

## 32 位微控制器

# HC32L110 / HC32F003 / HC32F005 系列的 ADC 误差分析与校准方法

### 适用对象

系列	产品型号
HC32L110	HC32L110C6UA
	HC32L110C6PA
	HC32L110C4UA
	HC32L110C4PA
	HC32L110B6PA
	HC32L110B4PA
HC32F003	HC32F003C4UA
	HC32F003C4PA
HC32F005	HC32F005C6UA
	HC32F005C6PA
	HC32F005D6UA

## 目 录

1	摘要 .....	3
2	功能介绍 .....	3
3	ADC 误差分析及校准方法 .....	4
3.1	ADC 转换误差示意图.....	4
3.2	ADC 误差介绍 .....	5
3.3	ADC 校准方法 .....	6
3.4	注意事项 .....	7
4	参考样例及驱动.....	8
5	总结 .....	8
6	其他信息 .....	8
7	版本信息 & 联系方式 .....	9

## 1 摘要

本篇应用笔记主要介绍 HC32L110 / HC32F003 / HC32F005 系列的 ADC 误差分析及校准方法。

本篇应用笔记主要包括：

- ADC 误差
- ADC 校准方法

注意：

- 本应用笔记为 HC32L110 / HC32F003 / HC32F005 系列的应用补充材料，不能代替用户手册，具体功能及寄存器的操作等相关事项请以用户手册为准。

## 2 功能介绍

本篇主要说明 HC32L110 / HC32F003 / HC32F005 系列 MCU 的 ADC 模块在系统板上的 Offset、Gain error 及校准方法，根据本篇校准方法可以对本芯片应用于系统板上的 ADC 进行校准，以便在系统板上能够得到准确的 ADC 转化的值。

