

ADC

1, ADC简介 (了解)

ADC, 全称: Analog-to-Digital Converter, 指模拟/数字转换器

1.1, 什么是ADC? 各类传感器->ADC->单片机->控制/显示

1.2, 常见的ADC类型

- 并联比较型
  - 优点: 转换速度最快
  - 缺点: 成本高、功耗高、分辨率低
- 逐次逼近型
  - 优点: 结构简单、功耗低
  - 缺点: 转换速度相对较慢

常见ADC类型: <https://blog.csdn.net/whereismatrix/article/details/81814431>

1.3, 并联比较型工作示意图 分压部分 + 比较部分 + 编码部分

1.4, 逐次逼近型工作示意图 控制电路+ 数码寄存器 + D/A转换器 + 电压比较器

特点: 分辨率和采样速度相互矛盾, 分辨率越高, 采样速率越低

1.5, ADC的特性参数

- 分辨率 表示ADC能辨别的最小模拟量, 用二进制位数表示, 比如: 8、10、12、16位等
- 转换时间 表示完成一次A/D转换所需要的时间, 转换时间越短, 采样率就可以越高
- 精度 最小刻度基础上叠加各种误差的参数, 精度受ADC性能、温度和气压等影响
- 量化误差 用数字量近似表示模拟量, 采用四舍五入原则, 此过程产生的误差为量化误差

1.6, STM32各系列ADC的主要特性

主要特性	F1	F4	F7	H7			
ADC类型	逐次逼近型						
分辨率	12位	6/8/10/12位	6/8/10/12位	8/10/12/14/16位			
ADC时钟频率	14MHz (max)	36MHz (max)					
采样时间	采样时间越长, 转换结果相对越准确, 但是转换速度就越慢						
转换时间	与ADC时钟频率、分辨率和采样时间等有关						
供电电压	V <sub>SSA</sub> : 0V, V <sub>DDA</sub> : 2.4V~3.6V (全速运行)						
参考电压	V <sub>REF</sub> : 0V, V <sub>REF1</sub> 一般为3.3V						
输入电压	V <sub>REF</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>REF+</sub>						

2, ADC工作原理 (掌握)

2.1, ADC框图简介 (F1/ F4/ F7/H7)

2.2, 参考电压/模拟部分电压 ADC供电电源: VSSA、VDDA (2.4V≤VDDA≤3.6V)

ADC输入电压范围: VREF-≤VIN≤VREF+ (即0V≤VIN≤3.3V)

2.3, 输入通道

2.4, 转换序列 规则组(16) 规则序列 SQRx, x=1~3

注入组(4) 注入序列 JSQR } 可以优先转换

2.5, 触发源

- (1) ADON位触发转换(仅限F1系列) 当ADC\_CR2寄存器的ADON位为1时, 再单独给ADON位写1, 只能启动规则组转换
- (2) 外部事件触发转换 规则组外部触发 注入组外部触发 } 不同系列有些区别, 请参考PPT

2.6, 转换时间

- 分辨率
- ADC工作时钟频率
- 采样时间 (每个通道支持单独设置)

主要和这三个因素有关

2.7, 数据寄存器 规则数据寄存器 ADCx\_DR

注入数据寄存器 ADCx\_JDRy(y=1~4)

数据可以设置右对齐或者左对齐

2.8, 中断 规则通道转换结束标志位 EOC } 其它中断事件请参考PPT

DMA请求 (只适用于规则组) 规则组每个通道转换结束后, 除了可以产生中断外, 还可以产生DMA请求, 我们利用DMA及时把转换好的数据传输到指定的内存里, 防止数据被覆盖。

2.9, 单次转换模式和连续转换模式

- 单次转换模式: 只触发一次转换
- 连续转换模式: 自动触发下一次转换

2.10, 扫描模式

- 关闭扫描模式: ADC只转换ADC\_SQRx或ADC\_JSQR选中的第一个通道进行转换
- 使用扫描模式: ADC会扫描所有被ADC\_SQRx或ADC\_JSQR选中的所有通道

不同模式组合的作用

- 单次转换模式 (不扫描) 只转换一个通道, 而且是一次, 需等待下一次触发
- 单次转换模式 (扫描) ADC\_SQRx 和ADC\_JSQR 选中的所有通道都转换一次
- 连续转换模式 (不扫描) 只会转换一个通道, 转换完后会自动执行下一次转换
- 连续转换模式 (扫描) ADC\_SQRx 和ADC\_JSQR 选中的所有通道都转换一次, 并自动进入下一轮转换

一种比较少用的模式: 不连续采样模式 (F1手册称为: 间断模式), 只适用在扫描模式下。

3, 单通道ADC采集实验 (熟悉)

3.1, 实验简要 (了解)

