

勝特力材料 886-3-5753170  
勝特力电子(上海) 86-21-34970699  
勝特力电子(深圳) 86-755-83298787  
[Http://www.100y.com.tw](http://www.100y.com.tw)

# 时间数字转换器

临时数据手册

## TDC-GP22

超声波热表水表特定双通道时间数字转换器

2012年1月26日

版本号码.: DB\_GP22\_cn V0.1

**Published by acam-messelectronic gmbh**

© **acam-messelectronic gmbh 2011**

## **Disclaimer / Notes**

The information provided by this preliminary datasheet is believed to be close to the final product. However, it is theoretical and no responsibility is assumed by acam for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. The information is subject to change without notice and is provided „as is“ without warranty of any kind (expressed or implied). Picostrain is a registered trademark of acam. All other brand and product names in this document are trademarks or service marks of their respective owners.

## **Support**

For a complete listing of direct sales, distributors and sales representatives visit the acam website at:

<http://www.acam.de/company/distributors>

For technical support you can contact the acam support team in the headquarter in Germany or the Distributor in your country. The contact details of acam in Germany are:

[sales@acam.de](mailto:sales@acam.de) or by phone +49-7244-74190.

## 目录

1 概述	1-1
2 特性和规格	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 电气特性 2-2</li> <li>2.2 转换器规格 2-4</li> <li>2.3 时序 2-6</li> <li>2.4 管脚描述 2-8</li> <li>2.5 封装信息 2-9</li> <li>2.6 电源 2-11</li> </ul>
3 配置 & 读寄存器	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 配置寄存器 3-2</li> <li>3.2 读寄存器 3-4</li> <li>3.3 读寄存器 3-14</li> <li>3.4 EEPROM 3-16</li> <li>3.5 SPI-接口 3-17</li> </ul>
4 前端转换器	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 TDC 测量范围 1 4-2</li> <li>4.2 TDC 测量范围 2 4-8</li> <li>4.3 模拟输入部分 4-15</li> <li>4.4 第一波模式 4-16</li> <li>4.5 温度测量 4-21</li> </ul>
5 详细描述和特殊功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 振荡器 5-1</li> <li>5.2 脉冲发生器 5-4</li> <li>5.3 快速初始化 5-7</li> <li>5.4 噪声单元 5-7</li> </ul>
6 应用	6-2
7 其它	<ul style="list-style-type: none"> <li>7.1 错误报告 7-1</li> </ul>



## 1 概述

TDC-GP22 为TDC-GP21的下一代升级产品. 这颗芯片是与TDC-GP21芯片100%管脚和功能兼容的芯片, 而且带有更强大的功能. 尤其这颗芯片的最新第一波检测功能, 将使TDC-GP22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  $\pm 35 \text{ mV}$ , 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-GP21更加简单方便.

总而言之, TDC-GP22是简化超声波热量表设计的又一次性能提升, 而且是紧凑型超声波水表设计的非常重要的革命性的升级.

### 1.1 特性

#### 测量范围 2

- 单通道典型90 ps分辨率
- 双精度模式45ps, 四精度模式 22 ps
- 测量范围 500 ns 到 4 ms
- 3-个脉冲测量能力, 带有自动3个数据处理功能

#### 模拟输入电路

- 斩波稳定低漂移比较器, 可编程offset,  $\pm 35 \text{ mV}$
- 第一个波检测: 在第一波检测后比较器自动调整offset到0, 可以选择相对于第一个波的测量回波
- 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
- 用于输入选择的内部集成模拟开关
- 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个传感器, PT500/PT1000 或者更高
- 内部集成施密特触发器
- 应用外部施密特触发器16-位有效精度, 应用内部低噪声触发器 17.5-位有效精度
- 超低测量功能 (每30秒测量一次时为 $0.08 \mu\text{A}$ )

#### 特殊功能

- 脉冲发生器 最多可发 127 个脉冲
- 上升 和/或 下降沿触发
- 高精度stop屏蔽窗口设置
- 低功耗 32 kHz 振荡器 (500 nA)
- 时钟标定单元
- 7x32 位 EEPROM

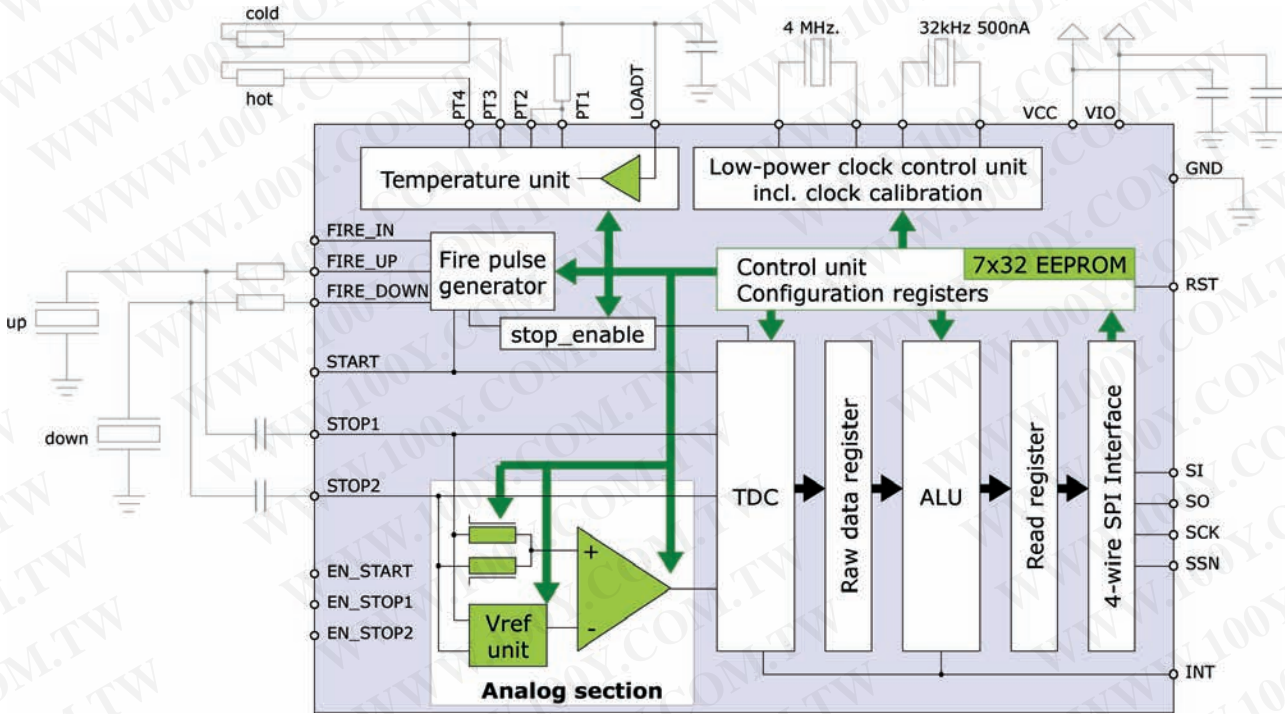
#### 测量范围 1

- 双通道典型精度 90 ps
- 单通道双精度 45 ps
- 测量范围 3.5 ns (0 ns) 到 2.5  $\mu\text{s}$
- 20 ns 最小脉冲间隔, 最多接受4个脉冲
- 在测量范围1中最高可达1百万次测量每秒

#### 综述

- 4-线制SPI接口
- 测量范围1当中最高可以测量每秒钟一百万次
- I/O 电压 2.5 V 到 3.6 V
- 核心电压 2.5 V 到 3.6 V
- 温度范围  $- 40 \text{ }^\circ\text{C}$  到  $+125 \text{ }^\circ\text{C}$
- QFN 32 封装

## 1 概述



### 1.2 方框原理图

### 1.3 订货号码

名称#	封装	数量; 包装	订货号码
TDC-GP22	QFN32	5000/3000; 卷装	MNR 1950
TDC-GP22	QFN32	490; 托盘	MNR 1949
GP22-EVA-KIT	系统	1; 盒装	MNR 1951

本产品满足ROHS要求, 不含铅.

<b>2</b>	<b>特性和规格</b>	<b>2-2</b>
2.1	电气特性	2-2
2.2	转换器规格	2-4
2.3	时序	2-6
2.4	管脚描述	2-8
2.5	封装信息	2-9
2.6	电源	2-11

## 2 特性和规格

### 2.1 电气特性

绝对最大额定值

供电电压

$V_{cc}$  vs. GND - 0.3 到 4.0 V

$V_{io}$  vs. GND - 0.3 到 4.0 V

$V_{in}$  - 0.5 到  $V_{cc} + 0.5$  V

存储温度 (Tstg) - 55 到 150 °C

ESD 评估 (HBM), 每个管脚 > 2 kV

最大结温 (Tj) max. 125 °C

推荐使用工作条件

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
$V_{cc}$	核心供电电压*	$V_{io} = V_{cc}$	2.5		3.6	V
$V_{io}$	I/O 供电电压		2.5		3.6	V
$t_{ri}$	一般输入上升沿时间				200	ns
$t_{fa}$	一般输入下降沿时间				200	ns
$t_{ri}$	Schmitt Trigger 上升沿时间				5	ms
$t_{fa}$	Schmitt Trigger 下降沿时间				5	ms
$T_a$	环境温度	$T_j$ 不能超过 125° C	-40		125	° C
$R_{th(j-a)}$	温敏电阻	结-环境		28		K/W

\*包括晶振管脚 XIN, XOUT, Clk32In, Clk32Out

直流电特性 ( $V_{io} = V_{cc} = 3.0$  V,  $T_j = -40$  到  $+85$  °C)

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
$I_{32}$	电流 32 kHz 晶振	$I_{cc} + I_{io}$ , 仅当 32kHz 晶振工作时		1.0		µA
$I_{hs}$	4 Mhz 晶振电流	$V_{cc} = V_{io} = 3.6$ V $= 3.0$ V 关闭		200 130 < 1		µA µA nA
$I_{tmu}$	时间测量单元电流	仅当时间测量开启		4		mA
$I_{ddq}$	静态电流	所有时钟关闭, @ 85 °C		< 0.1		µA
$I_o$	操作电流	TOF-UP/DOWN, 1/s 温度平均, PT1000, 1/30s		1.1 0.15		µA
$V_{oh}$	输出高电压	$I_{oh} = tbd$ mA $V_{io} = Min.$	0.8 $V_{io}$			V
$V_{ol}$	输出低电压	$I_{ol} = tbd$ mA, $V_{io} = Min$			0.2 $V_{io}$	V

## 2 特性和规格

符号	参数	条件	最小	典型	最大	单位
$V_{ih}$	输入高电压	LVTTL Level, $V_{io} = \text{Max.}$	$0.7V_{io}$			V
$V_{il}$	输入低电压	LVTTL 水平, $V_{io} = \text{Min.}$			$0.3V_{io}$	V
$V_{th}$	高平Schmitt trigger电压		$0.7V_{io}$			V
$V_{tl}$	低平 Schmitt trigger 电压				$0.3V_{io}$	V
$V_h$	Schmitt trigger 迟滞			0.28		V

## 终端等效电容

符号	终端	条件	额定值			单位
			最小	典型	最大	
$C_i$	数字输入	在 @ $V_{cc} = V_{io}$ , $f = 1 \text{ MHz}$ , $T_a = 25^\circ \text{ C}$ 测量获得		7		pF
$C_o$	数字输出					
$C_{io}$	双向			9		
	PT 端口			t. b. d.		
	模拟输入			t. b. d.		