### 3 ADC 误差分析及校准方法

#### 3.1 ADC 转换误差示意图

该示意图描述了 ADC 的理想值和实际值的区别，从图中可以看出 ADC 转换的误差。

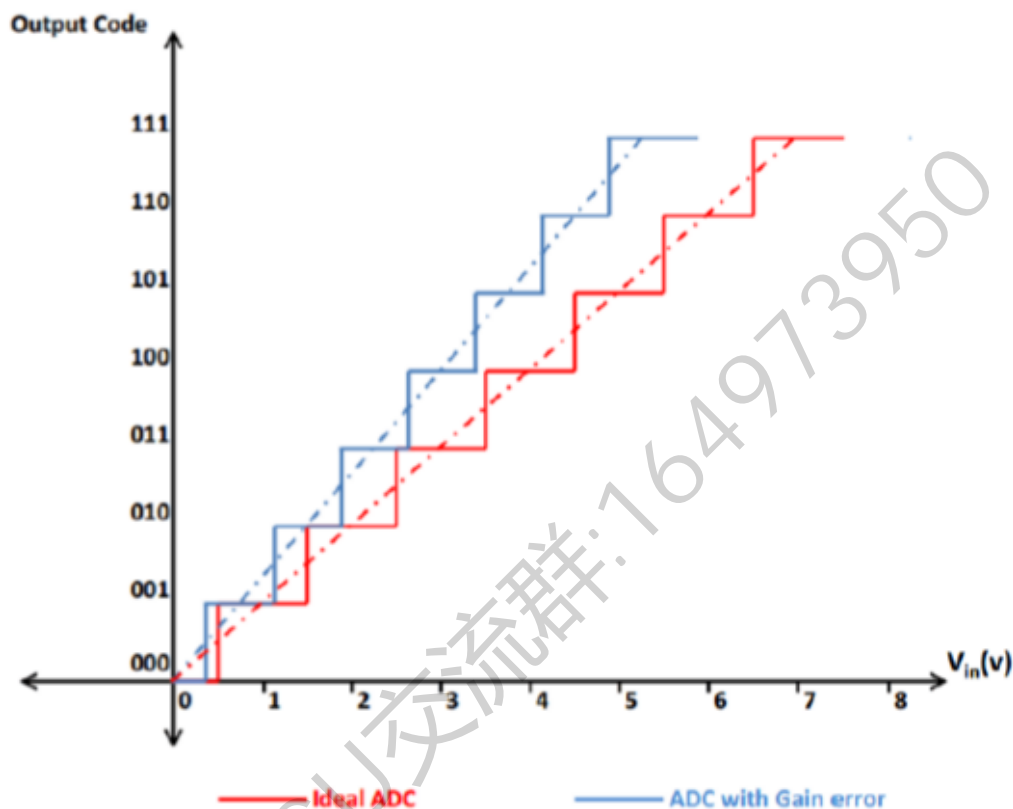


图 1 ADC 理想误差示意图

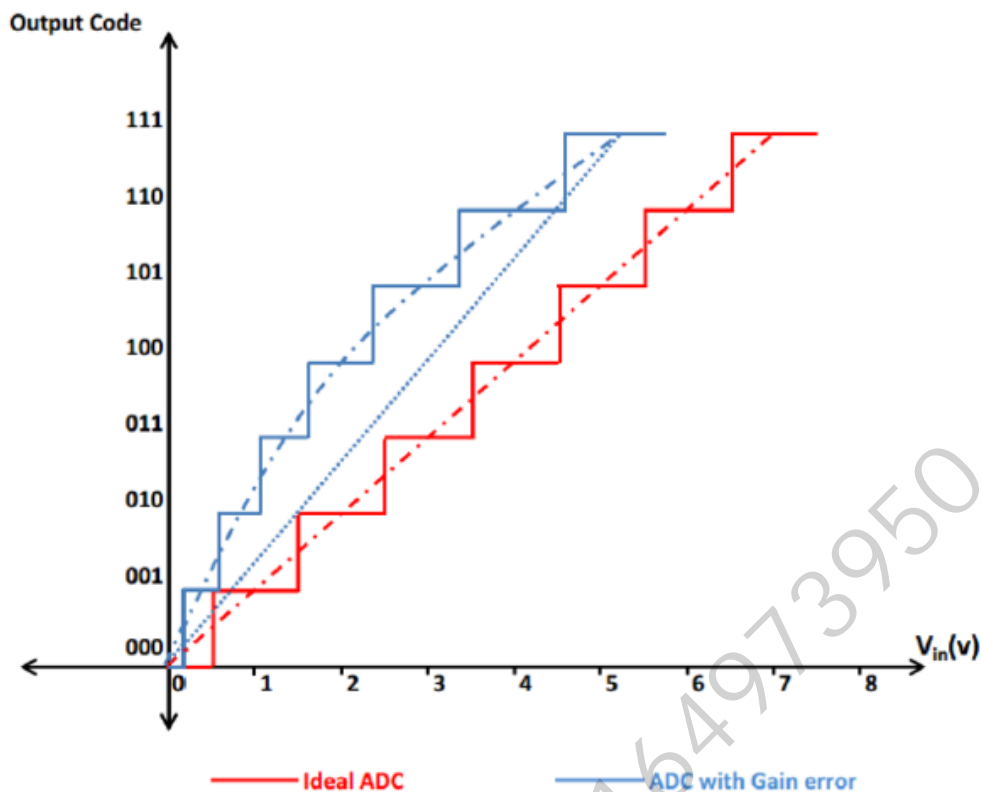


图 2 ADC 实际误差示意图

### 3.2 ADC 误差介绍

器件理想输出与实际输出之差定义为偏移误差，所有数字代码都存在这种误差。在实际中，偏移误差会使传递函数或模拟输入电压与对应数值输出代码间存在一个固定的偏移。通常计算偏移误差方法是测量第一个数字代码转换或“零”转换的电压，并将它与理论零点电压相比较。

增益误差是预估传递函数和实际斜率的差别，增益误差通常在模数转换器最末或最后一个传输代码转换点计算。

### 3.3 ADC 校准方法

如图 1 所示，红线为理想 ADC 的传输特性曲线，蓝线为实际 ADC 的传输特性曲线，对于一个理想的 ADC 来说，如果模拟输入和数字输出在 X 轴和 Y 轴增量相等，则它们之间的传输特性便如图 1 中红色虚线所示 ( $k=1$ )。然而，实际的 ADC 传输特性并非如此，蓝色虚线的增量系数并不等于 1。红色和蓝色虚线的差值，便是 Gain error。因此需要校准来尽量减小或消除增值误差。关于消除的方法，可以采用两点校准的办法进行。

校准 ADC 增益误差需要一个准确的基准（通常为 Band gap Ref）。对于一个实际的 ADC 来说，传输特性曲线并非是一条直线，即 ADC 输出和输入并不是线性关系。如图 2 所示。

