



复旦微电子

FM33A0XXEx

低功耗系列MCU

应用笔记

ADC 使用说明

AN0001

V3.0



本资料是为了让用户根据用途选择合适的上海复旦微电子集团股份有限公司（以下简称复旦微电子）的产品而提供的参考资料，不转让属于复旦微电子或者第三者所有的知识产权以及其他权利的许可。

在使用本资料所记载的信息最终做出有关信息和产品是否适用的判断前，请您务必将所有信息作为一个整体系统来进行评价。

采购方对于选择与使用本文描述的复旦微电子的产品和服务全权负责，复旦微电子不承担采购方选择与使用本文描述的产品和服务的责任。除非以书面形式明确地认可，复旦微电子的产品不推荐、不授权、不担保用于包括军事、航空、航天、救生及生命维持系统在内的，由于失效或故障可能导致人身伤亡、严重的财产或环境损失的产品或系统中。

未经复旦微电子的许可，不得翻印或者复制全部或部分本资料的内容。

今后日常的产品更新会在适当的时候发布，恕不另行通知。在购买本资料所记载的产品时，请预先向复旦微电子在当地的销售办事处确认最新信息，并请您通过各种方式关注复旦微电子公布的信息，包括复旦微电子的网站 (<http://www.fmsh.com/>)。

如果您需要了解有关本资料所记载的信息或产品的详情，请与上海复旦微电子集团股份有限公司在当地的销售办事处联系。

商 标

上海复旦微电子集团股份有限公司的公司名称、徽标以及“复旦”徽标均为上海复旦微电子集团股份有限公司及其分公司在中国的商标或注册商标。

上海复旦微电子集团股份有限公司在中国发布，版权所有。

上海复旦微电子集团股份有限公司
Shanghai Fudan Microelectronics Group Company Limited

应用笔记

AN0001—ADC 使用说明

版本 3.0

论坛: <http://www.fmdevelopers.com.cn>



目 录

1 说明.....	1
2 Sigma-Delta ADC.....	1
2.2 工作原理.....	1
2.2 工作时序.....	2
2.3.1 内部累加模式.....	2
2.3.2 外部累加模式.....	3
2.3 定标模式以及 NVR 地址.....	4
版本信息.....	7
上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服务中心.....	7



图目录

图 2-1 Sigma-Delta ADC 结构框图.....	1
图 2-2 内部累加时序.....	2
图 2-3 外部累加时序.....	3

表目录

表 2-1 测电压—内部累加模式 K&B 地址.....	4
表 2-2 测电压—外部累加模式 K&B 地址.....	5
表 2-3 测温度—内部累加模式 30 度定标值地址.....	6
表 2-4 测温度—外部累加模式 30 度定标值地址.....	6

1 说明

本文档为低功耗 MCU 的 Sigma-Delta ADC 应用笔记，用于说明 ADC 的基本应用方法。FM33A0XXEx 系列是复旦微电子公司开发的低功耗 MCU 芯片，请联系复旦微电子公司提供更多相关文档支持设计开发。