## 模拟电路前端

符号	终端	条件	额定值			单位
			最小	典型	最大	
	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

## EEPROM

符号	终端	条件	最小值	单位
	数据保留时间 @ $85^\circ \text{ C}$	一般	10	年
		带有错误纠正	一般无限制	

## 2 特性和规格

### 2.2 转换器规格

时间测量单元 ( $V_{io} = V_{cc} = 3.0\text{ V}$ ,  $T_j = 25^\circ\text{ C}$ )

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
$\sigma$	标准偏差	测量模式 1 & 2: DOUBLE_RES = 0		t. b. d		ps
		DOUBLE_RES = 1		t. b. d		
		Measure mode 2: QUAD_RES = 1		t. b. d		ps
$t_m$	测量范围	测量范围 1	3.5 ns		2.4 $\mu\text{s}$ =26224 *LSB	
		测量范围 2	500 ns		4 ms	
INL	积分非线性度			< 0.1		LSB
DNL	差分非线性度			< 0.8		LSB

## 2 特性和规格

温度测量单元<sup>1</sup>

符号	终端	内部施密特触发器		外部施密特触发器 <sup>2</sup>		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 <sup>3</sup>	0.9912	0.9931	0.9960	0.9979		
		3.6 V	0.9923	0.9940	0.9962	0.9980	
	绝对增益 vs. $V_{io}$ <sup>3</sup>	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 (@ $dT = 100$ 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  $V_{io} = V_{cc} = 3.0$  V 获得,  $C_{load} = 100$  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

## 2 特性和规格

## 2.3 时序

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

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
$Clk_{32}$	32 kHz 参考晶振时钟		32,768		kHz
$t_{32st}$	32 kHz 晶振在上电后起振时间		3		s
$Clk_{HS}$	高速晶振参考时钟	2	4	8	MHz
$t_{oszsst}$	陶瓷晶振起振时间		100		$\mu s$
$t_{oszsst}$	石英晶振起振时间		1		ms

## 串行接口

符号	参数	最大 @ $V_{IO} =$		单位
		2.5 V	3.3 V	
$f_{clk}$	串行时钟频率	15	20	MHz

符号	参数	最大. @ $V_{IO} =$		单位
		2.5 V	3.3 V	
$t_{pwh}$	串行时钟, 脉冲高	30	25	ns
$t_{pwl}$	串行时钟, 脉冲低	30	25	ns
$t_{sussn}$	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

符号	参数	最大. @ $V_{IO} =$		单位
		2.5 V	3.3 V	
$t_{vd}$	在SCLK 上升沿到数据有效的时间	20	16	ns

串行接口 (SPI 兼容, 时钟相位 =1, 时钟极性 =0):

## 2 特性和规格

图 2.1: SPI 写时序

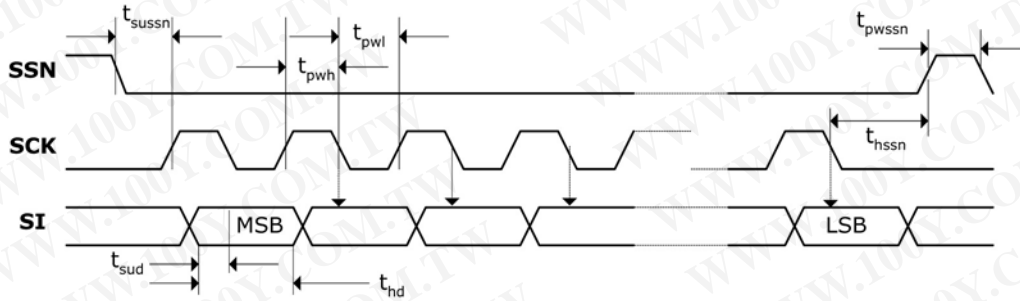
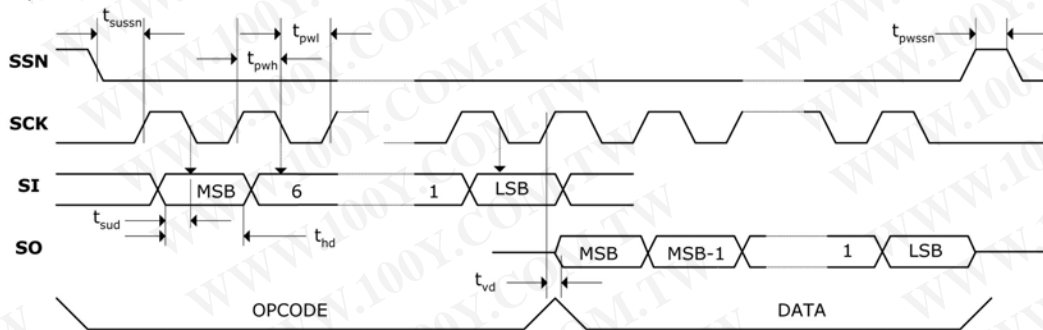
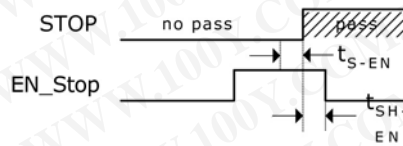


图 2.2: SPI 读时序



### 关闭的时序

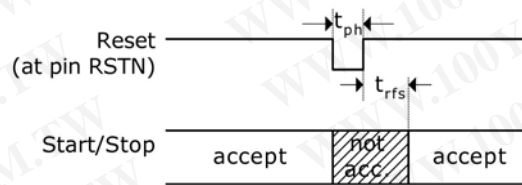
图 2.3:



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	-

### 复位时序

图 2.4:



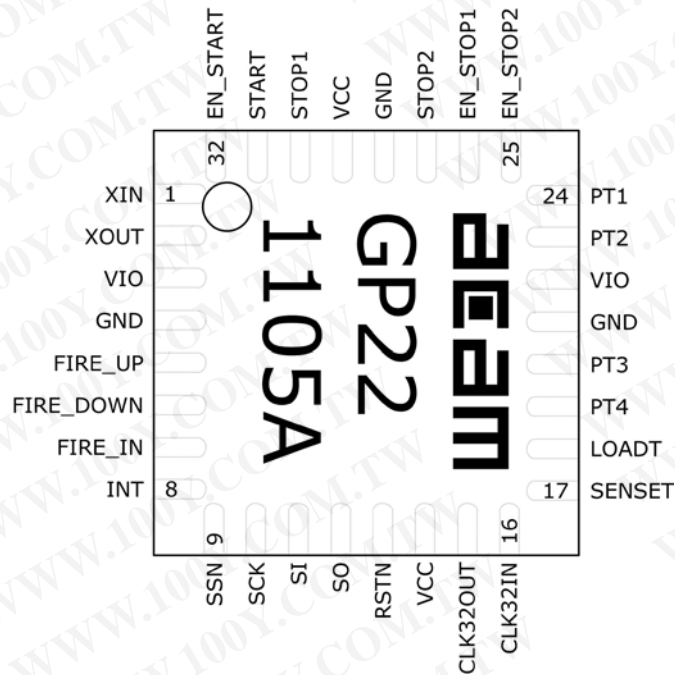
参数	描述	最小值 (ns)	Max (ns)
$t_{ph}$	复位脉冲宽度	t.b.d. ns	-
$t_{rfs}$	在复位脉冲上升沿后到可以接受脉冲之间的时间	t.b.d. $\mu$ s	-

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 特性和规格

### 2.4 管脚描述

图 2-5: TDC-GP22 管脚描述



号码	名称	描述	缓存类型	数值	如果不用
1	XIN	晶振驱动输入			GND
2	XOUT	晶振驱动输出			
3	VIO	I/O - 供电电压			
4	GND	地			
5	FIRE_UP	脉冲发生端口 1	48 mA		
6	FIRE_DOWN	脉冲发生端口 2	48 mA		
7	FIRE_IN	“声环法”信号输入端口			GND
8	INTN	中断标志	4 mA	低平有效	
9	SSN	串行接口从机选择		低平有效	
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	4 mA tristate		
13	RSTN	复位输入		低平有效	
14	VCC	核心电压			
15	CLK32OUT	32 kHz 时钟输出			不连接
16	CLK32IN	32 kHz 时钟输入			GND
17	SENSET	温度测量的sense输入	施密特触发器		GND
18	LOADT	温度测量Load输出	24 mA		不连接

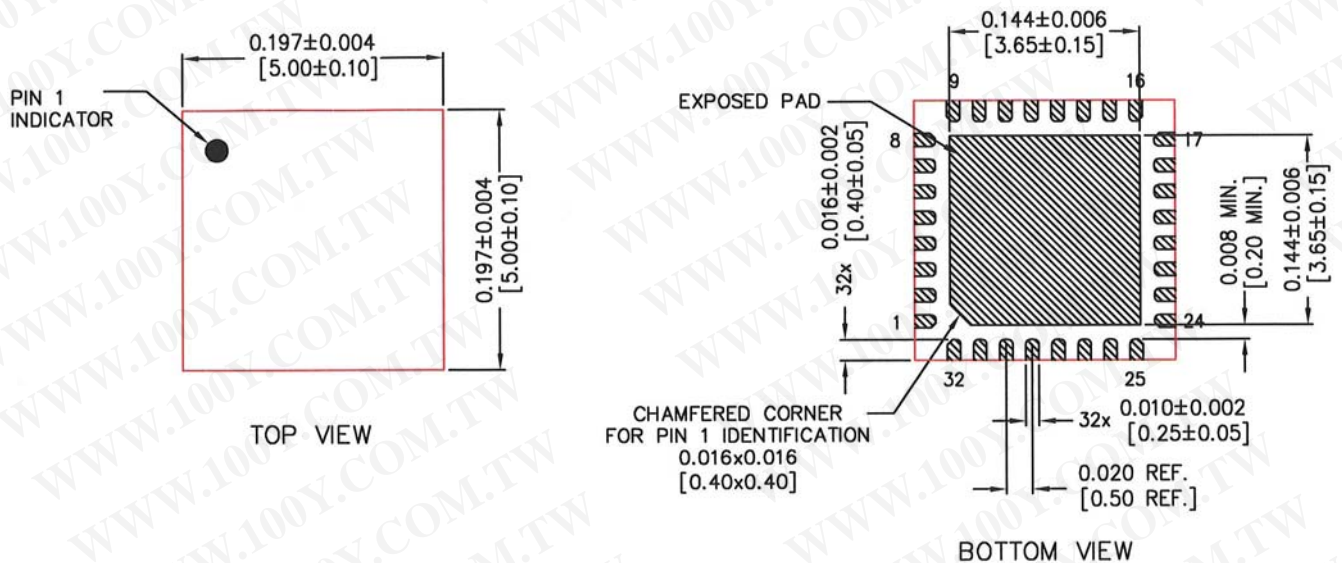
## 2 特性和规格

号码	名称	描述	缓存类型	数值	如果不用
19	PT4*	温度测量端口 4	> 96 mA open drain		
20	PT3*	温度测量端口 3	> 96 mA open drain		
21	GND	地			
22	VIO	I/O - 供电电压			
23	PT2*	温度测量端口 2	> 96 mA open drain		
24	PT1*	温度测量端口 1	> 96 mA open drain		
25	EN_STOP2	Stop通道 2 使能端口		高平有效	Vio
26	EN_STOP1	Stop通道 1 使能端口		高平有效	Vio
27	STOP2	Stop通道 2			GND
28	GND	地			
29	VCC	核心电压			
30	STOP1	Stop通道 1			GND
31	START	Start 通道			
32	EN_START	Start 通道使能		高平有效	Vio

\* 温度测量端口的 RDS(on): 典型 1.8 Ω @ 3.0 V

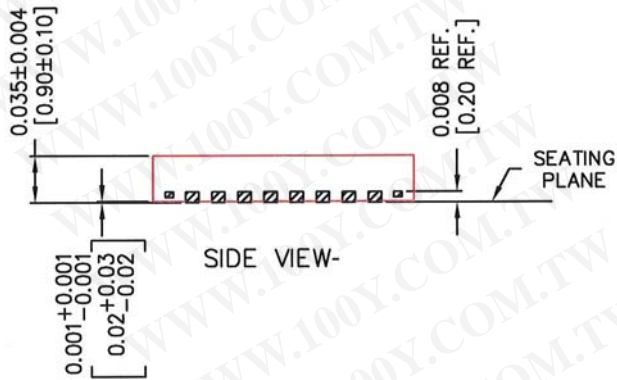
### 2.5 封装信息

图 2-6: QFN-32 封装尺寸, 5 x 5 x 0.9 mm<sup>3</sup>, 0.5 mm 引线间距



## 2 特性和规格

图 2-6b: QFN-32 封装尺寸, 5 x 5 x 0.9 mm<sup>3</sup>, 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 \* 3.65 mm<sup>3</sup>, 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.

