



# TDC7200数字时间转换器，用于激光雷达、磁致伸缩和流量计

## 1 功能

- 分辨率：55ps
- 标准偏差：35ps
- 测量范围：
  - 模式1：12ns到500ns
  - 模式2：250ns至8ms
- 低功耗：0.5μA（2SPS）
- 支持最多5个停止信号
- 在低功耗条件下的自主多循环平均控制模式
- 电源电压：2V至3.6V
- 工作温度-40° C至85° C
- 用于配置和注册访问的SPI主机接口

## 2 应用程序

- 流量计：水表、燃气计、热计
- 磁致伸缩性的位置/液位传感
- 无人机飞行时间（激光雷达、声纳）、计量测量仪和投影仪
- 热成本分配器

## 3 描述

TDC7200是一种数字时间转换器(TDC)，用于超声波传感测量，如水流量计、气体流量计和热流量计。当与TDC1000（超声波类似物前端）配对时，TDC7200可以是一个完整的TI超声波传感解决方案的一部分，其中包括MSP430、电源、无线和源代码。

数字时间转换器(TDC)执行秒表的功能，并测量启动脉冲和最多5个停止脉冲之间的运行时间（飞行时间或TOF）。从一开始就测量到多个STOPs的能力使用户可以灵活地选择哪个STOP脉冲会产生最佳的回波性能。

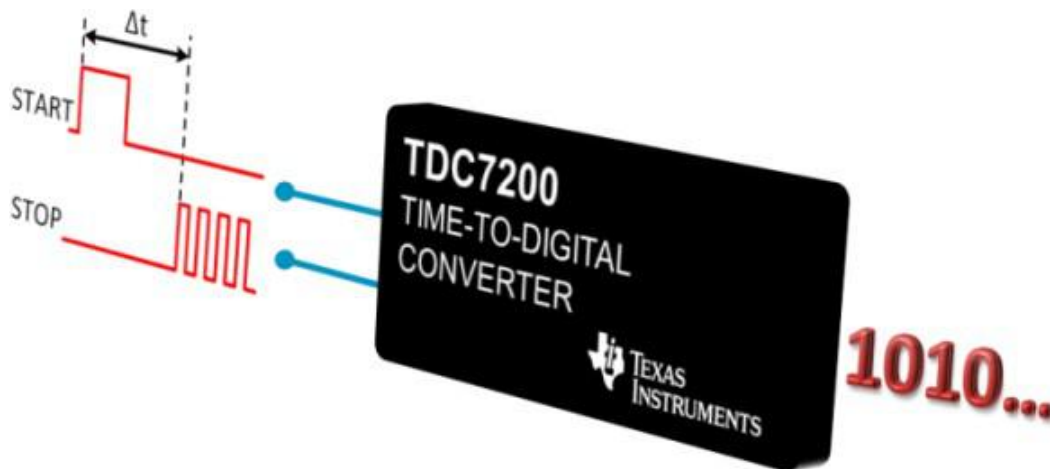
该装置具有一个内部自校准的时间基，以补偿随时间和温度的漂移。自校准使时间到数字转换精度达到皮秒。这种精度使得TDC7200成为流量计应用的理想选择，其中零流量和低流量测量需要较高的精度。

当放置在自主多循环平均模式时，TDC7200可以优化为低系统功耗，使其成为电池供电流量表的理想选择。在这种模式下，主机可以休眠以节能，并且在测量序列完成时被TDC中断时可以醒来。

设备信息<sup>(1)</sup>

零件号	包装	体尺寸(nom)
tdc7200	tssop (14)	5.00mm×4.40mm

(1) 有关所有可用的软件包，请参见数据表末尾的可排序的附录。



## 内容表

<b>1 功能</b> .....	<b>1</b>	<b>8.4 设备功能模式</b> .....	<b>14</b>
<b>2 应用程序</b> .....	<b>1</b>	<b>8.5 编程</b> .....	<b>21</b>
<b>3 描述</b> .....	<b>1</b>	<b>8.6 注册地图</b> .....	<b>24</b>
<b>4 修订历史记录</b> .....	<b>2</b>	<b>9 应用与实施</b> .....	<b>35</b>
<b>5 同伴装置</b> .....	<b>3</b>	9.1 应用程序信息.....	35
<b>6 Pin配置和功能</b> .....	<b>4</b>	9.2 典型应用.....	35
<b>7 规范</b> .....	<b>5</b>	9.3 过滤后的建议.....	39
7.1 绝对最大评级.....	5	9.4 时钟建议.....	39
7.2 ESD评级.....	5	<b>10 电源建议</b> .....	<b>41</b>
7.3 推荐的操作条件.....	5	<b>11 布局</b> .....	<b>41</b>
7.4 热信息.....	6	11.1 布局指南.....	41
7.5 电气特性.....	7	11.2 布局示例.....	42
7.6 时间要求.....	7	<b>12 设备和文档支持</b> .....	<b>43</b>
7.7 开关特性.....	7	12.1 文档支持.....	43
7.8 典型特征.....	9	12.2 社区资源.....	43
<b>8 详细说明</b> .....	<b>12</b>	12.3 商标.....	43
8.1 概述.....	12	12.4 静电放电警告.....	43
8.2 功能块图.....	12	12.5 格罗萨里.....	43
8.3 功能描述.....	12	<b>13 机械、包装和可订购的信息</b> .....	<b>43</b>

## 4 修订历史记录

### 从修订C（2015年8月）到修订D的变更

页

• 添加EN=高.....	7
• 更新方程.....	14
• 更改3818至318.....	18

### 从修订B（2015年6月）到修订C的变更

页

• 改变数据表标题从：TDC7200时间到数字转换器的水和气体流量传感，磁致伸缩位置传感，和激光雷达计量应用到：TDC7200时间到数字转换器飞行时间在激光雷达、磁致伸缩型和流量计中的应用.....	1
---	---

### 从修订A（2015年3月）到修订B的变更

页

• 将数据表标题从：TDC7200水、气、热流量计量应用7200时间数字转换器改为：TDC7200水时间数字转换器，磁致伸缩位置传感和激光雷达计量系统的应用.....	1
• 将应用程序列表改为：“磁致伸缩位置传感”和“激光雷达测量”.....	1

### 从原版本（2015年2月）更改为版本A

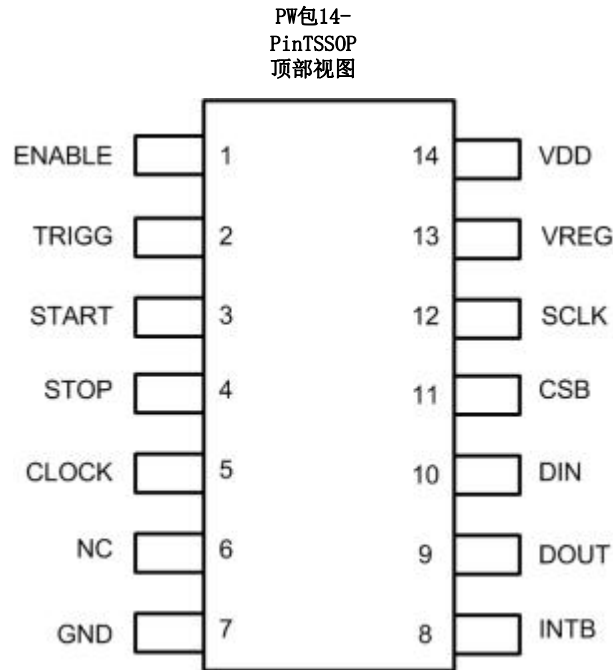
页

• 从：1页的产品预览页更改为：完整的数据表.....	1
• 更改的ESD评级表.....	5

## 5 同伴装置

第1部分。	标题
tdc1000	超声波传感模拟前端的水平、浓度、流量和接近传感

## 6 Pin配置和功能



Pin功能

皮恩		I/O	描述
名称	不		
启用	1	输入	将信号启用到TDC
三角形	2	输出	触发器输出信号
开始	3	输入	启动信号到TDC
使停止	4	输入	STOP信号到TDC
时钟	5	输入	时钟输入到TDC
N. C.	6	-	未连接
格纳德	7	地面	地面
智能网试验台	8	输出	中断到单片机，活动源极低（打开排水管）
数字输出	9	输出	SPI数据输出
DIN	10	输入	SPI数据输入
csb	11	输入	SPI芯片选择，活动度较低
串行时钟	12	输入	SPI时钟
弗雷格	13	输出	针对外部解耦帽的LDO输出终端
心房同步心室抑制型起搏	14	权力	供应输入

## 7 规范

### 7.1 绝对最大评级

 $T_A = 25^\circ \text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $GND = 0\text{V}$ （除非另有说明）。<sup>(1) (2) (3)</sup>

		最小	最大	单元
$V_{\text{德}}$	供电电压	-0.3	3.9	V
$V_I$	终端输入电压	-0.3	$V_{\text{德}} + 0.3$	V
$V_{\text{diff\_in}}$	任意两个输入端子之间的电压差		3.9	V
$V_{\text{in\_gnd\_v德}}$	任何输入端与GND或VDD之间的电压差		3.9	V
$I_I$	在任何引脚处的输入电流	-5	5	mA
$T_A$	环境温度	-40	125	$^\circ \text{C}$
$T_{\text{stg}}$	储存温度	-65	150	$^\circ \text{C}$

- 超过绝对最大额定值下列出的应力可能会对设备造成永久性损坏。这些仅为应力等级，这并不意味着设备在这些或在推荐操作条件下指示以外的任何其他条件下的功能操作。长时间暴露于绝对最大额定条件下可能会影响设备的可靠性。
- 代数约定，其中最负值是最小值，最正值是最大值
- 除非另有规定，否则所有电压均为接地电压。

### 7.2 ESD评级

		价值	单元
$V_{\text{(esd)}}$	人体模型 (HBM)，根据ANSI/ESDA/JEDECJS-001标准 <sup>(1)</sup>	$\pm 1000$	V
	充电设备型号 (CDM)，符合JEDEC规范JESD22C101 <sup>(2)</sup>	$\pm 250$	

- JEDEC文件JEP155指出，500-VHBM允许使用标准的ESD控制过程进行安全制造。
- JEDEC文件JEP157指出，250-VCDM允许使用标准的ESD控制过程进行安全制造。

### 7.3 推荐的操作条件

 $T_A = 25^\circ \text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $GND = 0\text{V}$ （除非另有说明）。

		最小	名义上的	最大	单元
$V_{\text{德}}$	供电电压	2		3.6	V
$V_I$	终端电压	0		心房同步心室抑制型起搏	V
$V_{\text{特发性高钙尿症}}$	电压输入高	$0.7 \times V_{DD}$		3.6	V
$V_{\text{伊尔}}$	电压输入低	0		$0.3 \times V_{DD}$	V
$F_{\text{calib\_clk}}$	频率（参考频率/校准时钟）	$1^{(1)}$	8	16	兆赫
责任时钟	输入时钟占空比		50%		
<b>定时要求：测量方式1<sup>(1)</sup></b>					
$T1_{\text{STARTSTOP\_Min}}$	启动信号和停止信号之间的最短时间	12			ns
$T1_{\text{STOPSTOP\_Min}}$	2个停止信号之间的最短时间	67			ns
$T1_{\text{STARTSTOP\_Max}}$	最大时间赌注。启动和停止信号			500	ns
$T1_{\text{STOPSTOP\_Max}}$	最大时间赌注。开始信号和最后一个停止信号			500	ns
<b>定时要求：测量值2<sup>(1)</sup></b>					
$T2_{\text{STARTSTOP\_Min}}$	启动信号和停止信号之间的最短时间	$2 \times t_{\text{时钟}}$			s
$T2_{\text{STOPSTOP\_Min}}$	2个停止信号之间的最短时间	$2 \times t_{\text{时钟}}$			s
$T2_{\text{STARTSTOP\_Max}}$	最大时间赌注。启动和停止信号			$(2^{16}-2) \times t_{\text{时钟}}$	s
$T2_{\text{STOPSTOP\_Max}}$	最大值。时间赌注。开始信号和最后一个停止信号			$(2^{16}-2) \times t_{\text{时钟}}$	s
<b>定时要求：启用输入</b>					
$T_{\text{命令：更改文件名}}$	启用信号的上升时间（20%-80%）		1至100		ns
$T_{\text{沼泽}}$	启用信号的秋季时间（20%-80%）		1至100		ns

## tdc7200

snas647d-2015年2月-2016年3月修订  
由设计指定的(1)。

[www.ti.com](http://www.ti.com)

## 推荐的运行条件（续）

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{DD}=3.3\text{V}$ 、 $GND=0\text{V}$ （除非另有说明）。

		最小	名义上的	最大	单元
<b>定时要求：启动、停止、时钟</b>					
$T_{\text{雷斯特}}, T_{\text{法}}$	最大上升幅度、启动下降时间、停止信号（20%-80%）		1		ns
$T_{\text{rxclk}}, T_{\text{fxclk}}$	外部时钟的最大上升、下降时间（20%-80%）		1		ns
<b>时间要求：三角形</b>					
$T_{\text{三角形}}$	从试验开始的时间		5		ns
<b>温度</b>					
$T_A$	环境温度	- 40		85	$^{\circ}\text{C}$
$T_J$	结温度	- 40		85	$^{\circ}\text{C}$

## 7.4 热信息

热度量 <sup>(1)</sup>		tdc7200 14个引脚	单元
$R_{\theta JA}$	连接与环境的热阻	134.9	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta JC(\text{top})}$	结箱（顶部）耐热阻	63	
$R_{\theta JB}$	结板耐热阻	76.8	
$\Psi_{\text{喷气式}}$	交到顶表征参数	12.4	
$\Psi_{\text{吉布}}$	结板表征参数	76.2	
$\theta_{\text{贾}}$	包热阻抗	113	

（1）有关传统和新的热指标的更多信息，请参阅集成电路包热指标应用程序报告，SPRA953。

## 7.5 电气特性

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{DD}=3.3\text{V}$ 、 $GND=0\text{V}$ （除非另有说明）。

参数	试验条件	最小	打字	最大	单元
<b>直流特性</b>					
最低效 解决方案 位元	单枪测量		55		ps
$T_{acc-2}$ 精度（模式2） <sup>(1)</sup>	时钟=8MHz		28		ps
$T_{第2层}$ 标准偏差（模式2）	测量时间=100μs		50		ps
	测量时间=1μs		35		ps
<b>输出特性：三角、输入、输出</b>					
$V_{噢}$ 输出电压高	$I_{source}=-2\text{mA}$	2.31	2.95		V
$V_{醇}$ 输出电压低	$I_{sink}=2\text{mA}$		0.35	0.99	V
<b>输入特性：启用、启动、停止、时钟、静音、csb、sclk</b>					
$C_{采用}$ 输入电容 <sup>(2)</sup>			3		pF
<b>功耗（请参见测量模式1和测量模式2）</b>					
$I_{sh}$ 关闭电流	在=低		0.3	2	μA
$I_{卡}$ 静止电流A	EN=较高；TDC正在运行		1.35		mA
$I_{qb}$ 静止电流B	EN=高；TDC关闭，时钟计数器正在运行		71		μA
$I_{QC}$ 静止电流C	EN=高；测量停止，仅限SPI通信		87		μA
$I_{qd}$ 静止电流D	在=高，TDC关闭，柜台停止，没有通信		50		μA

(1) 精度定义为输出信号的系统误差；装置排除噪声的误差。

(2) 由设计指定。

## 7.6 时间要求

	最小	名义上的	最大	单元
<b>定时要求：启动、停止输入、时钟</b>				
$PW_{开始}$ 启动信号的脉冲宽度	10			ns
$PW_{使停止}$ 停止信号的脉冲宽度	10			ns
<b>串行接口定时特性 (<math>V_{DD}=3.3\text{V}</math>, <math>f_{串行时钟}=20\text{MHz}</math>)（见图1）</b>				
$f_{串行时钟}$ SCLK频率			20	兆赫
$t_1$ SCLK周期	50			ns
$t_2$ SCLK高时间	16			ns
$t_3$ SCLK低时间	16			ns
$t_4$ DIN设置时间	4			ns
$t_5$ DIN保持时间	4			ns
$t_6$ CSB跌至SCLK上升	6			ns
$t_7$ 最后一个SCLK上升边缘到CSB上升边缘	6			ns
$t_8$ 最小暂停时间（CSB高）	40			ns
$t_9$ 克隆掉落到DOUT总线过渡			12	ns