2 Sigma-Delta ADC

2.2 工作原理

一阶的 Sigma-Delta ADC 整个环路由一个积分器，一个量化器（比较器）和反馈回路的一个 1 位的 DAC 组成，如图 2-1。

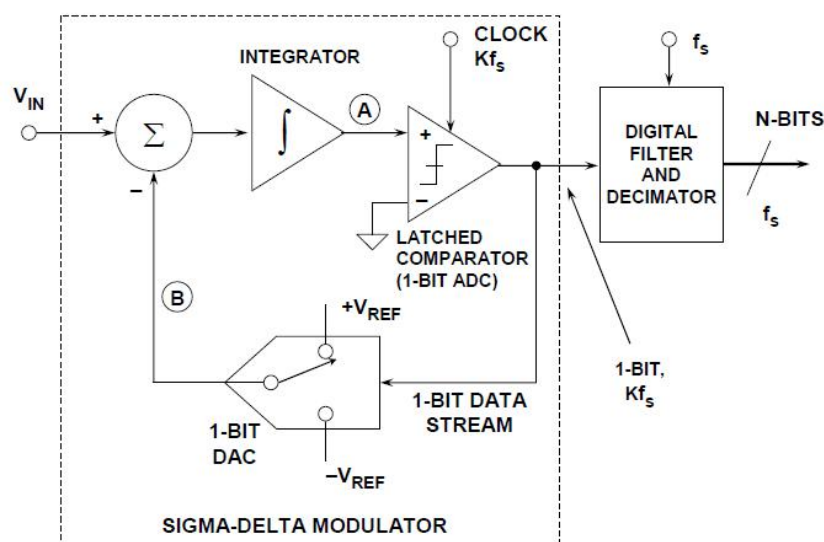


图 2-1 Sigma-Delta ADC 结构框图

大致的工作流程：

通过 TRIM 值设定一次输出结果的累加周期，积分器前端只有两个电平进来（一个是输入的模拟信号，一个是 DAC 输出反馈的信号），一个 ADC 时钟周期，比较器输出 1bit 码流——当积分器输出端 A 的结果是大于 0 时，比较器输出为 1，切换 DAC 输入为 -Vref；当积分器输出端 A 的结果是小于 0 时，比较器输出为 0。切换 DAC 输入为 Vref，最终理想状态积分器的结果是 0，比较器输出码流 1 的个数就是其 ADC 采样值

2.2 工作时序

2.3.1 内部累加模式

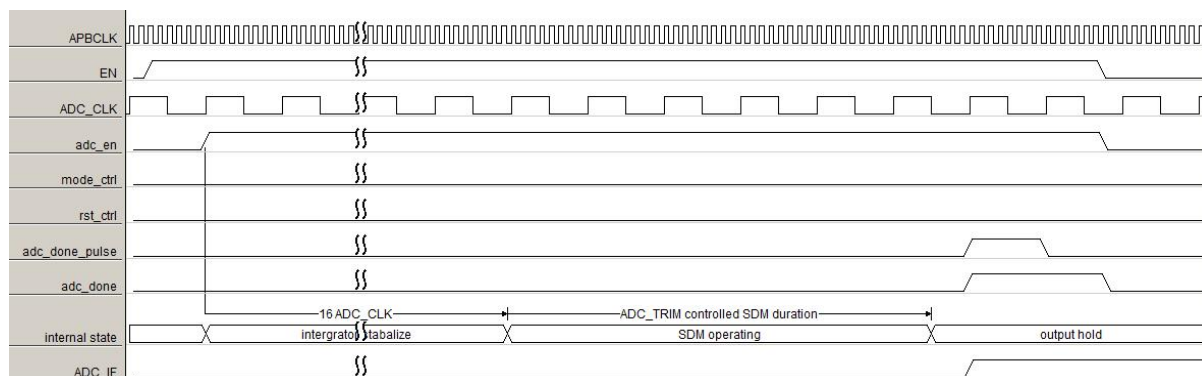


图 2-2 内部累加时序

这种情况下不需要数字电路控制mode_ctrl信号(ADC_CR.MODE=0)和rst_ctrl (ADC_CR.RSTCTRL_EN保持为0)，数字电路只需要用一拍ADC_CLK同步后产生en
说明：

- ①每个累加周期结束后数字电路产生一个ADC_CLK宽度的acc_done_pulse信号，此信号上升沿异步置位ADC_IF中断标志。
- ②在第一次转换结束后，ADC_DONE置1，直到ADC的EN被异步清零后才置0
- ③16ADCA_CLK为积分器的建立时间
- ④输出数据有效位宽由TRIM值决定，实际累加周期 $\text{Period} = \text{TRIM} * 2 * \text{TADC_CLK}$