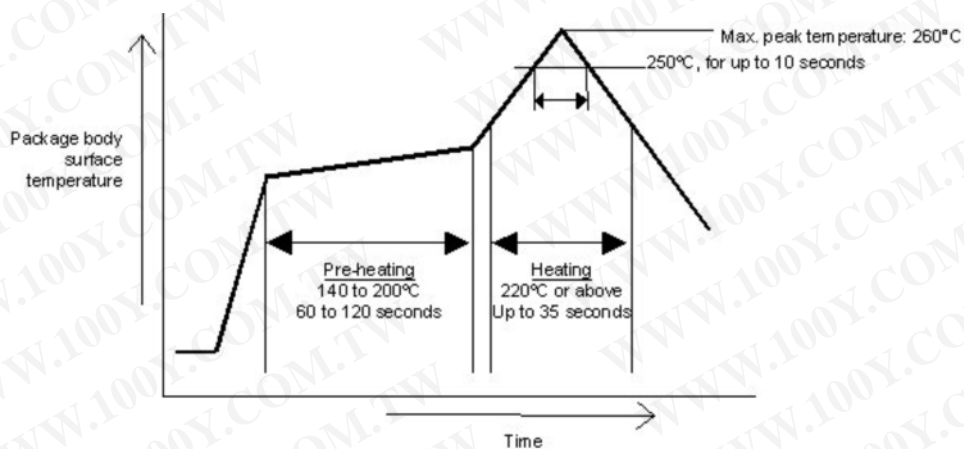
湿度分级 (MSL)

根据JEDEC 020 湿度敏感分级的定义, TDC-GP22 被划分为 MSL 3.

焊接温度曲线

红外回流炉 (温度为树脂表面温度) 的温度曲线应该在下面所描述的温度范围内取得如下.

图 2-7: 焊接温度曲线



## 2 特性和规格

### 最高温度

树脂表面的最高温度要求为指定 260°C 作为封装芯片表面的峰值温度，是由于在树脂表面的温度在 10 秒钟内不能超过250°C。此温度应尽可能的保持低温来减少由于在封装时的热干扰而带来的负荷，也就是说推荐使用较短的焊接时间。另外使用合适的温度曲线，我们也建议您认真地检查确认是否焊脚是好的焊接。

生产日期code格式：YYWWA：YY = 年，WW = 周，A = 装配流水代码

## 2.6 电源

### 电源电压

TDC-GP22 为高端数字模拟混合器件. 为了达到最佳测量效果, 好的电源是非常重要的. 电源应该具有高电容性和低电感性.

TDC-GP22 提供两对电源供应端口：

Vio - I/O 供电电压

Vcc - 核心供电电压

所有的 Ground 引脚都应该连接到印刷电路板的地层上. Vio 和 Vcc 应该通过一个电池或者固定的线性电压调节器给出. 不要应用开关式的调节器, 避免由于IO电压引起的干扰.

时间数字转换器能够有好的测量效果, 完全取决于好的电源供电. 芯片测量主要是脉冲式的电流, 因此一个充足的双通滤波非常重要：

Vcc            47  $\mu$ F            (最小 22  $\mu$ F)

Vio            100  $\mu$ F            (最小 22  $\mu$ F)

电压应用通过一个模拟的调节器给出. 我们推荐不要使用开关式的电压调节.

## 2 特性和规格

### 电流消耗

以下的耗电量是各个不同部分的耗电量的总和（所有数据均在  $V_{io} = V_{cc} = 3.0V$  条件获得）：

$I_{ddq} < 5 \text{ nA typ. @} 3.0V, 25^\circ \text{ C}$

静态电流, 32k晶振不工作

$I_{32} \text{ typ. } 1.0 \text{ } \mu\text{A}$

开启32k晶振后的休眠电流消耗

(GP22等待命令状态)

$I_{hs} \text{ typ. } 130 \text{ } \mu\text{A/s}$

在3V的时候流入高速晶振的电流

\* (处于激活状态的有效时间)

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

$$130 \text{ } \mu\text{A/s} * 2 \text{ ms} = 0.26 \text{ } \mu\text{A}$$

$I_{tmu} \text{ typ. } 4 \text{ mA/s}$

时间测量单元的输入电流。在测量范围1中每次进

\* (处于激活状态的有效时间)

行测量时, 时间测量单元在测量start-stop之间的时间间隔和测量相当于两个参考时钟周期的校准时间时处于激活状态。在测量范围2中每次进行测量时, 时间测量单元平均有四个参考时钟周期的时间处于激活状态。两个参考时钟周期的时间用于时间测量, 两个参考时钟周期的时间用于校准。例如：在测量范围2 中每秒钟10次测量, 4MHz参考时钟, 那么时间侧链单元的活动时间为大约10 $\mu$ s. 平均电流为

$$4 \text{ mA/s} * 10 \text{ } \mu\text{s} = 0.040 \text{ } \mu\text{A}.$$

$I_T$  典型值  $2.5 \text{ } \mu\text{As} * \text{测量频率}$

进行一次完整的温度测量的电流典型值是  $2.5 \text{ } \mu\text{As}$ 。在热量表中一般是30秒进行一次温度测量, 平均电流大约是  $0.085 \text{ } \mu\text{A}$

$I_{ana}$  典型  $0.8 \text{ mA}$

TDC-GP22内部集成的模拟电路部分在超声波飞行时间测量时的功耗. 模拟部分开启的时间为  $250 \text{ } \mu\text{s} + T_{oF}$  (超声波飞行时间).

$I_{total} 2.3 \text{ } \mu\text{A}$

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, 换能器和温度传感器的总体测量功耗.

<b>3</b>	<b>配置 &amp; 读寄存器</b> .....	<b>3-2</b>
3.1	配置寄存器 .....	3-2
3.1.1	按字母排列的寄存器配置参数 .....	3-2
3.2	读寄存器.....	3-4
3.3	读寄存器.....	3-14
3.3.1	结果寄存器 .....	3-14
3.3.2	状态寄存器 .....	3-16
3.3.3	PW1ST 寄存器 .....	3-16
3.4	EEPROM .....	3-16
3.5	SPI-接口.....	3-17
3.5.1	Opcode 操作码解释.....	3-19
3.5.2	SPI 通信样例 .....	3-20

## 3 配置 & 读寄存器

### 3.1 配置寄存器

TDC-GP22有7个32位的配置寄存器。高24位是用作配置，是只可以写入的。这些寄存器用于设置 TDC-GP22的操作。低8位可以用于比如存储产品ID的用途，可以被读回。

出于测试SPI通信的目的，可以写入寄存器1，然后从结果寄存器5的高8位将数据读回。

#### 注:

TDC-GP22的写配置寄存器全部与TDC-GP21寄存器兼容。另外，之前的没有应用到的寄存器3当中的位30, 31有了新的功能。尤其是位30是开启第一波识别功能的切换位。另外在寄存器3和4的位DELVAL2和DELVAL3也有了第二个意义。

为了可以让TDC-GP22正常工作，在整个电路上电后，需要给上电复位脚上电脉冲或者通过SPI命令进行上电。

#### 3.1.1 按字母排列的寄存器配置参数

表 3-1: 配置寄存器参数

参数	寄存器	位	默认值	新的或者修 订过
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	x
DELREL2	3	14-19	0	x
DELREL3	3	20-25	0	x
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	x
DIV_CLKHS	0	20,21	0	
DIV_FIRE	0	24-27	2	

### 3 配置 & 读寄存器

参数	寄存器	位	默认值	新的或者修 订过
DOUBLE_RES	6	12	0	
EDGE_FW	4	15	0	x
EN_ANALOG	6	31	0	
EN_AUTOCALC_MB2	3	31	0	x
EN_ERR_VAL	3	29	0	
EN_Fast_Init	1	23	0	
EN_FIRST_WAVE	3	30	0	x
EN_INT	2 6	29-31 21	1	
EN_STARTNOISE	5	28	0	
FIRE0_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	
IDO	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	
OFFS	4	8-12	0	x
OFFSRNG1	4	13	0	x
OFFSRNG2	4	14	0	x
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	

## 3 配置 & 读寄存器

参数	寄存器	位	默认值	新的或者修 订过
SEL_TSTO2	1	11-13	0	
START_CLKHS	0	18,19 20	1	
TCYCLE	0	16	0	
TEMP_PORTDIR	6	11	0	
TW2	6	22,23	0	

### 3.1.2

Bit number →	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
parameter →	param1						k.d.									
Default value →							1 1 0 0 1 0						1 0 1 0			

k. d. = 保留默认值

## 3.2 读寄存器

寄存器 0 (地址 0):

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0
ANZ_FIRE				DIV_FIRE																ID0				
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0

参数 (括号内为原GP2名称)	描述	设置
ANZ_FIRE (FIRE#)	设置了通过fire端口发射的脉冲个数. 另外的3位在寄存器6当中设置. 对于发射脉冲个数ANZ_FIRE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
DIV_FIRE	设置内部时钟信号产生脉冲的分频因数	0 = 不允许 1 = 2分频 2 = 3分频 3 = 4分频 ... 15 = 16分频
ANZ_PER_CALRES (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 μs 1 = 4 个周期 = 122.07 μs 2 = 8 个周期 = 244.14 μs 3 = 16 个周期 = 488.281 μs
DIV_CLKHS (ClkHSDiv)	设置CLKHS高速参考时钟的分频因数	0 = 不分频 1 = 2分频 2 = 4分频 3 = 4分频

### 3 配置 & 读寄存器

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 1 = 晶振持续开启 2 = 启振延迟时间 480 $\mu$ 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
ANZ_PORT (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
TCYCLE	设置温度测量的循环时间 cycle time	0 = 128 $\mu$ s cycle time @ 4 MHz 1 = 512 $\mu$ s cycle time @ 4 MHz (推荐)
ANZ_FAKE (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
SEL_ECLK_TMP (SelClkT)	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 $\mu$ s)
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)
NO_CAL_AUTO (DisAutoCal)	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
MESSB2 (MRange2)	选择测量范围 2	0 = 测量范围 1 1 = 测量范围 2
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
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
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
IDO	自由位, 比如可以应用于存储版本号码等	

## 3 配置 & 读寄存器

寄存器 1 (地址 1):

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0
HIT2				HIT1				HITIN2				HITIN1				SEL_TSTO2				SEL_TSTO1				ID1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0



参数	描述	设置	
HIT2	用于定义 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 = Cal1 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
HIT1	用于定义 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 = Cal1 Ch1 7 = Cal2 Ch1 9 = 1. Stop Ch2 A = 2. Stop Ch2 B = 3. Stop Ch2 C = 4. Stop Ch2	MRange2: 1 = Start
EN_FAST_INIT	启动快速初始化功能	0 = 关闭功能 1 = 启动功能	
HITIN2	在 stop 通道 2 的预期脉冲数	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	

### 3 配置 & 读寄存器

HITIN1	在 stop 通道1的预期脉冲数	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
CURR32K	32kHz晶振的低功耗选项。一般来说不需要应用高功耗选项(1)，低功耗 (0)也可以保证晶振的正常工作。	0 = 低电流 1 = 高电流
SEL_START_FIRE	fire脉冲用作触发 TDC start. Start输入将会被关闭.	0 = 与TDC-GP2相同 1 = 应用fire内部触发 Start
SEL_TSTO2	定义 EN_START管脚的功能. 除了在GP2中的功能之外, 这个管脚可以用于不同信号的输出. 如果设置 SEL_TSTO2 > 0 那么 EN_START内部将会被 = 高平 .	0 = GP2 功能相同, 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 6 = n. c. 不连接 7 = 4 kHz (32 kHz/8) 时钟
SEL_TSTO1	定义FIRE_IN 管脚的功能. 除了GP2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 = 与GP2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
ID1	自由位, 比如可以应用于存储版本号码等	

## 3 配置 & 读寄存器

寄存器 2 (地址 2):

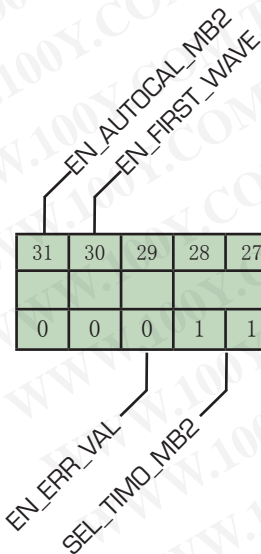
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0	
EN_INT					DELVAL1																		ID2		
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



参数	描述	设置
EN_INT	利用或门启动不同的中断触发 额外设置在寄存器 6 (同时参考寄存器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
RFEDGE2	通道2的边沿敏感性	0 = 上升或下降沿 1 = 上升和下降沿
RFEDGE1	通道1的边沿敏感性	0 = 上升或下降沿 1 = 上升和下降沿
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。Tref 的倍数, 14 位整数部分, 5 位小数部分	DELVAL1 = 0 到 16383.96875
ID2	自由位, 比如可以应用于存储版本号码等	

