量程电压必须在校准开始之前建立好, 并且必须在整个校准过程中保持稳定。在第二步结束时, DRDY变为低电平, 指示系统校准已完成。

校准程序与工作模式(单极性或双极性模式)有关。在单极性模式下, 系统校准在传递函数的两个端点之间进行, 而在双极性模式下, 系统校准则在中量程与正的满量程之间进行。

执行系统校准时, 必须将零电平电压和满量程电压切换至ADC的模拟输入通道中。这可以利用具有低导通电阻的SPDT(单极双掷)CMOS开关来实现。其中一个开关输入可以与代表满量程值的模拟输入相连, 另一个输入可以与零电平电压相连。使用这种开关可以确保零电平校准和满量程校准的模拟输入信号链完全相同。这样, 系统零电平校准将会补偿开关的插入损耗。ADG736是一款双通道SPDT开关, 导通电阻(R_{on})低于 $4\ \Omega$, 匹配度优于 $0.4\ \Omega$ 。

AD7705/AD7706系列 Σ - Δ 型ADC应何时执行校准?

当出现下列情况时, 必须执行校准:

- 增益改变
- 更新速率改变
- 温度改变, 或者在共用系数寄存器但工作条件不同的两个通道之间切换时。

增益一旦改变, 增益范围之间便会出现匹配误差, 因此需要通过校准来消除这种误差。在增益1、2、4和8之间切换时, 可能不需要校准, 因为这种增益是通过通过对输入电容进行多重采样来实现的, 控制精确, 引入的误差极小。在任何

其它增益范围之间切换时，需要执行校准，因为此时的增益是通过电容的比例调整来实现的，处理误差等会引起电容误差。

如果更新速率由于某种原因而改变，则需要执行校准来更改校准系数，以便获得精确的数据结果。确定校准系数时，ADC架构内部使用总比例因子。因此，对于可用范围内的不同更新速率，器件所用的系数相差很大。

漂移误差是由温度变化引起的。利用校准可以有效地消除与温度漂移相关的任何误差。自校准会消除ADC本身的温度漂移效应。系统校准既可以消除ADC本身的漂移误差，也可以消除与前端信号调理电路相关的漂移误差。

系统应多久实施一次校准？

要确定系统的校准频次，需考虑：

- 转换器的精度要求是多少？
- ADC的漂移性能如何影响性能？
- 系统的工作温度范围是多少？

考虑这三个问题，就会明确多久需要校准一次。确定校准频率时，还应考虑其它系统参数，这些参数全都与电路对温度变化的敏感度有关：

- 寄生热电偶效应
- 基准电压源温度系数引起的增益漂移
- 转换器外部的漂移源

一般而言，精度要求越高，校准也应越频繁，以便维持系统精度。执行校准之后，高分辨率转换器会有一些相关的失调电压和增益漂移。例如，温度引起的AD7705失调电压漂移典型值为 $0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，增益漂移典型值为 $0.5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (满量程范围)。在评估温度对精度的全部影响时，还需要考虑寄生热电偶引起的温度效应以及转换器外部的漂移源。

如果执行了工厂系统校准，那么在工作现场不执行其它系统校准就可以消除ADC的温度漂移误差吗？

系统校准很容易作为工厂校准的一部分来实施，但在工作现场实施要困难得多，因为校准期间必须对模拟输入施加系统零电平和系统满量程电压，这些输入电压在工作现场可能并不容易获得。虽然执行了工厂系统校准，但用户在工作现场仍需要消除温度变化引起的ADC漂移误差。下面分两部分概要说明解决这一问题的方法：首先是系统工厂校准，其次是现场校准。

工厂校准：

- 以所需的工作增益和更新速率执行自校准。
- 读取并存储校准寄存器的内容。失调电压= Z_0 ，增益= G_0 。
- 以与之前相同的所需工作增益和更新速率执行系统校准。
- 读取并存储校准寄存器的内容。失调电压= Z_S ，增益= G_S 。系统校准系数已载入ADC，系统可以交付现场使用。如果环境温度发生变化，需要按如下程序消除系统的失调电压和增益漂移误差：

现场校准：

- 以所需的工作增益和更新速率执行自校准。增益和更新速率必须与原来的自校准和系统校准保持一致。
- 读取校准寄存器的内容。失调电压= Z_1 ，增益= G_1 。
- 计算新的校准系数。