推荐的软件使用方法：

- 使能ADC控制器总线时钟和ADC工作时钟
- 配置MODE寄存器为0
- 置位EN寄存器
- 等待ADC转换完成标志，读取结果

2.3.2 外部累加模式

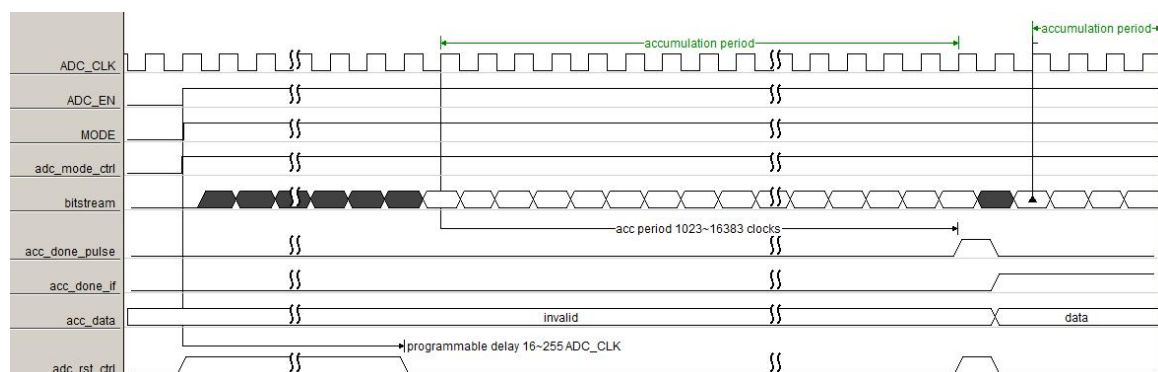


图 2-3 外部累加时序

这种情况下，硬件电路需要控制 `mode_ctrl` 信号(`ADC_CR.MODE=1`)；外部累加器模式下还要控制 `rst_ctrl` 信号（必须置位 `ADC_CR.RSTCTRL_EN` 寄存器）

说明：

- ①ADC使能后，如果`MODE=1`，则数字电路同步置位`rst_ctrl`信号，延迟可配置时间（通过`ADC_CFGR.RST_CTRL_DELAYB`配置16~255个`ADC_CLK`周期）后再清零ADC的`rst_ctrl`信号，同时`INIT_RDY`置位，表示ADC初始化完成。
- ②累加周期软件可配置，最短1023最长16383 `ADC_CLK`
- ③一个累加周期结束后数字电路产生一个`ADC_CLK`宽度的`acc_done_pulse`信号，并置位累加完成中断，同时产生1个`ADC_CLK`宽度的`adc_rst_ctrl`信号，用于复位模拟电路积分器。为了使能积分器复位功能，软件须将`ADC_CR.RSTCTRL_EN`寄存器设置为1

推荐的软件使用方法：

- 外部累加器模式
- 使能ADC控制器总线时钟和ADC工作时钟
- 配置使能延迟周期（`rst_ctrl delay`）
- 配置累加器参数
- 配置`MODE`寄存器为1，`RSTCTRL_EN`为1
- 置位`EN`寄存器
- 等待累加完成标志，读取结果



2.3 定标模式以及 NVR 地址

一、针对ADC外部电压检测的K&B值（K——斜率；B——截距）

K&b为16bit存储，调用可参考

```
#define const_adc_Slope  (*((uint16_t)( 0x1FFFFB64)))
```

```
#define const_adc_Offset  (*((int16_t)( 0x1FFFFB66)))
```

①内部累加模式

表 2-1 测电压—内部累加模式 K&B 地址

内部累加模式（档位）	低功耗配置(K/B)
0xFF	K值:0x1FFFFB64 B值:0x1FFFFB66
0x1FF	K值:0x1FFFFB6C B值:0x1FFFFB6E
0x3FF	K值:0x1FFFFA84 B值:0x1FFFFA86

说明：内部累加不同档位，区别在于速度与位数的折中，低功耗0X3FF配置为例，如果ADC工作时钟为1M，则转换一次的时间为 $1\mu s \times 0x3FF \times 2 = 2ms$ ，位数则为11bit。

