

Stellaris® LM3S ADC 校准

Sue Cozart

Stellaris® Microcontrollers

摘要

这份应用报告描述了提升 Stellaris® LM3S 微控制器上模数转换器 (ADC) 绝对精度的方法。由于固有的增益和偏移误差，ADC 的绝对精度会受到影响。本应用报告中描述的方法能够提升 ADC 结果的绝对精度。

内容

1	ADC 误差定义	1
2	误差影响	4
3	校准	6
4	结论	7
5	参考	7

1 ADC 误差定义

以下等式描述了一个没有误差的理想 ADC:

$$y = x * m_i$$

其中:

- x = 输入数量，计算方法为: 输入电压 * $1023/V_{REF}$ (对于一个 10 位 ADC)。
- x = 输入数量，计算方法为: 输入电压 * $4095/V_{REF}$ (对于一个 12 位 ADC)。
- y = 输出数量
- m_i = 理想增益 = 1.0000
- V_{REF} = 用伏特值表示的 ADC 电压基准

公式 1 中定义了实际 ADC 所显示的误差:

$$y = x * m_a + b \tag{1}$$

其中

- m_a = 实际增益 (其中包括电压基准中的误差)
- b = 实际偏移 (相对于 0 输入)

图 1 图示了实际和理想 ADC 输出。

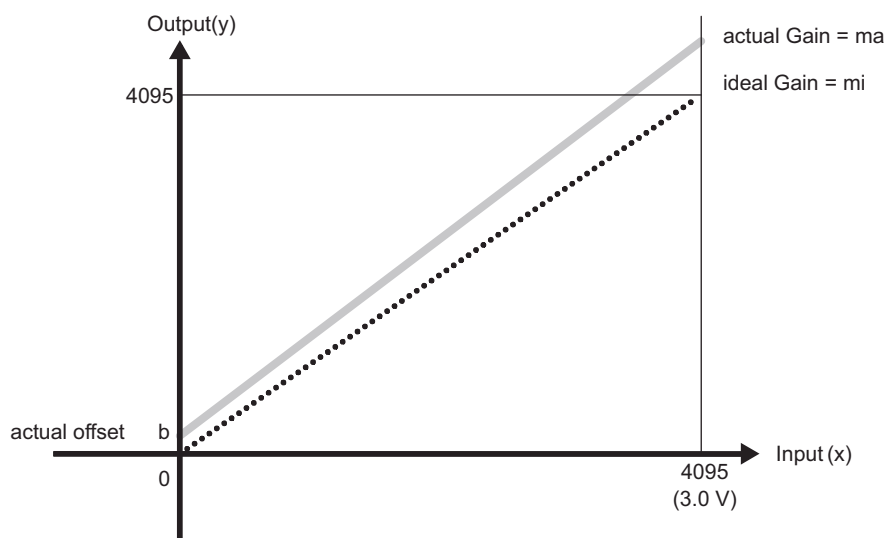


图 1. 实际和理想 ADC 输出图

Stellaris LM3S 微控制器属于以下级别中的一个：Sandstorm，Fury，DustDevil，Tempest 和 Firestorm。请访问以下网站来了解微控制器分别属于哪一级：

- Sandstorm—<http://www.ti.com/sandstorm>
- Fury—<http://www.ti.com/fury>
- DustDevil—<http://www.ti.com/dustdevil>
- Tempest—<http://www.ti.com/tempest>
- Firestorm—<http://www.ti.com/firestorm>

1.1 具有 10 位 ADC 的 Stellaris Sandstorm-，Fury- 和 DustDevil 级微控制器

具有 10 位 ADC 单元的 Stellaris Sandstorm-，Fury- 和 DustDevil 级微控制器的误差如下：

- 增益误差：±3 最低有效位 (LSB)
- 偏移误差：+6 LSB

可用两个选项中的一个来配置 ADC 电压基准：

- 变化幅度为 ±2.5% 的内部 3.0V 基准
- 变化幅度未知的外部电压基准

针对本应用报告的用途，使用了内部 3.0V 基准，然而，可针对外部电压基准来轻松修改计算方法。

将增益误差转换为百分比的计算方法如下：

$$1 \text{ LSB} = 3.0 \text{ V} / 1024 \text{ V/count} = 0.002930$$

$$; \text{ gain error is } \pm 0.008789 \text{ which is } \pm 0.293\% \text{ of } 3 \text{ V.}$$