- 计算新的校准系数。

$$Z_N = Z_S + (Z_1 - Z_0)$$

$$G_N = G_S * (G_1 / G_0)$$

- 将 Z_N 和 G_N 写入校准寄存器。

该程序保留原始系统校准，但调整了校准系数，以消除ADC中因温度漂移引起的误差。它只能消除ADC引起的漂移误差，而不能消除模拟前端信号链引起的漂移误差。

可以手动更改校准系数，以适应标称范围之外的输入范围吗？

当用户需要与标称范围不同的特定输入范围，但由于校准期间无法提供零电平和满量程电压而无法实施系统校准时，便会出现这种情况。下面说明如何更改校准系数，以适应0至 V_{ref} 和 $\pm V_{ref}$ 之外的输入范围。首先必须使用自校准程序，选择适当的增益、输入范围、更新速率和双极性/单极性输入范围，对器件进行校准。用自校准程序所产生的系数来生成新系数。

例如，如果所需输入电压 V_{in} 表示为：

$$V_{in} = A * V_{REF} + B$$

其中 B 为失调电压， $A * V_{ref}$ 为输入跨度。

在自校准过程中，执行零电平校准时输入短路，执行满量程校准时则采用 V_{REF} 电压，因此 $A = 1$ 且 $B = 0$ 。为适应0至 V_{ref} 或 $\pm V_{ref}$ 标称范围之外的输入范围，可以实施以下程序。减去失调电压 B ，使得模拟输入电压为 B 时，输出码为零。将跨度调整至 $A * V_{REF}$ ，因此，该满量程电压将输出满量程码。

- 执行自校准，回读校准系数，并令：
- Z_0 =零电平系数，并且
- F_0 =满量程系数。

利用以下公式产生新系数 Z_N 和 F_N ，然后用新系数修改上述系数以适应新输入范围。

$$Z_N = Z_0 + (B * 2^{20} / (SPAN * F_0 / 2^{24}))$$

$$F_N = F_0 / A$$

其中 $SPAN$ 为标称条件下的满量程电压跨度，单极性模式下等于 $V_{REF}/$ 增益，双极性模式下等于 $2V_{REF}/$ 增益。

B 为失调电压（单位为 V ）， A 为应用于标称跨度的比例因子。为保证器件达到额定性能， A 的值必须在0.8至1.05之间。

- 将 Z_N 和 F_N 写入ADC校准寄存器，以适应新的输入范围。

例如，假设在单极性模式下执行自校准后，ADC的零电平系数为2,165,373，满量程系数为5,416,211。由于使用单极性模式，因此用于校准的范围为0至 V_{REF} ；当采用5 V电源时， V_{REF} 等于2.5 V。如果用户要求模拟输入范围为0.2 V至2.6 V，则 B 等于0.2， A 等于 $(2.6 - 0.2) / 2.5 = 0.96$ 。新的零电平系数 Z_N 为：

$$Z_N = 2,165,373 + (0.2 * 2^{20} / (2.5 * 5,416,211 / 2^{24})) = 2,425,218, \text{ 并且}$$

$$F_N = 5,416,211 / 0.96 = 5,641,886.$$

采用这种方案的前提条件是：用户知道所需输入范围的确切上下限，以及实际输入范围与标称输入范围的比率。

使用该方法时，如果用户能确保变量A在0.8至1.05之间，则ADC的性能仍会符合数据手册中提供的噪声特性。例如，AD7705以5 V电源、50 Hz更新速率和增益1工作时，均方根噪声值为4.1 μ V，这导致在单极性模式下，信号范围为0至2.5 V。如果更改输入范围，像上例一样在0.2 V至2.5 V之间变化，则在工作条件(更新速率、增益等)不变的情况下，噪声仍为4.1 μ V。对于原始范围，峰峰分辨率为： $\log(2.5 \text{ V} / 6.6 * 4.1 \mu\text{V}) / \log 2 = 16$ 位(四舍五入到最近的0.5位)。对于更改后的范围，峰峰分辨率同样为： $\log(2.4 \text{ V} / 6.6 * 1.5 \mu\text{V}) / \log 2 = 16$ 位(四舍五入到最近的0.5位)。