注意：芯片内部NVR区，删除内部累加各个档位的高功耗K&B值；

--若程序使用的档位为上图(低功耗模式)，则不需要关心注意事项；

--若程序使用高功耗模式，程序需修为低功耗模式，以TRIM=0x3FF为例：

```
#define const_adc_Slope  (*((uint16_t *) (0x1FFFFA84))) //ADC斜率，除1000后使用
#define const_adc_Offset  (*((int16_t *) (0x1FFFFA86))) //ADC截距，除100后使用，单位mV
void ADC_Init_ExVolt(void)
{
    CMU_PERCLK_SetableEx(PADCLK, ENABLE); //IO控制时钟寄存器使能
    CDIF_CR_INTF_EN_Setable(ENABLE); //跨电源域接口使能
    VRTC_Init_RCMF_Trim();
    VRTC_RCMFCR_EN_Setable(ENABLE);
    VRTC_ADCCR_CKS_Set(VRTC_ADCCR_CKS_RCMF_2); //ADC工作时钟选择
    VRTC_ADCCR_CKE_Setable(ENABLE); //ADC工作时钟使能

    AnalogIO(GPIOF, GPIO_Pin_6); //ADC_IN5
    GPIOx_ANEN_Setable(GPIOF, GPIO_Pin_6, ENABLE);
    ADC_CFGR_BUFSEL_Set(ADC_CFGR_BUFSEL_ADC_IN5); //ADC输入通道选择

    ADC_CFGR_BUFEN_Setable(DISABLE); //ADC输入通道buffer使能/禁止
    ADC_CR_MODE_Set(ADC_CR_MODE_INNER); //ADC工作模式选择内部累加器
    // ADC_TRIM_Write(0x7FF); //adc频率1M 时 计算时间4ms
    // ADC_TRIM_Write(0x3FF); //adc频率1M 时 计算时间2ms
    // ADC_TRIM_Write(0x1FF); //adc频率1M 时 计算时间1ms
    ADC_CR_HPEN_Set(ADC_CR_HPEN_1MHZ);

    ADC_CR_ADC_IE_Setable(DISABLE); //内部累加模式中断禁止
    ADC_CR_EN_Setable(DISABLE); //ADC关闭
}
```




②外部累加模式

表 2-2 测电压—外部累加模式 K&B 地址

外部累加模式14bit（档位）	低功耗配置(K/B)	高功耗配置(K/B)
TRIM=0x7FF	K值: 0x1FFFFA88 B值: 0x1FFFFA8A	K值: 0x1FFFFA8C B值: 0x1FFFFA8E

