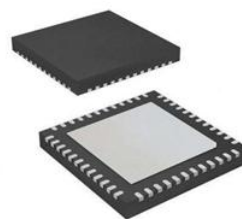


## 高精度时间测量 SOC 电路

### 产品简述

MS616F22 是一款高精度时间测量的 SOC 电路，内嵌高速时间测量单元和 16 位 RISC 的低功耗 MCU，高速时间测量单元内部集成了模拟比较器、模拟开关、施密特触发器等器件，从而大大简化了外围电路。同时内部第一波检测功能,使抗干扰能力大大提高。内部比较器的 offset 可编程范围为 $\pm 35$  mV。16 位 RISC 的低功耗 MCU 提供 64K 的 Flash，2K RAM，ADC12，TimerA、TimerB、UART0、UART1 等外围模块，独特的低功耗处理架构使整个系统功耗低于 5 $\mu$ A。



### 主要特点

#### MCU 部分:

内核电路:

- 16 位的精简指令集架构，125ns 的指令周期
- 62KB+128B 的 Flash 存储空间
- 2KB 的 RAM
- 5 种软件可设置的工作模式，且有 4 种可以唤醒。

时钟电路:

- 内嵌 FLL 时钟模块，最高倍频到 4M，
- 供有 MCLK/SMLK/ALK 三种时钟输出
- 外部输入 32.768KHZ 时钟

外部模块:

- 3 个 ADC12 输入口
- 15 个 GPIO 口，其中 11 个可接收中断
- 2 个 Timer 模块
- 2 个独立的 UART 口
- 1 个在线编程的 JTAG 口
- 1 个离线烧写的 BSL 口

### 应用

- 超声波测量 SOC 方案
- 激光测距 SOC 方案

### 产品规格分类

产品	封装形式	丝印名称
MS616F22	QFN48	MS616F22

#### TDC 部分

测量范围 1:

- 双通道单精度模式 75ps
- 单通道双精度模式 37ps
- 测量范围 3.5ns(0ns)至 2.5 $\mu$ s
- 20ns 最小脉冲间隔，最多可接收 4 个脉冲

测量范围 2:

- 双精度模式 37ps，四精度模式 19ps 的分辨率
- 测量范围 500ns 至 4ms (4M 高速时钟下)
- 可测量 3 个脉冲，并可自动处理 3 个数据

模拟输入电路

- 斩波稳定低漂移比较器,具有可编程偏移电压,  $\pm 35$  mV
- 第一波检测,可测量第一波的脉冲宽度
- 外部电路仅需要 2 个电阻和 2 个电容

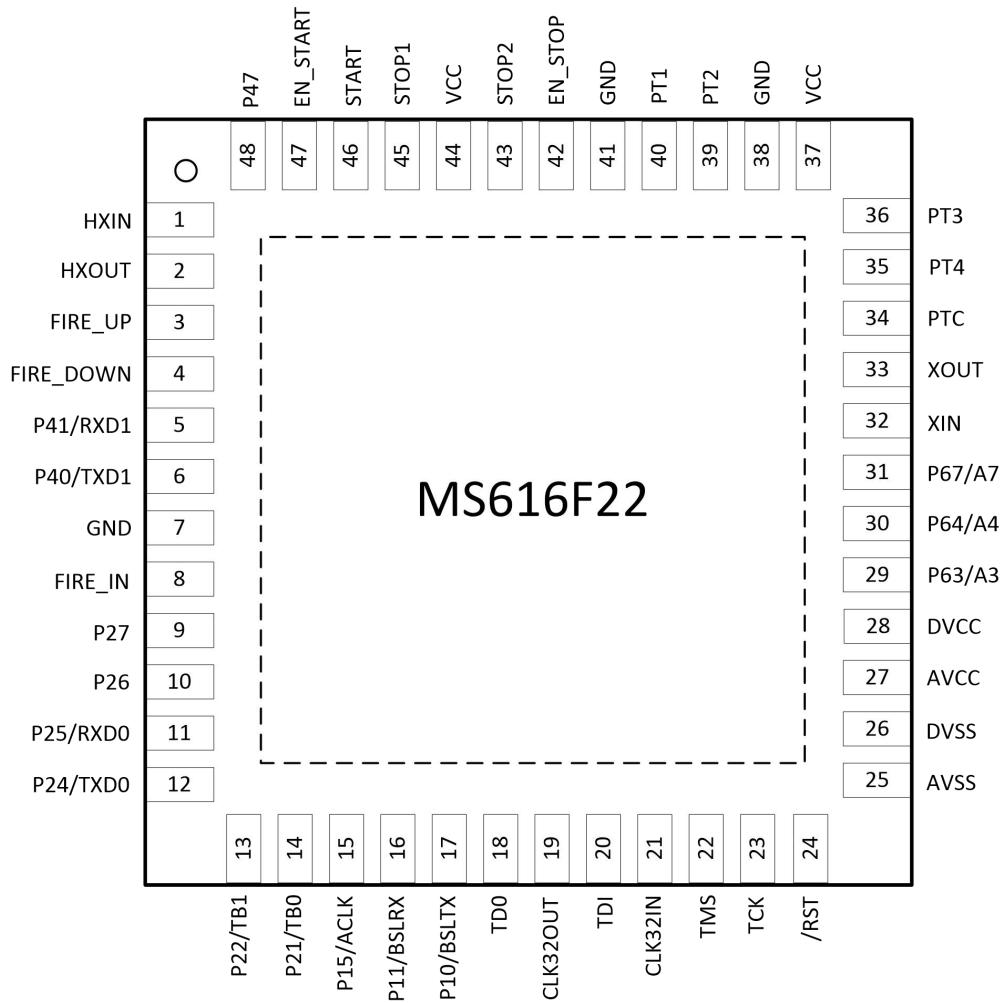
温度测量单元:

- 2 个或 4 个温度传感器，PT500/PT1000 或更高
- 内部集成施密特触发器

综述:

- 脉冲发生器，最多可生成 127 个脉冲
- 上升或/和下降沿触发测量
- 高精度的 STOP 屏蔽窗口

管脚图



## 管脚说明

管脚编号	管脚名称	管脚属性	管脚描述
1	HXIN	I	TDC 高速晶振驱动输入
2	HXOUT	O	TDC 高速晶振驱动输出
3	FIRE_UP	O	脉冲发生端口 1
4	FIRE_DOWN	O	脉冲发生端口 2
5	P41/RXD1	I/O	通用数字 I/O 接口/ UART 模式下 USART1 的数据接收端
6	P40/TXD1	O	通用数字 I/O 接口/ UART 模式下 USART1 传输数据输出
7	GND	POWER	TDC 电源地
8	FIRE_IN	I	“声环法”信号输入端口/或者信号输出端
9	P27	I/O	通用数字 I/O 接口/ 12 位 ADC 的转换时钟
10	P26	I/O	通用数字 I/O 接口/ 比较器 A 的输出
11	P25/RXD0	I/O	通用数字 I/O 接口/ UART 模式下 USART0 的数据接收端
12	P24/TXD0	I/O	通用数字 I/O 接口/ UART 模式下 USART0 的数据传输端
13	P22/TB1	I/O	通用数字 I/O 接口/ 计时器 B 模块 CCR1 的捕获输入: CCI1A/CCI1B
14	P21/TB0	I/O	通用数字 I/O 接口/ 计时器 B 模块 CCR0 的捕获输入: CCI0A/CCI0B
15	P15/ACLK	I/O	通用数字 I/O 接口/ 辅助时钟 ACLK 输出
16	P11/BSLRX	I/O	通用数字 I/O 接口/ 计时器 A 捕获输入: CCI0B / BSL 传输
17	P10/BSLTX	I/O	通用数字 I/O 接口/ 计时器 A 捕获输入: CCI0A / BSL 传输
18	TDO	O	TDO 数据输出或烧写数据的输入端
19	CLK32OUT	O	TDC 32 kHz 时钟输出
20	TDI	I	测试数据输入或测试时钟输入, 芯片保护熔丝连接到 TDI / TCLK
21	CLK32IN	I	TDC 32 kHz 时钟输入
22	TMS	I	测试模式选择, TMS 用来作为芯片烧写和测试的输入端口
23	TCK	I	测试时钟, TCK 为芯片烧写和测试的时钟输入端口
24	/RST	I	复位输入和非屏蔽中断输入
25	AVSS	POWER	MCU 模拟电源地
26	DVSS	POWER	MCU 数字电源地
27	AVCC	POWER	MCU 模拟电源

管脚编号	管脚名称	管脚属性	管脚描述
28	DVCC	POWER	MCU 数字电源
29	P63/A3	I/O	通用数字 I/O 接口/ 12 位 ADC 模拟输入 A3
30	P64/A4	I/O	通用数字 I/O 接口/ 12 位 ADC 模拟输入 A4
31	P67/A7	I/O	通用数字 I/O 接口/ 12 位 ADC 模拟输入 A7
32	XIN	I	MCU 低速晶体振荡器 XT1 的输入端口，
33	XOUT	O	MCU 低速晶体振荡器 XT1 输出端口
34	PTC	O	温度测量电容连接端
35	PT4	O	温度测量端口 4
36	PT3	O	温度测量端口 3
37	VCC	POWER	TDC 电源端
38	GND	POWER	TDC 电源地
39	PT2	O	温度测量端口 2
40	PT1	O	温度测量端口 1
41	GND	POWER	TDC 电源地
42	EN_STOP	I	Stop 通道使能端口，高电平有效
43	STOP2	I	Stop 通道 2 输入端
44	VCC	POWER	TDC 电源端
45	STOP1	I	Stop 通道 1 输入端
46	START	I	Start 通道输入端
47	EN_START	I	Start 通道使能端，高电平有效，或者信号输出端
48	P47	I/O	通用数字 I/O 接口

备注：MCU和TDC之间内部互联

MCU 管脚	TDC 管脚	说明
P12	RSTN	MCU 的 P12 口控制 TDC 的 RSTN，MCU 设置为输出口
P13	SO	MCU 的 P13 口接收 TDC 的 SO 数据，MCU 设置为输入口
P14	SI	MCU 的 P14 口发送数据到 TDC 的 SI，MCU 设置为输出口
P16	SCK	MCU 的 P16 口发送时钟到 TDC 的 SCK，MCU 设置为输出口
P17	SSN	MCU 的 P17 口控制 TDC 的 SSN，MCU 设置为输出口
P20	INIT	MCU 的 P13 口接收 TDC 的 INIT 信号，MCU 设置为输入口



## 极限参数

芯片使用中，任何超过极限参数的应用方式会对器件造成永久的损坏，芯片长时间处于极限工作状态可能会影响器件的可靠性。极限参数只是由一系列极端测试得出，并不代表芯片可以正常工作在此极限条件下。正常工作范围请参考下文的推荐工作条件。

参数	参数范围	单位
Vcc 到 Vss 的电差	-0.3 ~ +4	V
输入管脚电压	-0.3 ~ VCC+0.3	V
设备二极管电流	±2	mA
工作温度(未编程)	-55 ~ 150	°C
存储温度（已编程）	-40 ~ 80	°C

**电气参数**
**推荐的工作条件**

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
MCU 电源电压	AVCC DVCC	程序执行时	1.8		3.6	V
		程序执行时且 SVS 开启， PORON=1	2.0		3.6	V
		Flash 编程时	2.7		3.6	V
MCU 电源电压	V <sub>SS</sub>		0		0	V
TDC 电源电压	VCC		2.5		3.6	V
工作温度	T <sub>A</sub>		-40		85	°C
LFXT1 晶振频率	f <sub>LFXT1</sub>	XTS_FLL=0, 石英振荡器		32.768		kHz
		XTS_FLL=1, 陶瓷振荡器	450		8000	kHz
		XTS_FLL=1, 晶体振荡器	1000		8000	kHz
系统时钟频率	F <sub>System</sub>	V <sub>CC</sub> =1.8V	DC		4.15	MHz
		V <sub>CC</sub> =3.6V	DC		8	MHz

注：1.推荐 AVCC 与 DVCC 使用同一个电源。AVCC 与 DVCC 之间的电压差值不能超过 0.3V。

2.最小的工作电压是当电源电压低到引发 POR 时的电压。当电源电压上升到最小电压值加上 SVS 的滞后电压之和时，POR 信号停止。

3.在 LF 模式下，LFXT1 振荡器需要外接一个石英振荡器。在 XT1 模式下，LFXT1 需要外接一个陶瓷振荡器或晶体振荡器。

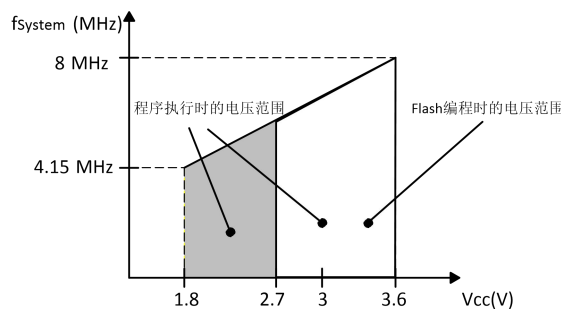


图 1.MCU 电压与工作频率的关系

**MCU除外部电流外进入AVCC+DVCC绝对外部电流**

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
工作模式（见注 1） f <sub>MCLK</sub> =f <sub>SMCLK</sub> =1MHz, f <sub>ACLK</sub> =32768Hz XTS_FLL=0, SELM=(0,1)	I <sub>AM</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C 至 85°C	V <sub>CC</sub> =2.2V	-	280	350	μA
V <sub>CC</sub> =3V				420	560		

低功耗模式 (见注 1 和 4)	I <sub>LPM0</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C 至 85°C	V <sub>CC</sub> =2.2V		32	45	μA
			V <sub>CC</sub> =3V		55	70	
低功耗模式(见注 2 和 4) f <sub>MCLK</sub> =f <sub>SMCLK</sub> =0MHz f <sub>ACLK</sub> =32768Hz, SCG=0	I <sub>LPM2</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C 至 85°C	V <sub>CC</sub> =2.2V		11	14	μA
			V <sub>CC</sub> =3V		17	22	
低功耗模式(见注 3 和 4) f <sub>MCLK</sub> =f <sub>SMCLK</sub> =0MHz f <sub>ACLK</sub> =32768Hz, SCG=1	I <sub>LPM3</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C	V <sub>CC</sub> =2.2V		1	1.5	μA
		T <sub>A</sub> =25°C			1.1	1.5	
		T <sub>A</sub> =60°C			2	3	
		T <sub>A</sub> =85°C			3.5	6	
	I <sub>LPM3</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C	V <sub>CC</sub> =3V		1.8	2.2	μA
		T <sub>A</sub> =25°C			1.6	1.9	
		T <sub>A</sub> =60°C			2.5	3.5	
		T <sub>A</sub> =85°C			4.2	7.5	
低功耗模式(见注 2 和 4) f <sub>MCLK</sub> =f <sub>SMCLK</sub> =0MHz f <sub>ACLK</sub> =0Hz, SCG=1	I <sub>LPM4</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C	V <sub>CC</sub> =2.2V		0.1	0.5	μA
		T <sub>A</sub> =25°C			0.1	0.5	
		T <sub>A</sub> =60°C			0.7	1.1	
		T <sub>A</sub> =85°C			1.7	3	
	I <sub>LPM4</sub>	T <sub>A</sub> =-40°C	V <sub>CC</sub> =3V		0.1	0.5	μA
		T <sub>A</sub> =25°C			0.1	0.5	
		T <sub>A</sub> =60°C			0.8	1.2	
		T <sub>A</sub> =85°C			1.9	3.5	

注: 1. 定时器 B 的频率被锁定为 f<sub>DCOCLK</sub>=f<sub>DCO</sub>=1MHz。所有的输入都被连接到 0V 或 V<sub>CC</sub>。所有的输出没有源或反向电流。

2. 所有的输入都被连接到 0V 或 V<sub>CC</sub>。所有的输出没有源或反向电流。

3. 所有的输入都被连接到 0V 或 V<sub>CC</sub>。所有的输出没有源或反向电流。通过测量基本定时器 1 和 LCD 模块 (选择 ACLK) 工作时的电流得到 LPM3 的电流消耗。比较器 A 和 SVS 模块的电流在后面会专门列出。

4. 包括了 BROWNOUT 模块的电流消耗。

工作模式下消耗电流与系统频率的关系为:

$$I_{AM} = I_{AM} [1 \text{ MHz}] \times f_{\text{System}} [\text{MHz}]$$

工作模式下消耗电流与电源电压的关系为:

$$I_{AM} = I_{AM [3V]} + 175 \mu\text{A/V} \times (V_{CC} - 3 \text{ V})$$



**MCU施密特触发器输入端口——P1,P2,P4,P6**

参数	符号	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
正向输入阈值电压	$V_{IT+}$	2.2 V	1.1		1.5	V
		3 V	1.5		1.9	
负向输入阈值电压	$V_{IT-}$	2.2 V	0.4		0.9	V
		3 V	0.9		1.3	
输入迟滞 ( $V_{IT+} - V_{IT-}$ )	$V_{hys}$	2.2 V	0.3		1.1	V
		3 V	0.5		1	

**MCU标准输入端口——RST/NMI,JTAG(TCK,TMS,TDI,TDO)**

参数	符号	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
低电平输入电压	$V_{IL}$	2.2V/3V	Vss		Vss+0.6	V
高电平输入电压	$V_{IH}$		0.8-Vcc		Vcc	V

**MCU 输入端口——Px.x,TAx,TBx**

参数	符号	测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
外部中断时序	$t(int)$	端口 P1, P2: P1.x 到 P2.x, 外部触发信号为中断标志 (见注 1)	2.2V/3V	1.5			cycle
			2.2V	62			ns
			3V	50			
定时器 A, 定时器 B 采集时间	$t(cap)$	TA0,TA1,TA2 TB0,TB1,TB2,TB3,TB4, TB5,TB6	2.2V	62			ns
			3V	62			
加到管脚的定时器 A 和 定时器 B 的时钟频率	$f(TAext)$	TACLK, TBCLK, INCLK: $t(H) = t(L)$	2.2V			8	MHz
	$f(TBext)$		3V			10	
定时器 A, 定时器 B 时钟频率	$f(TAint)$	选择 SMCLK 或 ACLK	2.2V			8	MHz
	$f(TBint)$		3V			10	

注：1.每次外部信号设置中断标志时的最小时间  $t(int)$  和时间参数是一体的，虽然触发信号比  $t(int)$  小，也可以设置中断标志，但时钟周期和时间参数必须同时满足来保证中断标志被设置， $t(int)$  以 MCLK 周期为参考来测量的。

**MCU漏电流（见注1和注2）**

参数		符号	测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
漏电流	P1 端口	I <sub>lk</sub> (P1.x)	P1 端口: V(P1.x)	2.2V/3V			50	V
	P2 端口	I <sub>lk</sub> (P2.x)	P2 端口: V(P2.x)	2.2V/3V			50	V
	P4 端口	I <sub>lk</sub> (P4.x)	P4 端口: V(P4.x)	2.2V/3V			50	us
	P6 端口	I <sub>lk</sub> (P6.x)	P6 端口: V(P6.x)	2.2V/3V			50	V

注：1. 漏电流在 V<sub>ss</sub> 或 V<sub>cc</sub> 加到相关管脚时测量，除非另有说明。

2. 端口管脚必须设置为输入，同时没有任何上拉和下拉电阻。

**MCU输出端口——P1,P2,P4,P6**

参数	符号	测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
高电平输出电压	V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> (max)=-1.5 mA (见注 1)	2.2V	V <sub>cc</sub> -0.25		V <sub>cc</sub>	V
		I <sub>OH</sub> (max)=-6 mA (见注 2)	2.2V	V <sub>cc</sub> -0.6		V <sub>cc</sub>	
		I <sub>OH</sub> (max)=-1.5 mA (见注 1)	3V	V <sub>cc</sub> -0.25		V <sub>cc</sub>	
		I <sub>OH</sub> (max)=-6 mA (见注 2)	3V	V <sub>cc</sub> -0.6		V <sub>cc</sub>	
低电平输出电压	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> (max)=1.5 mA (见注 1)	2.2V	V <sub>ss</sub>		V <sub>ss</sub> +0.25	V
		I <sub>OL</sub> (max)=6 mA (见注 2)	2.2V	V <sub>ss</sub>		V <sub>ss</sub> +0.6	
		I <sub>OL</sub> (max)=1.5 mA (见注 1)	3V	V <sub>ss</sub>		V <sub>ss</sub> +0.25	
		I <sub>OL</sub> (max)=6 mA (见注 2)	3V	V <sub>ss</sub>		V <sub>ss</sub> +0.6	

注：1. 总电流的最大值，也就是 I<sub>OH</sub>(max)和 I<sub>OL</sub>(max)，所有输出电流的总和，在不超过 12mA 时才满足最大电压参数不下降。

2. 总电流的最大值，也就是 I<sub>OH</sub>(max)和 I<sub>OL</sub>(max)，所有输出电流的总和，在不超过 48mA 时才满足最大电压参数不下降。

**MCU输出频率**

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
f(Px.y)(1≤x≤6,0≤y≤7)		C <sub>L</sub> =20pF, I <sub>L</sub> =1.5mA	V <sub>CC</sub> = 2.2 V	DC		5	MHz
			V <sub>CC</sub> = 3 V	DC		7.5	
f <sub>(ACLK)</sub>	P1.1/TA0/MCLK,	C <sub>L</sub> = 20 pF				f <sub>(System)</sub>	MHz
f <sub>(MCLK)</sub>	P1.5/TACLK/ACLK						
f <sub>(SMCLK)</sub>	P1.4/TBCLK/SMCLK						

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
$t_{(xdc)}$	输出频率占空比	P1.5/TACLK/CLK,	$f_{(ACLK)}=f_{(LFXT1)}=f_{(XT1)}$	40%		60%	
		$C_L=20\text{pF}$ ,	$f_{(ACLK)}=f_{(LFXT1)}=f_{(LF)}$	30%		70%	
		$V_{CC}=2.2\text{V}/3\text{V}$	$f_{(ACLK)}=f_{(LFXT1)}$		50%		
		P1.1/TA0/MCLK,	$f_{(MCLK)}=f_{(XT1)}$	40%		60%	
		$C_L=20\text{pF}$ ,	$f_{(MCLK)}=f_{(DCOCLK)}$	50%-15ns	50%	50%+15ns	
		$V_{CC}=2.2\text{V}/3\text{V}$					
		P1.4/TBCLK/SMCL	$f_{(SMCLK)}=f_{(XT2)}$	40%		60%	
		$K,C_L=20\text{pF}$ ,	$f_{(SMCLK)}=f_{(DCOCLK)}$	50%-15ns	50%	50%+15ns	
		$V_{CC}=2.2\text{V}/3\text{V}$					

MCU输出端口——P1,P2,P4,P6

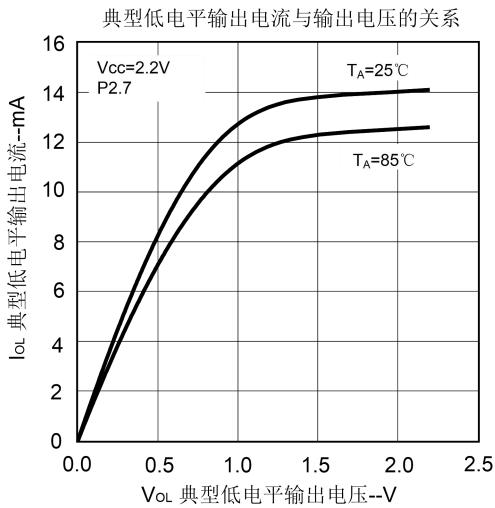


图2

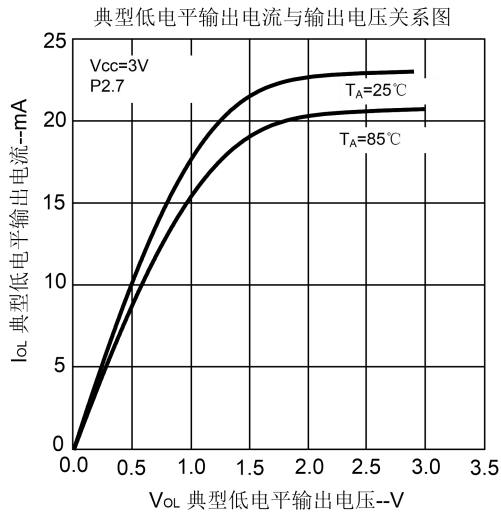


图3

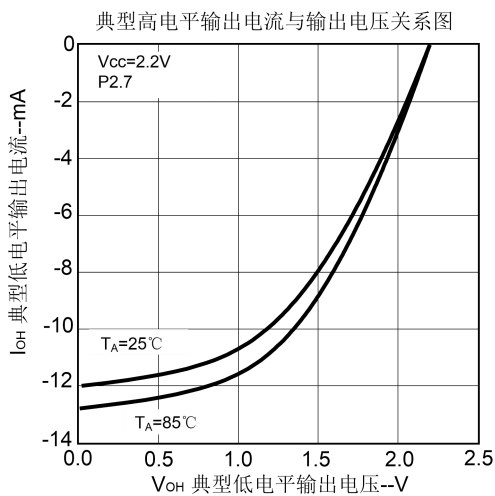


图4

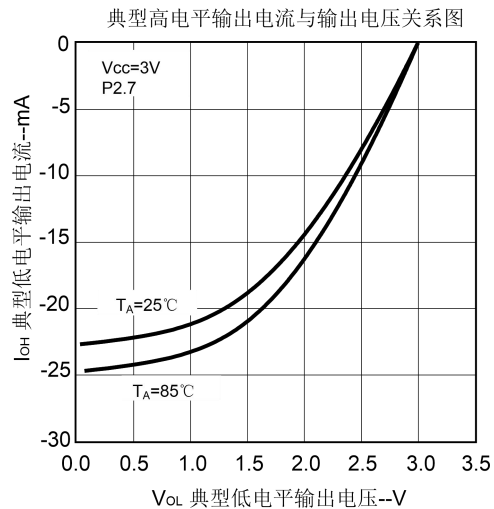


图5

**MCU唤醒模式LPM3**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
td(LPM3)	延迟时间	f = 1 MHz	2.2V/3V			6	μs
		f = 2 MHz				6	
		f = 3 MHz				6	

**RAM**

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
VRAMh	CPU 停止状态（见注 1）	1.6			V

注1.此参数定义了程序存储器RAM部分发生改变时的最小电源电压。在测量该电源电压参数时，所有程序都必须停止运行。

**MCU比较器A（见注1）**

参数	测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
I <sub>(CC)</sub>	CAON=1,CARSEL=0,CAREF=0	2.2V		25	40	μA
		3V		45	60	
I(Refladder/RefDiode)	CAON=1, CARSEL=0, CAREF=1/2/3, No load at P1.6/CA0 and P1.7/CA1	2.2V		30	50	μA
		3V		45	71	
V(Ref025)	PCA0=1, CARSEL=1, CAREF=1, No load at P1.6/CA0 and P1.7/CA1	2.2 V / 3 V	0.23	0.24	0.25	
V(Ref050)	PCA0=1, CARSEL=1, CAREF=2, No load at P1.6/CA0 and P1.7/CA1	2.2V / 3 V	0.47	0.48	0.5	
V(RefVT) 见图 6 和图 7	PCA0=1, CARSEL=1, CAREF=3, No load at P1.6/CA0 and P1.7/CA1; T <sub>A</sub> = 85°C	2.2 V	390	480	540	mV
		3 V	400	490	550	
V <sub>IC</sub> 共模输入电压	CAON=1	2.2 V / 3 V	0		V <sub>CC</sub> -1	V
V <sub>p</sub> -V <sub>S</sub> 失调电压	见注 2	2.2 V / 3 V	-30		30	mV
V <sub>hys</sub>	CAON = 1	2.2 V / 3 V	0	0.7	1.4	mV
t(response LH)	T <sub>A</sub> = 25 °C, Overdrive 10mV, without filter: CAF = 0	2.2 V	160	210	300	ns
		3 V	80	150	240	
	T <sub>A</sub> = 25 °C, Overdrive 10mV, with filter: CAF = 1	2.2 V	1.4	1.9	3.4	μs
		3 V	0.9	1.5	2.6	
t(response HL)	T <sub>A</sub> = 25 °C, Overdrive 10mV, without filter: CAF = 0	2.2 V	130	210	300	ns
		3 V	80	150	240	
	T <sub>A</sub> = 25 °C, Overdrive 10mV, with filter: CAF = 1	2.2 V	1.4	1.9	3.4	μs
		3 V	0.9	1.5	2.6	

注：1.比较器A端口的漏电流已经在I<sub>lkg</sub>(Px.x)参数中定义过。

2.通过设置CAEX位，使比较器A输入反向，连续测量两次结果，输入失调电压可以抵消，再把两次结果加在一起。

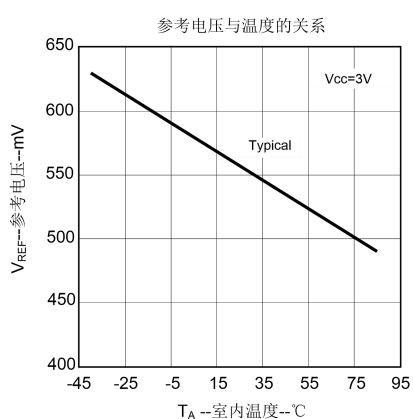


图6. V<sub>(REFVT)</sub> VS Temperature

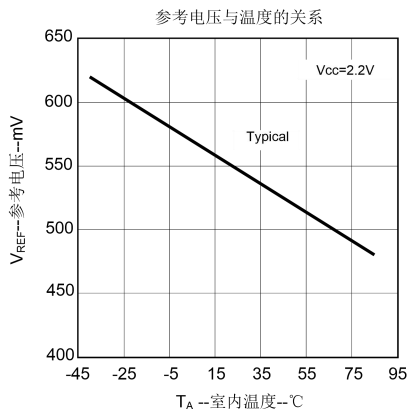


图7. V<sub>(REFVT)</sub> VS Temperature

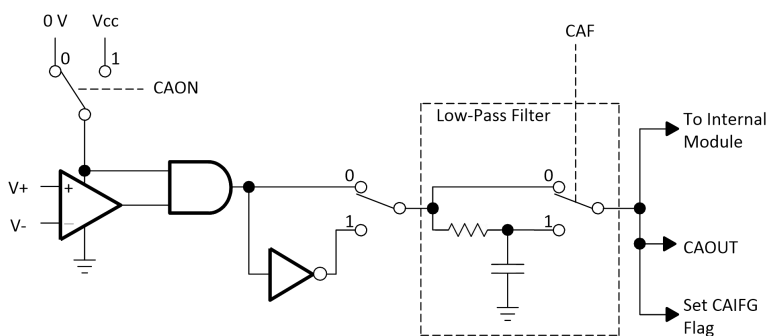


图 8.比较器结构框图

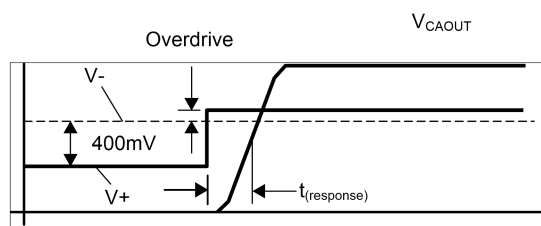


图 9.过驱动电压定义

**POR/Brownout Reset(BOR) (见注1)**

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t <sub>d(BOR)</sub>				2000	us
V <sub>CC(start)</sub>	dV <sub>CC</sub> /dt ≤ 3 V/s (见图 10)		0.7×V <sub>(B_IT-)</sub>		V
V <sub>(B_IT-)</sub>	dV <sub>CC</sub> /dt ≤ 3 V/s (见图 10 到图 12)			1.71	V
V <sub>hys(B_IT-)</sub>	dV <sub>CC</sub> /dt ≤ 3 V/s (见图 10)	70	130	180	mV
t <sub>(reset)</sub>	Pulse length needed at RST /NMI pin to accepted reset internally, V <sub>CC</sub> = 2.2 V/3 V	2			us

注: 1. Brownout 模块消耗的电流已经包含在总消耗电流  $I_{CC}$  中, 电压范围为:  $V_{(B\_IT-)} + V_{hys(B\_IT-)} \leq 1.8V$ 。

2. 在  $V_{CC} = V_{(B\_IT-)} + V_{hys(B\_IT-)}$  之后, CPU 在  $t_{d(BOR)}$  信号一个周期之后开始执行程序。在  $V_{CC} \geq V_{CC(min)}$  之前, FLL+ 设置不能更改,  $V_{CC(min)}$  是在工作频率时最小的电源电压。

特性曲线

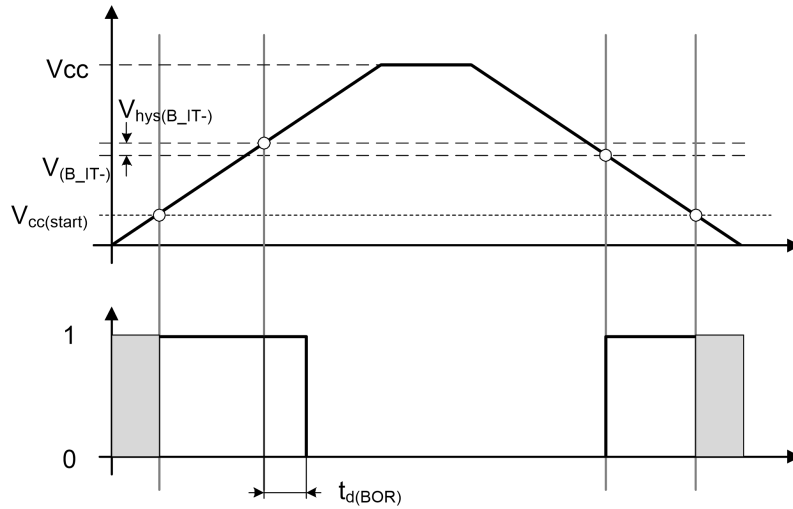


图10.POR/Brownout Reste(BOR)信号与电源电压的关系

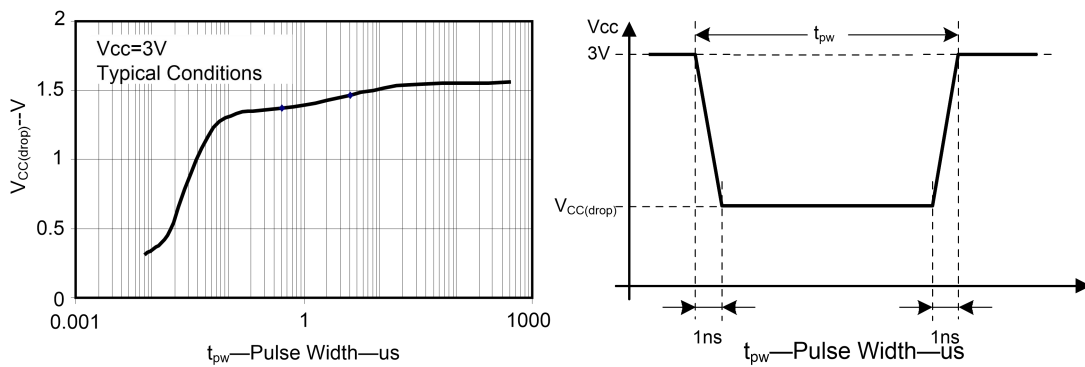


图 11.方波掉电时, 掉电电压和掉电时间与 BOR 信号关系图

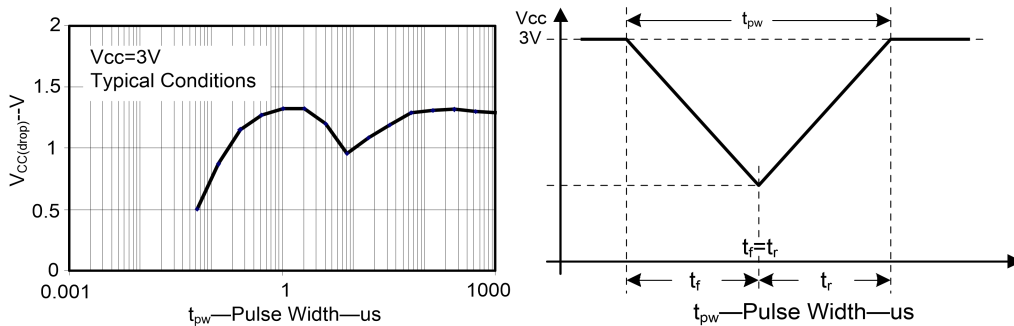


图 12.三角波掉电时, 掉电电压和掉电时间与 BOR 信号关系图

**MCU供电电压管理/检测**

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
$t_{(SVSR)}$	$dV_{CC}/dt \geq 30 \text{ V/ms}$ (见图 13)	5		150	us	
	$dV_{CC}/dt \leq 30 \text{ V/ms}$			2000	us	
$t_{d(SVson)}$	SVSon, switch from VLD=0 to VLD $\neq$ 0, VCC = 3 V	20		150	us	
$t_{settle}$	VLD $\neq$ 0(注 2)			12	us	
$V_{(SVSstart)}$	VLD $\neq$ 0, VCC/dt $\leq$ 3 V/s (见图 13)		1.55	1.7	V	
$V_{hys(SVS\_IT-)}$	VCC/dt $\leq$ 3 V/s (见图 13)	VLD = 1	70	120	155	mV
		VLD = 2 至 14	$V_{(SVS\_IT-)} \times 0.004$		$V_{(SVS\_IT-)} \times 0.008$	
	VCC/dt $\leq$ 3 V/s (见图 13), 外部电压加到端口 A7 上	VLD = 15	4.4		10.04	mV
$V_{(SVS\_IT-)}$	VCC/dt $\leq$ 3 V/s (见图 13)	VLD = 1	1.8	1.9	2.05	V
		VLD = 2	1.94	2.1	2.25	
		VLD = 3	2.05	2.2	2.37	
		VLD = 4	2.14	2.3	2.48	
		VLD = 5	2.24	2.4	2.6	
		VLD = 6	2.33	2.5	2.71	
		VLD = 7	2.46	2.65	2.86	
		VLD = 8	2.58	2.8	3	
		VLD = 9	2.69	2.9	3.13	
		VLD = 10	2.83	3.05	3.29	
		VLD = 11	2.94	3.2	3.42	
		VLD = 12	3.11	3.35	3.61(注 1)	
		VLD = 13	3.24	3.5	3.76(注 1)	
		VLD = 14	3.43	3.7(注 1)	3.99(注 1)	
		VCC/dt $\leq$ 3 V/s (见图 13), 外部电压加到端口 A7 上	VLD = 15	1.1	1.2	1.3
$I_{CC(SVS)}$ (见注 3)	VLD $\neq$ 0, VCC = 2.2 V/3 V		10	15	uA	

