

ATE引脚电子器件的电平设置DAC校准

Minhaaz Shaik, 产品应用工程师

摘要

本文提供一种校准数模转换器(DAC)的方法, 专用于引脚电子器件驱动器、比较器、负载、PMU和DPS。DAC具有差分非线性(DNL)和积分非线性(INL)等非线性特性, 我们可以通过增益和偏置调整来尽可能降低这些特性。本文描述如何执行这些校准, 以改善电平设置性能。

简介

自动化测试设备(ATE)描述用于一次对单个或多个器件执行单次或一系列测试的测试仪器。不同类型的ATE测试电子器件、硬件和半导体器件。定时器件、DAC、ADC、多路复用器、继电器和开关都是测试仪或ATE系统中的支持模块。这些引脚电子器件可以利用精确的电压和电流提供信号和电源。这些精密信号通过电平设置DAC进行配置。在ATE产品系列中, 有些引脚电子器件包含校准寄存器, 有些校准设置存储在片外。本文介绍DAC的功能、误差, 以及如何通过增益和偏置调整进行校准。

数模转换器(DAC)

DAC是一种数据转换器, 用于将数字输入转换为相应的模拟输出电压。一个N位DAC可以支持 2^N 个输出电压。位数越高, DAC输出分辨率越高。

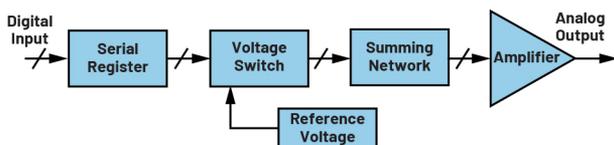


图1. 数模转换器(DAC)框图。

首先, N位数字输入提供给DAC串行寄存器。电压开关和电阻求和网络将数字输入转换为模拟输出电压。DAC图的转换特性如图2所示。对于3位DAC, 2^3 个数字输入生成8个模拟输出电压。

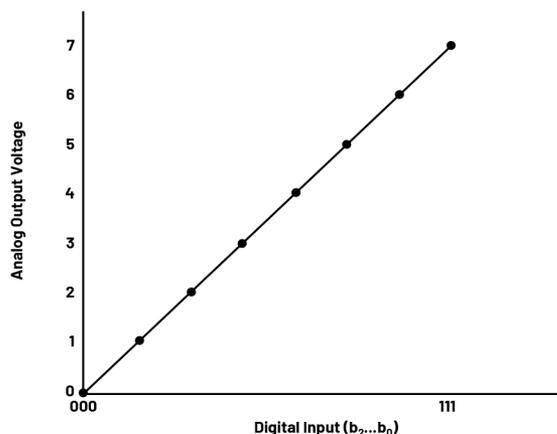


图2. 3位DAC的理想转换函数。

DAC误差

在现实世界中, 转换器并不理想。由于电阻值、插值和采样的误差, DAC的转换函数并不是一条直线, 或是线性的。这些误差被称为差分非线性(DNL)和积分非线性(INL)。DNL是输出电平与理想步长之间的最大偏差, 它由两个连续输出电压电平之间的差值得出。INL是输入/输出特性与理想转换函数之间的最大偏差。通过增益和偏置校正, 可以减小INL误差。

图3中的INL显示了实际转换函数与理想转换函数之间的偏差。DAC的增益误差表示实际转换函数的线性近似斜率与理想转换函数斜率的匹配程度。在绘图时, 调整增益会影响线性近似角度。偏置误差是测量值与所选的零偏置点之间的差值。如果调整偏置量, 整个线性近似曲线会相应地向上或向下移动。单个代码的INL是任意给定点上增益误差和偏置误差的和。校准之后, 一旦增益和偏置误差降至最低, 那么转换函数会是两个端点之间的一条线。

