



复旦微电子

# **FM33LG0XXA**

## **车用系列MCU**

### **应用笔记**

## **ADC 应用说明**

---

**AN0001**

**V2.2.1.0**



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 应用说明

版本 2.2.1.0

论坛: <http://www.fmdevelopers.com.cn>



## 目 录

1 说明 .....	1
2 原理 .....	1
2.1 概述 .....	1
2.2 结构框图 .....	2
2.3 工作时序 .....	2
2.4 工作原理 .....	4
2.4.1 以 VDDA 为基准源(推荐) .....	4
2.4.2 以 VREFP 为基准源 .....	5
2.4.3 温度传感器 .....	5
2.4.4 中断和 DMA .....	6
2.5 采样时间与输入阻抗参数 .....	8
2.6 Q&A .....	10
版本信息 .....	12
附录 .....	12
芯片寄存器介绍 .....	12
ADC 中断和状态寄存器 (ADC_ISR) .....	13
ADC 中断使能寄存器 (ADC_IER) .....	14
ADC 控制寄存器 1 (ADC_CR1) .....	15
ADC 控制寄存器 2 (ADC_CR2) .....	16
ADC 校准控制寄存器 (ADC_CALR) .....	16
ADC 配置寄存器 1 (ADC_CFGR1) .....	17
ADC 配置寄存器 2 (ADC_CFGR2) .....	19
ADC 采样时间控制寄存器 (ADC_SMTR) .....	21
ADC 通道控制寄存器 (ADC_CHER) .....	23
ADC 通道差分控制寄存器 (ADC_DCR) .....	24
ADC 数据寄存器 (ADC_DR) .....	25
AWD 阈值寄存器 (ADC_HLTR) .....	25
上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服务中心 .....	26



## 图目录

图 2- 1ADC 结构框图 .....	2
图 2- 2ADC 校准时序 .....	2
图 2- 3ADC 采样转换时序 .....	3
图 2- 4ADC 采样序列时序 .....	4
图 2- 5ADC 通道输入阻抗 .....	8

## 表目录

表 2- 1DMA 配置与功能 .....	8
表 2- 2ADC 输入阻抗 .....	10



## 1 说明

本文档为 FM33LG0XXA 系列车用 MCU 的应用笔记，用于说明 SAR ADC 的基本应用方法。FM33LG0XXA 系列是复旦微电子公司开发的车用 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 原理

### 2.1 概述

FM33LG0XXA 带有 2Msps 12bit SAR-ADC，可实现温度、电池电压或其他直流信号的测量功能。主要特点为：

- 工作电压 1.6~5.5V
- 输入信号幅度 0~VREF+
- 最高采样率 2Msps ( $F_{ADC}=32\text{Mhz}$ )
- 20 个外部输入通道：14 个快速通道，6 个慢速通道
- 7 个内部采样通道：温度传感器、内部基准测量、VDD/3 等
- 可配置的采样保持时间
- 支持单次转换和连续转换
- 支持 DMA
- 支持过采样硬件平均，最高 16bit 输出（256 次平均）
- 超低功耗架构

## 2.2 结构框图

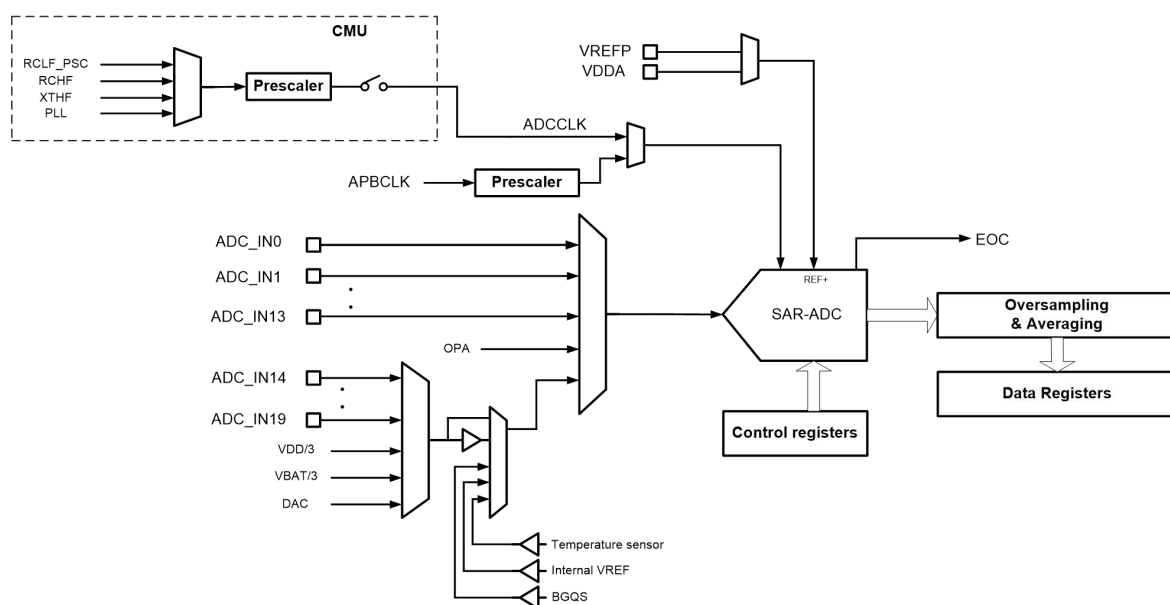


图 2- 1ADC 结构框图

## 2.3 工作时序

ADC 有 offset 校准和正常工作两种时序。

上电后建议先进行一次前台校准，以获得更好的性能。校准后无需重新校准，除非芯片发生全局复位，或者电源电压、温度发生较大变化。Offset 校准通过软件置位 CALEN 启动，校准过程包含多个采样转换周期，周期数由 OSCAL\_CYCLE 寄存器配置，一般推荐配置为 8，即完成校准需要 64 个 ADCCLK 周期。校准完成后置位 EOCAL 标志寄存器。