注：1.工作电压最高为3.6V。

2. $t_{settle}$  是当VLD从不为0的一个值转换到2到15之间一个不同值时，比较器需要的一个稳定电平的建立时间。假设过驱动电压大于50mV。

3.SVS模块的消耗电流已经包含在总消耗电流 $I_{CC}$ 中。

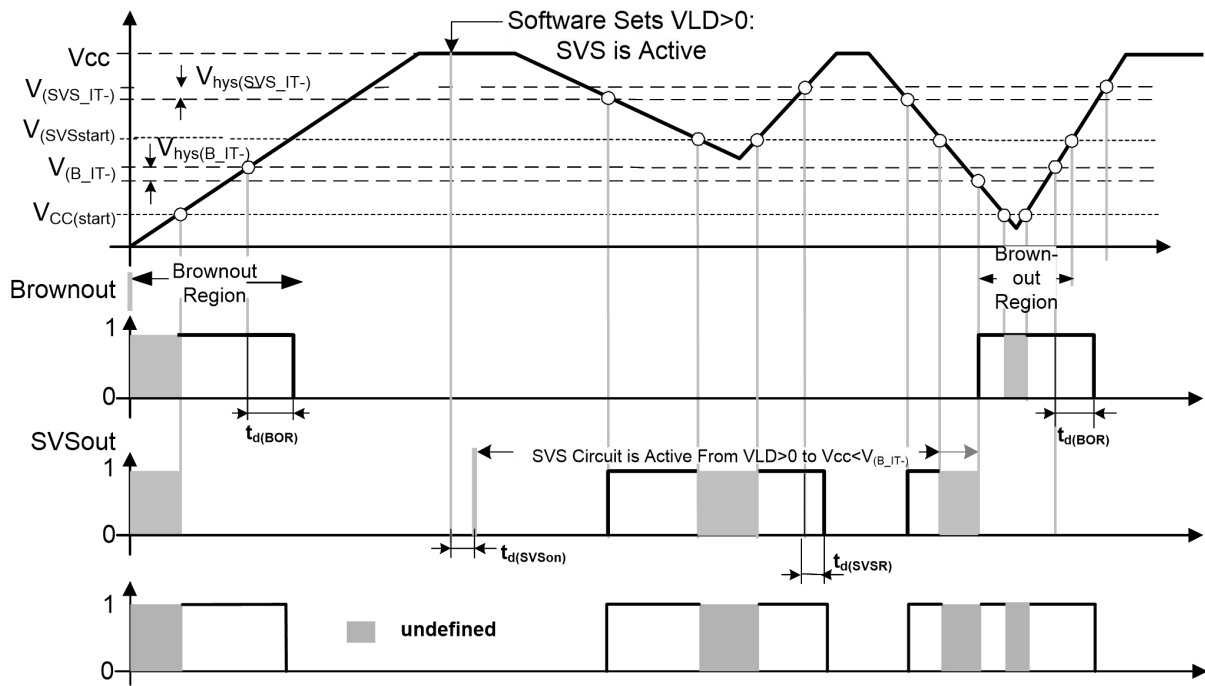


图 13. SVS Reset VS 电源电压

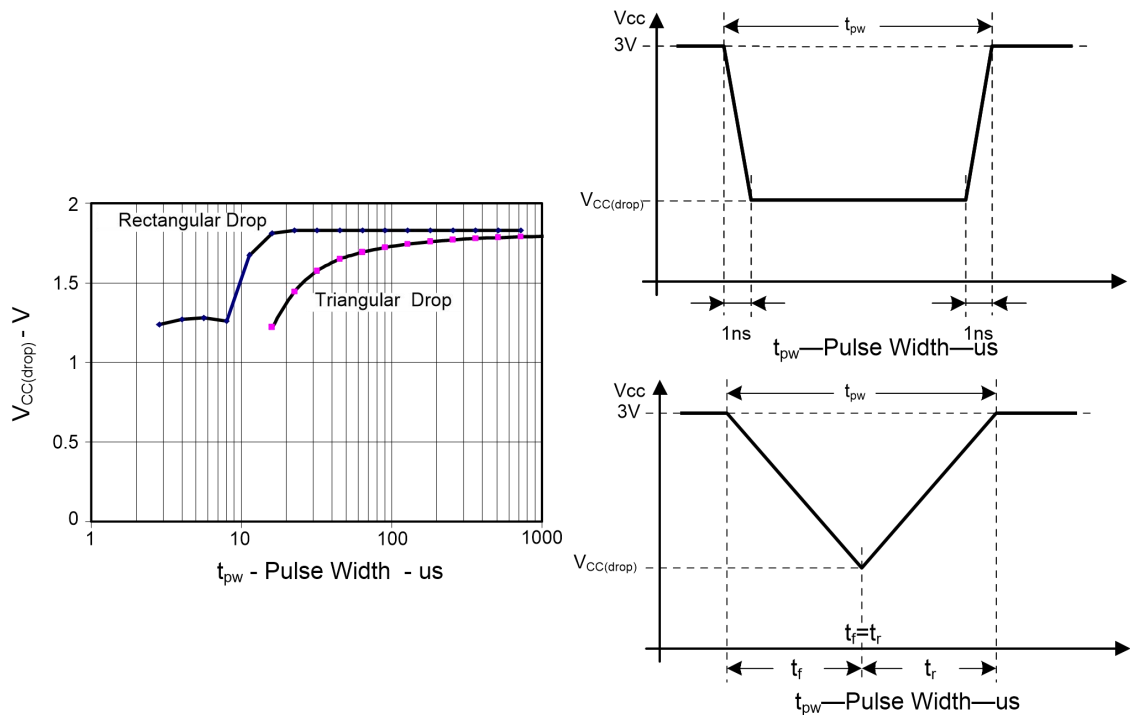


图 14. 方波和三角波掉电时，掉电电压和掉电时间与 SVS 信号的关系



**DCO**

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
$f_{(DCOCLK)}$	N(DCO)=01Eh, FN_8=FN_4=FN_3=FN_2=0, D = 2; DCOPLUS = 0, fCrystal = 32.768 kHz	VCC = 2.2 V/3 V	1		MHz	
$f_{(DCO=2)}$	FN_8=FN_4=FN_3=FN_2=0; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	0.3	0.65	1.25	MHz
		VCC = 3 V	0.3	0.7	1.3	
$f_{(DCO=27)}$	FN_8=FN_4=FN_3=FN_2=0; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	2.5	5.6	10.5	MHz
		VCC = 3 V	2.7	6.1	11.3	
$f_{(DCO=2)}$	FN_8=FN_4=FN_3=0, FN_2=1; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	0.7	1.3	2.3	MHz
		VCC = 3 V	0.8	1.5	2.5	
$f_{(DCO=27)}$	FN_8=FN_4=FN_3=0, FN_2=1; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	5.7	10.8	18	MHz
		VCC = 3 V	6.5	12.1	20	
$f_{(DCO=2)}$	FN_8=FN_4=0, FN_3= 1, FN_2=x; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	1.2	2	3	MHz
		VCC = 3 V	1.3	2.2	3.5	
$f_{(DCO=27)}$	FN_8=FN_4=0, FN_3= 1, FN_2=x; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	9	15.5	25	MHz
		VCC = 3 V	10.3	17.9	28.5	
$f_{(DCO=2)}$	FN_8=0, FN_4= 1, FN_3= FN_2=x; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	1.8	2.8	4.2	MHz
		VCC = 3 V	2.1	3.4	5.2	
$f_{(DCO=27)}$	FN_8=0, FN_4=1, FN_3= FN_2=x; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	13.5	21.5	33	MHz
		VCC = 3 V	16	26.6	41	
$f_{(DCO=2)}$	FN_8=1, FN_4=FN_3=FN_2=x; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	2.8	4.2	6.2	MHz
		VCC = 3 V	4.2	6.3	9.2	
$f_{(DCO=27)}$	FN_8=1, FN_4=FN_3=FN_2=x; DCOPLUS = 1	VCC = 2.2 V	21	32	46	MHz
		VCC = 3 V	30	46	70	
S <sub>n</sub>	Step size between adjacent DCO taps: $S_n = f_{DCO(Tap\ n+1)}/f_{DCO(Tap\ n)}$ (见图16 for taps 21 to 27)	$1 < TAP \leq 20$	1.06		1.11	
		TAP = 27	1.07		1.17	
D <sub>t</sub>	Temperature drift, N(DCO) = 01Eh, FN_8=FN_4=FN_3=FN_2=0 D = 2; DCOPLUS = 0	VCC = 2.2 V	-0.2	-0.3	-0.4	%/°C
		VCC = 3 V	-0.2	-0.3	-0.4	
D <sub>v</sub>	Drift with VCC variation, N(DCO) = 01Eh, FN_8=FN_4=FN_3=FN_2=0, D= 2; DCOPLUS = 0	VCC = 2.2 V/3 V	0	5	15	%/V

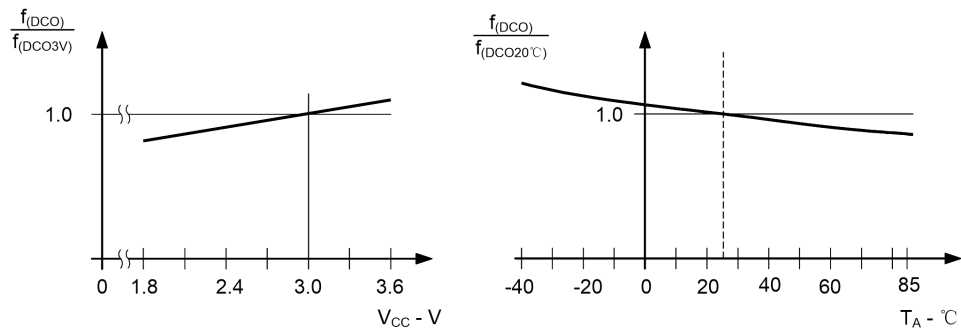


图 15. DCO 频率与电源电压和环境温度的关系

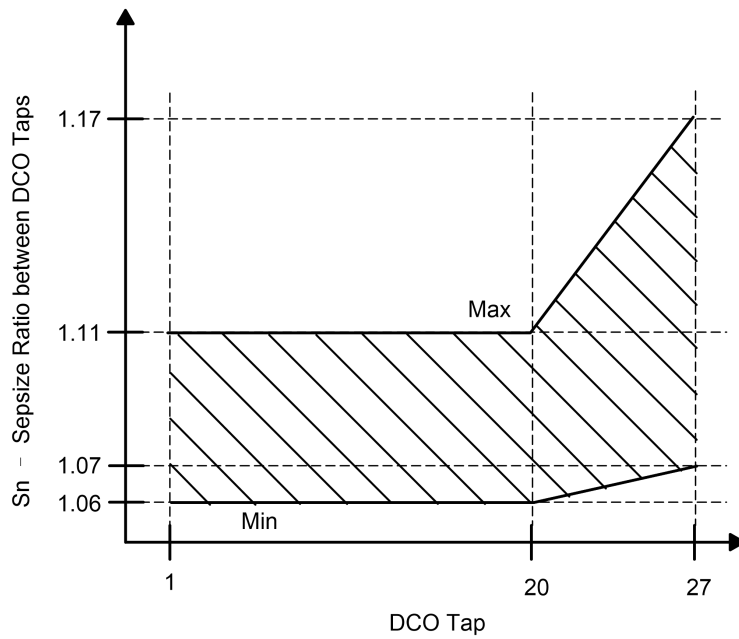


图 16. DCO Tap Step Size

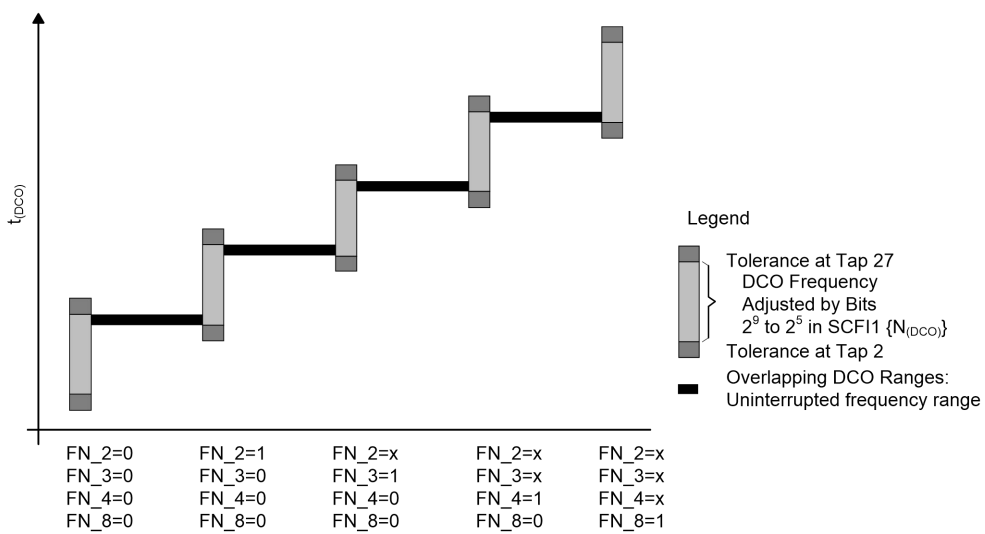


图 17. FN\_x 控制的 5 个交叠的 DCO 频率范围

**MCU晶体振荡器, LFXT1振荡器 (见注1和注2)**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
C <sub>XIN</sub>	集成输入电容	OSCCAPx = 0h	2.2 V/3 V		0		pF
		OSCCAPx = 1h	2.2 V/3 V		10		
		OSCCAPx = 2h	2.2 V/3 V		14		
		OSCCAPx = 3h	2.2 V/3 V		18		
C <sub>XOUT</sub>	集成输出电容	OSCCAPx = 0h	2.2 V/3 V		0		pF
		OSCCAPx = 1h	2.2 V/3 V		10		
		OSCCAPx = 2h	2.2 V/3 V		14		
		OSCCAPx = 3h	2.2 V/3 V		18		
V <sub>IL</sub>	XIN 端的输入逻辑	见注3	2.2 V/3 V	V <sub>SS</sub>		0.2×V <sub>CC</sub>	V
V <sub>IH</sub>				0.8×V <sub>CC</sub>		V <sub>CC</sub>	V

注: 1.由封装和电路板所造成的寄生电容大约为2pF, 那么晶振的有效负载电容为:

$(C_{XIN} \times C_{XOUT}) / (C_{XIN} + C_{XOUT})$ , 这和XTS\_FLL无关。

2.为了提高LFXT1低功耗振荡器EMI特性, 特别是在LF模式下(32kHz)下, 应遵守以下原则:

- 保持MS616F22和晶振之间的走线尽可能的短。
- 晶振管脚附近地线层的良好设计。
- 避免其他时钟线和数据线与晶振XIN和XOUT管脚之间的串通。
- 避免在PCB的XIN和XOUT管脚下以及附近走线。
- 通过使用匹配材料并多次实践来减小振荡器XIN和XOUT管脚的寄生负载。
- 如果使用了保护涂层, 要确保不会引起振荡器管脚之间的容性和阻性泄露。

3.只有当使用外部逻辑时钟源时才有效, 而且必须设置XTS\_FLL位, 当使用晶振和谐振器时无效。

4.对于精确的实时时钟应用, OSCCPx=0h, 使用推荐的尾部电容值。

**MCU中USART0, USART1 (见注1)**

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t(τ)	USART0/1:	V <sub>CC</sub> = 2.2 V, SYNC = 0, UART mode	200	430	800	ns
	尖峰抑制时间	V <sub>CC</sub> = 3 V, SYNC = 0, UART mode	150	280	500	

注: 1.加到USART0/1接收端的信号应该满足t(τ)的时序要求, 才能保证URXS触发器被设置。URXS触发器由满足t(τ)最小时序要求的低电平脉冲所设置, 标志位的设置的工作条件必须与此时序限制条件无关。尖峰抑制电路只有在URXD0/1线负向传输时才工作。

**12位ADC，供电及输入范围条件（见注1）**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
AVCC	模拟电源电压	AVCC 和 DVCC 接在一起, AVSS 和 DVSS 接在一起, $V(AVSS) = V(DVSS) = 0V$		2.2		3.6	V
$V_{(P6.x/Ax)}$	模拟输入电压范围(见注 2)	适用所有 P6.0/A0 到 P6.7/A7 的端口。模拟输入端口由寄存器 ADC12MCTLx 选择并且 $P6Sel.x=1, 0 \leq x \leq 7; V(AVSS) \leq V_{P6.x/Ax} \leq V(AVCC)$		0		$V_{AVCC}$	V
$I_{ADC12}$	AVCC 端口的工作电流(见注 3)	$f_{ADC12CLK} = 5.0 \text{ MHz}$ ADC12ON = 1, REFON = 0 SHT0=0, SHT1=0, ADC12DIV=0	2.2V		0.65	1.3	mA
			3V		0.8	1.6	
$I_{REF+}$	AVCC 端口的工作电流(见注 4)	$f_{ADC12CLK} = 5.0 \text{ MHz}$ ADC12ON = 0, REFON = 1, REF2_5V = 1	3V		0.5	0.8	mA
		$f_{ADC12CLK} = 5.0 \text{ MHz}$ ADC12ON = 0, REFON = 1, REF2_5V = 1	2.2V		0.5	0.8	mA
			3V		0.5	0.8	
$C_I$	输入电容	一次只能选择一个端口, P6.x/Ax	2.2V			40	pF
$R_I$	输入多路选择器阻抗	$0V \leq V_{Ax} \leq V_{AVCC}$	3V			2000	$\Omega$

注：1. 漏电流已经在P.x/Ax端口参数的漏电流表中定义了。

2. 模拟输入电压范围必须在参考电压范围之内才能得到有效的转换结果。

3. 参数 $I_{ADC12}$ 不包括参考电压的电流。

4. 参考电压模块的电流有AVCC提供，此电流与ADC12ON无关，直到转换开始。在A/D转换开始之前就应设置REFON位使内建参考电压模块开始工作。

**12位ADC，外部基准模块**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{eREF+}$	正外部基准电压输入	$V_{eREF+} > V_{REF-}/V_{eREF-}$ (见注2)		1.4		$V_{AVCC}$	V
$V_{REF-}/V_{eREF-}$	负外部基准电压输入	$V_{eREF+} > V_{REF-}/V_{eREF-}$ (见注3)		0		1.2	V
$(V_{eREF+} - V_{REF-}/V_{eREF-})$	外部基准电压差分输入	$V_{eREF+} > V_{REF-}/V_{eREF-}$ (见注4)		1.4		$V_{AVCC}$	V

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{VREF+}$	静态输入电流	$0V \leq V_{eREF+} \leq V_{AVCC}$	2.2V/3 V			$\pm 1$	$\mu A$
$I_{VREF-}/V_{eREF-}$	静态输入电流	$0V \leq V_{eREF-} \leq V_{AVCC}$	2.2V/3 V			$\pm 1$	$\mu A$

注：1.外部基准是在转换期间给电容阵列进行充电和放电。在转换期间对于外部基准来说，输入电容 $C_i$ 是动态负载。基准电压的动态阻抗应该与模拟源阻抗的推荐值相匹配，使充电时达到12位的建立精度。

2.精度限制了正的外部基准电压的最小值，减小精度要求可以使用更低的基准电压。

3.精度限制了负的外部基准电压的最大值，减小精度要求可以使用更大的基准电压。

4.精度限制了外部基准电压的差值，减小精度要求可以使用更小差值的基准电压。

### 12位ADC，内部基准

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{REF+}$	正内置基准电压	REF2_5V = 1 for 2.5 V $I_{VREF+} \leq I_{VREF+max}$	3V	2.4	2.5	2.6	V
		REF2_5V = 0 for 1.5 V $I_{VREF+} \leq I_{VREF+max}$	2.2 V/3 V	1.44	1.5	1.56	
$AVCC(min)$	正内置基准电压有效的最小电源电压	REF2_5V = 0, $I_{VREF+} \leq 1mA$		2.2			V
		REF2_5V = 1, $I_{VREF+} \leq 0.5mA$		$V_{REF+} + 0.15$			
		REF2_5V = 1, $I_{VREF+} \leq 1mA$		$V_{REF+} + 0.15$			
$I_{VREF+}$	$V_{REF+}$ 端的负载电流		2.2 V	0.01		-0.5	mA
			3V			-1	
$I_{L(VREF)+}$	$V_{REF+}$ 端的负载调制电流	$I_{VREF+} = 500 \mu A \pm 100 \mu A$ 模拟输入电压 $\sim 0.75 V$ ; REF2_5V = 0	2.2 V			$\pm 2$	LSB
		$I_{VREF+} = 500 \mu A \pm 100 \mu A$ 模拟输入电压 $\sim 1.25 V$ ; REF2_5V = 1	3V			$\pm 2$	LSB
		$I_{VREF+} = 500 \mu A \pm 100 \mu A$ 模拟输入电压 $\sim 1.25 V$ ; REF2_5V = 1	3V			$\pm 2$	LSB
$I_{DL(VREF)+}$	$V_{REF+}$ 端的负载调制时间	$I_{VREF+} = 100 \mu A \rightarrow 900 \mu A$ , 转换结果误差 $\leq 1$ LSB	3V			20n	ns
$C_{VREF+}$	$V_{REF+}$ 端的外接电容(见注 1)	REFON = 1, $0 mA \leq I_{VREF+} \leq I_{VREF+max}$	2.2 V/3 V	5	10		$\mu F$
$T_{REF+}$	内置基准的温度系数	$I_{VREF+}$ 是一个常数，范围在 $0 mA \leq I_{VREF+} \leq 1 mA$	2.2 V/3 V			$\pm 100$	ppm/ $^{\circ}C$
$t_{REFON}$	内置基准的建立时间(见图 18 和注 2)	$I_{VREF+} = 0.5 mA$ , $C_{VREF+} = 10 \mu F$ , $V_{REF+} = 1.5 V$	2.2 V			17	ms

注:1.内部的缓冲放大器和精度要求需要一个外部电容,所有的INL和DNL测试在 $V_{REF+}$ 和 $A_{VSS}$ 以及

$V_{REF-}/V_{eREF-}$ 和 $A_{VSS}$ 之间接有两个电容:一个10uF的钽电容和100nF的陶瓷电容。

2.测试条件为:在 $t_{REFON}$ 开启之后转换误差小于 $\pm 0.5$  LSB时的时间,建立时间取决于外部电容负载。

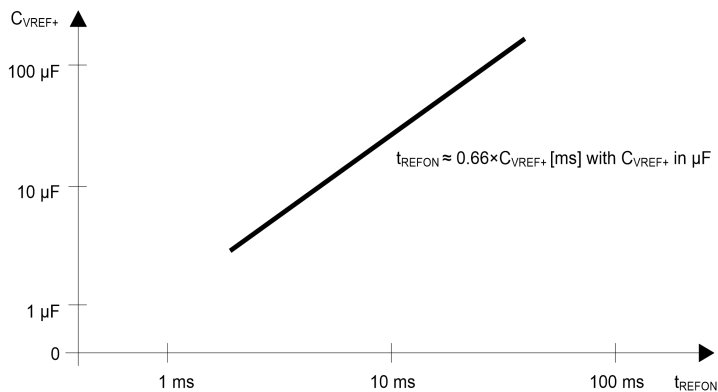


图 18.内部基准建立时间按与外部负载电容关系图

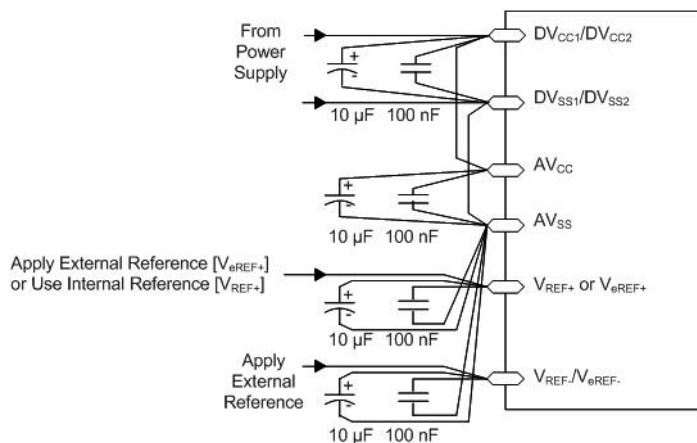


图19. $V_{REF-}/V_{eREF-}$ 外接时的电源和基准的外部连接设计

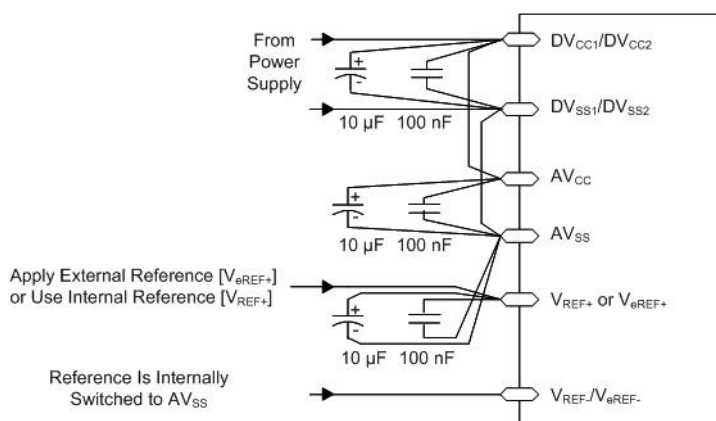


图20. $V_{REF-}/V_{eREF-}$ 内接时的电源和基准的外部连接设计

**12位ADC，时序参数**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
f <sub>ADC12CLK</sub>		保证ADC线性参数的准确性	2.2V/3 V	0.45	5	6.3	MHz
f <sub>ADC12OSC</sub>	内部 ADC12 振荡器	ADC12DIV=0, f <sub>ADC12CLK</sub> =f <sub>ADC12OSC</sub>	2.2 V/ 3 V	3.7		6.3	MHz
t <sub>CONVERT</sub>	转换时间	CVREF+ ≥ 5 uF, 内部振荡器, f <sub>ADC12OSC</sub> = 3.7 MHz	2.2 V/ 3 V	2.06		3.51	us
		外部 f <sub>ADC12CLK</sub> from ACLK, MCLK or SMCLK: ADC12SSEL ≠ 0			13·ADC12DIV· 1/f <sub>ADC12CLK</sub>		us
t <sub>ADC12ON</sub>	ADC 的开启时间	见注1				100	ns
t <sub>Sample</sub>	采样时间	R <sub>S</sub> = 400 Ω, R <sub>I</sub> = 1000 Ω, C <sub>I</sub> = 30 pF τ = [R <sub>S</sub> + R <sub>I</sub> ] × C <sub>I</sub> ; (见注2)	3 V	1220			ns

注：1.ADC12ON开启后转换误差小于±0.5 LSB的时间为 t<sub>ADC12ON</sub>。基准电压和输入信号已经建立。  
2.大概经过10τ时间后误差小于±0.5 LSB, t<sub>Sample</sub> = ln(2<sup>n+1</sup>) × (R<sub>S</sub> + R<sub>I</sub>) × C<sub>I</sub> + 800 ns (n=ADC分辨=12, R<sub>S</sub>=输入电阻)

**12位ADC，线性参数**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
E <sub>I</sub>	积分非线性误差	1.4 V ≤ (V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ) min ≤ 1.6 V	2.2 V/3 V			±2	LSB
		1.6 V < (V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ) min [V(AVCC)]				±1.7	
E <sub>D</sub>	微分非线性误差	(V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ) min ≤ (V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ), CVREF+ = 10 uF (tantalum) and 100 nF (ceramic)	2.2 V/3 V			±1	LSB
E <sub>O</sub>	失调误差	(V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ) min ≤ (V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ), Internal impedance of source R <sub>S</sub> < 100Ω, CVREF+ = 10 uF (tantalum) and 100 nF (ceramic)	2.2 V/3 V		±2	±4	LSB
E <sub>G</sub>	增益误差	(V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ) min ≤ (V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ), CVREF+ = 10 uF (tantalum) and 100 nF (ceramic)	2.2 V/3 V		±1.1	±2	LSB
E <sub>T</sub>	总不可调整误差	(V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ) min ≤ (V <sub>REF+</sub> - V <sub>REF-</sub> /V <sub>REF-</sub> ), CVREF+ = 10 uF (tantalum) and 100 nF (ceramic)	2.2 V/3 V		±2	±5	LSB

**12位ADC，温度传感器和内建中间电压VMID**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
ISENSOR	AV <sub>CC</sub> 端的电流 (见注 1)	REFON = 0, INCH = 0Ah, ADC12ON=NA, T <sub>A</sub> = 25	2.2 V		40	120	uA
			3 V		60	160	
VSENSOR		ADC12ON = 1, INCH = 0Ah, T <sub>A</sub> = 0°C	2.2 V		986	986±5%	mV
			3 V		986	986±5%	
TCSENSOR		ADC12ON = 1, INCH = 0Ah	2.2 V		3.55	3.55±3%	mV/°C
			3 V		3.55	3.55±3%	
t <sub>SENSOR</sub> (sample)	选择通道 10 需 要的采样时间 (见注 2)	ADC12ON = 1, INCH = 0Ah, 转换误差 ≤ 1 LSB	2.2 V	30			us
			3 V	30			
I <sub>VMID</sub>	通道 11 所分的电流	ADC12ON = 1, INCH = 0Ah, (见注 3)	2.2 V			NA	uA
			3 V			NA	
V <sub>MID</sub>	AV <sub>CC</sub> 在通道 11 所分的电压	ADC12ON = 1, INCH = 0Ah, V <sub>MID</sub> is ~0.5 x V <sub>AVCC</sub>	2.2 V		1.1	1.1±0.04	V
			3 V		1.5	1.5±0.04	
t <sub>VMID</sub> (sample)	选择通道 11 需 要的采样时间	ADC12ON = 1, INCH = 0Ah, 转换误差 ≤ 1 LSB	2.2 V	1400			ns
			3 V	1220			

注：1.如果(ADC12ON = 1、REFON=1)或者 (ADC12ON=1、INCH=0Ah以及采样信号为高时)，将产生传感器电流I<sub>SENSOR</sub>。磁电流包含了通过传感器和基准的电流。

2.传感器的典型等效阻抗为51kΩ，采样时间包含了传感器开启的时间t<sub>SENSOR(on)</sub>。

3.V<sub>MID</sub>只在采样过程中使用，不会产生多余的电流。

4.采样时间t<sub>VMID(sample)</sub>已经包含了开启时间t<sub>VMID(on)</sub>，不需要额外的时间。

**Flash存储器**

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
VCC(PGM/ERASE)	烧写、擦除时工作电压			2.7		3.6	V
f <sub>FTGP</sub>	Flash 编程时序产生频率			257		476	kHz
f <sub>FTGE</sub>	Flash 擦除时序产生频率			15		100	kHz
I <sub>PGM</sub>	烧写时 DV <sub>CC</sub> 端的电流		2.7 V/ 3.6 V		3	5	mA
I <sub>ERASE</sub>	擦出时 DV <sub>CC</sub> 端的电流		2.7 V/ 3.6 V		3	7	mA
t <sub>CPT</sub>	累计烧写时间	见注1	2.7 V/ 3.6 V			10	ms
t <sub>CMErase</sub>	累计大规模擦除时间	见注2	2.7 V/ 3.6 V	200			ms



参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
	编程/擦除持续时间			10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>		cycles
tRetention	数据保存周期	T <sub>J</sub> = 25°C		100			years
tWord	字或字节编程时间	见注3			35		tFTG
tBlock, 0	第一个字节或字的块烧写时间				30		
tBlock, 1-63	每一个附加字节或字的块烧写时间				21		
tBlock, End	结束块烧写序列的等待时间				6		
tMass Erase	大规模擦除时间				5297		
tSeg Erase	段擦除时间				4819		

注：1. 对一个64位的Flash模块写入时，不能超过累计写入时间。此参数适用于所有的flash烧写方法。

2. 大规模擦除时间是由Flash时序决定的，至少11.1ms(=5297x1/fFTG，最大值=5297x1/476kHz)。

3. 这些值已经固化到Flash控制器的状态机中(t<sub>FTG</sub> = 1/f<sub>FTG</sub>)。

4. 片内擦除频率不能高于100K。

5. 片内编程只能以字的格式编程，不能以字节的格式编程。

6. 信息存储区只有 A 段（128 字节），没有 B 段。

7. 主存储区每段 2048 字节，而不是 512 字节。

#### JTAG, 接口

参数		测试条件	电源电压	最小值	典型值	最大值	单位
fTCK	TCK 输入频率	见注1	2.2 V	0		5	MHz
			3 V	0		10	MHz
RInternal	TMS, TCK, TDI/TCLK 接口的内部上拉电阻	见注2	2.2 V/ 3 V	25	60	90	kΩ

注：1. f<sub>TCK</sub>也可能被所选择模块的时序要求所限制。

2. TMS, TDI/TCLK和TCK的上拉电阻芯片已经集成。

#### JTAG, 熔丝（见注1）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
VCC(FB)	烧断熔丝需要电源电压	T <sub>A</sub> = 25°C	2.5			V
VFB	烧断熔丝需要的 TDI/TCLK 的电压水平		6		7	V
IFB	烧断熔丝需要 TDI/TCLK 的电流				100	mA
tFB	烧断熔丝需要的时间				1	ms

注：1. 一旦熔丝烧断，就再也不可能连接到MS616F22的JTAG/Test，仿真特性也将失去。JTAG模块切换为旁路模式。

**TDC直流电特性**

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
32kHz 晶振电流	$I_{32}$	$I_{CC}+I_{IO}$ , 仅 32kHz 晶振工作		1		uA
4 Mhz 晶振电流	$I_{hs}$	$V_{CC}=V_{IO}=3.6V$		200		uA
		$V_{CC}=V_{IO}=3.0V$		130		uA
		关闭时		<1		uA
时间测量单元电流	$I_{tmu}$	仅当时间测量开启		4		mA
静态电流	$I_{ddq}$	所有时钟关闭, @85°C		<0.1		uA
操作电流	$I_o$	TOF-UP/DOWN, 1/s		1.1		uA
		常温, PT1000, 1/30s		0.15		
温度测量电流	$I_T$	每 30 秒一次		0.085		uA
模拟部分电流	$I_{ana}$	开启模拟部分		0.8		mA
总电流	$I_{total}$	每秒 2 次时间测量 每 30 秒一次温度测量		2.3		uA
输出高电压	$V_{oh}$	$I_{oh}=tbd\ mA, V_{io}=\text{Min.}$	$0.8V_{io}$			V
输出低电压	$V_{ol}$	$I_{ol}=tbd\ mA, V_{io}=\text{Min}$			$0.2V_{io}$	V
输入高电压	$V_{ih}$	LVTTL, $V_{io} = \text{Max.}$	$0.7V_{io}$			V
输入低电压	$V_{il}$	LVTTL, $V_{io} = \text{Min.}$			$0.3V_{io}$	V
施密特触发高电平电压	$V_{th}$		$0.7V_{io}$			V
施密特触发低电平电压	$V_{tl}$				$0.3V_{io}$	V
施密特触发器阈值	$V_h$			0.28		V