内部基准误差为 ±2.5%。这个基准误差与增益误差组合在一起可确定实际增益。因此，ma 和 b 的值如下：

- $0.97207 < m_a < 1.02793$
- $0 < b < 6$

1.2 具有 10 位 ADC 的 Stellaris Tempest 级微控制器

具有 10 位 ADC 单元的 Stellaris Tempest 级微控制器的误差如下：

- 增益误差：±30 LSB
- 偏移误差：±20 LSB

ADC 电压基准可被配置成以下两个选项中的一个：

- 内部 3.0V 基准
- 外部电压基准

针对本应用报告的用途，使用了内部 3.0V 基准，然而，可针对外部电压基准来轻松修改计算方法。

将增益误差转换为百分比的计算方法如下：

$$1 \text{ LSB} = 3.0 \text{ V} / 1024 \text{ V/count} = 0.000293$$

$$\text{; gain error is } \pm 0.08789 \text{ which is } \pm 2.93\% \text{ of } 3 \text{ V.}$$

因此，ma 和 b 的值如下：

- $0.97027 < ma < 1.02793$
- $-20 < b < 20$

1.3 具有 12 位 ADC 的 Stellaris Firestorm 级微控制器

具有 12 位 ADC 单元的 Stellaris Firestorm 级微控制器的误差如下：

- 增益误差：±100 LSB
- 偏移误差：±40 LSB

可用三个选项中的一个来配置 ADC 电压基准：

- 内部 3.0V 基准
- 外部 3.0V 基准
- 外部 1.0V 基准

针对本应用报告的用途，使用了内部 3.0V 基准，然而，可针对其它可能的电压基准来轻松修改计算方法。

将增益误差转换为百分比的计算方法如下：

$$1 \text{ LSB} = 3.0 \text{ V} / 4096 \text{ V/count} = 0.0007324$$

$$\text{; gain error is } \pm 0.07324 \text{ which is } \pm 2.44\% \text{ of } 3 \text{ V.}$$

因此，ma 和 b 的值如下：

- $0.9756 < ma < 1.0244$
- $-40 < b < 40$

1.4 Stellaris Firestorm 级微控制器被设定为 10 位 ADC 模式

使用 10 位 ADC 分辨率的 Stellaris Firestorm 级微控制器的误差如下：

- 增益误差：±25 LSB
- 偏移误差：±10 LSB

可用三个选项中的一个来配置 ADC 电压基准：

- 内部 3.0V 基准
- 外部 3.0V 基准
- 外部 1.0V 基准

针对本应用报告的用途，使用了内部 3.0V 基准，然而，可针对其它可能的电压基准来轻松修改计算方法。

将增益误差转换为百分比的计算方法如下：

$$1 \text{ LSB} = 3.0 \text{ V} / 1024 \text{ V/count} = 0.000293$$

$$; \text{ gain error is } \pm 0.07324 \text{ which is } \pm 2.44\% \text{ of } 3 \text{ V}.$$

因此，ma 和 b 的值如下：

- $0.9756 < ma < 1.0244$
- $-10 < b < 10$

2 误差影响

ADC 误差会造成控制系统的误差。对这些误差的了解使您能够在设计中进行补偿。可用的输入电压范围受到 ADC 误差的影响。表 1 至表 4 显示了实际增益和偏移是如何影响 ADC 输出范围的，其中包括前一个部分中显示的内部 3.0V 基准误差。

表 1. 针对具有 10 位 ADC 的 Sandstorm-、Fury- 和 DustDevil 级微控制器线性输入范围的最差情况

	线性输入范围 (V)	线性输出范围 (数量)	有效位数	每数量 mV 分辨率
$y = x * 1.00$	0.0000 至 3.0000	0 至 1023	10.000	2.9326
$y = x * 1.00 + 6$	0.0000 至 2.9824	6 至 1023	9.990	2.9326
$y = x * 1.02793 + 6$	0.0000 至 2.9014	6 至 1023	9.990	9.990
$y = x * 0.97207 + 6$	0.0000 至 3.0000	6 至 1000	9.957	3.0181
安全范围	0.0000 至 2.8963	6 至 1000	9.957	2.9138

此表中的最后一行显示了器件运行的安全参数。如 3 节中，校准所示，可对偏移和增益误差进行补偿。校准后，ADC 的有效位数只会轻微减少（9.956 位）。每数量 mV 电压从 2.9326 减少为 2.9167，分辨率大约减少了 0.5%。

