

TDC-822数据手册



TDC-SE822 超声波热表水表时间数字转换器

2015年1月20日
版本号码 DS_SE822_V2

目 录

1 概述.....	2
2 特性和规格.....	5
2.1 电气特性.....	6
2.2 转换器特性.....	7
2.3 时序.....	8
2.4 管脚信息.....	11
2.5 封装信息.....	12
2.6 电源.....	13
2.7 电流功耗.....	14
3 寄存器相关操作.....	15
3.1 配置寄存器概述.....	16
3.2 寄存器配置参数.....	17
3.3 结果寄存器.....	24
3.4 EEPROM.....	26
3.5 操作码.....	27
4 功能描述.....	30
4.1 TDC 测量范围 1.....	31
4.2 TDC 测量范围 2.....	37
4.3 模拟输入部分.....	44
4.4 第一波模式.....	45
4.5 温度测量.....	50
5 其它功能概述.....	54
5.1 振荡器.....	55
5.2 脉冲发生器.....	58
5.3 典型应用.....	61

1 概述

TDC-SE822 为TDC-SE821的下一代升级产品. 这颗芯片与acam公司TDC-GP22芯片100%管脚和功能兼容的芯片。这颗芯片的最新第一波检测功能, 提高了抗干扰能力, 将使TDC-SE822非常适合于高动态范围的超声波水表的应用。可编程的比较器offset调整范围增加到了 ± 35 mV , 而且这个比较器offset将会在第一波检测后自动回到0点比较. 测量第一个回波脉冲的相对宽度将会给用户一个对于接收信号强度的提示. 通过这个提示信息可以用于系统的长期覆盖物的信号减弱判断, 以及用于气泡检测. 多个测量脉冲的数据处理和数据读出功能将会比TDC-SE821更加简单方便。

1.1 特性综述

测量范围 1

- ① 双通道典型精度 90 ps 单通道双精度 45 ps
- ① 测量范围 4ns - 2.5 μ s
- ① 20 ns 最小脉冲间隔, 最多接受4个脉冲中的任意两个脉冲间隔
- ① 最高可达1百万次测量每秒

测量范围 2

- ① 单通道典型90 ps分辨率
- ① 双精度45ps, 四精度 22 ps
- ① 测量范围 700 ns 到 4 ms@4MHz
- ① 可提供3个脉冲测量能力, 并自动处理3个数据结果
- ① 测试完毕, 中断信号给出提示

温度测量单元

- ① 2 个或4个传感器, 可选PT500/PT1000 或者更高
- ① 内部集成施密特触发器
- ① 测量功耗低 (每30秒测量一次时为0.1 μ A)

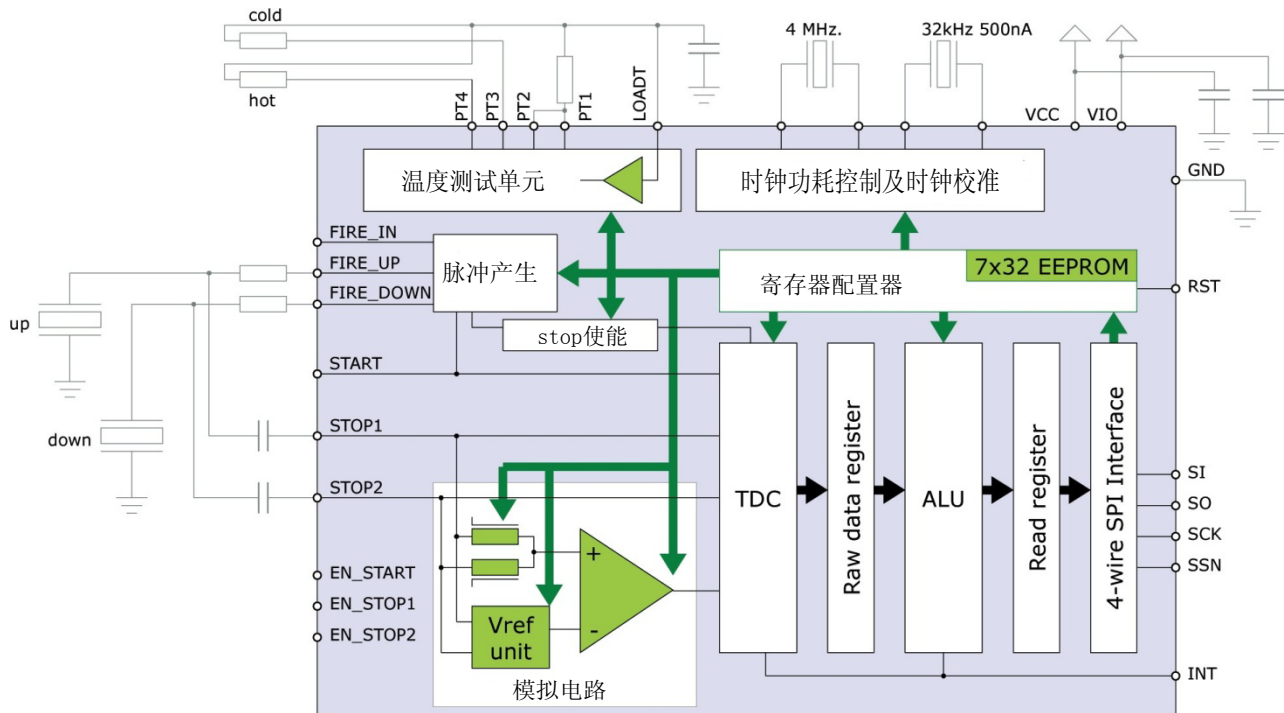
模拟输入电路

- ③ 斩波稳定低漂移比较器, 可编程offset, ± 35 mV
- ③ 第一波检测后比较器自动调整offset到0, 并且可以选择相对于第一个波的测量回波
- ③ 第一个波脉冲宽度测量用于信号质量检测以及气泡的检测
- ③ 可屏蔽内部模拟部分电路
- ③ 外部电路仅需要2个电阻和2个电容

其它

- ③ I/O 电压 2.5 V 到 3.6 V
- ③ 核心电压 2.5 V 到 3.6 V
- ③ 温度范围 - 40 ° C 到 +125 ° C
- ③ 脉冲发生器 最多可发 127 个脉冲
- ③ 10ns精度stop屏蔽窗口设置
- ③ 低功耗 32 kHz 振荡器 (500 nA)
- ③ 7x32 位 EEPROM
- ③ QFN32 封装
- ③ 时钟校准功能

1、系统框图



方框原理图

本产品满足ROHS要求, 不含铅。

2	特性和规格.....	5
2.1	电气特性.....	6
2.2	转换器特性.....	7
2.3	时序.....	8
2.4	管脚信息.....	11
2.5	封装信息.....	12
2.6	电源.....	13
2.7	电流功耗.....	14

2.1 电气特性

绝对额定值

存储温度 (Tstg)	- 50 到 150	° C
ESD (HBM), 每个管脚	> 2	kV

推荐的工作条件

	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{cc}	内核工作电压	$V_{io} = V_{cc}$	2.5		3.6	V
V_{io}	I/O 电压		2.5		3.6	V
t_{ri}	输入上升沿时间				150	ns
t_{fa}	输入下降沿时间				150	ns
t_{ri}	Schmitt Trigger 上升沿时间				4	ms
t_{fa}	Schmitt Trigger 上升沿时间				4	ms
T_a	节温	T_i 不能超过 125° C	-40		125	° C
$R_{th(j-a)}$	温敏电阻			27		K/W

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
V_{ih}	输入高电压	LVTTL Level, $V_{io} = \text{Max.}$	2.0			V
V_{il}	输入低电压	LVTTL 水平, $V_{io} = \text{Min.}$			0.9	V
V_{th}	Schmitt trigger 电平高电压		2.0			V
V_{tl}	Schmitt trigger 电平低电压				0.9	V
V_h	Schmitt trigger 迟滞区间			0.25		V

EEPROM

符号	终端	条件	最小值	单位
	数据保留时间 @ 85° C	一般	10	年
		读写次数	10,000次	

模拟电路

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

2.2 转换器特性

时间测量单元 ($V_{IO} = V_{CC} = 3.0\text{ V}$, @25°C)

符号	终端	条件	额定值			单位
			最小值	典型值	最大值	
LSB	测量分辨率 (BIN-Size)	测量模式 1 & 2: DOUBLE_RES = 0		90		ps
		DOUBLE_RES = 1		45		
		测量模式 2: QUAD_RES = 1		22		ps
t_m	测量范围	测量范围 1	4 ns		2.4 μ s	
		测量范围 2	700 ns		4 ms	

温度测量单元¹

符号	终端	内部施密特触发器		外部施密特触发器 ²		单位	
		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 ³	0.9912	0.9931	0.9960	0.9979		
		3.6 V	0.9923	0.9940	0.9962	0.9980	
	绝对增益 vs. V_{IO}	3.0 V	0.9912	0.9931	0.9960	0.9979	
		2.5 V	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 (@ $dT = 100\text{ K}$)		0,05%	0,05%	0,02%	< 0.01%	
	增益漂移 vs. 温度		0.022	0.017	0.012	0.0082	%/10 K
	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	< 0.0082	mK/ °C
	PSRR				>100		dB

1 所有测量全部在 $V_{IO} = V_{CC} = 3.0\text{ V}$ 获得, $I_{Oad} = 100\text{ nF}$ 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 与理想的增益为1情况相比较

时序

SPI时序

串行接口是与4线制SPI兼容的。它需要一个SerialSelectNot (SSN) 而不能工作在仅3线制接口的情况。

SSN	- 从机选择
SCK	- 串行时钟
SI	- 数据输入
SO	- 数据输出

TDC-SE822只支持以下SPI模式：

Clock Phase Bit = 1

Clock Polarity Bit = 0

第一个SCK的上升沿将会复位INTN管脚(中断管脚)状态。

注意SSN需要一定时间的置高电平。在每次读/写序列之间SSN保持高电平至少要50ns。

(如果没有特别说明，以下特性参数均是在 $V_C=3.3V \pm 0.3V$, 环境温度为 $-40^\circ C \sim +85^\circ C$ 的条件下测量得到。)

图 2.1: SPI 写时序

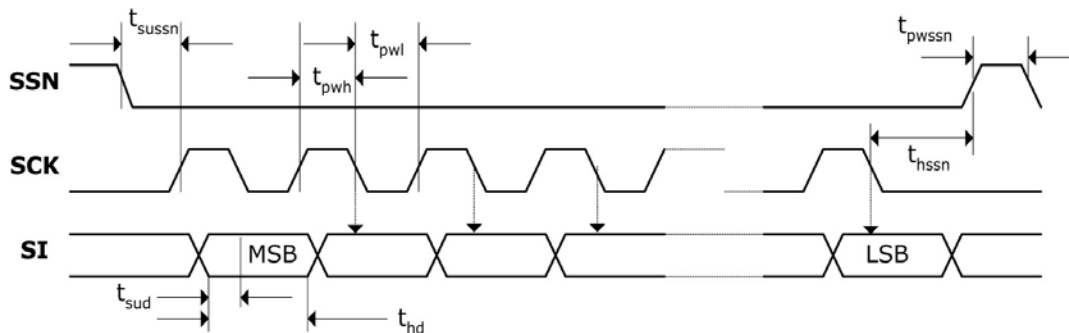
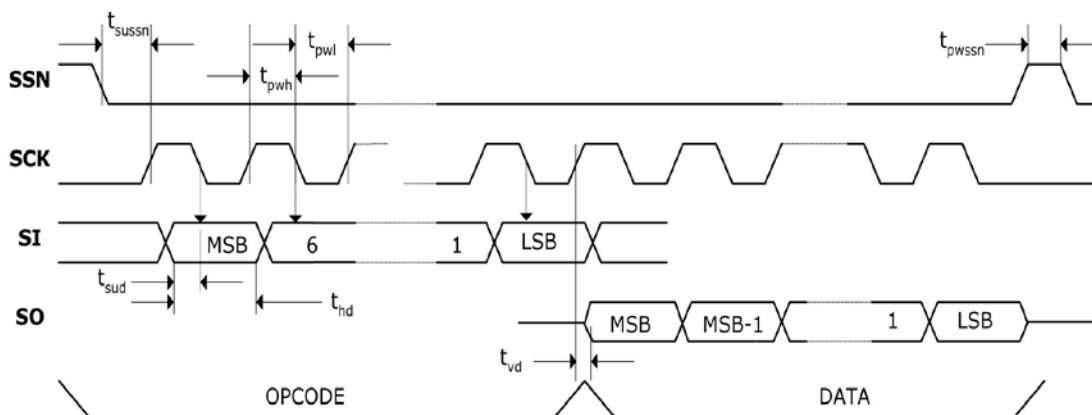