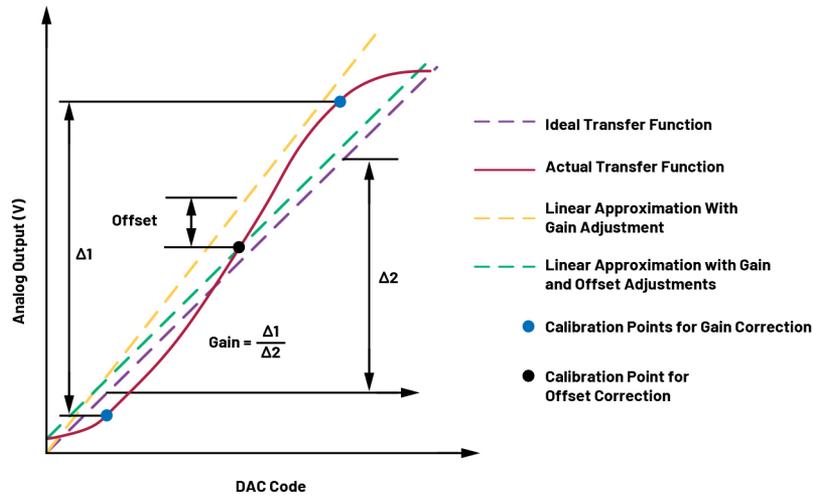


图3. INL误差转换函数。

校准程序

用户可以建立校准程序，利用增益和偏置校正来降低DAC的非线性。以下步骤详细说明了示例校准程序的每个步骤。

对于N位DAC:

$$\text{最大代码}(MC) = (2^N - 1)$$

电压范围(V_{RANGE})

$$= \text{最大DAC输出电压}(V_{MAX})$$

$$- \text{最小DAC输出电压}(V_{MIN}) = 4 \times V_{REF}$$

DAC输入代码 (未校准)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN})$$

► 增益校正(GC):

在最低和最高二进制值时，DAC的线性度会降低。因此，建议在外部二进制值或EC表推荐的校准点之间的5%至10%范围内选择校准点。进行以下计算时，我们假设选择5%的校准点。

- 将DAC输入设置为高于最低二进制值5%。计算预期的电压输出并将其记录为IDEAL1。测量输出电压，并将其记录为MEAS1。

- 将DAC输入设置为低于最高二进制值5%。计算并记录IDEAL2。测量输出电压，并将其记录为MEAS2。

$$GC = \frac{MEAS2 - MEAS1}{IDEAL2 - IDEAL1}$$

- DAC输入代码 (进行增益校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN}) \times \frac{1}{GC}$$

► 偏置校正(OC):

所需的零偏置点因应用而异。用户应该根据自己的应用定义最佳值。有些用户可能喜欢使用0V来获得准确的接地参考点。有些用户喜欢使用操作范围的中间值来尽量减少总体INL误差。

- 对电压-代码公式的斜率应用DAC增益校正，以确立单位增益。

- 选择所需的零偏置电压点并将其记录为IDEAL3。使用更新后的电压-代码公式计算代码。编程设置计算得出的代码，然后测量输出电压，并将其记录为MEAS3。

$$OC = MEAS3 - IDEAL3$$

- DAC输入代码 (进行增益和偏置校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN} - OC) \times \frac{1}{GC}$$

示例1

以MAX32007为例，它是一个八通道DCL，集成了电平设置DAC和PMU开关。MAX32007具有内部DAC，用于设置VDH、VDL、VDT/VCOM、VCH、VCL、VCPH和VCPL的电平。这些DAC没有内部校准寄存器。校准DAC时，请遵循以下步骤：

- 按照评估套件数据手册中的说明，启动MAX32007评估(EV)套件。

- 将SMB连接器DATA0A和INTRM0A连接至1.2 V。

- 通过50 Ω端接装置，将SMB连接器NDATA0A和TRM0A接地。

- 使用USB电缆，将评估套件连接至Windows® 10 PC。打开MAX32007评估套件软件(GUI)。

- VDH DAC分辨率 = $N = 14$

$$\text{最大代码} = (MC) = 2^N - 1 = 16383$$

电压范围(V_{RANGE})