## 7.7 开关特性

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{DD}=3.3\text{V}$ 、 $GND=0\text{V}$ （除非另有说明）。

参数	试验条件	最小	打字	最大	单元
<b>唤醒时间</b>					
$T_{wake\_up\_period}$ 是时候准备好准备了 测量	LSB在结算值的0.3%以内		300		μs



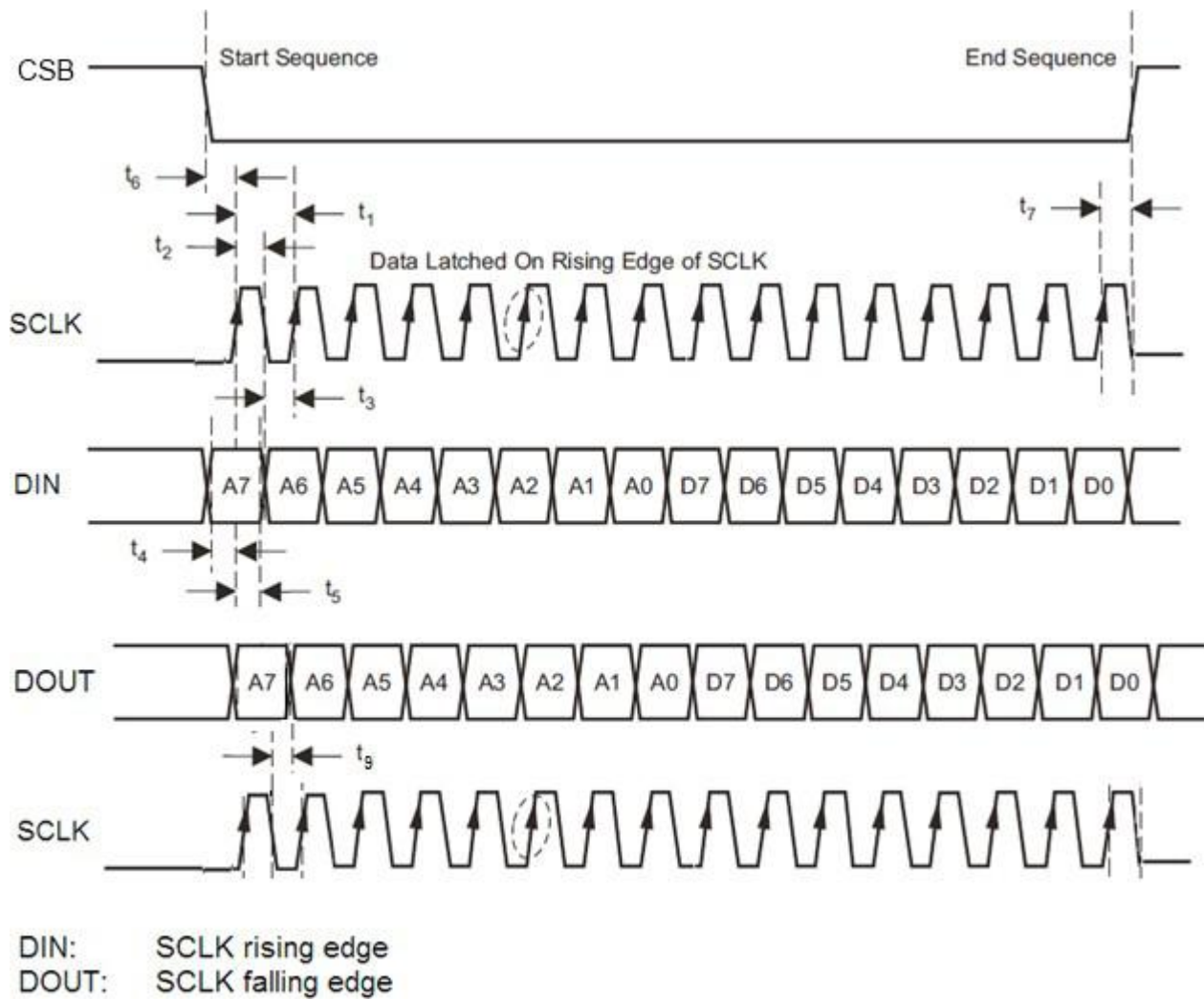


图1. SPI注册写入：8位注册器示例

## 7.8 典型特征

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD}=3.3\text{V}$ ,  $GND=0\text{V}$ , 时钟=8MHz, CALIBRATION2\_PERIODS=10, AVG\_CYCLES=1测量,  
NUM\_STOP=单次停机时间, 测量模式2 (除非另有说明)。

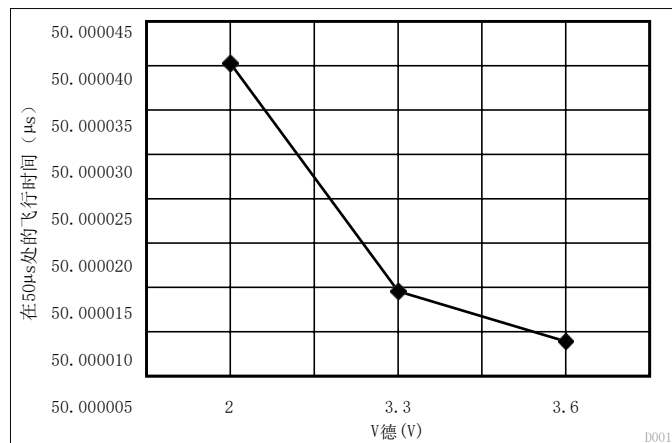


图2. 飞行时间 (TOF) 与 VDD (测量模式2)

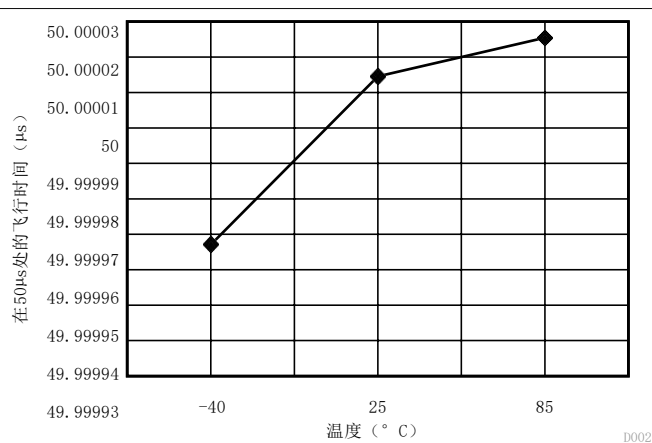


图3. TOF vs. 温度 (测量模式2)

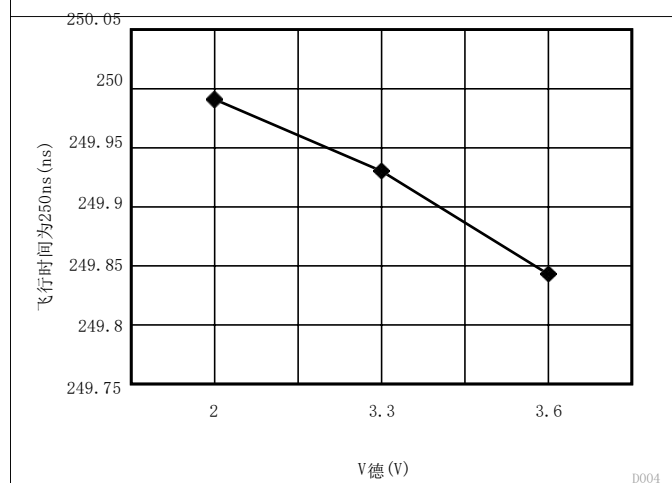


图4. TOF vs. VDD (测量模式1)

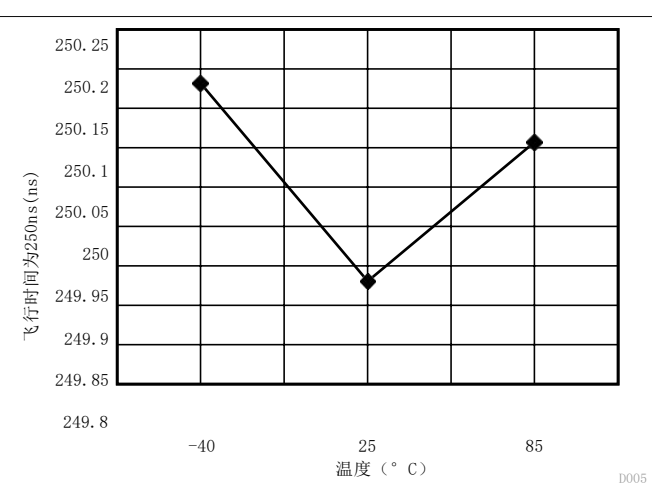


图5. TOF vs. 温度 (测量模式1)

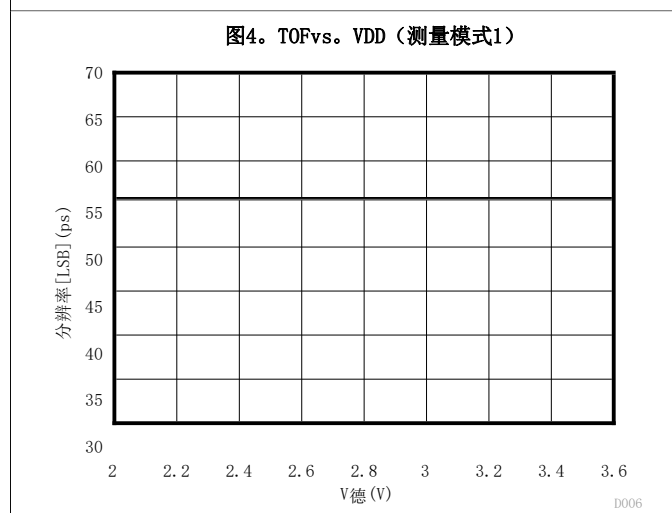


图6. 分辨率 (LSB) 与 VDD (测量模式1)

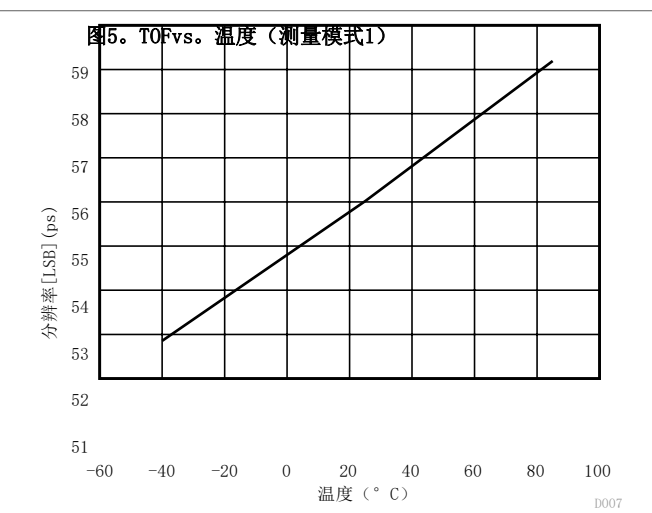


图7. 分辨率 (LSB) 与 温度 (测量模式1)

## 典型特征 (续)

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD}=3.3\text{V}$ ,  $GND=0\text{V}$ , 时钟=8MHz, CALIBRATION2\_PERIODS=10, AVG\_CYCLES=1测量,  
NUM\_STOP=单次停机时间, 测量模式2 (除非另有说明)。

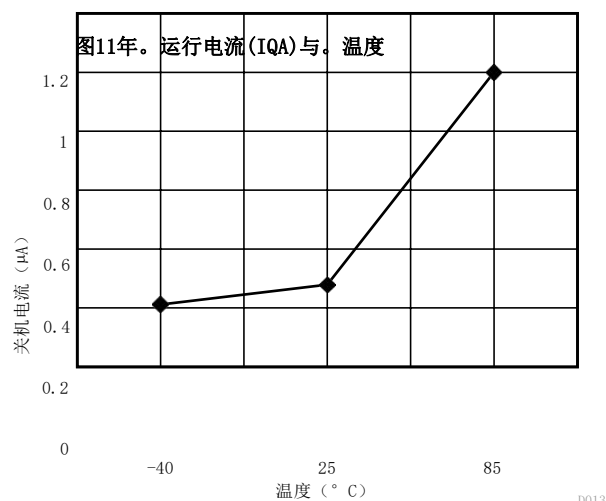
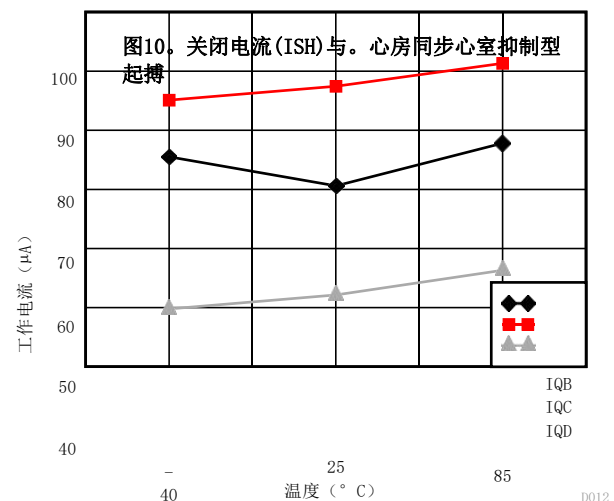
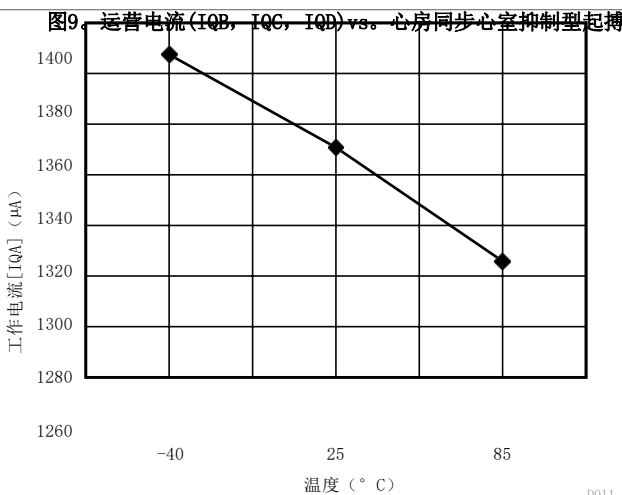
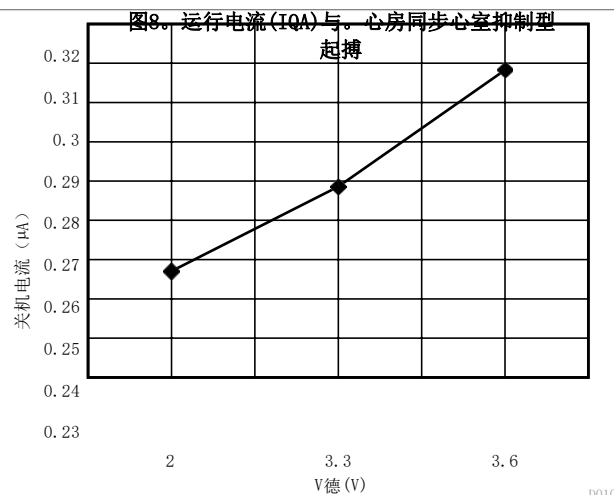
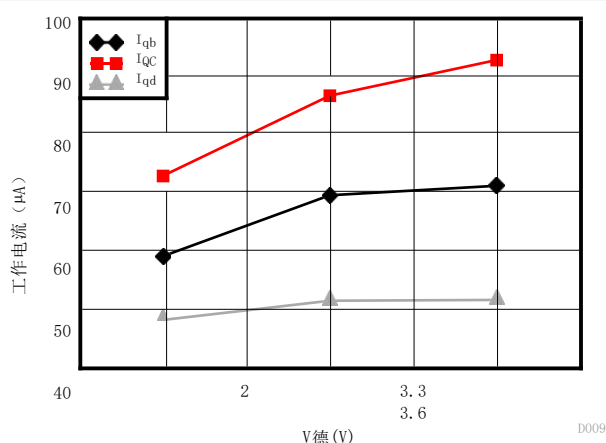
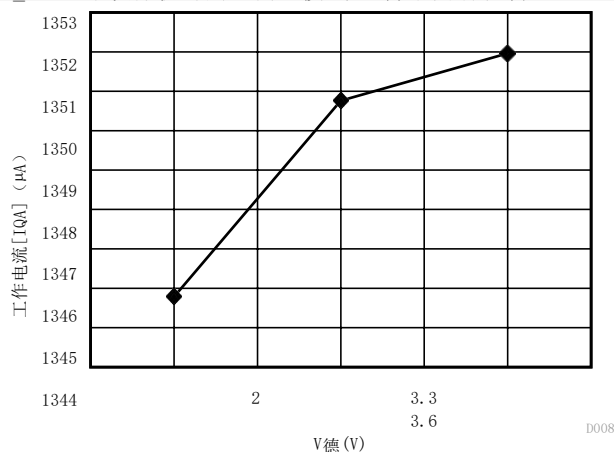