**TDC模拟电路前端**

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
比较器输入电压漂移 (斩波稳定)				<1	2	mV
STOP1/STOP2 输入的模拟开关 开启时的阻抗	$R_{dson(AS)}$			200		Ohm
FIRE_UP, FIRE_DOWN 输出缓存 开启时的开启阻抗	$R_{dson(FIRE)}$	对称输出, $R_{dson(HIGH)}=R_{dson(LOW)}$		4		Ohm
FIRE_UP, FIRE_DOWN 输出缓存的 输出电流	$I_{FIRE}$			96		mA

**TDC时间测量单元**

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
测量分辨率	LSB	测量范围 1&2 DOUBLE_RES = 0		75		ps
		DOUBLE_RES = 1		37		
		测量模式 2: QUAD_RES = 1		19		
标准偏差	$\sigma$	测量范围 1&2 DOUBLE_RES = 0		t.b.d		ps
		DOUBLE_RES = 1				
		测量模式 2: QUAD_RES = 1		t.b.d		
测量范围	$t_m$	测量范围 1	3.5ns		2.4 $\mu$ s	
		测量范围 2 (4M 高速时钟)	500ns		4ms	
积分非线性度	INL			<0.1		LSB
差分非线性度	DNL			<0.1		LSB

**TDC温度测量单元1**

参数	测试条件				单位	
	内部施密特触发器		外部施密特触发器 <sup>2</sup>			
	PT500	PT1000	PT500	PT1000		
分辨率 RMS	17.5	17.5	16.0	16.0	Bit	
SNR	105	105	96	96	dB	
绝对增益 <sup>3</sup>	0.9912	0.9931	0.9960	0.9979		
绝对增益 vs. $V_{io}$ <sup>3</sup>	3.6V	0.9923	0.9940	0.9962	0.9980	
	3.0V	0.9912	0.9931	0.9960	0.9979	
	2.5V	0.9895	0.9915	0.9956	0.9979	
增益漂移 vs. $V_{io}$	0.25	0.23	0.06	0.04	%/V	
最大增益误差@ $d^{\ominus}=100$ K	0.05%	0.05%	0.02%	<0.01%		
增益漂移 vs. 温度	0.022	0.017	0.012	0.0082	%/10K	
增益漂移 vs. $V_{io}$			0.08		%/V	
初始零点漂移	<20	<10	<20	<10	mK	
零点漂移 vs. 温度	<0.05	<0.03	<0.012	<0.082	mK/°C	
PSRR		>100			dB	

- 注：1. 所有测量全部在 3.0 V 获得,  $C_{load} = 100 \text{ nF}$  用于 PT1000, 而 200 nF 用于 PT500 (COG-类型)。  
 2. 应用外部 74AHC14 施密特触发器。  
 3. 与一个理想的增益为1情况相比较。

### TDC时钟振荡器

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
32kHz 参考晶振时钟	Clk <sub>32</sub>		32.768		kHz
32kHz 晶振在上电后起振时间	t <sub>32st</sub>		3		s
高速晶振参考时钟	Clk <sub>HS</sub>	2	4	8	MHz
陶瓷晶振起振时间	t <sub>oszst</sub>		100		μs
石英晶振起振时间	t <sub>oszst</sub>		1		ms

### TDC串行接口

参数	符号	最大值		单位
		VCC=2.5V	VCC=3.3V	
串行时钟频率	f <sub>clk</sub>	15	20	MHz
串行时钟, 脉冲高	t <sub>pwh</sub>	30	25	ns
串行时钟, 脉冲低	t <sub>pwl</sub>	30	25	ns
SSN 开启到时钟沿有效	t <sub>susssn</sub>	40	10	ns
SSN 在写循环之间的脉冲宽度	t <sub>pwssn</sub>	50	40	ns
SSN 在 SCK 下降沿后的保持时间	t <sub>hssn</sub>	40	25	ns
数据有效到 SCK 下降沿的时间	t <sub>sud</sub>	5	5	ns
数据在 SCLK 下降沿后的保持时间	t <sub>hd</sub>	5	5	ns
在 SCK 上升沿到数据有效的时间	t <sub>vd</sub>	20	16	ns

串行接口 (SPI 兼容, 时钟相位 =1, 时钟极性 =0):

串行接口是与 4 线制 SPI 兼容的, 它需要一个 SerialSelectNot (SSN)信号, 从而不能够工作在 3-线制 SPI 接口。

第一个 SCK 的上升沿将会复位 INTN 管脚(中断管脚)状态。

从最高位(MSB)开始传输以最低位(LSB)结束。传输是以字节方式完成的。数据传输可以在每个字节后停止, 通过给 SSN 发送一个 LOW-HIGH-LOW 的电平。

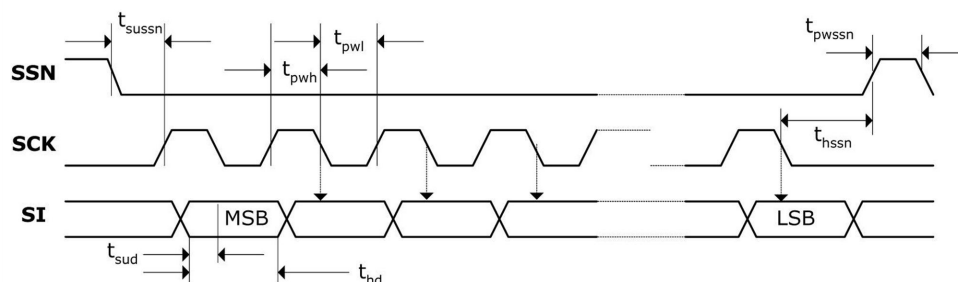


图 21. SPI 写时序

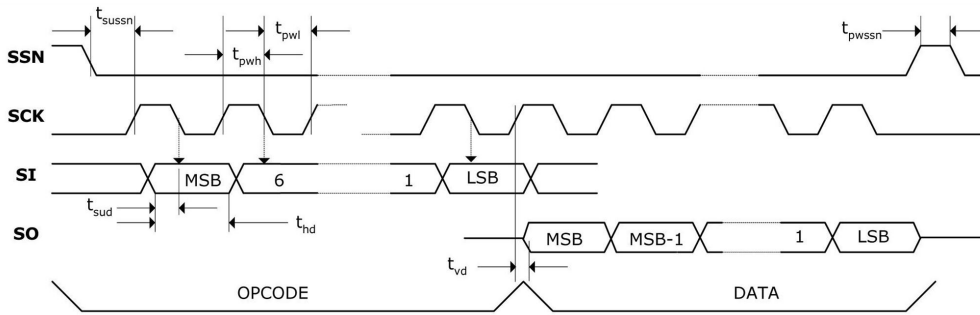


图 22.SPI 读时序

### 关闭 STOP 通道的时序

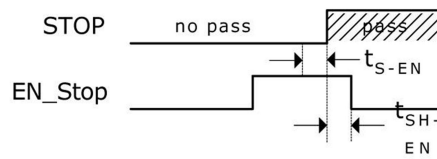


图23.关闭STOP通道时序

参数	符号	最小值	最大值	单位
使能建立时间	$t_{S-EN}$	t.b.d.	-	ns
使能保持时间	$t_{SH-EN}$	t.b.d.	-	ns

### 系统复位时序

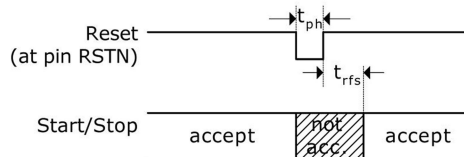


图 24.系统复位时序

参数	符号	最小值	最大值	单位
复位脉冲宽度	$t_{ph}$	t.b.d.	-	ns
在复位脉冲上升沿后到可以接受脉冲的时间间隔	$t_{rfs}$	t.b.d.	-	ns

注：1.在上电复位后,至少要等待500μs才可以启动模拟电路部分。

## 功能描述

### MCU工作模式

MCU具有一种工作模式和五种软件可配置的低功耗模式。中断事件可以将设备从任何一种低功耗模式下唤醒，然后执行中断服务程序并返回低功耗模式。

通过配置寄存器可以进入以下六种低功耗模式：

- 工作模式 (AM)
  - 所有时钟都在工作
- 低功耗模式0 (LPM0)
  - CPU停止工作
  - ALCK和SMCLK保持工作，MCLK停止工作
  - FLL+环路控制保持工作
- 低功耗模式1 (LPM1)
  - CPU停止工作
  - ALCK和SMCLK保持工作，MCLK停止工作
  - FLL+环路控制停止工作
- 低功耗模式2 (LPM2)
  - CPU停止工作
  - MCLK，FLL+环路控制，DCOCLK停止工作
  - DCO的直流发生器保持工作
  - ALCK保持工作
- 低功耗模式3 (LPM3)
  - CPU停止工作
  - MCLK，FLL+环路控制，DCOCLK停止工作
  - DCO的直流发生器停止工作
  - ALCK保持工作
- 低功耗模式4 (LPM4)
  - CPU停止工作
  - MCLK，FLL+环路控制，DCOCLK停止工作
  - DCO的直流发生器停止工作
  - ALCK停止工作
  - 晶振停止工作

### MCU 特殊寄存器

#### 1.PC

程序计数器PC共可寻址64KB存储空间。程序计数器PC总是指向偶数字节地址。在CPU运行周期中，访问PC所指向的存储器，然后PC加2。

#### 2.SP

堆栈指针SP总是指向堆栈的顶部。它采用预减后加的机制，系统在压栈时，总是先将SP的值减去2，再将数据送到SP指定的RAM单元中，系统在将数据推出栈时，先将数据从SP指向的RAM单元中取出后，再将SP加上2。

### 3.SR

SR为CPU内部状态寄存器，其结构如下所示：

位	符号	说明
15 ~ 9		保留
8	V	溢出标志位，当有符号数的算数运算溢出时置1
7	SCG1	系统时钟控制位1，置1时，若DCOCLK没有用于MCLK或SMCLK，则关闭DCO直流发生器
6	SCG0	系统时钟控制位0，置1时，关闭FLL+环路控制
5	OSC OFF	振荡器关闭位，置1时，若LFXT1CLK没有用于MCLK或SMCLK，则关闭LFXT1晶振
4	CPU OFF	CPU关闭位，置1时，关闭CPU
3	GIE	通用中断使能位，置1时，使能可屏蔽中断，清0时，所有的可屏蔽中断都被禁止
2	N	负标志位，当运算结果为负时，置1
1	Z	零标志位，当运算结果为0时，置1
0	C	进位标志位，当运算产生进位时，置1

### 4.常数发生器CG1和CG2

六个常用常数可以通过寄存器CG1与CG2产生，而不需要额外的程序代码。这六个常数分别为：0000h、0001h、0002h、0004h、0008h、0FFFh。当这6个常数任意一个被用作源立即数时，编译程序将自动使用常数发生器，节约指令代码。

### 5.通用寄存器R4到R15

R4 到 R15 是 12 个通用寄存器，这些寄存器可用作数据寄存器，地址指针，或索引值。可以通过字或字节指令来访问。

## MCU 资源地址分配

### 1.存储器地址分配

存储器类型	访问类型	地址范围
中断向量地址	Flash	FFFFh - FFE0h
主存储区		FFDFh - 1100h
信息存储区		107Fh - 1000h
ROM	-	0FFFh - 0C00h
RAM	-	09FFh - 0200h
外设寄存器	16位寄存器	01FFh - 0100h
	8位寄存器	0FFh - 010h
专用寄存器	8位寄存器	0Fh - 00h

**2. 中断向量地址（见注4）**

中断源	中断标志	系统中断	地址	优先级
上电 外部复位 看门狗 Flash存储器	WDTIFG KEYV (见注1)	复位	0FFF0h	15 (最高)
NMI 振荡器错误 Flash访问违法	NMIIFG (见注1, 3) OFIFG (见注1, 3) ACCVIFG (见注1, 3)	非屏蔽	0FFFCh	14
定时器B	TBCCR0 CCIFG (见注2)	可屏蔽	0FFFAh	13
定时器B	TBCCR1 to TBCCR6 CCIFG, TBIFG (见注1, 2)	可屏蔽	0FFF8h	12
比较器A	CAIFG	可屏蔽	0FFF6h	11
看门狗	WDTIFG	可屏蔽	0FFF4h	10
USART0接收	URXIFG0	可屏蔽	0FFF2h	9
USART0发送	UTXIFG0	可屏蔽	0FFF0h	8
ADC12	ADC12IFG (见注1, 2)	可屏蔽	0FFEEh	7
定时器A	TACCR0 CCIFG (见注2)	可屏蔽	0FFECCh	6
定时器A	TACCR1 and TACCR2 CCIFG, TAIFG (见注1, 2)	可屏蔽	0FFEAh	5
I/O端口P1	P1IFG.0 to P1IFG.7(见注1, 2)	可屏蔽	0FFE8	4
USART1接收	URXIFG1	可屏蔽	0FFE6h	3
USART1发送	UTXIFG1	可屏蔽	0FFE4h	2
中断源	中断标志	系统中断	地址	优先级
I/O端口P2	P2IFG.0 to P2IFG.7(见注1, 2)	可屏蔽	0FFE2h	1
基础定时器	BTIFG	可屏蔽	0FFE0h	0

注：1. 多源中断。

2. 中断标志位于模块内部。

3. 非屏蔽：可使用专用的中断使能位屏蔽中断，但无法通过通用的中断使能位来屏蔽。

4. 中断向量和上电复位的起始地址位于地址空间0FFFFh到0FFE0h中。中断向量存储着中断服务程序的起始地址。

**3. 专用寄存器**

模块使能寄存器2 ME2地址05h

位	符号	说明
7~6		保留
5	UTXE1	USART1: UART模式接收使能
4	URXE1	USART1: UART模式发送使能
	USPIE1	USART1: SPI模式发送和接收使能
3~0		保留



## 模块使能寄存器1 ME1地址04h

位	符号	说明
7	UTXEO	USART0: UART模式接收使能
6	URXEO	USART0: UART模式发送使能
	USPIO	USART0: SPI模式发送和接收使能
5~0		保留

## 中断标志寄存器2 IFG2地址03h

位	符号	说明
7	BTIE	基本定时器中断标志
6		保留
5	URXIE0	USART1:UART与SPI发送中断标志
4	URXIE0	USART1:UART与SPI接收中断标志
3~0		保留

## 中断标志寄存器1 IFG1地址02h

位	符号	说明
7	UTXIFG0	USART0:UART与SPI发送中断标志
6	URXIFG0	USART0:UART与SPI接收中断标志
5		保留
4	NMIIFG	通过 $\overline{\text{RST}}/\text{NMI}$ 脚置位
3~2		保留
1	OFIFG	振荡器错误中断标志
0	WDTIFG	看门狗定时器中断标志, 当看门狗定时器(看门狗模式下)溢出或安全密钥错误时置位; $V_{cc}$ 上电或 $\overline{\text{RST}}/\text{NMI}$ 脚在复位模式下产生复位时复位。

## 中断使能寄存器2 IE2地址01h

位	符号	说明
7	BTIE	基本定时器中断使能
6		保留
5	UTXIE0	USART1:UART与SPI发送中断使能
4	URXIE0	USART1:UART与SPI接收中断使能
3~0		保留

中断使能寄存器1 IE1地址00h

位	符号	说明
7	UTXIE0	USART0:UART与SPI发送中断使能
6	URXIE0	USART0:UART与SPI接收中断使能
5	ACCVIE	Flash访问违法中断使能
4	NMIIE	非屏蔽中断使能
3~2		保留
1	OFIE	振荡器错误中断使能
0	WDTIE	看门狗定时器中断使能，若配置看门狗功能，此位失效；若配置为定时器功能，此位有效

#### 4. 外设寄存器

模块	寄存器名称	缩写	地址
看门狗定时器	看门狗控制寄存器	WDCTL	0120h
定时器B	捕获比较寄存器6	TBCCR6	019Eh
	捕获比较寄存器5	TBCCR5	019Ch
	捕获比较寄存器4	TBCCR4	019Ah
定时器B	捕获比较寄存器3	TBCCR3	0198h
	捕获比较寄存器2	TBCCR2	0196h
	捕获比较寄存器1	TBCCR1	0194h
	捕获比较寄存器0	TBCCR0	0192h
	定时器B寄存器	TBR	0190h
	捕获比较控制寄存器6	TBCTL6	018Eh
	捕获比较控制寄存器5	TBCTL5	018Ch
	捕获比较控制寄存器4	TBCTL4	018Ah
	捕获比较控制寄存器3	TBCTL3	0188h
	捕获比较控制寄存器2	TBCTL2	0186h
	捕获比较控制寄存器1	TBCTL1	0184h
	捕获比较控制寄存器0	TBCTL0	0182h
	定时器B控制寄存器	TBCTL	0180h
	定时器B中断向量寄存器	TBIV	011Eh
定时器A	保留	-	017Eh
	保留	-	017Ch
	保留	-	017Ah
	保留	-	0178h
	捕获比较寄存器2	TACCR2	0176h
	捕获比较寄存器1	TACCR1	0174h
	捕获比较寄存器0	TACCR0	0172h

	定时器A寄存器	TAR	0170h
	保留	-	016Eh
	保留	-	016Ch
	保留	-	016Ah
	保留	-	0168h
	捕获比较控制寄存器2	TACCTL2	0166h
	捕获比较控制寄存器1	TACCTL1	0164h
	捕获比较控制寄存器0	TACCTL0	0162h
	定时器A控制寄存器	TACTL	0160h
	定时器A中断向量寄存器	TAIV	012Eh
	硬件乘法器	结果扩展寄存器	SUMEXT
高位结果寄存器		RESHI	013Ch
低位结果寄存器		RESLO	013Ah
操作数2寄存器		OP2	0138h
操作数1寄存器		MACS	0136h
硬件乘法器	操作数1寄存器	MAC	0134h
	操作数1寄存器	MPYS	0132h
	操作数1寄存器	MPY	0130h
Flash控制器	Flash 控制寄存器 3	FCTL3	012Ch
	Flash 控制寄存器 2	FCTL2	012Ah
	Flash 控制寄存器 1	FCTL1	0128h
ADC12	转换缓存寄存器15	ADC12MEM15	015Eh
	转换缓存寄存器 14	ADC12MEM14	015Ch
	转换缓存寄存器 13	ADC12MEM13	015Ah
	转换缓存寄存器 12	ADC12MEM12	0158h
	转换缓存寄存器 11	ADC12MEM11	0156h
	转换缓存寄存器 10	ADC12MEM10	0154h
	转换缓存寄存器 9	ADC12MEM9	0152h
	转换缓存寄存器 8	ADC12MEM8	0150h
	转换缓存寄存器 7	ADC12MEM7	014Eh
	转换缓存寄存器 6	ADC12MEM6	014Ch
	转换缓存寄存器 5	ADC12MEM5	014Ah
	转换缓存寄存器 4	ADC12MEM4	0148h
	转换缓存寄存器 3	ADC12MEM3	0146h
	转换缓存寄存器 2	ADC12MEM2	0144h
	转换缓存寄存器 1	ADC12MEM1	0142h
转换缓存寄存器 0	ADC12MEM0	0140h	

	中断向量寄存器	ADC12IV	01A8h
	中断使能寄存器	ADC12IE	01A6h
	中断标志寄存器	ADC12IFG	01A4h
	控制寄存器1	ADC12CTL1	01A2h
	控制寄存器0	ADC12CTL0	01A0h
	ADC12储存控制寄存器15	ADC12MCTL15	08Fh
	ADC12 储存控制寄存器 14	ADC12MCTL14	08Eh
	ADC12 储存控制寄存器 13	ADC12MCTL13	08Dh
	ADC12 储存控制寄存器 12	ADC12MCTL12	08Ch
	ADC12 储存控制寄存器 11	ADC12MCTL11	08Bh
	ADC12 储存控制寄存器 10	ADC12MCTL10	08Ah
ADC12	ADC12 储存控制寄存器 9	ADC12MCTL9	089h
	ADC12 储存控制寄存器 8	ADC12MCTL8	088h
	ADC12 储存控制寄存器 7	ADC12MCTL7	087h
	ADC12 储存控制寄存器 6	ADC12MCTL6	086h
	ADC12 储存控制寄存器 5	ADC12MCTL5	085h
	ADC12 储存控制寄存器 4	ADC12MCTL4	084h
	ADC12 储存控制寄存器 3	ADC12MCTL3	083h
	ADC12 储存控制寄存器 2	ADC12MCTL2	082h
	ADC12 储存控制寄存器 1	ADC12MCTL1	081h
ADC12 储存控制寄存器 0	ADC12MCTL0	080h	
USART1	发送缓冲寄存器	U1TXBUF	07Fh
	接收缓冲寄存器	U1RXBUF	07Eh
	波特率寄存器1	U1BR1	07Dh
	波特率寄存器0	U1BR0	07Ch
	调制器控制寄存器	U1MCTL	07Bh
	接收控制寄存器	U1RCTL	07Ah
	发送控制寄存器	U1TCTL	079h
	USART1控制寄存器	U1CTL	078h
USART0	发送缓冲寄存器	U0TXBUF	077h
	接收缓冲寄存器	U0RXBUF	076h
	波特率寄存器1	U0BR1	075h
	波特率寄存器0	U0BR0	074h
	调制器控制寄存器	U0MCTL	073h
	接收控制寄存器	U0RCTL	072h
	发送控制寄存器	U0TCTL	071h
	USART0控制寄存器	U0CTL	070h

比较器A	比较器A端口关闭寄存器	CAPD	05Bh
	比较器A控制寄存器2	CACTL2	05Ah
	比较器A控制寄存器1	CACTL1	059h
SVS	SVS控制寄存器	SVSCTL	056h
FLL+时钟	FLL+控制寄存器1	FLL_CTL1	054h
	FLL+控制寄存器0	FLL_CTL0	053h
	系统时钟频率控制寄存器	SCFQCTL	052h
	系统时钟频率积分器寄存器1	SCFI1	051h
	系统时钟频率积分器寄存器0	SCFI0	050h
基本定时器	基本定时计数寄存器2	BTCNT2	047h
	基本定时计数寄存器1	BTCNT1	046h
	基本定时器控制寄存器	BTCTL	040h
P6	端口P6功能选择寄存器	P6SEL	037h
	端口P6方向选择寄存器	P6DIR	036h
	端口P6输出寄存器	P6OUT	035h
	端口P6输入寄存器	P6IN	034h
P4	端口P4功能选择寄存器	P4SEL	01Fh
	端口P4方向选择寄存器	P4DIR	01Eh
	端口P4输出寄存器	P4OUT	01Dh
	端口P4输入寄存器	P4IN	01Ch
P2	端口2功能选择寄存器	P2SEL	02Eh
	端口2中断使能寄存器	P2IE	02Dh
	端口2中断边沿选择寄存器	P2IES	02Ch
	端口2中断标志寄存器	P2IFG	02Bh
	端口2方向选择寄存器	P2DIR	02Ah
	端口2输出寄存器	P2OUT	029h
	端口2输入寄存器	P2IN	028h
P1	端口1功能选择寄存器	P1SEL	026h
	端口1中断使能寄存器	P1IE	025h
	端口1中断边沿选择寄存器	P1IES	024h
	端口1中断标志寄存器	P1IFG	023h
	端口1方向选择寄存器	P1DIR	022h
	端口1输出寄存器	P1OUT	021h
	端口1输入寄存器	P1IN	020h



若SRC = 01987h, DST = 01234h, 则:

	执行前	执行后
存储单元01987h	01028h	01028h
存储单元01234h	01234h	01028h

- 间接寄存器寻址: 操作数在内存中, 操作数的地址在寄存器中, 只能用于源操作数。

例如: 汇编程序                      ROM中的内容

MOV @R5, 0(R6)                  MOV @R5, 0(R6)

将地址为R5的存储单元内容移动到地址为R6的存储单元中。

	执行前	执行后
R5	01987h	01987h
R6	0FFF0h	0FFF0h
存储单元01987h	01028h	01028h
存储单元0FFF6h	01234h	01028h

- 间接增量寻址: 操作数在内存中, 操作数的地址在寄存器中, 只能用于源操作数。

例如: 汇编程序                      ROM中的内容

MOV @R5+, 0(R6)                  MOV @R5+, 0(R6)

将地址为R5的存储单元内容移动到地址为R6的存储单元中, 执行后R5的内容变为R5 + 2(若为字节操作则R5执行后变为R5 + 1)。

	执行前	执行后
R5	01987h	01989h
R6	0FFF0h	0FFF0h
存储单元01987h	01028h	01028h
存储单元0FFF6h	01234h	01028h

- 立即寻址: 操作数的指令中由源操作数直接给出, 只能用于源操作数。

例如: 汇编程序                      ROM中的内容

MOV #87A8h, R6                  MOV @PC+, R6

将常数87A8h移动到寄存器R6中。

## 2.指令系统

MCU具有27条内核指令, 以及24条仿真指令。

	助记符	操作	状态位			
			V	N	Z	C
数 据 传 输 类	MOV(.B) SRC, DST	SRC -> DST	-	-	-	-
	CLR(.B) DST	0 -> DST	-	-	-	-
	PUSH(.B) SRC, DST	SP-2 -> SP, SRC -> @SP	-	-	-	-
	POP(.B) DST	@SP -> DST, SP+2 -> SP	-	-	-	-
	SWPB DST	交换高, 低位字节	-	-	-	-
	SXT DST	bit7->bit8, bit7->bit9, ..., bit7->bit15	0	*	*	*

数据运算类	ADD(.B) SRC, DST	DST + SRC -> DST	*	*	*	*
	ADC(.B) DST	DST + C -> DST	*	*	*	*
	ADDC(.B) SRC, DST	DST + SRC + C -> DST	*	*	*	*
	DADC(.B) SRC, DST	DST + C -> DST (十进制)	*	*	*	*
	DADD(.B) SRC, DST	DST + SRC + C -> DST(十进制)	*	*	*	*
	INC(.B) SRC, DST	DST + 1 -> DST	*	*	*	*
	INCD(.B) SRC, DST	DST + 2 -> DST	*	*	*	*
	SUB(.B) SRC, DST	DST + ~ SRC + 1 -> DST	*	*	*	*
	SUBC(.B) SRC, DST	DST + ~ SRC + C -> DST	*	*	*	*
	SBC(.B) DST	DST + 0FFFFh + C -> DST	*	*	*	*
	CMP(.B) SRC, DST	DST + ~ SRC + 1	*	*	*	*
	DEC(.B) DST	DST - 1 -> DST	*	*	*	*
	DECD(.B) DST	DST - 2 -> DST	*	*	*	*
	TST(.B) DST	DST + 0FFFFh + 1	*	*	*	1
助记符	操作	状态位				
		V	N	Z	C	
逻辑操作类	AND(.B) SRC, DST	DST & SRC -> DST	0	*	*	*
	BIC(.B) SRC, DST	DST & (~ SRC) -> DST	-	-	-	-
	BIS(.B) SRC, DST	DST   SRC -> DST	-	-	-	-
	BIT(.B) SRC, DST	DST & SRC	0	*	*	*
	XOR(.B) SRC, DST	DST ^ SRC	*	*	*	*
	RLA(.B) DST	C <- MSB <- MSB-1 <- ... <- LSB <- 0	*	*	*	*
	RLC(.B) DST	C <- MSB <- MSB-1 <- ... <- LSB <- C	*	*	*	*
	RRA(.B) DST	MSB -> MSB -> MSB-1 -> ... -> LSB -> C	0	*	*	*
	RRC(.B) DST	C -> MSB -> MSB-1 -> ... -> LSB -> C	*	*	*	*
	INV(.B) DST	~ DST	*	*	*	*
位操作类	CLRC	0 -> C	-	-	-	0
	CLRN	0 -> N	-	0	-	-
	CLRZ	0 -> Z	-	-	0	-
	DINT	0 -> GIE	-	-	-	-
	EINT	1 -> GIE	-	-	-	-
	SETC	1 -> C	-	-	-	1
	SETN	1 -> N	-	1	-	-
	SETZ	1 -> Z	-	-	1	-
流程类	BR DST	DST -> PC	-	-	-	-
	CALL DST	DST -> TMP, SP-2 -> SP, PC -> @SP, TMP -> PC	-	-	-	-



JC/JHS 标号	若C=1, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JZ/JEQ 标号	若Z=1, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JGE 标号	若N ^ V=0, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JL 标号	若N ^ V=1, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JMP 标号	PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JN 标号	若N=1, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JNC/JL 标号	若C=0, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
JNZ/JNE 标号	若Z=0, PC+2×offset ->PC	-	-	-	-
RET	@SP -> PC, SP+2 -> SP	-	-	-	-
RETI	TOS -> SR, SP+2 -> SP, TOS -> PC, SP+2 -> SP	*	*	*	*
NOP	空操作	-	-	-	-

注：TOS为“栈顶内容”。

## MCU FLL+时钟模块

### 1.FLL+时钟模块简介

FLL+是一个数字锁相环，支持低系统功耗。通过选择内部的3个时钟，用户可以在系统性能与功耗之间做出合适的选择。FLL+可以提供为数倍于LFXT1晶振的时钟信号。

在PUC完成后，ACLK经过DCOCLK32倍频后得到MCLK与SMCLK。当ALCK使用32.768KHz的晶振时，MCLK与SMCLK的频率稳定在1.048576MHz。

状态寄存器的控制位SCG0,SCG1,OSCOFF,CPUOFF,可以配置系统的工作模式，控制FLL+时钟模块的开启与关闭。FLL+模块可以通过软件配置寄存器SCFQCTL, SCFI0,SCFI1, FLL\_CTL0, FLL\_CTL1完成对系统时钟的设置。

FLL+时钟模块包含2或3个时钟源：

- LFXT1CLK：使用32.768KHz或450KHz-8MHz的振荡器
- XT2CLK：高频振荡器，可选450KHz-8MHz
- DCOCLK：内部数控RC振荡器(DCO)

FLL+可以提供3种时钟信号：

- ACLK：辅助时钟，ACLK是由LFXT1CLK信号1、2、4、8分频后得到的。ACLK可由软件选作各个外围模块的时钟信号，一般用于低速外设。
- MCLK：系统主时钟，可由软件选择LFXT1CLK、XT2CLK、DCOCLK三者之一作为时钟来源，然后经过1、2、4、8分频后得到。MCLK主要用于CPU和系统。
- SMCLK：系统子时钟，可由软件选择LFXT1CLK、XT2CLK、DCOCLK三者之一作为时钟来源，然后经过1、2、4、8分频后得到。SMCLK主要用于高速外围模块。

### 2.FLL+时钟模块在低功耗下的应用

在使用电池系统中，相互矛盾的典型需求：

- 出于系统功耗与定时应用的考虑下，希望使用低的时钟频率

- 出于系统对突发时间处理速度与反应时间的考虑下，希望使用高的时钟频率
- 在工作温度与电压范围内时钟的稳定性

FLL+时钟模块允许用户可以通过选择3个时钟信号：ACLK,MCLK,SMCLK来解决以上矛盾的需求。在最佳的低功耗应用中，ALCK可以配置为低功耗的32.768KHz晶振，以提供一个稳定的基本时钟用于系统工作与低功耗待机。MCLK可以配置为片内的DCO，当有中断请求时激活时钟。

### 3.内部超低功耗低频振荡器

内部的超低功耗低频振荡器（VLO）提供一个典型频率为12KHz的时钟，而不需要外部晶振。VLOCLK源可以通过设置寄存器LFXT15x=10，XTS\_FLL=0来选择。在LPM4模式下，OSCOFF位可以禁止VLO。当选择VLO时，LFXT1晶振可以关断，以减小电流消耗。当没有使用VLO时，它不消耗电流。

### 4.LFXT1振荡器

当XTS\_FLL=0时，LFXT1振荡器使用32.768KHz的外部晶振并支持超低功耗。只需在XIN与XOUT两个引脚间接一个晶振即可。

当XTS\_FLL=1时，LFXT1振荡器支持高速振荡器或陶瓷振荡器。只需在XIN与XOUT两个引脚间接一个告诉晶振或陶瓷振荡器即可。

当XTS\_FLL=1时，LFXT1振荡器可以使用连接在XIN引脚上的外部的时钟信号，输入的频率范围450KHz~8MHz。

用户可以通过配置XCAPxPF，为LFXT1选择内部的负载电容，可选值为1，6，8，10pF。

若LFXT1没有用于MCLK的源时（SELM ≠ 3 or CPUOFF = 1），可以通过软件设置OSCOFF位来关闭LFXT1。

### 5.DCO振荡器

DCO是一个具有RC特性的集成环路振荡器。DCO的频率稳定在ACLK的N倍频。可以通过配置寄存器调节DCO的频率范围，当DCO没有作为SMCLK与MCLK时钟信号时，可以通过状态寄存器中的SCG0位关闭直流发生器。

当两个外部振荡器失效时，DCO振荡器就会自动被选作MCLK的时钟源，因此由振荡器失效引起的NMI中断请求可以得到响应，甚至在CPU关闭的情况下也能得到处理。

### 6.FLL+时钟模块寄存器

SCFQCTL系统时钟控制寄存器(052h)

7	6	5	4	3	2	1	0
SCFQ_M	N						
rw-0	rw-0	rw-0	rw-1	rw-1	rw-1	rw-1	rw-1

SCFQ\_M 调制器使能位

0 使能调制器

1 禁止调制器

N DCO倍频系数。N必须大于0

若DCOPLUS = 0,  $f_{DCOCLK} = (N + 1) \times f_{crystal}$

若DCOPLUS = 0,  $f_{DCOCLK} = (N + 1) \times f_{crystal}$

**SCIF0系统频率积分器寄存器0 (050h)**

7	6	5	4	3	2	1	0
FLLDx		FN_x				MODx (LSBs)	
rw-0	rw-1	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

**FLLDx** FLL+分频系数，DCOCLK在FLL+反馈环中被分频。

- 00 不分频
- 01 2分频
- 10 4分频
- 11 8分频

**FN\_x** DCO频率范围控制。

- 0000 0.65 ~ 6.1MHz
- 0001 1.3 ~ 12.1MHz
- 001x 2 ~ 17.9MHz
- 01xx 2.8 ~ 26.6MHz
- 1xxx 4.2 ~ 46MHz

**MODx** 调制器控制的最低2位，位0是调制器控制的最低有效位。这几位影响调制器的工作模式。  
所有的MODx位都可以通过FLL+自动调整。

**SCIF0系统频率积分器寄存器0 (051h)**

7	6	5	4	3	2	1	0
DCOx					MODx (MSBs)		
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

**DCOx** DCOCLK频率控制位，这5位控制DCOCLK频率的29种组合（最高四种相同），  
每一种组合比前一种高出10%。

**MODx** 调制器控制的最高3位，位2是调制器控制位的最高有效位。这几位影响调制器的工作模式。  
所有的MODx位都可以通过FLL+自动调整。

**FLL\_CTL0 FLL+控制寄存器0 (053h)**

7	6	5	4	3	2	1	0
DCOPLUS	XTS_FLL	XCAPxPF		XT2OF	XT1OF	LFOF	DCOF
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-1	rw-1

**DCOPLUS** 当DCO输出用作MCLK或SMCLK前，是否预分频。

- 0 分频
- 1 不分频

**XTS\_FLL** 选择LFXT1模式

- 0 低频模式
- 1 高频模式

**XCAPxPF** 振荡器电容选择，这位为低频振荡器选择负载电容。在高频模式下必须为00。

- 00 0~1pF
- 01 1~6pF

10 2~8pF

11 3~10pF

XT2OF XT2振荡器失效标志位。

0 没有失效

1 失效

XT1OF LFXT1高频振荡器失效标志位。

0 没有失效

1 失效

LFOF LFXT1低频振荡器失效标志位。

0 没有失效

1 失效

DCOF DCO失效标志位。

0 没有失效

1 失效

FLL\_CTL1 FLL+控制寄存器1 (054h)

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	SMCLKOFF	XT2OFF	SELMx		SELS	FLL_DIVx	
r-0	rw-0	rw-1	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

SMCLKOFF 关闭SMCLK

0 开启SMCLK

1 关闭SMCLK

XT2OFF 关闭XT2

0 开启XT2

1 关闭XT2

SELMx 选择MCLK时钟源

00 DCOCLK

01 DCOCLK

10 XT2CLK

11 LFXT1CLK

SELS 选择SMCLK时钟源

0 DCOCLK

1 XT2CLK

FLL\_DIVx ACLK分频系数

00 不分频

01 2分频

10 4分频

11 8分频

## MCU Flash存储器

### 1.概述

MCU内部集成了Flash以及Flash控制器，通过Flash控制器可以对Flash进行写入与擦除操作。Flash控制器内部有3组寄存器，一个时序发生器，一个用来给写入与擦除提供高压的电压生成器。

Flash存储器具有以下特点：

- 内部集成编程高压发生器
- 可通过JTAG，BSL编程
- 基于字操作
- 超低功耗
- 可进行段擦除或整体擦除
- 擦除编程次数可达10000次以上
- 数据可保存10年以上
- 片内编程只能以字的格式，不能以字节的格式
- 片内擦除频率不能高于100K

### 2.Flash存储器的分段

Flash存储器被分为主存储区与信息存储区两部分。主存储区每1K字被划分为一段，共有30段，信息存储区只有一段，空间为64个字，段为擦除操作的最小单位。每段进一步被分为大小为32个字的块。