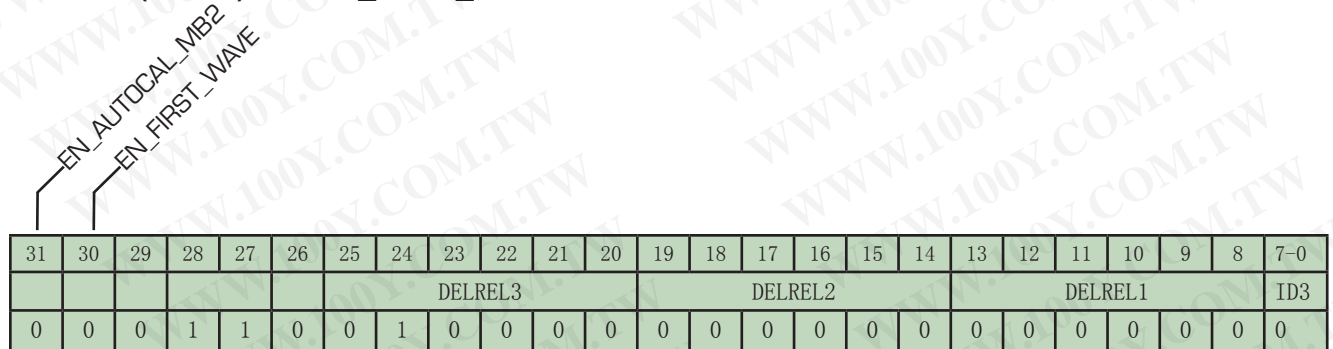
寄存器 3 (地址 3)设置 EN\_FIRST\_WAVE = 0:

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0
					DELVAL2																		ID3	
0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



### 3 配置 & 读寄存器

寄存器 3 (地址 3)设置 EN\_FIRST\_WAVE = 1:



参数	描述	设置
EN_AUTOCALC_MB2	仅在测量范围 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
EN_ERR_VAL	由于timeout强迫 ALU 写入 0xFFFFFFFF 到结果寄存器	0 = 关闭 1 = 开启
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
SEL_TIMO_MB2	在测量范围 2 内为溢出选择时间限制	0 = 64 μs 1 = 256 μs 2 = 1024 μs 3 = 4096 μs @ 4 MHz ClkHS
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
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
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
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
ID3	自由位, 比如可以应用于存储版本号等	

## 3 配置 & 读寄存器

寄存器 4 (地址 4) 当设置 EN\_FIRST\_WAVE = 0:

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0	
k. d.					DELVAL3																		ID4		
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

寄存器 4 (地址 4) 当设置 EN\_FIRST\_WAVE = 1:

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0
k. d.															OFFS							ID4		
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



参数	描述	设置
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
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
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
OFFSRNG2	增加额外的offset - 20 mV	0 = 关闭 1 = 开启
OFFSRNG1	增加额外的offset + 20 mV	0 = 关闭 1 = 开启
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 = -1 mV 17 = -2 mV ... 31 = -16 mV
ID4	自由位, 比如可以应用于存储版本号码等	

### 3 配置 & 读寄存器

寄存器 5(地址 5):

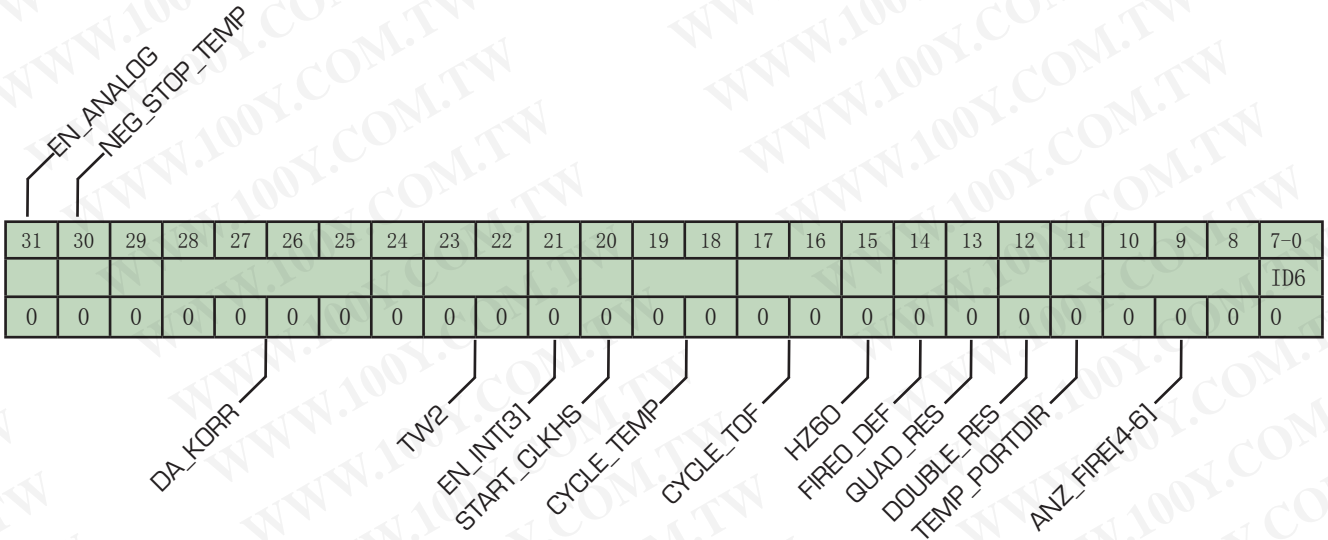
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0
PHFIRE																							ID5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CONF\_FIRE (bits 31-29)  
 EN\_STARTNOISE (bit 28)  
 DIS\_PHASESHIFT (bits 27-24)  
 REPEAT\_FIRE (bits 23-20)

参数	描述	设置
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 (反向 FIRE_DOWN) Bit 30 = 1: 关闭输出 FIRE_UP Bit 29 = 1: 关闭输出 FIRE_DOWN
EN_STARTNOISE	给start通道信号外加噪声	1 = 开启噪声单元
DIS_PHASESHIFT (DIS_PHASENOISE)	噪声单元. 当应用GP2参考时钟产生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, GP2必须设置为 1 0 = 开启
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 2 = 2 次重复 ... 7 = 7 次重复
PHASE_FIRE	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
ID5	自由位, 比如可以应用于存储版本号码等	

## 3 配置 & 读寄存器

寄存器 6 (地址 6):



参数	描述	设置
EN_ANALOG	开启在超声波流量测量中需要的模拟测量部分. 如果开启, 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 (与 TDC-GP2 兼容) 1 = 模拟部分开启.
NEG_STOP_TEMP	反向 SenseT 输入信号. 这个在内部比较器应用而不是如TDC-GP2应用外部比较器的时候必须开启	0 = 外部 74HC14 应用 (TDC-GP2 兼容) 1 = 应用内部施密特触发器
DA_KORR	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
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Timer	充电时间: 0 = 90 μs 1 = 120 μs 2 = 150 μs 3 = 300 μs
EN_INT	额外的中断管脚. 同时参见寄存器2的低三位 EN_INT. 不同的中断源内部通过 或门 连接. 一个 EEPROM 动作, 例如 EEPROM_COMPARE, 将通过TDC-GP22运行, 尤其是EEPROM写操作时需要持续最多130ms. 因此, 显示操作的结束非常有必要.	1 = EEPROM 动作结束

### 3 配置 & 读寄存器

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 $\mu$ s 延迟 3 = 1.46 ms 4 = 2.44 ms 5 到 7 = 5.14 ms
CYCLE_TEMP	选择触发第二次温度测量的Timer, 以50/60Hz的倍数给出	0 = 1 1 = 1.5 2 = 2 3 = 2.5
CYCLE_TOF	选择触发第二次时间测量的Timer, 以50/60Hz的倍数给出	0 = 1 1 = 1.5 2 = 2 3 = 2.5
HZ60	TDC-GP22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
FIREO_DEF	定义了非活动状态fire通道的默认水平。比如: 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 (如 GP2) 1 = 低
QUAD_RES	在测量范围 2 中将测量精度提高4倍从90 ps 到 22 ps	0 = 关闭 (TDC-GP2模式) 1 = 开启
DOUBLE_RES	在测量范围 2 中将测量精度加倍从90 ps 到 45 ps	0 = 关闭 (TDC-GP2模式) 1 = 开启
TEMP_PORTDIR	温度测量端口测量顺序反向	0 = PT1 > PT2 > PT3 > PT4 1 = PT4 > PT3 > PT2 > PT1
ANZ_FIRE[6:4]	高3位设置发出脉冲的个数。同时参见寄存器0。如果 ANZ_FIRE > 15 那么PHFIRE 对于脉冲相位的设置将不在有效.	0 = 关闭 1 = 1 个脉冲 2 = 2 个脉冲 ... 127 = 127 个脉冲

## 3 配置 & 读寄存器

### 3.3 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。

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 $2^{15}$ <span style="float:right"><math>2^{-16}</math></span>									
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									
8	PWIST	8	脉冲宽度的测量比值, 固定浮点数, 其中1位为整数									

#### 3.3.1 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。以下几点必须注意:

- 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 ' hFFFFFFF.

##### 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

### 3 配置 & 读寄存器

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。

$\text{Time} = \text{RES\_X} * \text{Tref} * 2\text{ClkHSDiv} = \text{RES\_X} * \text{Tref} * N$ , 当  $N = 1, 2$  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, TDC-GP21 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  $\text{DIV\_CLKHS}$  ( $\text{DIV\_CLKHS} = 1, 2, 4$ )。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。

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

对于放电时间的比值是与电阻的比值相同的:

$\text{RT} = \text{Rref} * \tau T / \tau \text{ref}$

## 3 配置 & 读寄存器

### 3.3.2 状态寄存器

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_eq_CREG	显示配置寄存器中的内容是否与 EEPROM中相同	1 = 相同
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_Error	在EEPROM中有一个错误并且被纠正	1 = 错误

### 3.3.3 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-GP22 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. 仅下面的三种操作是可以进行的:

- 写配置寄存器的内容到 EEPROM
- 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

除了ID之外, 是不能够读回EEPROM的内容的. 这将会提供给客户机会在编写这个芯片后, 其他人无法读取配置数据.

为了确认, 可以比较配置寄存器与EEPROM当中的内容是否一致. 在状态寄存器当中的 EEPROM\_eq\_CREG 位将会显示是否内容一致.

### 3 配置 & 读寄存器

EEPROM有一个内部的错误校准(校验码)。可以检测和纠正单个位的错误

- 可以检测多个位出现的错误但不能纠正,
- 可以检测多个位出现的错误并且纠正错误

错误会在状态寄存器中有显示, 在位 EEPROM\_Error (单个位检测) 和 EEPROM\_DED (多重错误检测)。

\*\*\*\*通过每次读操作/和比较EEPROM, 错误位都会被检查。一旦检查到一个单一的位错误的时候, 那么新的一个循环将会自动开启, 而数据将会被从新存储。

在 EEPROM中的数据可以在没有单一或者多重错误情况下保持大于10 年 @ 85 ° C . 通过经常性的应用 Compare\_EEPROM 命令 (例如每月一次) 数据保存时间是可以无限制的延伸的。

### 3.5 SPI-接口

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	- 时钟
SI	- 数据输入
SO	- 数据输出

TDC—GP22只支持以下 SPI 模式:

Clock Phase Bit = 1

Clock Polarity Bit = 0

在章节2.3中显示了时间限制。

第一个SCK的上升沿将会复位INTN管脚(中断管脚)状态。

#### SSN 作为复位

SerialSelectNot (SSN) 为高电平有效复位接口, SSN 为低电平时, 可以为不同的操作分配地址, 并不依赖复位前串口的状态。

#### 注释:

SSN需要强制置高电平。在每次 读/写 序列之间SSN保持高电平至少要50ns。

## 3 配置 & 读寄存器

### 操作码

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		
' hC5	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 (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		

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-GP2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(仅在TDC-GP22模式中)。

不能连续进行写操作。每个寄存器必须单独寻址。

### 3 配置 & 读寄存器

#### 3.5.1 Opcode 操作码解释

- hC0, hF0, hC5 全部是与EEPROM有关的操作码. 这些操作大致需要持续130ms, 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. 这一位可以用来提示单片机进行下一步的动作.
- h01, Start\_TOF: 触发一次时间测量. 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. 接受电容首先被充电到  $V_{ref}$  而不活动的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.
- 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

- 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.
- 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.