图12: 运营电流 (IQB, IQC, IQD) vs. 温度

图13: 关闭电流 (ISH) 与 温度

## 典型特征（续）

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD}=3.3\text{V}$ ,  $GND=0\text{V}$ , 时钟=8MHz, CALIBRATION2\_PERIODS=10, AVG\_CYCLES=1测量, NUM\_STOP=单次停机时间, 测量模式2（除非另有说明）。

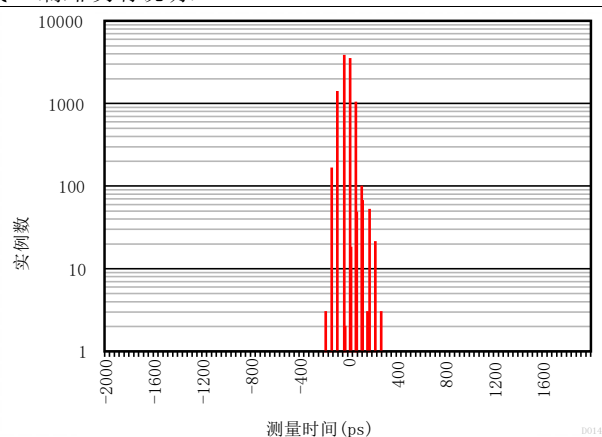


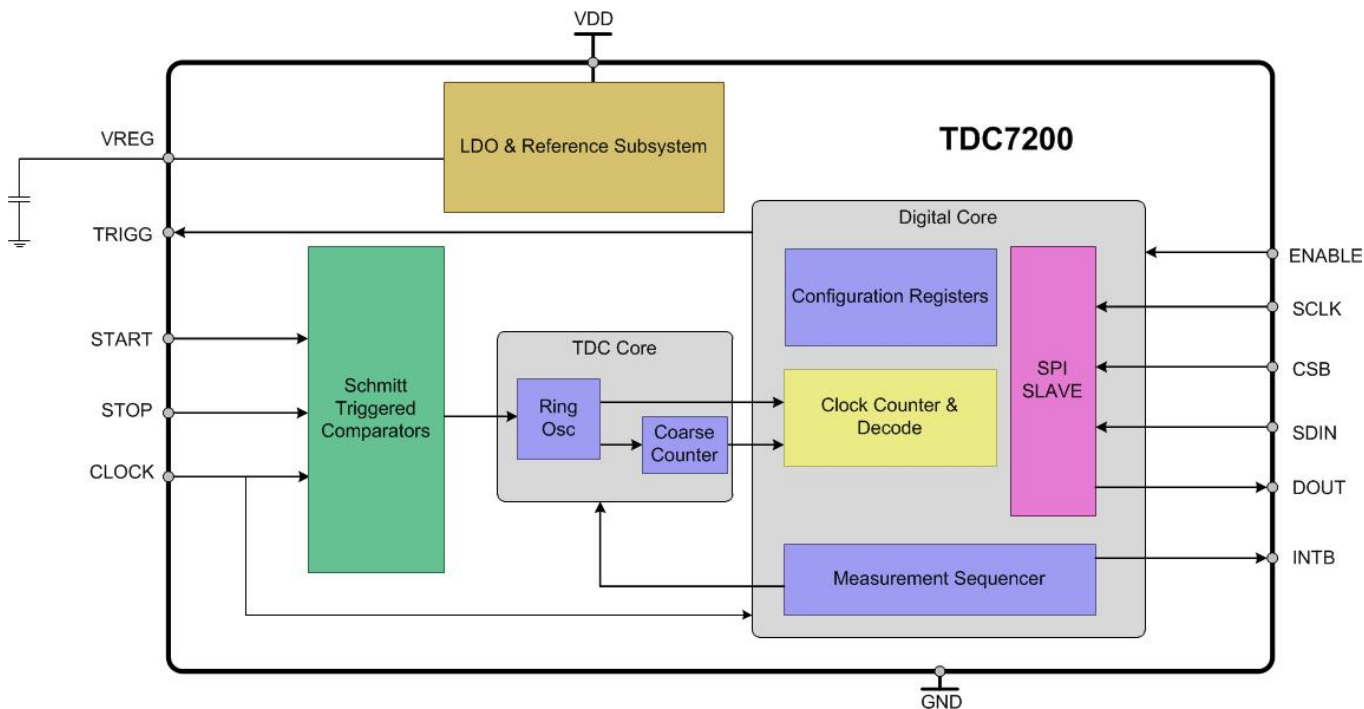
图14. 标准飞行时间直方图（标准化）

## 8 详细说明

### 8.1 概述

TDC7200是一种秒表IC，用于测量单个事件（起始销上的边缘）和多个后续事件（停止销上的边缘）之间的时间。从启动脉冲到停止脉冲的事件也被称为飞行时间，或简称TOF。该设备有一个内部时间基，用于以皮秒顺序的精度测量时间。这种精度使得TDC7200成为流量计等应用的理想选择，其中零流量和低流量测量需要在皮秒范围内的高精度。

### 8.2 功能块图



### 8.3 功能描述

#### 8.3.1 拉多

LDO（低损耗）是TDC7200的内部电源电压调节器。除了强制性的外部解耦电容器外，不需要将任何外部电路连接到此调节器的输出端。

关于解耦电容器参数的建议：

- 类型：陶瓷
- 电容：0.4μF-2.7μF（典型值为1μF）。如果使用的电容器值超出推荐范围，该零件可能会出现故障并可能损坏。
- ESR：100mΩ（最大值）

## 功能说明（续）

### 8.3.2 时钟

TDC7200需要一个连接到时钟针脚的外部参考时钟。外部时钟用于精确地校准内部时间基，因此，测量的精度在很大程度上依赖于外部时钟的精度。此参考时钟也用于设备内的所有数字电路；因此，当设备启用时钟必须始终可用且稳定。

图15显示了外部时钟频率对测量不确定度的典型影响。当参考时钟为1MHz时，一组测量结果的标准偏差约为243ps。随着参考时钟频率的增加，标准偏差（或测量不确定度）减小。因此，建议使用16MHz的参考时钟来获得最佳性能。

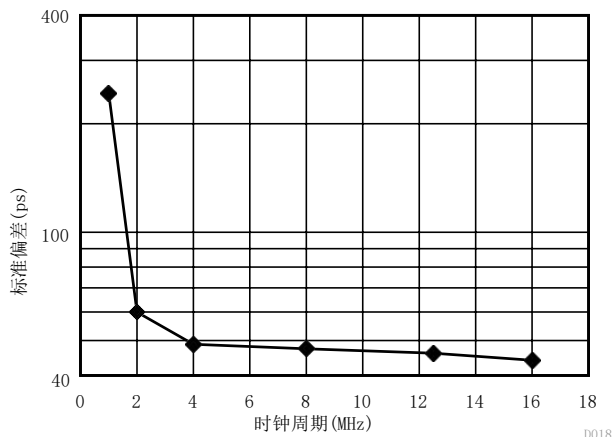


图15. 标准偏差与。时钟

### 8.3.3 计数

#### 8.3.3.1 粗的和时钟计数器描述

TDC7200的时间测量依赖于两个计数器：粗计数器和时钟计数器。粗计数器计数环振荡器 (TDC7200的核心时间测量机制) 封装的次数，用于在TIME1到TIME6寄存器中生成结果。

时钟计数器计算开始和停止事件之间的整数时钟周期数，仅在测量模式2中使用。时钟计数器的结果显示在CLOCK\_COUNT1到CLOCK\_COUNT5寄存器中。

#### 8.3.3.2 粗流量和时钟计数器溢出

一旦粗计数器值达到粗计数器溢出寄存器的对应值，则其中断位将被设置为1。换句话说，如果  $(\text{TIME}_n/63) \geq \text{COARSE\_CNTR\_OVF}$ ，则  $\text{COARSE\_CNTR\_OVF\_INT}=1$ （此中断位位于INT\_STATUS寄存器中）。

$\text{coarse\_cntr\_ovf}$

$= (\text{COARSE\_CNTR\_OVF\_H} \times 2^8 + \text{COARSE\_CNTR\_OVF\_L})$ ，而TIME<sub>n</sub>指的是TIME1到TIME6的寄存器。

同样地，当时钟计数器值达到时钟计数器溢出寄存器的对应值时，其中断位将被设置为1。换句话说，如果是  $\text{CLOCK\_COUNT}_n > \text{CLOCK\_CNTR\_OVF}$ ，则是  $\text{CLOCK\_CNTR\_OVF\_INT}=1$ （这个中断位位于INT\_STATUS寄存器中）。 $\text{CLOCK\_CNTR\_OVF} = (\text{CLOCK\_CNTR\_OVF\_H} \times 2^8 + \text{CLOCK\_CNTR\_OVF\_L})$ ，而CLOCK\_COUNT<sub>n</sub>指的是CLOCK\_COUNT1到CLOCK\_COUNT5的寄存器。

一旦检测到溢出，运行测量将立即终止。

## 功能说明（续）

### 8.3.3.3 时钟计数器时钟掩码

时钟计数器停止掩码寄存器中的值定义了掩码窗口的末尾。时钟计数器停止掩码值将被称为  $CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK = (CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK\_Hx2^8 + clock\_cntr\_stop\_mask\_l)$ 。

时钟计数器由启动信号后的外部时钟的第一个上升边缘启动（见图18）。在  $CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK$  寄存器设置的值之前发生的所有停止信号都将被忽略。此功能可用于帮助抑制错误的或不需要的停止触发信号。

例如，假设有以下值：

- 第一次飞行时间（TOF1），定义为从开始到1的时间测量<sup>st</sup>停止=19  $\mu s$ 。
- 第二次飞行时间（TOF2），定义为从开始到2的时间测量<sup>nd</sup>停止=119  $\mu s$ 。
- 时钟=8MHz

在本例中，TDC7200将提供大约152的  $CLOCK\_COUNT1$  (19  $\mu s / t_{\text{时钟}}$ )， $CLOCK\_COUNT2$  约为952 (119  $\mu s / t_{\text{时钟}}$ )。如果用户将  $CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK$  设置在152到952之间的任何地方，那么1<sup>st</sup>停止将被忽略，并且2<sup>nd</sup>将测量STOP。

时钟计数器溢出值 ( $CLOCK\_CNTR\_OVF\_Hx2^8 + CLOCK\_CNTR\_OVF\_L$ ) 应始终高于时钟计数器停止掩码值 ( $CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK\_Hx2^8 + clock\_cntr\_stop\_mask\_l$ )。否则，时钟计数器溢出中断将在停止掩码时间到期之前设置，并且测量将停止。

### 8.3.3.4 启用

启用销用于TDC7200中所有数字电路的复位。因此，在设备通电后，启用销必须看到一个正的边缘。确保没有瞬变（故障等）。在启用针上，这些故障可能会导致设备重置。

## 8.4 设备功能模式

### 8.4.1 校准

由TDC7200执行的时间测量基于内部时间基，该内部时间基表示为TIME1到TIME6结果寄存器的LSB值。典型的LSB值可以在电气特征中看出。然而，LSB的实际值可能因环境变量（温度、系统噪声等）而变化。这种变化会给测量结果引入显著的误差。由于设备中的某些内部延迟，在测量中也存在一个偏移误差。

为了补偿这些误差并计算出实际的LSB值，需要进行校准。TDC7200校准由外接时钟的两个测量周期组成。第一是对外部时钟的单个时钟周期的测量；第二测量是针对由  $CONFIG2$  寄存器中的  $CALIBRATION2\_PERDIOS$  设置的外部时钟周期的数量。校准测量结果存储在  $CALIBRATION2$  寄存器中。

两点校准用于实时确定实际的LSB，以便将从延迟次数开始的TIME1到TIME6的结果转换为实时飞行时间(TOF)数。如下一节所讨论的，该校准将用于计算测量模式1和2下的飞行时间(TOF)。

## 设备功能模式（续）

### 8.4.2 测量模式

#### 8.4.2.1 测量模式1

在如图16所示的测量模式1中，TDC7200使用其内环振荡器加上粗计数器来执行从开始到最后一次停止的整个计数。该方法推荐用于测量<500ns的短时间。使用测量模式1测量时间>500ns会降低测量精度（如图17所示），不建议使用。

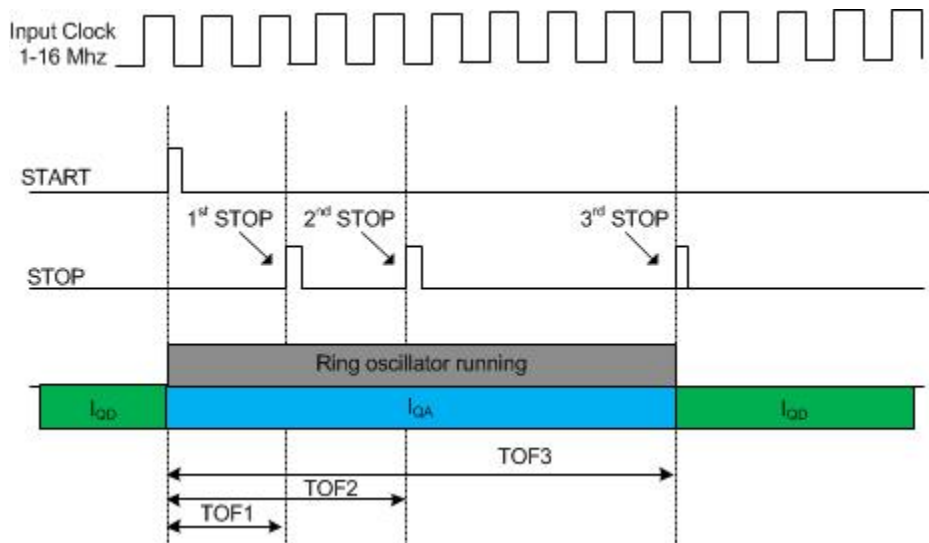


图16. 测量模式1

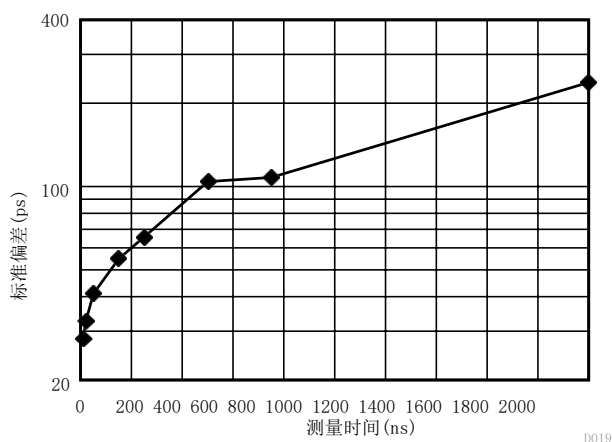


图17. 测量模式1的标准偏差与。测量飞行时间



## 设备功能模式（续）

### 8.4.2.1.1 计算飞行时间（测量方式1）

对于测量模式1，从开始到n之间的飞行时间(TOF)<sup>th</sup>停止值可用公式1进行计算：

$$\begin{aligned} \text{TOF}_n &= (\text{TIME}_n)(\text{normLSB}) \\ \text{normLSB} &= \frac{(\text{CLOCKperiod})}{(\text{calCount})} \\ \text{calCount} &= \frac{\text{CALIBRATION2} - \text{CALIBRATION1}}{(\text{CALIBRATION2\_PERIODS}) - 1} \end{aligned}$$