区域	地址	容量(Byte)
主存储区	F800-FFFF	2048
	F000-F7FF	2048
	E800-EFFF	2048
	E000-E7FF	2048
	D800-DFFF	2048
	D000-D7FF	2048
	C800-CFFF	2048
	C000-C7FF	2048
	B800-BFFF	2048
	B000-B7FF	2048
	A800-AFFF	2048
	A000-A7FF	2048
	9800-9FFF	2048
	9000-97FF	2048
	8800-8FFF	2048
8000-87FF	2048	
7800-7FFF	2048	

区域	地址	容量(Byte)
主存储区	7000-77FF	2048
	6800-6FFF	2048
	6000-67FF	2048
	5800-5FFF	2048
	5000-57FF	2048
	4800-4FFF	2048
	4000-47FF	2048
	3800-3FFF	2048
	3000-37FF	2048
	2800-2FFF	2048
	2000-27FF	2048
	1800-1FFF	2048
1100-17FF	1792	
信息存储区	1000-107F	128

### 3.Flash控制寄存器

#### FCTL1 Flash控制寄存器1 (0128h)

15~8	7	6	5	4	3	2	1	0
FRKEY	BLKWRT	WRT	保留			MERAS	ERASE	保留
FWKEY	rw-0	r-0	r0	r0	r0	r-0	r-0	r0

FRKEY FCTL1的读取密码。读取次8位时，值一直为096h

FWKEY FCTL1的写入密码。必须写入0A5h，否则会产生PUC信号。

BLKWRT 块写模式使能，需要同时将WRT与BLKWRT位置1.当EMEX位置位时，BLKWRT自动复位。

- 0 块写模式关闭
- 1 块写模式开启

WRT 写模式使能。当EMEX位置位时，BLKWRT自动复位。

- 0 写模式关闭
- 1 写模式开启

MERAS 整体擦除使能，当擦除结束或EMEX置位时，自动复位。

ERASE 段擦除使能，当擦除结束或EMEX置位时，自动复位。

下表为MERAS与ERASE各种组合所进行的不同擦除操作

MERAS	ERASE	擦除操作
0	0	不擦除
0	1	擦除指定的一段
1	0	擦除指定的主存储区或信息存储区
1	1	擦除主存储区与信息存储区

注：片内编程只能以字的格式，片内擦除频率不能高于100K。

FCTL2 Flash控制寄存器2 (012Ah)

15~8	7	6	5	4	3	2	1	0
FRKEY	FSSELx		FNx					
FWKEY	rw-0	rw-1	r-0	r-0	rw-0	rw-0	rw-1	rw-0

FRKEY FCTL1的读取密码。读取次8位时，值一直为096h

FWKEY FCTL1的写入密码。必须写入0A5h，否则会产生PUC信号。

FSSELx 选择Flash控制器所使用的时钟源

- 00 ACLK
- 01 MCLK
- 10 SMCLK
- 11 SMCLK

FNx Flash控制器时钟分频系数

- 000000 不分频
- 000001 2分频
- 000010 3分频
- ... ..
- 111111 64分频

FCTL3 Flash控制寄存器3 (012Ch)

15~8	7	6	5	4	3	2	1	0
FRKEY	保留		EMEX	LOCK	WAIT	ACCVIFG	KEYV	BUSY
FWKEY	r-0	r-0	rw-0	rw-1	r-1	rw-0	rw-0	r-0

FRKEY FCTL1的读取密码。读取次8位时，值一直为096h

FWKEY FCTL1的写入密码。必须写入0A5h，否则会产生PUC信号。

EMEX 紧急退出位。对Flash的操作时空时使用该位做紧急退出处理。

LOCK 锁定位，在未锁定的情况下可以对Flash进行编程或擦除操作。该位可由用户写入或系自动设置。可在编程，擦除期间或结束后置位，且当前操作能够正常完成。

在块写入模式下，若BLKWRT=WRT=1时将LOCK置位，这BLKWRT与WRT位都会复位，块写入结束。

- 0 未锁定，可以对Flash进行读，写，擦除操作
- 1 锁定，只能对Flash进行读取操作

WAIT 等待标志位，指示Flash是否正处于编程模式

- 0 Flash正处于编程模式
- 1 Flash空闲，可以进行下一次写入操作

ACCVIFG 非法访问中断标志。当对Flash进行编程或擦除操作时不能访问Flash，否则该位会置位，若ACCVE也是1，则会发生NMI中断。

- 0 没有非法访问
- 1 发生非法访问

KEYV 安全口令出错标志位。这位指出在对FCTLx寄存器写入是安全口令错误，并会产生一个PUC，KEYV必须通过软件复位。

- 0 安全口令正确
- 1 安全口令错误

**BUSY** Flash忙标志位。指出Flash是否正处于编程或擦除操作中。用于在每次编程或擦除操作前都需要检查该位。当编程或擦除启动时，此位置1，操作完成后，此位自动复位。

- 0 不忙
- 1 忙

## MCU数字I/O

### 1.概述

MCU具有一系列的I/O端口，每个I/O都可独立的配置为输入或输出，并且可以单独的对每个I/O进行读/写操作。

P1与P2具有中断能力，P1与P2的每个中断都可单独开启，并配置为上升沿或下降沿触发。所有的P1共享一个中断源，P2具有不同的中断源。

数字I/O有以下特点：

- 每个I/O都可独立配置
- 允许任意组合输入，输出和中断
- P1与P2均可单独配置中断
- 每个I/O具有独立的输入输出寄存器

### 2.输入寄存器PxIN

当I/O设置为输入功能时，PxIN的每一位反映了对应I/O的输入值。PxIn为只读寄存器。

- 0 输入值为0
- 1 输入值位1

### 3.输出寄存器PxOUT

当I/O设置为输出功能时，PxIN的每一位反映了对应I/O将要输出的值。

- 0 输出值为0
- 1 输出值为1

### 4.方向寄存器PxDIR

每一位PxDIR选择了对应I/O的方向，在PUC后寄存器被复位。

- 0 选择为输入功能
- 1 选择为输出功能

### 5.功能选择寄存器PxSEL

一些端口具有片内外设的功能，通过设置PxSEL位来选择端口的功能，I/O或外设模块功能。将PxSEL设置为1，并不会自动设置端口方向，需要将对应PxDIR设置与外设模块一致。

- 0 选择为I/O端口功能
- 1 选择为片内外设模块功能



## 6. 中断标志寄存器P1IFG与P2IFG

当所选则的输入信号边沿触发中断后，对应的PxIFG位会被置位，若PxIE与GIE位均为1，则会发生一个中断请求。PxIFG必须通过软件复位。通过软件也可以将PxIFG置位，以便于产生一个软件初始化中断。

- 0 没有中断
- 1 发生中断

## 7. 中断使能寄存器P1IE与P2IE

PxIE使能对应的PxIFG中断

- 0 禁止中断
- 1 开启中断

## 8. 中断边沿选择寄存器P1IES与P2IES

PxIES选择对应I/O的中断触发方式

- 0 上升沿触发中断
- 1 下降沿触发中断

## 9. 数字I/O寄存器

端口	寄存器	缩写	地址	寄存器类型	初始状态
P1	输入	P1IN	020h	只读	—
	输出	P1OUT	021h	读写	无变化
	方向选择	P1DIR	022h	读写	PUC信号复位
	中断标志	P1IFG	023h	读写	PUC信号复位
	中断边沿选择	P1IES	024h	读写	无变化
	中断使能	P1IE	025h	读写	PUC信号复位
	功能选择	P1SEL	026h	读写	PUC信号复位
P2	输入	P2IN	028h	只读	—
	输出	P2OUT	029h	读写	无变化
	方向选择	P2DIR	02Ah	读写	PUC信号复位
	中断标志	P2IFG	02Bh	读写	PUC信号复位
	中断边沿选择	P2IES	02Ch	读写	无变化
	中断使能	P2IE	02Dh	读写	PUC信号复位
	功能选择	P2SEL	02Eh	读写	PUC信号0C0h
P4	输入	P4IN	01Ch	只读	—
	输出	P4OUT	01Dh	读写	无变化
	方向选择	P4DIR	01Eh	读写	PUC信号复位
	功能选择	P4SEL	01Fh	读写	PUC信号复位
P6	输入	P6IN	034h	只读	—
	输出	P6OUT	035h	读写	无变化
	方向选择	P6DIR	036h	读写	PUC信号复位
	功能选择	P6SEL	037h	读写	PUC信号复位

## MCU看门狗定时器

### 1.概述

看门狗的主要功能是当程序运行出问题后系统重启。当到达预先设定的时间间隔后，看门狗就会产生一个系统复位。若应用中不需要使用看门狗，则可以将其设置为普通的定时器，在所设置的时间间隔产生中断。

看门狗定时器模块有以下特点：

- 四种可配置的时间间隔
- 看门狗模式
- 定时器模式
- 看门狗控制寄存器受密码保护
- 对  $\overline{RST}/NMI$  的控制功能
- 可选时钟源
- 可以停止以降低功耗

### 2.看门狗定时器操作

通过设置WDTCTL寄存器可以将看门狗模块设置为看门狗模式或定时器模式。WDTCTL寄存器中也可以对  $\overline{RST}/NMI$  端口进行控制。WDTCTL寄存器是一个受密码保护的16位可读写寄存器。任何读或写操作必须使用字操作指令并且高位字节必须为写密码05Ah。任何高位字节不为05Ah的值写入WDTCTL寄存器时，会引发安全密码错误并产生PUC系统复位。读取WDTCTL寄存器时，高位字节总是069h。

### 3.看门狗模式

看门狗定时计数器WDTCNT是一个16位的向上计数器，不能通过软件访问。通过看门狗定时控制器可以选择时间间隔。通过WDTSSSEL位可以为WDTCNT选择时钟源，ACLK或SMCLK。

当PUC发生后，看门狗模块自动设置为看门狗模式，使用DCOCLK在32768个周期后复位。在默认的时间间隔内，用户必须设置、暂停或清除WDT，否则会产生新的一个PUC信号。PUC信号使看门狗复位到默认状态并将  $\overline{RST}/NMI$  端口设置为复位模式。

### 4.定时器模式

将WDTTMSSEL位设置为1时，看门狗工作在定时器模式。定时器模式一般用于周期性的产生一个中断。在定时器模式下，在所设置的时间间隔到达后，WDTIFG位置位，但并不会产生PUC复位信号，同时WDTIFG的使能位WDTIE保持不变。

当WDTIE位与GIE位均为1时，WDTIFG置位会发生一个中断请求。当中断被处理后，WDTIFG中断标志位会自动复位，也可通过软件复位。定时器模式看门狗模式的中断向量地址不同。

注意：

若要修改WDT模块的时间间隔，则应该在单挑指令中进行，并且此时WDTCNTCL应该为1，否则会产生一个意料之外的PUC或中断。

在修改时钟源时，应该先使WDT模块停止工作，否则可能会产生错误的时间间隔。

## 5.看门狗模块寄存器

WDTCTL看门狗控制寄存器 (0120h)

15~8	7	6	5	4	3	2	1	0
WDTPW	WDTHOLD	WDTNMIES	WDTNMI	WDTTMSSEL	WDTCNTCL	WDTSSSEL	WDTISx	
	rw-0	rw-0	rw-0	r-0	r0(w)	rw-0	rw-0	rw-0

WDTPW 看门狗模块的密码。读取时值为069h。写入时必须为05Ah，否则会产生PUC复位信号。

WDTHOLD 看门狗模块停止位，可以降低功耗。

- 0 看门狗模块不停止
- 1 看门狗模块停止

WDTNMIES 看门狗模块NMI中断边沿触发选择。当WDTNMI为1时，此位为NMI选择中断的触发边沿。

修改此位会触发一个NMI中断。先将WDTNMI清0后，再修改此位可以避免一个意料之外的中断。

- 0 上升沿触发NMI
- 1 下降沿触发NMI

WDTNMI 选择  $\overline{RST}/NMI$  端口的功能，在PUC后复位

- 0 复位功能
- 1 NMI功能

WDTTMSSEL 看门狗模块工作模式选择

- 0 看门狗模式
- 1 定时器模式

WDTCNTCL 看门狗定时计数器清除位。将此位置位，计数器的值会被清零。WDTCNTCL自动复位。

- 0 无操作
- 1 清零计数器

WDTSSSEL 看门狗定时器时钟源选择位。

- 0 SMCLK
- 1 ACLK

WDTISx 看门狗定时器时间间隔选择位。这两位选择了看门狗定时器的置位WDTIFG或产生PUC信号的时间间隔

- 00 32768个时钟周期
- 01 8192个时钟周期
- 10 512个时钟周期
- 11 64个时钟周期

## MCU 基本定时器

### 1.概述

基本定时器经常用在低功耗应用中，它的目的就是支持软件和各种外围模块工作在低频、低功耗的条件下。基本定时器通过对SMCLK或ACLK进行分频，向其他外围模块提供低频控制信号。基本定时器非常适合于周期性的产生一个中断，可以更新LCK或启动一个新的测量周期。

基本定时器模块的寄存器没有初始状态，在使用前，用户必须通过软件先配置寄存器。

基本定时器具有以下特点：

- 可选时钟源
- 2个独立的，级联的8位定时器
- 具有中断能力
- LCD控制信号发生器

### 2.基本定时器操作

通过设置BTCTL寄存器，可以将基本定时器模块配置为2个8位的定时器或一个16位的定时器。对BTCTL的读写操作必须使用字节操作指令。基本定时器使用BTCNT1控制LCD的帧频率。

#### 基本定时器计数器1

基本定时器计数器1 (BTCNT1)是一个可以通过软件访问的8位定时计数器。BTCNT1使用ACLK作为时钟源，并且为LCD控制器提供帧频率。通过设置BTHOLD与BTDIV位可以停止BTCNT1。

#### 基本定时器计数器2

基本定时器计数器2 (BTCNT2)是一个可以通过软件访问的8位定时计数器。可以通过设置BTSSEL与BTDIV位，为BTCNT2选择 ACLK或SMCLK或ACLK/256(当与BTCNT1级联时)作为时钟源。通过设置BTHOLD位来停止BTCNT2，以降低系统功耗。

#### 十六位定时器模式

通过将BTDIV位置1，可以选择16位定时器模式。在16位定时器模式下,BTCNT1与BTCNT2级联。BTCNT1的时钟源为ACLK，BTCNT2的时钟源为ACLK/256。

#### 基本定时器操作:信号 $f_{LCD}$

LCD控制器使用从BTCNT1的 $f_{LCD}$ 信号，以生成COM与SEG的控制时序。默认ACLK的频率为32.768kHz作为BTCNT1的时钟。通过设置BTRFQx位可以选择 $f_{LCD}$ 的频率为ACLK/256，ACLK/128，ACLK/64，或ACLK/32。 $f_{LCD}$ 的最佳频率取决于LCD的帧频率 $F_{frame}$ 与LCD多路器比例mux：

$$f_{LCD} = 2 \times \text{mux} \times F_{frame}$$

例如,当3-mux LCD，帧频率 $F_{frame} = 30\text{Hz}$ 到 $100\text{Hz}$ ，计算 $f_{LCD}$ ：

$$f_{LCD(\min)} = 2 \times 3 \times 30 = 180\text{Hz}$$

$$f_{LCD(\max)} = 2 \times 3 \times 100 = 600\text{Hz}$$

$$\text{选择 } f_{LCD} = 32768/128 = 256\text{Hz}$$

$$\text{或 } f_{LCD} = 32768/64 = 512\text{Hz}$$

### 3.基本定时器寄存器

BTCTL 基本定时器控制寄存器 (040h)

7	6	5	4	3	2	1	0
BTSSSEL	BTHOLD	BTDIV	BTFRFQx		BTIPx		
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

BTSSSEL BTCNT2时钟源选择位。此位与BTDIV位一起控制BTCNT2的时钟源。

BTHOLD 基本定时器停止位

0 BTCNT1与BTCNT2没有停止

1 BTCNT2停止工作

若BTDIV也为1，则BTCNT1停止工作

BTDIB 基本定时器时钟分频位。此位与BTSSSEL位一起控制BTCNT2的时钟源。

BTSSSEL	BTDIV	BTCNT2的时钟源
0	0	ACLK
0	1	ACLK/256
1	0	SMCLK
1	1	ACLK/256

BTFRFQx  $f_{LCD}$ 的频率选择位。这两位控制着LCD的刷新频率。

00  $f_{ACLK}/32$

01  $f_{ACLK}/64$

10  $f_{ACLK}/128$

11  $f_{ACLK}/256$

BTIPx 基本定时器中断时间间隔选择位。

000  $f_{CLK2}/2$

001  $f_{CLK2}/4$

010  $f_{CLK2}/8$

011  $f_{CLK2}/16$

100  $f_{CLK2}/32$

101  $f_{CLK2}/64$

110  $f_{CLK2}/128$

111  $f_{CLK2}/256$

BTCNT1 基本定时计数器1 (046h)

7	6	5	4	3	2	1	0
BTCNT1x							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

BTCNT1x BTCNT1寄存器的值为BTCNT1计数器的计数值。

**BTCNT2 基本定时计数器2 (047h)**

7	6	5	4	3	2	1	0
BTCNT2							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

BTCNT2 BTCNT2寄存器的值为BTCNT2数器的计数值。

**MCU 定时器A**
**1.概述**

定时器A是一个16位的定时计数器，具有3组捕获比较寄存器。定时器A具有多路捕获比较，PWM波输出，定时器功能。定时器A也具有大量的中断能力，中断可以由计数器溢出或每个捕获比较寄存器产生。

定时器A具有以下特点：

- 四种异步16位定时计数器模式
- 可配置的时钟源
- 3组捕获比较寄存器
- 可配置的PWM波输出
- 异步输入，输出锁存
- 具有中断向量寄存器，可快速定位定时器A的中断源

**2. 十六位定时器A计数器**

16位定时计数器TAR可以根据配置在每个时钟信号的上升沿增或减计数。TAR的值可以通过软件读取。当计数器发生溢出时，会产生一个中断。将TACLR位置1，可以清零TAR寄存器的值，但同时也会清除时钟分频系数与计数方向（增或减计数）。若要修改定时器A的工作模式，应先停止定时器工作以避免发生错误。

用户可以通过以下2种方法启动或重启定时器A：

2.1 当MCx > 0并且时钟源有效

2.2 当定时器为增或增/减模式时，向TACCRO写入0停止定时器，向TACCRO写入非零值启动定时器。在这种情况下，定时器从0开始增计数。

**3. 定时器A工作模式**

定时器A具有4种工作模式：停止模式，增计数模式，连续计数模式，增/减计数模式。用户可以通过配置MCx位来改变工作模式。

停止模式：

停止模式用于暂停定时器，并不会发生复位，所有寄存器的值都会保持。当定时器重新开始工作时，它会从暂停前的值开始计数，计数方向与暂停前一致。

增计数模式：

捕获比较寄存器TACCRO用作定时器A的增计数模式。由于TACCRO为16位寄存器，所以该模式适用于定时周期小于65536的连续计数情况。计数器从0开始计数，当计数值与TACCRO相等时，定时器复位并从0开始重新计数，定时器计数周期为TACCRO + 1。在增计数模式下，若定时计数器的值大于TACCRO，定时器会立即从0开始重新计数。

当定时器计数到TACCRO时，捕获比较中断标志位CCIFG0置1。当定时器从TACCRO计数到0时，定时器溢出标志位置1。

连续计数模式：

在连续计数模式中，定时器从当前值计数到0FFFFh后，又从0开始重新计数到0FFFFh。

当定时器从0FFFFh计数到0时，定时器溢出标志位TAIFG置1。

增/减计数模式：

在增/减计数模式下，定时器先增计数到TACCRO的值，然后反向减计数到0。

当定时器计数到TACCRO时，中断标志位TACCIFG0置1。当定时器反向计数到0时，溢出中断标志位TAIFG置1。

#### 4. 捕获比较模块

定时器A具有3个相同的捕获比较模块，为实时处理提供灵活的手段，每个模块都可用于捕获时间发生的时间或产生的时间间隔。当发生捕获事件发生或定时器计时到达时将产生中断。在捕获模式下，当满足捕获条件时，捕获比较寄存器TACCRx会记录当前计数器TAR的值。在比较模式下，当TAR的值与TACCRx的值相等时，中断标志位CCIFGx置1。用户通过设置寄存器TACCTLx中的CAPx位来选择捕获或比较模式。

#### 5. 输出单元

每个捕获比较模块都包含一个输出单元，用于产生输出PWM波信号。每个输出单元有8种工作模式，可以产生基于EQU0与EQUx的多种信号。

输出模式0 输出模式：

输出信号OUTx由每个捕获比较模块的控制寄存器TACCTLx中的OUTx位定义，并在写入该寄存器后立即更新。

输出模式1 置位模式：

输出信号在计数器TAR的值等于TACCRx时置位，并保持置位到定时器复位或选择另一种输出模式为止。

输出模式2 PWM翻转/复位模式：

当计数器TAR的值等于TACCRx时，输出翻转，当TAR的值等于TACCRO时复位。

输出模式3 PWM置位/复位模式：

当计数器TAR的值等于TACCRx时，输出置位，当TAR的值等于TACCRO时复位。

输出模式4 翻转模式：

每当计数器TAR的值等于TACCRx时，输出翻转，输出的周期为定时器周期的2倍。

输出模式5 复位模式：

每当计数器TAR的值等于TACCRx时，输出复位并保持低电平直到选择另一种输出模式。

输出模式6 PWM翻转/置位模式：

当计数器TAR的值等于TACCRx时，输出翻转，当TAR的值等于TACCRO时置位。

输出模式7 PWM复位/置位模式：

当计数器TAR的值等于TACCRx时，输出复位，当TAR的值等于TACCRO时置位。

## 6. 定时器A寄存器

定时器A控制寄存器 TACTL (0160h)

15	14	13	12	11	10	9	8
未用						TASSELx	
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

7	6	5	4	3	2	1	0
IDx		MCx		未用	TACLr	TAIE	TAIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	w-(0)	rw-(0)	rw-(0)

TASSELx 定时器A时钟源选择位

- 00 TACLK
- 01 ACLK
- 10 SMCLK
- 11 反向的TACLK

IDx 输入时钟的分频系数

- 00 不分频
- 01 2分频
- 10 4分频
- 11 8分频

MCx 模式选择。不使用定时器A时可见MCx设置为00，以降低功耗。

- 00 停止模式
- 01 增计数模式
- 10 连续计数模式
- 11 增减计数模式

TACLr 定时器清除位。将此位置1，将会复位时钟分频系数，计数器TAR的值，计数的方向。

TACLr位由硬件自动复位，读取此位始终为0。

- 0 无操作
- 1 复位定时器A

TAIE 定时器A中断使能位。

- 0 禁止中断
- 1 使能中断

TAIFG 定时器A中断标志位。

- 0 没有中断
- 1 有待处理的中断



## 定时器A寄存器 TAR (0170h)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TARx															
rw-(0)															

TARx 定时器A计数器的计数值。

## 捕获比较寄存器 TACCR0 (0172h), TACCR1 (0174h), TACCR2 (0176h)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TACCRx															
rw-(0)															

TACCRx 定时器A的捕获比较寄存器

比较模式: TACCRx保存数值用来与计数器TAR的值进行比较。

捕获模式: 当发生捕获条件时, 将计数器TAR的值复制到捕获比较寄存器中。

## 捕获比较控制寄存器 TACCTL0 (0162h), TACCTL1 (0164h), TACCTL2 (0166h)

15	14	13	12	11	10	9	8	
CMx		CCISx			SCS	SCCI	未用	CAP
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r	r0	rw-(0)	

7	6	5	4	3	2	1	0
OUTMODx			CCIE	CCI	OUT	COV	CCIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r	w-(0)	rw-(0)	rw-(0)

CMx 选择捕获模式

- 00 禁止捕获模式
- 01 上升沿捕获
- 10 下降沿捕获
- 11 上升沿与下降沿均捕获

CCISx 捕获比较输入源选择。

- 00 CCIxA
- 01 CCIxB
- 10 GND
- 11 Vcc

SCS 选择同步捕获信号源。此位用于使能同步捕获输入信号与定时器时钟。

- 0 异步捕获
- 1 同步捕获

SCCI 同步比较捕获输入。锁存所选的CCI输入信号, 可以通过此位读取。

CAP 捕获模式使能

- 0 比较模式
- 1 捕获模式

OUTMODx 输出模式。模式2, 3, 6, 7不适合与TACCRO, 由于EQUx = EQU0。

- 000 输出
- 001 置位
- 010 PWM翻转/复位
- 011 PWM置位/复位
- 100 翻转
- 101 复位
- 110 PWM翻转/置位
- 111 PWM复位/置位

CCIE 捕获比较中断使能位

- 0 禁止中断
- 1 使能中断

CCI 捕获比较输入。所选的输入信号可以从此位读取。

OUT 输出。对于模式0, 此位直接控制输出的状态。

- 0 输出低电平
- 1 输出高电平

COV 捕获溢出位。此位指出捕获发生溢出, COV必须通过软件复位。

- 0 没有发生捕获溢出
- 1 发出捕获溢出

CCIFG 捕获比较中断标志位。

- 0 没有中断
- 1 有未处理的中断

定时器中断向量寄存器 TAIV (012Eh)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	TAIVx			0
r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r-(0)			r0

TAIVx 定时器A的中断向量

TAIV中的内容	中断源	中断标志	中断优先级
0000h	没有中断	-	最高
0002h	捕获比较器1	TACCR1 CCIFG	
0004h	捕获比较器2	TACCR2 CCIFG	
000Ah	定时器溢出	TAIFG	最低

## MCU定时器B

### 1.概述

定时器B是一个16位的定时计数器，具有7个捕获比较寄存器。定时器B具有多路捕获比较,PWM输出，定时器功能。定时器B也具有大量的中断能力，中断可以由计数器溢出或每个捕获比较寄存器产生。

定时器B具有以下特点：

- 四种异步16位定时计数器模式，具有四种可选长度
- 可配置的时钟源
- 7组捕获比较寄存器
- 可配置的PWM波输出
- 同步的两级缓存比较锁存器
- 具有中断向量寄存器，可快速定位定时器A的中断源

定时器B与定时器A的结构基本一致，但具有以下不同：

- 定时器B计数器的长度可编程，可选择为8，10，12或16位；而定时器A计数器长度为16位
- 定时器B中没有定时器A中的SCCI寄存器位的功能
- 定时器B在比较模式下增加了两级缓存比较锁存器
- 定时器B可输出高阻状态
- 比较模式原理不同：在定时器A中，TACCRx寄存器中保存与TAR计数器相比较的数据；而在定时器B中，TBCCRx寄存器中保存的是要比较的数据，但并不直接与TBR计数器相比较，而是将TBCCRx的值送到相应的锁存器之后，由锁存器与TBR相比较。从捕获比较锁存器向比较锁存器传输数据的时机也是可以设置的，可在写入捕获比较寄存器后立即传输，也可以是由一个定时时间来触发的。
- 定时器B支持多重的，同步的定时功能，多重的捕获比较功能，多重的波形输出功能。而且通过比较数据的两级缓存，可是实现多个PWM信号周期的同步更新。
- 定时器B的多个比较锁存器可以组成一组，这样同一组中的比较锁存器可以根据一个装载时间同步更新。

### 2.定时器B寄存器

定时器B控制寄存器 TBCTL (0180h)

15	14	13	12	11	10	9	8
未用	TBCLGRP <sub>x</sub>		CNTL <sub>x</sub>		未用	TBSEL <sub>x</sub>	
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0
ID <sub>x</sub>		MC <sub>x</sub>		未用	TBCLR	TBIE	TBIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	w-(0)	rw-(0)	rw-(0)

**TBCLGRP TBCLx组合**

- 00 每个TVCLx锁存器相互独立
- 01 TBCL1与TBCL2一组（TBCCR1 CLLDx位控制刷新）  
TBCL3与TBCL4一组（TBCCR3 CLLDx位控制刷新）  
TBCL5与TBCL6一组（TBCCR5 CLLDx位控制刷新）  
TBCL0单独一组
- 10 TBCL1, TBCL2与TBCL3一组（TBCCR1 CLLDx位控制刷新）  
TBCL4, TBCL5与TBCL6一组（TBCCR4 CLLDx位控制刷新）
- 11 TBCL1, TBCL2, TBCL3, TBCL4, TBCL5与TBCL6一组（TBCCR1 CLLDx控制刷新）

**CNTLx 计数器长度选择位**

- 00 16位
- 01 12位
- 10 10位
- 11 8位

**TBSSELx 定时器B时钟源选择位**

- 00 TBCLK
- 01 ACLK
- 10 SMCLK
- 11 反向的TBCLK

**IDx 输入时钟预分频**

- 00 不分频
- 01 2分频
- 10 4分频
- 11 8分频

**MCx 模式选择位。当不使用定时器B时，设置MCx = 00可以降低功耗。**

- 00 停止模式
- 01 增计数模式
- 10 连续计数模式
- 11 增减计数模式

**TBCLR 定时器清除位。将此位置1，将会复位时钟分频系数，计数器TBR的值，计数的方向。**

TBCLR位由硬件自动复位，读取此位始终为0。

- 0 无操作
- 1 复位定时器B

**TBIE 定时器B中断使能位**

- 0 禁止中断
- 1 使能中断

**TBIFG 定时器B中断标志位**

- 0 没有中断
- 1 有待处理的中断

## 定时器B寄存器 TBR (0190h)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TBRx															
rw-(0)															

TARx 定时器B计数器的计数值。

## 捕获比较寄存器 TBCCR0 (0192h), TBCCR1 (0194h), TBCCR2 (0196h), TBCCR3 (0198h), TBCCR4 (019Ah), TBCCR5 (019Ch), TBCCR6 (019Eh)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TBCCRx															
rw-(0)															

TBCCRx 定时器B的捕获比较寄存器

比较模式：比较的数据写入对应的TBCCRx寄存器并且自动送到TBCLx寄存器。

TBCLx寄存器保持数据，并与TBR的值比较。

捕获模式：当发生捕获条件时，TBR的值传输到TBCCRx寄存器。

## 捕获比较控制寄存器TBCCTL0 (0182h), TBCCTL1 (0184h), TBCCTL2 (0186h), TBCCTL3 (0188h), TBCCTL4 (018Ah), TBCCTL5 (018Ch), TBCCTL6 (018Eh)

15	14	13	12	11	10	9	8
CMx		CCISx		SCS	CLLDx		CAP
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

7	6	5	4	3	2	1	0
OUTMODx			CCIE	CCI	OUT	COV	CCIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r	w-(0)	rw-(0)	rw-(0)

CMx 选择捕获模式

- 00 禁止捕获模式
- 01 上升沿捕获
- 10 下降沿捕获
- 11 上升沿与下降沿均捕获

CCISx 捕获比较输入源选择。

- 00 CCixA
- 01 CCixB
- 10 GND
- 11 Vcc

SCS 选择同步捕获信号源。此位用于使能同步捕获输入信号与定时器时钟。

- 0 异步捕获
- 1 同步捕获

- CLLDx 比较锁存器载入控制位。此位选择比较锁存器的载入事件。
- 00 当写入TBCCRx时, TBCLx立即载入数据
  - 01 当TBR计数到0时, TBCLx载入数据
  - 10 当TBR计数到0时, TBCLx载入数据 (增计数或连续计数模式)  
当TBR计数到TBCL0或0时, TBCLx载入数据 (增减计数模式)
  - 11 当TBR计数到TBCLx时, TBCLx载入数据
- CAP 捕获模式使能
- 0 比较模式
  - 1 捕获模式
- OUTMODx 输出模式。模式2, 3, 6, 7不适合与TACCRO, 由于EQUx = EQU0。
- 000 输出
  - 001 置位
  - 010 PWM翻转/复位
  - 011 PWM置位/复位
  - 100 翻转
  - 101 复位
  - 110 PWM翻转/置位
  - 111 PWM复位/置位
- CCIE 捕获比较中断使能位
- 0 禁止中断
  - 1 使能中断
- CCI 捕获比较输入。所选的输入信号可以从此位读取。
- OUT 输出。对于模式0, 此位直接控制输出的状态。
- 0 输出低电平
  - 1 输出高电平
- COV 捕获溢出位。此位指出捕获发生溢出, COV必须通过软件复位。
- 0 没有发生捕获溢出
  - 1 发出捕获溢出
- CCIFG 捕获比较中断标志位。
- 0 没有中断
  - 1 有未处理的中断

定时器中断向量寄存器 TBIV (011Eh)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	TAIVx			0
r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r-(0)			r0

**TAIVx 定时器A的中断向量**

TAIV中的内容	中断源	中断标志	中断优先级
0000h	没有中断	-	最高
0002h	捕获比较器1	TBCCR1 CCIFG	
0004h	捕获比较器2	TBCCR2 CCIFG	
0002h	捕获比较器3	TBCCR3 CCIFG	
0002h	捕获比较器4	TBCCR4 CCIFG	
0002h	捕获比较器5	TBCCR5 CCIFG	
0002h	捕获比较器6	TBCCR6 CCIFG	最低
000Ah	定时器溢出	TAIFG	

**MCU 16位硬件乘法器**
**1. 概述**

硬件乘法器是一个通过总线与CPU相连的16位外围模块。它可以在不干扰CPU工作的情况下运行。可以通过CPU指令对硬件乘法器的寄存器进行读写操作。

硬件乘法器有以下特点：

- 无符号数的乘法
- 有符号数的乘法
- 无符号数的乘累加
- 有符号数的乘累加
- 支持16×16位，16×8位，8×16位，8×8位运算

**2. 硬件乘法器的操作**

硬件乘法器有两个16位操作数寄存器OP1与OP2，3个结果寄存器RESLO，RESHI与SUMEXT。RESLO存储着结果的低16位，RESHI存储着结果的高16位，SUMEXT存储着结果的信息。当不使用直接寻址模式时,在写入OP2寄存器后的3个MCLK时钟周期后运算完成。当使用直接寻址模式时，需要使用一个NOP指令。

**操作数1寄存器OP1**

OP1具有4个地址，用于选择不同的运算模式。向OP1对应模式的地址写入第一个操作数并不会开启任何操作。向OP2写入第二个操作数才会启动乘法运算。

OP1的地址	寄存器名称	操作
0130h	MPY	无符号数乘法
0132h	MPYS	有符号数乘法
0134h	MAC	无符号数乘累加
0136h	MACS	有符号数乘累加

结果寄存器

RESLO存储着运算结果的低16位。RESHI的内容与乘法操作的类型有关，如下表：

运算模式	RESHI的内容
MPY	结果的高16位
MPYS	MSB为结果的符号，余下的15位为结果的高15位。 结果用二进制补码表示
MAC	结果的高16位
MACS	结果的高16位，结果用二进制补码表示

SUMEXT的内容与乘法操作的类型有关，如下表：

运算模式	SUMEXT的内容
MPY	内容一直为0000h
MPYS	表示结果的正负 0000h 结果为正或0 0FFFFh 结果为负
MAC	表示结果的进位 0000h 没有进位 0001h 有进位
MACS	表示结果的正负 0000h 结果为正或0 0FFFFh 结果为负

MACS的下溢与上溢

在MACS模式下，硬件乘法器不会自动检测结果的下溢或上溢。累加器的范围对于正数来说从00000000h到07FFFFFFh，对于负数来说从0FFFF FFFFh到8000 0000h。当两个负数的乘累加的结果在正数范围时，发生下溢出。当两个正数乘累加的结果在负数范围时，发生上溢出。以上两种情况中，SUMEXT寄存器的内容表示结果的正负，0FFFFh为上溢出，0000h为下溢出。用户必须检查并合理地处理这些情况。

### 3. 硬件乘法器寄存器

寄存器	缩写	寄存器类型	地址	初始状态
操作数1寄存器（无符号数乘法）	MPY	读/写	0130h	无变化
操作数1寄存器（有符号数乘法）	MPYS	读/写	0132h	无变化
操作数1寄存器（无符号数乘累加）	MAC	读/写	0134h	无变化
操作数1寄存器（有符号数乘累加）	MACS	读/写	0136h	无变化
操作数2寄存器	OP2	读/写	0138h	无变化
低位结果寄存器	RESLO	读/写	013Ah	未定义
高位结果寄存器	RESHI	读/写	013Ch	未定义
结果扩展寄存器	SUMEXT	只读	013Eh	未定义



## MCU USART外围接口 - UART模式

### 1.概述

串行异步通信模式通过两个端口，URXD与UTXD与外部通信。当SYNC位为0时，选择为UART模式。

UART模式有以下特点：

- 7位或8位数据，可选奇校验，偶校验或无校验
- 独立的发送与接收移位寄存器
- 分别具有发送与接收缓存寄存器
- 从最低有效位开始发送
- 通过设置调制器的分频系数，实现可编程波特率并支持小数波特率
- 独立的发送与接收中断
- 具有状态标志位，可以检测并降低错误，也可检测地址
- 通过有效的起始位检测，可以将系统从低功耗模式下唤醒
- 具有线路空闲与地址位多机模式，可以多个系统相互通信

