

激光测距用高精度时间测量(TDC)电路

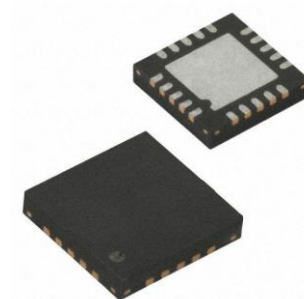
产品简述

MS1003 是一款高精度时间测量(TDC)电路, 对比 MS1002 具有更高的精度和更小的封装, 适合于高精度小封装的应用领域。

MS1003 具有双通道、多脉冲的采样能力、高速 SPI 通讯、多种测量模式, 适合于激光雷达和激光测距。

主要特点

- 双通道单精度模式 46ps
- 单通道双精度模式 23ps
- 非校准单精度测量范围 3.5ns(0ns)至 16 μ s
- 非校准双精度测量范围 3.5ns(0ns)至 16 μ s
- 校准单精度测量范围 3.5ns(0ns)至 4 μ s
- 校准双精度测量范围 3.5ns(0ns)至 2 μ s
- 10ns 最小脉冲间隔, 双通道最多可接收 20 个脉冲
- 4 线 SPI 通信接口
- 工作电压 2.5V 至 3.6V
- 工作温度 -40°C 至 +100°C
- QFN20 封装