- 1, 功能描述 通过ADC1通道1 (PA1) 采集电位器的电压, 并显示ADC转换的数字量及换算后的电压值
- 2, 确定最小刻度 VREF+ = 3.3V, 0V≤VIN≤3.3V, 最小刻度 = 3.3 / 4096 } F4/F7/H7系列还需要考虑ADC分辨率
- 3, 确定转换时间 采样时间239.5个ADC时钟周期为例, 可以得到转换时间为21us
- 4, 模式组合 单次转换模式、不使用扫描模式

3.2, ADC寄存器介绍 (了解)

3.3, 单通道ADC采集实验配置步骤 (掌握)

- 1, 配置ADC工作参数、ADC校准 HAL\_ADC\_Init()、HAL\_ADCEx\_Calibration\_Start()
- 2, ADC MSP初始化 HAL\_ADC\_MspInit() 配置NVIC、CLOCK、GPIO等
- 3, 配置ADC相应通道相关参数 HAL\_ADC\_ConfigChannel()
- 4, 启动A/D转换 HAL\_ADC\_Start()
- 5, 等待规则通道转换完成 HAL\_ADC\_PollForConversion()
- 6, 获取规则通道A/D转换结果 HAL\_ADC\_GetValue()

3.4, 编程实战: 单通道ADC采集实验 (掌握)

4, 单通道ADC采集 (DMA读取) 实验 (熟悉)

4.1, 实验简要 (了解)

- 1, 功能描述 通过ADC1通道1 (PA1) 采集电位器的电压, 并显示ADC转换的数字量及换算后的电压值 } 通过DMA读取数据
- 2, 确定最小刻度 VREF+ = 3.3V, 0V≤VIN≤3.3V, 最小刻度 = 3.3 / 4096 } F4/F7/H7系列还需要考虑ADC分辨率
- 3, 确定转换时间 采样时间239.5个ADC时钟周期为例, 可以得到转换时间为21us
- 4, 模式组合 连续转换模式、不使用扫描模式

4.2, 单通道ADC采集 (DMA读取) 实验配置步骤 (掌握)

- 1, 初始化DMA HAL\_DMA\_Init()
- 2, 将DMA和ADC句柄联系起来 HAL\_LINKDMA()
- 3, 配置ADC工作参数、ADC校准 HAL\_ADC\_Init()、HAL\_ADCEx\_Calibration\_Start()
- 4, ADC MSP初始化 HAL\_ADC\_MspInit() 配置NVIC、CLOCK、GPIO等
- 5, 配置ADC相应通道相关参数 HAL\_ADC\_ConfigChannel()
- 6, 使能DMA数据流传输完成中断 HAL\_NVIC\_SetPriority()、HAL\_NVIC\_EnableIRQ()
- 7, 编写DMA数据流中断服务函数 DMAx\_Channely\_IRQHandler()
- 8, 启动DMA, 开启传输完成中断 HAL\_DMA\_Start\_IT()
- 9, 触发ADC转换, DMA传输数据 HAL\_ADC\_Start\_DMA()

4.3, 编程实战: 单通道ADC采集 (DMA读取) 实验 (掌握)

5, 多通道ADC采集 (DMA读取) 实验 (熟悉)

5.1, 实验简要 (了解)

- 1, 功能描述 通过ADC1通道0/1/2/3/4/5 (PA0/1/2/3/4/5) 采集测试电压, 并显示ADC转换的数字量及换算后的电压值 } 通过DMA读取数据
- 2, 确定最小刻度 VREF+ = 3.3V, 0V≤VIN≤3.3V, 最小刻度 = 3.3 / 4096 } F4/F7/H7系列还需要考虑ADC分辨率
- 3, 确定转换时间 采样时间239.5个ADC时钟周期为例, 可以得到转换时间为21us
- 4, 模式组合 连续转换模式、使用扫描模式

5.2, 编程实战: 多通道ADC采集 (DMA读取) 实验 (掌握)

6, 单通道ADC过采样实验 (熟悉)

6.1, 怎么用过采样和求均值的方式提高ADC的分辨率? (熟悉)

- (1) 如何确定过采样  $f_{os} = 4^n \cdot f_s$  根据要增加的分辨率位数计算过采样频率方程: 方程推导过程: <https://max.book118.com/html/2018/0506/165038217.shtm> 举个例子: 12位分辨率的ADC提高4位分辨率, 采样频率就要提高256倍 即需要256次采集才能得到一次16位分辨率的数据 然后将这256次采集结果求和, 求和的结果再右移4位, 就得到提高分辨率后的结果
- (2) 如何求均值 注意: 提高N位分辨率, 需要右移N位

6.2, 实验简要 (了解)