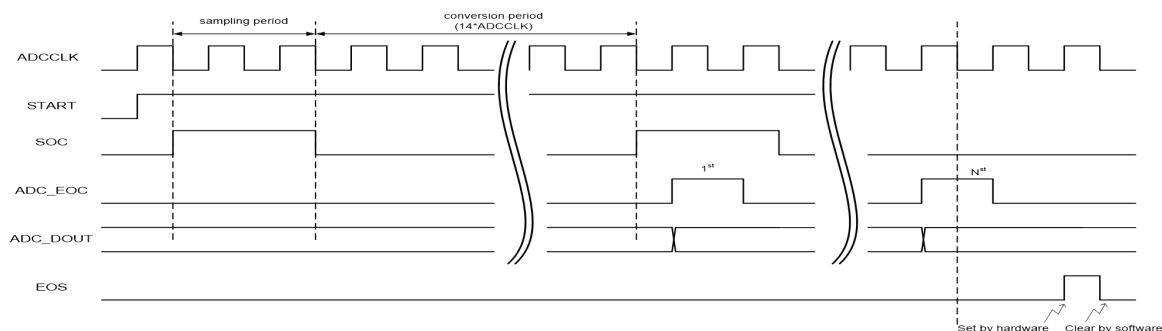


图 2- 2ADC 校准时序

采样转换时，通过 SOC 信号启动 ADC 采样，SOC 高电平宽度控制了 ADC 采样时间，SOC 变低后启动转换，转换周期为 14 个 ADC\_CLK 周期，采样时间可配置，最短 2 个 ADC\_CLK，最长 512 个 ADC\_CLK。ADC 采样转换完成后产生 EOCONV（End of Conversion）信号，ADC 控制器在采样 EOCONV 后置位 EOC 标志寄存器，并且可以根据配置产生中断事件或 DMA 请求。

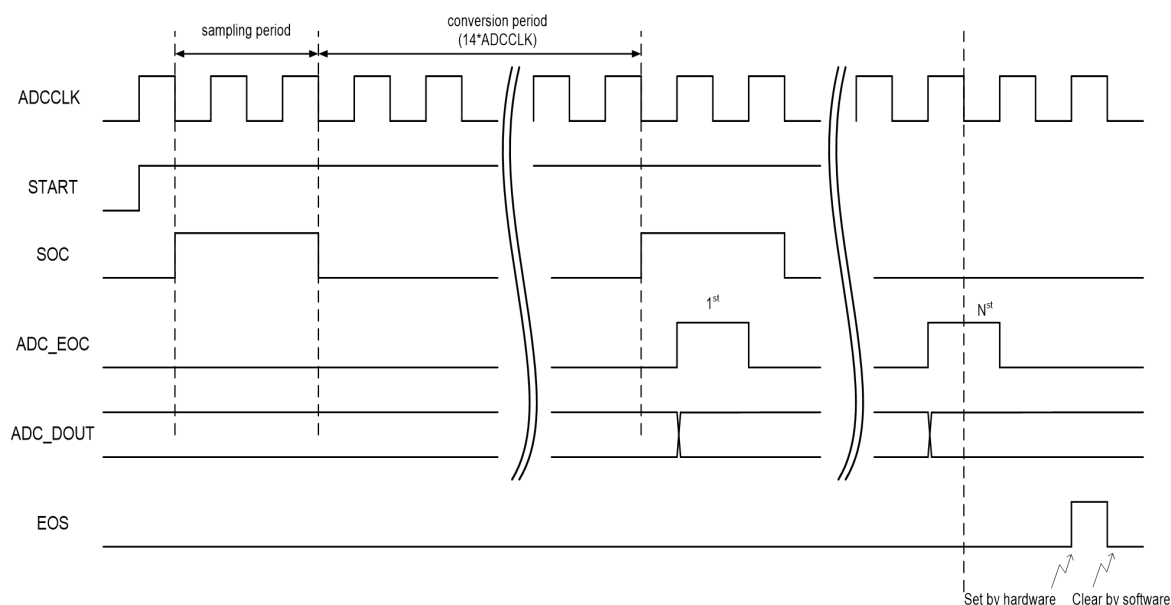


图 2- 3ADC 采样转换时序

多通道转换序列的时序示意图如下。ADC 对所有使能的输入通道依次完成一轮采样转换，成为一个转换序列。当所有使能的输入通道都被依次采样转换过后，ADC 控制器置位 EOS（End of Sequence）标志寄存器，并可以根据配置产生中断事件。