### 2.初始化与复位状态

通过PUC信号或置位SWRST位，可以复位USART模块。在PUC信后后，SWRST位自动置位，保持USART模块一直出于复位状态。当SWRST置位时，URXIE<sub>x</sub>，UTXIE<sub>x</sub>，URXIFG<sub>x</sub>，RXWAKE，TXWAKE，RXERR，BRK，PE，OE与FE位复位，UTXIFG<sub>x</sub>与TXEPT位置位。接收使能位URXEx与发送使能位UXXEx并不受SWRST位影响。清除SWRST位使USART模块开始工作。

### 3.异步通信字符格式

异步通信字符格式由4部分组成：1位起始位，7或8位数据位，1位奇偶校验位，1或2位停止位。其中用户可以通过软件设置数据位与停止位的位数，还可以设置有无奇偶校验位。通过选择时钟源于波特率寄存器来设置为周期。

接收操作以收到有效起始位开始，起始位由检测URXD端口的下降沿开始，然后3次采样多数表决的方法取值。如果3次采样至少两次是0才表明是下降沿，然后开始接收初始化操作，这一过程实现错误起始位的拒收与帧中各数据的中心定位功能。

异步模式下传输数据是以字符为单位来传送的。因为每个字符在起始位处可以通过起始位判别重新定位，所以传送时多个字符可以一个接一个的连续传送，也可以断续传送。并且同步时钟脉冲不传送到接收方，发送与接收双方各用自己的时钟源来控制发送与接收。

### 4.异步多机通信模式

在异步模式下，USART支持两种多级通信模式，即线路空闲与地址位多级模式。信息以一个多帧数据块，从一个指定的源传送到一个或多个目的位置。在同一个通信链路上，多个处理机之间可以用这些格式来交换信息，实现了在多处理机通信系统间的有效数据传输。它也适用于使系统的激活状态压缩到最短，以降低电流消耗或处理所用资源。控制寄存器的MM位用来选择这两种模式。这两种模式采用唤醒发送，地址特性与激活等功能。URXWIE与URXIE位控制这些模式的发送与接收。USART可以识别数据块的开始，并能抑制接收端处理中断和状态信息，知道数据块的起始位别识别。在这两种多处理机模式下，USART数据交换过程可以用数据查询方式或中断方式实现。

### 线路空闲多级模式

在折中模式下，数据块被空闲时间所分割。在字符的第一个停止位后，收到10个以上的1表示检测到接收线路空闲。

如果采用两位停止位，则第二个停止位被认为空闲周期的第一个标志。空闲周期的第一个字符是地址字符。RXWAKE位可以用于地址字符的标志。当收到的字符是地址字符时，RXWAKE被置位，并送入接收缓存。

通常如果接收控制寄存器的URXWIE置位，则字符在接收端以通常的方法组成字节，但并不将该字符移送到接收缓存，也不产生中断；只有当接收到地址字符时，接收器才被激活，字符才被送到接收缓存，同时中断标志URXIFGx置1。相应的错误标志也会被置位。软件可以收到地址，若匹配，则进行处理；若不匹配，则继续等待下一个地址字符的到来。

用发送空闲帧来识别地址字符的步骤如下：

- (1) 当TXWAKE = 1时，将任意数据写入发送缓存寄存器UxTXBUF (UTXIFGx = 1)。当发送移位寄存器为空(TXEPT = 1)时，将UxTXBUF的内容送到发送移位寄存器，同时将TXWAKE的值移入WUT。
- (2) 如果此时WUT = 1，则要发送的起始位，数据位与校验位等被抑制，发送一个正好11位的空闲周期。
- (3) 在地址字符识别空闲周期后移出、串行口的下一个数据是TXWAKE置位后写入UxTXBUF中的第二个字符。当地址识别被发送后，写入UxTXBUF中的第一个字符被抑制，并在之后被忽略。这时需随便向UxTXBUF中写入一个字符，以便能将TXWAKE的值移入WUT中。

当有多个处理机进行通信时，应该充分利用线路空闲多机模式，使用此模式可以使多机通信的CPU在接收数据之前首先判断地址，如果地址与自己软件中设定的一致，则CPU被激活接收下面的数据；如果不一致，则保持休眠模式。这样可以最大限度的降低UART的电流消耗。

### 地址位多机模式

地址多机模式下，字符包含一个附加的位作为地址标志。数据块的第一个字符带有一个置位的地址为，用以表明该字符是一个地址。当接收字符是地址时，RXWAKE置位时，并且将接收的字符送入接收缓存UxRXBUF。

当URXWIE = 1时，数据字符在通常方式的接收器内拼接成字节，但它并不会送到接收缓存，也不产生中断。只有当接收到一个地址位为1的字符时，接收器才被激活，接收到的字符被送到UxRXBUF，同时URXIFGx被置位。若有错误，则相应的错误标志被置位。软件在判断后做出相应的处理。在地址位多机模式下，通过TXWAKE位控制字符的地址位。每当字符由UxTXBUF传送到发送器时，TXWAKE位装入字符的地址位，再由USART将TXWAKE位清除。

### 5. 串行操作自动错误检测

USART模块接收字符时，能够自动检测帧错误，奇偶校验错误，溢出错误与打断状态，并且将与之对应的FE, PE, OE与BRK置位。当以上任何错误标志被置位时，RXERR同时被置位。各种错误标志的含义如下：

**FE：** 帧错误标志位。当一个接收字符的停止位为0并被装入接收缓存，接收到的为一个错误的帧，那么帧错误标志位置1，即使在多停止位模式时也只检测第一个停止位。同样的，丢失停止位意味着从起始位开始的同步特性被丧失，也是一个错误帧。在同步的四线模式时，因总线冲突使有效主机停止，并在STE端口信号出现下降沿时使FE位置1。

- PE:** 奇偶校验错误标志位。当接收字符中1的个数与它的校验位不相符，并被装入接收缓存发生时，发生奇偶校验错误，PE位置1。
- OE:** 溢出错误标志位。当一个字符写入接收缓存UxRXBUF时，前一个字符还没有被读出，这时前一个字符因被覆盖而丢失，发生溢出错误，OE位置1。
- BRK:** 打断检测标志位。当发生一次打断并URXEIE为1时，该位被置1，表示接收过程被打断过。若URXDx从丢失的第一个停止位开始连续出现至少10位低电平，则发生打断。当URXEIE = 0并发生错误时，接收缓存不会接收任何数据。当URXEIE = 1时，接收缓存接收字符，相应的错误标志位被置位，直到软件复位或接收缓存内容被读出时，才会复位。

## 6. 波特率的产生

在异步串行通信中，波特率是很重要的指标，它一般表示为每秒传送二进制数据的位数。波特率反映了异步串行通信的速度。所以在进行异步通信时，波特率的产生是必须的。波特率发生器产生同步信号表明各位的位置。波特率部分由时钟输入选择和分频，波特率发生器，调整器和波特率寄存器组成。串行通信时，数据接收和发送的速率就由这些模块控制。

整个模块的时钟源来自内部的3个时钟或外部输入时钟，由SSEL0与SSEL1位选择，以决定最终进入模块的时钟信号BRCLK的频率。时钟信号BRCLK送入一个15位的分频器，通过一系列的硬件控制，最终输出两个移位寄存器使用的移位时钟BITCLK信号。

下面介绍波特率的设置与计算。采集每位数据的时候，在每位数据的中间都要进行3次采样，以多数表决的原则进行数据标定与移位接收操作，如此依次采集。由此看出，分频因子要么很大，要么是正数，否则由于采集点的累积偏移，会导致每帧后面的几位数据采样点不在其数据的有效范围内。波特率发生器使用一个分频计数器与一个调整器，能够用低时钟频率实现高速通信，从而在系统低功耗的情况下实现高性能的串行通信。使用分频因子加调整的方法可以实现每一帧内的各位有不同的分频因子，从而保证了每个数据中的3次采样状态都处于有效的范围内。

分频因子N由送到分频因子计数器的时钟BRCLK频率与所需的波特率来决定：

$$N = \text{BRCLK} / \text{波特率}$$

若使用常用的波特率与常用的晶振产生的BRCLK，则一般得不到正数的N，还有小数部分。分频计数器实现分频因子的整数部分，调整器使得小数部分尽可能准确。分频因子定义如下：

$$N = \text{UBR} + (\text{M7} + \text{M6} + \dots + \text{M0}) / 8$$

其中N为分频因子，UBR为UxBR0中的16位数据，Mx为调整器寄存器UxMTCL中的数据。

波特率可由下式计算：

$$\text{波特率} = \text{BRCLK} / N = \text{BRCLK} / (\text{UBR} + (\text{M7} + \text{M6} + \dots + \text{M0}) / 8)$$

## 7. USART模块寄存器 - UART模式

USART控制寄存器 UOCTL (070h), U1CTL (078h)

7	6	5	4	3	2	1	0
PENA	PEV	SPB	CHAR	LISTEN	SYNC	MM	SWRST
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-1

- PENA** 奇偶校验使能位
- 0 关闭奇偶校验
  - 1 打开奇偶校验。发送端生成校验位，接收端进行校验。  
在地址位多机模式种，地址为包含了校验操作
- PEV** 奇/偶校验选择，此位仅在奇偶校验打开时有效
- 0 奇校验
  - 1 偶校验
- SPB** 停止位选择。选择发送的停止位位数，但接收时只检查1位停止位
- 0 1位停止位
  - 1 2位停止位
- CHAR** 字符长度选择位
- 0 7位数据
  - 1 8位数据
- LISTEN** 反馈使能位。
- 0 无反馈
  - 1 有反馈，UTXD<sub>x</sub>信号由内部反馈给接收器
- SYNC** USART模块的模式选择位
- 0 UART模式
  - 1 SPI模式
- MM** 多机模式选择位
- 0 线路空闲多机协议
  - 1 地址位多机协议
- SWRST** 软件复位使能位
- 0 禁止。USART模块进入工作模式
  - 1 使能。USART模块保持复位状态

USART发送控制寄存器U0TCTL (071h)，U1TCTL (079h)

7	6	5	4	3	2	1	0
未用	CKPL	SSELx		URXSE	TXWAKE	未用	TXEPT
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-1

- CKPL** 时钟极性选择位
- 0 UCLKI与UCLK极性相同
  - 1 UCLKI与UCLK极性相反
- SSELx** 时钟源选择位。这两位选择了BRCLK的时钟源
- 00 UCLKI
  - 01 ACLK
  - 10 SMCLK
  - 11 SMCLK

URXSE UART模式接收起始触发边沿检测使能位

- 0 没有接收起始触发沿检测
- 1 有接收起始触发沿检测

TXWAKE 传输唤醒控制位

- 0 下一个要传输的字符为数据
- 1 下一个要传输的字符为地址

TXEPT 发送器空标志位

- 0 UART模式下，有数据在UxTXBUF中，数据正在发生或等待发送
- 1 发送移位寄存器与UxTXBUF为空，或SWRST = 1

USART接收控制寄存器U0RCTL (072h), U1RCTL (07Ah)

7	6	5	4	3	2	1	0
FE	PE	OE	BRK	URXEIE	URXWIE	RXWAKE	RXERR
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

FE 帧错误标志位

- 0 没有帧错误
- 1 发生帧错误

PE 奇偶校验错误标志位。当PENA = 0时，读取PE值一直为0

- 0 没有奇偶校验错误
- 1 发生奇偶校验错误

OE 溢出错误标志位

- 0 没有溢出错误
- 1 发生溢出错误

BRK 打断检测标志位

- 0 没有被打断
- 1 发生打断

URXEIE 接收错误字符中断使能位

- 0 禁止中断，不接收错误字符且不改变URXIFGx位
- 1 使能中断，接收错误字符且能够置位URXIFGx位

URXWIE 接收唤醒中断使能位。当接收到地址字符时，此位使能URXIFGx置位。当URXEIE = 0时，若接收字符有错误，该位不能置位URXIFGx位。

- 0 所有接收到的字符均能置位URXIFGx
- 1 仅接收到的地址字符能够置位URXIFGx

RXWAKE 接收唤醒标志位

- 0 接收到的字符为数据
- 1 接收到的字符为地址

RXERR 接收错误标志位。此位指出接收到的字符有错误。当读取UxRXBUF寄存器时，RXERR被清零

- 0 没有接收错误
- 1 发生接收错误

**USART调制器控制寄存器 U0MCTL (073h), U1MCTL (07Bh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
m7	m6	m5	m4	m3	m2	m1	m0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UxMCTLx 调制器控制位。这8位是调制器的系数。

**USART波特率控制寄存器0 U0BR0 (074h), U1BR0 (07Ch)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

**USART波特率控制寄存器1 U0BR1 (075h), U1BR1 (07Dh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^{15}$	$2^{14}$	$2^{13}$	$2^{12}$	$2^{11}$	$2^{10}$	$2^9$	$2^8$
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UxBRx 波特率的分频系数。有效的波特率分频系数范围： $3 \leq UxBR < 0FFFh$ 。

若UxBR < 3则接收与发送会产生不可预知的结果。

**USART接收缓存寄存器U0RXBUF (076h), U1RXBUF (07Eh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
r	r	r	rw	r	r	r	r

UxRXBUFx 接收缓存寄存器存储着从接收移位寄存器所接收的最后的字符，可由用户软件访问。

读取UxRXBUF寄存器将会复位接收错误位，RXWAKE位与URXIFGx位。在7位数据模式下，UxRXBUF的LSB对齐，MSB一直为0。

**USART发送缓存寄存器U0TXBUF (077h), U1TXBUF (07Fh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
r	r	r	rw	r	r	r	r

UxTXBUFx 发送缓存寄存器存储着等待移入发送移位寄存器，然后有UTXDx端口发送的数据。

该寄存器可由用户软件访问。向发送缓存写入数据时，会清零UTXIFGx位。在7位数据模式下，UxTXBUF的MSB一直为0。



## MCU USART外围接口 - SPI模式

### 1.概述

在同步模式下，通过4线(SOMI,SIMO,UCLK,STE)或3线(SOMI,SIMO,UCLK)与外部通信。同步通信模式具有以下特点：

- 支持3线或4线SPI
- 支持主机模式与从机模式
- 接收与发送有单独的移位寄存器
- 接收与发送有独立的缓冲器
- 接收与发送有独立的中断能力
- 时钟的极性与相位可编程
- 7位或8位字符长度

### 2.初始化与复位状态

通过PUC信号或置位SWRST位，可以复位USART模块。在PUC信后后，SWRST位自动置位，保持USART模块一直处于复位状态。当SWRST置位时，URXIEx，UTXIEx，URXIFGx，RXWAKE，TXWAKE，RXERR，BRK，PE，OE与FE位复位，UTXIFGx与TXEPT位置位。接收使能位URXEx与发送使能位UXXEx并不受SWRST位影响。清除SWRST位使USART模块开始工作。

### 3.SPI的主机模式

当选择同步模式且控制寄存器MM = 1时，USART模块工作在主机模式。USART模块通过在UCLK端口上的UCLK信号控制串行通信。在第一个UCLK周期，数据由SIMO端口移出，并在相应的UCLK周期间，从SOMI端口锁存数据。每当移位寄存器为空，已写入发送缓存UxTXBUF的数据移入移位寄存器，并启动在SIMO端口的数据发送，MSB先发送。同时接收到的数据移入移位寄存器。当移完所有选定的位数时，接收移位寄存器中的数据移入接收缓存UxRXBUF，并设置中断标志URXIFGx，表明接收到一个数据。在接收过程中，最先收到的数据为MSB，数据以右对齐的方式存入接收缓存器。如果这时前一数据未被读取，则溢出位OE置1。

用户程序可以使用接收中断标志和发送中断标志完成协议的控制。当数据从移位寄存器中发送给从机后，可立即用UTXIFGx标志位将数据从缓存中移入移位寄存器，开始一次发送操作。从机接收定时应能确保及时获取数据。URXIFGx指示数据移出移入完成。主机可利用URXIFGx确定从机已准备好接收新数据。

在使用3线通信时，由激活的主机STE信号防止与别的主机发生总线冲突。若相应的PNSEL位选择模块功能，则STE端口为输入线。主机在STE信号为高电平时正常工作。

当STE信号为低电平时，例如另一个设备申请成为主机，这是当时的主机应做出如下反映：

- (1) SIMO与UCLK端口被强制为输入，不再驱动SPI总线。
- (2) 出错标志位FE与UxRCTL寄存器中的中断标志位URXIFGx置位。

这样总线冲突就被消除，即原主机的SIMO与UCLK两个端口不再驱动总线，同时用出错标志FE通知系统的完备性被破坏。当STE为低电平时SIMO与UCLK端口被强制为输入；当STE返回高电平时，系统将返回到由相应控制位定义的状态。在3线模式中，STE信号与输入无关。

#### 4.SPI的从机模式

当选择同步模式且MM = 0时，则为从机模式。在从机模式下，通信的串行时钟来源于外部主机，从机的UCLK端口为输入状态。

数据传输速率由主机发出的串行时钟确定，而不是由内部的波特率发生器而决定。在开始UCLK之前，由UxTXBUF装入移位寄存器中的数据在主机提供的UCLK信号作用下，通过从机的SOMI引脚对主机发送数据。同时在UCLK时钟的反向沿SIMO端口上的串行数据移入移位寄存器中。如果接收中断标志URXIFGx = 1,则标致数据已经接收并装配到接收缓存器。当新数据写入接收缓存时前一个数据还没有被取出，则溢出标志OE被置位。

在使用4线同步通信时，STE信号被从机用作发送与接收使能信号，它由主机提供。

当STE = 1时，该从机禁止接收与发送；

当STE = 0时，该从机被允许接收与发送。

在已经启动的接收操作过程中，若STE 变为1，则接收操作也将被中断，知道STE为0。

#### 5.USART模块寄存器 - SPI模式

USART控制寄存器 UOCTL (070h), U1CTL (078h)

7	6	5	4	3	2	1	0
未用	未用	未用	CHAR	LISTEN	SYNC	MM	SWRST
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-1

CHAR 字符长度选择位

- 0 7位数据
- 1 8位数据

LISTEN 反馈使能位。

- 0 无反馈
- 1 有反馈，UTXDx信号由内部反馈给接收器

SYNC USART模块的模式选择位

- 0 UART模式
- 1 SPI模式

MM 选择主/从机模式

- 0 从机模式
- 1 主机模式

SWRST 软件复位使能位

- 0 禁止。USART模块进入工作模式
- 1 使能。USART模块保持复位状态

USART发送控制寄存器U0TCTL (071h), U1TCTL (079h)

7	6	5	4	3	2	1	0
CKPH	CKPL	SSELx		未用	未用	STC	TXEPT
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-1



**CKPH** 时钟相位选择

- 0 SPICLK信号使用正常的UCLK时钟。数据在第一个UCLK的边沿改变，并在下一个边沿被捕获。
- 1 SPICLK信号使用被延迟半个周期的UCLK时钟。数据在第一个UCLK的边沿被捕获，并在下一个边沿改变。

**CKPL** 时钟极性选择位

- 0 时钟信号的低电平为无效电平，数据在UCLK的上升沿输出，输入数据在UCLK的上升沿被锁存
- 1 时钟信号的高电平为无效电平，数据在UCLK的下降沿输出，输入数据在UCLK的上升沿被锁存

**SSELx** 时钟源选择位。这两位选择了BRCLK的时钟源

- 00 UCLKI（仅对从机模式有效）
- 01 ACLK（仅对主机模式有效）
- 10 SMCLK（仅对主机模式有效）
- 11 SMCLK（仅对主机模式有效）

**STC** 从模式发送控制位

- 0 4线SPI模式：STE使能
- 1 3线SPI模式：STE无效

**TXEPT** 发送器空标志位

- 0 有数据在UxTXBUF中，数据正在发生或等待发送
- 1 发送移位寄存器与UxTXBUF为空

**USART接收控制寄存器UORCTL (072h)，U1RCTL (07Ah)**

7	6	5	4	3	2	1	0
FE	未用	OE	未用	未用	未用	未用	未用
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0

**FE** 帧错误标志位

- 0 没有帧错误
- 1 发生帧错误

**OE** 溢出错误标志位

- 0 没有溢出错误
- 1 发生溢出错误

**USART调制器控制寄存器 UOMCTL (073h)，U1MCTL (07Bh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
m7	m6	m5	m4	m3	m2	m1	m0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UxMCTLx 调制器控制寄存器没有用于SPI模式，应被置000h。

**USART波特率控制寄存器0 UOBR0 (074h)，U1BR0 (07Ch)**

7	6	5	4	3	2	1	0
2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

**USART波特率控制寄存器1 U0BR1 (075h), U1BR1 (07Dh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^{15}$	$2^{14}$	$2^{13}$	$2^{12}$	$2^{11}$	$2^{10}$	$2^9$	$2^8$
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UxBRx 波特率发生器使用寄存器的值 (UxBR1+UxBR0)来设置波特率。

若UxBR<2, 则SPI操作会产生不可预知的结果。

**USART接收缓存寄存器U0RXBUF (076h), U1RXBUF (07Eh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
r	r	r	rw	r	r	r	r

UxRXBUFx 接收缓存寄存器存储着从接收移位寄存器所接收的最后的字符, 可由用户软件访问。

读取UxRXBUF寄存器将会复位接收错误位, RXWAKE位与URXIFGx位。在7位数据模式下, UxRXBUF的LSB对齐, MSB一直为0。

**USART发送缓存寄存器U0TXBUF (077h), U1TXBUF (07Fh)**

7	6	5	4	3	2	1	0
$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
r	r	r	rw	r	r	r	r

UxTXBUFx 发送缓存寄存器存储着等待移入发送移位寄存器, 然后有UTXDx端口发送的数据。

该寄存器可由用户软件访问。向发送缓存写入数据时, 会清零UTXIFGx位。在7位数据模式下, UxTXBUF的MSB一直为0。

**MCU SVS电源电压监控模块**
**1.概述**

电源电压监控模块SVS用于监控AVcc电源电压或外部的电压。当电源电压或外部电压低于用户预设的电压值时, SVS模块可以设置以产生一个标志位或一个POR复位信号。

SVS模块有以下特点:

- 可以监控AVcc的电压
- 可监控外部电压
- 可以产生POR信号
- 软件可访问SVS比较器的输出结果
- 低压状态锁存并可通过软件访问
- 14种可选的阈值级别

**2.配置SVS**

VLDx位用于打开/关闭SVS模块, 选择14个级别的比较阈值。当VLDx = 0时, SVS模块关闭。SVSON位并不会开启SVS模块, 它反映了SVS模块的状态, 是否被开启。

当VLDx = 1111时, SVS模块选择外部的SVSIN信号作为监控电压, SVSIN端口输入的电压与内部的1.2V电压做比较。

### 3.SVS比较器

当AVcc的电压低于所设置的阈值或外部的监控电压低于1.2V时，产生一个低电压事件，SVSFG位被置位。

PORON位使能SVS模块的系统复位功能。若PORON = 1,当SVSFG置位时，会产生一个POR信号。若PORON = 0,一个低电压事件会置位SVSFG位，但并不会产生POR信号。

SVSFG标志位被寄存器锁存，用户可以通过软件访问确认之前是否发生过一个低电压事件，SVSFG标志位必须通过软件复位。当一个低电压时间持续发生时，若此时SVSFG被清零，则它会立即被置位。

### 4.设置VLDx位

当VLDx位从0该为非零值时，会有一个自读的建立时间 $t_{d(SVDon)}$ ，使SVS模块生效的延时，时间大约为50 $\mu$ s。在这段延时时间内，SVS模块不会标志一个低电压事件或产生复位信号，并且SVSON位被清0。软件可以检测SVSON位，以确认延时时间是否结束，SVS模块是否开始工作。当SVSON = 0时，写SVSCTL位会终止SVS模块的 $t_{d(SVDon)}$ 延时，并使SVS模块立即工作。若如此做，则SVS模块没有完全稳定下来，可能会出现不可预期的结果。

### 5.SVS模块寄存器

SVS控制寄存器 (056h)

7	6	5	4	3	2	1	0
VLDx				PORON	SVSON	SVSOP	SVSFG
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	r	r	rw-0

SVS寄存器仅被brownout信号复位，不会被POR或PUC信号复位

VLDX 电压阈值选择位。

- 0000 SVS模块关闭
- 0001 1.9V
- 0010 2.1V
- 0011 2.2V
- 0100 2.3V
- 0101 2.4V
- 0110 2.5V
- 0111 2.65V
- 1000 2.8V
- 1001 2.9V
- 1010 3.05V
- 1011 3.2V
- 1100 3.35V
- 1101 3.5V
- 1110 3.7V
- 1111 将外部输入电压与内部的1.2V电压比较。

PORON 使能产生POR信号功能

- 0 SVSFG不会引发POR信号
- 1 SVSFG会引发POR信号

SVSON SVS开启。此位反映了SVS模块的工作状态，并不会开启SVS模块。

- 0 SVS模块处于关闭状态
- 1 SVS模块处于工作状态

SVSOP SVS输出位。此位反映了SVS比较器的输出值。

- 0 SVS比较器输出低电平
- 1 SVS比较器输出高电平

SVSFG SVS标志位。此位指出是否发生一个低电压事件。在低电压事件后，SVSFG位会保持置位，直到软件对他它进行复位。

- 0 没有发生低电压事件
- 1 已经发生了低电压事件

## MCU 比较器A

### 1.概述

比较器A模块支持高精度的比较测量功能，如电源电压的检测，监控外部模拟信号，测量电流、电阻与电容等，结合其他模块还可以实现精确的A/D功能。比较器A是工业仪表、手持式仪表等产品设计中的理想选择。

比较器A具有以下特点：

- 输入信号可选反向或非反向
- 比较器的输出端具有RC滤波器，可通过软件设置选择
- 比较器的输出可以提供给定时器A的捕获输入
- 软件可控制输入端口的缓冲器
- 具有中断能力
- 可选择的基准电压生成器
- 比较器与电压生成器都可关闭，以降低电流消耗

### 2.模拟输入端

比较器的两个模拟输入信号通过正、负两个输入端CA0与CA1进入比较器A，输入电流极小。这两个输入端可由用户软件设置，可以选择6种信号（CA0，CA1，0.5Vcc，0.25Vcc，二极管基准电压与外部参考源），而且能够进行多种组合比较。比较器A输入段可任意切换，其中可由CARSEL选择来自参考电压发生器输出的0.6Vcc，0.25Vcc，三极管阈值电压与外部参考源。P2CAx位控制外部端口连接到比较器A的情况。

硬件提供的比较组合如下：

- (1) 两个外部输入信号进行比较
- (2) 每个外部输入信号与0.5Vcc或0.25Vcc进行比较
- (3) 每个外部输入信号与内部基准电压进行比较

### 3.参考电压发生器

参考电压发生器通过调节接入的电阻来达到产生不同电压的目的，共可产生4种参考电压：0.5Vcc，0.25Vcc，二极管基准电压与外部参考源。这对于电源电压的稳定性有较高的要求。此外，比较器A适合与低功耗应用，该模块可以通过CAON位关闭，以降低电流消耗。

### 4.输出电路

比较器的输出端有一个RC滤波器，可以通过置位CAF位，应用滤波器。内部与外部的寄生效应与串扰耦合，电源波动或系统的其他部分会对输出造成波动影响，使用内部RC滤波器可以稳定输出信号。

比较器的最终输出信号的上升沿或下降沿可以设置为具有中断能力的。若不使用中断，可以将输出信号送给内部其他模块，作为其他模块的输入信号，也可有外部引脚输出。

### 5.比较器A模块寄存器

比较器A控制寄存器1 CACTL1 (059h)

7	6	5	4	3	2	1	0
CAEX	CARSEL	CAREFx		CAON	CAIES	CAIE	CAIFG
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

**CAEX** 比较器A端口控制位。此位为1时，交换比较器的输入端，并反向比较器的输出信号。

**CARSEL** 比较器A基准连接选择位。

当CAEX = 0时：

0  $V_{CAREF}$  连接到比较器的正端

1  $V_{CAREF}$  连接到比较器的负端

当CAEX = 1时：

0  $V_{CAREF}$  连接到比较器的负端

1  $V_{CAREF}$  连接到比较器的正端

**CARFG** 比较器A基准选择位。此位选择 $V_{CAREF}$ 的电压值

00 关闭内部基准。使用外部基准源

01 0.25Vcc

10 0.5Vcc

11 二极管基准

**CAON** 比较器A开启位。此位开启比较器A。当比较器关闭时，不消耗电流，CAOUT输出为低电平。基准电路具有单独的开启位。

0 关闭比较器A

1 开启比较器A

**CAIES** 比较器A中断边沿选择位

0 上升沿

1 下降沿

CAIE 比较器A中断使能位

- 0 禁止
- 1 使能

CAIFG 比较器A中断标志位

- 0 没有发生中断
- 1 有待处理的中断

比较器A控制寄存器2 CACTL2 (05Ah)

7	6	5	4	3	2	1	0
未用				P2CA1	P2CA0	CAF	CAOUT
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)

P2CA1 输入控制端CA1位

- 0 外部端口不连接到CA1
- 1 外部端口连接到CA1

P2CA0 输入控制端CA0位

- 0 外部端口不连接到CA0
- 1 外部端口连接到CA0

CAF 比较器A输出滤波器选择位

- 0 比较器A的输出不经过滤波
- 1 比较器A的输出经过滤波

CAOUT 比较器A的输出。此位反映了比较器的输出值

- 0 输出低电平
- 1 输出高电平

比较器端口关闭寄存器 CAPD (05Bh)

7	6	5	4	3	2	1	0
CAPD7	CAPD6	CAPD5	CAPD4	CAPD3	CAPD2	CAPD1	CAPD0
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

CAPDx 比较器A端口关闭位。此位关闭与比较器A共用I/O端口的输入缓冲器。CAPDx位可以单独的打开或关闭对应的P1.x端口的输入缓冲器。例如，CAPD0 = 1，则关闭P1.0。

- 0 打开输入缓冲器
- 1 关闭输入缓冲器

## MCU ADC12

### 1.概述

ADC12模块支持高速的12位模数转换。ADC12模块内部有一个12位的SAR核，采样控制电路，基准发生器与一个16个字的转换控制缓存器。转换控制缓存器允许最多16个独立的ADC采样，转换，存储而不需要CPU参与。

ADC12具有以下特点：

- 12位转换精度
- 采样速率最高可达200ksps
- 单调的12位转换器，具有非易失码
- 具有可编程的采样保持时间，可以通过软件或定时器控制采样周期
- 可由软件，定时器A，定时器B启动转换
- 软件可选择片上基准电压（1.5V或2.5V）
- 软件可选内部或外部基准
- 8个独立的可配置外部输入通道，4路内部通道
- 正/负基准独立的通道可选择基准源
- 可选择转换的时钟源，且模块内置时钟发生器
- 内置温度传感器
- ADC12模块可关闭，以降低功耗

### 2.基准电压发生器

ADC12模块内置参考电压源，而且参考电压具有6种选择，分别为 $V_{R+}$ 与 $V_{R-}$ 的组合。其中， $V_{REF}$ 可选 $AV_{CC}$ ，内部基准电压参考源正端 $V_{REF+}$ ，外部基准源正端 $V_{REF+}$ ； $V_{REF-}$ 可选 $AV_{SS}$ ，内部基准电压参考源负端 $V_{REF-}$ ，外部基准源负端 $V_{REF-}$ 。ADC12模块可以灵活的设置基准电压发生器的工作模式，例如通过设置REFON位打开或关闭基准电压源，不用时关闭可以降低功耗；可以通过设置REF2\_5V，选择内部基准电压的值；设置SREFx可以选择基准电压的6种组合等。

### 3.模拟输入多路器

当对多个模拟信号进行采样并转换时，为了共用一个转换内核，模拟多路器需要分时地将多个模拟信号选通，使每次只有一路模拟信号采样并转换。ADC12模块具有8路外部模拟信号通道与4路内部模拟信号通道，通过端口A0~A7实现外部8路模拟信号的输入，4路内部通道可以将 $V_{REF+}$ ， $V_{REF-}/V_{REF-}$ ， $(AV_{CC} - AV_{SS})/2$ 以及片内温度传感器的输出作为待转换的模拟输入信号。这样就可以同时对多路模拟信号进行测量与控制，从而满足实际控制与实施数据处理系统地要求。ADC12模块内置温度传感器，可以将片内温度传感器的输出送到ADC12的通道10，对其进行AD转换，进而可以测量芯片内部的温度。若测量得到的温度高于或低于预设值时，可以通过外部部件显示警告信息。将 $V_{REF+}$ ， $V_{REF-}/V_{REF-}$ ， $(AV_{CC} - AV_{SS})/2$ 作为ADC12的输入信号，可以用于有关ADC12的自检，校验与诊断功能。

#### 4.12位的转换内核

ADC12模块有一个12位的模数转换器内核，并能够将结果存放在转换存储器中。此内核可以使用两个可编程的基准电压（ $V_{R+}$ 与 $V_{R-}$ ）定义了转换的最大值与最小值。当输入模拟电压大于或等于 $V_{R+}$ 时，ADC12的输出为满幅值0FFFh，当输入电压小于或等于 $V_{R-}$ 时，ADC12的输出为零幅值0000h。输入模拟电压的转换结果满足公式：

$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{V_{in} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}$$

由于AD转换需要一定的时间来完成量化及编码操作，对高速变化的信号进行瞬时采样时，不等AD转换完毕，采样的值却已经发生改变。为了保证转换精度ADC12内核具有采样与保持功能，即使模拟信号变化地比较快，也不会影响ADC12的转换、采样状态，输出随输入而变化，保持状态，输出保持某个值一段时间以备转换。

ADC12内核接收到模拟输入信号并具有转换允许的相关控制信号之后就开始进行AD转换。在没有模拟信号转换的时候，可以通过设置ADC12ON位关闭内核，以降低功耗。

#### 5.ADC12模块寄存器

ADC12控制寄存器0 ADC12CTL0 (01A0h)

15	14	13	12	11	10	9	8
SHT1x				SHT0x			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

7	6	5	4	3	2	1	0
MSC	REF2_5V	REFON	ADC12ON	ADC12OVIE	ADC12TOVIE	ENC	ADC12SC
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

注：4~15位只有在ENC为0时，才能修改。

SHT1x 采样保持时间，这4位定义了保存在转换结果寄存器ADC12MEM8~ADC12MEM15中的转换采样时序与采样周期ADC12的关系： $t_{sample} = t_{ADC12CLK} \times n$ ，n为SHT1x的值。

0000 4  
 0001 8  
 0010 16  
 0011 32  
 0100 64  
 0101 96  
 0110 128  
 0111 192  
 1000 256  
 1001 384  
 1010 512  
 1011 768  
 1100 1024



1101 1024

1110 1024

1111 1024

**SHT0x** 采样保持时间，这4位定义了保存在转换结果寄存器ADC12MEM8~ADC12MEM15中的转换采样时序与采样周期ADC12的关系： $t_{\text{sample}} = t_{\text{ADC12CLK}} \times n$ ，n为SHT1x的值，n的定义与SHT1x相同。

**MSC** 多次采样转换。不支持单通道单次转换。

0 采样定时器需要一个SHI信号的上升沿以触发每次采样转换

1 SHI信号的第一个上升沿触发采样定时器，而随后的采样转换将在前一次转换完成后自动进行

**REF2\_5V** 基准电压发生器控制位。REFON必须被置位此位才有效。

0 1.5V

1 2.5V

**REFON** 基准电压发生器开启位

0 基准关闭

1 基准开启

**ADC12ON** ADC12模块开启位

0 ADC12模块关闭

1 ADC12模块开启

**ADC12OVIE** ADC12MEMx溢出中断使能位。GIE位必须同时置位，以使能中断。

0 溢出中断关闭

1 溢出中断开启

**ADC12TOVIE** ADC12模块转换时间溢出中断使能位。GIE位必须同时置位，以使能中断。

0 转换时间溢出中断关闭

1 转换时间溢出中断开启

**ENC** 使能转换

0 ADC12模块转换禁止

1 ADC12模块转换使能

**ADC12SC** 启动转换位。用于软件控制采样转换启动。ADC12SC与ENC位必须在同意指令内同时置位。

ADC12SC位自动复位。

0 没有开启采样转换

1 启动采样转换

**ADC12控制寄存器1 ADC12CTL1 (01A2h)**

15	14	13	12	11	10	9	8
CSTARTADDx				SHSx		SHP	ISSH
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0
ADC12DIVx			ADC12SSELx		CONSEQx		ADC12BUSY
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	r-(0)

注：3~15位只有在ENC为0时，才能修改。

CSSTARTADDx 转换起始地址。这4位定义了ADC12单次转换或序列转换的转换存储寄存器的首地址。  
CSTARTADDx的值0到15，对应了ADC12MEM0到ADC12MEM15。