图 2.2: SPI 读时序

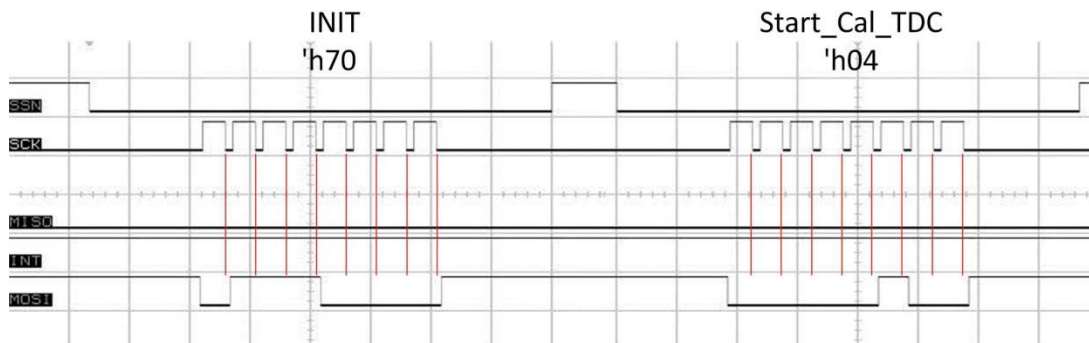


2.3.2 SPI时序参数

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

2.3.3 SPI 通信样例

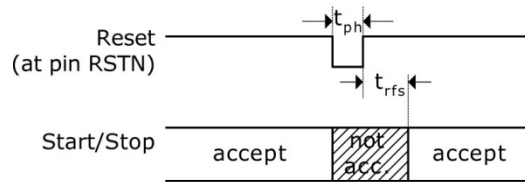
图 3-1: 通信的示波器截图 当发送 INIT 'h70 和Start_Cal_TDC = 'h04命令



2.3.3 其它时序

a 复位时序

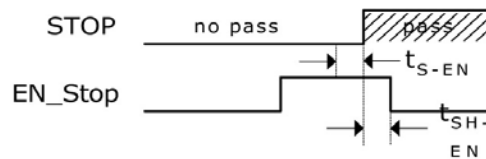
图 2.3:



参数	描述	最小值 (ns)	Max (ns)
t_{ph}	复位脉冲宽度	t.b.d. ns	-
t_{rfs}	在复位脉冲上升沿后到可以接受脉冲之间的时间	t.b.d. μ s	-

b STOP屏蔽的时序

图 2.4:

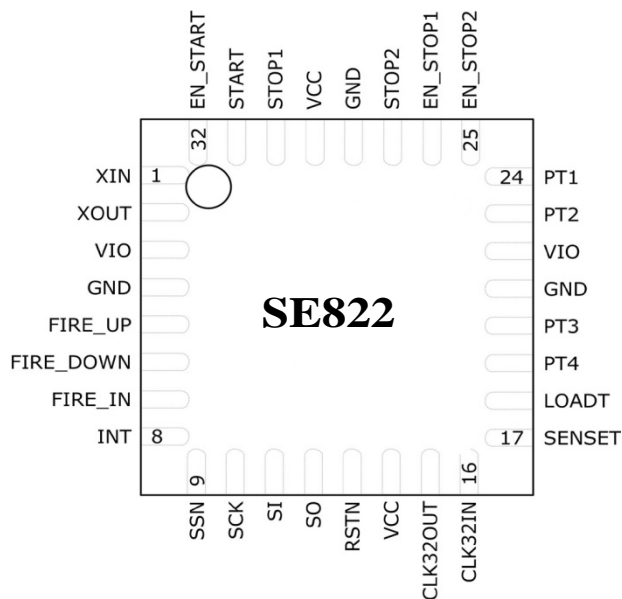


参数	描述	最小值 (ns)	Max (ns)
t_{S-EN}	启动设置时间	t.b.d. ns	-
t_{SH-EN}	启动保持时间	t.b.d. ns	-

注：在power-on复位后，必须要至少等待500us让模拟电路部分启动。

2.4 管脚信息

图 2-5: TDC-SE822 管脚分布



号码	名称	管脚名称	说明
1	XIN	晶振驱动输入	2-8MHz高速振荡器，如果不用，应接地
2	XOUT	晶振振荡器输出	
3	VIO	I/O 供电电压	
4	GND	地	
5	FIRE_UP	脉冲发生器输出端口 1	最大驱动能力48mA
6	FIRE_DOWN	脉冲发生器输出端口 2	最大驱动能力48mA
7	FIRE_IN	“声环法”信号输入端口	可选作测试信号输出，或接地
8	INTN	中断标志，低有效	
9	SSN	串行接口从机选择，低有效	
10	SCK	串行接口时钟	
11	SI	串行接口数据输入	
12	SO	串行接口数据输出	
13	RSTN	复位信号输入	
14	VCC	核心电压输入端	
15	CLK32OUT	32 kHz 时钟输出	
16	CLK32IN	32 kHz 时钟输入	
17	SENSET	温度测量的sense输入	
18	LOADT	温度测量Load输出	

号码	名称	描述	
19	PT4	温控电阻测量端口 4	
20	PT3	温控电阻测量端口 3	
21	GND	地	
22	VIO	I/O 供电电压	
23	PT2	温控电阻测量端口 2	
24	PT1	温控电阻测量端口 1	
25	EN_STOP2	Stop通道 2 使能端口, 高有效	
26	EN_STOP1	Stop通道 1 使能端口, 高有效	
27	STOP2	Stop 2脉冲输入端	
28	GND	地	
29	VCC	核心电压	
30	STOP1	Stop 1脉冲输入端	
31	START	Start 通道	
32	EN_START	Start 通道使能	根据配置设置, 可选做测试信号输出

2.5 封装信息

图 2-6: QFN-32 封装尺寸, 5 x 5 x 0.9 mm³, 0.5 mm 引线间距

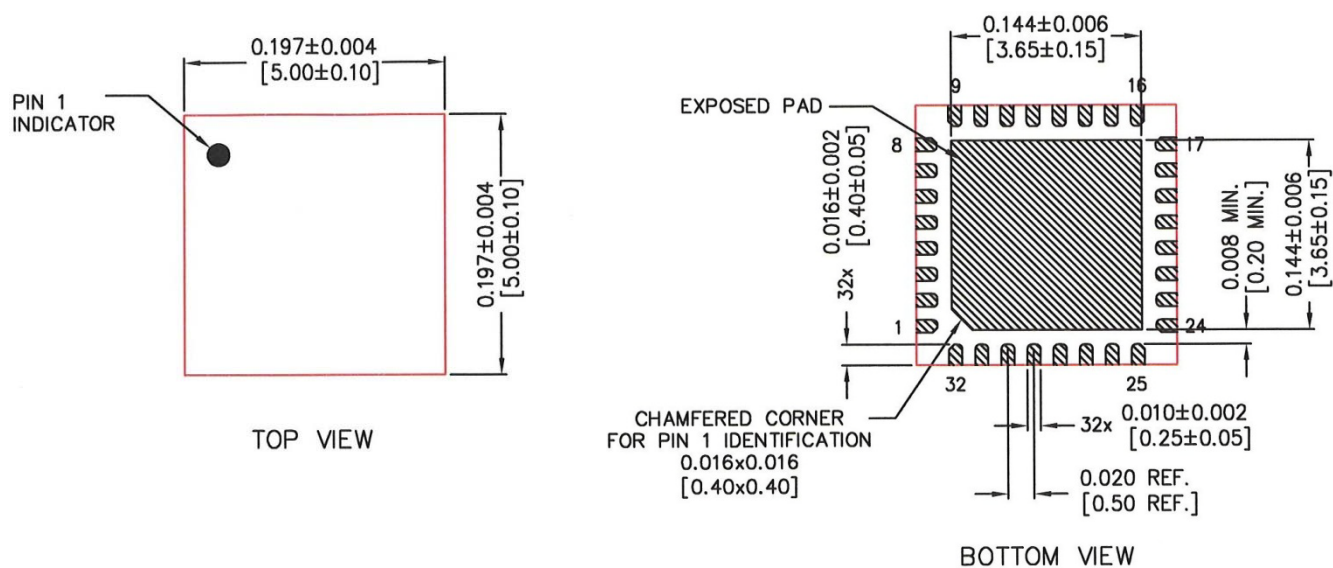
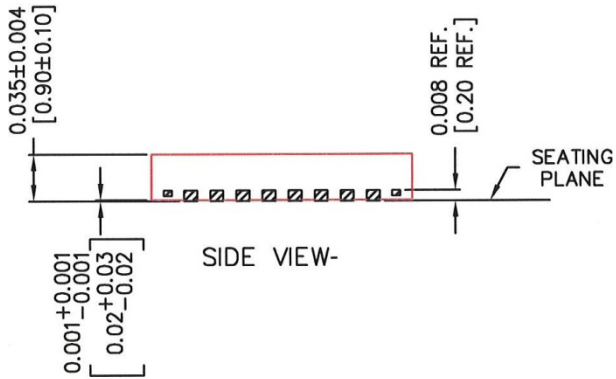


图 2-6b: QFN-32 封装尺寸, $5 \times 5 \times 0.9 \text{ mm}^3$, 0.5 mm 引线间距

NOTES:

1. PACKAGE DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS, BURRS OR METAL SMEARING.
2. COPLANARITY APPLIES TO THE EXPOSED PAD AS WELL AS THE EXPOSED TERMINALS. MAXIMUM COPLANARITY SHALL BE $0.003 [0.08]$.
3. WARPAGE SHALL NOT EXCEED $0.004 [0.10]$.

注意：中心焊盘， $3.65 \times 3.65 \text{ mm}^2$ ，内部与 GND 相连接。在下面部分除了 GND 之外不能够连接其它线。

不需要连接中心焊盘到地 GND。

适合的 Socket 类型：Plastronics 32QN50S15050D

热敏电阻：大致为 28 K/W （数值仅做参考）。

环境：封装为 RoHS 认证，不含铅。

湿度分级（MSL）

根据 JEDEC 020 湿度敏感分级的定义，TDC-SE822 被划分为 MSL 3。

2.6 电源

电源电压

TDC-SE822 为高端数字模拟混合器件。为了达到最佳测量效果，电源应该具有高电容性和低电感性。

TDC-SE822 提供电源电压端口如下：

V_{IO} ：I/O 供电电压

V_{CC} ：核心供电电压

Gnd ：I/O 端口和核心电路的地线共用一个地，均连接到印制电路板的地线上

V_{IO} 和 V_{CC} 应该通过一组电池供电或者固定的调线性器电给压出。开关式电源波动比较大，对测量精度有一定的影响，应避免使用。

2.7 电流功耗 (不同情况下各自的功耗总和, 所有数据均在 $V_{io} = V_{cc} = 3.0V$ 条件获得):

symbol	测试值	详细说明
I_{ddq}	< 5 nA	静态电流, 晶振不工作
I_{32}	典型 0.8 μA	32k晶振开启后芯片等待的电流消耗
I_{hs}	典型 230 $\mu A/s$	高速晶振器启动后工作时需要的电流例如: 在超声波热量表当中高速晶振的开启时间为大约 2ms. 那么平均的测量功耗则为 $230 \mu A/s * 2 ms = 0.46 \mu A$
I_{tmu}	典型 4 mA/s	时间测量单元的输入电流。只有当两个测量时间点之间激活时有效
I_{ana}	典型 0.8 mA	模拟电路部分激活后, 在超声波飞行时段内测量时的功耗。模拟部分开启的时间为250 μs + ToF(超声波飞行时间)。
I_T	典型值 $2.5 \mu A s * \text{测量频率}$	进行一次完整的温度测量的电流典型值是 $2.5 \mu A s$ 。在热量表中一般采用30秒进行一次温度测量, 平均电流大约是 $0.08 \mu A$
I_{total}	2.2 μA	在典型的热量表应用当中, 每秒钟进行2次飞行时间测量, 温度每30秒钟测量一次. 那么整个飞行时间和温度测量包括内部模拟部分, 换能器和和温度传感器的总体测量功耗。

3	寄存器相关操作.....	15
3.1	配置寄存器概述.....	16
3.2	寄存器配置参数.....	17
3.3	结果寄存器	24
3.4	EEPROM.....	26
3.5	操作码	27

3.1 配置寄存器概述

TDC-SE822有7个32位的配置寄存器。高24位是用作系统配置，可以写入但不可读出。低8位可以用于存储此设备ID，以供主机调用，也可以存入用户设定信息，可被读出。

注:

寄存器3当中的位30, 31是新增的第一波检测功能。位30是开启第一波识别功能的切换位，当此位开启后，寄存器4 被赋予新的含义。

为了让TDC-SE822正常工作，在整个电路上电后，需要通过RSTN对系统复位或者通过SPI命令进行上电复位。

配置寄存器中的ID 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。

各个寄存器的配置说明如下节所述。

3.2 寄存器配置参数

寄存器 0 (地址 0):

bit	参数	描述	数值
31 28	ANZ_FIRE	设置fire端口发射的脉冲个数. 另外的高3位在寄存器6当中设置. 如果ANZ_FIRE个数大于15, 那么相位的设置 (PHFIRE) 则不能应用.	0 = 关闭 1 = 1 个脉冲 2 = 2 个脉冲 ... 127 = 127 个脉冲
27 24	DIV_FIRE	设置内部时钟信号产生脉冲的分频系数	0 = 关闭 1 = 2分频 2 = 3分频 3 = 4分频 ... 15 = 16分频
23 22	ANZ_PER_CALRES	设置校准陶瓷晶振的时钟周期数	0 = 2 个周期 = 61.035 μ s 1 = 4 个周期 = 122.07 μ s 2 = 8 个周期 = 244.14 μ s 3 = 16 个周期 = 488.281 μ s
21 20	DIV_CLKHS	设置CLKHS高速参考时钟的分频系数	0 = 不分频 1 = 2分频 2 = 4 分频 3 = 4分频
19 18	START_CLKHS[1:0]	设置晶振在测量开始前必须起振等待时间以保证晶振趋于稳定. START_CLKS的最高位是在寄存器6的第20	0 = 晶振关闭 1 = 晶振持续开启 2 = 启振延迟时间 480 μ s 3 = 启振延迟时间 1.46 ms 4 = 启振延迟时间 2.44 ms 5 到 7 = 启振延迟时间 5.14 ms
17	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	TCYCLE	设置温度测量的循环时间	0 = 128 μ s cycle time @ 4 MHz 1 = 512 μ s cycle time @ 4 MHz (推荐)
15	ANZ_FAKE	在温度测量前的热身假测量	0 = 2 次热身假测量 1 = 7 次热身假测量
14	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cycle时钟 1 = 应用 128 * CLKHS 作为cycle时钟周期 (在4MHz晶振的时候为32 μ s)
13	CALIBRATE	开启/关闭 在ALU中的校准	0 = 校准关闭 (仅在测量范围1中允许) 1 = 校准开启 (推荐)
12	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	MESSB2	选择测量范围 2	0 = 测量范围 1 1 = 测量范围 2
10	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	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	NEG_START	0 = 非反向输入信号 - 上升沿 1 = 反向输入信号 - 下降沿	00 = 非反向输入信号 - 上升沿 1 = 反向输入信号 - 下降沿
7 0	ID0	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 1 (地址 1):

bit	默认值	名称	描述	数值
31 28	0101	HIT2	定义 ALU 数据处理的计算方式 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 5 = 无动作 6 = Call Ch1 7 = Cal2 Ch1 9 = 1. Stop Ch2 A = 2. Stop Ch2 B = 3. Stop Ch2 C = 4. Stop Ch2 MRange2: 2 = 1. Stop Ch1 3 = 2. Stop Ch1 4 = 3. Stop Ch1
27 24	0101	HIT1	定义 ALU 提前数据处理的计算方式 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 5 = 无动作 6 = Call Ch1 7 = Cal2 Ch1 9 = 1. Stop Ch2 A = 2. Stop Ch2 B = 3. Stop Ch2 C = 4. Stop Ch2 MRange2: 1 = Start
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		保留原值	
21 19	000	HITIN2	在 stop 通道 2 的预置脉冲数	0 = stop 通道 2 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
18 16	000	HITIN1	在 stop 通道 1 的预置脉冲数	0 = stop 通道 1 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
15	0	CURR32K	32kHz晶振的功耗选项。推荐使用低功耗	0 = 低电流 1 = 高电流
14	0	SEL_START_FIRE	fire脉冲用作触发 TDC start START输入会被关闭	0 = 与TDC-SE821相同 1 = 应用fire内部触发 Start
13 11		SEL_TSTO2	定义 EN_START管脚的功能 这个管脚可以用于不同信号的输出	0 = SE821功能相同, 高平将开启START管脚 1 = START_TDC 输出 2 = STO1 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 6 = n. c. 不连接 7 = 4 kHz (32 kHz/8) 时钟

bit	默认值	名称	描述	数值
10 8	000	SEL_TSTO1	定义FIRE_IN 管脚的功能. 除了SE821中的功能外这个管脚还可以用作其它输出信号.	0 = 与SE821中同样功能, 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
7 0	8' d0	ID1	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 2 (地址 2):

bit	默认值	名称	描述	数值
31 29	001	EN_INT	利用或门启动不同的中断触发 额外设置在寄存器 6	Bit 31 = Timeout 中断触发位 Bit 30 = End Hits 中断触发位 Bit 29 = ALU 中断触发位Reg6, BIT21 = EEPROM动作结束
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	0 = 上升或下降沿 1 = 上升和下降沿
26 8	18' d0	DELVAL1	为内部的使能 stop 脉冲而设的延迟时间, start 通道1第1个脉冲	DELVAL1 = 0 到 16383.96875
7 0	8' d0		自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 3 (地址 3) 设置 EN_FIRST_WAVE = 0:

bit	默认值	名称	描述	数值
31	0	EN_AUTOCALC_MB2	测量范围 2: 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。	0 = 关闭 1 = 开启
29	0	EN_ERR_VAL	由于timeout强迫 ALU 写入 0xFFFFFFFF 到结果寄存器	0 = 关闭 1 = 开启
28 27	1 1,	SEL_TIMO_MB2	在测量范围 2内设置溢出时间	0 = 64 μ s 1 = 256 μ s 2 = 1024 μ s 3 = 4096 μ s @ 4 MHz ClkHS
26 8	19'd0	DELVAL2	为内部的使能 stop 脉冲而设的延迟时间, start 通道1第2 个脉冲。Tref 的倍数, 14 位整数部分, 5 位小数部分	DELVAL1 = 0 到 16383.96875
7 0	8'd0	ID3	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 3 (地址 3) 设置 EN_FIRST_WAVE = 1:

bit	默认值	名称	描述	数值
31		EN_AUTOCALC_MB2	测量范围 2: 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		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。	0 = 关闭 1 = 开启
29		EN_ERR_VAL	测试溢出或异常时ALU写入 0xFFFFFFFF	0 = 关闭 1 = 开启
28 27		SEL_TIMO_MB2	在测量范围 2内设置溢出时间	0 = 64 μ s 1 = 256 μ s 2 = 1024 μ s 3 = 4096 μ s @ 4 MHz ClkHS
26	0		保留原值	
25—20		DELREL3	设置第一波检测后第3个stop是接收第几个回波周期	5 到 63 DELREL3 > DELREL2
19—14		DELREL2	设置第一波检测后第2个stop是接收第几个回波周期	4 到 63 DELREL2 > DELREL1
13—8		DELREL1	设置第一波检测后第1个stop是接收第几个回波周期	3 到 63
7—0	8'd0	ID3	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 4 (地址 4)设置 EN_FIRST_WAVE =0:

bit	默认值	名称	描述	数值
31 27	00100		默认值	
26 8	19' d0	DELVAL3	为内部的使能 stop 脉冲而设的延迟时间, start 通道1的第3个脉冲。Tref 的倍数, 14 位整数部分, 5 位小数部分	DELVAL1 = 0 到 16383.96875
7 0	8' d0	ID4	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器4 (地址 4)设置 EN_FIRST_WAVE =1:

bit	默认值	名称	描述	数值
31 17			默认值	
16		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		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		OFFSRNG2	增加额外的offset + 20 mV	0 = 关闭 1 = 开启
13		OFFSRNG1	增加额外的offset - 20 mV	0 = 关闭 1 = 开启
12 8		OFFS	设置比较器offset 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	8' d0	ID4	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 5 (地址 5):

bit	默认值	名称	描述	数值
31 29	000	CONF_FIRE	脉冲触发器的输出设置 3'b 011 不可以设置	Bit 31 = 1: FIRE_BOTH Bit 30 = 1: 关闭输出 FIRE_UP Bit 29 = 1: 关闭输出 FIRE_DOWN
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	相位噪声单元	1 = 关闭相位噪声移位单元, 0 = 开启
26 24	000	REPEAT_FIRE	声环法的脉冲序列的重复次数	0 = 不重复 1 = 1 次重复 2 = 2 次重复 ... 7 = 7 次重复
23 8	16'd0	PHASE_FIRE	对脉冲序列中的每个脉冲进行相位设置 最多可以设置15个。	0 = 不反向 1 = 反向
7 0	8'd0	ID5	自由位, 用户可以自定义信息	

寄存器 6(地址 6):

bit	默认值	名称	描述	数值
31	0	EN_ANALOG	开启片内的模拟电路部分。模拟部分仅在测试时工作，以保证低功耗。	0 = 不启用模拟部分 1 = 模拟部分开启
30	0	NEG_STOP_TEMP	是否启动内部触发器	0 = 外部接 74HC14 1 = 应用内部施密特触发器
29	0		保留位	
28 25	0000	DA_KORR 0000	设置比较器offset从 -8 mV 到+7 mV. 以2的补码形式	7 = 7 mV 15 = - 1 mV 6 = 6 mV 14 = - 2 mV ... 1 = 1 mV 9 = - 7 mV 0 = 0 mV 8 = - 8 mV
24	0		保留位	
23 22	00	TW2	当应用内部模拟部分时, 给所推荐的RC的电容进行充电的设定时间	充电时间: 0 = 90 μs 1 = 120 μs 2 = 150 μs 3 = 300 μs
21	0	EN_INT	EEPROM操作结束中断使能	1 = EEPROM 动作结束
20	0	START_CLKHS[2]	START_CLKS的最高位	0 = 关闭 1 = 持续开启 2 = 480 μs 3 = 1.46 ms 4 = 2.44 ms 5 - 7 = 5.14 ms
19 18	00	CYCLE_TEMP	选择触发第二次温度测量的间隔时间, 以50/60Hz的倍数给出	0 = 1 1 = 1.5 2 = 2 3 = 2.5
17 16	00	CYCLE_TOF	选择触发第二次时间测量的时间间隔, 以50/60Hz的倍数给出	0 = 1 1 = 1.5 2 = 2 3 = 2.5
15	0	HZ60	TDC-SE822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	定义了非活动状态fire通道的默认电平 如果启动模拟部分, 必须设置为1	0 = 高阻 1 = 低
13	0	QUAD_RES	在测量范围 2 中将测量精度提高4倍到22ps	0 = 关闭 1 = 开启
12	0	DOUBLE_RES	在测量范围 2 中将测量精度提高1倍到45ps	0 = 关闭 1 = 开启
11	0	TEMP_PORTDIR	温度测量端口测量顺序方向	0 = PT1 > PT2 > PT3 > PT4 1 = PT4 > PT3 > PT2 > PT1
10 8	000	ANZ_FIRE[6:4]	FIRE寄存器的高3位, 可参看寄存器0	0 = 关闭 1 = 1 个脉冲 2 = 2 个脉冲 ... 127 = 127 个脉冲
7 0	8' d0	ID6	自由位, 用户可以自定义信息	

3.3 结果寄存器

结果寄存器可以监测当前的状态和计算的结果。用户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。结果寄存器输出格式如下表所示。

表 3-2: 读寄存器

地址	符号	位	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获得的Hit数	通道1获得的Hit数	结果地址指针 register
5	REG_1	8	显示写寄存器 1 中的高 8 位, 用来测试通信情况									
8	PW1ST	8	脉冲宽度的测量比值, 固定浮点数, 其中1位为整数									

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。以下几点必须注意:

- ③ 只有在测量范围 1 中才可能出现负值
- ③ 测量范围 2 中只有正值, 以无符号数形式出现
- ③ 只有测量范围 1 中才可以进行非校准测量
- ③ 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 'hFFFFFFFF'

不同测试模式下数据输出格式有所不同:

a. 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。

$$\text{Time} = \text{RES}_X * \text{Tref} * 2^{\text{CLKHSDiv}} = \text{RES}_X * \text{Tref} * N, \text{ 当 } N = 1, 2 \text{ 或者 } 4$$

$$\text{Time} < 2 * \text{Tref} * 2^{\text{CLKHSDiv}}$$

b. 测量范围 1，不进行校准(Calibrate = 0)

非校准值是有符号整数，以 16 位值的形式被存储在结果寄存器的高字单元(WORD)。结果寄存器的低字单元(WORD)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。

$$\text{Time} = \text{RES}_X * \text{LSB} \sim \text{RES}_X * 90 \text{ ps}$$

c. 测量范围 2

在测量范围 2 中，SE821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^{15}) 开始，以最低位 (2^{-16}) 结束，以 2 补码形式存在。