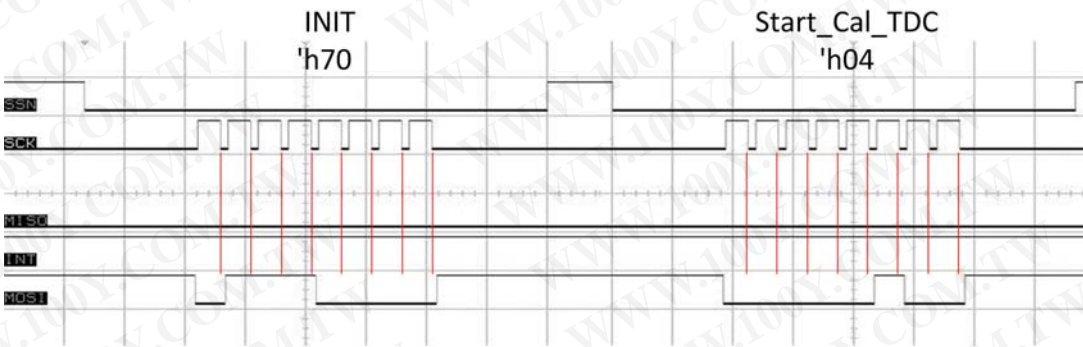
CYCLE_TEMP	factor	HZ60 = 0	HZ60 = 1
0	1	20 ms	16.67 ms
1	1.5	30 ms	25.00 ms
2	2	40 ms	33.33 ms
3	2.5	50 ms	41.67 ms

### 3 配置 & 读寄存器

- 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.

#### 3.5.2 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



<b>4</b>	<b>前端转换器 .....</b>	<b>4-2</b>
4.1	TDC 测量范围 1 .....	4-2
4.1.1	概述 .....	4-2
4.1.2	测量流程 .....	4-3
4.2	TDC 测量范围 2 .....	4-8
4.2.1	概述 .....	4-8
4.2.2	测量流程 .....	4-10
4.2.3	Stop 屏蔽 .....	4-14
4.3	模拟输入部分 .....	4-15
4.3.1	offset 设置 .....	4-16
4.4	第一波模式 .....	4-16
4.4.1	相关的寄存器配置 .....	4-20
4.5	温度测量 .....	4-21

## 4 前端转换器

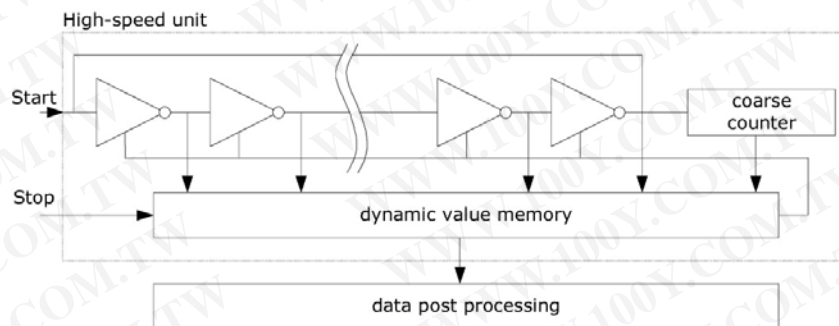
### 4.1 TDC 测量范围 1

#### 4.1.1 概述

- 测量范围从3.5ns到2.4us(0-2.4us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90ps
- 1个stop通道相对应一个start通道,典型精度为45ps
- 20ns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

数字时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阐述了这种绝对时间TDC的测量原理结构. 智慧的电路结构, 担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的被保证. 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, GP2 的最小分辨率是 90 ps。RMS 噪音大约是 60ps (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

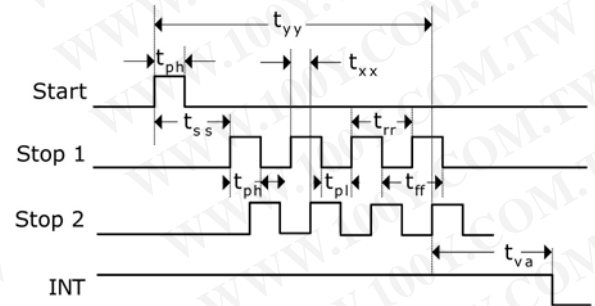
#### 4 前端转换器

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

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

	时间(条件)	描述
t <sub>ph</sub>	2,5 ns (min.)	最小脉冲宽度
t <sub>pl</sub>	2,5 ns (min.)	最小脉冲宽度
t <sub>ss</sub>	3.5 ns (min) 2.4 μs (max.)	Start 到 Stop 之间
t <sub>rr</sub>	20 ns (typ.)	上升沿到上升沿
t <sub>ff</sub>	20 ns (typ.)	
t <sub>va</sub>	t. b. d. 非校准 t. b. d. 校准后	最后一个脉冲出现后到 测量结果有效的 时间
t <sub>xx</sub>	无时间限制	
t <sub>yy</sub>	2.4 μs (max)	最大测量范围 = 26224 * LSB

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, REFDG<sub>x</sub> 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-GP22 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.

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

## 4 前端转换器

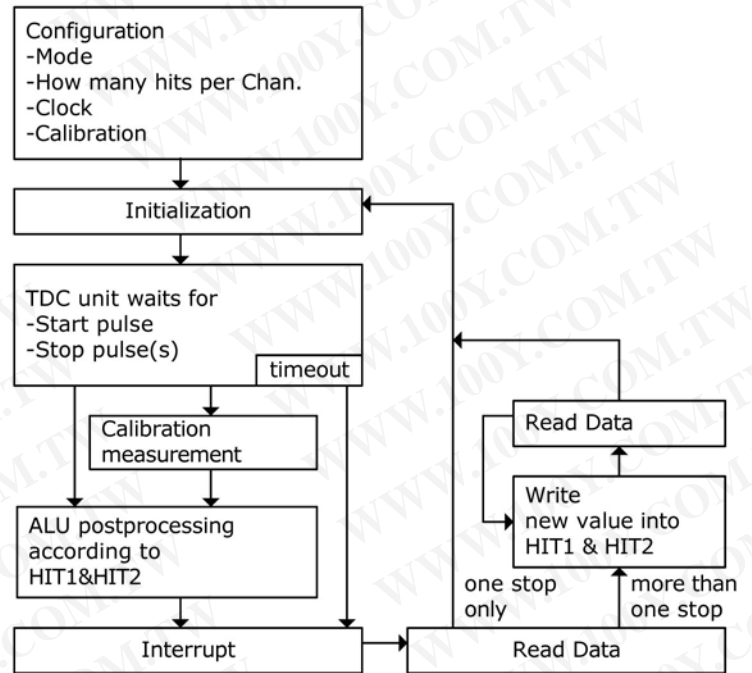
45ps而不是90ps. 但仅仅有一个stop通道可用.

### b. 选择参考时钟 (参见5.1)

Register 0的bits 18 & 19 和 register 6, bit 20, 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)

Register 0, bits 20 & 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  $2 * T_{ref}$  (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输出值为 0xFFFFFFFF。

图 4.3



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

### c. 设置所能接受的脉冲个数

用户可以在 register 1, bits 16-18 (HITIN1) 和 bits 19-21 (HITIN2) 中设定 TDC-GP22 要测量的脉冲的个数。每个通道最多可能测量 4 次。TDC-GP22 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-GP22 的 ALU 需要内部校正测量结果。可通过设 register 0 的 Bit13 (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 Ca11 和 Ca12 存储起来。

有两种方法可用来更新校准数据 Ca11 和 Ca12:

- 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

#### 4 前端转换器

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计算了 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 Ca11/Ca12 原始数据写入输出寄存器中)。

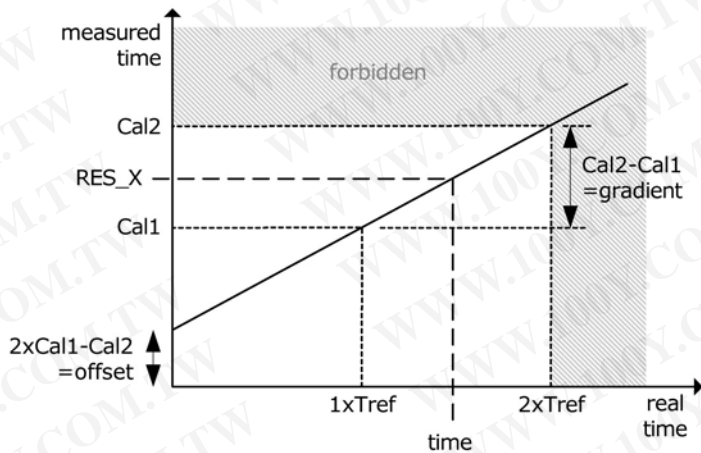
$$RES\_X = \frac{(HIT1 - HIT2)}{Cal2 - Cal1}$$

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

$$Time = RES\_X \times T_{ref} \times 2^{ClkHSDiv} = RES\_X \times T_{ref} \times N$$

N = 1, 2 或 4.

图 4.4



#### f. 选择输入触发方式

通过设置register 2的Bit27&28 (REFEDGE1 & FEDGE2), 用户可以选择STOP输入是上升沿/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

## 4 前端转换器

) 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) 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

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GP22 以便 TDC 能够接受 Start 和 Stop 信号.

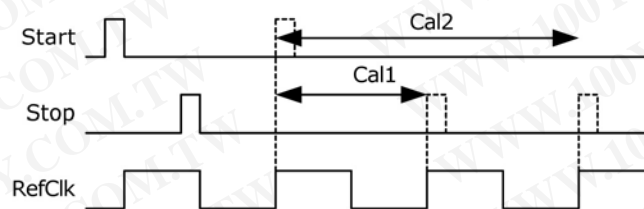
## 测量

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



## 4 前端转换器

### 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 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。

表 4.1: ALU 时序

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

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-GP22 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)。

#### 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  $\approx 90\text{ps}$  在 3.3 V 和 25 ° C 环境下。  
 $\text{Time} = \text{RES\_X} * 90 \text{ ps}$

#### 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。  
 $\text{Time} = \text{RES\_X} * T_{\text{ref}} * N$ ,  $N = 1, 2$  或 4

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

### 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-GP22 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 前端转换器

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.  $\mu$ s（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。

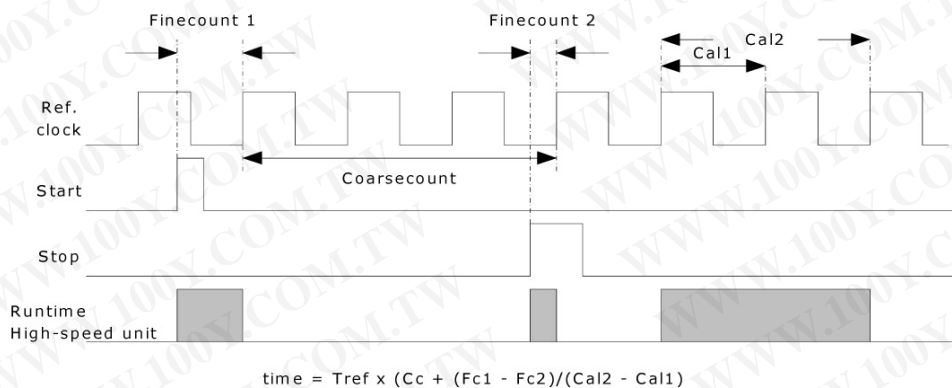
## 4.2 TDC 测量范围 2

### 4.2.1 概述

- 只有一个 Stop 通道对应 Start 通道
- 典型的分辨率为 22 ps / 45 ps / 90 ps
- 间隔脉冲对的分辨率为 2 x Tref 到 4 ms @ 4MHz
- 测量范围:  $2 \times T_{ref} \sim 4ms @ 4MHz$
- 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

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 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）。

图 4.6



## 4 前端转换器

3.6V 和 25° C时, TDC—GP2 的最小分辨率是 90ps。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。

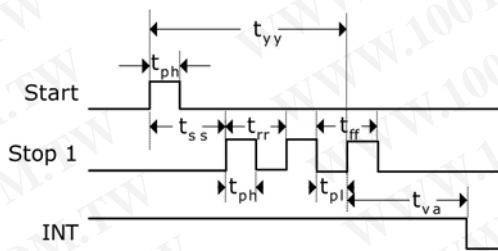
**校准数据是不受电压和温度的影响的。**

测量范围受限于粗计数器的大小:

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

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
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 to Stop @ Dis_PhaseNoise=1
trr	2*Tref	上升沿到上升沿
tff	2*Tref	下降沿到下降沿
tva	4.6 μs (max.)	ALU 开始到数据有效
tyy	4 ms (max)	最大测量范围(26224*LSB)

### 输入电路

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 的 bit 0 -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。

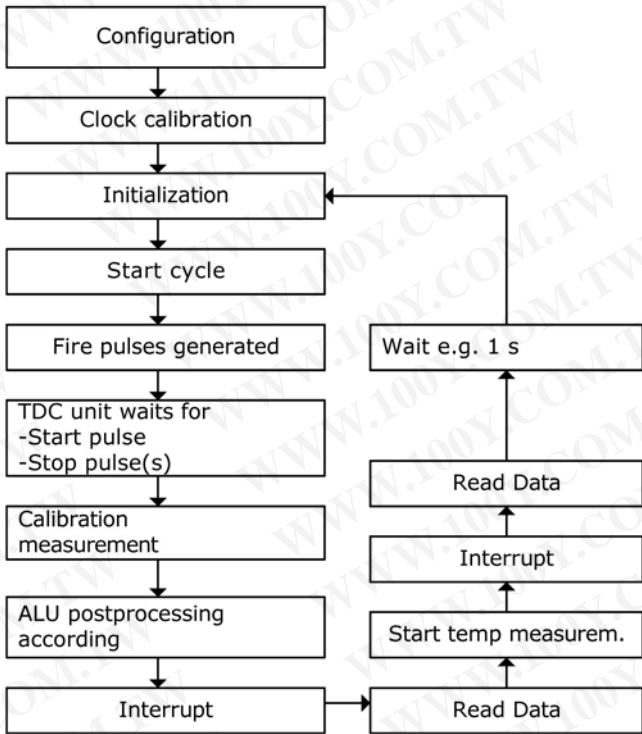
### 注:

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。

## 4 前端转换器

### 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 GP22 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 register 0, Bit11, MRange2 = 1.