SHSx 采样保持触发输入源的选择位

- 00 ADC12SC位
- 01 定时器A的OUT1
- 10 定时器B的OUT0
- 11 定时器B的OUT1

SHP 采样控制信号SAMPCON选择位

- 0 SAMPCON信号源于采样输入信号
- 1 SAMPCON信号源于采样定时器

ISSH 采样输入信号反向使能位

- 0 采样输入信号没有反向
- 1 采样输入信号反向

ADC12DIVx ADC12模块时钟分频系数

- 000 不分频
- 001 2分频
- 010 3分频
- 011 4分频
- 100 5分频
- 101 6分频
- 110 7分频
- 111 8分频

ADC12SELx ADC12模块时钟源选择位

- 00 ADC12OSC
- 01 ACLK
- 10 MCLK
- 11 SMCLK

CONSEQx 转换模式选择位

- 00 单通道单次转换模式
- 01 顺序通道单次转换模式
- 10 单通道多次转换模式
- 11 顺序通道多次转换模式

ADC12BUSY ADC12模块忙标志位。此位指出ADC模块正处于采样或转换中。

- 0 没有处于工作状态
- 1 ADC12模块正处于采样，转换或顺序转换期间

**ADC12中断标志寄存器 ADC12IFG (01A4h)**

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADC12IFG15~ADC12IFG0															
rw-(0)															

ADC12IFGx ADC12MEMx中断标志位。当对应的ADC12MEMx装载结果时，这15位中的对应位置位。当访问对应的ADC12MEMx寄存器时，ADC12IFGx被复位，也可通过软件复位。

- 0 没有中断
- 1 有待处理的中断

**ADC12中断使能寄存器 ADC12IE (01A6h)**

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADC12IE15~ADC12IE0															
rw-(0)															

ADC12IEx ADC12MEMx中断使能位。这15位使能对ADC12IFGx位对应的中断请求。

- 0 禁止中断
- 1 使能中断

**ADC12中断向量寄存器 ADC12IV (01A8h)**

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0										ADC12IVx					0
r0										r-(0)					r0

**ADC12IVx ADC12中断向量**

ADC12IVx的内容	中断源	中断标志	优先级
000h	没有待处理的中断	—	高
0002h	ADC12MEMx溢出	—	
0004h	转换时间溢出	—	
0006h	ADC12MEM0中断标志	ADC12IFG0	
0008h	ADC12MEM1 中断标志	ADC12IFG1	
000Ah	ADC12MEM2 中断标志	ADC12IFG2	
000Ch	ADC12MEM3 中断标志	ADC12IFG3	
000Eh	ADC12MEM4 中断标志	ADC12IFG4	
010h	ADC12MEM5 中断标志	ADC12IFG5	
012h	ADC12MEM6 中断标志	ADC12IFG6	
014h	ADC12MEM7 中断标志	ADC12IFG7	
016h	ADC12MEM8 中断标志	ADC12IFG8	
018h	ADC12MEM9 中断标志	ADC12IFG9	
01Ah	ADC12MEM10 中断标志	ADC12IFG10	
01Ch	ADC12MEM11 中断标志	ADC12IFG11	
01Eh	ADC12MEM12 中断标志	ADC12IFG12	
020h	ADC12MEM13 中断标志	ADC12IFG13	低
022h	ADC12MEM14 中断标志	ADC12IFG14	
024h	ADC12MEM15 中断标志	ADC12IFG15	

**ADC12转换存储寄存器**

寄存器	缩写	寄存器类型	地址	初始状态
ADC转换存储器0	ADC12MEM0	读写	140h	无变化
ADC转换存储器1	ADC12MEM1	读写	142h	无变化
ADC转换存储器2	ADC12MEM2	读写	144h	无变化
ADC转换存储器3	ADC12MEM3	读写	146h	无变化
ADC转换存储器4	ADC12MEM4	读写	148h	无变化
ADC转换存储器5	ADC12MEM5	读写	14Ah	无变化
ADC转换存储器6	ADC12MEM6	读写	14Ch	无变化
ADC转换存储器7	ADC12MEM7	读写	14Eh	无变化
ADC转换存储器8	ADC12MEM8	读写	150h	无变化
ADC转换存储器9	ADC12MEM9	读写	152h	无变化
ADC转换存储器10	ADC12MEM10	读写	154h	无变化
ADC转换存储器11	ADC12MEM11	读写	156h	无变化
ADC转换存储器12	ADC12MEM12	读写	158h	无变化
ADC转换存储器13	ADC12MEM13	读写	15Ah	无变化
ADC转换存储器14	ADC12MEM14	读写	15Ch	无变化
ADC转换存储器15	ADC12MEM15	读写	15Eh	无变化

**ADC12MEMx**

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	ADC12的转换结果											
r0	r0	r0	r0	rw											

**ADC12转换存储控制寄存器**

寄存器	缩写	寄存器类型	地址	初始状态
ADC转换存储控制寄存器0	ADC12MCTL0	读写	080h	POR信号复位
ADC转换存储控制寄存器1	ADC12MCTL1	读写	081h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器2	ADC12MCTL2	读写	082h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器3	ADC12MCTL3	读写	083h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器4	ADC12MCTL4	读写	084h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器5	ADC12MCTL5	读写	085h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器6	ADC12MCTL6	读写	086h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器7	ADC12MCTL7	读写	087h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器8	ADC12MCTL8	读写	088h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器9	ADC12MCTL9	读写	089h	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器10	ADC12MCTL10	读写	08Ah	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器11	ADC12MCTL11	读写	08Bh	POR 信号复位
ADC转换存储控制寄存器12	ADC12MCTL12	读写	08Ch	POR 信号复位

寄存器	缩写	寄存器类型	地址	初始状态
ADC 转换储存控制寄存器 13	ADC12MCTL13	读写	08Dh	POR 信号复位
ADC 转换储存控制寄存器 14	ADC12MCTL14	读写	08Eh	POR 信号复位
ADC 转换储存控制寄存器 15	ADC12MCTL15	读写	08Fh	POR 信号复位

**ADC12MCTLx**

7	6	5	4	3	2	1	0
EOS	SREFx			INCHx			
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

注：ADC12MCTLx寄存器的值只有在ENC为0时，才能修改。

**EOS** 顺序转换结束控制位。指出是否为顺序转换的最后一次。

- 0 顺序转换没有结束
- 1 此次为最后一次转换

**SREFx** 基准源选择位

- 000  $V_{R+} = AV_{CC}$ ,  $V_{R-} = AV_{SS}$
- 001  $V_{R+} = V_{REF+}$ ,  $V_{R-} = AV_{SS}$
- 010  $V_{R+} = Ve_{REF+}$ ,  $V_{R-} = AV_{SS}$
- 011  $V_{R+} = Ve_{REF+}$ ,  $V_{R-} = AV_{SS}$
- 100  $V_{R+} = AV_{CC}$ ,  $V_{R-} = V_{REF-} / Ve_{REF-}$
- 101  $V_{R+} = V_{REF+}$ ,  $V_{R-} = V_{REF-} / Ve_{REF-}$
- 110  $V_{R+} = Ve_{REF+}$ ,  $V_{R-} = V_{REF-} / Ve_{REF-}$
- 111  $V_{R+} = Ve_{REF+}$ ,  $V_{R-} = V_{REF-} / Ve_{REF-}$

**INCHx** 输入通道选择位

- 0000 A0
- 0001 A1
- 0010 A2
- 0011 A3
- 0100 A4
- 0101 A5
- 0110 A6
- 0111 A7
- 1000  $Ve_{REF+}$
- 1001  $V_{REF-} / Ve_{REF-}$
- 1010 温度传感器
- 1011  $(AV_{CC}-AV_{SS})/2$
- 1100  $(AV_{CC}-AV_{SS})/2$
- 1101  $(AV_{CC}-AV_{SS})/2$
- 1110  $(AV_{CC}-AV_{SS})/2$
- 1111  $(AV_{CC}-AV_{SS})/2$

### MCU JTAG熔丝检查模式

MCU有熔丝检查模式，此模式可以在上电复位（POR）后，初次处理JTAG端口时检查TDI引脚上熔丝的状态。当激活时，如果熔丝没有烧断，熔丝检查电流 $I_{TF}$ (在3V时为1mA)将从TDI引脚流向地。必须注意应该避免意外地激活熔丝检查模式而增大整个系统的功耗。熔丝检查模式地激活发生在上电后TMS引脚的第一个下降沿或者上电时TMS保持为低。TMS引脚上的第二个上升沿关闭熔丝检查模式。关闭后，熔丝检查模式保持无效直到发生另一个POR。在每次POR之后，熔丝检查模式都可能激活。

熔丝检查电流仅当熔丝检查模式激活且TMS引脚处于低状态时才产生。因此，可以通过将TMS引脚拉高（默认条件）来避免产生额外的电流。TMS管脚在内部已经上拉，所以不需要在外部连接上来电阻。

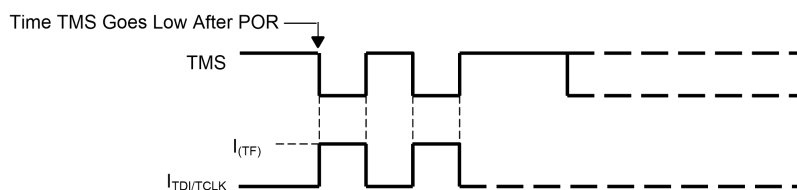


图25.熔丝检查电流图

### TDC 操作码及寄存器分配

#### 1.配置寄存器

TDC有7组32位的配置寄存器。高24位是用作寄存器配置，只可以写入，这些寄存器来设置TDC的操作。低8位可以用于比如存储产品的ID，可以被读回。

#### 按字母排列的寄存器配置参数

参数	寄存器	位	默认值
ANZ_FAKE	0	15	0
ANZ_FIRE	6	28-31	2
	0	8-10	
ANZ_PER_CALRES	0	22,23	0
ANZ_PORT	0	17	1
CALIBRATE	0	13	1
Conf Fire	5	28-31	0
CURR32K	1	15	1
CYCLE_TEMP	6	18,19	0
CYCLE_TOF	6	16,17	0
DA_KORR	6	25-28	0
DELREL1	3	8-13	0
DELREL2	3	14-19	0
DELREL3	3	20-25	0
DELVAL1	2	8-23	0
DELVAL2	3	8-23	0

DELVAL3	4	8-23	0
DIS_PHASSHIFT	5	27	0
DIS_PW	4	16	0
DIV_CLKHS	0	20,21	0
DIV_FIRE	0	24-27	2
DOUBLE_RES	6	12	0
EDGE_FW	4	15	0
EN_ANALOG	6	31	0
EN_AUTOCALC_MB2	3	31	0
EN_ERR_VAL	3	29	0
EN_Fast_Init	1	23	0
EN_FIRST_WAVE	3	30	0
EN_INT	2	29-31	1
	6	21	
EN_STARTNOISE	5	28	0

参数	寄存器	位	默认值
FIREO_DEF	6	14	0
HIT1	1	24-27	5
HIT2	1	28-31	5
Hitin1	1	16-18	0
Hitin2	1	19-21	0
HZ60	6	15	0
ID0	0	0-7	0
ID1	1	0-7	0
ID2	2	0-7	0
ID3	3	0-7	0
ID4	4	0-7	0
ID5	5	0-7	0
ID6	6	0-7	0
MESSB2	0	11	1
NEG_START	0	8	1
NEG_STOP_TEMP	6	30	0
NEG_STOP1	0	9	1
NEG_STOP2	0	10	1
NO_CAL_AUTO	0	12	0

参数	寄存器	位	默认值
OFFS	4	8-12	0
OFFSRNG1	4	13	0
OFFSRNG2	4	14	0
PHFIRE	5	8-23	0
QUAD_RES	6	13	0
REPEAT_FIRE	5	24-26	0
RFEDGE1	2	27	0
RFEDGE2	2	28	0
SEL_ECLK_TMP	0	14	1
SEL_START_FIRE	1	14	0
SEL_TIMO_MB2	3	27,28	3
SEL_TSTO1	1	8-10	0
SEL_TSTO2	1	11-13	0
START_CLKHS	0	18,19	1
	6	20	
TCYCLE	0	16	0
TEMP_PORTDIR	6	11	0
TW2	6	22,23	0

**寄存器 0 (地址 0)**

位	默认值	参数 (括号内为 TDC 名称)	描述	设置
31	0	ANZ_FIRE[3:0]	设置 fire 端口发射的脉冲个数，其余 3 位在寄存器 6 中设置。 若发射脉冲个数 ANZ_FIRE >15,则相位设置 PHFIRE 不能应用。	0 = 关闭
30	0			1 = 1 个脉冲
29	1			...
28	0			127 = 127 个脉冲
27	0	DIV_FIRE	设置内部时钟信号产生脉冲的分频因数	0 = 不分频
26	0			1 = 2 分频
25	1			...
24	0			15 = 16 分频



位	默认值	参数 (括号内为 TDC 名称)	描述	设置
23	0	ANZ_PER_CALRES	设置应用校准陶瓷晶振的 32k 时钟周期数	0 = 2 个周期= 61.035 $\mu$ s
22	0			1 = 4 个周期= 122.07 $\mu$ s 2 = 8 个周期= 244.14 $\mu$ s 3 = 16 个周期= 488.281 $\mu$ s
21	0	DIV_CLKHS	设置 CLKHS 高速参考时钟的 分频因数	0 = 不分频, 1 = 2 分频
20	0			2 = 4 分频, 3 = 4 分频
19	0	START_CLKHS [1:0]	定义了开启晶振后和测量开始 前的晶振启动时间间隔。 注意:调整 START_CLKS 的最高位 是在寄存器 6 的第 20 位。当设置 启动时间为 2.44 ms 和 5.14 ms 时, 这位必须设置为 1	0 = 晶振关闭
18	1			1 = 晶振一直开启 2 = 启振延迟 480 $\mu$ s 3 = 启振延迟 1.46 ms 4 = 启振延迟 2.44 ms 5 到 7 = 启振延迟 5.14 ms
17	1	ANZ_PORT	设置应用温度测量的端口数	0 = 2 个温度测量端口 (PT1 和 PT2) 1 = 4 个温度测量端口
16	0	TCYCLE	设置温度测量的循环时间	0 = 128 us @ 4 MHz 1 = 512 us @ 4 MHz (推荐)
15	0	ANZ_FAKE	在温度测量前的热身伪测量	0 = 2 次热身伪测量 1 = 7 次热身伪测量
14	1	SEL_ECLK_TMP	选择温度测量内部 cycle 时钟的 参考信号	0 = 应用 32.768 kHz 作为时钟 1 = 应用 128 $\times$ CLKHS 作为时钟周 期(在 4MHz 晶振的时候为 32 $\mu$ s)
13	1	CALIBRATE	开启/关闭在 ALU 中的校准	0=校准关闭(仅测量范围 1 中允许) 1 = 校准开启 (推荐)
12	0	NO_CAL_AUTO	开启/关闭在 TDC 中运行自动校准	0 = 在测量后自动校准 1 = 关闭自动校准功能
11	1	MESSB2 (MRange2)	选择测量范围 2	0 = 测量范围 1 1 = 测量范围 2
10	0	NEG_STOP2	反向 stop 通道 2 输入	0 = 非反向输入信号 - 上升沿 1 = 反向输入信号 - 下降沿
9	0	NEG_STOP1	反向 stop 通道 1 输入	0 = 非反向输入信号 - 上升沿 1 = 反向输入信号 - 下降沿
8	0	NEG_START	反向 start 通道 1 输入	0 = 非反向输入信号 - 上升沿 1 = 反向输入信号 - 下降沿
7-0	0	ID0	自由位, 例如可存储版本号等	

## 寄存器 1 (地址 1)

位	默认值	参数	描述	设置	
31	0	HIT2	用于定义 ALU 计算结果的方式: MRange1: HIT1 - HIT2 MRange2: HIT2 - HIT1	MRange1: 0 = Start 1 = 1.Stop Ch1 2 = 2.Stop Ch1 3 = 3.Stop Ch1 4 = 4.Stop Ch1	MRange2: 2 =1.Stop Ch1 3 =2.Stop Ch1 4 =3.Stop Ch1
30	1				
29	0				
28	1				
27	0	HIT1	用于定义 ALU 计算结果的方式: MRange1: HIT1 - HIT2 MRange2: HIT2 - HIT1	5 = 无动作 6 = Cal1 Ch1 7 = Cal2 Ch1 9 = 1.Stop Ch2 A = 2.Stop Ch2 B = 3.Stop Ch2 C = 4.Stop Ch2	MRange2: 1 = Start
26	1				
25	0				
24	1				
23	0	EN_FAST_INIT	启动快速初始化功能	0 = 关闭功能 1 = 启动功能	
22	1		保持默认值		
21	0	HITIN2	在 stop 通道 2 的预期脉冲数	0 = stop 通道关闭 1 = 1 个脉冲 2 = 2 个脉冲 3 = 3 个脉冲 4 = 4 个脉冲 5 到 7 = 不允许设置	
20	0				
19	0				
18	0	HITIN1	在 stop 通道 1 的预期脉冲数		
17	0				
16	0				
15	1	CURR32K	32kHz 晶振的低功耗选项。一般来说不必应用高电流选项，低电流也可以保证晶振的正常工作。	0 = 低电流 1 = 高电流	
14	0	SEL_START_FIRE	fire 脉冲用作触发 TDC start. Start 输入将被关闭	1 = 应用 fire 内部触发 Start	
13	0	SEL_TSTO2	定义 EN_START 管脚的功能.除了在 TDC 中的功能之外，此管脚可以用于不同信号的输出。如果设 SEL_TSTOP2 > 0 那么 EN_START 内部将会被 = 高电平。	0 = 高平将开启 START 管脚。 1 = START_TDC 输出 2 = STOP1 TDC 输出 3 = STOP2 TDC 输出 4 = 开启温度测量输出 5 = 通过 EN_STOP 开启 DELVAL 输出	
12	0				
11	0				

				6 = n.c.不连接 7 = 4 kHz (32 kHz/8) 时钟
10	0	SEL_TSTO1	定义 FIRE_IN 管脚的功能.除了 TDC 中的功能外这个管脚还可以用作其它输出信号.如果 SEL_TSTO1 >1 那么 FIRE_IN 内部将会被连接到 GND。	0 = 声环法的 Fire_in 输入 1 = START_TDC 输出 2 = STOP1 TDC 输出 3 = STOP2 TDC 输出 4 = 开启 Stop 温度测量输出 5 = TOF=UP, =1 当 TOF_UP 测量开启的时候 6 = RUN_HA, =1 当 hardmacro 开启的时候 7 = 32 kHz clock
9	0			
8	0			
7-0	0	ID1	自由位，例如可存储版本号等	

**寄存器 2 (地址 2)**

位	默认值	参数	描述	设置
31	0	EN_INT[2:0]	利用或门启动不同的中断触发, 还有一位在寄存器 6	Bit 31 = 1: Timeout 中断触发位
30	0			Bit 30 = 1: End Hits 中断触发位
29	1			Bit 29 = 1: ALU 中断触发位
28	0	RFEDGE2	通道 2 的边沿敏感性	0 = 上升或下降沿 1 = 上升和下降沿
27	0	RFEDGE1	通道 1 的边沿敏感性	
26 -8	0	DELVAL1	为使能 stop 脉冲而设置的延时, 以 start 通道的第一个脉冲为起点开始计时。14 位整数部分, 5 位小数部分, Tref 的倍数。	DELVAL1 = 0 到 16383.96875
7-0	0	ID2	自由位，例如可存储版本号等	

**寄存器 3 (地址 3)**

设置 EN\_FIRST\_WAVE = 0

位	默认值	参数	描述	设置
31	0	EN_AUTOCALC_MB2	仅在测量范围 2 中: 自动计算所有开启获得的脉冲。而这些结果的和将会写入到寄存器 4 当中。	0 = 关闭 1 = 开启
30	0	EN_FIRST_WAVE	开启自动第一波检测功能。如果开启, 那么在寄存器 3 和寄存器 4 中将会有新的意义产生。	0 = 关闭 1 = 开启

位	默认值	参数	描述	设置
29	0	EN_ERR_VAL	由于时间溢出强迫 ALU 写入 0xFFFFFFFF 到结果寄存器	0 = 关闭 1 = 开启
28	1	SEL_TIMO_MB2	在测量范围 2 内为溢出选择时间限制	0 = 64 us
27	1			1 = 256 us 2 = 1024 us 3 = 4096 us @ 4 MHz ClkHS
26-8	0	DELVAL2	为使能 stop 脉冲而设置的延时，以 start 通道的第一个脉冲为起点开始计时。14 位整数部分，5 位小数部分，Tref 的倍数。	DELVAL2 = 0 到 16383.96875
7-0	0	ID3	自由位，例如可存储版本号等	

设置 EN\_FIRST\_WAVE = 1

位	默认值	参数	描述	设置
31	0	EN_AUTOCALC_MB2	仅在测量范围 2 中: 自动计算所有开启获得的脉冲。而这些结果的和将会写入到寄存器 4 当中。	0 = 关闭 1 = 开启
30	0	EN_FIRST_WAVE	开启自动第一波检测功能。如果开启，那么在寄存器 3 和寄存器 4 中将会有新的意义产生。	0 = 关闭 1 = 开启
29	0	EN_ERR_VAL	由于时间溢出强迫 ALU 写入 0xFFFFFFFF 到结果寄存器	0 = 关闭 1 = 开启
28	1	SEL_TIMO_MB2	在测量范围 2 内为溢出选择时间限制	0 = 64 us
27	1			1 = 256 us 2 = 1024 us 3 = 4096 us @ 4 MHz ClkHS
26	0		保持默认值	
25 - 20	0	DELREL3	设置第一波检测到第 3 个 stop 是接收第几个回波周期	5 到 63 DELREL3 > DELREL2
19 - 14	0	DELREL2	设置第一波检测到第 2 个 stop 是接收第几个回波周期	4 到 63 DELREL2 > DELREL1
13 - 8	0	DELREL1	设置第一波检测到第 1 个 stop 是接收第几个回波周期	3 到 63
7-0	0	ID3	自由位，例如可存储版本号等	

**寄存器 4 (地址 4)**

设置 EN\_FIRST\_WAVE = 0

位	默认值	参数	描述	设置
31-27	2		保持默认值	
26-8	0	DELVAL3	为使能 stop 脉冲而设置的延时，以 start 通道的第一个脉冲为起点开始计时。14 位整数部分，5 位小数部分，Tref 的倍数。	DELVAL3 = 0 到 16383.96875
7-0	0	ID4	自由位，例如可存储版本号等	

设置 EN\_FIRST\_WAVE = 1

位	默认值	参数	描述	设置
31-27	2		保持默认值	
26-17	0		保持默认值	
16	0	DIS_PW	关闭脉冲宽度测量功能	0 = 开启脉冲宽度测量 1 = 关闭脉冲宽度测量
15	0	EDGE_FW	设置第一波识别的边沿敏感。设置为下降沿敏感的话则对于负的幅值比较有意义。	0 = 上升沿 1 = 下降沿
14	0	OFFSRNG2	增加额外的 offset + 20 mV	0 = 关闭 1 = 开启
13	0	OFFSRNG1	增加额外的 offset - 20 mV	0 = 关闭 1 = 开启
12-8	0	OFFS	设置比较器 offset，2 的补码形式设置，单位为 1 mV	0 = 0 mV 1 = +1 mV ... 15 = +15 mV 16 = -16 mV 17 = -15 mV ... 31 = -1 mV
7-0	0	ID4	自由位，例如可存储版本号等	

**寄存器 5 (地址 5)**

位	默认值	参数	描述	设置
31	0	CONF_FIRE	脉冲触发器的输出设置 3' b 011 不可以设置	Bit 31 = 1: 2 个都打开 (反向 FIRE_DOWN) Bit 30 = 1: 关闭输出 FIRE_UP Bit 29 = 1: 关闭输出 FIRE_DOWN
30	0			
29	0			
28	0	EN_STARTNOISE	给 start 通道信号外加噪声	1 = 开启噪声单元
27	0	DIS_PHASESHIFT	噪声单元. 当应用 TDC 参考时钟产生 start 脉冲的时候(例如将 fire 接到 start),请开启这个单元通过平均可以降低系统误差。	1 = 关闭相位噪声移位单元, 0 = 开启
26	0	REPEAT_FIRE	用于声环法的脉冲序列的重复次数	0 = 不重复 1 = 1 次重复 s ... 7 = 7 次重复
25	0			
24	0			
23-8	0	PHFIRE	对最多 15 个脉冲的脉冲序列中的每个脉冲进行相位设置	0 = 不反向 1 = 反向
7-0	0	ID5	自由位, 例如可存储版本号等	

**寄存器 6 (地址 6)**

位	默认值	参数	描述	设置
31	0	EN_ANALOG	开启在超声波流量测量中需要的模拟测量部分。若开启, 那么这个部分将会在测量的时候通电以节省电流。 STOP1 和 STOP2 这个时候内部将自动选择为模拟输入端	0 = STOP1 和 STOP2 为数字输入端 1 = 模拟部分开启
30	0	NEG_STOP_TEMP	反向 SenseT 输入信号, 这个在内部比较器应用	0 = 外部 74HC14 应用 1 = 应用内部施密特触发器
29	0		保持默认值	
28	0	DA_KORR	设置比较器 offset 从 -8 mV 到 +7 mV。以 2 的补码形式	15 = -1 mV      7 = 7 mV
27	0			14 = -2 mV      6 = 6 mV
26	0			...                      ...
25	0			9 = -7 mV      1 = 1 mV 8 = -8 mV      0 = 0 mV
24	0		保持默认值	

位	默认值	参数	描述	设置
23	0	TW2	当应用内部模拟部分时，给所推荐的 RC 的电容进行充电的时间	充电时间： 0 = 90 us 1 = 120 us 2 = 150 us 3 = 300 us
22	0			
21	0	EN_INT[3]	其他位参见寄存器 2 的低三位 EN_INT。不同的中断源内部通过或门连接。因此，显示操作的结束非常有必要。	
20	0	START_CLKHS[2]	最高位设置高速晶振的启振时间。低位则在寄存器 0 中设置	0 = 关闭 1 = 持续开启 2 = 480 us 延迟 3 = 1.46 ms 4 = 2.44 ms 5 到 7 = 5.14 ms
19	0	CYCLE_TEMP	选择触发第二次温度测量的定时器，以 50/60Hz 的倍数给出	0 = 0.5 1 = 0.75
18	0			
17	0	CYCLE_TOF	选择触发第二次时间测量的定时器，以 50/60Hz 的倍数给出	2 = 1 3 = 1.25
16	0			
15	0	HZ60	TDC 可以进行一个完整的上游飞行时间和下游飞行时间，以及两次温度测量。在两次测量之间的延迟是基于 50 或 60 Hz 时钟	0 = 50 Hz 为基础, 20 ms 1 = 60 Hz 为基础, 16.67ms
14	0	FIREO_DEF	定义非活动状态 fire 通道的默认水平。如：如果 FIRE_UP 活动状态，那么 FIRE_DOWN buffer 则连接到默认的水平。当应用内部集成的模拟部分时，必须设置为 1	0 = High-Z 1 = 低
13	0	QUAD_RES	在测量范围 2 中将测量精度提高 4 倍从 75 ps 到 19 ps	0 = 关闭 1 = 开启
12	0	DOUBLE_RES	在测量范围 2 中将测量精度加倍从 75 ps 到 37 ps	0 = 关闭 1 = 开启
11		TEMP_PORTDIR	温度测量端口测量顺序反向	0 = PT1 > PT2 > PT3 > PT4 1 = PT4 > PT3 > PT2 > PT1
10		ANZ_FIRE[6:4]	高 3 位设置发出脉冲的个数。同时参见	0 = 关闭

9			寄存器 0。如果 ANZ_FIRE > 15 那么 PHFIRE 对于脉冲相位的设置将不在有效	1 = 1 个脉冲
8				2 = 2 个脉冲 ...
7-0	0	ID6	自由位，例如可存储版本号等	127 = 127 个脉冲

## 2. 读寄存器

结果寄存器和状态寄存器都可以通过发送操作码 0xBX 进行读取。操作码根据地址不同，可以为 4, 2 或者 1 字节。

在配置寄存器中的 ID 寄存器位可以通过发送操作码 0xB7 进行读取。这个操作码将会以 ID0, ID1 ... ID6 的顺序给出 7 个 bytes 的信息。从最高位开始发送。

地址	符号	位数	描述									
0	RES_0	32	测量结果 1, 固定浮点数, 16 位整数部分, 16 位小数部分 $2^{15}$ $2^0, 2^{-1}$ $2^{-16}$									
1	RES_1	32	测量结果 2, 固定浮点数, 16 位整数部分, 16 位小数部分									
2	RES_2	32	测量结果 3, 固定浮点数, 16 位整数部分, 16 位小数部分									
3	RES_3	32	测量结果 4, 固定浮点数, 16 位整数部分, 16 位小数部分									
4	STAT	16	15	14	13	12	11	10	9	8-6	5-3	2-0
			EEPROM_eq_CREG	EEPROM_DED	EEPROM_Error	温度测量 短路	温度测量 开路	粗值 计数 溢出	TDC 单元 溢出	通道 2 接 收到的脉 冲数	通道 1 接 收到的脉 冲数	结果 地址 指针
5	REG_1	8	显示写寄存器 1 中的高 8 位，用来测试通信									
8	PW1ST	8	脉冲宽度的测量比值，固定浮点数，其中 1 位为整数									

### 2.1 结果寄存器

数据结构和结果寄存器的分配由操作模式和被存储数据是否是校准值决定。注意以下几点：

- 只有在测量范围1中才可能出现负值。
- 测量范围2中只有正值，以无符号数形式出现。
- 只有测量范围1中才可以进行非校准测量。
- 在测量范围1中采用校准测量时，被测时间间隔不能大于两个校准时钟周期。如果被测时差大于两个校准时钟周期，则ALU溢出并在相应结果寄存器中写入 0xFFFFFFFF。

测量范围1，进行校准(Calibrate = 1)

测量结果是内部基准时钟周期的倍数，内部基准时钟等于外部基准时钟除以 DIV\_CLKHS(DIV\_CLKHS = 1、2、4)。校准值是32位定点数，由16位整数和16位小数组成。因此一个校准值占用一个结果寄存器。串行输出从最高位( $2^{15}$ )开始，以最低位( $2^{-16}$ )结束，数据以2的补码形式存在。



$$\text{Time} = \text{RES\_X} \times \text{Tref} \times N, \text{ 当 } N = 1, 2 \text{ 或 } 4$$

$$\text{Time} < 2 \times \text{Tref} \times 2\text{ClkHSDiv}$$

测量范围 1, 不进行校准(Calibrate = 0)

非校准值是典型的有符号整数, 以16位值的形式被存储在结果寄存器的高16位。结果寄存器的低16位被设为0。结果代表最低有效位的个数, 以2的补码形式存在。

$$\text{Time} = \text{RES\_X} \times 75\text{ps}$$

测量范围2

在测量范围2中, TDC只支持校准测量。测量结果是内部基准时钟周期的倍数, 内部基准时钟等于外部基准时钟除以DIV\_CLKHS (DIV\_CLKHS=1、2、4)。校准值是32位定点数, 由16位整数和16位小数组成。因此一个校准值占用一个结果寄存器。串行输出从最高位(2<sup>15</sup>)开始, 以最低位(2<sup>-16</sup>)结束, 以2补码形式存在。

$$\text{Time} = \text{RES\_X} \times \text{Tref} \times N, \text{ with } N = 1, 2 \text{ 或 } 4$$

温度测量

放电时间的测量, 与测量范围2的结构相同。

对于放电时间的比值是与电阻的比值相同的:

$$RT = Rref \times \tau / \tau_{ref}$$

## 2.2 状态寄存器

位	名称	描述	值
2-0	Pointer result register	指针指向下一个空结果寄存器地址	
5-3	# of hits Ch 1	显示在 channel 1 记录下的第几次脉冲数	
8-6	# of hits Ch 2	显示在 channel 2 记录下的第几次脉冲数	
9	Timeout TDC	显示 TDC 测量单元溢出	1 = 溢出
10	Timeout Precounter	显示测量范围2中14位粗值计数器的溢出	1 = 溢出
11	Error open	显示测量温度传感器为断路	1 = 开路
12	Error short	显示测量温度传感器为短路	1 = 短路
13	EEPROM_Error	在EEPROM中有一个错误并且被纠正	1 = 错误
14	EEPROM_DED	多次错误检查.在EEPROM中有2处不能够纠正的错误产生	1 = 2处错误
15	EEPROM_eq_CREG	显示配置寄存器中的内容是否与 EEPROM中相同	1 = 相同

## 2.3 PW1ST 寄存器

这个寄存器是一个8位的固定浮点数寄存器, 其中1位为整数, 而7位为小数。PW1ST给出了第一个回波半波 (在给定的偏移电压情况下)和给出的所需接收回波半波的宽度比值。数据范围: 0 到 1.99219

### 3. 操作码

操作码HEX	MSB				LSB				符号	读出
'h8x	1	0	0	0	0	A	A	A	写入地址 A	24 位或者 32 位数据
'hBx	1	0	1	1	0	A	A	A	读取地址 A	8, 16 或32 位数据
'hB7	1	0	1	1	0	1	1	1	Read ID bit	56位 ID
'hB8	1	0	1	1	1	0	0	0	Read PW1ST	8位
'h70	0	1	1	1	0	0	0	0	Init	
'h50	0	1	0	1	0	0	0	0	Power_On_Reset	
'h01	0	0	0	0	0	0	0	1	Start_TOF (原名: Start_Cycle)	
'h02	0	0	0	0	0	0	1	0	Start_Temp	
'h03	0	0	0	0	0	0	1	1	Start_Cal_Resonator	
'h04	0	0	0	0	0	1	0	0	Start_Cal_TDC	
'h05	0	0	0	0	0	1	0	1	Start_TOF_Restart	
'h06	0	0	0	0	0	1	1	0	Start_Temp_Restart	

#### 操作码说明

- h01, Start\_TOF: 触发一次时间测量。首先，4Mhz晶振被开启。在经过所设定的延迟 (START\_CLKHS)之后比较器和参考电压将会被开启。接受电容首先被充电到Vref而不活动fire缓冲则被下拉到GND。在设置的充电容时间(TW2)延迟之后,Fire缓冲将会发出fire脉冲。在所设置的DELVAL延迟窗口时间之后，stop通道将会打开接收脉冲。在测量的最后，模拟部分和4MHz晶振被关闭，这个时候整个电流将会被降低到大约为0。中断将会置位，INTN = 低电平。

- h05, Start\_TOF\_Restart: 这个新的操作码将运行Start\_TOF两次,分别在热量表的上游时间测量和下游时间测量各一次。在两个方向的测量全部结束后，中断位均会被置位一次。因此，在一次Start\_TOF\_Restart命令之后，单片机将会看到两次中断，必须要读取两次数据。在上游和下游时间测量之间的时间间隔可以通过配置参数 CYCLE\_TOF以50Hz或者60Hz的倍数给出。正确的选择两个测量之间的延迟可以抑制50/60 Hz 噪声。

CYCLE_TOF 的值	系数	HZ60 = 0(50Hz)	HZ60 = 1(60Hz)
0	0.5	10 ms	8.3 ms
1	0.75	15 ms	12.48 ms
2	1	20 ms	16.6 ms
3	1.25	25 ms	20.78 ms

- h02, Start\_Temp: 将会触发一次温度测量。它首先将会在端口PT0进行几次热身测量 (ANZ\_FAKE)。然后开始按顺序测量端口PT0 > PT1 > PT2 > PT4。如果TEMP\_PORTDIR被设置为1，那么端口的测量顺序将会颠倒过来。热身测量将会从端口PT4开始。

- h06, Start\_Temp\_Restart: 这个操作码将会运行温度测量 Start\_Temp 两次。在上游和下游温度测量之间的时间延迟由参数配置 CYCLE\_TEMP 以 50 Hz或60 Hz的倍数给出。正确的选择两个测量之间的延迟可以抑制50/60 Hz 噪声。

CYCLE_TEMP 的值	系数	HZ60 = 0(50Hz)	HZ60 = 1(60Hz)
0	0.5	10 ms	8.3 ms
1	0.75	15 ms	12.48 ms
2	1	20 ms	16.6 ms
3	1.25	25 ms	20.78 ms

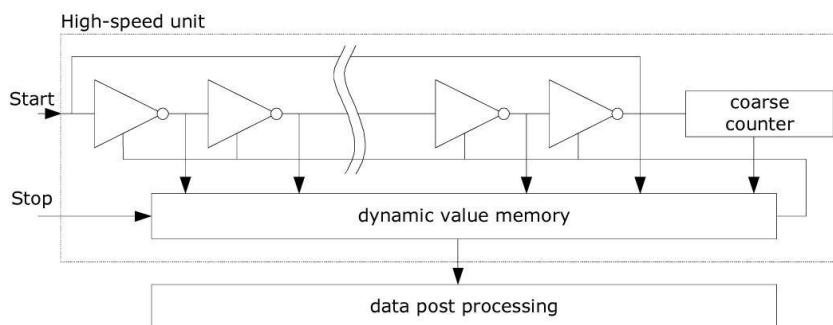
• h03, Start\_Cal\_Resonator: 将会触发一次对于高速晶振的校准测量。TDC 将会测量一段时间间隔，间隔可为 61  $\mu$ s 到 488  $\mu$ s, 通过 ANZ\_PER\_CALRES 定义给出。测量结束后将会通过中断管脚给出中断。最后结果，将会以高速时钟周期的倍数给出，存在结果寄存器 0 当中。将这个结果与理论值相比较，将会得出校准的系数。