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

d. 温度测量

放电时间的测量，与c项中测量范围2的结构相同。放电时间的比值是与电阻的比值相同的：

$$RT = R_{\text{ref}} * \tau_T / \tau_{\text{ref}}$$

e 状态寄存器STAT

表 3-3: 状态寄存器

位	名称	描述	数值
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位预算器的溢出	1 = 溢出
11	Error open	显示测量温度传感器为断路	1 = 断路
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中有多处不能够纠正的错误产生.	1 = 多处错误
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

f 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offset情况下）和给出的所需接收回波半波的宽度比值。参见章节4.4获得更多的内容。 数据范围：0 到 1.99219。

3.4 EEPROM

TDC-SE822 有一个 7x32 位的 EEPROM。这个EEPROM可以用于存储配置数据, 以及ID版本号等. 用户通过以下三种方式对EEPROM可以进行操作:

- ① 将配置数据写入EEPROM当中
- ② 将 EEPROM 的内容传送到配置寄存器当中
 - 比较配置寄存器中的内容和EEPROM中的内容

注：EEPROM首次使用应激活，也就是应首先写入数据，然后可以随意操作。但是除了ID, SPI是不能够读回EEPROM的其他配置内容的。

EEPROM有一个错误校验码，可以检测和纠正单个位的错误，可检测但无法纠正多个位的错误。从状态寄存器的高3位操作可以了解存储器的相关情况。

3.5 操作码

TDC-SE822所使用到的操作命令如下：

表 3-4: 操作码

Hex	MSB					LSB			描述	Followed by	新增
' h8x	1	0	0	0	0	A2	A1	A0	写入 地址 A	24 位或者 32 位数据	
' hBx	1	0	1	1	0	A2	A1	A0	读取 地址 A	8, 16 或者 32 位数据	
' hB7	1	0	1	1	0	1	1	1	Read ID bit	56 位 ID 'S	
' hB8	1	0	1	1	1	0	0	0	Read PWIST	8位	×
' hC0	1	1	0	0	0	0	0	0	写配置寄存器到 EEPROM		
' hF0	1	1	1	1	0	0	0	0	将 EEPROM 内容传回配置寄存器中		
' hC6	1	1	0	0	0	1	1	0	与 EEPROM和配置寄存器内容进行比较		
' 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		
' 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		

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。。

例如：

h80 + 3 个字节将会在TDC-SE821兼容模式中写入配置寄存器0。

h80 + 4 个字节将会写入配置寄存器0中包括ID0。

不能连续进行写操作。每个寄存器必须单独寻址。

3.5.1 操作码解释

hC0, hF0, hC6 全部是与EEPROM有关的操作码。这些操作大致需要持续120ms, 尤其对于EEPROM进行写操作的时候。因此在寄存器6当中的bit 3, EN_INT显示了 EEPROM 操作的完成, 此位可以用来提示单片机进行下一步的动作。

- ③ h01, Start_TOF: 进行一次时间测量。首先, 4 Mhz晶振被开启。在经过了所设定的延迟 (START_CLKHS) 之后比较器和参考电压将会被开启。工作电容首先被充电到 V_{ref} 而不活动的fire缓冲则被下拉到GND。到达设置的充电时间 (TW2) 延迟之后, Fire缓冲将会发出fire脉冲。在所设置的DEVAL延迟窗口时间之后, stop通道将会打开可以接受脉冲。在测量的最后, 模拟部分和 4 MHz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 = 低平。
- ③ h05, Start_TOF_Restart: 这个操作码将运行Start_TOF两次, 分别对热量表的上游时间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, 每次中断后必须要读取1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50 Hz 或者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_TOF	系数	HZ60 = 0 (50Hz)	HZ60 = 1 (60Hz)
0	1	20 ms	16.67 ms
1	1.5	30 ms	25.00 ms
2	2	40 ms	33.33 ms
3	2.5	50 ms	41.67 ms

- ③ 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。

- ③ 06, 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	factor	HZ60 = 0	HZ60 = 1
0	1	20 ms	16.67 ms
1	1.5	30 ms	25.00 ms
2	2	40 ms	33.33 ms
3	2.5	50 ms	41.67 ms

- ③ 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 μ s 到 488 μ 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。
- ③ 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。

4	功能描述	30
4.1	TDC 测量范围 1	31
	4.1.1 概述	31
	4.1.2 测量流程	32
4.2	TDC 测量范围 2	37
	4.2.1 概述	37
	4.2.2 测量流程	39
	4.2.3 Stop 屏蔽	43
4.3	模拟输入部分	44
	4.3.1 offset 设置	45
4.4	第一波模式	45
	4.4.1 相关的寄存器配置	49
4.5	温度测量	50

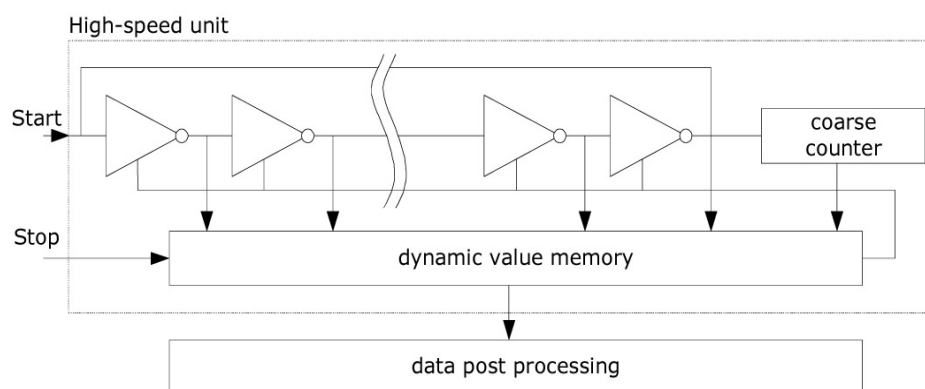
4.1 TDC 测量范围 1

4.1.1 概述

- ③ 测量范围：3ns—2.4 μ s
- ③ 双通道下，单精度典型分辨率为90 ps
- ③ 单通道下，使用双精度，精度为 45 ps
- ③ 每个stop通道最多可以采样4个脉冲
- ③ 可选择每个通道的上升/下降沿敏感
- ③ 强大的窗口功能的启动管脚
- ③ 脉冲对的最小时间间隔是20ns
- ③ 可以测量任意两个脉冲之间的时间间隔
- ③ 典型应用：激光时间测量，RF ToF

数字TDC应用内部的逻辑门延迟来以高精度测量时间间隔. 图4. 1显示了这种绝对时间TDC的测量原理结构. 精心设计的版图结构和精确的门延时极大的确保了测试的高精度和准确度。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。

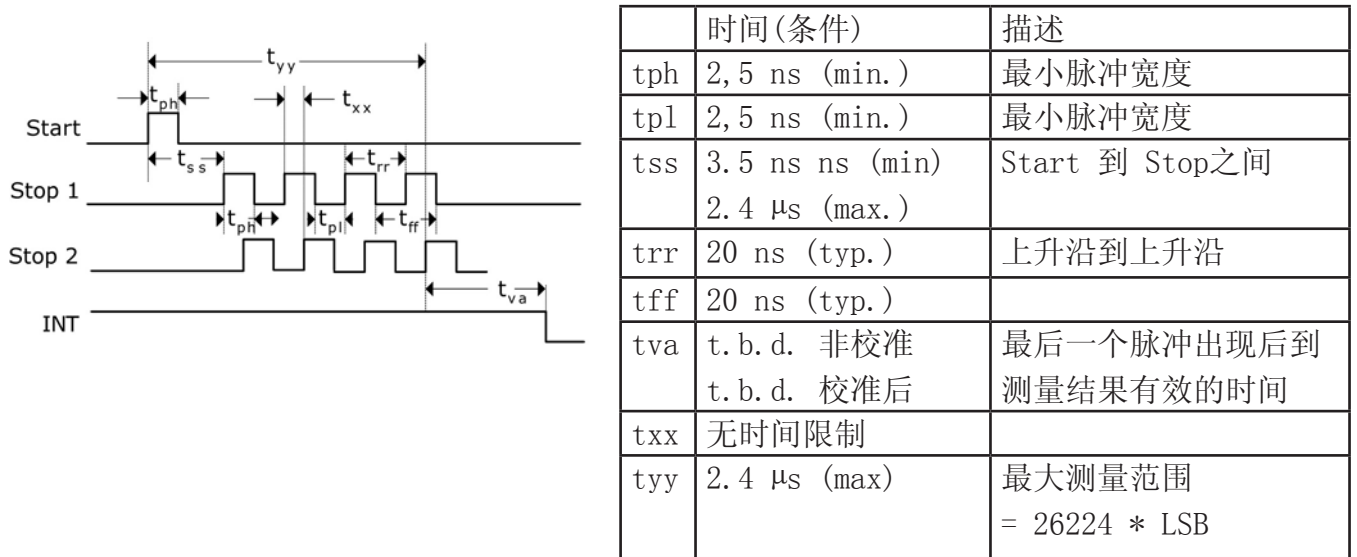
图 4. 1



测量单元是通过start信号触发, stop信号停止的. 由环形振荡器的位置和粗值计数器的计数值可以计算出 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, SE822 的最小分辨率是 90 ps。温度和电压对门电路的传播延迟时间有很大的影响。所以必须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。一般情况下该数值:

$$t_{yy} = \text{BIN} \times 26224 \sim 90 \text{ ps} \times 26224 = 2.4 \mu\text{s}$$

图 4.2



输入电路

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 register 0 的 bit 8-10位(EG_START, NEG_STOP1, NEG_STOP2)和 register 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。

4.1.2 测量流程

设置

在开始使用 TDC-SE822 之前, 应该对它进行配置。

测量范围 1 的主要设置参数如下:

a. 选择测量范围 1

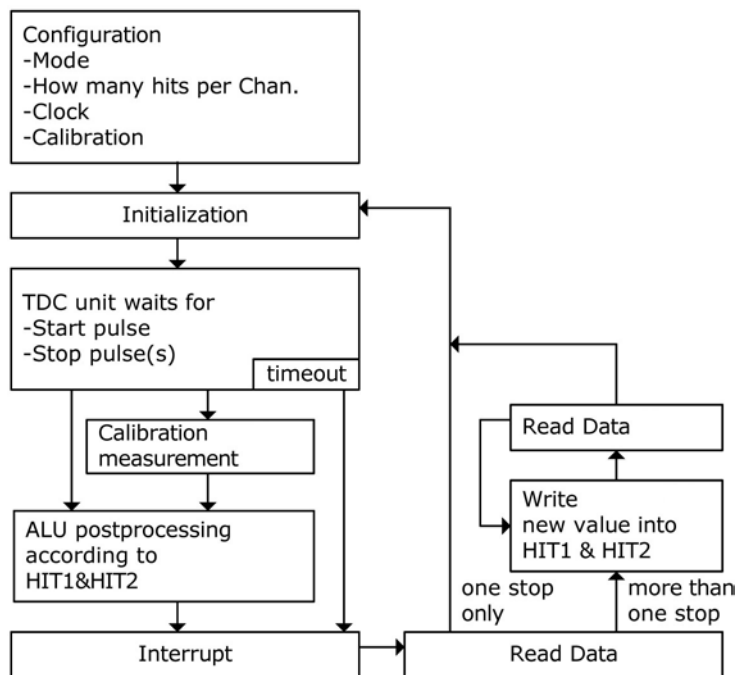
设置寄存器 0, bit 11, MESSB2 = 0.

Register 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 45ps 而不是 90ps. 但仅仅有一个 stop 通道可用。

b. 选择参考时钟

Register 0的 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”。Register 0的DIV_CLKHS是用来设置参考时钟内部分频器值的，这对测量范围 1 中的校准测量非常重要，因为只有在 $2 * T_{ref}$ (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溢出，输出值为 0xFFFFFFFF。同时也要确保 $2 * T_{ref}$ (内部时钟) $< 2.4 \mu s$ ，以避免在校准时时间溢出。

图 4.3



c. 设置所能接受的脉冲个数

用户可以在 register 1的 HITIN1和HITIN2中设定 TDC-SE822要测量的脉冲个数，每个通道最多可以测量 4 次。TDC-SE822 会一直测量直到完成已设的脉冲次数或发生溢出为止。

d. 校准测量

由于测量的分辨率会随温度和电压的影响，所以 TDC-SE822的 ALU 需要内部校正测量结果。可通过设register 0 的 Calibrate为“1”来选择校准测量。推荐使用校准测量。

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 register 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 register 1 的 Bit16-19 (HIT1) 以及 20-23 (HIT2) 中进行设置。具体设置为：

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

ALU计算 Hit1 - Hit2.