QFN20

应用

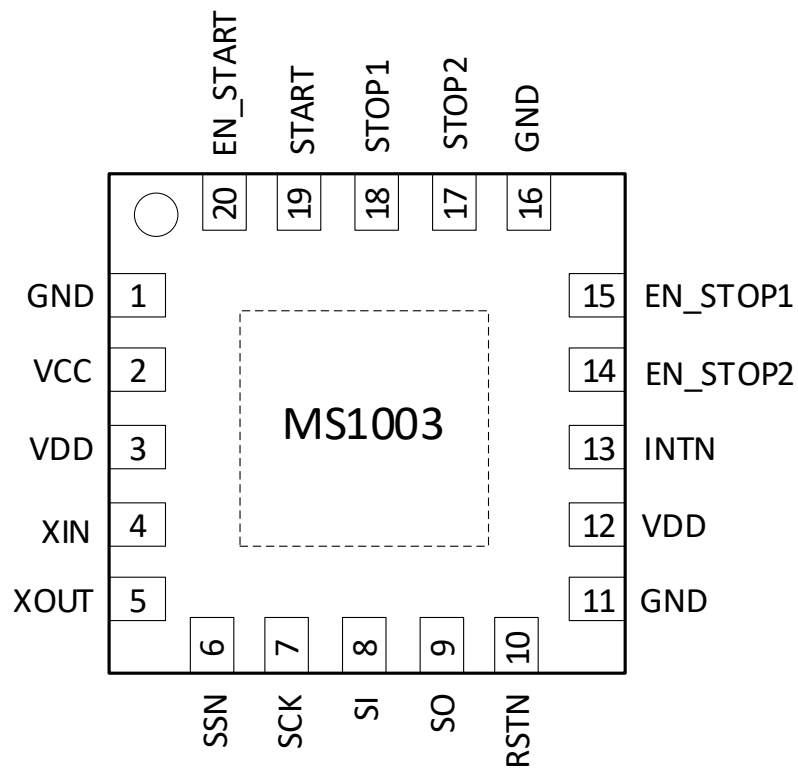
- 激光雷达
- 激光测距
- 脉冲测量

产品规格分类

产品	封装形式	丝印名称
MS1003	QFN20	MS1003



管脚图

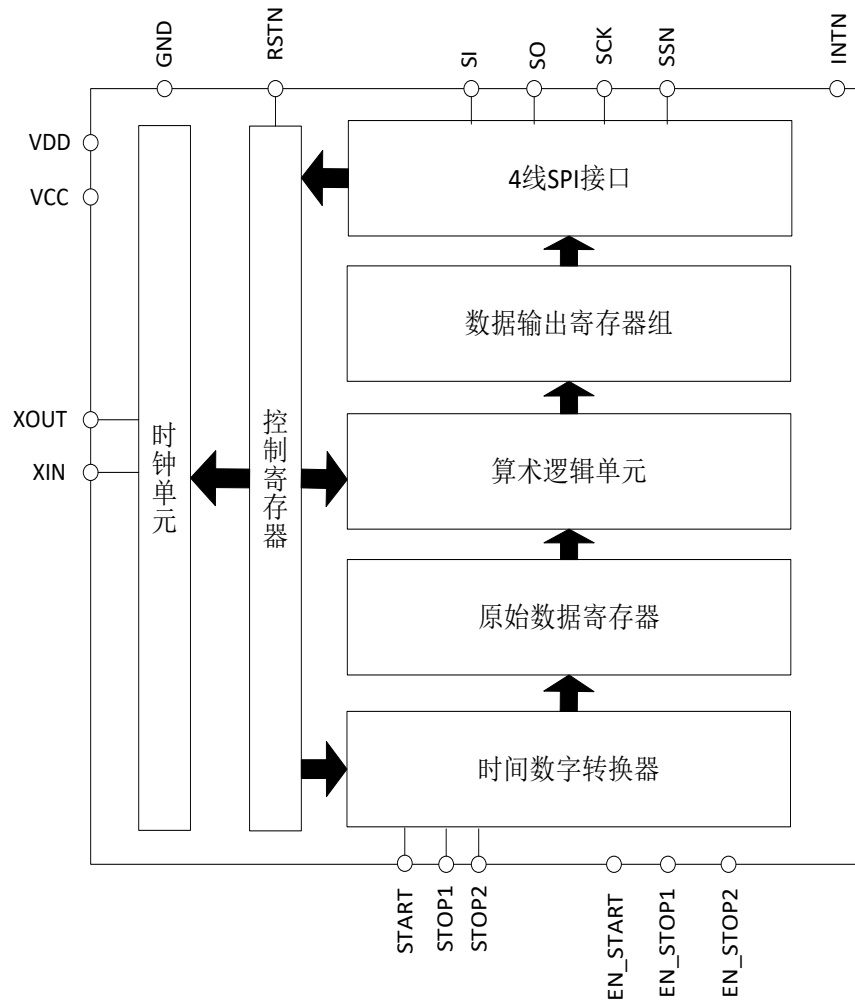


管脚说明

管脚编号	管脚名称	管脚属性	管脚描述
1	GND	-	地
2	VCC	-	端口电源
3	VDD	-	内核电源
4	XIN	I	高速晶振驱动输入
5	XOUT	O	高速晶振驱动输出
6	SSN	I	SPI 接口从机选择，低电平有效
7	SCK	I	SPI 接口时钟输入
8	SI	I	SPI 接口数据输入
9	SO	O	SPI 接口数据输出；SPI 空闲时高阻
10	RSTN	I	系统复位输入，低电平有效
11	GND	-	地
12	VDD	-	内核电源
13	INTN	O	中断标志，低电平有效
14	EN_STOP2	I	Stop 通道 2 使能端口，高电平有效
15	EN_STOP1	I	Stop 通道 1 使能端口，高电平有效
16	GND	-	地
17	STOP2	I	Stop 通道 2
18	STOP1	I	Stop 通道 1
19	START	I	Start 通道
20	EN_START	I/O	默认输出口，输出 START 脉冲，建议不要直接接电源，以免产生大电流；EN_START 内部上拉 Start 使能，可通过设置寄存器设置为 EN_START 输入，高电平有效



内部框图



极限参数

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

参数	符号	额定值	单位
内核供电电压	V_{DD}	-0.3 ~ 4	V
IO 供电电压	V_{CC}	-0.3 ~ 4	V
输入管脚电压	V_{IN}	-0.5 ~ $V_{CC}+0.5$	V
存储温度	T_{STG}	-65 ~ 150	°C
工作环境温度	T_A	-40 ~ 100	°C
焊接温度(10s)		260	°C
ESD(HBM)	V_{ESD}	>6	kV