在哪里

- $\text{tof}_n$  = 从一开始到n的飞行时间测量<sup>th</sup>使停止
- $\text{time}_n$  = n<sup>th</sup>由时间1到时间6寄存器给出的时间测量值
- $\text{normLSB}[\text{sec}]$  = 来自校准的标准化LSB值
- 时钟周期[秒] = 外部时钟周期
- 校准1[计数] 第一个校准周期的=TDC计数
- 校准2[计数] 第二次校准周期的=TDC计数
- 第二校准周期的CALIBRATION2\_PERIODS=设置；位于寄存器配置图2中

(1)

例如，假设从开始的飞行时间到1<sup>st</sup>需要停止，并获得以下读数：

- 电缆2=21121（十进制）
- 电缆1=2110（十进制）
- calibration2\_periods=10
- 时钟=8MHz
- 时间1=4175（十进制）

因此，对飞行时间的计算为：

- $\text{calCount} = (21121 - 2110) / (10 - 1) = 2112.33$
- $\text{normLSB} = (1/8\text{MHz}) / (2112.33) = 5.917 \times 10^{-11}$
- $\text{TOF1} = (4175) (5.917 \times 10^{-11}) = 247.061\text{ns}$

### 8.4.2.2 测量模式2

在测量模式2中，TDC7200的内环振荡器仅用于计数总测量时间的分数。如图18所示，内环振荡器从接收到启动信号开始，到时钟的第一个上升边缘开始计数。然后，关闭内环振荡器，时钟计数器开始计数外部时钟输入的时钟循环，直到接收到停止脉冲。内环振荡器再次从停止信号开始计数，直到时钟的下一个上升边缘。

## 设备功能模式（续）

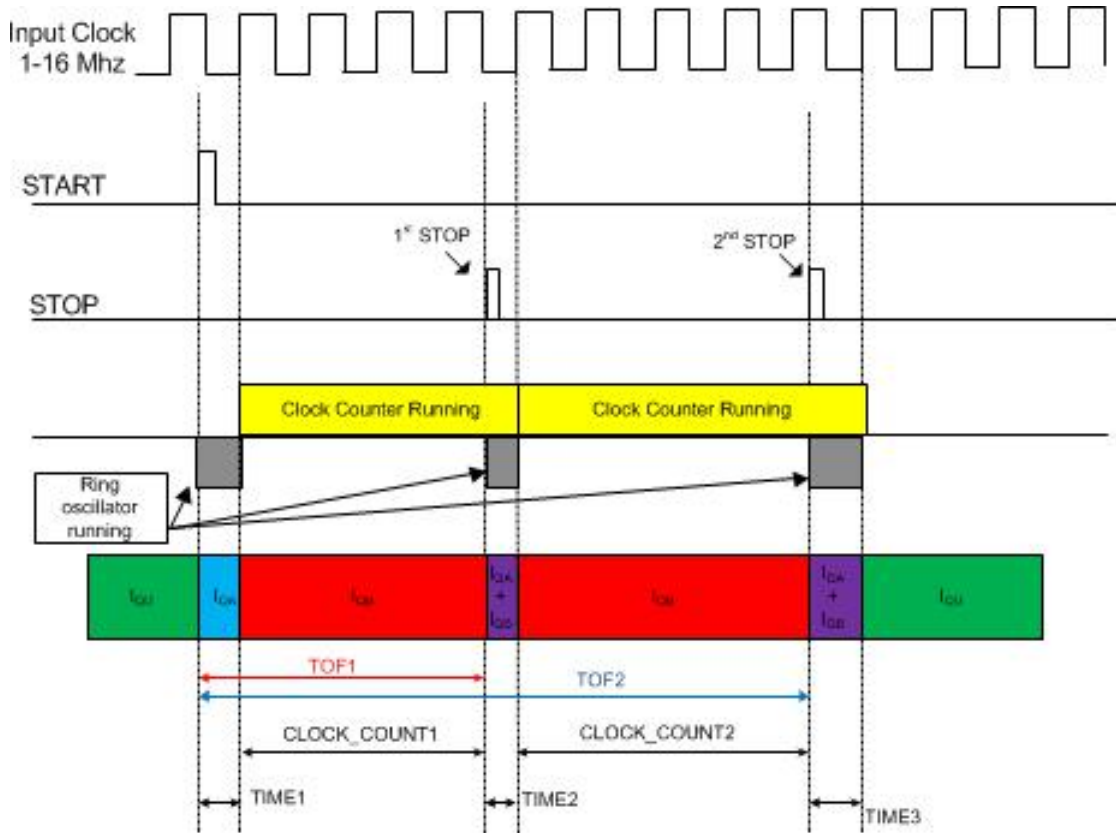


图18。测量模式2

## 设备功能模式（续）

### 8.4.2.2.1 计算飞行时间(TOF)（测量模式2）

从开始到n之间的飞行时间(TOF)<sup>th</sup>STOP可用公式2进行计算:

$$\text{tof}_n = \frac{\text{normLSB} \times (\text{时间}_n - \text{时间}_1) \times \text{时钟\_计数}_n \times \text{CLOCK周期}}{\text{CLOCK周期} \times \text{卡尔伯爵} \times \frac{\text{calCount} \times \text{CALIBRATION2} \times \text{CALIBRATION1}}{\text{校准2\_periods} - 1}}$$

在哪里

- $\text{tof}_n$ =从一开始到n的飞行时间测量<sup>th</sup>使停止
- 时间1=时间1测量由TDC7200寄存器地址0x10提供
- 时间<sub>(n+1)</sub>=(n+1)时间测量，其中n=1到5 (TIME2到TIME6寄存器)
- $\text{normLSB}[\text{sec}]$ =来自校准的标准化LSB值
- $\text{clock\_count}_n$ 第n个时钟计数，其中n个=1到5 (CLOCK\_COUNT1到CLOCK\_COUNT5)
- 时钟周期[秒]=外部时钟周期
- 校准1[计数]第一个校准周期的=TDC计数
- 校准2[计数]第二次校准周期的=TDC计数
- 第二校准的CALIBRATION2\_PERIODS=设置；位于寄存器配置图2中

(2)

例如，假设从开始的飞行时间到1<sup>st</sup>需要停止，并获得以下读数:

- 电缆2=23133（十进制）
- 电缆1=2315（十进制）
- calibration2\_periods=10
- 时钟=8MHz
- 时间1=2147（十进制）
- 时间2=201（十进制）
- CLOCK\_COUNT1=318（十进制）因此，飞行

时间的计算为:

$$\begin{aligned} \text{calCount} &= \frac{\text{CALIBRATION2} \times \text{CALIBRATION1} \times (23133 - 2315)}{(\text{校准2\_periods} - 1) \times (10 - 1)} = 2313.11 \\ \text{normLSB} &= \frac{(\text{CLOCK周期}) \times (1/8\text{MHz})}{(\text{calCount}) \times 2313.11} = 5.40 \times 10^{-11} \\ \text{TOF1} &= (\text{TIME1}) \times (\text{normLSB}) \times (\text{时钟\_COUNT1}) \times (\text{锁定周期}) \times (\text{TIME2}) \\ &= (\text{normLSB}) \times \text{TOF1} \times 2147 \times 5.40 \times 10^{-11} \times (318) \times (1/8\text{MHz}) \times (201) \times (5.40 \times 10^{-11}) \\ \text{TOF1} &= 39.855 \text{ s} \end{aligned}$$

(3)

## 设备功能模式（续）

### 8.4.3 超时

对于一个STOP，TDC通过计数从开始信号到STOP信号来执行测量。如果未接收到停止信号，时钟计数器或粗计数器将溢出并产生中断（请参见粗和时钟计数器溢出）。如果没有接收到启动信号，计时器将无限期地等待启动信号到达。

对于多个STOP，TDC通过计数从开始信号到最后一个STOP信号来执行测量。所有早期的STOP信号都被捕获并存储到相应的测量结果寄存器中（TIME1到TIME6、CLOCK\_COUNT1到CLOCK\_COUNT5、CALIBRATION1、校准2）。最小值推荐运行条件定义了两个连续的停止信号之间的时间。该设备可以通过在CONFIG2寄存器中设置NUM\_STOP位来测量最多5个STOP信号。

### 8.4.4 多周期平均

在多循环平均模式下，TDC7200将单独执行一系列测量，并且只在系列完成后发送中断到MCU（例如，MSP430、C2000等）进行唤醒。在等待期间，单片机可以在整个周期中保持睡眠模式（如图19所示）。

多周期平均模式设置及条件：

- 应选择平均循环的次数（1至128次）。这是通过编程CONFIG2寄存器中编程AVG\_CYCLES位来实现的。
- 所有测量结果均报告在测量结果寄存器（时间1到时间6、CLOCK\_COUNT1到CLOCK\_COUNT5、校准1、校准2寄存器）中。在计算飞行时间（TOF）之前，应右移 $\log_2(\text{AVG\_CYCLES})$ 的CLOCK\_COUNTn寄存器。例如，如果使用多周期平均模式，公式2应该重写为： $\text{TOFn} = \text{normLSB}[\text{TIME1} - \text{TIME}(n+1)] + [\text{CLOCK\_COUNTn} \gg \log_2(\text{AVG\_CYCLES})] \times [\text{CLOCKcreled}]$
- 在每个平均周期之后，TDC在校准测量后在Trigg针上生成触发事件以开始新的测量，或者在INTB针上生成中断，表明平均序列已经完成。

这种模式允许在没有单片机交互的情况下进行多次测量，从而优化了整个系统的功耗。

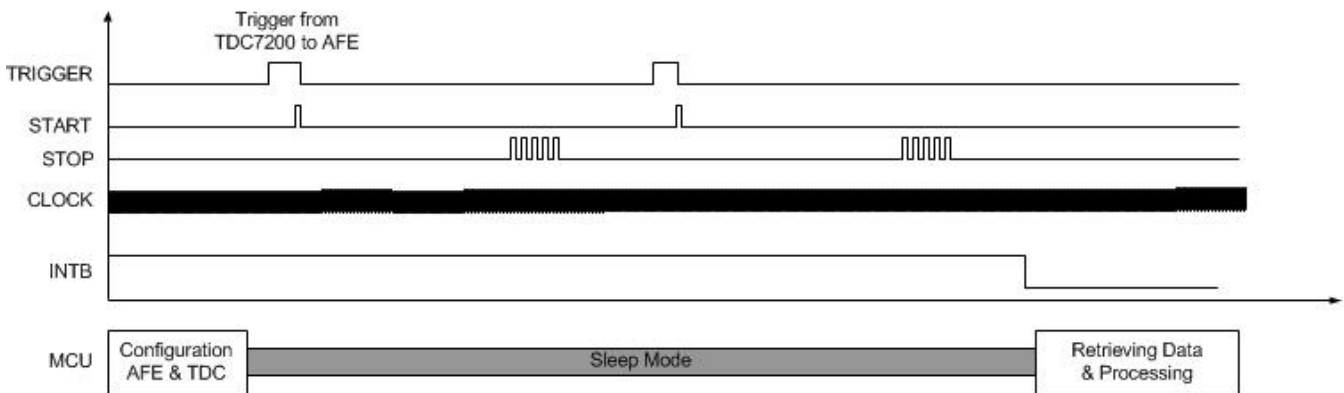


图19. 具有2个平均周期和5个停止信号的多周期平均模式示例

### 8.4.5 启动和停止边缘极性

为了达到最高的测量精度，强烈建议对启动和停止输入信号具有相同的边缘极性。否则，由于升降缘结构之间的对称偏移而导致的传播延迟略有不同，会影响测量精度。

为了达到测量模式2中的最高测量精度，强烈建议选择启动和停止信号的“上升边缘”。这可以通过将CONFIG1寄存器中的START\_EDGE位和STOP\_EDGE位设置为0来实现。

## 设备功能模式（续）

### 8.4.6 测量序列

TDC7200是一种秒表IC，它测量开始和多个停止事件之间的时间。TDC7200的测量顺序如下：

1. 给设备通电后，EN引脚需要很低。需要一个低到高的转换，同时提供VDD。
2. MCU软件要求通过SPI™接口启动一个新的测量方法。
3. 在CONFIG1寄存器中设置了启动新的测量位START\_MEAS后，TDC7200在Trigg针上产生触发信号，这通常被对应的超声波类似前端(如TDC1000)用作测量的开始触发（例如，用于超声波突发的发射信号）
4. 在发送触发器后，TDC7200立即启用启动针，并等待接收启动脉冲边缘
5. 在收到一个启动后，TDC重置三角锁
6. 时钟计数器在外部时钟信号（测量模式2）之后启动。时钟计数器停止掩码寄存器(CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK\_H和CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK\_L)确定STOP掩码窗口的长度。
7. 在达到时钟计数器停止掩码值后，停止针等待从模拟前端接收单个或多个STOP触发信号（例如，检测到的超声波突发信号的回波信号）
8. 在接收到最后一个停止触发器后，TDC将通过中断(INTB引脚)向单片机发出信号，在寄存器中等待新的测量结果。启动、停止和Trigg针脚被禁用（在多周期平均模式下，TDC将通过生成新的Trigg信号自动启动下一个周期）。注：必须使用INTB来确定TDC测量完成情况；不建议轮询INT\_STATUS寄存器以确定测量完成情况，因为它会干扰TDC测量。
9. 检索结果后，单片机可以使用相同的寄存器设置启动新的测量。这是通过通过SPI设置开始测量位来实现的。不需要在测量之间降低启用针脚。
10. 如果测量之间的时间较长，并且希望使TDC7200处于其最低功率状态，则可以降低启用针。然而，在再次启用高功能时，该设备将提供其默认的寄存器设置，并将需要通过SPI进行配置。

### 8.4.7 TDC7200启动的等待时间

TDC7200的启用销的上升边缘后所需的等待时间被定义为三次关键时间，如图20所示。这三次都与TDC7200内部LDO的启动有关，当设备被禁用以获得最佳功耗时，该LDO为电源门控。第一个参数 $T1_{spi\_rdy}$ ，是可访问SPI接口之后的时间。第二个（ $T2_{LDO\_SET1}$ ）参数和第三个（ $T3_{LDO\_SET2}$ ）参数与在内部LDO沉降时进行的测量的性能有关。LDO提供TDC7200的时间测量装置，在测量过程中其电源电压的变化直接转化为不准确。因此，建议等到LDO开始后，再开始时间测量。

与测量精度有关的第一个时间周期为 $T2_{LDO\_SET1}$ ，LDO沉降时间1。在此之后，LDO已经稳定在其最终价值的0.3%以内。0.3%的误差意味着最坏情况下的时间误差(由于LDO沉降)为 $0.3\% \times t_{时钟}$ ，如果使用8MHz参考时钟为375ps，如果使用16MHz参考时钟为187.5ps。最后，时间 $T3_{LDO\_SET2}$ 是LDO确定到其最终值之后的时间。为了获得最佳性能，建议在 $T3$ 之前不开始时间测量 $T3_{LDO\_SET2}$ 让LDO完全解决。 $T1$ 的典型时间 $t_{spi\_rdy}$ 是100μs，对于 $T2_{LDO\_SET1}$ 是300μs，对于 $T3_{LDO\_SET2}$ 是1.5ms。

## 设备功能模式（续）

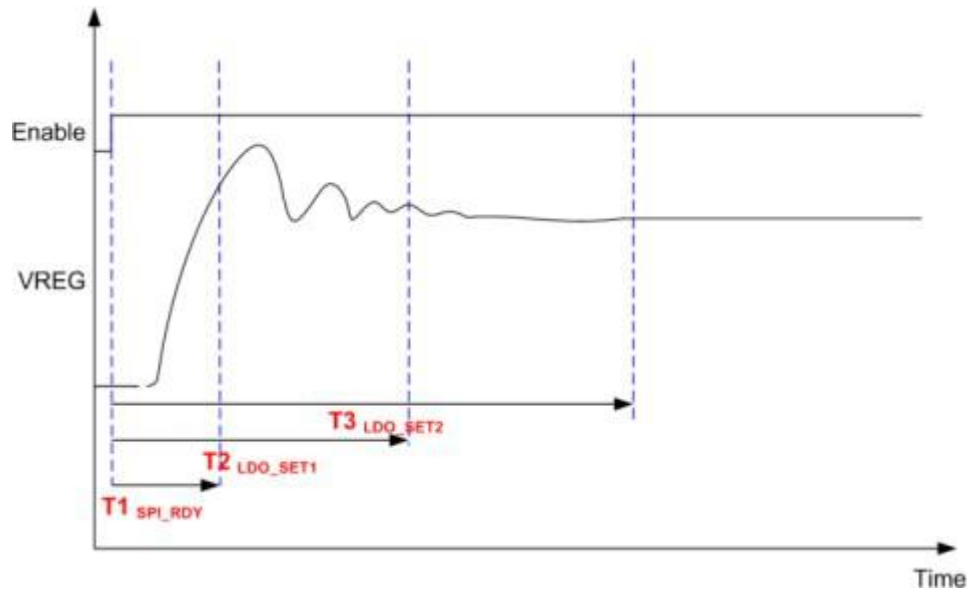


图20。VREG启动时间

## 8.5 编程

### 8.5.1 串行外围设备接口(SPI)

串行接口由数据输入(DIN)、数据输出(DOUT)、串行接口时钟(SCLK)和芯片选择条(CSB)组成。串行接口用于配置各种配置寄存器中可用的TDC7200参数。