$$= \text{最大DAC输出电压}(V_{MAX})$$

$$- \text{最小DAC输出电压}(V_{MIN}) = 7.5 - (-2.5) = 10$$

VDH DAC输入代码 (未校准)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN})$$

采用图4所示的DAC电压电平和驱动器设置。注意，最低VDH DAC工作电压值为-1.5 V，最高工作电压值为4.5 V；在本例中，零偏置点值为1.5 V。

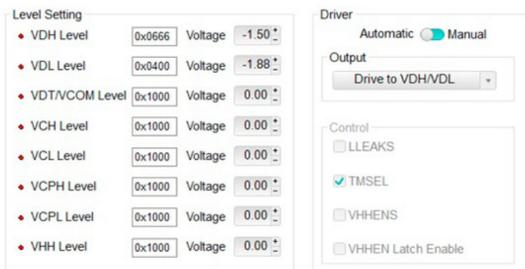


图4. 使用评估板软件设置MAX32007的DAC电平。

- ▶ 施加VDH = -1.5 V，然后测量输出电压值。
- ▶ 施加VDH = 4.5 V，然后测量输出电压值。
- ▶ 增益校正 = 测量输出电压值之间的差值/理想值之间的差值。例如，(4.501 - (-1.497)) / (4.5 - (-1.5)) = 0.999667。
- ▶ 进行增益校正后，

VDH DAC输入代码 (进行增益校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN}) \times \frac{1}{GC}$$

要应用增益校正，打开菜单 → 选项 → 校准，如图5所示。

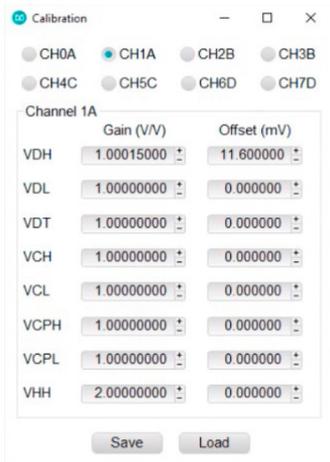


图5. MAX32007 DAC的校准菜单。

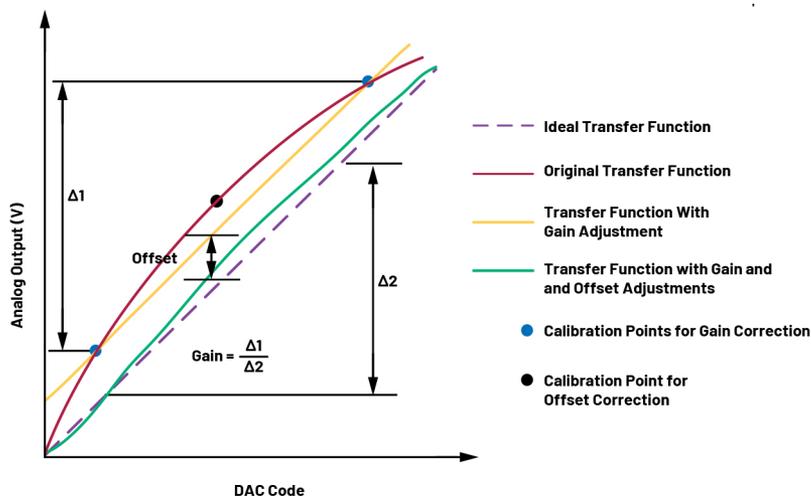


图6. 带校准寄存器的DAC的INL误差校正。

- ▶ 施加VDH=1.5 V (包含增益校正代码)，然后测量输出电压值。
- ▶ 偏置校正 = 测量输出值-理想值。例如，(1.502-1.5) = 0.002。
- ▶ 在执行增益和偏置校正之后，

VDH DAC输入代码 (进行增益和偏置校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN} + OC) \times \frac{1}{GC}$$

示例2

以MAX9979为例，它是一个八通道DCL，集成了电平设置DAC和PMU。MAX9979包含内部DAC，用于设置VDH、VDL、VDT、VCH、VCL、VCPH、VCPL、VCOM、VLDH、VLDL、VIN、VIOS、CLAMPHI/VHH和CLAMPLO的电平。这些DAC具有内部校准寄存器。在示例1中，调节了DAC输出代码，以尽量减少INL误差。在示例2中，DAC输入代码保持不变，校准寄存器调整输出级缓冲器以尽量减少INL误差，如图6所示。要校准DAC，请遵循以下步骤：