推荐工作条件

没有特别规定， $T_A = 25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
内核供电电压*	V_{DD}	$V_{DD} = V_{CC}$	2.5		3.6	V
IO 供电电压	V_{CC}		2.5		3.6	V
一般输入上升沿时间	t_{RI}				200	ns
一般输入下降沿时间	t_{FA}				200	ns
工作环境温度	T_A		-40		100	°C

*包括晶振管脚 XIN, XOUT



电气参数

直流特性

 $V_{DD}=V_{CC}=3.0V$, $T_A=-40^{\circ}C$ 到 $+85^{\circ}C$

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
4MHz 晶振电流	I_{HS}	$V_{CC}=V_{DD}=3.6V$		200		μA
		$V_{CC}=V_{DD}=3.0V$		130		μA
		关闭时		<1		μA
操作电流	I_O	TOF($V_{CC}=V_{DD}=3.3V$)		4.1		mA
输出高电压	V_{OH}	$I_{OH}=tbd\text{ mA}$, $V_{CC}=\text{Min}$	$0.8V_{CC}$			V
输出低电压	V_{OL}	$I_{OL}=tbd\text{ mA}$, $V_{CC}=\text{Min}$			$0.2V_{CC}$	V
输入高电压	V_{IH}	LVTTL, $V_{CC}=\text{Max}$	$0.7V_{CC}$			V
输入低电压	V_{IL}	LVTTL, $V_{CC}=\text{Min}$			$0.3V_{CC}$	V

终端等效电容

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
数字输入	C_{IN}	$V_{CC}=V_{DD}$, $f=1\text{MHz}$, $T_A=25^{\circ}C$		7		pF
数字输出	C_O			3		pF
双向	C_{IO}			9		pF

时间测量单元

 $V_{DD}=V_{CC}=3.0V$, $T_A=25^{\circ}C$

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
测量分辨率	LSB	DOUBLE_RES = 0		46		ps
		DOUBLE_RES = 1		23		
标准偏差	σ	DOUBLE_RES = 0	测量时间 100ns	40		ps
			测量时间 1000ns	48		
		DOUBLE_RES = 1	测量时间 100ns	37		
			测量时间 1000ns	46		
测量范围	t_M	非校准单精度测量	3.5ns		16 μs	
		非校准双精度测量	3.5ns		16 μs	
		自校准单精度测量	3.5ns		4 μs	
		自校准双精度测量	3.5ns		2 μs	



时钟振荡器

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
高速晶振参考时钟	Clk _{HS}		1	4	8	MHz
陶瓷晶振起振时间	t _{OSZST}			100		μs
石英晶振起振时间	t _{OSZST}			1		ms



功能描述

1. SPI接口

MS1003 的 SPI 接口是与 4 线制 SPI 兼容的，它需要一个 SerialSelectNot (SSN)信号，从而不能够工作在 3-线制 SPI 接口。