SPI总线上的通信支持写事务和读取事务。写事务由单个写命令字节组成，然后是单个数据字节。读取事务由单个读取命令字节和8个或24个SCLK周期组成。写和读命令字节由1位自动增量位、1位读或写指令和6位寄存器地址组成。图21显示了涉及一个字节数据（读取或写）的事务的SPI协议。

## 编程（续）

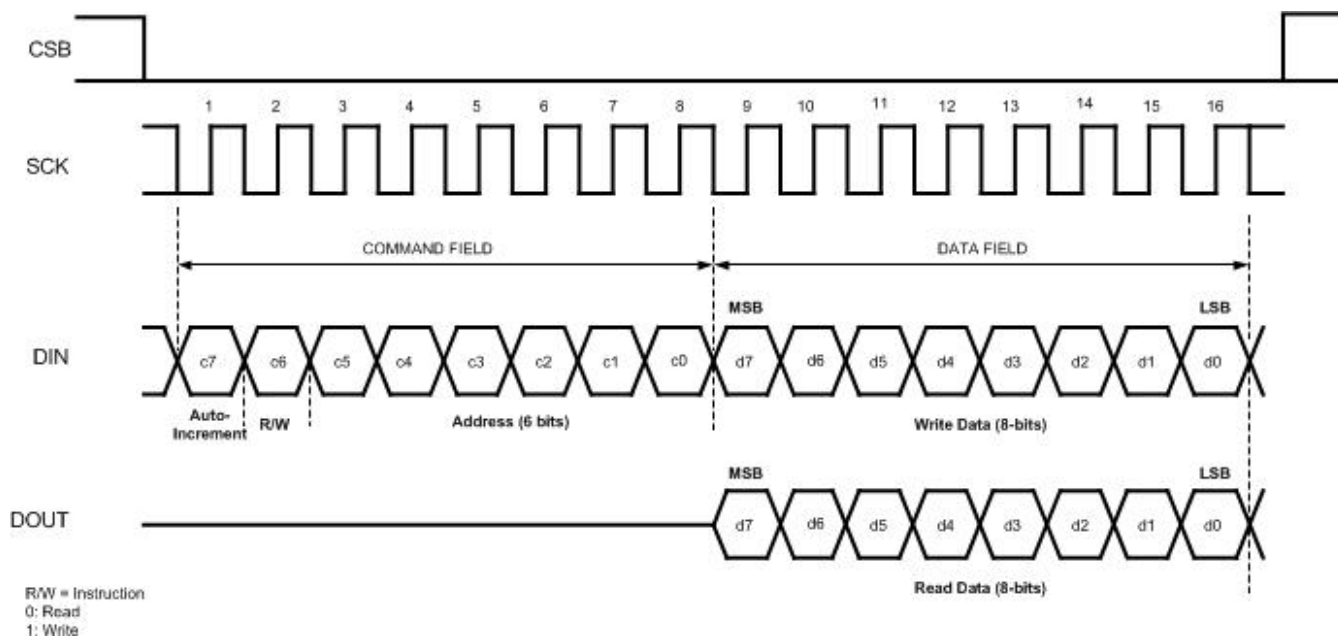


图21。SPI协议

### 8.5.1.1 csb

CSB是一个活动信号-低信号，需要在整个事务过程中保持低信号。即，CSB不应该在单个事务的命令字节和数据字节之间进行脉冲。

取消断言CSB总是会终止一个正在进行的事务，即使它尚未完成。重新断言CSB将始终使设备进入为下一个事务准备好的状态，而不管下一个事务的终止状态如何。

### 8.5.1.2 串行时钟

SPI时钟可以高或低空闲。建议尽可能保持SCLK的干净，以防止故障损坏SPI框架。

### 8.5.1.3 DIN

数据输入(DIN)由SPI主节点通过发送命令和数据字节来配置TDC7200来驱动。

### 8.5.1.4 数字输出

当SPI主节点启动读事务时，DOUT)由TDC7200驱动。当未读出TDC7200未被读出时，DOUT引脚处于高阻抗模式且未被驱动。

## 编程（续）

### 8.5.1.5 注册读写

对内部寄存器的访问可以通过引脚CSB（芯片选择活动低）、SCLK（串行接口时钟）、DIN（数据输入）和DOUT（数据输出）形成的串行接口来完成。

当CSB低时，启用位。当CSB处于活动状态（低）时，在SCLK的每一个上升边缘处锁定串行数据DIN（首先接收MSB，最后接收LSB）。当CSB低时，串行数据加载到最后一个数据位SCLK上升边的寄存器中。在字长度超过寄存器大小的情况下，将忽略多余的位。该接口可以使用SCLK频率，从20兆赫兹到非常低的速度（几个赫兹），甚至可以使用非50%的占空比SCLK。

SPI事务可分为两个主要部分：

- 地址和控制：自动增量模式选择位，读/写位，地址6位
- 数据：8位或24位

当写入具有未使用位的寄存器时，应该将其设置为0。

地址和控制系统（A7-A0）							
A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
自动增加	卢旺达	注册地址					
0: 从...落下 1: 在	读取=0 写=1	00小时至3f小时					

### 8.5.1.6 自动增加模式

当自动增量模式关闭时，将只访问寄存器地址所指示的寄存器，则将忽略该寄存器长度以外的所有周期。当自动增量打开时，先访问寄存器地址的寄存器，然后不中断地访问后续的寄存器。

自动增量模式可用于访问配置(CONFIG1和CONFIG2)和状态(INT\_STATUS)寄存器，也可用于测量结果寄存器(TIME1到TIME6、CLOCK\_COUNT1到CLOCK\_COUNT5、校调1、校调2)。由于两个寄存器块使用的寄存器长度不同，因此不可能在一个访问周期内访问设备的所有寄存器。



## 8.6 注册地图

### 8.6.1 注册初始化

通电后（提供VDD，启用销低到高转换），内部寄存器用默认值初始化。通过将启用销拉至GND来禁用该部件将使设备完全关闭。当内部LDO被关闭时，寄存器中的设置将会丢失。设备用默认值初始化寄存器，然后进行下一次启用（启用引脚到VDD）。

表1. 注册汇总

寄存器地址	注册名称	寄存器描述	尺寸（位）	重置值
00h	图1	配置寄存器1	8	00h
01h	图2	配置寄存器2	8	40h
02h	int_status	中断状态寄存器	8	00h
03h	int_mask	中断掩码寄存器	8	07h
04h	coarse_cntr_ovf_h	粗计数器溢出值较高	8	FFh
05h	coarse_cntr_ovf_l	粗计数器溢出值较低	8	FFh
06h	clock_cntr_ovf_h	时钟计数器溢出值较高	8	FFh
07h	clock_cntr_ovf_l	时钟计数器溢出值较低	8	FFh
08h	clock_cntr_stop_mask_h	时钟计数器停止屏蔽率很高	8	00h
09h	clock_cntr_stop_mask_l	时钟计数器停止屏蔽率较低	8	00h
10h	时间1	测量时间1	24	00_0000h
11h	clock_count1	时钟计数器值	24	00_0000h
12h	时间2	测量时间2	24	00_0000h
13h	clock_count2	时钟计数器值	24	00_0000h
14h	时间3	测量时间3	24	00_0000h
15h	clock_count3	时钟计数器值	24	00_0000h
16h	时间4	测量时间4	24	00_0000h
17h	clock_count4	时钟计数器值	24	00_0000h
18h	时间5	测量时间5	24	00_0000h
19h	clock_count5	时钟计数器值	24	00_0000h
1Ah	时间6	测量时间6	24	00_0000h
1Bh	校准1	校准1、1个时钟周期	24	00_0000h
1Ch	校准2	校准2、2月10月20日40时钟周期	24	00_0000h

### 8.6.2 配置图1：配置寄存器1R/W（地址=00h）[重置=0h]

图22. 配置寄存器1

7	6	5	4	3	2	1	0
force_cal	parity_en	trigg_edge	stop_edge	start_edge	meas_mode		start_meas
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表2. 配置寄存器1字段说明

比特	场	类型	重置	描述
7	force_cal	R/W	0	0：测量中断后（例如，由于计溢出计数器或缺少停止信号）不进行校准 1：校准总是在最后执行（例如，在计数器溢出后）
6	parity_en	R/W	0	0：测量结果寄存器的零位*禁用（零位总是0）1：启用测量结果寄存器的零位（甚至零位） *测量结果寄存器为时间1到时间6、CLOCK_COUNT1到CLOCK_COUNT5、校准1、校准2 登记
5	trigg_edge	R/W	0	0：Trigg输出为上升边缘信号1：Trigg输出 为下降边缘信号
4	stop_edge	R/W	0	0：停止信号1的上升边缘停止测量：停止信号的下降边缘停 止测量
3	start_edge	R/W	0	0：在启动信号1的上升边缘开始测量：在启动信号的下降边 缘开始测量
[2:1]	meas_mode	R/W	00h	00：测量模式1（用于预期飞行时间<500ns）。01：测量模式2 （推荐使用） 保留给未来的功能
0	start_meas	R/W	0	开始新的测量： 测量完成后，将清除此位。0：无影响 1：开始新的测量。写入1将清除中断状态寄存器中的所有位并开始测量（通过生 成信号信号），并将所有测量结果寄存器（TIME1到TIME6、CLOCK_COUNT1到 CLOCK_COUNT5、CALIBRATION1、校准2）重置为0。

### 8.6.3 配置图2：配置寄存器2R/W（地址=01h）[重置=40h]

图23. 配置寄存器2

7	6	5	4	3	2	1	0
calibration2_periods		avg_cycles			num_stop		
R/W-0h	R/W-1h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表3. 配置寄存器2字段说明

比特	场	类型	重置	描述
[7:6]	calibration2_period	R/W	01h	00：校准2-测量2个时钟周期 01：校准2-测量10个时钟周期 10：校准2-测量20个时钟周期 11：校准2-测量40个时钟周期
[5:3]	avg_cycles	R/W	00h	000：仅限1个测量周期（无多周期平均模式）001：2个测量周期 010：4测量周期 011：8测量周期 100：16测量周期 101：32测量周期 110：64测量周期 111：128测量周期
[2:0]	num_stop	R/W	00h	000：单停止 001：两个停止 010：三个停止 011：四个停止 100：5秒 101、110、111：无效果。单止

### 8.6.4 INT\_STATUS: 中断状态寄存器(地址=02h) [重置=00h]

图24. 中断状态寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
储备d	储备d	储备d	meas_comple e_flag	meas_started_flag	clock_cnt r_ovf_in t	coarse_cntr_ovf_ int	new_meas_提 示
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表4. 中断状态寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7	保留	R/W	0h	
6	保留	R/W	0h	
5	保留	R/W	0h	
4	meas_complete_flag	R/W	0h	写一个1将清除状态 0: 测量工作尚未完成 1: 测量已完成 (与NEW_MEAS_INT提供的信息相同)
3	meas_started_flag	R/W	0h	写入一个1将清除状态0: 测量尚未开始 1: 测量已开始 (接收到启动信号)
2	clock_cntr_ovf_int	R/W	0h	需要写入一个1以清除中断状态0: 未检测到溢出 1: 检测到时钟溢出, 将立即停止运行测量
1	coarse_cntr_ovf_int	R/W	0h	需要写入一个1以清除中断状态0: 未检测到溢出 1: 检测到粗溢出, 将立即停止运行测量
0	new_meas_int	R/W	0h	需要写入一个1来清除中断状态0: 未检测到中断 1: 检测到中断-已完成新的测量工作

### 8.6.5 INT\_MASK: 中断掩码寄存器R/W (地址=03h) [重置=07h]

图25. 中断的掩码寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
储备	储备	储备	储备	储备	clock_cntr_ovf_mask	coarse_cntr_ovf_mask	new_meas_mask
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表5. 中断掩码寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7	储备	R/W	0	
6	储备	R/W	0	
5	储备	R/W	0	
4	储备	R/W	0	
3	储备	R/W	0	
2	clock_cntr_ovf_mask	R/W	1	0: 时钟计数器溢出中断已禁用1: 时钟计数器溢出中断已启用
1	coarse_cntr_ovf_mask	R/W	1	0: 粗计数器溢出中断禁用1: 启用粗计数器溢出中断
0	new_meas_mask	R/W	1	0: 禁用新测量中断1: 启用新测量中断

将不再可在设备引脚(INTB)上看到已禁用的中断。INT\_STATUS寄存器中的中断位仍将处于活动状态。

### 8.6.6 COARSE\_CNTR\_OVF\_H: 粗计数器溢出高值寄存器 (地址=04h) [重置=FFh]

图26. 粗计数器溢出Value\_H寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
coarse_cntr_ovf_h							
R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表6. 粗计数器溢出Value\_H寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7-0	coarse_cntr_ovf_h	R/W	FFh	粗计数器溢出值, 上8位

### 8.6.7 COARSE\_CNTR\_OVF\_L: 粗计数器溢出低值寄存器 (地址=05h) [重置=FFh]

图27. 粗计数器溢出Value\_L寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
coarse_cntr_ovf_l							
R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表7. 粗计数器溢出Value\_L寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7-0	coarse_cntr_ovf_l	R/W	FFh	粗计数器溢出值, 下8位注意: 不要将 COARSE_CNTR_OVF_L 设置为1。

### 8.6.8 CLOCK\_CNTR\_OVF\_H: 时钟计数器溢出高寄存器 (地址=06h) [重置=FFh] 图28. 时钟计数器溢出

Value\_H寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
clock_cntr_ovf_h							
R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表8. 时钟计数器溢出Value\_H寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7-0	clock_cntr_ovf_h	R/W	FFh	时钟计数器溢出值, 上8位

### 8.6.9 CLOCK\_CNTR\_OVF\_L: 时钟计数器溢出低寄存器 (地址=07h) [重置=FFh] 图29. 时钟计数器溢出

Value\_L寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
clock_cntr_ovf_l							
R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表9. 时钟计数器溢出Value\_L寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7-0	clock_cntr_ovf_l	R/W	FFh	时钟计数器溢出值, 较低8位

### 8.6.10 CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK\_H: 时钟计数器停止掩码高值寄存器(地址=08h) [重置=00h]

图30. 时钟计数器停止Mask\_H寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
clock_cntr_stop_mask_h							
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表10年. 时钟计数器停止Mask\_H寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7-0	clock_cntr_stop_mask_h	R/W	0	时钟计数器停止屏蔽, 上8位

### 8.6.11 CLOCK\_CNTR\_STOP\_MASK\_L: 时钟计数器停止掩码低值寄存器(地址=09h) [重置=00h]

图31. 时钟计数器停止Mask\_L寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
clock_cntr_stop_mask_l							
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表11年. 时钟计数器停止Mask\_L寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
7-0	clock_cntr_stop_mask_l	R/W	0	时钟计数器停止屏蔽, 较低8位

### 8.6.12 时间1: 时间1寄存器 (地址: 10h) [重置=00\_0000h]

图32. 时间1寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
测量结果: 23位整数值 (位22: MSB, 位0: LSB)																							
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表12年. TIME1寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	慈悲坑	R	0	慈悲坑
22-0	测量结果: 23位整数值 (位22: MSB, 位0: LSB)	R	0	测量结果