表 2. 针对具有 10 位 ADC 的 Tempest 级微控制器线性输入范围的最差情况

	线性输入范围 (V)	线性输出范围 (数量)	有效位数	每数量 mV 分辨率
$y = x * 1.00$	0.0000 至 3.0000	0 至 1023	10.000	2.9326
$y = x * 1.00 + 20$	0.0000 至 2.9414	20 至 1023	9.970	2.9326
$y = x * 1.00 - 20$	0.0586 至 3.0000	0 至 1003	9.970	2.9326
$y = x * 1.0293 + 20$	0.0000 至 2.8577	20 至 1023	9.970	2.8492
$y = x * 1.0293 - 20$	0.0569 至 2.9716	0 至 1023	10.000	2.8492
$y = x * 0.9707 + 20$	0.0000 至 3.0000	20 至 1013	9.956	3.0211
$y = x * 0.9707 - 20$	0.0604 至 3.0000	0 至 973	9.926	3.0211
安全范围	0.0604 至 2.8577	20 至 973	9.896	2.9353

此表中的最后一行显示了器件运行的安全参数。如 3 节中，校准所示，可对偏移和增益误差进行补偿。校准后，ADC 的有效位数只会轻微减少（9.896 位）。每数量 mV 电压从 2.9326 增加为 2.9353，分辨率大约减少了 0.09%。

表 3. 针对具有 12 位 ADC 的 Firestorm 级微控制器线性输入范围的最差情况

	线性输入范围 (V)	线性输出范围 (数量)	有效位数	每数量 mV 分辨率
$y = x * 1.00$	0.0000 至 3.0000	0 至 4095	12.000	0.7326
$y = x * 1.00 + 40$	0.0000 至 2.9707	40 至 4095	11.985	0.7326
$y = x * 1.00 - 40$	0.0293 至 3.0000	0 至 4055	11.985	0.7326
$y = x * 1.0244 + 40$	0.0000 至 2.8999	40 至 4095	11.985	0.7151
$y = x * 1.0244 - 40$	0.0286 至 2.9571	0 至 4095	12.000	0.7151
$y = x * 0.9756 + 40$	0.0000 至 3.0000	40 至 4035	11.964	0.7509
$y = x * 0.9756 - 40$	0.0300 至 3.0000	0 至 3955	11.949	0.7509
安全范围	0.0300 至 2.8999	40 至 3955	11.935	0.7340

此表中的最后一行显示了器件运行的安全参数。如3 节中，校准所示，可对偏移和增益误差进行补偿。校准后，ADC 的有效位数只会轻微减少（11.935 位）。每数量 mV 电压从 0.7326 增加为 0.7340，分辨率大约减少了 0.19%。

表 4. 被设定为 10 位 ADC 模式的 Firestorm 级微控制器线性输入范围的最差情况

	线性输入范围 (V)	线性输出范围 (数量)	有效位数	每数量 mV 分辨率
$y = x * 1.00$	0.0000 至 3.0000	0 至 1023	10.000	2.9326
$y = x * 1.00 + 10$	0.0000 至 2.9707	10 至 1023	9.984	2.9326
$y = x * 1.00 - 10$	0.0293 至 3.0000	0 至 1013	9.984	2.9326
$y = x * 1.0244 + 10$	0.0000 至 2.8999	10 至 1023	9.984	2.8627
$y = x * 1.0244 - 10$	0.0286 至 2.9571	0 至 1023	10.000	2.9627
$y = x * 0.9756 + 10$	0.0000 至 3.0000	10 至 1008	9.963	3.0061
$y = x * 0.9756 - 10$	0.0300 至 3.0000	0 至 988	9.948	3.0061
安全范围	0.0300 至 2.8999	10 至 988	9.937	2.9345

此表中的最后一行显示了器件运行的安全参数。如3 节中，校准所示，可对偏移和增益误差进行补偿。校准后，ADC 的有效位数只会轻微减少（9.937 位）。每数量 mV 电压从 2.9326 增加为 2.9345，分辨率大约减少了 0.06%。

3 校准

通过将两个已知的基准值提供给两个通道并计算校准增益和偏移来执行校准以补偿来自其它通道的输入读数。由于通道到通道误差较小，这个方法是可行的。使用基准可实现的精度在很大程度上取决于被提供给 ADC 的已知基准的精度。可获得的最佳可能精度受到 ADC 的通道至通道增益和偏移误差的限制。