SSN 的下降沿或者第一个 SCK 的上升沿将会复位 INTN 管脚（中断管脚）状态。

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

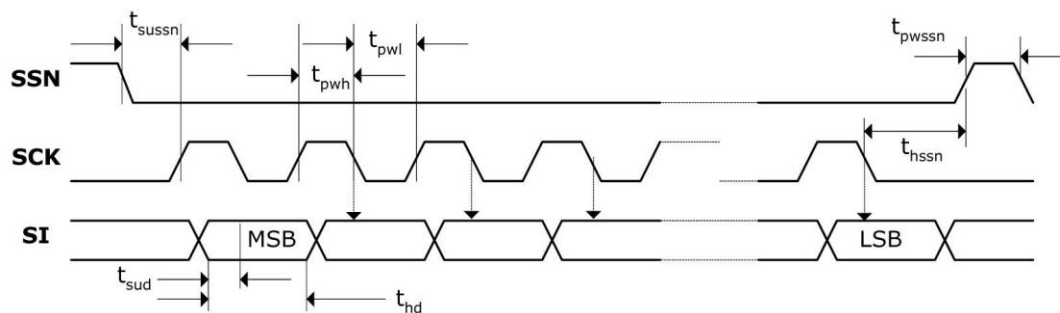


图 1. SPI 写时序

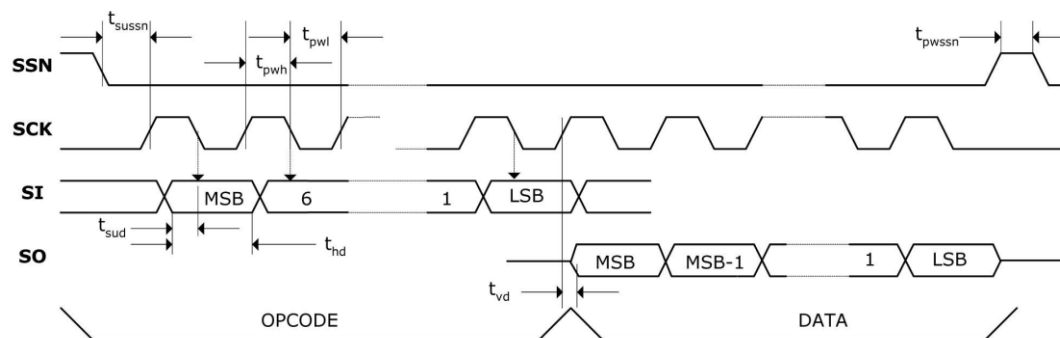


图 2. SPI 读时序

参数	符号	V _{DD} =2.5V	V _{DD} =3.3V	单位
串行时钟频率	f _{clk}	25（最大值）	40（最大值）	MHz
串行时钟, 脉冲高	t _{pwh}	20（最小值）	12（最小值）	ns
串行时钟, 脉冲低	t _{pwl}	20（最小值）	13（最小值）	ns
SSN 开启到时钟沿有效	t _{sussn}	20（最小值）	20（最小值）	ns
SSN 在写循环之间的脉冲宽度	t _{pwssn}	25（最小值）	25（最小值）	ns
SSN 在 SCK 下降沿后的保持时间	t _{hssn}	15（最小值）	15（最小值）	ns
数据有效到 SCK 下降沿的时间	t _{sud}	5（最小值）	5（最小值）	ns
数据在 SCLK 下降沿后的保持时间	t _{hd}	5（最小值）	5（最小值）	ns
在 SCK 上升沿到数据有效的时间	t _{vd}	15（最小值）	10（最小值）	ns



2. 关闭STOP通道的时序

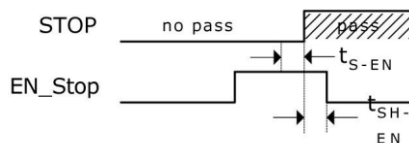


图 3. 关闭 STOP 通道时序

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
使能建立时间	t_{S-EN}		3.5			ns
使能保持时间	t_{SH-EN}		15			ns

3. 系统复位时序

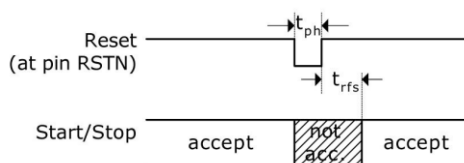


图 4. 系统复位时序

参数	符号	最小值	最大值	单位
复位脉冲宽度	t_{ph}	30		ns
在复位脉冲上升沿后到可以接受脉冲的时间间隔	t_{rfs}	30		ns

4. 电源电压

为了达到最佳测量效果，好的电源非常重要。电源应该具有高电容性和低电感性。MS1003 提供两对电源供应端口:VCC - I/O 供电电压，VDD - 内核供电电压。

所有的 Ground 引脚都应该连接到印刷电路板的地层上。VCC 和 VDD 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 μ F（最小 22 μ F），VDD 100 μ F（最小 22 μ 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。