### 8.6.13 CLOCK\_COUNT1: 时钟计数寄存器(地址: 11h) [reset=00\_0000h]

图33年。时钟计数寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	CLOCK_COUNT1结果																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表13年。CLOCK\_COUNT1寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	慈悲坑	R	0	慈悲坑
22-16	未使用	R	0	这些位将在多周期平均模式中使用, 以允许更高的平均结果。
15-0	CLOCK_COUNT1测量结果	R	0	CLOCK_COUNT1测量结果

### 8.6.14 时间2: 时间2寄存器 (地址: 12h) [reset=00\_0000h]

图34。时间2寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	测量结果: 23位整数 (位22: MSB, 位0: LSB)																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表14年。TIME2注册字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	慈悲坑	R	0	慈悲坑
22-0	测量结果	R	0	测量结果

### 8.6.15 CLOCK\_COUNT2: 时钟计数寄存器(地址: 13h) [reset=00\_0000h]

图35。CLOCK\_COUNT2寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	clock_count2																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表15年。CLOCK\_COUNT2寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	慈悲坑
22-16	未使用	R	0	这些位将在多周期平均模式中使用, 以允许更高的平均结果。
15-0	CLOCK_COUNT2结果	R	0	CLOCK_COUNT2结果



## 8.6.16 时间3：时间3寄存器（地址：14h）[重置=00\_0000h]

图36. 时间3寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	测量结果：23位整数（位22：MSB，位0：LSB）																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表16年。TIME3注册字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	慈悲坑
22-0	测量结果	R	0	测量结果

## 8.6.17 CLOCK\_COUNT3：时钟计数寄存器(地址：15h)[reset=00\_0000h]

图37. CLOCK\_COUNT3计数登记册

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	clock_count3																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表17年。CLOCK\_COUNT3寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	零度位
22-16	未使用	R	0	这些位将在多周期平均模式中使用，以允许更高的平均结果。
15-0	CLOCK_COUNT3结果	R	0	CLOCK_COUNT3结果

## 8.6.18 时间4：时间4寄存器（地址：16h）[重置=00\_0000h]

图38. 时间4寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	测量结果：23位整数（位22：MSB，位0：LSB）																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表18年。TIME4注册字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	
22-0	测量结果	R	0	测量结果

### 8.6.19 CLOCK\_COUNT4: 时钟计数注册器(地址: 17h) [reset=00\_0000h]

图39. CLOCK\_COUNT4计数寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	clock_count4																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表19年. CLOCK\_COUNT4寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	零度位
22-16	未使用	R	0	这些位将在多周期平均模式中使用, 以允许更高的平均结果。
15-0	CLOCK_COUNT4结果	R	0	CLOCK_COUNT4结果

### 8.6.20 时间5: 时间5寄存器 (地址: 18h) [重置=00\_0000h]

图40. 时间5寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	测量结果: 23位整数值 (位22: MSB, 位0: LSB)																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表20年. TIME5注册字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	慈悲坑
22-0	测量结果	R	0	测量结果

### 8.6.21 CLOCK\_COUNT5: 时钟计数注册器(地址: 19h) [reset=00\_0000h]

图41. CLOCK\_COUNT5计数寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	clock_count5																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例: R/W=读写; R=只读-重置后的=值

表21年. CLOCK\_COUNT5寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	零度位
22-16	未使用	R	0	这些位将在多周期平均模式中使用, 以允许更高的平均结果。
15-0	CLOCK_COUNT5结果	R	0	CLOCK_COUNT5结果

## 8.6.22 时间6：时间6寄存器（地址：1Ah）[重置=00\_0000h]

图42. 时间6寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	测量结果：23位整数（位22：MSB，位0：LSB）																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表22年。TIME6注册字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	零度位	R	0	慈悲坑
22-0	测量结果	R	0	测量结果

## 8.6.23 校准1：校准1寄存器（地址：1Bh）[重置=00\_0000h]

图43. 校准1寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	校准1																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表23年。校准1寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	神位	R	0	慈悲坑
22-0	校准1	R	0	校准1结果：23位整数（位22：MSB，位0：LSB）

## 8.6.24 校准2：校准2寄存器（地址：1Ch）[重置=00\_0000h]

图44. 校准2寄存器

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
慈悲坑	校准2																						
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0

图例：R/W=读写；R=只读-重置后的=值

表24年。校准2寄存器字段描述

比特	场	类型	重置	描述
23	神位	R	0	慈悲坑
22-0	校准2	R	0	校准2结果：23位整数（位22：MSB，位0：LSB）

## 9 应用与实施

注:

以下应用程序部分中的信息不属于TI组件规范的一部分，并且TI不保证其准确性或完整性。德州仪器的客户负责确定组件的适用性。客户应验证和测试他们的设计实现，以确认系统的功能。

## 9.1 应用程序信息

在飞行时间 (TOF) 法中, 测量了上游飞行时间和下游飞行时间。下游值和上游值之间的差值与流量成正比。

微控制器 (MCU) 配置TDC和AFE，并通过SPI接口向TDC发出测量开始命令。TDC向AFE发送一个触发脉冲，AFE被设置为驱动其中一个传感器，并向TDC发送一个启动信号，由TDC启动其计数器(s)。回波脉冲将通过AFE，并作为停止信号到达TDC。计数器将停止，在执行校准后，计数器值报告为VAL。

根据系统实现情况的不同，系统会向相同的方向或相反的方向重复上述步骤。

## 9.2 典型应用

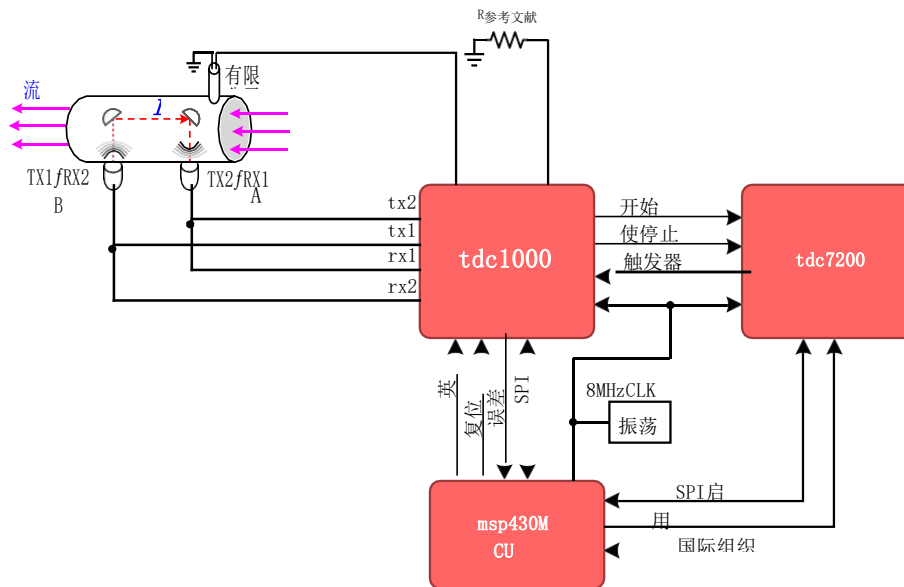


图45. 飞行模式下系统

### 9.2.1 设计要求

本例将考虑本节中的参数。

表25. 设计参数

设计参数	示例值
管径	15mm
传感器之间的距离	60mm
最小流量	0.015 m³/h
在最小流量下的精度	5%

流量计的设计需要对将使用该设备的系统进行彻底的技术评估。以下是需要考虑的领域的列表：

- 系统中最大允许误差下的最小流量和最大流量
- 过渡流速
- 随时间变化而泵送的瞬间和总量
- 仪表的精度在适用标准的规定范围内
- 系统中的压力
- 工作温度范围

根据系统要求确定适用于超声波传感器和连接传感器的适当电子器件。以下是适用于系统中使用的传感器/组件的规格清单：

- 励磁频率
- 励磁源电压
- 管径
- 传感器（或反射器）之间的距离

## 9.2.2 详细设计程序

以下小节介绍了流量计应用的详细设计程序。

### 9.2.2.1 流量计的规定和准确性

如果流量计适用于住宅应用，则其设计必须符合要求的标准。例如，根据国际法定计量组织(OIML)，水表的计量要求由Q1、Q2、Q3和Q4的值定义，详见表26。

表26年。每OIML的流量区

流速区	描述
Q1	仪表在最大允许误差范围内运行的最低流量。
Q2	永久流量与最小流量之间的流量将流量范围分为两个区域，上流量区和低流量区，每个区域都有自己的最大允许误差。
Q3	在额定工作条件下的最高流量，此时流量计应在最大允许的误差范围内运行。
Q4	仪表在最大允许误差范围内短时间运行的最高流量，同时在额定运行条件下运行时保持其计量性能。

水表以Q3为 $m$ 表示<sup>3</sup>以及第三季度和第一季度的比率。Q3的值和Q3/Q1的比率可从OIML标准中提供的列表中选择。

水表的设计和制造必须使其误差不超过标准中规定的最大允许误差(MPE)。例如，在OIML标准中，水表需要根据要求被指定为精度1级或精度2级。

对于1类水表，上流量区( $Q2 \leq Q \leq Q4$ )的最大允许误差为 $\pm$ ，从0.1° C到30° C的温度为 $\pm 1\%$ ，大于30° C的温度为 $\pm 2\%$ 。低流量区( $Q1 \leq Q < Q2$ )的最大允许误差为 $\pm 3\%$ ，与温度范围无关。

对于2类水表，上流量区( $Q2 \leq Q \leq Q4$ )的最大允许误差为 $\pm$ ，0.1° C至30° C的温度为 $\pm 2\%$ ，大于30° C的温度为 $\pm 3\%$ 。无论温度范围如何，低流量区域( $Q1 \leq Q < Q2$ )的最大允许误差为 $\pm 5\%$ 。

该标准中规定的流量计精度规定了用于驱动超声波换能器的电子设备、接收器路径中的电路和时间测量子电路中所需的精度。在较低流量下所要求的严格精度将要求在超声波流量计中使用的发射器和接收器电路中具有非常低的噪声信号链，以及测量皮秒时间间隔的能力。

### 9.2.2.2 在超声波流量计中的传输时间

传输时间超声波流量计的工作原理是移动流体中的声波在流动方向（下游）移动更快，在相反方向（上游）移动慢。

该系统至少需要两个传感器。第一传感器在上游循环中作为发射器，在下游循环中作为接收器，第二传感器在上游循环中作为接收器，在下游循环中作为发射器。超声波流量计通过在—对传感器之间交替传输和接收循环工作，并准确测量两个方向。

在本例中，上游的TOF被定义为：

$$t_{BA} = \frac{L}{(c - v)}$$

在哪里

- L为两个传感器之间的路径长度，单位为米(m)
- c为水中的声速，单位为米每秒 (m/s)
- v为管道内水的速度，单位为米每秒 (m/s)

在本例中，下游的TOF被定义为：

$$t_{AB} = \frac{L}{(c + v)}$$

在哪里

- L为两个传感器之间的路径长度，单位为米(m)
- c为水中的声速，单位为米每秒 (m/s)
- v为管道内水的速度，单位为米每秒 (m/s)

TOF的差异定义为：

$$\Delta TOF = t_{BA} - t_{AB}$$

在哪里

- $t_{BA}$  传感器B到传感器A的上游TOF (秒)
- $t_{AB}$  传感器A到传感器B的下游TOF (秒)

在计算出飞行时间 ( $\Delta TOF$ ) 之差后，管道内的水流速度可以与  $\Delta TOF$  使用以下等式：

$$v = \frac{\Delta TOF \times c^2}{2 \times L}$$

在哪里

- c为水中的声速，单位为米每秒 (m/s)
- L为两个传感器之间的路径长度，单位为米(m)

最后，质量流量的计算方法如下：

$$Q = k \times v \times A$$

在哪里

- K是流量计的常数
- v为管道内水的速度，单位为米每秒 (m/s)
- A为管道的横截面面积，单位为平方米 (m<sup>2</sup>)

### 9.2.2.3 $\Delta TOF$ 精度要求的计算

根据表25中的最小质量流量要求和精度要求，所需  $\Delta TOF$  精度如下：

#### 1. 将质量流量转换为 m<sup>3</sup>/s:

$$Q = (0.015 \text{ n}^3/\text{h}) \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 4.167 \times 10^{-6} \text{ N}^3/\text{s}$$

2. 计算假设k=1的流速:

$$v = \frac{Q}{kA} = \frac{4.167 \times 10^{-6} \text{ N}^3/\text{s}}{n \left( \frac{0.015 \text{ N}}{2} \right)^2} = 0.0236 \text{ n/s}$$

3. 计算给定声速的  $\Delta \text{Tof}$ 。在本例中, 假设声速为  $c=1400\text{m/s}$ :

$$6\text{Tof}_{\text{错误}} = \frac{2 \times 1 \times v (2) (0.06 \text{ n}) (0.0236 \text{ n/s})}{c^2} = \frac{1400 \text{ n/s}^2}{1400 \text{ n/s}^2} = 1.445\text{ns}$$

4. 对最小流量的5%精度的要求将导致  $\Delta \text{Tof}$ 精度为:

$$6\text{Tof}_{\text{错误}} = (0.05) (1.445\text{ns}) = 72.25\text{es}$$

因此, 该系统需要一个高精度的计时器/秒表, 可以测量较低的流量状态。

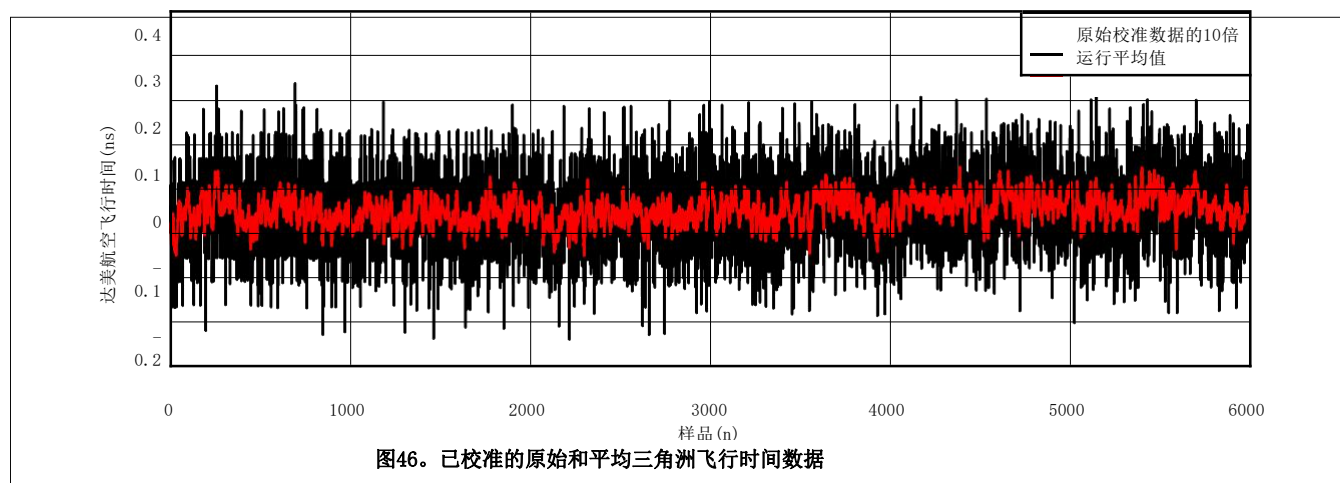
TDC1000超声波模拟前端用于驱动发射机, 放大和滤波接收信号, 调节回波以启动和停止脉冲产生。TDC7200ps精确计时器用于测量由TDC1000产生的STOP脉冲的上升边缘和上升边缘之间的时间间隔。

微控制器应首先配置TDC7200和TDC1000进行测量。当微控制器通过SPI接口向TDC7200发出启动命令时, TDC7200向TDC1000的触发销发送触发脉冲。当TDC1000驱动发射传感器时, 在启动引脚上产生一个同步启动脉冲, 它命令TDC7200启动其计数器。当在接收传感器上接收到有效的回波脉冲时, TDC1000在停止针上产生一个停止脉冲, 它命令TDC7200停止其计数器。对上游和下游循环重复此步骤。