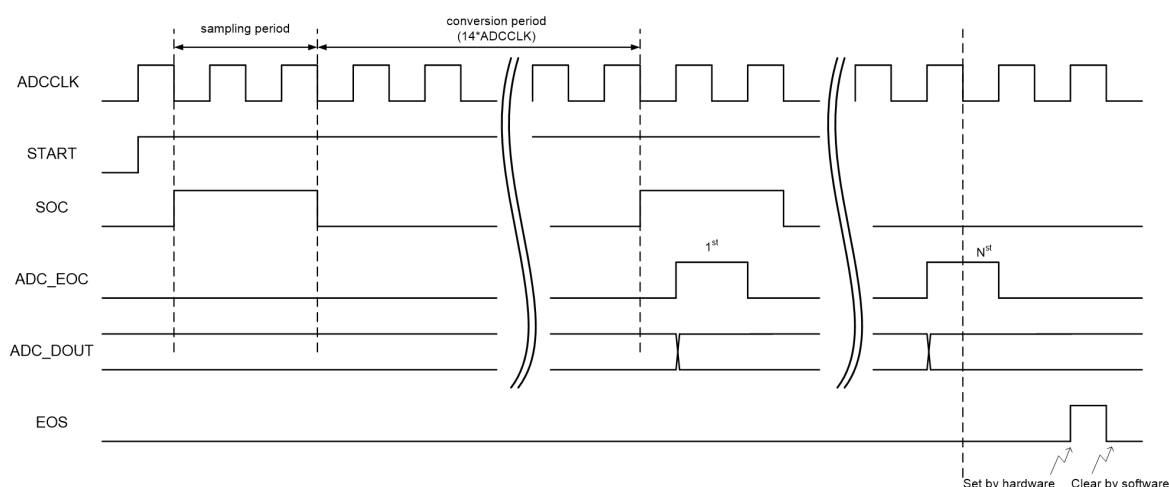


图 2- 4ADC 采样序列时序

SOC 信号对齐 ADC\_CLK 的下降沿,ADC 产生的 EOC 信号对齐 ADC\_CLK 的上升沿。

当 ADC\_CLK 为 16Mhz, 采样时间配置为 2\*ADCCLK 时, 转换速率为 1Msps。

当 ADC\_CLK 为 32Mhz, 采样时间配置为 2\*ADCCLK 时, 转换速率为 2Msps。

## 2.4 工作原理

### 2.4.1 以 VDDA 为基准源(推荐)

(1) ADC 的转换公式用于计算特定模拟输入电压对应的数字输出:

$$V_{channel} = \frac{ADC\_DATA}{4095} \times VDDA$$

(2)ADC 一般使用电源电压作为基准电压, 在电源电压发生变化时, 特定输入信号电平对应的转换值也会发生变化。为了能够得到准确的绝对电压, 可以使用高精度内部基准作为参考信号;

(3)首先, 芯片 FLASH 保存了 30C 环境温度下 VDDA=3.0V 条件下测量 VREF1P2 电压得到的转换值;

(4)芯片实际应用中, 由于不知道当前 VDDA 电压,ADC 先测量 VREF 得到转换值 VREFINT\_DATA, 通过以下公式得到当前实际的 VDDA:

$$VDDA = \frac{VREFINT\_CAL}{VREFINT\_DATA} \times 3V$$





(4)假设 ADC 对某个输入通道的采样值为 ADC\_DATA, 通过以下公式可以得到当前某个输入通道的实际电压(12bit 输出)

$$V_{channel} = \frac{VREFINT\_CAL \times ADC\_DATA}{VREFINT\_DATA \times 4096} \times 3V$$

(5)采用这个方式, 无需知道每颗芯片 VREF 的实际电压值, 仅需计算当前 VREF1P2 采样值和出厂测试值的比例, 但需保证测试时 VDDA 的电压精度和温度精度, 以尽可能的减小误差。

注: 应用程序时定义转换值变量需考虑位数, ADC\_DATA 为 12bit 无符号数, VREFINT\_CAL 是 3V 参考电压下 1.22V 的转换值, 为 11bit 无符号数, VREFINT\_DATA 最大为 1.8V 下的 1.22V, 为 12bit 无符号数。

## 2.4.2 以 VREFP 为基准源

若果使用 VREFP 作为基准源, 并且由内部 Buffer 驱动 VREFP 引脚, 则 ADC 的工作参考电压是确定的, 无需再通过采样内部基准信号来反推 ADC 参考电压。

此时采样外部通道时, 输入电压的实际电压(12bit 输出):

$$V_{channel} = \frac{ADC\_DATA}{4095} \times VREFP$$

**注意事项:** 使用 VREFP\_VREG 电路产生的基准源作为 ADC 的参考电压时, 需要在 VREFP 外部接 1uF 电容。在 VREFP\_VREG 关闭时, 电容上会被芯片内部微小的漏电慢慢充电, 几小时后电容可能会被充到 VDD。这时打开 VREFP\_VREG 进行 ADC 采样, 当前的 ADC 基准电压是高于设定值导致采样结果异常, 推荐解决方法:

- (1) 不考虑功耗的情况下, VREF1P2(~1.5 μA), VREFP(~50 μA)常开;
- (2) 硬件上在 VREFP 引脚对地接 M 级电阻放电;
- (3) 使用 VDDA 作为 ADC 基准源(推荐)

## 2.4.3 温度传感器

ADC 使用内部通道测量 PTAT 输出电压, 得到转换数据 TS\_DATA, 当 ADC 工作参考电压是 VDDA 时, 根据以下步骤可以计算当前实际温度:

- (1)由以下公式计算当前温度传感器输出的绝对电压值

$$V_{PTAT} = \frac{VREFIN\_CAL \times TS\_DATA}{VREFINT\_DATA \times 4095} \times 3V$$

- (2)由以下公式计算温度标定时 (30°C) 温度传感器输出的绝对电压值



$$VPTAT_{-30C} = \frac{TS\_CAL1}{4095} \times 3V$$

(3)根据温度传感器输出斜率计算当前绝对温度

$$\text{Temperature} = \frac{VPTAT - VPTAT_{-30C}}{3.06mV/C} + 30C$$

其中，TS\_DATA 是 ADC 采样当前温度传感器输出的转换值；由于不知道当前 VDDA 的准确电平，因此这个转换值需要根据 VREFINT 的转换结果进行比例缩放；TS\_CAL1 是芯片生产时在 30C+/-1C、VDDA=3.0V 的条件下进行温度定标的转换结果，这个数据保存在 flash 中。

Slope 表示温度传感器输出斜率，典型值为 3.06mV/°C，温度传感器输出的详细特性参见 6.3 温度传感器。

如果 ADC 当前工作参考电压是 VREFP，则当前温度可以通过下式计算：

$$\text{Temperature} = \frac{TS\_DATA \times \frac{VREFP}{3.0V} - TS\_CAL30}{slope} + 30C$$

#### 2.4.4 中断和 DMA

在多通道转换或连续转换时，使用 DMA 进行转换结果搬移是高效的解决方案。在使能了 DMAEN 的情况下，当每次转换完成后（EOC），ADC controller 模块会产生一个 DMA 请求，通知 DMA 将数据寄存器中的结果搬运到指定的 SRAM 地址。ADC 转换由触发事件启动，触发可以来自于软件触发或硬件触发。DMA 模式下支持一次触发后连续执行多次转换（自动模式），或者每次触发执行一次转换的方式（半自动模式）。