5. 操作码及寄存器

5.1 配置寄存器

MS1003 有 1 组 32 位的配置寄存器。

位	默认	参数	描述	设置
31	0	HITIN2	在 stop 通道 2 的预期脉冲数	0 = stop 通道关闭
30	0			2 = 1 个脉冲; 3 = 2 个脉冲;
29	1			4 = 3 个脉冲; 5 = 4 个脉冲;
28	0			6 = 5 个脉冲; 7 = 6 个脉冲;
27	0	HITIN1	在 stop 通道 1 的预期脉冲数	8 = 7 个脉冲; 9 = 8 个脉冲;
26	0			A = 9 个脉冲; B = 10 个脉冲
25	1			1,C 到 F = 不允许设置
24	0			STOP1 不能设置为 0
23	0	SEL_TIMO	溢出时间选择（使该功能有效必须 EN_SEL_TIMO=1） 另外该溢出时间仅和高速时钟相关	0 = 1.5-2 个主时钟周期@500ns
22	0			1 = 3.5-4 个主时钟周期@1μs
				2 = 7.5-8 个主时钟周期@2μs
				3 = 15.5-16 个主时钟周期@4μs
				@ 4MHz ClkHS
21	0	DIV_CLKHS	设置 CLKHS 高速参考时钟的分频因数	0 = 不分频， 1 = 2 分频
20	0			2 = 4 分频， 3 = 8 分频
19	0	START_CLKHS	设置晶振的开启和关闭（晶振关闭 后可以进行非校准模式测试）	0 = 晶振关闭 1 = 晶振一直开启
18	1	DOUBLE_RES	双精度测量开启 （当开启双精度时，只能使用 STOP1 通道，STOP2 通道无效）	0 = 关闭 1 = 开启
17	1	EN_ERR_VAL	由于时间溢出强迫 ALU 写入 0xFFFFFFFF 到结果寄存器 （仅校准模式有效）	0 = 关闭 1 = 开启
16	0	EN_FAST_INIT	启动快速初始化功能	0 = 关闭功能; 1 = 启动功能
15	0	SEL_TSTO2	定义 EN_START 管脚功能 （如果设 SEL_TSTOP2 > 0 那么 EN_START 内部上拉高电平）	0 =输入高电平将开启 START
14	1			1 = START_TDC 输出
				2 = STOP1 TDC 输出
				3 = STOP2 TDC 输出
13	1	CALIBRATE	开启/关闭 在 ALU 中的校准	0 = 校准关闭; 1 = 校准开启
12	0	NO_CAL_AUTO	开启/关闭产生校准值（如需开启 CALIBRATE，该位则必须设置为 0）	0 = 在测量后自动产生校准值 1 = 关闭自动产生校准值功能
11	0	K.D	必须设置为默认值	



位	默认	参数	描述	设置
10	0	NEG_STOP2	反向 stop 通道 2 输入	0 = 上升沿触发 1 = 下降沿触发
9	0	NEG_STOP1	反向 stop 通道 1 输入	0 = 上升沿触发 1 = 下降沿触发
8	0	NEG_START	反向 start 通道 1 输入	0 = 上升沿触发 1 = 下降沿触发
7	0	EN_SEL_TIMO	溢出时间功能开启 (和 SEL_TIMO 功能配合使用)	0 = 关闭 1 = 开启
6	0	EN_INT[2:0]	INIT 输出中断源选择	Bit 6 = 1: Timeout 中断触发位
5	0			Bit 5 = 1: End Hits 中断触发位
4	0			Bit 4 = 1: ALU 中断触发位
3	0	K.D	必须设置为默认值	
2	0	K.D	必须设置为默认值	
1	0	RFEDGE2	通道 2 的边沿敏感性	0 = 上升或下降沿 1 = 上升和下降沿
0	0	RFEDGE1	通道 1 的边沿敏感性	