最常用的一种校准方法——两点标定法：

这一方法假定 ADC 传输特性是一条直线。这种方法对于低输入是一个很好的选择，能有效地降低校准成本。在两点标定中，一个点可以选在 AD 输入的最低点，另一个选在接近最高点处。

举例来说，一个单端输入的 ADC，输入范围为 0-2.2V，我们可以采用一个基准为  $V_{ref1}=0V$  和一个为  $V_{ref2}=2.049$  的来进行校准。

校准公式为：

增益系数 =  $(V_{ref2} \text{ 时实际输出} - V_{ref1} \text{ 时实际输出}) / (V_{ref2} \text{ 时理想输出} - V_{ref1} \text{ 时理想输出})$

例如，一个输出对于一个  $V_{ref}$  时的实际输出为 99，二增益系数通过计算为 0.008，则实际输出为  $99 * 1.008 = 99.792$ 。

Offset 校准可以通过输入 0V 电压，用实际输出减去 0，得到 Offset 值。客户代码中可以把每次采集到的值减去 Offset 值，即能得到 ADC 采样值。

### 3.4 注意事项

ADC 的转换精度与参考电压的稳定度相关。稳定的参考电压可明显提高 ADC 的转换精度。该系列单片机的 ADC 可供选择的参考电压共有 4 种：电源电压、ExRef 引脚、内置 1.5v 参考电压、内置 2.5v 参考电压。电源电压会受到芯片内部数字电路的影响，具有一定的数字噪声。内置 1.5v 参考电压、内置 2.5v 参考电压均由电源电压通过 BGR 模块生成，也会具有一定的数字噪声。外部 ExRef 引脚的参考电压可以通过适当的电路调理（并联去耦电容），向 ADC 提供一个稳定的参考电压，在该工作条件下 ADC 具有最高的转换精度。其次，如果选择 AVCC / 内部 1.5V / 内部 2.5V 作为 ADC 的参考电压时，建议将 ExRef 引脚设为模拟功能并外接去耦电容。

使用 ADC 模块时，选择参考电压的优先级如下所示：

优先级序号	参考电压	ExRef 引脚配置
1	Exref	模拟引脚 + 去耦电容
2	VCC	模拟引脚 + 去耦电容
3	内部 1.5V / 2.5V	模拟引脚 + 去耦电容
4	内部 1.5V / 2.5V	数字引脚
5	VCC	数字引脚

## 4 参考样例及驱动

通过上述介绍，配合 HC32L110 / HC32F003 / HC32F005 系列的用户手册，我们对该系列 MCU 的 ADC 功能及操作方法有了进一步的掌握。

华大半导体（HDSC）官方同时提供了该模块的应用样例及驱动库，用户可通过打开样例的工程进一步直观地熟悉该模块以及驱动库的应用，在实际开发中也可以直接参考样例和使用驱动库来快速实现对该模块的操作。

- 样例参考：~\HC32L110\_DDL/example/adc  
~\HC32F003\_DDL/example/adc  
~\HC32F005\_DDL/example/adc
- 驱动库参考：~\HC32L110\_DDL/driver/.../adc  
~\HC32F003\_DDL/driver/.../adc  
~\HC32F005\_DDL/driver/.../adc

## 5 总结

以上章节简要介绍了 HC32L110 / HC32F003 / HC32F005 系列 ADC 误差及校准方法，详细说明了 ADC 的误差及校准方法，用户在实际的应用开发过程中，如果需要更深一步了解该模块的使用方法及操作事项，应以相应的用户手册为准。本篇中提到的样例及驱动库，既可以作为用户进一步的实验与学习，也可以在实际开发中直接应用。

## 6 其他信息

技术支持信息：[www.hdsc.com.cn](http://www.hdsc.com.cn)



## 7 版本信息 & 联系方式

日期	版本	修改记录
2018/5/31	Rev1.0	初版发布。
2018/6/6	Rev1.1	增加了 3.4 注意事项。



如果您在购买与使用过程中有任何意见或建议，请随时与我们联系。

Email : [mcu@hdsc.com.cn](mailto:mcu@hdsc.com.cn)

网址 : [www.hdsc.com.cn](http://www.hdsc.com.cn)

通信地址：上海市张江高科园区碧波路 572 弄 39 号

邮编：201203