- ▶ 按照评估套件数据手册中的说明，启动MAX9979评估套件。
- ▶ 将SMB连接器DATA0A和NTRM0A连接至1.2 V。
- ▶ 通过50 Ω端接装置，将SMB连接器NDATA0A和TRM0A接地。
- ▶ 使用USB电缆，将评估套件连接至Windows 10 PC。打开MAX9979评估套件软件(GUI)。

- ▶ VDH DAC分辨率 = N = 16

最大代码 = (MC) = $2^{16} - 1 = 65535$

电压范围(V_{RANGE})

= 最大DAC输出电压(V_{MAX})

- 最小DAC输出电压(V_{MIN}) = $7.5 - (-2.5) = 10$

VDH DAC输入代码 (未进行增益校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN})$$

- ▶ 采用图7所示的DAC电压电平和驱动器设置。注意，VDH DAC的最低建议值为-1.5 V，最高建议值为4.5 V，零偏置点值为1.5 V。

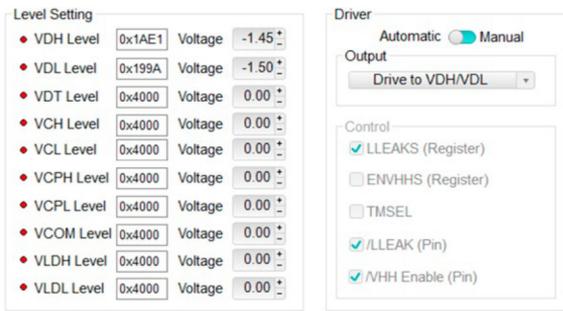


图7. 使用评估板软件设置MAX9979的DAC电平。

- ▶ 施加VDH = -1.45 V，然后测量输出电压值。
- ▶ 施加VDH = 6.5 V，然后测量输出电压值。
- ▶ 增益校正 = 测量输出电压值之间的差值/理想值之间的差值。例如，(6.501 V - (-1.455 V)) / (6.5 V - (-1.45 V)) = 1.0007 V。
- ▶ 进行增益校正后，

VDH DAC输入代码 (进行增益校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN}) \times \frac{I}{GC}$$

- ▶ 施加VDH = 1.5 V (包含增益校正代码)，然后测量输出电压值。
- ▶ 偏置校正 = 测量输出值 - 理想值。例如，(1.502 - 1.5) = 0.002。
- ▶ 在执行增益和偏置校正之后，

VDH DAC输入代码 (进行增益和偏置校正)

$$= \left(\frac{MC}{V_{RANGE}} \right) \times (V_{OUT} - V_{MIN} + OC) \times \frac{I}{GC}$$

注意，要执行增益和偏置校正，请转至**菜单** → **选项** → **更改** → **校准**，如图8所示。有关将增益和偏置校正转换为增益和偏置代码的更多信息，参见MAX9979数据手册。

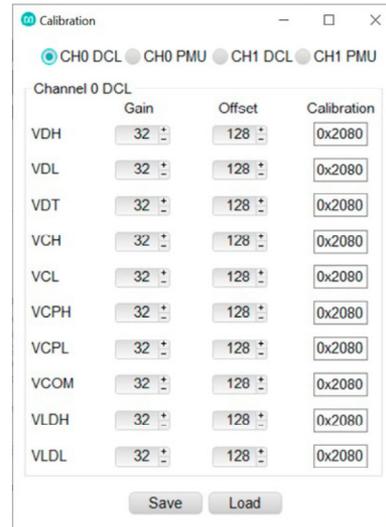


图8. MAX9979的校准寄存器设置。



作者简介

Minhaaz Shaik是ADI公司的一名技术人员，在模拟和混合信号领域作为应用/系统工程师，拥有超过5年的工作经验。Minhaaz主要负责自动化测试设备(ATE)引脚电子器件、ADC、DAC，以及电源监控器和接口IC等产品系列。她精通电子系统设计、实验室评估、自动化、客户支持和技术写作，并且深入了解SPICE仿真和电路设计。联系方式：minhaaz.shaik@analog.com。