例：

Reg1 = 0x01xxxx - 1st Stop Ch1-Start

Reg1 = 0x2Bxxxx - 3rd Stop Ch2-2nd

Stop Ch1

Reg1 = 0x06xxxx - Cal1

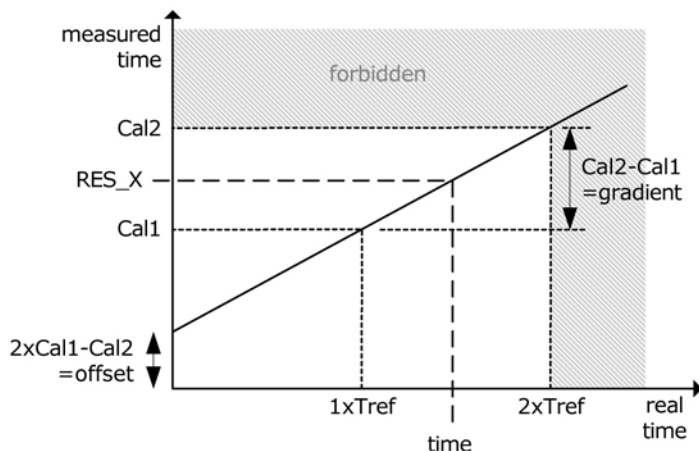
如果采用校准操作，则 ALU 就会进行完全的校准计算（除了正在读校准数值之外。在这种情况下，ALU 将会把 Cal1/Cal2 原始数据写入输出寄存器中）。

$$RES_X = \frac{(HIT1 - HIT2)}{Cal2 - Cal1}$$

$$Cal2 - Cal1 = \text{gradient}$$

$$Time = RES_X \times T_{ref} \times 2^{ClkHSDiv} = RES_X \times T_{ref} \times N \quad N = 1, 2 \text{ 或 } 4.$$

图 4.4



f. 选择输入触发方式

设置register 2的REFEDGE1 & FEDGE2, 用户可以选择STOP输入是上升沿/下降沿单独触发还是上升沿和下降沿同时触发(RFEDGE=“1”)。用户可通过设置NEG_X在每一个输入端口增加一内部反相器。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Pin8, INT可以有不同的中断源, 在寄存器2的EN_INT以及寄存器6的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

Reg 6 bit 21 = 1 EEPROM 动作的结束

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。 在本章后面将会对此设置有更进一步的描述。

进行了设置之后, 用户必须通过发送代码“Init”初始化SE822 以便 TDC 能够接受 Start 和 Stop 信号。

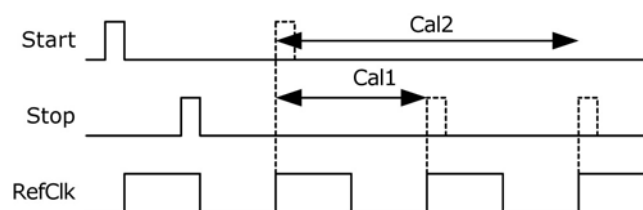
测量

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中两通道最多4次采样)
- 或者遇到测量溢出 (测量范围1中约为 $2.4\mu s$) 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Bits3-8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 ($T_{ref} / 1, 2$ 或 4)。校准原始数据 (Cal1 和 Cal2) 也被存储在 TDC 内部。

图 4.5



数据处理

在测量结尾，ALU 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 依据 3.1.1 章节讲的方法进行计算并传输 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。

假定选择 ALU 空闲作为中断源（在 reg 2, 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。

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-SE822 从最高有效位 (MSB) 开始输出结果。

a. 未校准数据格式:

未校准数据是以 2 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 ≈ 90 ps
 $Time = RES_X * 90 \text{ ps}$

b. 校准数据格式:

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:

$$Time = RES_X * T_{ref} * N, \quad N = 1, 2 \text{ 或 } 4$$

被测时差不能超过 $2 \times T_{ref} \times ClkHSDiv$ ，否则 ALU 将会溢出并且写入结果寄存器 hFFFFFFFF。

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。

例如:

首先配置

```
...
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-SE822 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。

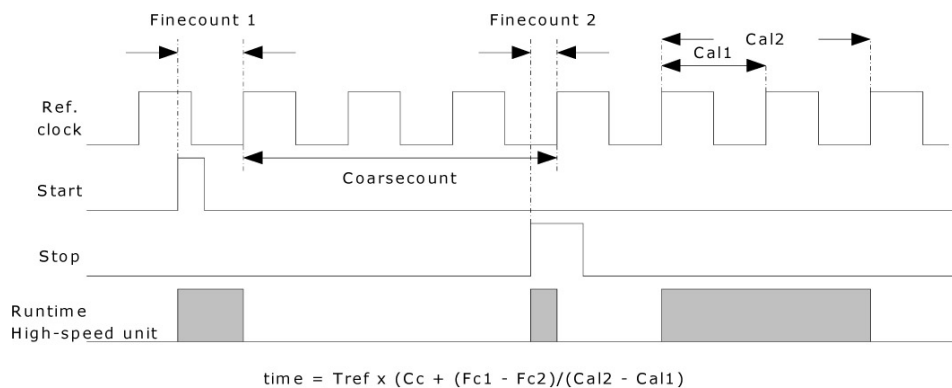
4.2 TDC 测量范围 2

4.2.1 概述

- ③ 单通道测量，只有 Stop1 通道对应 Start 通道
- ③ 典型的分辨率为 22 ps ， 45 ps ， 90 ps
- ③ 间隔脉冲对的分辨率为 $2 \times T_{ref}$ 到 4 ms @ 4MHz
- ③ 有 3 次采样能力, 并自动计算结果
- ③ 测量范围: $2 \times T_{ref} \sim 4ms@4MHz$
- ③ 可选上升/下降沿触发
- ③ 每个单独的 stop 信号都有一个精度为 10ns 的可调窗口

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（参看第4部分，测量范围1）。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 S T A R T 或 S T O P 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）。

图 4.6



典型情况下，TDC-SE822 的最小分辨率是 90ps。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。

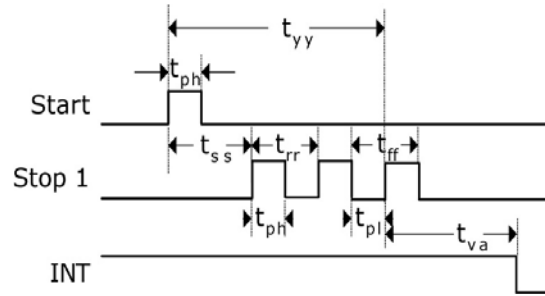
校准数据是不受电压和温度的影响的。

测量范围受限于粗计数器的大小：

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

Start 和 Stop 之间的时差以 26 位的测量范围计算。

图 4.7

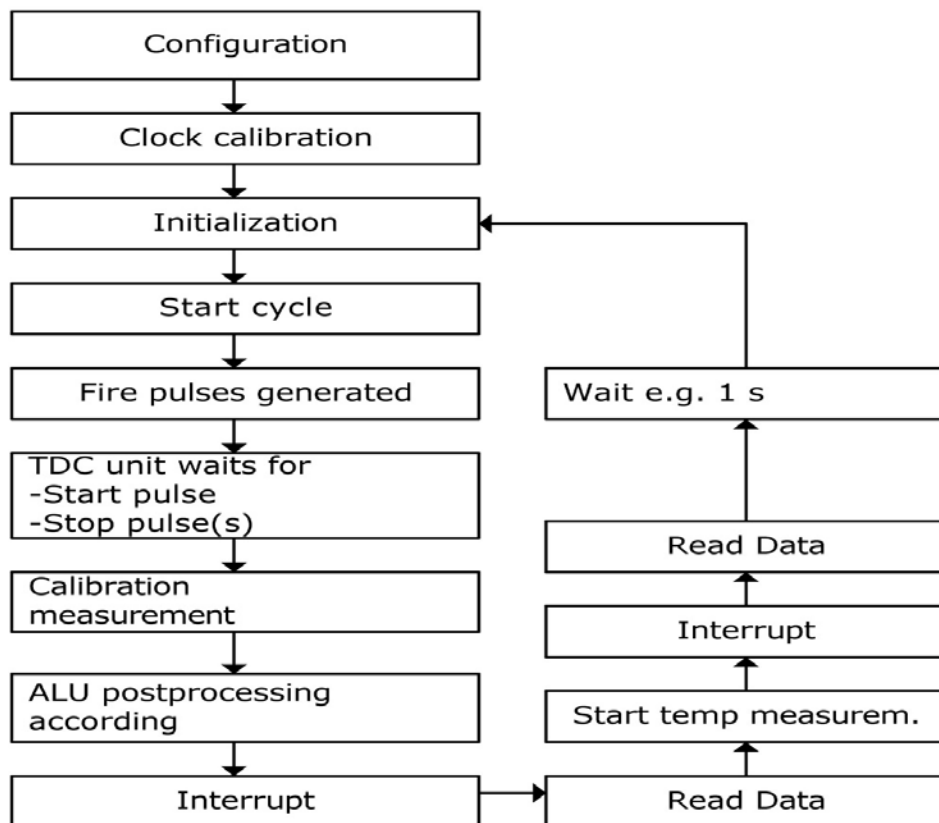


	时间 (条件)	描述
t _{ph}	2,5 ns (min.)	最小脉冲宽度
t _{pl}	2,5 ns (min.)	最小脉冲宽度
t _{ss}	2*T _{ref}	Start to Stop
t _{rr}	2*T _{ref}	上升沿到上升沿
t _{ff}	2*T _{ref}	下降沿到下降沿
t _{va}	4.6 μs (max.)	ALU 开始到数据有效
t _{yy}	4 ms (max)	最大测量范围 (26224*LSB)

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 register 0 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。如果 Start-Stop 之间的时差小于最小时限 t_{ss}，则TDC 将忽略所有小于 t_{ss} 的时差脉冲。在任何情况下都不会出现错误的结果。

4.2.2 测量流程

图 4.8 测量流程



设置

在开始使用之前，必须对 SE822 进行设置。测量范围 2 的主要设置为：

- a 设置register 0, MRange2 = 1
- b 设置参考时钟。

在测量范围2中TDC-SE821需要高速时钟来进行时间间隔测量。低功耗应用中，此时钟在两次测量之间可以被切换。并且在振荡器上电后，32.768kHz必须是开启的。Register 0 的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，对陶瓷振荡器则应置为“2”，对石英振荡器则应置为“3”。

Register 0, 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

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

最大时间间隔为

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

另外必须确保

$$2 * T_{ref} * 2^{ClkDiv} < 2.4 \mu s.$$

否则 ALU 在校准时会溢出并输出数值 0xFFFFFFFF。

请注意:

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

c. 设置所需的脉冲次数

用户可以在 register 1, bits 8–10 (HITIN1) 中设定TDC-SE822 要测量的 hits 的个数。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-SE821 会一直测量直到达到预设的 hits 次数或者发生溢出。Register 0, Bits 11 to 13 (HITIN2) 必须置 0。

例: 预期接受2个stop脉冲:

$$HITIN1 = 3, HITIN2 = 0$$

d. 选择校准

可通过设 register 0 的 Bit13(CALIBRATE)为“1”来选择校准测量。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:

- 1、通过 SPI 接口发送 Start_Cal_TDC 指令来单独校正
- 2、通过设定 register 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, SE822 将会自动计算所有的接受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. 这将会简化单片机和TDC-SE821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 register 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 = ' h31xxx = 计算 2nd Stop Ch1-Start

Reg1 = x = 计算 3rd Stop Ch1-Start

ALU 计算了时间间隔如下:

$$RES_X = CoarseCount + \frac{(HIT1 - HIT2)}{Cal2 - Cal1}$$

$$Time = RES_X * T_{ref} * 2^{ClkHSDiv}$$

f. 选择输入触发方式

通过设置 register 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 register 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 (PIN8, INT) 可以有不同的中断源, 在寄存器2的Bits29-31 (EN_INT) 中进行选择, and register 6 Bit 21 EN_INT。

EN_INT =	no bits set	无中断源
	reg2 Bit29	ALU完成
	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)。

进行了设置之后, 用户必须通过发送代码“Init”初始化SE822以便 TDC 能够接受 Start 和 Stop 信号。

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 Reg3 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

在时间测量结尾, TDC 测量两个基准时钟周期以进行校准。

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 4.1.2e 中讲的方法进行计算并传输 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：

表 4-2: ALU 时序

测试电压	计算时间
3.3 V	1.7us
2.5 V	2.5us

只要输出的结果寄存器数据有效，那么中断位将会被置位（假设ALU 中断开启，参见 reg 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，位 0 到2中看到。

读数据

用户发送代码10110ADR就能够读数据了。接着进行32次循环（校准数据），TDC-SE821 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。

$$\text{Time} = \text{RES_X} * T_{\text{ref}} * 2^{\text{CLKSDiv}}$$

最后 TDC-SE822 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。

SCK的第一个上升沿将会复位INTN管脚（中断管脚）。

4.2.3 Stop 屏蔽

如果不接受任何采样，SE822可以设置时基屏蔽窗口，用来屏蔽通道STOP1上3次hit中的任一次hit。屏蔽窗口以START信号为起点，精度高于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使能引脚必须置1。可在REG2-4的DELVAL1, DELVAL2 和 DELVAL3中进行设置：

- ③ DELVAL1 … DELVAL3是有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

$$\text{Delay}_{\min} = \text{DELVALX} / 2^5 * T_{\text{ref}} * 2^{\text{ClkHSDiv}}$$

- ③ 最短的屏蔽时间是 3个时钟周期
 ③ 屏蔽值必须是升序的，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，那么窗口单元将会被关闭。

例：

4 Mhz 参考, ClkHSDiv = 1

DELVAL1 = ' h3200 在start信号200 μs后才允许接受第一个脉冲
 (128000/32 * 250ns * 2¹ = 200 μs)

DELVAL2 = ' h3300 在start信号204 μs后才允许接受第二个脉冲
 (13056/32 * 250ns * 2¹ = 204 μs)

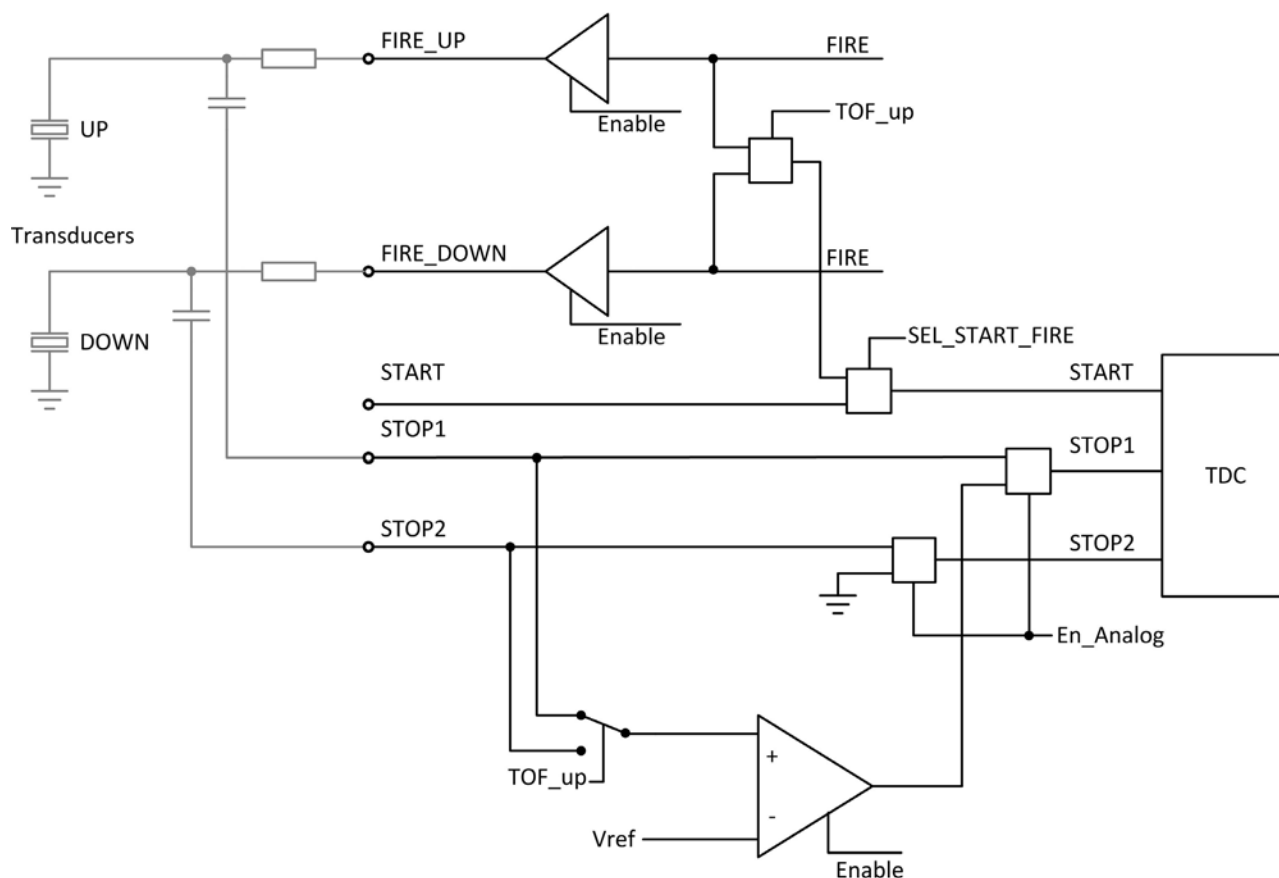
DELVAL1 = ' h3400 在start信号208 μs后才允许接受第三个脉冲
 (13312/32 * 250ns * 2¹ = 208 μs)

4.3 模拟输入部分

TDC-SE822内部集成了一个额外的模拟电路输入部分, 这个可以作为数字输入部分的前端。尤其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。而超声波电路设计仅需要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50-200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 $1/3$ 的VCC。一个模拟选择器将会根据测量的方向来选择不同的测量输入。一个斩波稳定比较器将会保证低的电压零点漂移, 小于2mV。这个是一个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-SE822的控制单元进行控制。他们所有的元件都通过TDC-SE822的控制单元进行控制。他们仅在测量的过程中开启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, 那么测量的顺序如下:

- ③ 4 MHz 振荡将会被开启。芯片等待一段延迟直到振荡器达到满振幅
- ③ 比较器, 参考电压以及模拟开关将会被供电
- ③ 发射信号通道(stop1)的电容将会被连接到GND
- ③ 下游Fire发射缓冲 (FIRE_Down)也会连接到 GND
- ③ 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
- ③ 模拟开关将选择STOP2 输入作为比较器端的输入
- ③ FIRE_UP 选择输入到 TDC START信号
- ③ 所设置的fire脉冲数目将会通过fire up缓冲在管脚FIRE_UP发送
- ③ 模拟信号通过STOP2将会传输到比较器, 从而转换成一个数字信号给到连接TDC单元的 stop输入端
- ③ 当时间窗口的时间达到后 (DELVAL), 这个时候TDC将会准备开始测量。它可以测量最多3个 stop脉冲
- ③ 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。这个时候中断将会被置位
- ③ 控制单元将会等待一个周期, 周期以 50Hz/60Hz的倍数给出。在这个期间, 单片机必须要读出测量结果
- ③ 在延时之后, 相同的过程将会在下游测量当中再重复一次

图 4.9:



4.3.1 offset设置

比较器的offset的设置以1mV为基础进行设置，从 - 8mV 到 +7 mV. 这个设置是通过寄存器6中参数 DA_korr, 位 25 到 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。

4.4 第一波模式

TDC-SE822芯片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。另外，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：

- ③ 安全的第一波检测，允许高动态应用如超声波水表
- ③ 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
- ③ 甚至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）
- ③ 脉冲宽度的测量可以帮助检测接受到的回波信号，并且可以根据触发的幅值水平发出报警信号。
- ③ offset低噪声，可以给出空管段信号

另外对于弱信号具有跳波选择功能。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，这些将会导致测量信号的衰减从 ± 400 mV 到 $< \pm 80$ mV. 图 4-10 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。

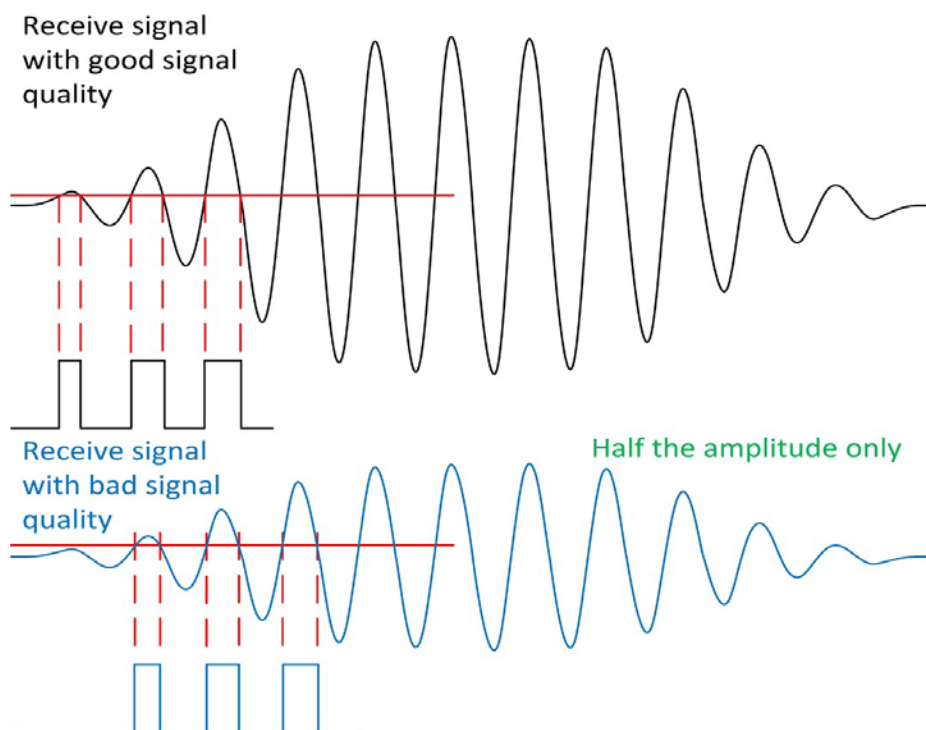


图 4-10: 由于信号较弱而导致错误测量

图4-11显示了TDC-SE822第一波模式的测量流程。

1. 通过脉冲发生器，将第一波检测所需的比较器的offset水平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，直到接收的信号达到了offset所设置的振幅水平。

2. TDC-SE822 测量第一个波上升沿和下降沿的时间宽度。然后，它将会自动地设置offset回0mV。因为芯片的offset的温度漂移是小于1mV的，测量的漂移是非常小的。

3. 3个时间测量的屏蔽窗口是在参数DELREL1到 DELREL3设置, 设置的是相对第一个波的脉冲。比如设置 DELREL1 = 3那么在第一个波测量到之后，将会测量第3个波的回波时间。

4. 第一个真实时间的半波周期(hwp) 也同时被测量记录，将会作为与第一波宽度比较的参考。在例子当中，图4-11中，这个则是第5个脉冲的宽度. 而比率 $hwp_{\text{first wave}}/hwp_{\text{first ToF}}$ 一般来说是在0-1范围之内内的数据。这个比值越小，那么接受到的信号越弱。这个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，那么这个信号的信号的比值可能会低于 0.5，那么这个时候可以在今后的测量中选择第二个脉冲作为参考。

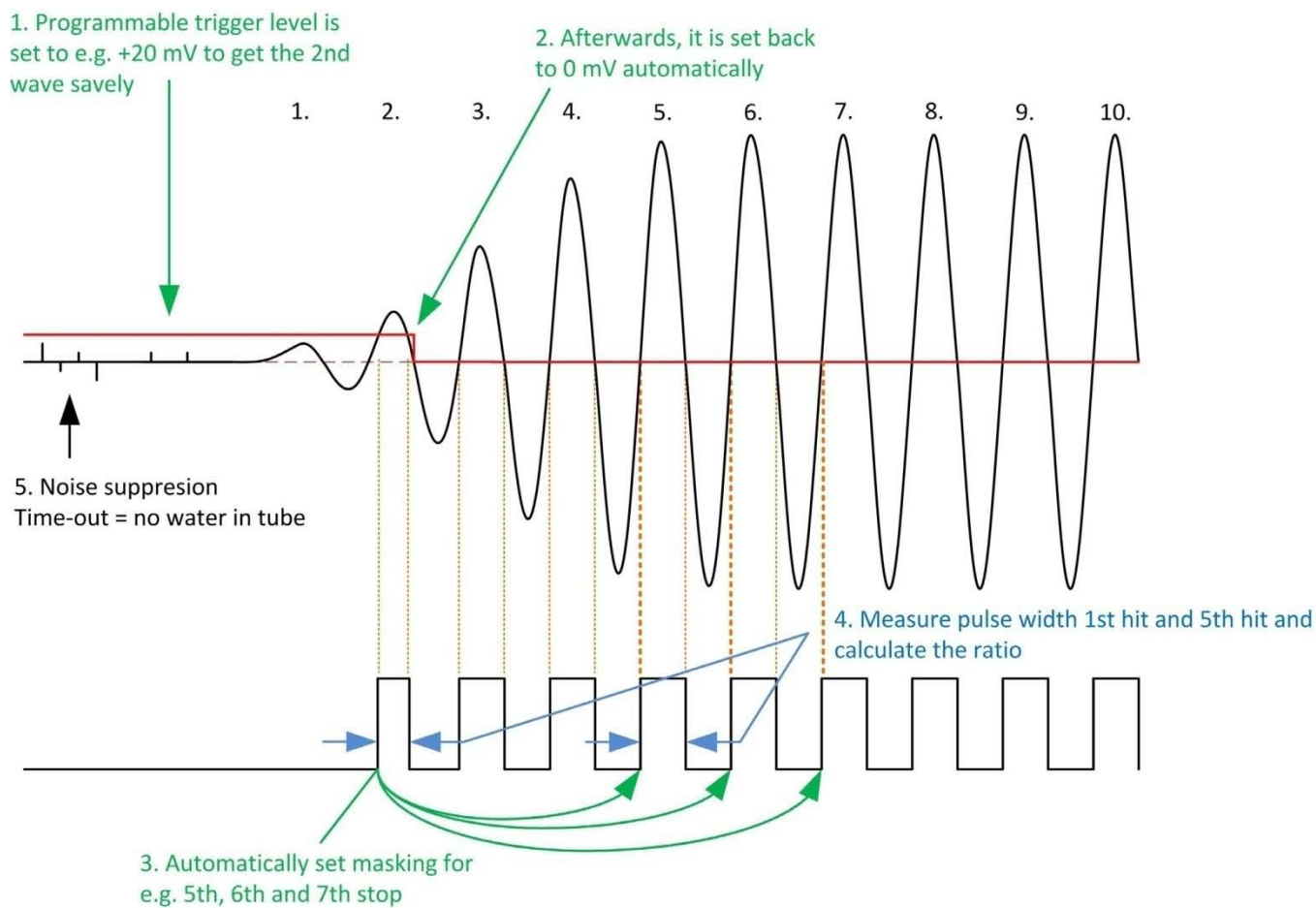
信号强度的下降也可能是由于管段内的气体气泡引起的。因此在这个情况下可以发送一个报警信号给单片机和主控制端。

5. TDC-SE822 将会自动计算所有3个stop脉冲，然后进一步计算这3个脉冲的平均值，此平均值在寄存器4当中可以读出来。通过这种方式，与单片机的通信将会大大被简化。只要中断位被置位，单片机就可以立刻读取测量结果和平均值。无需像在TDC-SE821当中再对寄存器1重新发送命令。

6. 一旦管段为空管的情况，那么将不会有任何stop信号产生。offset的值将会保持在检测第一个波所设置的值。这种方式的话，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。

图 4-11: 第一波模式



4.4.1 相关的寄存器配置

相关的寄存器配置参数如下：

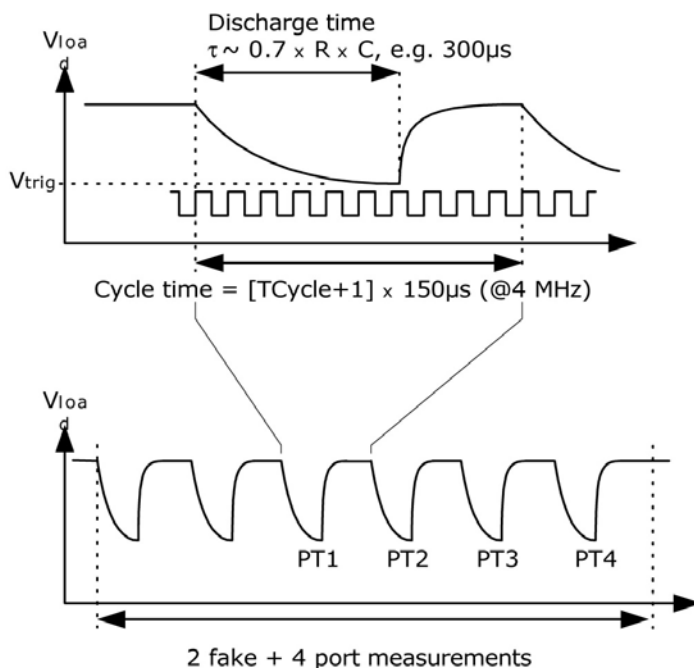
表 4-3: 第一波模式的参数配置

寄存器	位	参数	描述
3	30	EN_FIRST_WAVE	1 = 切换到第一波的模式, Reg3, DELVAL2 和 Reg4, DELVAL3 将会有新的意义。
4	8 - 12	OFFS	以2的补码形式设置比较器的offset, 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	1 = 额外在加上 +20 mV的offset幅值
4	14	OFFSRNG2	1 = 额外在加上 - 20 mV的offset幅值
3	8 - 25	DELREL1 to DELREL3	屏蔽窗口, 选择希望真实测量第几个回波的飞行时间。最大可以选择第63个脉冲。DELREL1 \geq 3. DELREL1 到 DELREL3必须要按照上升趋势设置。 例: 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. 而比率可以从地址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	设置第一个波的边沿敏感。当设置为负值的时候, 是适合通过下降沿触发的情况, 也就是负幅值触发。 0 = 上升沿, 1 = 下降沿
3	31	EN_AUTOCALC_MB2	1 = 开启计算所有接受的脉冲. 而测量的和值将会存放寄存器4中。

4.5 温度测量

对于热量表应用而言，TDC-SE822有一个PICOSTRAIN基础的温度测量单元，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。作为对于TDC-SE821的一个提升，TDC-SE822将一个比较施密特门集成到了芯片内部。

图 4.12