在自动模式下（ADC\_CFGR2.SEMI=0）和半自动模式下（ADC\_CFGR2.SEMI=1），ADC 的 DMA 接口都可以支持单次模式和循环模式：

(1)单次模式：转换完成后发起数据搬运，此过程会一直重复，直到软件配置的 DMA 传输长度完成，然后 ADC 控制器会自动停止转换（通过接收 DMA 的传输完成中断标志信号），关闭 ADC，不再向 DMA 发起请求。此模式主要用于对特定模拟信号进行一定长度的采样。

(2)循环模式：与 DMA 的循环模式相配合，ADC 不断循环转换并发起 DMA 请求，直到软件停止转换。此模式可以用于处理连续不断模拟信号采样。



通过 ADC\_CFGR2.SEMI 寄存器可以配置 DMA 模式下的自动或半自动转换, 通过 DMA 模块的 CHxCIRC 配置循环模式或单次模式, 通过 DMA 模块的 CHxTSIZE 配置传输长度。寄存器配置组合实现的效果如下表所示。

ADC_CFG R2.CONT	ADC_CFG R2.SEMI	DMA CHxCIRC	DMA CHxTSIZE	说明
0	0	0	N	单次全自动模式, 触发事件到来后, 依次对使能输入通道转换 N 次并将数据搬运到 SRAM; 所有使能输入通道都被采样过, ADC 自动停止并等待下一次触发; 如果数据搬运次数达到 N, DMA 自动关闭。
0	0	1	N	单次全自动模式 (循环存储), 触发事件到来后, 依次对使能输入通道不断转换并搬运数据, 直到所有使能输入通道都采样过, ADC 自动停止并等待下一次触发; RAM 数据空间长度为 N, 当搬运数据长度超过 N 之后回到 DMA 通道指针指向的起始地址, 并覆盖原数据。
0	1	0	N	单次半自动模式, 每个触发事件启动一次转换, 依次采样所有被使能的输入通道; 数据搬运次数达到 N, DMA 自动关闭。
0	1	1	N	单次半自动模式 (循环存储), 每个触发事件启动一次转换, 依次采样所有被使能的输入通道; RAM 数据空间长度为 N, 当搬运数据长度超过 N 之后回到 DMA 通道指针指向的起始地址, 并覆盖原数据。
1	x	0	N	连续模式, 触发后 ADC 不断采样使能通道, DMA 不断搬运数据, 直到完成 N 次数据搬运, DMA 自动关闭。
1	x	1	N	连续模式 (循环存储), 触发后 ADC 不断采样使能通道, DMA 不断搬运数据;

				RAM 数据空间长度为 N, 当搬运数据长度超过 N 之后回到起始地址覆盖原数据; 直到软件关闭 DMA。
--	--	--	--	---

表 2- 1DMA 配置与功能

在 DMA 使能情况下, 如果发生 overrun, 则 ADC 控制器不再发送 DMA 请求, 直到 OVR 标志被清除。

注意, 在单次和连续转换模式下, 都可以支持 DMA 传输; DMA 传输长度以 EOC 的次数定义, 而不是 EOS, 即 DMA 只关心搬运多少次 ADC\_DATA。

## 2.5 采样时间与输入阻抗参数

下图表示了 ADC 输入通道的阻抗分布。

- ADC\_Inx 表示快速外部通道
- ADC\_Iny 表示慢速外部通道
- $R_{IO}$  表示引脚输入开关阻抗,  $R_{ADC1}$  和  $R_{ADC2}$  表示 ADC 输入快速通道阻抗和慢速通道阻抗
- $C_S$  表示 ADC 内部采样电容, 典型值 3pF
- 阻抗参数参见后续表格

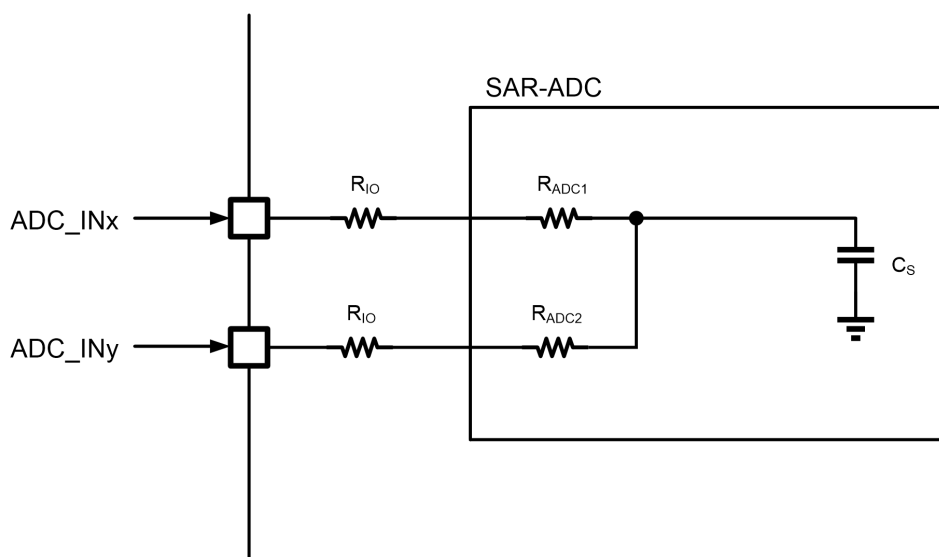


图 2- 5ADC 通道输入阻抗



ADC 输入信号采样时间最小值由被采样的模拟信号源内阻、信号输入通道阻抗、引脚寄生电容、采样电容共同决定。

ADC 采样外部输入信号的最小采样时间要求根据下式计算：

$$T_{\text{samp}} = \ln\left(\frac{2^n}{SA}\right) \times (R_{\text{AIN}} + R_{\text{ADC}} + R_{\text{IO}}) \times C_{\text{ADC}}$$