可以进行温度测量, 其结果可以用来纠正声速的温度依赖性。

### 9.2.3 应用程序曲线

图46、图47和图48显示了在室温下零流量条件下收集的数据所创建的数据和直方图。采用了一种简单的偏移校准, 其中从数据中减去数据的总体平均值。



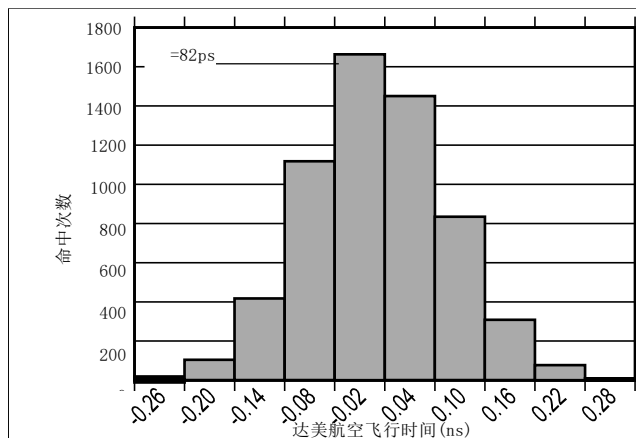


图47. 原始校准的数据直方图

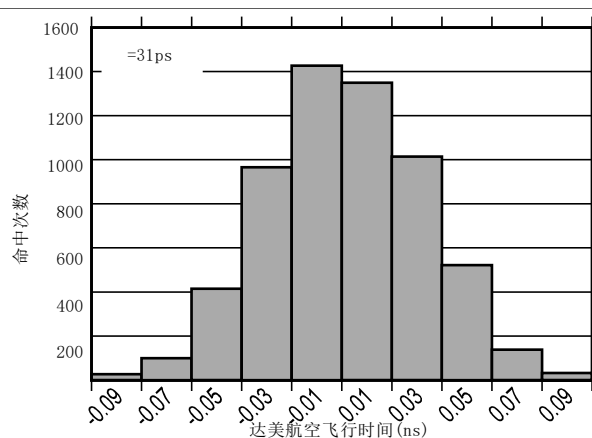


图48. 10倍正在运行的平均数据直方图

### 9.3 过滤后的建议

对于长时间积累转换结果的流量计等应用，不需要后过滤。但是，对于根据个别转换结果采取特定操作的应用程序，建议进行后过滤。后滤波的一个优点是去除正态分布之外的转换结果。

单片机常用的一种后滤波方法是中值滤波方法。通过安排从最低值到最高值的所有转换，并选择中间值，就可以找到有限数量的转换结果的中值。例如，{50、51、49、40、51}的转换结果可以从最低重新排列到最高{40、40、49、50、51、51}，应用中位数滤波法后的中值为50。

### 9.4 时钟建议

一个稳定的、已知的参考时钟对测量时间的能力至关重要，而不管时间测量设备如何。一个时钟源的两个参数主要影响测量时间的能力：精度和抖动。以下小节将讨论对时钟的建议，以提高精度和减少抖动。

#### 9.4.1 时钟精度

时钟源通常用精度值来指定，因为时钟周期并不完全等于指定的标称值。例如，一个8MHz的时钟参考可能具有20ppm的精度。因此，时钟周期的真实值的误差为±20ppm，真实频率在7.99984MHz到8.00016MHz [ $8\text{MHz} \pm (8\text{MHz}) \times (20/10^6)$  的范围内<sup>6)</sup>].

如果时钟精度在这个边界处，但用于计算飞行时间的参考时间与标称的8MHz时钟周期有关，那么测量的时间将受到这个误差的影响。例如，如果测量的时间周期为50μs，8MHz参考时钟的频率误差+为50ppm，但测量的时间为125ns周期(1/8MHz)，则50μs时间周期的误差为50μs×50/1000000=2.5ns。

总之，一个时钟的不准确度按比例转化为一个时间测量误差。

#### 9.4.2 时钟喷射器

时钟抖动为时间测量引入了不确定性，而不是不准确。如图49所示，抖动在每个时钟周期上累积，因此与时间测量相关的不确定性是时钟抖动和测量的时钟周期数的函数。

$\text{Clock\_Jitter\_Uncertainty} = (\sqrt{n}) \times (\theta_{\text{抖动}})$ ，其中n为计数的时钟周期数，和  $\theta_{\text{抖动}}$  是时钟的周期到周期的抖动。

例如，如果使用8MHz参考时钟测量的时间为50μs，则  $n = 50\mu\text{s} / (1/8\text{MHz}) = 400$  时钟周期。如果出现RMS周期到周期的抖动，则为  $\theta_{\text{抖动}} = 10\text{ps}$ ，然后在单次测量中引入的RMS不确定度在  $(\sqrt{n}) \times (\theta_{\text{抖动}}) = 200\text{ps}$ 。



## 时钟建议（续）

由于抖动的影响是随机的，平均或累积时间的结果减少了所引入的不确定性的影响。如果测量的时间为m次，并取结果的平均值，则将不确定度降低为： $\text{Clock\_Jitter\_Uncertainty} = (\sqrt{n}) \times (\theta_{\text{抖动}}) / (\sqrt{m})$ 。

例如，如果在上述示例中执行了64个平均值，则与抖动相关的不确定性降低到25psRMS。

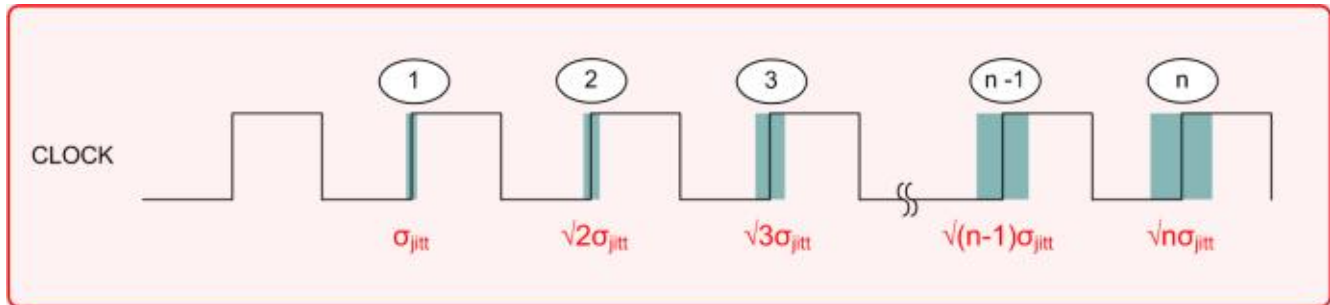


图49。时钟喷射器

## 10 电源建议

TDC7200的模拟电路设计为从2V到之间的输入电压供应范围工作

3.6V。建议将100nF陶瓷旁路电容器尽可能靠近VDD引脚。此外，建议使用值大于1 $\mu$ F的电解电容器或钽电容器。散装电容器不需要与TDC7200接近，并且可以接近电压源端子或在驱动TDC7200的电压调节器的输出处。

## 11 布局

### 11.1 布局指南

- 在四层板设计中，从上到下推荐的层叠顺序为：信号、接地、功率和信号。
- 旁路电容器应放置在靠近VDD引脚附近。
- 从TDC7200到秒表/单片机的启动轨迹和停止轨迹的长度应相匹配，以防止不均匀的信号延迟。此外，避免在这些痕迹上有不必要的通孔，并保持路由尽可能短/直接，以尽量减少PCB上的寄生电容。
- 将SPI信号轨迹紧密连接在一起。将串联电阻放置在DOUT源（靠近TDC7200），将串联电阻放置在DIN、SCLK和CSB源（靠近主单片机）。

## 11.2 布局示例

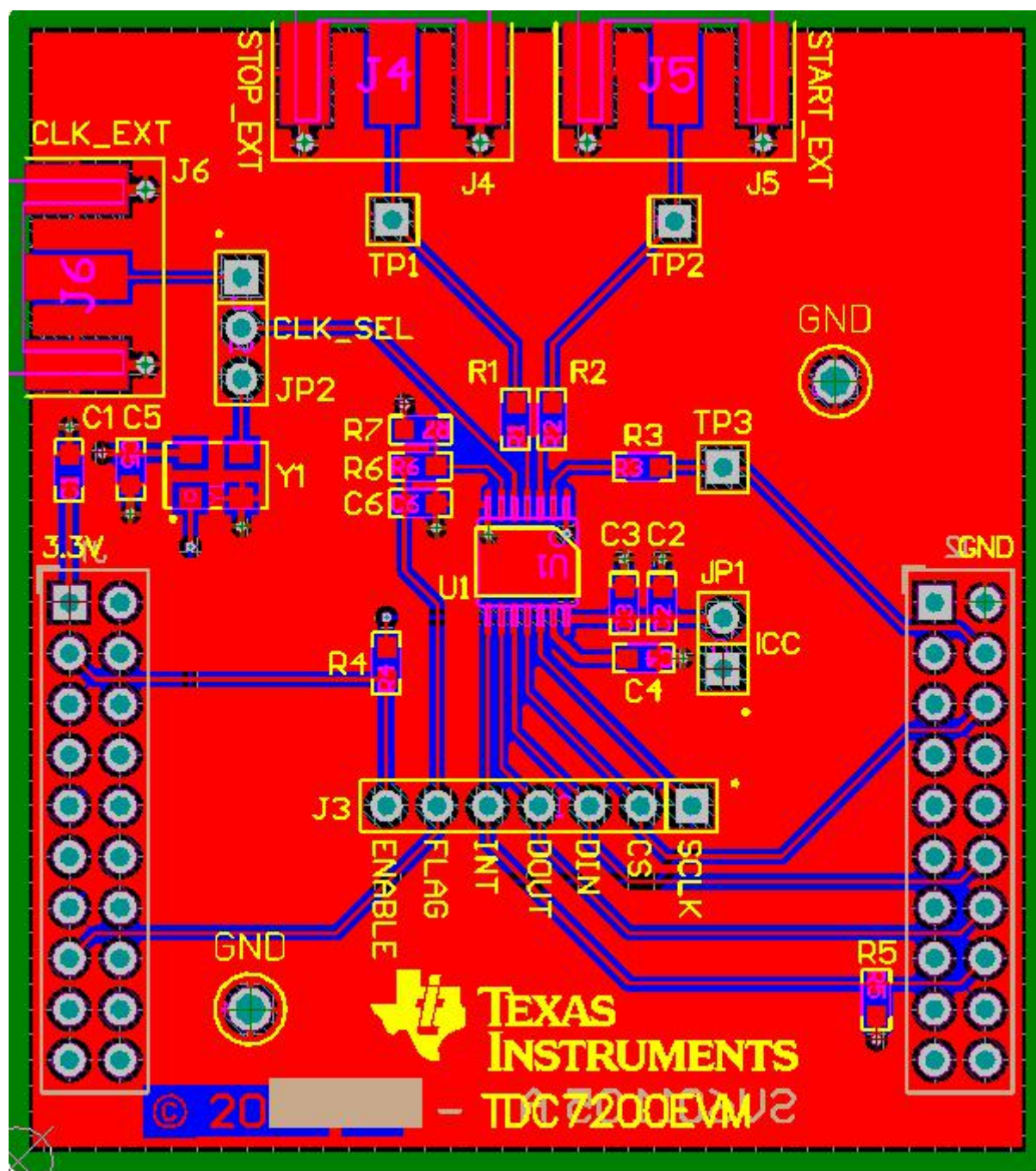


图50. TDC7200EVM布局

## 12 设备和文档支持

### 12.1 文档支持

#### 12.1.1 相关文件

有关相关文档，请参见以下内容：

- TDC1000：超声波传感模拟前端用于液位、浓度、流量和近度传感应用。

### 12.2 社区资源

以下链接连接到TI社区资源。链接的内容由各自的贡献者“按原样”提供。它们不构成TI的规范，也不一定反映TI的观点；参见TI的使用条款。

**TIE2E™在线社区TI的工程师对工程师(E2E)社区。**旨在促进工程师之间的协作。在e2e.ti.com，你可以问问题，分享知识，探索想法，并帮助与工程师同事解决问题。

设计支持TI的设计支持快速找到有用的E2E论坛以及设计支持工具和技术支持的联系信息。

### 12.3 商标

E2E是德州仪器公司的一个商标。SPI是摩托罗拉的一个商标。  
所有其他商标均为其各自所有者的财产。

### 12.4 静电放电警告



这些设备的内置ESD保护功能有限。在存储或处理过程中，导线应在一起短路或将设备放置在导电泡沫中，以防止静电损坏MOS门。

### 12.5 格罗萨里

SLYZ022-TI术语表。

本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

## 13 机械、包装和可订购的信息

以下页面包括机械的、包装和可订购的信息。此信息是指定设备可用的最新数据。本数据如有更改，恕不另行通知及修改本文件。有关此数据表的基于浏览器的版本，请参阅左侧导航功能。



www.ti.com

包选项附录

2016年3月2日

包装信息

可订购设备	状态 (1)	包类型	包装图纸	针	包装质量	生态规划 (2)	铅球完成 (6)	MSL峰值温度 (3)	操作模板 (° C)	设备标记 (4/5)	样品
tdc7200pw	活跃的	特索普	pw	14	90	绿色 (RoHS&无标准)	CU NIPDAU	1级-260C-UNLIM	-40至85	T7200	<a href="#">Samples</a>
tdc7200pwr	活跃的	特索普	pw	14	2000	绿色 (RoHS&无标准)	CU NIPDAU	1级-260C-UNLIM	-40至85	T7200	<a href="#">Samples</a>

<sup>(1)</sup>市场营销状态值的定义如下：  
活动状态：推荐用于新设计的产品设备。  
终身购买：德州仪器宣布该设备将停产，终身购买期已经生效。  
NRND：不推荐用于新的设计。设备正在生产中，以支持现有客户，但TI不建议在新的设计中使用此部分。  
预览：设备已经宣布，但尚未生产。样品可能有，也可能不有。  
过时：德州仪器已停止生产该设备。

<sup>(2)</sup>生态规划-计划的环保分类：无铅 (RoHS)、不含铅 (RoHS豁免) 或绿色 (RoHS&无Sb/Br) -请检查<http://www.ti.com/productcontent>以获取最新的可用性信息和其他产品内容的详细信息。  
TBD：无铅/绿色转换计划尚未定义。  
无铅 (RoHS)：TI的术语“无铅”或“无铅”是指符合目前RoHS对所有6种物质要求的半导体产品，包括均匀材料中铅不超过0.1%的要求。如果设计为高温焊接，TI无铅产品适用于指定的无铅工艺。  
无铅 (RoHS豁免)：该部件具有RoHS对1) 模与包装之间使用的铅翻转芯片焊点或2) 模与铅框之间使用的铅模胶的RoHS豁免。如上所述，组件无铅 (RoHS兼容)。  
绿色 (RoHS&无Sb/Br)：TI将“绿色”定义为无铅 (与RoHS兼容)，不含溴 (Br) 和锑 (Sb) 基阻燃剂 (均匀材料中Br或Sb重量不超过0.1%)

<sup>(3)</sup>MSL，峰值温度。-根据JEDEC行业标准分类得出的水分敏感度等级等级，以及峰值焊料温度。

<sup>(4)</sup>可能还有与标志、批次跟踪代码信息或设备上的环境类别相关的附加标记。

<sup>(5)</sup>括号内将有多个设备标记。设备上只包含括号中并由“~”分隔的设备标记。如果某一行被缩进，则它是前一行的延续，两者组合表示该设备的整个设备标记。

<sup>(6)</sup>铅/球饰面-可排序的设备可能有多个材料饰面选项。完成线选项由一条垂直的直线分隔。如果饰面值超过最大柱宽度，铅/球饰面值可以继续成两条线。

**重要信息和免责声明：本页提供的信息代表TI在提供之日的知识和信念。**TI的知识和信念基于第三方提供的信息，对这些信息的准确性不作任何陈述或保证。目前正在努力更好地整合来自第三方的信息。德州仪器已采取并将继续采取合理措施，提供具有代表性和准确的信息，但可能没有对进入的材料和化学品进行破坏性检测或化学分析。德州仪器和德州仪器的供应商认为某些信息是专有的，因此CAS号码和其他有限的信息可能无法发布。