• h04, Start\_Cal\_TDC: 这个命令将会启动测量 2 个参考时钟周期。主要应用于更新校准 TDC 的数据。如果芯片设置为自动校准 auto-calibration, 则不需要这个命令。

## 测量范围一

### 1.概述

- 测量范围从3.5ns到2us(0-2us在不同stop通道之间)
- 2个stop通道相对于一个start通道,典型精度为75 ps
- 1个stop通道相对应一个start通道,典型精度为 37 ps
- 20 ns 的脉冲之间最小间隔
- 每个stop通道最多4个脉冲
- 可选择每个通道的上升/下降沿敏感
- 对于强大的窗口功能的启动管脚
- 可以测量任意两个脉冲之间的时间间隔
- 典型应用: 激光时间测量, RF, ToF, ATE



数字式 TDC 应用内部的逻辑门延迟来以高精度测量时间间隔。上图阐述了这种绝对时间 TDC 的测量原理结构。智能的电路结构,确保电路以及特殊的测量方法使信号通过逻辑门的时间可以非常精确。最大的测量精度完全取决于内部信号通过逻辑门的传播时间。

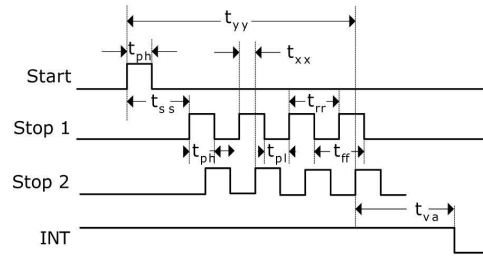
测量单元是通过一个 start 信号触发,stop 信号截止的。由环形振荡器的位置和粗值计计数值可以计算出 START 信号和 STOP 信号之间时间间隔，测量范围可达 20 位。

3.3V 和 25°C 时，TDC 的最小分辨率是 75ps。RMS 噪音大约是 50ps(0.7LSB)。温度和电压对门电路的传播延迟时间有很大的影响。通常是通过校准来补偿由温度和电压变化而引起的误差。

在校准过程中，TDC 测量一和两个校准时钟周期。测量范围受计数器大小的限制。

$$t_{yy} = \text{BIN} \times 26224 = 75 \text{ ps} \times 26224 \approx 2 \mu\text{s}$$

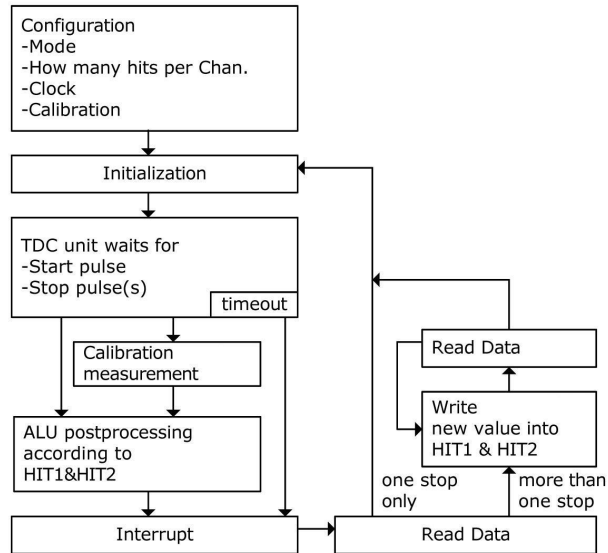
	时间(条件)	描述
tph	2.5 ns (min.)	最小脉冲宽度
tpl	2.5 ns (min.)	最小脉冲宽度
tss	3.5 ns (min.) 2 μs (max.)	Start 到 Stop 之间
trr	20 ns (typ.)	上升沿到上升沿
tff	20 ns (typ.)	
tva	t.b.d. 非校准 t.b.d. 校准后	最后一个脉冲出现后 到测量结果有效时间
txx	无时间限制	
tyy	2 μs (max)	最大测量范围 = 26224 × LSB



每一个输入端均可以被单独设置成上升沿、下降沿或上下沿同时触发有效。可通过设置寄存器 0 的 bit 8-10 位(EG\_START, NEG\_STOP1, NEG\_STOP2)和寄存器 2 的 bit 27& 28, REFDGEx 来选择触发沿。

此外所有的 START/STOP 输入端口均支持高电平激活。

## 2. 测量流程



### 2.1 设置

在开始使用 TDC 之前，必须对它进行设置。

测量范围 1 的主要设置为:

#### a. 选择测量范围 1

设置寄存器 0, bit 11, MESSB2 = 0。寄存器 6, bit 12, DOUBLE\_RES = 1 选择双精度模式。通过这个选择，测量精度为典型 37ps 而不是 75ps。但仅仅有一个 stop 通道可用。

b.选择参考时钟

寄存器 0 的 bits18&19 和寄存器 6,bit20,START\_CLKHS 用来切换高速时钟。如果只采用 32KHZ 时钟，则设为 0；只采用高速时钟则置 1(持续模式)。

寄存器 0,bits20&21,DIV\_CLKHS 是用来设置参考时钟内部分频器数值的（1，2 或 4）。这对测量范围 1 中的校准测量非常重要，因为只有在 2Tref(内部时钟)大于被测的最大时间间隔时，ALU 才会正常工作。否则 ALU 输出值为 0xFFFFFFFF。同时也要确保 2Tref（内部时钟）<2us,以避免在校准时时间溢出。

c.设置所能接受的脉冲个数

用户可以在寄存器 1,bits 16—18(HITIN1)和 bits 19—21(HITIN2)中设定 TDC 要测量的脉冲的个数。每个通道最多可能测量 4 次。TDC 会一直测量直到完成已设的 hits 次数或发生溢出为止。

d.校准选择

由于测量的分辨率会随温度和电压的改变而改变，所以 TDC 的 ALU 需要内部校正测量结果。可通过设寄存器 0 的 Bit13(Calibrate)为“1”来选择校准测量。推荐使用校准量。为了进行校准，TDC 测量 1 个和 2 个参考时钟周期，这两个数据作为 Cal1 和 Cal2 存储起来。

有两种方法可用来更新校准数据 Cal1 和 Cal2:

- 通过 SPI 接口发送 Start\_Cal\_TDC 指令来单独校正；
- 通过设定寄存器 0 的 Bit12（NO\_CAL\_Auto）=“0”来自动更新。在大多数应用中都会首选自动更新。

e.定义 ALU 数据处理

尽管 TDC 单元的每个通道可以测量 4 次，但是用户可以自由定义 ALU 计算哪两个信号之间的时差。可以在寄存器 1 的 Bit16-19(HIT1)以及 20-23(HIT2)中进行设置。具体设为:

- 0 = Start
- 1 = 1. Stop Ch1 9 = 1. Stop Ch2
- 2 = 2. Stop Ch1 A = 2. Stop Ch2
- 3 = 3. Stop Ch1 B = 3. Stop Ch2
- 4 = 4. Stop Ch1 C = 4. Stop Ch2
- 6 = Cal1 Ch1
- 7 = Cal2 Ch1

例:

```
Reg1 = 0x01xxxx - 1st Stop Ch1-Start
Reg1 = 0x2Bxxxx - 3rd Stop Ch2-2nd
Stop Ch1
Reg1 = 0x06xxxx - Cal1
```

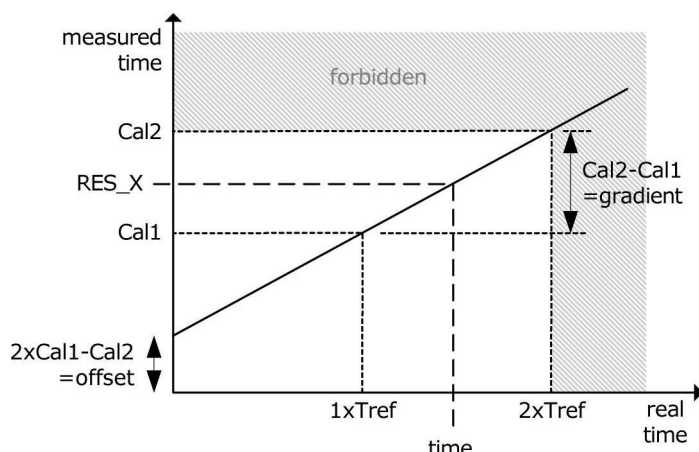
ALU 计算了 Hit1 - Hit2

如果采用校准操作，则 ALU 就会进行完全的校准计算（除了正在读校准数值之外。在这种情况下，ALU 将会把 Cal1/Cal2 原始数据写入输出寄存器中）。

$$RES\_X = \frac{HIT1 - HIT2}{Cal2 - Cal1}$$

$$Cal2 - Cal1 = gradient$$

$$Time = RES\_X \times Tref \times 2^{ClkHSDiv} = RES\_X \times Tref \times N, N = 1, 2 \text{ or } 4.$$



f.选择输入触发方式

通过设置寄存器 2 的 Bit27&28 (REFEDGE1 & FEDGE2),用户可以选择 STOP 降沿单独触发(RFEDGE="0")还是上升沿和下降沿同时触发(RFEDGE="1")。

用户可通过设置寄存器 0 的 Bit 8-10 (NEG\_X) 在每一个输入端口 (Start, Stop1, Stop2) 增加一内部反相器。当 RFEDGE = 0 时, NEG\_X = 0 则上升沿触发, NEG\_X = 1 则下降沿发。

e.中断

中断引脚 INT 可以有不同的中断源,在寄存器 2 的 Bits 29-31 (EN\_INT) 以及寄存器 6 bit 21 位中进行选择。

Reg 2 bit 29 = 1 ALU 已经准备好

Reg 2 bit 30 = 1 被设置的脉冲个数全部被接收到

Reg 2 bit 31 = 1 TDC 测量单元溢出

如果需要两个或两个以上的中断源,可通过“或”门连接不同的选项。在后面将会对此设置有更进一步描述。

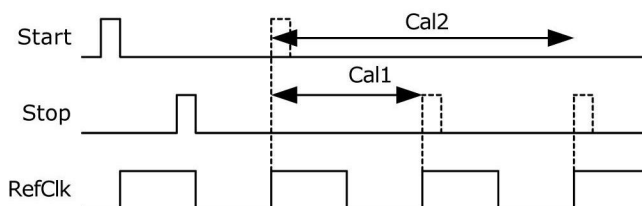
进行了设置之后,用户必须通过发送代码“Init”初始化,以便 TDC 能够接受 Start 和 Stop 信号。

2.2 测量

初始化之后 TDC 高速测量单元接收到 Start 脉冲后开始工作直到:

- 达到设置的采样数 (在测量范围 1 中每个通道最多 4 次采样)
- 或者遇到测量溢出 (测量范围 1 中约为 2μs) 后才停止工作

时间测量原始数据就存储在 TDC 内部。状态寄存器的 Bits 3-8 可显示出采样的数目。如果进行校准,则测量完时差之后 TDC 开始测量一个和两个内部基准时钟周期 (Tref ×1,2 或 4)。校准原始数据 (Cal1 和 Cal2) 也被存储在 TDC 内部。



### 2.3 数据处理

在测量结尾，ALU 开始依照 HIT1 和 HIT2 的设置处理数据并把结果送入输出寄存器。如果不进行校准，ALU 传输 16 位原始数据到输出寄存器。如果进行校准，则 ALU 预先设置好的进行计算并传输 32 位的固定浮点数到输出寄存器。设置 HIT1=HIT2=5，可切断 ALU。ALU 工作所花费的时间由是否进行校准和供电电压决定。

	不校准	校准
3.3V	t. b. d.	t. b. d.
2.5V	t. b. d.	t. b. d.

假定选择 ALU 空闲作为中断源（在 REG2, EN\_INT 中设置），只要结果寄存器中有可读的数据，中断标志位就会置位。然后输出寄存器的载入指针增 1，并指向下一个要存储的单元。状态寄存器的位 0-2 可以显示出载入指针的实际位置。

### 2.4 读数据

现在用户发送代码 10110ADR 就能够读数据了。接着进行 16 次循环（未校准数据）或者 32 次循环（校准数据），TDC 从最高有效位(MSB)开始输出结果。第一个 SCK 的上升沿将会复位 INTN 管脚(中断)。

例：  
配置  
...  
写入 reg1=' h014400 4 个采样在通道 1,  
计算 1st Stop -Start  
...  
初始化 ...  
while(检查中断标志)  
写入 reg1=' h024400 计算 2nd -Start  
等待(4.6μs)  
写入 reg1=' h034400 计算 3rd -Start  
等待(4.6μs)  
写入 reg1=' h044400 计算 4th -Start

等待(4.6μs)现在所有采样所有采样数据都存储在寄存器 0 到 3 中,载入指针现在指向寄存器地址 4. 最后 TDC 在进行下次测量之前必须通过发送代码 “Init” 再次初始化以便于 TDC 可以接收新的 Start 和 Stop 信号。

#### a. 未校准数据格式

未校准数据是以二进制的补码形式出现的 16 位带符号整数。1BIN = 未校准的门延迟时间≈75ps 在 3.3V 和 25 °C 环境下 Time = RES\_X × 75 ps



## b. 校准数据

校准数据是以 2 的补码形式出现的 32 位固定浮点数。是以基准时钟的倍数。Time = RES\_X × Tref × N, N = 1, 2 或 4 被测时差不能超过: 2×Tref× ClkHSDiv, 否则 ALU 将会溢出并且写入结果寄存器 hFFFFFFF.

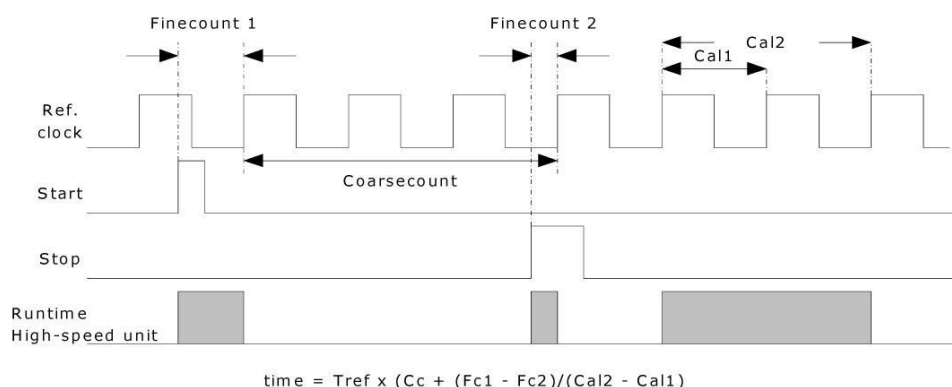
ALU 每次只允许计算一次采样。如果不止一次采样, 则必须在 HIT1/HIT2 中写入新的命令来指示 ALU 计算其他采样。在向 HIT1/HIT2 写入命令之后 t.b.d.μs (校准值) 或者 t.b.d.ns (非校准值) 之内不能再次向 HIT1/HIT2 进行读写操作。

## 测量范围二

### 1. 概述

- 只有一个 Stop 通道对应 Start 通道
- 典型的分辨率为 19 ps / 37 ps / 75 ps
- 间隔脉冲对的分辨率为 2 x Tref 到 4 ms @ 4MHz
- 测量范围: 2×Tref~4ms @4MHZ
- 有 3 次采样能力, 自动进行结果计算
- 可选上升/下降沿触发
- 每个单独的 stop 信号都有一个精度为 10ns 的可调窗口, 可提供准确的 stop 使能
- 典型应用: 超声波热量表、水表

数字 TDC 是以信号通过内部门电路的传播延迟来进行高精度时间间隔测量的 (也可参看测量范围 1 部分)。在测量范围 2 中采用前置配器来扩展可测量的最大时间间隔, 分辨率保持不变。在此模式下, TDC 的高速单元并不测量整个时间间隔, 仅仅测量从 START 或 STOP 信号到相邻的基准时钟上升沿之间的间隔时间 (精确计数器)。在两次精密测量之间, TDC 记下基准时钟的周期数 (粗值计数器)。



3.6V 和 25°C 时, TDC 的最小分辨率是 75ps。RMS 噪音大约是 50ps(0.7LSB)。门电路的传播延迟时间主要取决于温度和电压。在测量范围 2 中测量结果是精确测量值和粗略测量值的总和。因此在测量范围 2 中必须进行校准。在校准期间, TDC 分别测量一个和两个基准时钟周期。

校准数据是不受电压和温度的影响的。

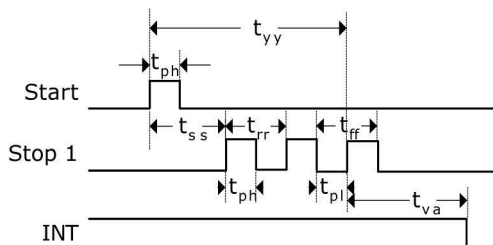
测量范围受限于粗计数器的大小:

$$t_{yy} = Tref \times 2^{14} \approx 4.1ms @ 4MHz$$



Start 和 Stop 之间的时差以 26 位的测量范围计算。

	时间(条件)	描述
tph	2.5 ns (min.)	最小脉冲宽度
tpl	2.5 ns (min.)	最小脉冲宽度
tss	2×Tref	Start 到 Stop 之间 @ Dis_PhaseNoise=1
trr	2×Tref	上升沿到上升沿
tff	2×Tref	下降沿到下降沿
tva	4.6μs(max)	ALU 开始到数据有效
tyy	4ms (max) @ 4MHz	最大测量范围 = 2 <sup>14</sup> ×Tref

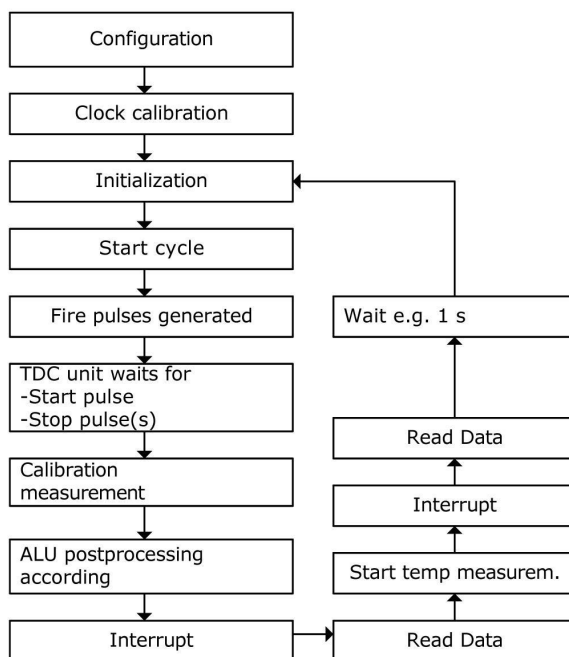


每一个输入端均可被单独设置成上升沿或者下降沿触发有效可通过设置寄存器 0 的 bit0-2 (NEG\_START, NEG\_STOP1)选择触发沿。

此外所有的 START/STOP 输入端口均支持高电平激活。

注:如果 Start—Stop 之间的时差小于最小时限  $t_{zz}$ ，则 TDC 将忽略所有小于  $t_{zz}$  的时差脉冲。在任何情况下都不会出现错误的结果。

## 2.测量流程



### 2.1 设置

在开始使用之前，必须对 TDC 进行设置。

测量范围 2 的主要设置为:

#### a.选择测量范围 2

设置寄存器 0, Bit11, MRange2=1。

#### b.选择参考时钟

在测量范围 2 中 TDC 需要高速时钟来进行时间间隔测量。在低功耗应用中，此时钟在两次测量之间可以被切换。在高速振荡器的上电时序控制上，32.768kHz 的时钟是必须的。

寄存器 0 的 bit18&19, START\_CLKHS 用来切换高速时钟。如果只采用高速时钟则置 1；如果为了节省电流两种振荡时钟都采用时，对陶瓷振荡器则应设置为 2，对石英振荡器则应设置为 3。寄存器 0, Bits 20&21, DIV\_CLKHS 是用来设置基准时钟内部分频器数值的（1, 2 或 4）。

此选择对最小时间间隔和最大时间间隔都有影响。最小时间间隔为:

$$t_{\min} = 2 \times T_{\text{ref}} \times 2^{\text{ClkHDiv}}$$

最大时间间隔为:

$$t_{\max} = 2^{14} \times T_{\text{ref}} \times 2^{\text{ClkHDiv}}$$

另外必须确保:

$$2 \times T_{\text{ref}} \times 2^{\text{ClkHDiv}} < 2.4 \mu\text{s}$$

否则 ALU 在校准时会溢出并输出数值 0xFFFFFFFF。

注意: 部经过分频后的时钟频率在单精度和双精度模式中必须在 2Mhz 到 8Mhz 的范围内,在四精度模式中必须在 2MHz 到 6Mhz 范围内。

#### c.设置所需的脉冲次数

用户可以在寄存器 1, bits 8—10(HITIN1)中设定 TDC 要测量的 hits 个数。在测量范围 2 中通道 1 最多可测量 3 次。因为 Start 也被作为一次采样计数，所以 HITIN1 的数值总是比设定的采样数多 1。TDC 会一直测量直到达到预设的 hits 次数或者发生溢出寄存器 0, Bit 11 到 13(HITIN2)必须置 0。

例如: 希望接受 2 stop 脉冲，则设置 HITIN1 = 3, HITIN2 = 0。

#### d.选择校准

可通过设寄存器 0 的 Bit13(CALIBRATE)为“1”来选择校准测量。在测量范围 2 中必须进行校准。TDC 分别测量 1 个和 2 个基准时钟周期用来校准，这两个数据作为 Cal1 和 Cal2 存储起来。

有两种方法可用来更新校准值 Cal1 和 Cal2:

- 通过 SPI 接口发送 Start\_Cal\_TDC 指令来单独校正
- 通过设定寄存器 0 的 Bit12 在大多数应用中都会首选 NO\_CAL\_AUTO =0 自动校准。

#### e.定义 ALU 数据处理

通过设置 EN\_AUTOCALC\_MB2 = 1, TDC 将会自动计算所有的接收脉冲然后自动写入相应寄存器.另外, 还会计算出一个 3 个结果的和值. 然后将这个数据写入到结果寄存器 3 中。这将会简化 MCU 和 TDC 的通信,因为无需再从新写入寄存器 1 的计算符了。

通过将 EN\_AUTOCALC\_MB2 设置为 0 关闭,那么 ALU 每次只能计算一次采样。可以在寄存器 1 的 Bit24-27(HIT1)以及 28-31(HIT2)中设置 ALU 计算哪两个脉冲之间的时间间隔。

由于测量范围 2 的特殊的测量方法，Start 脉冲在 TDC 内部作为 Stop 脉冲处理。

Reg1 = ' h21xxxx = 计算 1st Stop Ch1-Start

Reg1 = ' h31xxxx = 计算 2nd Stop Ch1-Start

Reg1 = ' h41xxxx = 计算 3rd Stop Ch1-Start

ALU 计算了时间间隔如下:

$$RES\_X = CoarseCount + \frac{HIT1 - HIT2}{Cal2 - Cal1}$$

$$Time = RES\_X \times Tref \times 2^{ClkHSDiv}$$

f.选择输入触发方式

通过设置寄存器 2 的 Bit27&28 (RFEDGE1&RFEDGE2),用户可以选择 STOP 输入是上升沿或下降沿单独触发(RFEDGE = 0)还是上升沿和下降沿同时触发(RFEDGE = 1)。用户可通过设置寄存器 0 的 Bit8-10(NEG\_X)在每一个输入端口 (Start, Stop1 和 Stop2) 增加一内部反相器。

当 RFEDGE = 0 时, NEG\_X = 0 则上升沿触发, NEG\_X = 1 则下降沿触发。

g.中断

中断引脚(INTN)可以有不同的中断源, 在寄存器 2 的 Bit29-31(EN\_INT)中进行选择, 寄存器 6 Bit 21(EN\_IN)。

- EN\_INT = 未设置 无中断源
- reg2 Bit29 ALU 完成计算
- reg2 Bit30 已达到预先设定的采样数
- reg2 Bit31 TDC 单元溢出
- reg6 Bit21 EEPROM 动作结束

可通过或门连接不同的选项。第一个 SCK 的上升沿将会复位 INTN 管脚(中断管脚)。进行设置之后, 用户必须通过发送代码 “Init” 初始化 TDC,以便能够接收 Start 和 Stop 信号。

2.2 测量

初始化之后 TDC 单元接收到 Start 通道上的第一个脉冲后开始工作, 直到:

- 达到预先设置的采样数 (在测量范围 2 中通道 1 上最多能进行 3 次采样)
- 或者遇到测量溢出后停止工作。可通过设置寄存器 3 的 Bits27&28(SEL\_TIMO\_MB2)来选择不同的基准时钟因子从而限定溢出时间。在 4MHZ, 时对应数值如下:

- SEL\_TIMO\_MR2 (@ 4 MHz, ClkHSDiv = 0)
- = 0 = 64 μs
- = 1 = 256 μs
- = 2 = 1024 μs
- = 3 = 4096 μs

在时间测量结结尾, TDC 测量两个基准时钟周期以进行校准。

2.3 数据处理

在测量结尾, ALU 开始依照 HIT1 和 HIT2 的设置处理数据并把结果送入输出寄存器。ALU 依据预先的设置进行计算并传输 32 位的固定浮点数到输出寄存器。

ALU 进行计算所花费的时间由供电电压决定:

	1 个脉冲	2 个脉冲	3 个脉冲
3.3 V	t.b.d. μs		
2.5 V	t.b.d. μs		

只要输出的结果寄存器数据已经有效,那么中断位将会被置位(假设 ALU 中断开启,参见寄存器 2, EN\_INT). 另外输出结果指针将会增加 1,将会指向下一个空的地址上。当前的结果地址指针可以在状态寄存器, Bit0-2 中看到。

## 2.4 读数据

现在用户发送代码 10110+ADDR 就能够读数据了。接着进行 32 次循环 (校准数据), TDC 从最高有效位(MSB)开始输出结果。

校准结果是以 2 的补码形式显示的 32 位的固定浮点数代表着以基准时钟周期为最小单位的时间间隔。

$$\text{Time} = \text{RES\_X} \times \text{Tref} \times 2^{\text{ClkHSDiv}}$$

最后 TDC 在进行下次测量之前必须通过发送代码 “Init” 再次初始化,以便于可以接收新的 Start 和 Stop 信号。

## Stop 屏蔽

如果不想接收任何采样, TDC 可以设置屏蔽窗口,用来屏蔽通道 STOP1 上 3 次脉冲中的任一次。屏蔽窗口以 START 信号为起点,精度大于 10ns,内部使能单元通过逻辑与门与外部使能引脚相连。采用内部屏蔽单元时外部的 START 和 STOP1 使能引脚必须置 1。

可在寄存器 4 的 DELVAL1, DELVAL2 和 DELVAL3 中进行设置:

- DELVAL1, DELVAL2 和 DELVAL3 是由 14 位整数部分和 5 位小数部分组成的固定浮点数,要乘以内部基准时钟周期:

$$\text{Delay}_{\min} = \text{DELVALX} / 2^5 \times \text{Tref} \times 2^{\text{ClkHSDiv}}$$

- 最短的屏蔽时间是 3 个时钟周期
- 屏蔽值必须是升序的,而且每个屏蔽值必须比前一个值大 3 个时钟周期

如果不是应用所有的屏蔽窗口,则不需要的屏蔽值必须强制设为 0。当所有的 DEVAL 寄存器都设置为 0 的时候,那么此单元将会被关闭。

例:

4 Mhz 参考, ClkHSDiv = 1

DELVAL1 = ' h3200 在 start 信号 200  $\mu$ s 后才允许接收第一个脉冲  
(128000/32  $\times$  250ns  $\times$  2<sup>1</sup> = 200  $\mu$ s)

DELVAL2 = ' h3300 在 start 信号 204  $\mu$ s 后才允许接收第二个脉冲  
(13056/32  $\times$  250ns  $\times$  2<sup>1</sup> = 204  $\mu$ s)

DELVAL3 = ' h3400 在 start 信号 208  $\mu$ s 后才允许接收第三个脉冲  
(13312/32  $\times$  250ns  $\times$  2<sup>1</sup> = 208  $\mu$ s)

## 模拟输入部分

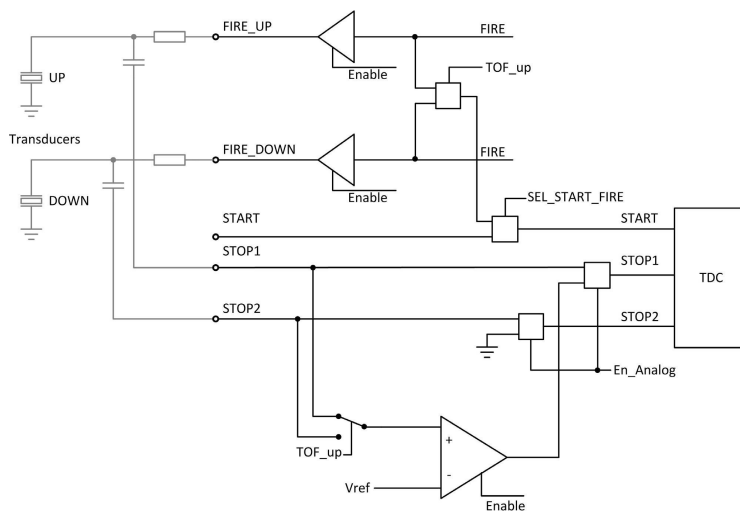
相对于 TDC 而言,内部集成了一个额外的模拟电路输入部分,这部分可作为数字输入部分的一个替代输入。尤其是当设计超声波热量流量测量的时候,这个功能将会大大简化整个电路的设计,使得超声波电路的外围电路设计仅需要 2 个电阻和电容接到换能器一端。输入的超声波信号一般为几百

mV 振幅的 10-200 个正弦震荡信号。信号将会通过一个高通滤波耦合到输入端，由于内部比较器无法以零点作为触发，比较器的触发电压被设置为  $1/3 V_{CC}$ 。模拟选择器将会根据测量的方向来选择不同的测量输入。斩波稳定比较器将会保证较低的电压零点漂移（小于 2mV），这个是高质量测量的前提条件。而比较器的电压零点漂移将会非常频繁的在内部通过斩波电路进行校正。如果温度或者电压随时间变化的话,那么电压零点漂移将会自动被调整到小于 2 mV。

所有的元件都通过 TDC 的控制单元进行控制。他们仅在测量的过程中开启，从而来降低整体测量功耗。

通过命令 Start\_TOF\_Restart 将会开启一次超声波时差的测量,测量的顺序如下:

- 4 MHz 高速振荡将被开启。芯片等待一段延迟直到振荡器达到满振幅;
- 比较器的参考电压以及模拟开关将会被供电;
- 发射信号通道(STOP1)的电容将会被连接到 GND;
- 下游 Fire 发射缓冲(FIRE\_Down)也会连接到 GND;
- 接收信号通道(STOP2)电容将会被充电到 Vref, TDC 等待在 TW2 中所设置的延迟;
- 模拟开关将选择 STOP2 输入作为比较器端的输入;
- FIRE\_UP 选择输入到 TDC 作为 START 信号;
- 所设置的 fire 脉冲数目将会在管脚 FIRE\_UP 发送;
- 模拟信号通过 STOP2 管脚传输到比较器，从而转换成数字信号给到连接 TDC 单元的 STOP 输入端;
- 当 STOP 屏蔽窗口的时间达到后(DELVAL),此时 TDC 将准备开始测量.它可以测量最多 3 个 STOP 脉冲;
- 在测量的最后控制单元将会关闭比较器，以及模拟开关和 4Mhz 晶振，电流则会被降低到接近 0 值，此时中断将会被置位;
- 控制单元将会等待一个时间，时间以 50Hz/60Hz 的倍数给出；在此期间，单片机必须要读出之前的测量结果;
- 在延时之后，相同的过程将会在下游测量当中再重复测量一次。



比较器的偏移电压 **offset** 的设置可以以 1mV 为基础进行，从 -8mV 到 +7 mV。这个设置是通过寄存器 6 中参数 DA\_korrt, Bit 25-28 进行的，以 2 的补码形式给出。

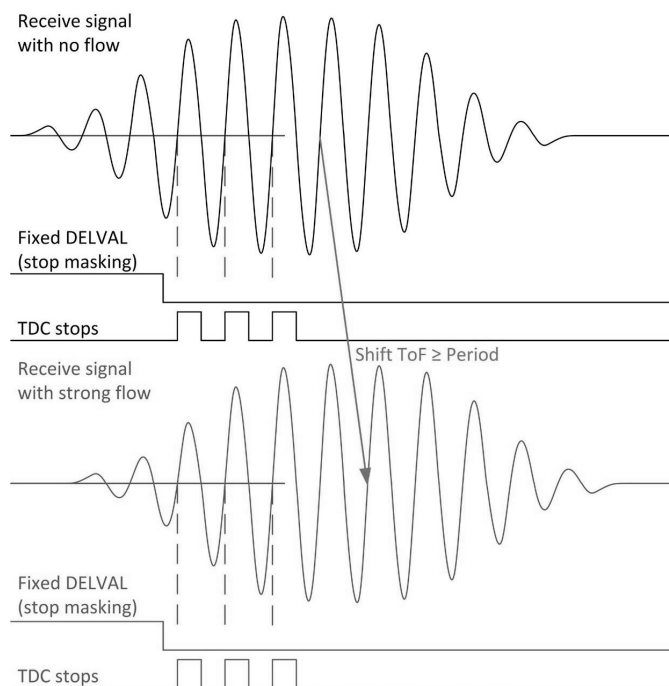
另外当应用第一波的模式时,可以额外的设定第一个波识别的比较器 **offset** 为±35mV。

### 第一波模式

TDC 最主要的提升就是内部集成了一个第一波识别模式，它是基于测量范围 2 应用内部模拟部分的。作为新的特征，这个偏移电压 **offset** 是被自动进行控制的来安全的检测第一个波的脉冲，然后根据第一个波的位置来测量所需的回波的 **ToF** 飞行时间。此外，第一个回波的半周期的宽度将会与真正飞行时间测量的半波的宽度进行比较，比率将会用作信号强度的提示。由于 **offset** 噪声被非常的降低，因此当管段中没有水的情况下可以给出明确提示。下面将会总结一下新的功能：

- 安全的第一波检测，允许高动态应用，如超声波水表
- 高动态应用可以允许应用高频如 2MHz 或者 4MHz 的超声波换能器
- 水的回流也可以被识别和处理(例如在水表当中有非常大的作用)
- 脉冲宽度的测量可以帮助检测接收到的回波信号，并且可以根据触发的幅值水平发出报警信号
- 偏移电压 **offset** 低噪声，可以给出空管段信号

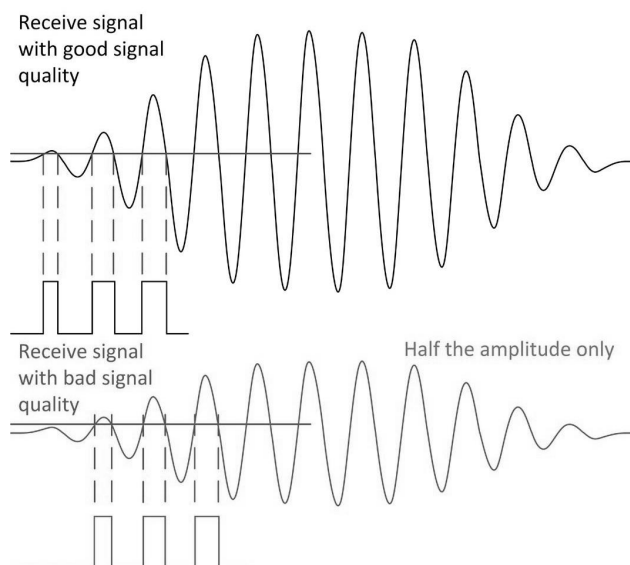
下图描述了在高动态范围的测量，如超声水表中，第一波检测的重要性。由于仅通过固定的 **stop** 屏蔽窗口(固定 **DALVAL** 数值)是不能够判出飞行时间的变化是否大于一个驱动的周期。有很多因素可能会使飞行时间的时间差变化大于 1 个周期。其中一个非常重的影响因素就是温度影响将会改变超声波的声速。对于相对速度较慢的系统如超声波热量表来说，这种影响带来的问题可以通过智能的软件来进行纠正。但是对于高动态的系统比如水表来说，当流动方向不确定的时候，这种方式就不能够适用了。