#### b. 选择参考时钟

(同时参见章节 5.1)

在测量范围2中TDC—GP21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。

Register 0 的 bits 18&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”。

Register 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

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

最大时间间隔为

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

另外必须确保

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

否则 ALU 在校准时会溢出并输出数值 0xFFFFFFFF.

## 4 前端转换器

### 请注意:

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 2 Mhz 到 8 Mhz 的范围内, 在四精度模式中必须在 2 MHz ... 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-GP22 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-GP2 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 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。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 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, TDC-GP22 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-GP21 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 = ' h31xxxx = 计算 2nd Stop Ch1-Start

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

## 4 前端转换器

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GP22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.

## 4 前端转换器

### 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

	1 Hit	2 Hits	3 Hits
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 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

现在用户发送代码10110ADR就能够读数据了。接着进行32次循环（校准数据），TDC—GP21 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。

$$\text{Time} = \text{RES\_X} * T_{\text{ref}} * 2^{\text{ClkHSDiv}}$$

最后 TDC—GP22 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 Converter Frontend

## 4.2.3 Stop 屏蔽

如果不接受任何采样，TDC-GP22可以设置时基屏蔽窗口，用来屏蔽通道STOP1上3次hit中的任意一次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：

- 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

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

- 最短的屏蔽时间是 3个时钟周期
- 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 \* 2<sup>1</sup> = 200 μs)

DELVAL2 = ' h3300 在start信号204 μs后才允许接受第二个脉冲  
(13056/32 \* 250ns \* 2<sup>1</sup> = 204 μs)

DELVAL3 = ' h3400 在start信号208 μs后才允许接受第三个脉冲  
(13312/32 \* 250ns \* 2<sup>1</sup> = 208 μs)

## 4 Converter Frontend

### 4.3 模拟输入部分

相比较TDC-GP2而言，TDC-GP22内部集成了一个额外的模拟电路输入部分，这个部分可以作为数字输入部分的一个替代输入。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。

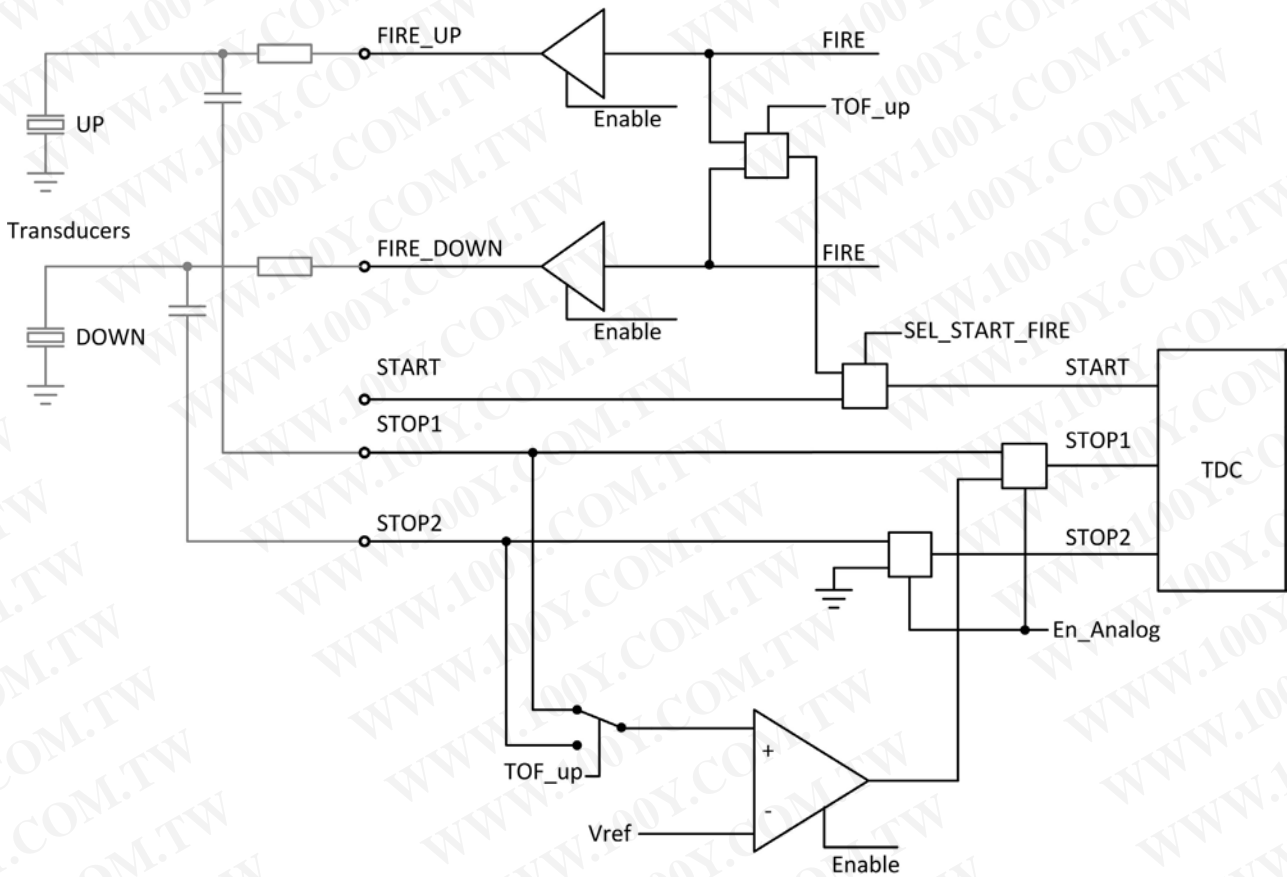
所有的元件都通过TDC-GP22的控制单元进行控制。他们仅在测量的过程中开启来降低整体测量功耗。

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：

- 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。
- 比较器，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  $V_{ref}$ 。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 START信号。
- 所设置的fire脉冲数目将会通过fire up缓冲在管脚FIRE\_UP发送。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 在延时之后，相同的过程将会在下游测量当中再重复一次

## 4 前端转换器

图4.9:



### 4.3.1 offset设置

比较器的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, 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. 参见章节4.4获得细节的信息。

### 4.4 第一波模式

TDC-GP22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:

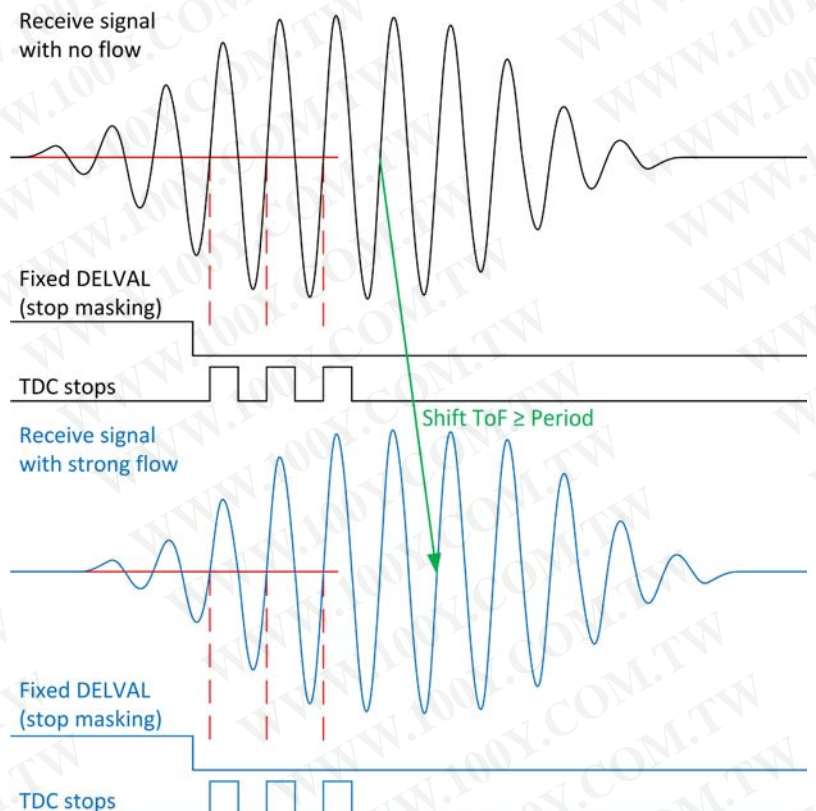
#### 4 前端转换器

- 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
- 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）
- 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。
- offset低噪声，可以给出空管段信号

图4-10 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。仅通过固定的stop时间使能窗口（固定DELVAL数值）是不能够判出是否飞行时间的变化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，而且可以处理当外界影响大于1个超声波周期时的情

图 4-10: 动态流体测量中的典型误差

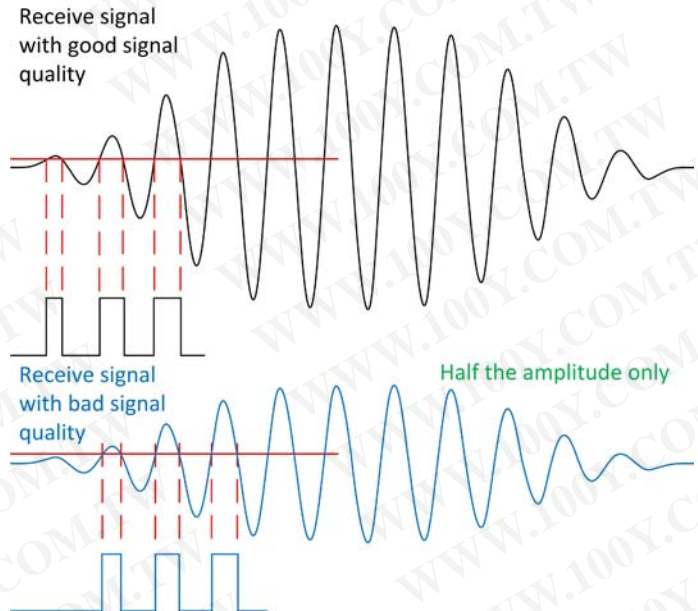


## 4 前端转换器

况。

另外还有一种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。这些将会导致测量信号的衰减从  $\pm 400 \text{ mV}$  到  $< \pm 80 \text{ mV}$ 。图 4-11 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 4-11: 由于信号较弱而导致错误测量