5.2 操作码

操作码 HEX	MSB				LSB				符号	操作
'h80	1	0	0	0	0	0	0	0	写入配置寄存器	写入 32bit
'hBx	1	0	1	1	A	A	A	A	读取地址 STOP1 数据 A(0-9)	读出 24bit
'hCx	1	1	0	0	A	A	A	A	读取地址 STOP2 数据 A(0-9)	读出 24bit
'hBB	1	0	1	1	1	0	1	1	读取校验数据(CAL)	读出 24bit
'hBC	1	0	1	1	1	1	0	0	读取配置寄存器的低 8 位	读出 8bit
'hBD	1	0	1	1	1	1	0	1	读取状态(STAT)	读出 24bit
'h70	0	1	1	1	0	0	0	0	Init	初始化指令
'h50	0	1	0	1	0	0	0	0	Power_On_Reset	复位指令
'h04	0	0	0	0	0	1	0	0	Start_Cal_TDC	CAL 测量指令



5.3 结果寄存器

操作码	符号	位数	描述
B0	RES1_0	24	STOP1 测量结果 1, 校准模式: 24 位固定浮点数, 高 8 位整数, 低 16 位小数 非校准模式: 24 位整数
B1	RES1_1	24	STOP1 测量结果 2, 格式同 RES1_0
B2	RES1_2	24	STOP1 测量结果 3, 格式同 RES1_0
B3	RES1_3	24	STOP1 测量结果 4, 格式同 RES1_0
B4	RES1_4	24	STOP1 测量结果 5, 格式同 RES1_0
B5	RES1_5	24	STOP1 测量结果 6, 格式同 RES1_0
B6	RES1_6	24	STOP1 测量结果 7, 格式同 RES1_0
B7	RES1_7	24	STOP1 测量结果 8, 格式同 RES1_0
B8	RES1_8	24	STOP1 测量结果 9, 格式同 RES1_0
B9	RES1_9	24	STOP1 测量结果 10, 格式同 RES1_0
C0	RES2_0	24	STOP2 测量结果 1, 格式同 RES1_0
C1	RES2_1	24	STOP2 测量结果 2, 格式同 RES1_0
C2	RES2_2	24	STOP2 测量结果 3, 格式同 RES1_0
C3	RES2_3	24	STOP2 测量结果 4, 格式同 RES1_0
C4	RES2_4	24	STOP2 测量结果 5, 格式同 RES1_0
C5	RES2_5	24	STOP2 测量结果 6, 格式同 RES1_0
C6	RES2_6	24	STOP2 测量结果 7, 格式同 RES1_0
C7	RES2_7	24	STOP2 测量结果 8, 格式同 RES1_0
C8	RES2_8	24	STOP2 测量结果 9, 格式同 RES1_0
C9	RES2_9	24	STOP2 测量结果 10, 格式同 RES1_0
BB	CAL	24	整数, 24 位

校准模式: $\text{Time} = \text{RES}_X \times \text{Tref} \times N$, 当 $N = 1, 2, 4$ 或 8

非校准模式: $\text{Time} = \text{RES}_X \times 46\text{ps}$ ($\text{VDD}=3.3\text{V}$, 单精度)

5.4 状态寄存器(STAT)

操作码	描述								
BD	23-20	19-16	15	14	13	12-9	8-5	4	3-0
	0	STOP2 结果 地址指针	0	时间 溢出	TDC 溢出	STOP2 脉冲数	STOP1 脉冲数	0	STOP1 结果 地址指针