其中  $n=12$ ,  $SA=0.25\text{LSB}$ （指采样电容上的电压建立到被采样信号电平的  $0.25\text{LSB}$  误差以内）， $R_{\text{AIN}}$  表示被采样信号源内阻， $R_{\text{IO}}$  表示输入 IO 阻抗， $R_{\text{ADC}}$  表示 ADC 输入通道阻抗， $C_{\text{ADC}}$  表示 ADC 采样电容。其中  $R_{\text{IO}}$  为  $100\Omega$ 。

慢速通道的  $R_{\text{ADC}}$  受电源电压、温度和输入信号幅度影响，在输入信号为  $V_{\text{DDA}}/2$  时开关阻抗最大。快速通道则与输入信号幅度无关。以下表格提供了在不同电源、温度条件下，不同通道的  $R_{\text{ADC}}$  参数，用户可以根据这些参数以及信号源特性，计算所需的最小采样时间。

符号	VDDA	温度	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
快速通道，差分输入						
R <sub>ADC</sub>	5V	25C	-	182	-	Ω
		85C	-	240	303	
		-40C	-	126	159	
	3.3V	25C	-	280	-	
		85C	-	360	467	
		-40C	-	200	259	
	1.6V	25C	-	972	-	
		85C	-	1100	1612	
		-40C	-	819	1285	
快速通道，单端输入						
R <sub>ADC</sub>	5V	25C	-	2222	-	Ω
		85C	-	2391	2724	
		-40C	-	2172	2471	
	3.3V	25C	-	2320	-	
		85C	-	2513	2887	



符号	VDDA	温度	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
	1.6V	-40C	-	2244	2569	
		25C	-	2978	-	
		85C	-	3230	3973	
		-40C	-	2823	3511	
慢速通道，单端输入，输入信号电平 VDDA/2						
R <sub>ADC</sub>	5V	25C	-	1285	-	Ω
		85C	-	-	1704	
		-40C	-	-	1437	
	3.3V	25C	-	1568	-	
		85C	-	-	2169	
		-40C	-	-	1795	
	1.6V	25C	-	5123	-	
		85C	-	-	8088	
		-40C	-	-	16970	

表 2- 2ADC 输入阻抗

采样时间计算示例：

(1)假设采用快速通道单端采样一个信号源，信号源内阻为  $1K\Omega$ ，工作电源 VDDA=3.3V，工作温度 25C，则根据 Tsamp 公式，建议的最小采样时间为 107ns。如果 ADC 工作时钟是 16Mhz，相当于采样时间配置应大于 2 个 ADC 时钟。

(2)假设采用慢速通道采样一个信号源，信号源内阻为  $100K\Omega$ ，工作电源 VDDA=1.6V，工作温度 -40C~85C，则根据 Tsamp 公式，建议的最小采样时间为 3.4us。如果 ADC 工作时钟是 8Mhz，相当于采样时间配置应大于 28 个 ADC 时钟。

## 2.6 Q&A

1、ADC 工作下的功耗是多少，低功耗下可以正常工作吗？

->ADC 外设 VDD=3.3V 时功耗为 250uA 左右，VDD=5V 时功耗为 380uA 左右。可以正常工作，时钟选择低速时钟 RCLP，但是采样时间也会随之增加。



2、若是需要在低功耗模式下，运行 ADC 外设采集电源电压，且功耗在 100uA 内，如何解决？

->选择低速时钟外设，并不会降低 ADC 的运行功耗，可以使用定时采样的方法降低功耗，配置定时唤醒源，唤醒后还是采用高速时钟实现 ADC 的采样，功耗约为 30uA 左右。

3、ADC 可以配置通道采样顺序吗？DMA 的采样顺序是如何？

->仅支持正向和反向，默认正向扫描，仅扫描使能的通道。

4、修改 ADC 的 BITSEL 寄存器为 8bit 后，采样到的数据还是 12bit？

->\_FM33LG0xx 系列定标的是 12 位 ADC，所以采集到的低 4 位是 0，作补 0 用，如果需要使用 8 位 ADC，则进行移位操作将采样数移位成 8 位，并将定标值 ADC\_VREF 换算成 8 位计算。

5、ADC 的采样时间最小是多少？可以实现高速采样吗？

->快速通道的采样时间为 16 个 ADC 时钟左右，但是实际会包含执行时间等，实际测试的时间偏大。





## 版本信息

版本号	发布日期	更改说明
2.2.1.0	2022.3	首次发布

## 附录

### 芯片寄存器介绍

offset 地址	名称	符号
ADC(模块起始地址: 0x40015C00)		
0x00	ADC 中断和状态寄存器	ADC_ISR





	(ADC Interrupt and Status Register)	
0x04	ADC 中断使能寄存器 (ADC Interrupt Enable Register)	ADC_IER
0x08	ADC 控制寄存器 1 (ADC Control Register)	ADC_CR1
0x0C	ADC 控制寄存器 2 (ADC Control Register)	ADC_CR2
0x10	ADC 校准控制寄存器 (ADC Calibration Register)	ADC_CALR
0x14	ADC 配置寄存器 1 (ADC Config Register1)	ADC_CFGR1
0x18	ADC 配置寄存器 2 (ADC Config Register2)	ADC_CFGR2
0x1C	ADC 采样时间控制寄存器 (ADC Sampling Time Register)	ADC_SMTR
0x20	ADC 通道控制寄存器 (ADC Channel Enable Register)	ADC_CHER
0x24	ADC 差分通道控制寄存器 (ADC Differential Channel Control Register)	ADC_DCR
0x28	ADC 数据寄存器 (ADC Data Register)	ADC_DR
0x2C	ADC 模拟看门狗阈值寄存器 (ADC analog watchdog Threshold Register)	ADC_HLTR

### ADC 中断和状态寄存器 (ADC\_ISR)

名称	ADC_ISR							
offset	0x00							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	AWD_AH	AWD_UL	EOCAL	BUSY	OVR	EOS	EOC
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0