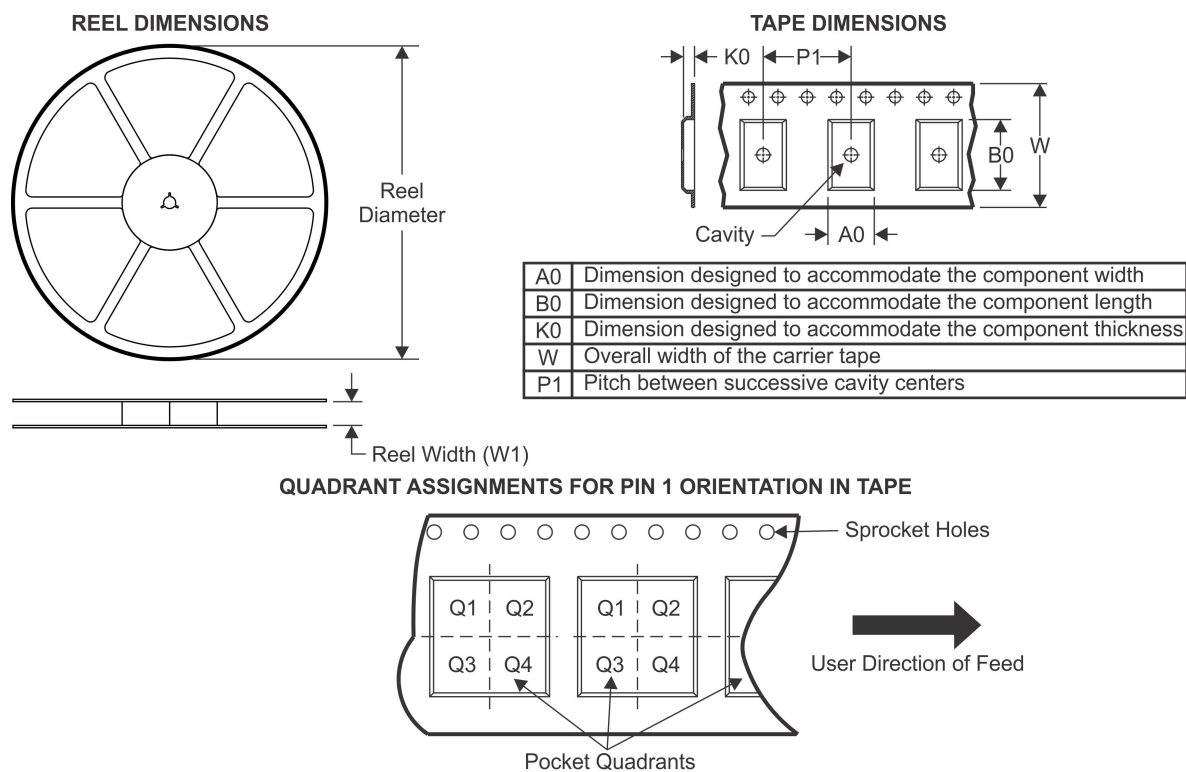
www.ti.com

包选项附录

2016年3月2日

在任何情况下，TI因这些信息而产生的责任均不得超过本文件中TI每年出售给客户的争议TI部件的总购买价格。

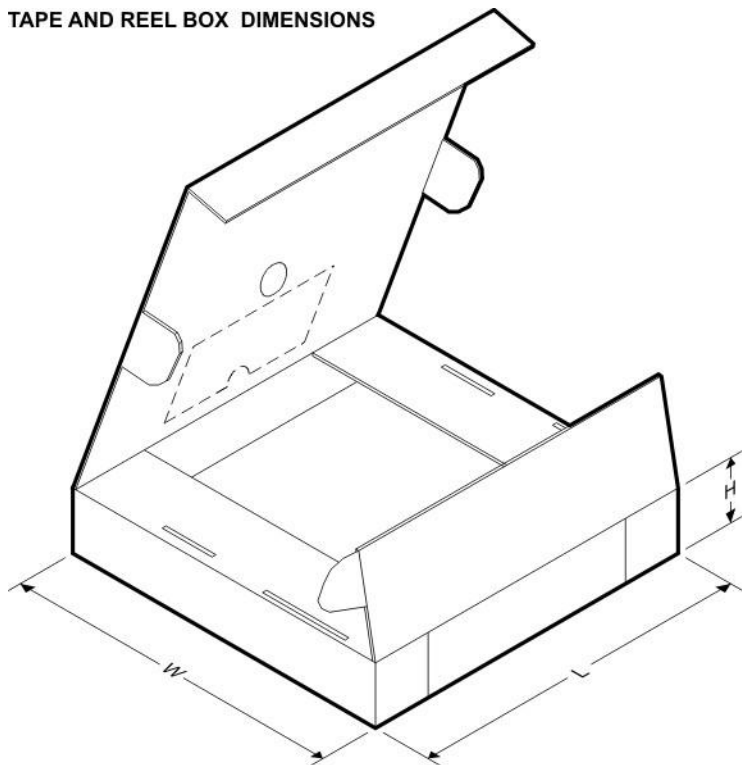
## 磁带和卷轴信息



\*所有尺寸都是名义上的

设备	包类型	包装图纸	针	特殊产品 报价	后部直径 (mm)	后宽 W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1象 限
tdc7200pwr	特索普	pw	14	2000	330.0	12.4	6.9	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



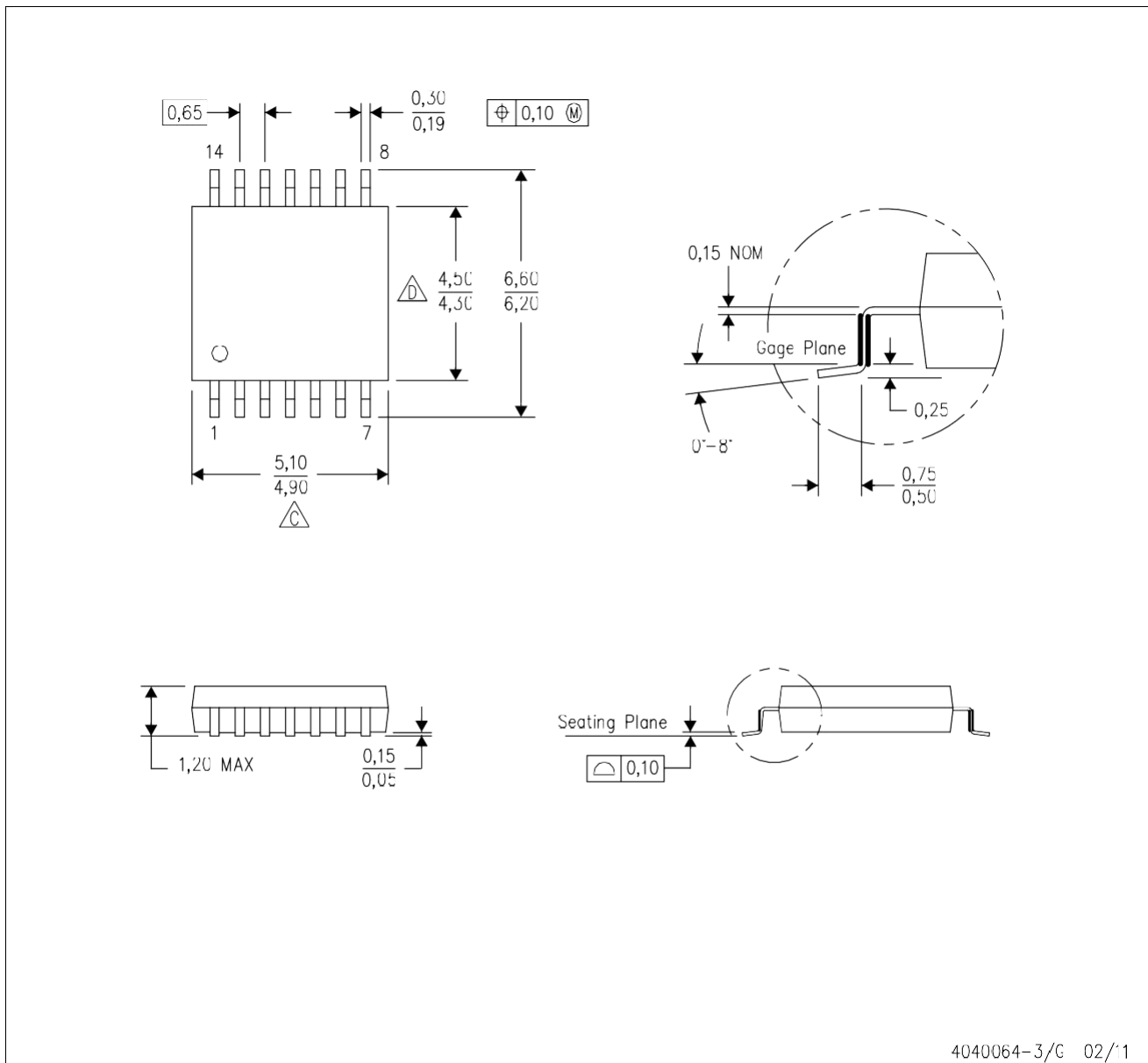
\*所有尺寸都是名义上的

设备	包类型	包装图纸	针	特殊产品 报价	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)
tdc7200pwr	特索普	pw	14	2000	367.0	367.0	35.0



PW (R-PDSO-G14)

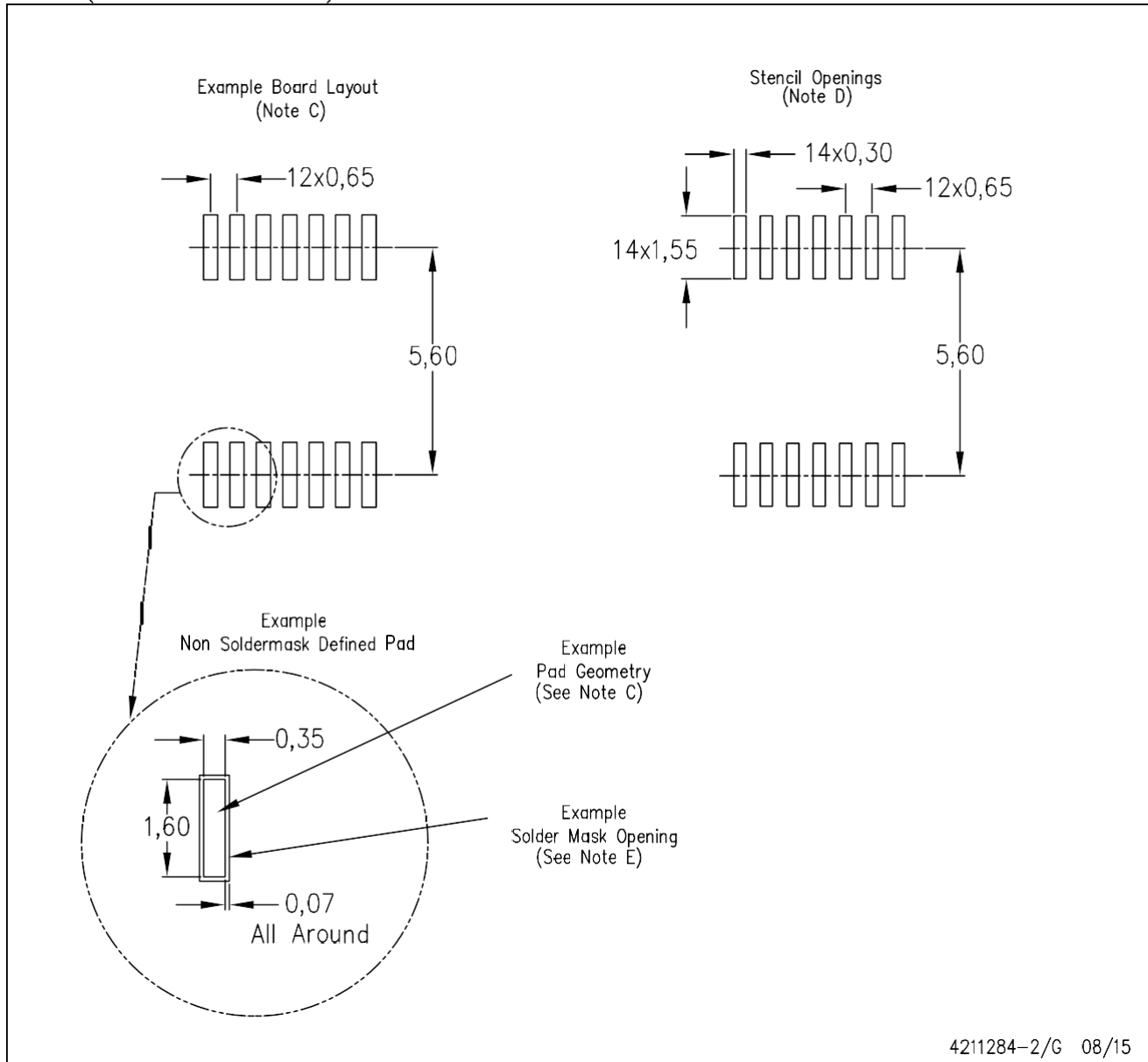
PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0,15 each side.
  - D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0,25 each side.
  - E. Falls within JEDEC MO-153

PW (R-PDSO-G14)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
  - Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
  - Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

## 重要通知

德州仪器公司及其子公司(TI)保留根据最新发行的JESD46对其半导体产品和服务进行修正、增强、改进和其他更改的权利,并根据最新发行的JESD48停止任何产品或服务权利。买方在下单前应获得最新的相关信息,并应核实这些信息是否最新且完整。所有半导体产品(也在本协议中称为“零部件”)均按照德州仪器在确认订单时提供的销售条款和条件进行销售。

德州仪器根据半导体产品销售的条款和条件,保证其组件符合销售时适用的规格。测试和其他质量控制技术用于TI认为必要的支持本保证。除适用法律规定外,不一定要对每个部件的所有参数进行测试。

德州仪器不承担申请协助或买方产品设计责任。买方应负责其使用TI组件的产品和应用程序。为了尽量减少与买方的产品和应用相关的风险,买方应提供适当的设计和保障操作措施。

TI仪器不保证或声明任何许可是根据任何专利权、版权、面具工作权或其他知识产权的明示或默示方式授予的。德州仪器发布的有关第三方产品或服务的信息并不构成使用该等产品或服务的许可,或其保证或背书。使用该等信息可能需要第三方的专利或其他知识产权下的许可,或第三方的专利或其他知识产权下的许可。

只有在复制没有更改,并附有所有相关的保证、条件、限制和通知的情况下,才允许复制TI数据簿或数据表中的TI信息的重要部分。TI对此类修改的文件不承担任何责任。第三方的信息可能会受到其他限制。

转售TI组件或服务的声明不同或不同的组件或服务无效对相关TI组件或服务的明示和任何隐含保证,是不公平和欺骗性的商业行为。TI对任何此类声明不承担任何责任。

买方承认并同意,尽管TI可能提供任何应用相关信息或支持,买方仍全权负责就其产品遵守所有法律、法规和安全相关要求,以及在其应用中使用任何与应用相关的信息或支持。买方表示并同意,它拥有所有必要的专业知识,以创建和实施保障措施,预测故障的危险后果,监测故障及其后果,减少可能造成危害的故障的可能性,并采取适当的补救措施。买方将完全赔偿TI及其代表免因在安全关键应用中使用任何TI组件而产生的任何损害。

在某些情况下,可特别推广TI组件,以促进与安全相关的应用。有了这些组件,TI的目标是帮助客户能够设计和创建他们自己的最终产品解决方案,以满足适用的功能安全标准和要求。尽管如此,这些组成部分仍受这些条款的约束。

除非双方授权人员执行FDAIII类特别协议,否则其他部件未授权使用(或类似使用生命的医疗设备)。

只有专门指定为军事级或“增强塑料”的TI仪器部件被设计并用于军事/航空航天应用或环境。买方承认并同意,对于未被指定的TI组件的任何军事或航空航天使用,完全由买方承担风险,买方完全负责遵守与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI已明确指定某些部件符合ISO/TS16949的要求,主要用于汽车使用。在任何使用非指定产品的情况下,TI将不对任何不符合ISO/TS16949要求的情况负责。

### 乘积

音频	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
放大器	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
数据转换器	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP®产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
接口	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
逻辑的	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
电力管理	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
微控制器	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
射频识别	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP应用程序处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
无线连接	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### 应用程序

汽车和运输	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
通信和电信	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
计算机和外围设备	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
消费电子产品	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
能源和照明	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
工业	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
医疗	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
保护措施	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
太空、航空电子学和国防	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
视频和成像	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>

### TIE2E社区

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

邮寄地址: 德州仪器公司, 邮政信箱655303, 达拉斯, 德克萨斯州75265版权所有©2016, 德州仪器股份有限公司