而目前的趋势是使用高频的换能器如 2MHz 和 4MHz 的换能器，如此就可以处理当外界影响大于 1 个超声波周期时的情况。

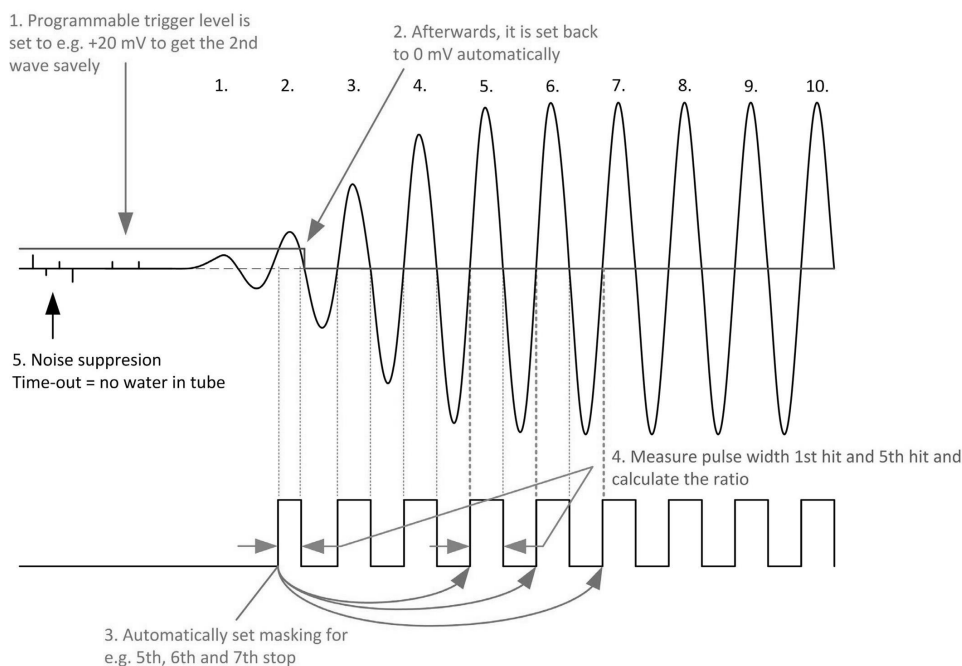
另外还有一种情况可能会获得错误测量。就是在测量换能器上以及在测量反射镜面上或者测量壳体上的覆盖物。这些覆盖物将会导致测量信号的衰减从  $\pm 400\text{ mV}$  到  $< \pm 80\text{ mV}$ 。下图显示了这种问题当仅应用一个固定 offset 的时候来检测第一个回波的时候，将会影响第一个波的识别。一旦第一个波的幅值低于 offset 值的时候，那么测量结果将会跳变一个周期。



通过 TDC 的第一波检测功能，芯片的测量的脉冲的时间是相关于第一个回波的时间，而完全与流体温度和流体的速度无关的。因此，一些错误的零点检测以及零点的识别则不再会出现了。

另外，通过测量第一个波的脉冲宽度可以让用户监控测量信号的质量，当必要的时候可以根据这个脉冲宽度比率调整所想要测量的脉冲。

下图显示了 TDC 第一波模式的测量流程：



1.脉冲发生器，将第一波检测所需的比较器的偏移电压 **offset** 设置到一个可编程的水平。DELVAL1 的 **stop** 屏蔽窗口是用于抑制 **stop** 脉冲前这段时间的噪声，可以大致的设定到飞行时间 **stop** 到达通道之前。其它的噪声将会进一步的通过比较器的 **offset** 来抑制，直到接收到的信号达到了 **offset** 所设置的振幅水平。

2.TDC 测量了第一个波的脉冲宽度。然后，它将会自动地设置 **offset** 回 0mV。由于芯片的 **offset** 温度漂移是小于 1mV 的，所以测量的漂移是非常小的。

3.三次时间测量的屏蔽窗口则是在参数 DELREL1 到 DELREL3 设置，设置的是相对于第一波的脉冲。例如设置 DELREL1 = 3 那么在第一个波测量到之后，将会测量第三个波的回波时间。

4.第一个真实时间的半波周期(hwp) 同时也被测量记录，将会作为与第一波宽度比较的参考。

在上图中，则是第 5 个脉冲的宽度。而比率  $hwp_{\text{first wave}}/hwp_{\text{firstToF}}$  一般来说是在 0-1 范围之内的数据。这个比值越小，那么说明接受到的信号越弱。此信息可以用于监控流体的特性。如果经过很长时间在管段或者换能器上有太多的沉淀物，那么这个信号的比值可能会降低到低于 0.5，那么可以在今后的测量中选择第二个脉冲作为参考。

5.TDC 将会自动计算所有 3 个 **stop** 脉冲，然后计算这 3 个脉冲的平均值，这个平均值在寄存器 4 当中可以被读出来。通过这种方式，与单片机的通信将会大大被简化。只要中断被置位，单片机就可以立刻读取测量结果和平均值。

6.一旦管段为空管的情况，那么将不会有任何 **stop** 信号产生。那么 **offset** 的值将会保持在检测第一个波所设置的值。这种情况下，噪声将不会触发 TDC，那么 TDC 将会给出一个溢出。

换句话说：测量溢出是空管段的一个非常重要的判断条件。

#### 第一波模式下寄存器的配置

寄存器	位	参数	描述
3	30	EN_FIRST_WAVE	1=第一波的模式, 寄存器 3 和 4 将有新的意义
4	8-12	OFFS	以 2 的补码形式设置比较器的 <b>offset</b> ，以 1mV 为单位 0 = 0 mV 1 = +1 mV ... 15 = +15 mV 16 = -1 mV 17 = -2 mV ... 31 = -16 mV
4	13	OFFSRNG1	额外在加上 + 20 mV 的 <b>offset</b> 幅值
4	14	OFFSRNG2	额外在加上 - 20 mV 的 <b>offset</b> 幅值
3	8-25	DELREL1 DELREL2 DELREL3	屏蔽窗口，选择希望测量第几个回波的飞行时间。最大可以选择第 63 个脉冲。DELREL1 ≥ 3。 DELREL1 到 DELREL3 必须要按照上升趋势设置。



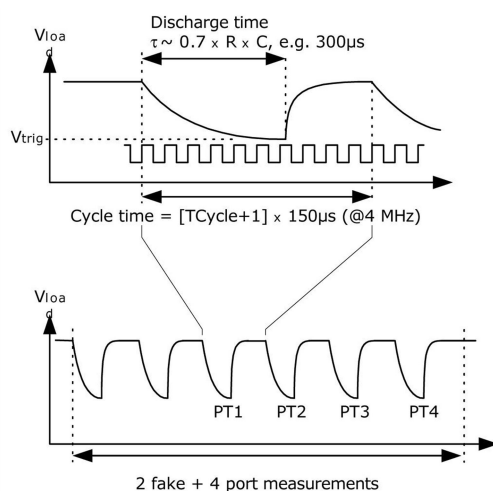
			例如: DELREL1 = 3, DELREL2 = 4, DELREL3 = 5 也就以为 测量第 3, 第 4 和第 5 个波的回波时间。
4	16	DIS_PW	0 = 开启 1 = 关闭 脉冲宽度测量功能, 比率可以从地址 8 中读出来, 寄存器 PW1ST 是一个 8 位的固定浮点数, 带有 1 位整数 (范围 0 到 1.99)。
4	15	EDGE_FW	0 = 上升沿 1 = 下降沿 设置第一个波边沿敏感性。当设置为负值的时候, 适合通过下降沿触发的情况, 也就是负幅值触发。
3	31	EN_AUTOCALC_MB2	1=开启计算所有接收的脉冲. 而测量的和值将会存放到寄存器 4 中

## 温度测量

### 1. 概述

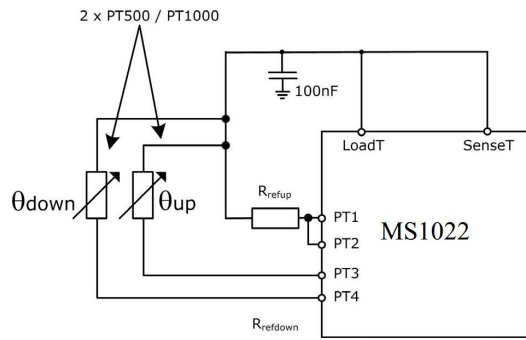
对于热量表应用而言, TDC 有一个高精度的温度测量单元, 提供了高精度和低功耗的温度测量。

测量是基于电阻对电容的放电时间的。因此电容将会分别对于参考电阻和温度传感器电阻进行放电。

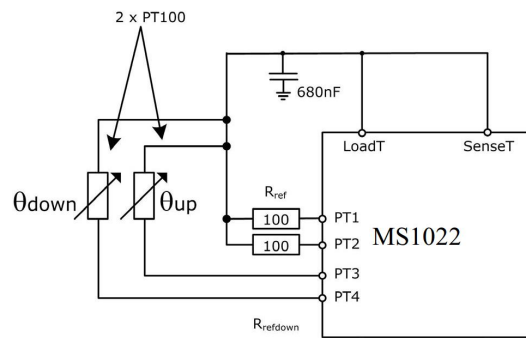


温度测量单元有 4 个电阻测量端口, 其中 2 个作为温度传感器测量端口用于热水 (上游) 和冷水 (下游) 的测量, 另外两个用于连接参考电阻。一般来说只需要连接一个参考电阻到两个端口就可以了。

温度传感器的最小电阻值不能小于 500 欧姆。而且导线的长度不能够超过 3m。TDC 仅可以测量两线制传感器, 不能够应用 4 线的传感器。应用 PT500 或者 PT1000 进行温度测量的精度是完全满足热量表所规定的要求。应用 PT500 或 PT1000 传感器的时候, 可以不用两个参考电阻。典型的应用一个参考固定电阻的可参考下图。



TDC 同时也支持 PT100 传感器的测量，但是测量的稳定性将会有下降。在这个情况下，我们建议将两个参考电阻全部连接而不是仅仅连接一个电阻。如下图所示。这将有助于通过两点温度校准来补偿温度传感器在整个温度范围的增益偏移。



温度测量是完全自动完成的。通过单片机发送操作码 `Start_Temp` 或 `Start_Temp_Restart`。发送 `Start_Temp_Restart`，TDC 将会测量温度两次，两次之间的时间延迟为 50 Hz/60Hz 的倍数。这将会有助于降低 50Hz/60Hz 的噪声。

对于一次温度测量，TDC 先在 PT1 端口进行 2 或 8 次的热身伪测量，然后按照 PT1 > PT2 > PT3 > PT4 端口的顺序进行温度测量。在 4 个端口测量结束之后，中断标志位将会被置位。TDC 也可以按相反端口顺序进行温度测量，这种情况下热身测量会从 PT4 端口开始。

4 个测量结果将会在结果寄存 0-3 当中找到。然后单片机根据 RES\_2/RES\_1 和 RES\_3/RES\_4 可以计算  $R_{temp}/R_{ref}$  的比率。再通过查询温度表格，就可以获得传感器目前测量到的温度息。

## 2. 相关配置寄存器说明

寄存器 0 的 15 位, ANZ\_FAKE 设置了开始时温度测量热身测量的次数。这个设置是对于克服电容充放电的机械效应非常有必要的。

ANZ\_FAKE = 0 2 次热身测量

ANZ\_FAKE = 1 8 次热身测量

寄存器 0 的 16 位, TCYCLE 设置了温度测量的 cycle time 周期时间。

TCYCLE = 0 128  $\mu$ s cycle time @ 4MHz

TCYCLE = 1 512  $\mu$ s cycle time @ 4MHz

寄存器 0 的 17 位, ANZ\_PORTS 多少个温度测量端口将会被使用。

ANZ\_PORTS = 0 2 个端口 = 1 个传感器

ANZ\_PORTS = 1 4 个端口 = 2 个传感器

寄存器 6 的 11 位, TEMP\_PORTDIR 测量端口的顺序

TEMP\_PORTDIR = 0 PT1 > PT2 > PT3 > PT4

TEMP\_PORTDIR = 1 PT4 > PT3 > PT2 > PT1

寄存器 6 的 5 位, HZ60 设置了上游下游测量间 Start\_TOF\_Restart 和 Start\_Temp\_Restart 命令延迟的时间基准

HZ60 = 0 50 Hz 基准

HZ60 = 1 60 Hz 基准

寄存器 6 的 18 和 19 位, CYCLE\_TEMP, 设置了触发第二次温度测量的定时器系数以 50/60Hz 倍数为单位

CYCLE\_TEMP = 0 0.5

= 1 0.75

= 2 1

= 3 1.25

寄存器 6 的 30 位, NEG\_STOP\_TEMP 将会反向在 SenseT 路径上的信号。这个设置在应用内部比较器的时候是必须设置的。在没有反向的时候, 温度测量单元是与 TDC 的外部施密特触发器电路完全兼容的。

NEG\_STOP\_TEMP = 0 不反向,

= 1 反向, 应用内部比较器时必须设置

### 3. 推荐使用的电容

为了能够达到精确的测量效果, 我们推荐有非常低 dC/dU 的电容。由于放电时间大概是 150 μs。因此电容应该选取下列值:

PT500: 220 nF

PT1000: 100 nF

设置 Tcycle = 1 以避免溢出错误

在热量表应用当中请不要使用 X7R 或者相似的电容材料。

### 4. 电流消耗

采用 TDC 进行温度测量与采用 A/D 转换器进行温度测量相比, 其电流消耗极低。

进行一次完整的温度测量 (2 个传感器, 2 个基准), 包括所有的计算在内, 其功耗小于 2.5 μA/s。如果每 30 秒进行一次温度测量 (热量计的典型测量频率), 平均电流消耗 0.08 μA, 比其他测量方法的功耗的 1/50 还要小。PT500 传感器将使电流加倍。

### 5. 错误检测

温度测量单元还具有检查结果可用性的功能。它可以检测传感器是短路还是开路, 然后 TDC 将状态寄存器的 11 或 12 位置 1, 并对相应的结果寄存器写入一个错误代码。

- 短路: 相当于时间间隔太短 (< 8 x Tref = 2 μs @ 4 MHz), TDC 将会在输出寄存器中写入 0x0。
- 传感器断路: 相当于没有停止信号或时间溢出, TDC 在输出寄存器中写入 0xFFFFFFFF。

注意: 当选择温度测量的循环周期为 512 μs (Tcycle = 1) 时, 必须使得 SEL\_TIMO\_MB2 为 2ms, 否则得到的中断标志 (INTN) 可能会出错。

## 6.增益误差和数学算法补偿

TDC 的温度测量是基于将温度传感器上的电阻变化被转换为高精度的时间间隔测量。由于施密特触发器的延迟时间将会引入非常显著的增益误差，就会导致测量结果比理想结果在增益上会有降低。这个下降可以被描述为在一条直线上的偏移误差。因此，我们可以通过一个简单的算数纠正方式，给出一个增益补偿系数来补偿与理想值的偏移。对于这个系数的校正如下：

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}} / \text{gainfactor}$$

$T_{\text{corr}}$ :增益校正后的温度结果；

$T_{\text{uncorr}}$ :未进行增益校正的温度结果；

$\text{gainfactor}$ : 增益校正系数，补偿与理想增益 1 的偏差。

通过这个补偿方式，应用内部的施密特触发器，或者应用外部的 74AHC14 施密特触发器，施密特触发器的延迟时间可被降低到引起增益误差幅值的 0.05%。

三个主要的参数必须要被考虑到，来选择增益纠正系数：

- 温度传感器的基础电阻（比如 PT500,PT1000）
- 应用施密特触发器（TDC 内部或者外部 74AHC14）
- TDC 供电电压

相应的校正系数在之前的表格中提供。

注意：

我们对于外部施密特触发器的增益纠正系数是根据 74AHC14 测量获得的。其他类型(例如 74HC14)需要不同的增益修正系数，来保证正确补偿增益。因此，若需要使用外部施密特，我们强烈推荐应用 74AHC14 作为外部的施密特触发器。

例 1:

当应用 PT1000 温度传感器，TDC 内部施密特触发器和 3V 供电电压。根据前面的表格增益系数为 0.9931。增益的纠正后的结果可以通过下面公式进行：

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}} / 0.9931$$

例 2:

应用 PT500 温度传感器，外部的 74AHC14 施密特触发器和 3.6V 供电电压。增益系数为 0.9980。那么增益纠正后的结果可以通过下面公式进行：

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}} / 0.9962$$

## 振荡器

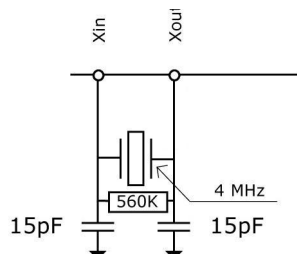
高速时钟一校准时采用并在测量范围 2 中作为 TDC 测量单元的粗值计数器。

### 1.高速振荡器

通常 TDC 会需要一个高速时钟单元进行校准，频率范围 2-8MHZ(在四精度模式中为 2-6 MHz)，推荐高速时钟频率为 4MHz。在测量范围 2 中 TDC 还需要高速时钟信号作为时间测量单元的一部分，以及一些其他的操作也需要一个高速时钟。

晶振在一直起振的状态下，平均工作电流为 260  $\mu\text{A}$ 。但是晶振仅在测量时间的时候需要开启，TDC 可以通过内部电路控制晶振的开启时间。设置是通过设置参数 START\_CLKHS 来实现。

设置 START\_CLKHS > 1 晶振将会在发送 Start\_TOF, Start\_TOF\_Restart, Start\_Temp 或 Start\_Temp\_Restart 命令之后的测量中开启。在开启晶振与测量之间设置一个延迟以保证晶振有充足的时间震荡达到满振幅。



- START\_CLKHS = 0 晶振关闭
- = 1 晶振持续开启
  - = 2 延迟 480  $\mu$ s
  - = 3 延迟 1.46 ms
  - = 4 延迟 2.44 ms
  - = 5 to 7 延迟 5.14 ms

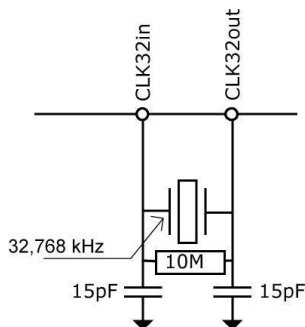
通过上面设置的延迟可以保证晶振在测量开始之间已经完全达到满振幅。对于陶瓷晶振来讲延迟 480  $\mu$ s 就以足够。通过这种方式电流消耗可以大大被降低。

例如:

在超声波流量测量中每秒一次的时间测量(去/回)中高速晶振的开启时间仅为大概 2ms。那么评估功耗则为  $260 \mu\text{As} \times 2 \text{ms} = 0.52 \mu\text{A}$ 。

## 2. 32.768kHz 振荡器

TDC 需要一个 32.768kHz 的基准时钟来控制高速时钟启振和进行时钟校准用。它也可作为一个完整时钟驱动器。



如果 32.768 kHz 振荡器始终处于工作状态，在 3V 时的电流消耗大约为 0.5  $\mu$ A。此振荡器在上电后的起振时间大约为 3s。32.768 kHz 振荡器不能够被关闭。在不用 32kHz 时钟的时候，CLKIN 管脚必须要接地。

此低功耗时钟可以通过管脚输出给外部的单片机作为时钟源，寄存器的设置为：

SEL\_TSTO1 = 7: 32 kHz 在 FIRE\_IN 管脚输出

SEL\_TSTO2 = 7: 4 kHz (32kHz/8) 在 EN\_START 管脚输出

同时也可以通过外部的低频率方波提供给芯片的 CLK32OUT 管脚(3.6 V 最大幅值)。

### 3. 校准高速陶瓷振荡器

由于 2-8MHz 的陶瓷振荡器成本低、启动快，所以这种振荡器还是很有吸引力的。但是它的误差较大(0.3-0.5 %)，并且具有明显的温漂。因此 TDC 会进行时钟校准校准测量以此来补偿陶瓷振荡器的这种特性。测量以精确的 32.768kHz 时钟为基准。TDC 从 32.768kHz 的时钟引出 Star/Stop 脉冲，并启动 TDC 单元测量此时差。结果存储在结果寄存器中，并对中断标志位置位。单片机可以读出此结果，然后计算出陶瓷振荡器的频率误差。

在寄存器 0 的 23 和 22 位 ANZ\_PER\_CALRES 中可以对时钟校准进行设置，当系统接收到单片机发出 START\_Cal\_Resonator 命令后开始进行校准。

例如：

采用 4MHZ 晶振，CLKHSDIV=0，ANZ\_PER\_CALRES=1，理论结果应该是  $122.0703125 \mu s/250ns = 488.28125$  (RES\_0 = 0x01E84800)。如果陶瓷振荡器不是准确的 4MHz 而是 3.98MHz，校准测量将显示 485,83984375 (RES\_0 = 1E5D700)。单片机根据此可计算修正因数是 1.005。

注意：在时钟校准过程中，EN\_START 必须为高。

### 4. 如何使用时钟校准

#### 4.1 应用

这个选项尤其适用于超声波流量/热量计。在此领域中采用陶瓷振荡器主要有两大优势：低成本和低电流消耗。陶瓷振荡器的起震时间很短，因此电流就可以减少几个微安。以 10 年的工作时间来算，这可以节省好几节 100mAh 容量的电池。只要操作正确，采用此选项对芯片的精度并没有影响。

#### 4.2 32KHZ 时钟的抖动和由此带来的影响

32KHZ 时钟的频率非常精确，误差只有百万分之几。然而峰-峰值之间的相位抖动大约有 3-5ns。因此时钟校准测量(Start\_Cal\_Resonator)本身就具有误差。所以，当测量结果乘以时钟校准结果时，测量结果就也会产生抖动。测量结果的抖动幅度是校准时的抖动幅度乘以校准测量时间(ANZ\_PER\_CALRES)与被测时间的比值。如果不间断地进行校准，则校准值就会使测量结果产生相当大的抖动。

#### 4.3 校准在超声波流量计中的应用

在超声波流量计中，测量结果由超声波在流体中顺流传播和逆流传播这两次单程的传播时间测量组成。根据超声波逆流传播和顺流传播的时差，可以计算出流体的流量。为了避免校准时钟抖动对测量结果的影响，在测量顺流传播时间和逆流传播时间时必须使用同一个校准值。只有这样，超声波顺流传播和逆流传播的时差才会不受校准时钟抖动的影响。时钟校准必需在顺流和逆流之间进行而且在他们没有相减之前。

## 脉冲发生器

### 1. 概述

触发脉冲发生器可产生频率、相位和脉冲个数都可调的脉冲序列。高速振荡器频率用作基础时钟。这个频率在内部被倍频，它还可以自由地除以因子 2-15 进行分频。可以产生 1-127 个脉冲序列，如果最多发送 15 个脉冲的话，那么每个脉冲序列都可通过设置寄存器来调节其相位。通过发送代码 Start\_Cycle 来激活触发脉冲发生器。



脉冲发生器提供两个输出端口，FIRE\_UP 和 FIRE\_DOWN。每个输出在 3.3V 时的驱动能力是 96mA。此外，每个输出信号可以被反向使信号的振幅加倍。输出管脚能被单独地设置为高阻态。此外，默认的非活动状态的缓冲可以被设置为 GND 状态。

触发脉冲发生器也可以采用类似声环的方法可以多次产生和传送脉冲序列。采用此特性，接收到的脉冲序列被送到 TDC 的 FIRE\_IN 输入端口，然后被数字化放大后直接送入输出缓冲区分进行时钟同步输出。在应用模拟部分的时候，不能够使用声环法这个功能。

## 2.相关寄存器的配置

脉冲个数:

ANZ\_FIRE = 0 关闭脉冲发生器  
 = 1 1 个脉冲  
 = 2 2 个脉冲  
 ... ..  
 = 127 127 个脉冲

SEL\_START\_FIRE = 1 Fire 脉冲直接给到 TDC 的 START 信号

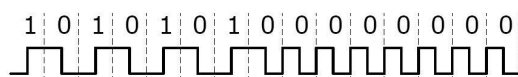
FIREO\_DEF = 0 默认的状态 High\_Z  
 = 1 默认状态为 GND.如果应用内部模拟部分，必须要这样设置，应用推荐的外部带有

R, C 的电路

脉冲相位

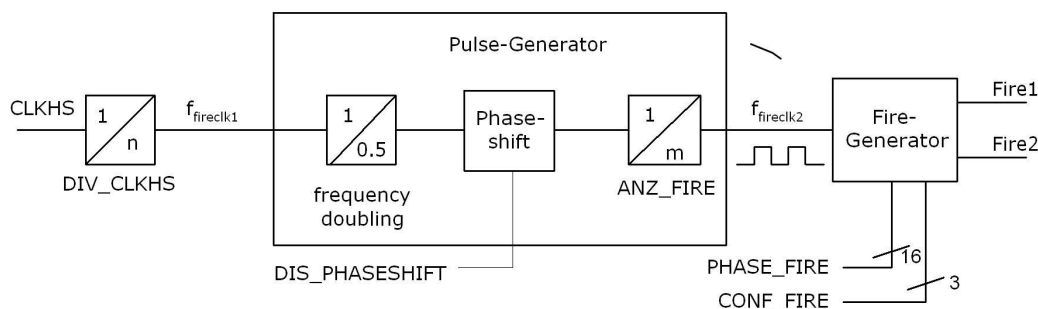
在发射脉冲不超过 15 个脉冲的情况下，脉冲的相位可以在寄存器 5 进行定义，0 到 15 位，PHFIRE。0 表示从低到高，1 表示从高到底。脉冲序列从最低有效位 LSB 开始以最高有效位 MSB 结束。

例如：ANZ\_FIRE = 7, PHFIRE = 0x0055



脉冲发射的频率:

脉冲发生器的输入信号 fireclk1 是从高速时钟 CLKHS 和所选择的分频因数 DIV\_CLKHS 共同得出的。



基准时钟的频率先通过内部进行倍频，然后由 DIV\_FIRE 进行分频。

DIV\_FIRE = 0 不允许  
 1 除以 2  
 ... ..  
 15 除以 16

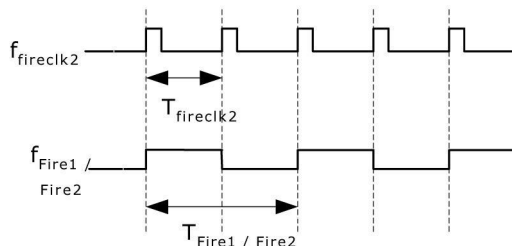
设置寄存器 5 的 Bit 27 位(DIS\_PHASESHIFT)可激活相位移动功能, 这个功能将会加入额外噪声以便在后面的平均当中更好的进行噪声降低。

DIS\_PHASESHIFT = 0 移动功能开启

DIS\_PHASESHIFT = 1 移动功能关闭

$$f_{\text{fireclk2}} = f_{\text{fireclk1}} \times \frac{2}{\text{DIV\_FIRE} + 1}$$

$f_{\text{fireclk2}}$  用来作为从脉冲发生器中输出缓存当中 FIRE\_UP/FIRE\_DOWN 信号的参考信号。



如上图所示至少需要两个  $T_{\text{fireclk2}}$  时钟周期发送一个脉冲. 其中一个作为 FIRE\_UP/FIRE\_DOWN 输出的高相位另一个作为低相位。

例如:

CLKHS = 4 MHz, DIV\_CLKHS = 1, DIV\_FIRE = 1

$$f_{\text{fireclk2}} = f_{\text{fireclk1}} \times \frac{2}{\text{DIV\_FIRE} + 1} = 2\text{MHz}$$

FIRE\_UP / FIRE\_DOWN 输出信号的最大频率:

$$f_{\text{Fire1/Fire2}} = \frac{1}{2} \times f_{\text{fireclk2}} = 1\text{MHz}$$

输出驱动:

可以在寄存器 5 的 Bits 29-31(CONF\_FIRE)设置输出驱动:

Bit 31 = 1 FIRE\_BOTH (在 FIRE\_DOWN 信号上进行反向)

Bit 30 = 1 FIRE\_Up 开启

Bit 29 = 2 FIRE\_Down 开启

脉冲群循环 (声环法):

在寄存器 5 的 Bits 24-26(REPEAT\_FIRE)可以设置脉冲序列的循环次数:

REPEAT\_FIRE = 0 不循环

= 1 循环 1 次

... ..

= 7 循环 7 次

TDC 只重复在 ANZ\_FIRE 中设置的脉冲个数。如果在 5 $\mu$ s 内没有接收到脉冲, 则 TDC 探测脉冲序列中最后一个脉冲。



注意:

在应用内部模拟部分的情况下不能使用此功能。一定要注意 7 次循环的总时间不要超过 TDC 的测量范围。

### 快速初始化

在测量范围 1 中，TDC 提供了快速初始化的功能。设置寄存器 1 的 15(EN\_FAST\_INIT)= 1, 中断标志会自动初始化 TDC。因此在读出数据时 TDC 就已经准备好进行下次测量了。这种模式只适用于高速应用中。这对于只有一个 STOP 信号的非校准测量模式下尤其适合。

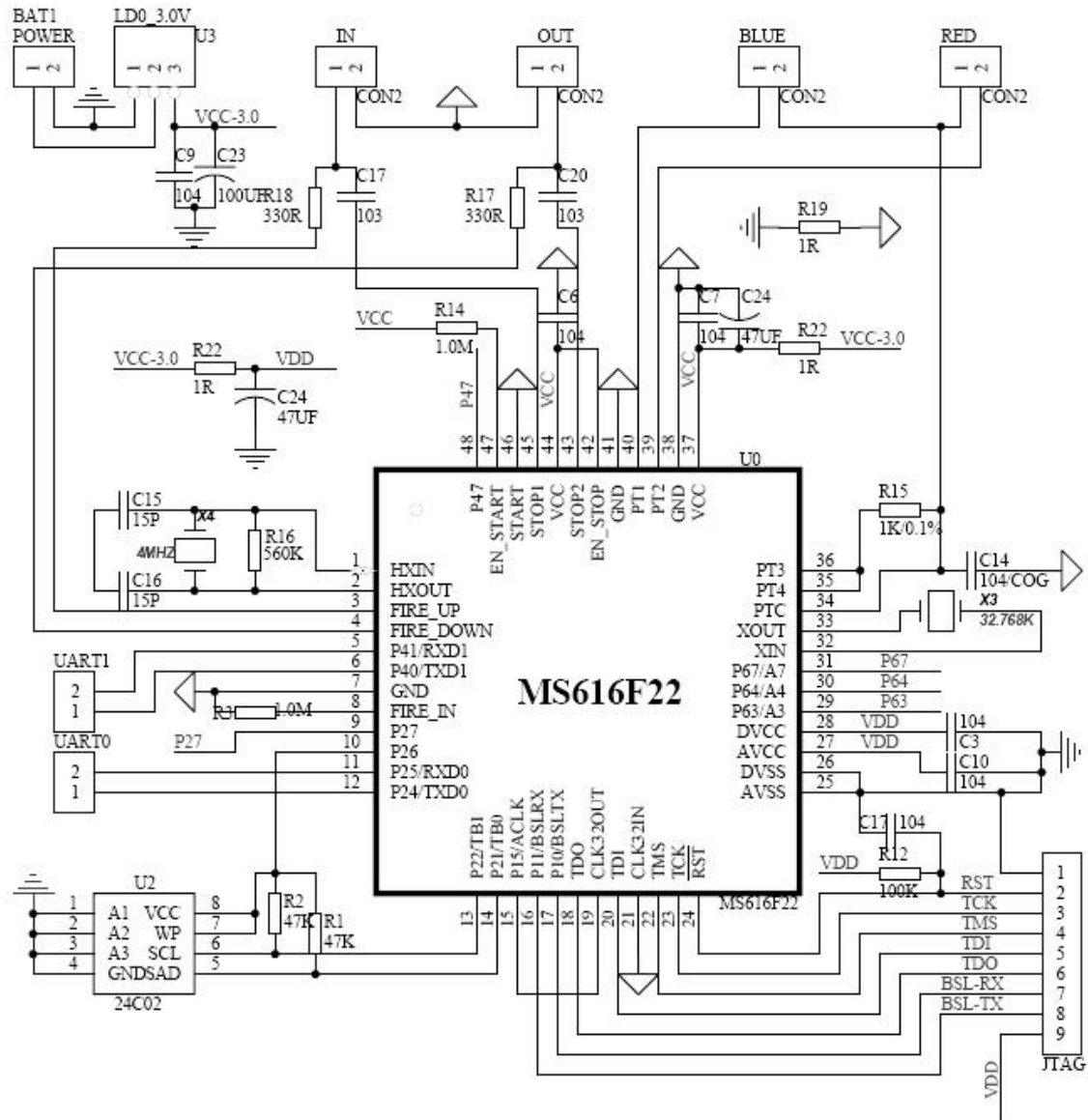
### 噪声单元

如果用户希望通过取平均值的方法来提高测量结果，则不必同步显示出时差的结果。相反，用户应该提供一些“噪声”以便 TDC 特性曲线的不同量化步骤能够相连。对于常量时差不能进行此操作，否则将会重复地采样同一个最小有效值。

噪声单元使得常量时差也可使用加权平均值。噪声单元在 START 上加一个随机偏移量。这种情况适用于 TDC 接收到一位 START 信号然后测量 STOP1 和 STOP2 之间的时差的应用中（比如激光测距仪）。

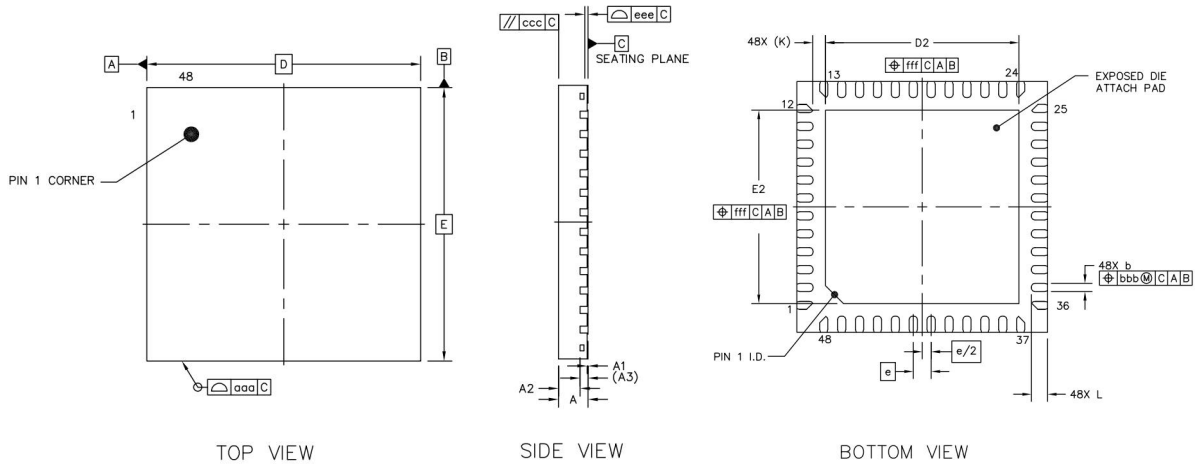
通过设置寄存器 5 的 20 位(EN\_STARTNOISE )= 1 可以开启噪声单元。

典型应用图



封装外形图

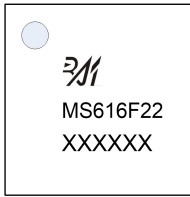
QFN48 (07X07) (背部带散热片)



		符号	最小	典型	最大
TOTAL THICKNESS		A	0.7	0.75	0.8
STAND OFF		A1	0	0.02	0.05
MOLD THICKNESS		A2		0.55	
L/F THICKNESS		A3	0.203 REF		
LEAD WIDTH		b	0.18	0.23	0.28
BODY SIZE	X	D	7 BSC		
	Y	E	7 BSC		
LEAD PITCH		e	0.5 BSC		
EP SIZE	X	D2	5.3	5.4	5.5
	Y	E2	5.3	5.4	5.5
LEAD LENGTH		L	0.35	0.45	0.55
LEAD TIP TO EXPOSED PAD EDGE		K	0.35 REF		
PACKAGE EDGE TOLERANCE		aaa	0.1		
MOLD FLATNESS		ccc	0.1		
COPLANARITY		eee	0.08		
LEAD OFFSET		bbb	0.1		
EXPOSED PAD OFFSET		fff	0.1		

## 印章与包装规范

### 1. 印章内容介绍



产品型号：MS616F22

生产批号：XXXXXX

### 2. 印章规范要求

采用激光打印，整体居中且采用 Arial 字体。

### 3. 包装规范说明

型号	封装形式	只/卷	卷/盒	只/盒	盒/箱	只/箱
MS616F22	QFN48	2000	1	2000	8	16000

## 声明

- 瑞盟保留说明书的更改权，恕不另行通知！客户在下单前应获取最新版本资料，并验证相关信息是否完整。
- 在使用瑞盟产品进行系统设计和整机制造时，买方有责任遵守安全标准并采取相应的安全措施，以避免潜在失败风险可能造成的人身伤害或财产损失！
- 产品提升永无止境，本公司将竭诚为客户提供更优秀的产品！



### MOS电路操作注意事项

静电在很多地方都会产生，采取下面的预防措施，可以有效防止 MOS 电路由于受静电放电的影响而引起的损坏：

- 1、操作人员要通过防静电腕带接地。
- 2、设备外壳必须接地。
- 3、装配过程中使用的工具必须接地。
- 4、必须采用导体包装或抗静电材料包装或运输。



+86-181 2023 5245



武汉市江夏区光谷大道联  
享企业中心G栋二单元901  
室



<https://www.vertex-icbuy.com/>