位号	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	AWD_AH	模拟看门狗超出上限中断标志 (Analog Watchdog Above High), 当采样值高于 AWD_HT 时, 硬件置位, 软件写 1 清零
5	AWD_UL	模拟看门狗低于下限中断标志 (Analog Watchdog Under Low), 当采样值低于 AWD_LT 时, 硬件置位, 软件写 1 清零
4	EOCAL	校准结束 (End Of Calibration), 硬件置位, 软件写 1 清零 1: 校准过程结束 0: 无校准过程 比较器校准和通道校准结束后都会置位 EOCAL 标志。
3	BUSY	ADC 忙标志 (ADC busy) 1: ADC 正在校准、采样或转换过程中 0: ADC 空闲
2	OVR	数据冲突标志, 硬件置位, 软件写 1 清零。(Over-Run) 当 ADC_DATA 寄存器中的上一次转换结果还未被读取, 新的转换结果又到来时, 硬件置位 OVR 标志。 0: 没有数据冲突 1: 出现数据冲突
1	EOS	转换序列结束 (End Of Sequence) 所有使能通道都转换完成后, 置位 EOS, 软件写 1 清零。
0	EOC	单次转换结束 (End Of Conversion) 每个通道转换完成后, 置位 EOC, 软件写 1 清零。

### ADC 中断使能寄存器 (ADC\_IER)

名称	ADC_IER							
offset	0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	AWD_AHIE	AWD_ULIE	EOCALIE	-	OVRIE	EOSIE	EOCIE
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
----	-----	------



位号	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	AWD_AHIE	模拟看门狗采样值高于上限中断使能, 1 有效
5	AWD_ULIE	模拟看门狗采样值低于上限中断使能, 1 有效
4	EOCALIE	校准结束中断使能寄存器 0: 禁止 EOCAL 中断 1: 允许 EOCAL 中断
3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	OVRIE	数据冲突中断使能寄存器 0: 禁止数据冲突中断 1: 允许数据冲突中断
1	EOSIE	转换序列结束 (End Of Sequence) 中断使能寄存器 0: 禁止 EOS 中断 1: 允许 EOS 中断
0	EOCIE	单次转换结束 (End Of Conversion) 中断使能寄存器 0: 禁止 EOC 中断 1: 允许 EOC 中断

### ADC 控制寄存器 1 (ADC\_CR1)

名称	ADC_CR1							
offset	0x08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						SWTRIG	ADEN
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	SWTRIG	ADC 启动转换寄存器 (软件触发), 软件写 1 启动, 硬件自动清零。
0	ADEN	ADC 使能寄存器。在启动转换前要先置位 ADEN 0: 关闭 ADC



位号	助记符	功能描述
		1: 使能 ADC

## ADC 控制寄存器 2 (ADC\_CR2)

名称	ADC_CR2							
offset	0x0C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						TRGCFG	
位权限	U-0						R/W-00	

位号	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
1:0	TRGCFG	触发信号使能和极性选择。(Trigger Config) 当配置为非软件触发时, 禁止软件写 START 寄存器。 00: 软件触发 01: 硬件上升沿触发 10: 硬件下降沿触发 11: 硬件上升、下降沿都触发

## ADC 校准控制寄存器 (ADC\_CALR)

名称	ADC_CALR							
offset	0x10							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	OSCAL_CYCLE							
位权限	R/W-0000 0111							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8



位名	-			OFFL_EN				
位权限	U-0			R/W-0				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	VCM_CTRL	VCM_MODE	CMPRDY_DELAY		-			CALEN
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-00		U-0			R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:24	-	RFU: 未实现, 读为 0
23:16	OSCAL_CYCLE	Offset 校准周期数配置
15:13	-	RFU: 未实现, 读为 0
12	OFFL_EN	离线校准使能 (offline calibration enable) 0: 自动校准 1: 离线校准
11:8	-	RFU: 未实现, 读为 0
7	VCM_CTRL	共模电流配置
6	VCM_MODE	VCM 控制模式 0: 正常 1: 长通
5:4	CMPRDY_DELAY	比较器延迟控制 00: 延迟最小 11: 延迟最大
3:1	-	RFU: 未实现, 读为 0
0	CALEN	Offset Calibration 使能 (Offset Calibration Enable) 软件写 1 启动校准周期, 校准结束后自动清零并置位 EOCAL 寄存器。 Offset 校准分为比较器校准和通道校准, 由 CALSEL 寄存器选择校准项目。两种校准都是由 CALEN 寄存器启动的。

### ADC 配置寄存器 1 (ADC\_CFGR1)

名称	ADC_CFGR1							
offset	0x14							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				BUFCHP_EN	BUFLPF	BUFMOD	BUFEN



位权限	U-0				R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	APBCLK_PSC		EXSOC	BITSEL		-	REFSEL	
位权限	R/W-00		R/W-0	R/W-00		U-0	R/W-00	

位号	助记符	功能描述
31:12	--	RFU: 未实现, 读为 0
11	BUFCHP_EN	缓冲器 chopper 使能 (Buffer chopper enable) 0: 关闭 chopper 功能 1: 使能 chopper 功能 注: 使能 chopper 的时候必须使能硬件过采样。
10	BUFLPF	慢速通道缓冲器低通滤波模式 (Buffer low-pass-filter mode) 0: 正常模式 1: 低通滤波模式
9	BUFMOD	慢速通道缓冲器功耗模式 (Buffer Mode) 0: 正常模式 1: 低功耗模式
8	BUFEN	慢速通道缓冲器使能 (Buffer Enable) 0: 关闭并 bypass buffer 1: enable buffer
7:6	APBCLK_PSC	APBCLK 用作 ADC 工作时钟前的预分频 (APBCLK prescaler) 00: 不分频 01: 2 分频 10: 4 分频 11: 8 分频
5	EXSOC	外部输入 SOC 使能 (External Start-of-conversion) 0: 禁止外部输入 SOC 1: 使能外部输入 SOC
4:3	BITSEL	ADC 输出位宽选择 (Bit-width) 00: 12 位 01: 10 位 10: 8 位 11: 6 位
2	CLKSEL	ADC 工作时钟选择 (Clock Select) 0: 使用 ADCCLK 工作 1: 使用 APBCLK 工作
1:0	REFSEL	ADC 基准源选择 (Reference Select) 00,11: 使用 VDDA 作为基准 01: 使用 VREFP 作为基准 10: 使用 VDD15 作为基准