通过TDC-GP22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。

下面的图显示了TDC-GP22第一波模式的测量流程。

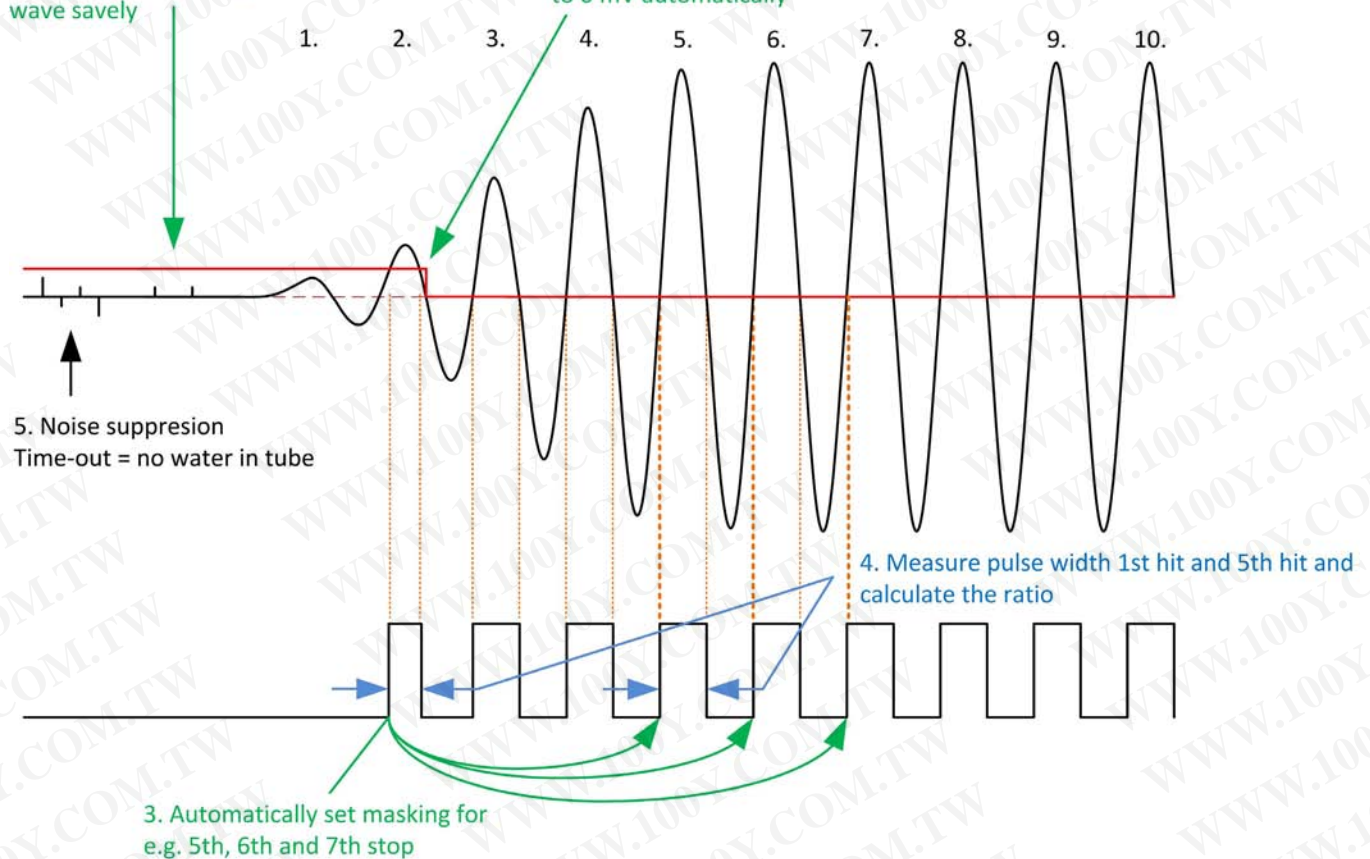
1. 通过脉冲发生器，然后将第一波检测所需的比较器的offset水平设置到一个可编程的水平。DELVAL1 的stop屏蔽窗口是用于抑制stop脉冲前这段时间的噪声，可以大致的设定到飞行时间stop到达通道之前。其它的噪声将会进一步的通过比较器的offset来抑制，直到接收到的信号达到了offset所设置的振幅水平。
2. TDC-GP22 测量了在第一个波上升沿和下降沿的时间宽度。然后，它将会自动地设置offset回0mV。因为芯片的offset的温度漂移是小于1mV的，测量的漂移是非常小的。
3. 3个时间测量的屏蔽窗口则是在参数DELREL1到 DELREL3设置, 设置的是想对第一个波的脉冲。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4-2中，这个则是第5个脉冲的宽度. 而比率  $\text{hwp}_{\text{first wave}} / \text{hwp}_{\text{first ToF}}$  一般来说是在0-1范围之内的数据。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，那么这个信号的比值可能会降低到低于 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

#### 4 前端转换器

图 4-12: 第一波模式

1. Programmable trigger level is set to e.g. +20 mV to get the 2nd wave safely

2. Afterwards, it is set back to 0 mV automatically



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-GP22 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，这个平均值在寄存器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-GP21当中再对寄存器1从新发送命令。

6. 一旦管段为空管的情况，那么将不会有任何stop信号产生。那么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。

## 4 前端转换器

### 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到寄存器4中。

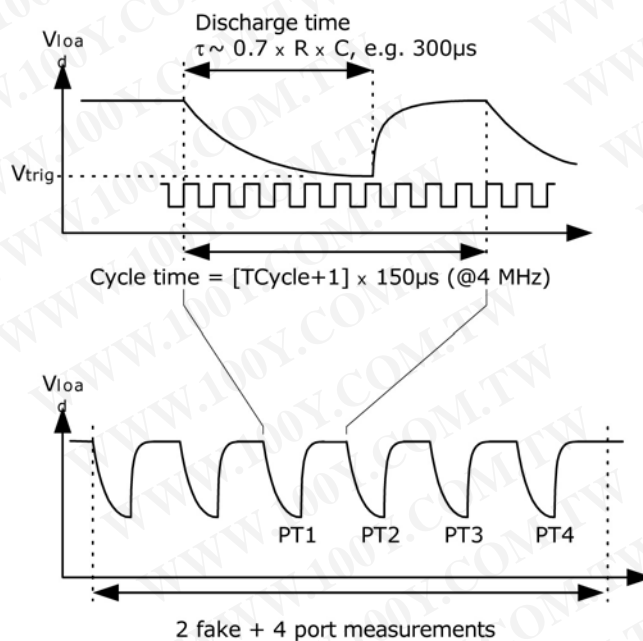
## 4 前端转换器

### 4.5 温度测量

尤其对于热量表应用而言，TDC-GP22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-GP2的一个提升，TDC-GP22将一个比较施密特门集成到了芯片内部。

图 4.13



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够超过3m。TDC-GP22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-GP22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4-15所示。这将有助于通过两点温度较准来不成温度传感器在整个温度范围的增益偏移。

## 4 前端转换器

图 4.14: PT500 / PT1000 带有一个参考电阻的温度测量

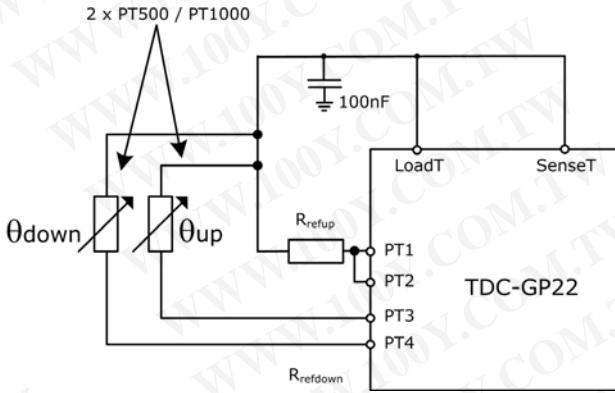
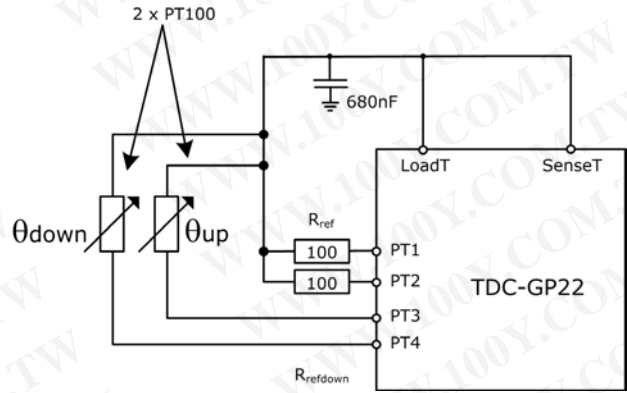


图 4.15: PT100 温度测量带有2个参考电阻



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-GP22 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-GP22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-GP21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  $\mu$ s cycle time @ 4MHz

TCYCLE = 1                      512  $\mu$ 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

#### 4 前端转换器

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GP2的外部施密特触发器电路完全兼容的。

NEG\_STOP\_TEMP = 0      不反向, TDC-GP2 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  $\mu$ 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

**在热量表应用当中请不要使用 X7R 或者相似的电容材料.**

## 4 前端转换器

### 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 $\mu$ 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 $\mu$ 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。

**注：** 在温度测量过程中，START 使能输入必须要开启

### 错误检测

额外的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-GP22 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 ( $< 8 \times T_{ref} = 2 \mu s @ 4 MHz$ )，TDC-GP22在输出寄存器中写入0x0.
2. 传感器断路：相当于没有停止信号或时间溢出，TDC-GP22 在输出寄存器中写入 'hFFFFFFF'.

表 4-4: 模拟规格

符号	终端	内部施密特触发器		外部施密特触发器 <sup>2</sup>		单位	
		PT500	PT1000	PT500	PT1000		
	RMS精度	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		
		3.6 V	0.9923	0.9940	0.9962	0.9980	
	绝对增益 vs. Vio <sup>3</sup>	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. Vio		0,25	0.23	0.06	0.04	%/V
	最大增益误差 (@ d $\Theta$ = 100 K)		0,05%	0,05%	0,02%	< 0.01%	

## 4 前端转换器

增益漂移 vs. 温度	0.022	0.017	0.012	0.0082	%/10 K
增益漂移 vs. Vio			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

<sup>1</sup> 所有测量值在  $V_{io} = V_{cc} = 3.0 \text{ V}$ ，应用PT1000传感器，选择  $C_{load} = 100 \text{ nF}$ ，应用PT500传感器选择  $C_{load} = 200 \text{ nF}$  情况下获得，电容均为COG类型。

<sup>2</sup> 通过外部74AHC14施密特触发器测量

<sup>3</sup> 与一个理想增益为1情况比较

### 增益误差和数学算法补偿

GP22的温度测量是基于acam公司的PICO STRAIN测量原理的。这里温度传感器的电阻变化被转换为高精度的时间间隔测量。因此，施密特触发器的延迟时间将会引入非常显著的增益误差，那么导致测量结果相比较理想的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。那么对于这个系数的校正如下：

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

与

$T_{\text{corr}}$ : 增益校正后的温度结果

$T_{\text{uncorr}}$ : 没有进行增益校正的温度结果

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以被降低到引起增益误差为仅满刻度的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（GP21内部或者外部74AHC14）
- GP21 供电电压

相应的增益纠正系数在表格4.3(“绝对增益 vs. Vio”)当中提供。

## 4 Converter Frontend

### 重要注释：

对于外部施密特触发器的增益纠正系数是根据74AHC14来获得的。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，我们强烈推荐应用74AHC14作为外部的施密特触发器。

#### 例1

应用PT1000温度传感器，GP21内部施密特触发器和3V供电电压。根据表格4.3，需要选择增益的系数为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PT1000温度传感器，外部的74AHC14施密特触发器和3.6V供电电压。表4.3给出的增益系数为0.9980。那么增益纠正后的结果可以通过下面公式进行：

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}}/0.9980$$

## 5 详细描述和特殊功能

### 5.1 振荡器

TDC-GP22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-GP22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2-8MHz(在四精度模式中为2 - 6 MHz )的高速时钟用。在测量范围2中TDC-GP22还需要高速时钟信号作为时间测量单元的一部分。最后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  $\mu$ A. 但是晶振仅在测量时间的时候需要，因此TDC-GP22可以通过内部电路控制晶振的开启时间。设置是通过参数 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  $\mu$ 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

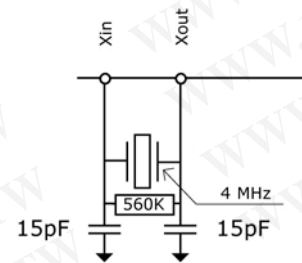


图 5-1

上面的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  $\mu$ 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  $\mu$ As \* 2 ms = 0.52  $\mu$ A.