- 1, 功能描述 通过ADC1通道1 (PA1) 过采样实现16位分辨率采集电压, 并显示ADC转换的数字量及换算后的电压值 } 通过DMA读取数据
- 2, 确定最小刻度 VREF+ = 3.3V, 0V≤VIN≤3.3V, 最小刻度 = 3.3 / 4096 } F4/F7/H7系列还需要考虑ADC分辨率
- 3, 确定转换时间 采样时间设置为最小值1.5个ADC时钟周期, 可以得到转换时间为1.17us\*256
- 4, 模式组合 连续转换模式、不使用扫描模式

6.3, 编程实战: 单通道ADC过采样 (16位分辨率) 实验 (掌握)

7, 内部温度传感器实验 (熟悉)

7.1, STM32内部温度传感器简介 (了解)

主要特性	F1	F4	F7	H7
温度范围	-40~125°C			
精度(MAX)	±2°C			
采样时间	≥17.1us	≥10us	≥10us	≥9us
ADC通道	ADC1_IN16	ADC1_IN16(F407) ADC1_IN18(F429)	ADC1_IN18	ADC3_INP18
上电控制位	TSVREFE位			VSENSEEN位

7.2, 温度计算方法 (熟悉)

温度计算式子:

F1  $T(^{\circ}C) = \left( \frac{V_{25} - V_{SENSE}}{Avg\_Slope} \right) + 25$

V<sub>25</sub> = 25 °C时的V<sub>SENSE</sub>值 (典型值为: 1.43)

Avg\_Slope = 温度与 V<sub>SENSE</sub>曲线的平均斜率 (单位: mv/°C或 uv/°C) (典型值: 4.3mv/°C)

V<sub>SENSE</sub>是ADC转换的数字量

温度计算式子:

F4/F7  $T(^{\circ}C) = \left( \frac{V_{SENSE} - V_{25}}{Avg\_Slope} \right) + 25$

V<sub>25</sub> = 25 °C时的V<sub>SENSE</sub>值 (典型值为: 0.76)

Avg\_Slope = 温度与 V<sub>SENSE</sub>曲线的平均斜率 (单位: mv/°C或 uv/°C) (典型值: 2.5mv/°C)

V<sub>SENSE</sub>是ADC转换的数字量

温度计算式子:

H7  $T(^{\circ}C) = \left( \frac{110^{\circ}C - 30^{\circ}C}{TS\_CAL2 - TS\_CAL1} \right) \cdot (TS\_DATA - TS\_CAL1) + 30^{\circ}C$

符号	说明	内存地址
TS_CAL1	在 30°C 下获得的温度传感器校准值	0X1FF1 E820 ~ 0X1FF1 E821
TS_CAL2	在 110°C 下获得的温度传感器校准值	0X1FF1 E840 ~ 0X1FF1 E841
TS_DATA	ADC3_INP18 转换的数字量	-

7.3, 实验简要 (了解)

- 1, 功能描述 通过ADC1通道16采集芯片内部温度传感器的电压, 将电压值换算成温度后, 显示在液晶屏
- 2, 确定最小刻度 VREF+ = 3.3V, 0V≤VIN≤3.3V, 最小刻度 = 3.3 / 4096 } F4/F7/H7系列还需要考虑ADC分辨率
- 3, 确定转换时间 采样时间239.5个ADC时钟周期为例, 可以得到转换时间为21us
- 4, 模式组合 单次转换模式、不使用扫描模式

7.4, 编程实战: 内部温度传感器实验 (掌握)

8, 光敏传感器实验 (熟悉)

8.1, 光敏二极管简介 (了解)

- 1, 光敏二极管 核心是一个PN结, 对光强非常敏感, 单向导电性, 工作时需加反向电压
- 2, 暗电流 无光照时, 反向电流很小 (一般小于0.1微安), 称为暗电流
- 3, 光电流 有光照时, 光的强度越大, 反向电流也越大, 形成光电流 (非线性变化) 利用电流变化的特点, 串联一个电阻, 就可以得到电压的变化, 通过ADC读取, 从而知道光强变化

板载了光敏二极管的开发板有: 精英、战舰、探索者、MiniPro H750等

8.2, 实验原理 (熟悉)

注意: 反向接高低电平

8.3, 实验简要 (了解)

- 1, 功能描述 通过ADC3通道6 (PF8) 采集光敏二极管的电压, 然后转换为0~100的光线强度值, 并显示
- 2, 确定最小刻度 VREF+ = 3.3V, 0V≤VIN≤3.3V, 最小刻度 = 3.3 / 4096 } F4/F7/H7系列还需要考虑ADC分辨率
- 3, 确定转换时间 采样时间239.5个ADC时钟周期为例, 可以得到转换时间为21us
- 4, 模式组合 单次转换模式、不使用扫描模式

8.4, 编程实战: 光敏传感器实验 (掌握)

9, 课堂总结 (了解)