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5000hm。而且导线的长度不能超过3m. TDC-SE822仅可测量两线制传感器。不能够应用4线的传感器。应用PT500或者PT1000的温度测量的精度是完全满足热量表所规定的要求的。应用PT500或者PT1000传感器的时候，不需要两个参考电阻。一个典型的应用一个参考固定电阻的设置请参考图4-14当中。

TDC-SE822同时也支持PT100传感器的测量，但是测量的稳定性将有所下降。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4-14所示。这将有助于通过两点温度校准来弥补温度传感器在整个温度范围的增益偏移。

图 4.13: PT500 / PT1000 带有一个参考电阻的温度测量

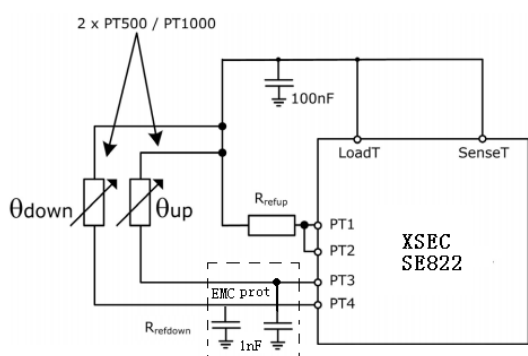
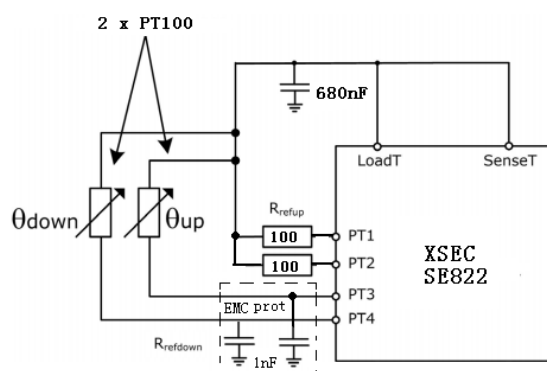


图 4.14: PT100 温度测量带有2个参考电阻



注：考虑到EMC保护，推荐在PT3、PT4管脚处各接1nF电容到地。

温度测量是完全自动完成的。通过单片机发送操作码Start_Temp 或者 Start_Temp_Restart. 通过发送 Start_Temp_Restart TDC-SE822 将会测量温度两次，两次之间的时间延迟为50 Hz/60 Hz的倍数。这将会有助于降低 50Hz/60Hz的噪声。

对于一次测量, TDC-SE822将会在顺序 PT1 > PT2 > PT3 > PT4端口实际温度测量前进行2次或者8次的热身测量。在4次实际测量结束之后，中断标志位将会被置位。TDC-SE821也可以按相反顺序进行温度测量，那么热身测量会从PT4端口开始。

4个测量结果将会在结果寄存器registers 0 到 3当中找到。根据Res_2/RES_1 和 RES_3/RES_4 单片机可以计算Rtemp/Rref的比率。再通过查询温度表格，那么可以获得传感器目前测量到的温度信息。

寄存器配置

寄存器 0, bit 15, 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, bit 16, TCYCLE 设置了温度测量的 cycle time周期时间。

TCYCLE = 0 128 μ s cycle time @ 4MHz

TCYCLE = 1 512 μ s cycle time @ 4MHz

寄存器 0, bit 17, 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, bit 11, 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, bit 15, 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, bits 18,19, 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 1
 = 1 1.5
 = 2 2
 = 3 2.5

寄存器 6, bit 30, 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SE821的外部施密特触发器电路完全兼容的。

NEG_STOP_TEMP = 0 不反向, TDC-SE821 兼容
 = 1 反向, 应用内部比较器时必须设置

推荐的放电电容值

放电时间大概是 150 μ s. 因此电容应该选取下列值:

PT500: 220 nF

PT1000: 100 nF

设置 Tcycle = 1 避免溢出错误

推荐的电容类型

为了能够达到精确的测量效果, 我们推荐电容有非常低的 dC/dU. 我们推荐的材料:

COG 系列类型电容或者太阳诱电公司的 CfCap系列

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 $2.5\mu\text{As}$ 。进行一次 30s 的温度测量（热量计的典型测量时间），平均电流消耗只有 $0.08\mu\text{A}$ ，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。

在温度测量过程中，START 使能输入必须要开启。

错误检测

温度测量单元还检查结果的可用性。它可以检测传感器是短路还是断路。然后 TDC-SE822 在相应的寄存器当中提供一个错误代码来代替一个测量结果。

1. 短路：相当于时间间隔太短 ($< 8 \times T_{\text{ref}} = 2 \mu\text{s} @ 4 \text{ MHz}$)，TDC-SE822 在输出寄存器中写入 0×0 。
2. 传感器断路：相当于没有停止信号或时间溢出，TDC-SE822 在输出寄存器中写入 hFFFFFFF 。

5 其它功能概述.....	54
5.1 振荡器.....	55
5.1.1 高速振荡器	55
5.1.2 32.768kHz 振荡器	55
5.1.3 校准高速陶瓷振荡器	55
5.2 脉冲发生器	58
5.2.1 概述	58
5.2.2 配置	58
典型应用	61
典型寄存器配置表	62

5.1 振荡器

TDC-SE822根据操作模式不同最多可接2个时钟信号：

- 高速时钟——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
- 对于EEPROM 32KHz时钟——用作内部定时器

5.1.1 高速振荡器

通常TDC-SE822会需要一个高速时钟单元进行校准，推荐高速时钟为4MHz，可以接受的范围在2-8MHz(在四精度模式中为2 - 6 MHz)。在测量范围2中TDC-SE822还需要高速时钟信号作为时间测量单元的一部分。同时，EEPROM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 μ A. 但是晶振仅在测量时间的时候需要，因此TDC-SE822可以通过内部电路控制晶振的开启时间。通过设置参数 START_CLKHS来完成。设置 START_CLKHS > 1 晶振将会在发送 Start_TOF, Start_TOF_Restart, Start_Temp 和 Start_Temp_Restart命令之后的测量中开启。在开启晶振与测量之间的一个延迟保证了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 测量前有 480 μ s 延迟.
- = 3 与‘2’相同，但延迟时间为 1.46 ms
- = 4 与‘2’相同，但延迟时间为 2.44 ms
- = 5 to 7 与‘2’相同，但延迟时间为 5.14 ms

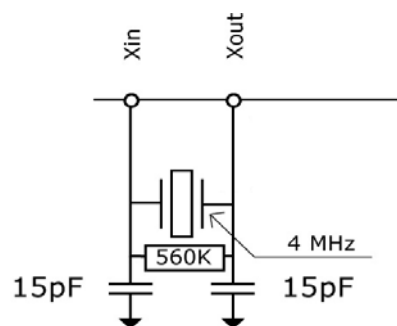


图 5-1

可以调节的延迟保证了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 480 μ s 则足以通过这种方式，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上下游时间测量，高速晶振的开启时间仅为大概2ms。那么评估功耗则为 $260 \mu\text{As} * 2 \text{ ms} = 0.52 \mu\text{A}$.

5.1.2 32.768 kHz 振荡器

TDC-SE822 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。在不用32kHz时钟的时候，CLKIn管脚必须要接地。此时钟也可以输出给外部单片机，可以通过以下两种设置：

SEL_TST01 = 7: 32 kHz 在 FIRE_IN 管脚输出
SEL_TST02 = 7: 4 kHz (32kHz/8) 在 EN_START管脚输出

同时也可以通过CLK320ut管脚输出一低频方波时钟。

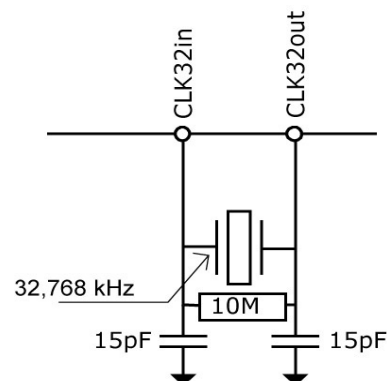


图 5-2

5.1.3 校准高速陶瓷振荡器

2-8MHz 的陶瓷振荡器成本低、启动快，所以采用这种振荡器还是吸引力的。但是它的误差较大，0.3—0.5%，并且具有明显的温漂。因此 TDC-SE822 会进行校准测量以此来补偿陶瓷振荡器的这种误差。测量以精确的 32.768 kHz 时钟为基准。TDC-SE822 从 32.768 kHz 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。单片机可以计算出陶瓷振荡器的频率误差。在register 0, ANZ_PER_CALRES中对校准进行设置，接收到单片机发出的“START_Cal_Resonator”命令开始进行校准。

被测时间间隔被ANZ_PER_CALRES设置为32.768kHz 时钟的周期数：

ANZ_PER_CALRES	= 0	2 个周期 = 61.035 μs
	= 1	4 个周期 = 122.07 μs
	= 2	8 个周期 = 244.14 μs
	= 3	16 个周期 = 488.281μs

测量结果要乘以高速时钟和高速时钟分频系数 DIV_CLKHS (DIV_CLKHS=1、2、4)。测量结果以带有 16 位整数部分和 16 位小数部分组成的 32 位固定浮点数给出。单片机可以把这个测量值与理论值进行比较然后计算出修正系数 RES_X / RES_{theor}。

例如：

系统采用 4MHz 的晶振。CLKHSDIV=0, ANZ_PER_CALRES=1, 理论结果应该是 122.0703125 μs/250ns = 488.28125 (RES_0 = 0x01E84800)。如果采用的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)。微控制器的修正因数是 1.005。注意在时钟校准过程中，START 输入使能必须要开启。

应用时钟校准，还有以下3点情况需要注意：

a. 应用

此应用非常适用于超声波流量/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。陶瓷振荡器的震动开启时间很短，因此电流就可以减少几微安消耗。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，采用此选项对测试精度并没有影响。

b. 32KHZ时钟的抖动和由此带来的影响

32KHZ时钟的频率非常精确，误差只是百万分之几。然而峰-峰值之间的相位抖动大约有3-5ns。因此校准测量（Start_Cal_Resonator）本身就具有误差。所以，当测量结果乘以校准结果时，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（见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。

c. 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。

5.2 脉冲发生器

5.2.1 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本频率。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。另外, 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-SE822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进行时钟同步输出。在应用模拟部分的时候, 不能够应用声环法这个功能。

5.2.2 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

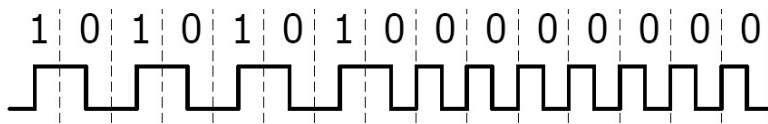
	= 127	127 个脉冲
SEL_START_FIRE	= 1	Fire脉冲直接给到 TDC的START信号
FIRE_DEFAULT	= 0	默认的状态 High_Z
	= 1	默认状态为 GND. 如果应用内部模拟部分, 必须要这样设置, 应用推荐的外部带有R, C的电路

相位:

在发射脉冲数不超过15个的情况下, 脉冲的相位可以在register 5中的Bits 0 到 15, 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开始到最高有效位MSB结束。

例如：

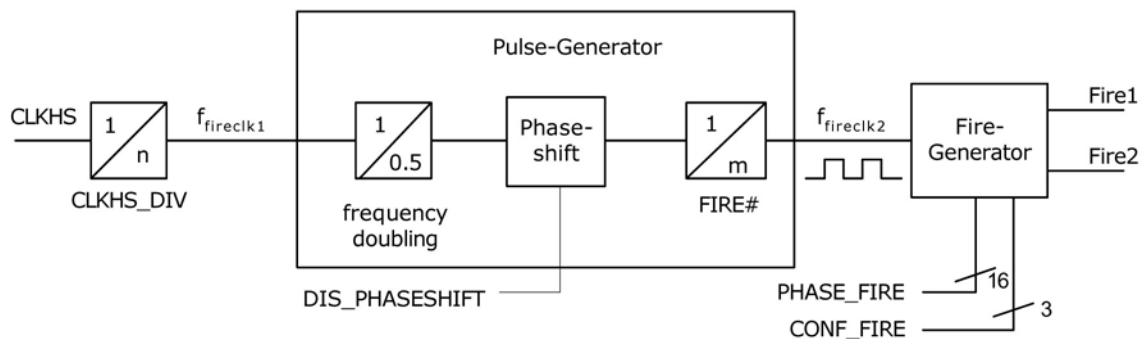
Fire# = 7, PHFIRE = 0x0055



脉冲发射的频率：

脉冲发生器的输入信号 $f_{fireclk1}$ 是从高速时钟CLKHS和所选择的高速时钟的分频因数 DIV_CLKHS 共同得出的。

图 5-3



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
2	除以 3
...	...
15	除以 16

设置寄存器5的Bit 27 ($DIS_PHASESHIFT$) 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

$$f_{fireclk2} = f_{fireclk1} \times \frac{2}{DIV_FIRE + 1}$$

$f_{fireclk2}$ 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。

例：

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	1 循环1次
...	...
= 7	7 循环7次

SE822只重复在FIRE#中设置的脉冲个数。如果在5 μs内没有接收到脉冲，则TDC-SE822探测脉冲序列中最后一个脉冲。

在应用内部模拟部分的情况下不能应用此功能。一定要注意 7 次循环的总时间不要超过 SE822 的测量范围！另外每次发送 Fire 都要触发 Start 或者上电复位，否则系统将会处于挂起状态！

5.3.1 典型寄存器配置表

寄存器	数值	典型的样例配置
Register 0	'hA30B6800	ANZ_FIRE = 10 (同时参见寄存器6) DIV_FIRE = 3, 脉冲发射频率 = 4 MHz/4 = 1.0 MHz ANZ_PER_CALRES = 0, 4MHz晶振通过一次 61.035μs 的测量进行校准 DIV_CLKHS = 0, 4 MHz 陶瓷晶振周期不分频作为内部时钟 START_CLKHS = 2, 陶瓷振荡器的启振等待时间为480 μs ANZ_PORT = 1, 应用所有的4个温度测量端口 TCYCLE = 1, 512 μs 作为温度测量的cycletime ANZ_FAKE = 0, 2 次温度热身测量 SEL_ECLK_TMP = 1, 应用 4 MHz晶振定义温度测量循环时间 CALIBRATE = 1, 在测量范围2必须要开启 NO_CAL_AUTO = 0, 在测量范围2必须设置为自动校准 MESSB2 = 1, 开启测量范围2 测量 > 2 μs的时差 NEG_STOP/NEGSTART = 0, 所有通道对于上升沿敏感 ID0 = h00
Register 1	'h21444000	HIT2 = 2, HIT1 = 1: 在测量范围 2 计算1. Stop - Start EN_FAST_Init = 0, 关闭 HITIN2 = 0 HITIN1 = 4, 测量3个stop脉冲(在测量范围2中, start也算一个脉冲个数. 总共为4个脉冲) CURR32K = 0, 应用默认 SEL_START_FIRE = 1, 应用芯片内部连接由fire脉冲直接驱动TDC startSEL_ TST02 = 0, EN_START 开启 SEL_TST01 = 0, FIRE_IN 管脚做为fire in ID1 = h00
Register 2	'hA0230000	EN_INT = b0101, 中断通过 time_out, ALU ready 或者 EEPROM 动作结束给出(同时参见寄存器 6) RFEDGE1 = RFEDGE2 = 0, 仅应用上升沿 DELVAL1 = 8960, 第一个波的接收时间是在70 μs之后 ID2 = h00
Register 3	'hD0510300	EN_AUTOCALC = 1, 自动计算所有3个脉冲 3 hits EN_FIRST_WAVE = 1, 开启第一波检测机制 EN_ERR_VAL = 0, 预留充足的时间可以读取状态寄存器 SEL_TIMO_MB2 = 2, 在start脉冲后 1024 μs 未收到信号则溢出 DELREL1 = 3, DELREL2 = 4, DELREL3 = 5, 在收到第一波之后测量 第3, 第4 和 第5 个stop脉冲 ID3 = h00

Register 4	'h20004A00	DIS_PW = 0, 脉冲宽度测量被开启 EDGE_PW = 0, 在上升沿测量脉冲宽度 OFFSRNG2 = 0, 不设置负值的offset OFFSRNG1 = 1, OFFS = 10: 总offset值为 = 20 mV + 10 mV = 30 mV ID4 = h00
Register 5	'h40000000	CON_FIRE = 2, 关闭 FIRE_UP, FIRE_DOWN = 开启. 如果应用了Start_TOF_Restart 操作码, 那么 FIRE_UP 和 FIRE_DOWN将会被交替的用于上游和下游的测量。在这里所描述的寄存器设置开启了一次下游测量循环 (FIRE_DOWN = 开启) EN_STARTNOISE = 0, 关闭 DIS_PHASESHIFT = 0, 噪声单元开启来更好降低系统误差 REPEAT_FIRE = 0, 无需声环法 PHASE_FIRE = 0, 在发射脉冲当中没有改变其相位 ID5 = h00
Register 6	'hc0C06000	EN_ANALOG = 1, 应用内部模拟比较器电路 NEG_STOP_TEMP = 1, 应用内部施密特触发器作为温度测量 DA_KORR = 0, 在寄存器 4中设置比较器offset TW2 = 3, 300 μ s 延迟来给高通电容进行充电 EN_INT = b1101, 中断由 time_out, ALU ready 或者 EEPROM 动作结束给出 (同时参见寄存器 6) START_CLKHS = 2, 陶瓷振荡器的启振等待时间为480 μ s (参见寄存器0) CYCLE_TEMP = 0, 在两个测量之间的延迟应用系数1.0 CYCLE_TOF = 0, 在两个超声波时差测量之间应用延时系数 1.0 HZ60 = 0, 50 Hz 为基础 FIREO_DEF = 1, 当应用内部模拟电路时必须开启 QUAD_RES = 1, 应用23 ps BIN DOUBLE_RES = 0 TEMP_PORTDIR = 0, 标准的温度测量顺序 ANZ_FIRE = 10 (同时参见寄存器 0) ID6 = h00

测试流程如下:

```

发送 S0 = ' h50          ;上电复位
标定时钟:
发送 S0 = ' h03 Start_Cal_Resonator
Check-loop INTN = 0?
发送 S0 = ' hB0, 读取 SI = RES_0
校准系数 = 61.035/RES_0
测量循环:
发送 S0 = ' h02 Start_Temp          ;温度测量每隔30 秒钟一次:
Check-loop INTN = 0?
发送 S0 = ' hB4, 读取 SI = STAT
STAT&' h1E00 > 0: -> Error routine
发送 S0 = ' hB0, 读取 SI = RES_0
发送 S0 = ' hB1, 读取 SI = RES_1
发送 S0 = ' hB2, 读取 SI = RES_2
发送 S0 = ' hB3, 读取 SI = RES_3
Rhot/Rref = RES_0/RES_1
Rcold/Rref = RES_3/RES_2          ;到单片机数据库表格中查找相应温度.
发送 S0 = ' h70 Initialize TDC    ;每半秒钟测量一次飞行时间间隔:
发送 S0 = ' h05 Start_TOF_Restart
Check-loop INTN = 0? (上游 TOF)
发送 S0 = ' hB4, 读取 SI = STAT
STAT&' h0600 > 0: -> Error routine,
timeout = 空管段.
发送 S0 = ' hB3, 读取 SI RES_3
发送 S0 = = ' h70 初始化
Check-loop INTN = 0? (下游 TOF)
发送 S0 = ' hB4, 读取 SI = STAT
STAT&' h0600 > 0: -> Error routine
发送 S0 = ' hB3, 读取 SI = RES_3          ;单片机现在可以开始进行数据处理然后
发送 S0 = ' hB8, 读取 SI = PW1ST        ;通过脉冲宽度检查信号强度:
                                          ;如果 PW1ST < 0.3 信号太弱, 则发出报警信
                                          号

```



XI' AN SUPERMICRO ELECTRONICS
CO., LTD

ph. 029-85836866

fax 029-85836866

e-mail:sale@xsec.com.cn,

www.xsec.com.cn