## ADC 配置寄存器 2 (ADC\_CFGR2)

名称	ADC_CFGR2							
offset	0x18							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	AWDCH					AWDSC	AWDEN
位权限	U-0	R/W-00000					R/W-0	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	OVSS				OVSR			OVSEN
位权限	R/W-0000				R/W-000			R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	IOTRFE N	-		SEMI	WAIT	CONT	OVRM
位权限	U-0	R/W-0	U-0		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTS				-	SCANDI R	-	DMAEN
位权限	R/W-0000				U-0	R/W-0	U-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31	--	RFU: 未实现, 读为 0
30:26	AWDCH	模拟窗口看门狗监视通道选择, 仅在 AWDSC=1 时有效 00000: AWD 监视 ADC_IN0 00001: AWD 监视 ADC_IN1 00010: AWD 监视 ADC_IN2 00011: AWD 监视 ADC_IN3 00100: AWD 监视 ADC_IN4 00101: AWD 监视 ADC_IN5 00111: AWD 监视 ADC_IN6 01000: AWD 监视 ADC_IN7 01001: AWD 监视 ADC_IN8 01010: AWD 监视 ADC_IN9 01011: AWD 监视 ADC_IN10 01100: AWD 监视 ADC_IN11 01101: AWD 监视 ADC_IN12 01110: AWD 监视 ADC_IN13 01111: AWD 监视 ADC_IN14 10000: AWD 监视 ADC_IN15 10001: AWD 监视 ADC_IN16 10010: AWD 监视 ADC_IN17 10011: AWD 监视 ADC_IN18 10100: AWD 监视 ADC_IN19 10101: AWD 监视 ADC_IN20



位号	助记符	功能描述
		其他：保留
25	AWDSC	模拟窗口看门狗单通道或全通道选择 0：AWD 监视所有被使能的外部输入通道 1：AWD 监视 AWDCH 指定的单个通道
24	AWDEN	模拟窗口看门狗使能寄存器 0：关闭 AWD 1：使能 AWD 仅能在 START=0 的情况下配置此寄存器
23:20	OVSS	过采样移位控制寄存器 0000：不移位 0001：右移 1bit 0010：右移 2bit 0011：右移 3bit 0100：右移 4bit 0101：右移 5bit 0110：右移 6bit 0111：右移 7bit 1000：右移 8bit Others：RFU
19:17	OVSR	过采样率控制 000：2x 001：4x 010：8x 011：16x 100：32x 101：64x 110：128x 111：256x
16	OVSEN	过采样使能 0：禁止过采样 1：使能过采样
15	--	RFU：未实现，读为 0
14	IOTRFEN	引脚触发信号数字滤波使能 0：禁止数字滤波 1：使能数字滤波
13:12	--	RFU：未实现，读为 0
11	SEMI	单次转换半自动模式，仅在单次转换（CONT=0）时有效，参见“转换模式”章节 0：自动模式 1：半自动模式
10	WAIT	等待模式控制 0：无等待，如果上次转换数据没有及时读取，则可能出现 Overrun





位号	助记符	功能描述
		1: 等待模式, 在上次转换数据被读取前, 不会启动下一次转换
9	CONT	连续转换模式使能 0: 单次转换 1: 连续转换
8	OVRM	Overrun 模式控制 0: 当 overrun 发生时, 保持上次数据, 丢弃本次转换值 1: 当 overrun 发生时, 覆盖上次数据
7:4	EXTS	硬件触发源选择 0000: LUT0_TRGO 0001: LUT1_TRGO 0010: LUT2_TRGO 0011: ATIM_TRGO 0100: GPTIM1_TRGO 0101: GPTIM2_TRGO 0110: BSTIM16_TRGO 0111: LPTIM16_TRGO 1000: COMP1_TRGO 1001: COMP2_TRGO 1010: RTCA_TRGO 1011: LUT3_TRGO 1100: GPTIM0_TRGO 1101: COMP3_TRGO 1110: RFU 1111: RFU  注意: 必须在 TRGCFG=00 的情况下修改 EXTS 寄存器
3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	SCANDIR	外部通道扫描顺序控制 (共 26 个通道, 实际只会采样被使能的通道) 0: 前向扫描, ADC_IN0->ADC_IN19->内部通道 1: 反向扫描, 内部通道->ADC_IN19->ADC_IN0
1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	DMAEN	DMA 使能 0: 禁止 DMA 1: 使能 DMA

### ADC 采样时间控制寄存器 (ADC\_SMTR)

名称	ADC_SMTR							
offset	0x1C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							



位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SMTS2				SMTS1			
位权限	R/W-0000				R/W-0000			