6. 时间测量

6.1 概述

非校准单精度模式测量范围从 3.5ns 到 16μs(0-16μs 在两个 stop 通道之间测量)。

非校准双精度模式测量范围从 3.5ns 到 16μs(0-16μs 在两个 stop 通道之间测量)。

校准模式单精度测量范围从 3.5ns 到 4μs(0-4μs 在两个 stop 通道之间测量)。

校准模式双精度测量范围从 3.5ns 到 2μs(0-2μs 在两个 stop 通道之间测量)。

单精度模式典型精度为 46 ps, 2 个 stop 通道相对于 start 通道。

双精度模式典型精度为 23 ps, 仅 stop1 通道相对应 start 通道。

内置特殊防抖技术, 使测量时间高度精准。

10 ns 的脉冲之间最小间隔。

两个 stop 通道可同时采集, 且每个 stop 通道最多 10 个脉冲。

每个 stop 通道可选择上升或下降沿捕获, 或者选择上升和下降沿同时捕获。

自动测量 START 和 STOP 脉冲之间的时间间隔, 无需再进行寄存器设置。

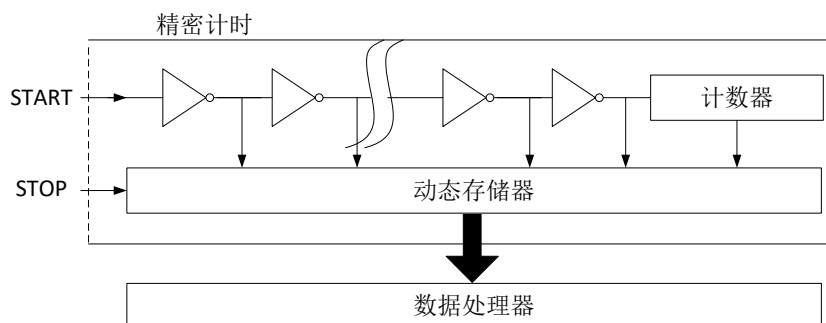
可任意设置溢出时间, 从而减少高速测量时溢出时间等待。

在非校准模式下, 可以任意测量比预期脉冲数少的脉冲。

典型应用: 激光测距、激光雷达、高精度延时测量。

6.2 高精度时间测量原理

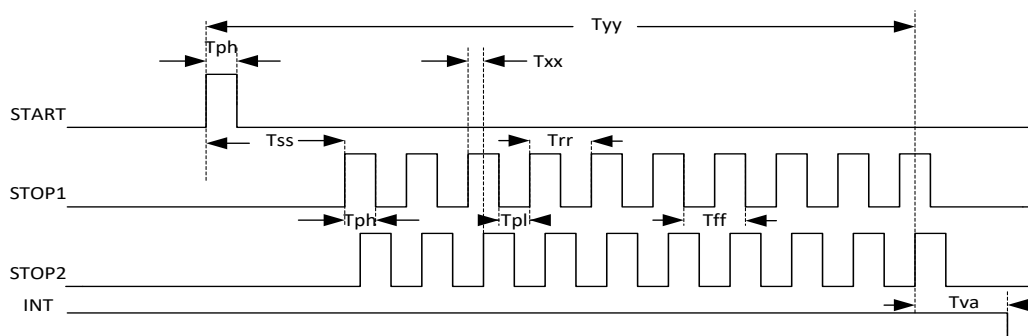
数字式 TDC 应用内部的逻辑门延时来高精度测量时间间隔, 下图阐述了这种绝对时间 TDC 的测量原理结构。该电路结构确保电路以特殊的测量方法, 使信号通过逻辑门的时间可以非常精确。最高的测量精度完全取决于内部通过逻辑门的传播时间。



时间测量是通过一个 start 信号触发,通过内部防抖处理后, TDC 的门电路开始高速计数, 直到 stop 信号产生记录计数结果, 达到 STOP 预期脉冲数后停止计数。

3.3V 和 25°C 时, MS1003 的单精度最小分辨率是 46ps。温度和电压对门电路的传播延时时间有很大的影响。通常是通过校准来补偿由温度和电压变化而引起的误差。在校准过程中, TDC 测量 0.5 个和 1.5 个时钟周期, 相减后得一个时钟周期的 TDC 计数结果, 即为校准值。测量范围受计数器大小的限制, 以下是非校准模式下最大测量范围: $t_{yy} = 46 \text{ ps} \times 442368 \approx 20 \mu\text{s}$ 。





	时间(条件)	描述
Tph	2.5 ns (min.)	最小脉冲宽度
Tpl	2.5 ns (min.)	最小脉冲宽度
Tss	3.5 ns (min.) 20 μ s (max.)	Start 到 Stop 之间
Trr	10 ns (typ.)	上升沿到上升沿
Tff	10 ns (typ.)	下降沿到下降沿
Tva	t.b.d. 非校准 t.b.d. 校准后	最后一个脉冲到 INIT 输出时间 (详见第九项)
Txx	无时间限制	通道之间测量时间
Tyy	20 μ s (max)	最大测量范围