图 2 显示了等式是如何测量 ADC 实际增益和偏移以及如何校准增益和偏移计算的。

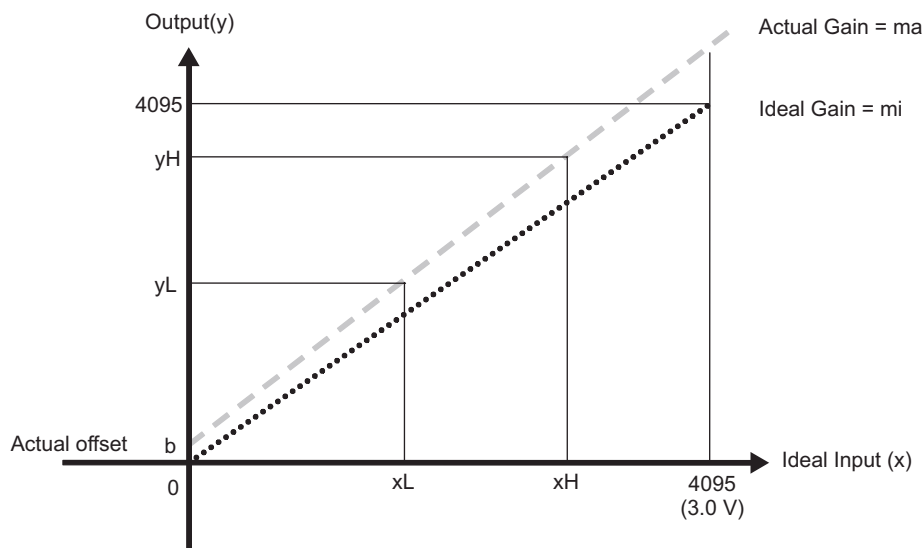


图 2. 测量实际增益和偏移的等式图

返回到公式 1:

$$y = x * ma + b$$

其中

- ma = 实际增益（其中包括电压基准中的误差）
- b = 实际偏移（相对于 0 输入）

公式 2 中描述了实际增益:

$$ma = (yH - yL) / (xH - xL) \quad (2)$$

其中

- xL = 已知基准低输入，使用 2 节中讨论的安全范围内的一个值
- xH = 已知基准高输入，使用 2 节中讨论的安全范围内的一个值
- yL = 基准低电平 ADC 输出
- yH = 基准高电平 ADC 输出

实际偏移可由公式 3 进行说明:

$$b = yL - xL * ma \quad (3)$$

使用上述定义。

校准等式 (公式 4) 可通过反转公式 1 (描述了 ADC 实际增益和偏移以及代入项) 的输入和输出得出:

$$\begin{aligned} x &= y * \text{CalGain} - \text{CalOffset} \\ y &= x * m_a + b \\ x &= (y - b) / m_a \\ x &= y / m_a - b / m_a \\ x &= y * \text{CalGain} - \text{CalOffset} \end{aligned} \quad (4)$$

其中

- $\text{CalGain} = 1 / m_a$
- $\text{CalOffset} = b / m_a$

如公式 5 所示, 通过代入公式 2 可得到 CalGain:

$$\text{CalGain} = (x_H - x_L) / (y_H - y_L) \quad (5)$$

如公式 6 中所示, 通过代入公式 3 可得到 CalOffset:

$$\begin{aligned} \text{CalOffset} &= (y_L - x_L * m_a) / m_a \\ \text{CalOffset} &= (y_L - x_L * m_a) / m_a \\ \text{CalOffset} &= y_L / m_a - x_L \\ \text{CalOffset} &= y_L * \text{CalGain} - x_L \end{aligned} \quad (6)$$

总的来说, 通过使用两个已知的基准 (x_L , y_L) 和 (x_H , y_H), 您能够使用以下公式来计算实际偏移和增益误差并计算校准增益和偏移:

- ADC 实际等式: $y = x * m_a + b$
- ADC 实际增益: $m_a = (y_H - y_L) / (x_H - x_L)$
- ADC 实际偏移: $b = y_L - x_L * m_a$
- ADC 校准等式: $x = y * \text{CalGain} - \text{CalOffset}$
- ADC 校准增益: $\text{CalGain} = (x_H - x_L) / (y_H - y_L)$
- ADC 校准偏移: $\text{CalOffset} = y_L * \text{CalGain} - x_L$

校准过程涉及以下四个基本步骤:

1. 读取已知的基准值输入通道 (y_L 和 y_H)。
2. 使用公式 5 计算校准增益 (CalGain)。
3. 使用公式 6 计算校准偏移 (CalOffset)。
4. 循环所有采用校准的通道。公式 4

4 结论

通过使用软件校准, 您能够对 Stellaris ADC 模块内固有的增益和偏移误差进行补偿并提升转换结果的精度。这个应用报告解释了这些误差的影响以及如何对它们进行补偿。

5 参考

以下相关文档和软件可从 Stellaris 网址 www.ti.com/stellaris。

- Stellaris LM3S 微控制器数据表 (产品选择工具中提供单独器件文档)。
- StellarisWare 驱动程序库用户手册, 版本号 SW-DRL-UG (文献编号 [SPMU019](#))。
- Stellaris 外设驱动程序库。可从 www.ti.com/tool/sw-drl 内下载。

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为 有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予 的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务 的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它 知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况 下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件 或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其在应用中使用的 TI 产品 相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见 故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因 在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特 有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使 用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同 意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独 力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要 求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司