位号	助记符	功能描述																																		
31:8	--	RFU：未实现，读为 0																																		
7:4	SMTS2	快速采样时间控制 2（*ADC 工作时钟周期），适用于所有快速通道																																		
		<table><tr><th>SMTSx</th><th>Sampling cycles</th></tr><tr><td>0000</td><td>2</td></tr><tr><td>0001</td><td>4</td></tr><tr><td>0010</td><td>8</td></tr><tr><td>0011</td><td>12</td></tr><tr><td>0100</td><td>16</td></tr><tr><td>0101</td><td>32</td></tr><tr><td>0110</td><td>64</td></tr><tr><td>0111</td><td>80</td></tr><tr><td>1000</td><td>96</td></tr><tr><td>1001</td><td>128</td></tr><tr><td>1010</td><td>160</td></tr><tr><td>1011</td><td>192</td></tr><tr><td>1100</td><td>256</td></tr><tr><td>1101</td><td>320</td></tr><tr><td>1110</td><td>384</td></tr><tr><td>1111</td><td>512</td></tr></table>	SMTSx	Sampling cycles	0000	2	0001	4	0010	8	0011	12	0100	16	0101	32	0110	64	0111	80	1000	96	1001	128	1010	160	1011	192	1100	256	1101	320	1110	384	1111	512
		SMTSx	Sampling cycles																																	
		0000	2																																	
		0001	4																																	
		0010	8																																	
		0011	12																																	
		0100	16																																	
		0101	32																																	
		0110	64																																	
		0111	80																																	
		1000	96																																	
		1001	128																																	
		1010	160																																	
		1011	192																																	
		1100	256																																	
		1101	320																																	
		1110	384																																	
1111	512																																			
3:0	SMTS1	慢速采样时间控制 1（*ADC 工作时钟周期），适用于所有慢速通道																																		
		<table><tr><th>SMTSx</th><th>Sampling cycles</th></tr><tr><td>0000</td><td>2</td></tr><tr><td>0001</td><td>4</td></tr><tr><td>0010</td><td>8</td></tr><tr><td>0011</td><td>12</td></tr><tr><td>0100</td><td>16</td></tr><tr><td>0101</td><td>32</td></tr></table>	SMTSx	Sampling cycles	0000	2	0001	4	0010	8	0011	12	0100	16	0101	32																				
		SMTSx	Sampling cycles																																	
		0000	2																																	
		0001	4																																	
		0010	8																																	
		0011	12																																	
		0100	16																																	
0101	32																																			



位号	助记符	功能描述	
		0110	64
		0111	80
		1000	96
		1001	128
		1010	160
		1011	192
		1100	256
		1101	320
		1110	384
		1111	512

### ADC 通道控制寄存器 (ADC\_CHER)

名称	ADC_CHER							
offset	0x20							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	OPA	DAC	VDD/3	VBAT/3	AVREF	TS	REFINT
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-				ECH19	ECH18	ECH17	ECH16
位权限	U-0				R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	ECH15	ECH14	ECH13	ECH12	ECH11	ECH10	ECH9	ECH8
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ECH7	ECH6	ECH5	ECH4	ECH3	ECH2	ECH1	ECH0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31	--	RFU: 未实现, 读为 0
30	OPA	OPA 输出测量, 写 1 使能
29	DAC	DAC 输出测量, 写 1 使能
28	VDD/3	VDD 分压测量, 写 1 使能
27	VBAT/3	VBAT 分压测量, 写 1 使能 <i>注意: VBAT 测量通道使能时, VBAT 分压电阻串自动使能, VBAT 电源下会增加一路功耗</i>
26	AVREF	快速基准源输出测量, 写 1 使能
25	TS	温度传感器测量通道, 写 1 使能
24	VREF1p2	内部基准电压测量通道, 写 1 使能



位号	助记符	功能描述
23:20	--	RFU: 未实现, 读为 0
19	ECH19	ADC_IN0~19 测量通道, 写 1 使能 其中, ADC_IN0~13 可以组成 7 对差分输入对, 也可以作为 14 个单端输入使用 ADC_IN14~19 只能用作单端输入
18	ECH18	
17	ECH17	
16	ECH16	
15	ECH15	
14	ECH14	
13	ECH13	
12	ECH12	
11	ECH11	
10	ECH10	
9	ECH9	
8	ECH8	
7	ECH7	
6	ECH6	
5	ECH5	
4	ECH4	
3	ECH3	
2	ECH2	
1	ECH1	
0	ECH0	

### ADC 通道差分控制寄存器 (ADC\_DCR)

名称	ADC_DCR							
offset	0x24							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	AINS						
位权限	U-0	R/W-000 0000						

位号	助记符	功能描述
----	-----	------



位号	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	AINS	差分输入对使能寄存器, 用于配置 ADC_IN0~ADC_IN13 是否组成 7 组差分对。0 表示单端输入, 1 表示差分输入。(Analog Input Select)  AINS[0]: 1 表示配置 ADC_IN0 和 ADC_IN7 为差分输入 AINS[1]: 1 表示配置 ADC_IN1 和 ADC_IN8 为差分输入 AINS[2]: 1 表示配置 ADC_IN2 和 ADC_IN9 为差分输入 AINS[3]: 1 表示配置 ADC_IN3 和 ADC_IN10 为差分输入 AINS[4]: 1 表示配置 ADC_IN4 和 ADC_IN11 为差分输入 AINS[5]: 1 表示配置 ADC_IN5 和 ADC_IN12 为差分输入 AINS[6]: 1 表示配置 ADC_IN6 和 ADC_IN13 为差分输入

### ADC 数据寄存器 (ADC\_DR)

名称	ADC_DR							
offset	0x28							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	DATA[15:8]							
位权限	R-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DATA[7:0]							
位权限	R-0							

位号	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	DATA	ADC 转换结果 在没有使能过采样平均的情况下, 结果为低 12bit; 在使能过采样平均的情况下, 结果为 12~16bit

### AWD 阈值寄存器 (ADC\_HLTR)

名称	ADC_HLTR
----	----------



offset	0x2C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	AWD_HT[15:8]							
位权限	R/W-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	AWD_HT[7:0]							
位权限	R/W-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	AWD_LT[15:8]							
位权限	R/W-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	AWD_LT[7:0]							
位权限	R/W-0							

位号	助记符	功能描述
31:16	AWD_HT	AWD 监视高阈值，最长 16bit，软件根据实际所需位数设置，高位空余位数保持为 0
15:0	AWD_LT	AWD 监视低阈值，最长 16bit，软件根据实际所需位数设置，高位空余位数保持为 0

## 上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服务中心

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/>