## 5 详细描述和特殊功能

### 5.1.2 32.768 kHz 振荡器

TDC—GP22 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。它也可用作一完整驱动器。

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。

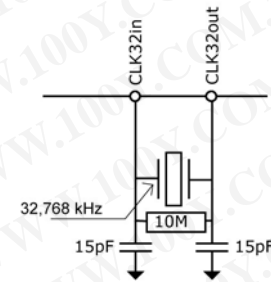


图 5-2

低功耗的时钟内部可以给到一个输出管脚，可以输出给外部的单片机，可能的设置为：

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

同时也可以通过外部的低频率方波提供给芯片的CLK32Out管脚(3.6 V 最大.)。

### 5.1.3 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—GP22 会进行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 32.768 kHz 时钟为基准。TDC—GP22 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设定，ANZ\_PER\_CALRES设定了32.768kHz 时钟的周期数：

ANZ_PER_CALRES	= 0	2 个周期 = 61.035 $\mu$ s
	= 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

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 。

## 5 详细描述和特殊功能

例如:

系统采用 4MHz 的晶振。CLKHSDIV=0, ANZ\_PER\_CALRES=1, 理论结果应该是  $122.0703125 \mu\text{s}/250\text{ns} = 488.28125$  (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:

在时钟校准过程中, START 输入使能必须要开启

### 5.1.4 如何使用时钟校准

#### a. 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。陶瓷振荡器的震动开启时间很短, 因此电流就可以减少几微安。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。

#### 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 详细描述和特殊功能

### 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-GP22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 (GP2 兼容)
	= 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

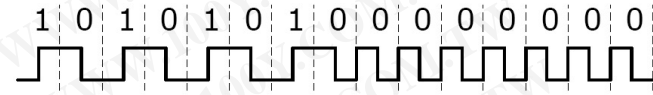
##### 相位:

在发射脉冲不超过15个脉冲的情况下, 脉冲的相位可以在register 5进行定义, 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开始以最高有效位MSB结束。

## 5 详细描述和特殊功能

例如:

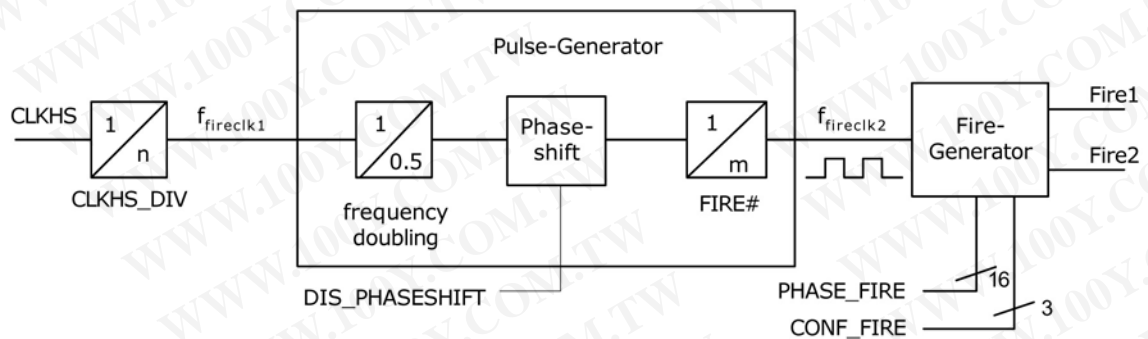
Fire# = 7, PHFIRE = 0x0055



### 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和所选择的高速时钟的分频因数DIV<sub>CLKHS</sub>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<sub>FIRE</sub>进行分频。

DIV <sub>FIRE</sub> = 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。

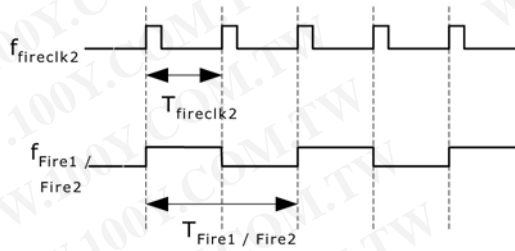
DIS_PHASESHIFT = 0	移动功能开启
DIS_PHASESHIFT = 1	移动功能关闭

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

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。

5 详细描述和特殊功能

图 5-4



如图 所示至少需要两个  $T_{fireclk2}$  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:

$$CLKHS = 4 \text{ MHz}, \text{ DIV\_CLKHS} = 1, \text{ DIV\_FIRE} = 1$$

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

FIRE\_UP / FIRE\_DOWN 输出信号的最大频率:

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

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

GP22只重复在FIRE#中设置的脉冲个数。如果在5μs内没有接收到脉冲，则TDC—GP22探测脉冲序列中最后一个脉冲。

注:

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 GP22 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 详细描述和特殊功能

### 5.3 快速初始化

在测量范围 1 中，TDC-GP22 提供了快速初始化的可能。设置 register 1 的 Bit 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。

### 5.4 噪声单元

如果用户想通过取平均值来提高测量结果，则不必同步显示出时差的数值。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 register 5 的 Bit20 (EN\_STARTNOISE) = „1“可以开启噪声单元。

5 详细描述和特殊功能



6 应用 .....6-2

6.1 超声波热量表 ..... 6-2

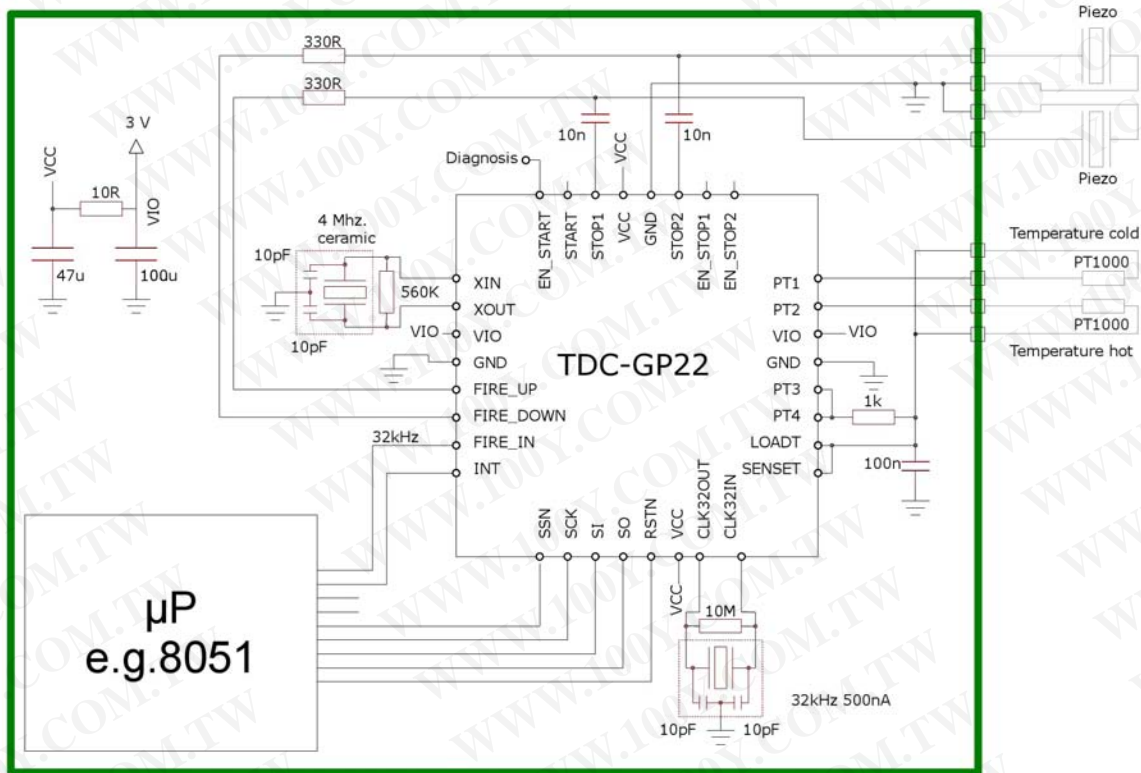
## 6 应用

### 6.1 超声波热量表

TDC-GP22完美适合超声波热量表的设计和应用。由于芯片内部继承的功能,包括第一波自动检测功能,高精度温度测量,脉冲发生装置,模拟开关,比较器,窗口功能以及时钟标定等,仅需要外部加一个简单的单片机(无需带有任何AD转换器)就可以进行非常高质量的测量。

终的电路可以实现的非常紧凑,尺寸可以做到非常小。下面的图表显示了一个典型的超声波热量表应用TDC-GP22设计的整个电路。

图 6.1



红色的部分为所需要的外部元件. 整体元件的个数降到最低:

- 在超声波回波路径当中, 仅在压电陶瓷换能器连接到一对RC上.
- 在温度测量路径当中, 仅有额外的一个温度稳定电阻以及放电电容
- 作为振荡器我们则选择了一个32. 768Khz石英晶体以及一个4M的陶瓷晶振. FIRE\_IN管脚可以用于32. 768KHz晶振的输出驱动. 因此单片机不需要一个低功耗的振荡器.
- 对于电源部分则需要应用旁通电容来给VCC和VIO去藕. 分别通过一个小的电阻来进行分离.

总共仅需要11个低价的元件来进行所有测量工作.

## 6 应用

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 61.035 $\mu$ s 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 $\mu$ s ANZ_PORT = 1, 应用所有的4个温度测量端口 TCYCLE = 1, 512 $\mu$ s 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 $\mu$ s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 $\mu$ s之后 ID2 = h00
Register 3	'hD0510300	EN_AUTOALCALC = 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 $\mu$ s 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

## 6 应用

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 μs 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 μs (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 FIRE0_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

## 6 应用

**测量流程:****上电复位:**

发送 S0 = ' h50

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:**

温度测量每隔30 秒钟一次:

发送 S0 = ' h02 Start\_Temp

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.

每半秒钟测量一次飞行时间间隔:

发送 S0 = ' h70 Initialize TDC

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 TDC

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

μP 单片机现在可以开始进行数据处理然后  
计算热量和流量的值。

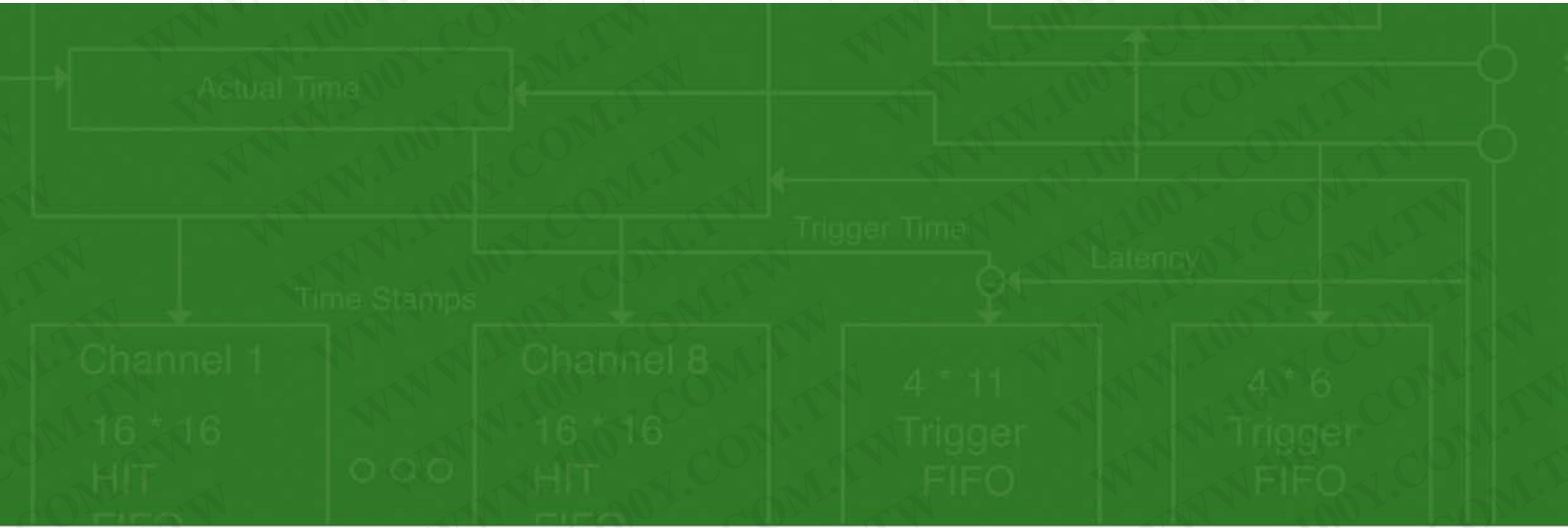
通过脉冲宽度检查信号强度:

发送 S0 = ' hB8, 读取 SI = PW1ST

如果 PW1ST < 0.3 信号太弱, 则发出报警信  
号

## 6 应用

### 6.2 超声波水表



acam-messelectronic gmbh  
Friedrich-Liest-Str. 4  
76297 Stutensee-Blankenloch  
Germany / Allemagne  
ph. +49 7244 7419 - 0  
fax +49 7244 7419 - 29  
e-mail: support@acam.de  
www. acam. de