注意：使用外部累加模式时，高低功耗的K&B值不同；芯片内部NVR区，删除内部外部累加14bit TRIM=0x0的K&B值

--若程序使用低功耗模式，为适配各个版本芯片NVR地址映射，ADC初始化可参考如下

```

uint16 const_adc_Slope;
int16 const_adc_Offset;
void ADC_Init_ExVolt(void)
{
    CMU_PERCLK_SetableEx(PADCLK, ENABLE);           //IO控制时钟寄存器使能
    CDIF_CR_INTF_EN_Setable(ENABLE);                 //跨电源域接口使能
    VRTC_Init_RCMF_Trim();
    VRTC_RCMFCR_EN_Setable(ENABLE);
    VRTC_ADCCR_CKS_Set(VRTC_ADCCR_CKS_RCMF);          //ADC工作时钟选择
    VRTC_ADCCR_CKE_Setable(ENABLE);                  //ADC工作时钟使能

    AnalogIO(GPIOD, GPIO_Pin_1); //ADC_IN4
    GPIOx_ANEN_Setable(GPIOD, GPIO_Pin_1, ENABLE);
    ADC_CFGR_BUFSEL_Set(ADC_CFGR_BUFSEL_ADC_IN4);    //ADC输入通道选择

    ADC_CFGR_BUFEN_Setable(ENABLE);                  //ADC输入通道buffer使能/禁止
    ADC_CR_MODE_Set(ADC_CR_MODE_EXTERNAL);           //ADC工作模式选择外部累加器
    ADC_CR_RSTCTRL_EN_Setable(ENABLE);               //允许积分器外部复位
    ADC_CFGR_ACC_PERIOD_Set(ADC_CFGR_ACC_PERIOD_14BITS); //外部累加器累加周期配置
    ADC_CR_HPEN_Set(ADC_CR_HPEN_1MHZ);

    if(((uint16_t *) (0x1FFFFA88)) != 0xffff && ((uint16_t *) (0x1FFFFA8A)) != 0xffff)
    {
        const_adc_Slope = (*(uint16_t *) (0x1FFFFA88));
        const_adc_Offset = (*(int16_t *) (0x1FFFFA8A));
        ADC_TRIM_Write(0X7FF);
    }
    else if(((uint8_t *) (0x1FFFFA9C)) == 0xff && ((uint8_t *) (0x1FFFFA9D)) == 0xff)
    {
        const_adc_Slope = (*(uint16_t *) (0x1FFFFA96));
        const_adc_Offset = (*(int16_t *) (0x1FFFFA98));
        ADC_TRIM_Write(0X0);
    }
    else
    {
        const_adc_Slope = (*(uint16_t *) (0x1FFFFA98));
        const_adc_Offset = (*(int16_t *) (0x1FFFFA9A));
        ADC_TRIM_Write(0X0);
    }

    ADC_CR_ACC_IE_Setable(DISABLE);                  //外部累加模式中断禁止
    ADC_CR_EN_Setable(DISABLE);                      //ADC关闭
}

```

红框为ADC测外部电压的IO初始化（红色的部分），根据自己需求配置即可



二、针对ADC温度检测的定标值（30度下的ADC转换值）

温度定标准为16bit存储，调用可参考

```
#define const_T_30      *(uint16_t*) 0x1FFFFA92
```

①内部累加模式

表 2-3 测温度—内部累加模式 30 度定标值地址

内部累加模式（档位）	低功耗配置	高功耗配置
0x640	0x1FFFFA92	0x1FFFFA90
0x7FF	0x1FFFFB50	0x1FFFFB52

②外部累加模式

表 2-4 测温度—外部累模式 30 度定标值地址

外部累加模式14bit（档位）	低功耗配置	高功耗配置
TRIM=0x7FF	0x1FFFFB54	0x1FFFFB56



版本信息

版本号	发布日期	更改说明
1.0	2020.8	首次发布
2.0	2021.2	删掉内部累加累加高功耗 K&B 以及外部累加 14bit 0x0 的 K&B 值
3.0	2021.3	添加 ADC 使用的注意事项以及为了适配各个版本芯片，添加外部累加模式 14bit 的选择方法。

上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服网点

上海复旦微电子集团股份有限公司

地址：上海市国泰路 127 号 4 号楼

邮编：200433

电话：(86-021) 6565 5050

传真：(86-021) 6565 9115



上海复旦微电子（香港）股份有限公司

地址：香港九龙尖沙咀东嘉连威老道 98 号东海商业中心 5 楼 506 室

电话：(852) 2116 3288 2116 3338

传真：(852) 2116 0882

北京办事处

地址：北京市东城区东直门北小街青龙胡同 1 号歌华大厦 B 座 423 室

邮编：100007

电话：(86-10) 8418 6608

传真：(86-10) 8418 6211

深圳办事处

地址：深圳市华强北路 4002 号圣廷苑酒店世纪楼 1301 室

邮编：518028

电话：(86-0755) 8335 0911 8335 1011 8335 2011 8335 0611

传真：(86-0755) 8335 9011

台湾办事处

地址：台北市 114 内湖区内湖路一段 252 号 12 楼 1225 室

电话：(886-2) 7721 1889

传真：(886-2) 7722 3888

新加坡办事处

地址：237, Alexandra Road, #07-01, The Alexcior, Singapore 159929

电话：(65) 6472 3688

传真：(65) 6472 3669

北美办事处

地址：2490 W. Ray Road Suite#2 Chandler, AZ 85224 USA

电话：(480) 857-6500 ext 18

公司网址：<http://www.fmsh.com/>