每一个输入端均可以被单独设置成上升沿、下降沿或上下沿同时触发有效。可通过设置寄存器的 bit8-10 位(EG_START, NEG_STOP1, NEG_STOP2)和寄存器的 bit0-1 位(REFDGEx) 来选择触发沿。

时间测量结束后，MS1003 会自动将各个脉冲的测量结果顺序写到相应的结果寄存器，无需再进行寄存器操作设置，在计算结果的过程中先计算 STOP1 通道的脉冲，然后计算 STOP2 通道的脉冲，所以当使用单通道时，必须使用 STOP1。



6.3 非校准时间测量

6.3.1 非校准时间测量概述

非校准时间测量，实际上就是应用数字式 TDC 内部的逻辑门延时来实现高精度时间测量，非校准模式下最大测量范围是 3.5ns-16μs，单精度模式下，可以两个 STOP 通道同时测量，且每个通道最多可以测量 10 个 STOP 脉冲，双精度模式下，仅 STOP1 通道可以使用。

非校准时间测量过程中，无需高速时钟参与，所以可以通过寄存器设置来关闭高速时钟 (START_CLKHS=0)，在该模式下，测量速度最快，结果寄存器直接输出门延时个数，在非校准模式下结果寄存器 20 位的有效位，测量时间计算如下，该测量时间受温度和电压影响。

$$\text{测量时间} = \text{RES_X} \times 46\text{ps} \quad (\text{DOUBLE_RES} = 0)$$

$$\text{测量时间} = \text{RES_X} \times 23\text{ps} \quad (\text{DOUBLE_RES} = 1)$$

非校准模式下也可以实现时间测量和 CAL 值同时测量，在该模式下需要开启高速时钟 (START_CLKHS=1) 和开启自动校准 (NO_CAL_AUTO=0)，这样就会测量时间的同时会产生一个 Trefx N 周期的门延时个数，然后将 CAL 值 RES_Tref 存在指定的结果寄存器中。测量时间如下计算，该测量时间和温度和电压无关，仅和高速时钟抖动有关。

$$\text{测量时间} = \text{RES_X} / \text{RES_Tref} \times \text{Tref} \times N, N = 1, 2, 4, 8;$$

非校准模式测量溢出，当溢出时间功能关闭 (EN_SEL_TIMO=0) 的情况下，溢出时间相当于 TDC 溢出，也就是要 20μs 后产生溢出，并且状态寄存器 Bit13=1 (TDC 溢出)；当溢出时间功能开启 (EN_SEL_TIMO=1) 的情况下，溢出时间由溢出时间选择 (SEL_TIMO) 进行设置，溢出时间仅和高速时钟相关，不受时钟分频 (DIV_CLKHS) 的影响，例如高速时钟为 8MHZ，SEL_TIMO=0 的情况下，溢出时间为 125ns，溢出时状态寄存器 Bit14=1 (时间溢出)。

非校准模式下，当测量脉冲个数小于预期脉冲个数时，可以正常输出测量脉冲的值，虽然这时状态寄存器溢出，但测量到的脉冲产生的结果是正确的，这种应用可以解决在测距过程中多个不定目标的问题。

6.3.2 寄存器设置

主要的设置为:

a. 选择测量预期脉冲个数

寄存器 bit 31-28 设置 STOP2 预期脉冲个数 HITIN2=0 或者 2-B;

寄存器 bit 27-24 设置 STOP1 预期脉冲个数 HITIN1=2-B，不能设置为 0；否则无法开启测量。

b. 选择测量精度

寄存器 bit 18, DOUBLE_RES = 1 选择双精度模式，测量精度为典型 23ps 但仅有一个 stop 通道可用。

DOUBLE_RES = 0 选择单精度模式，测量精度为典型 46ps，这时两个 stop 通道都可用。



c. 校准选择

在非校准模式下，校准将关闭，寄存器 bit 13 CALIBRATE=0;

d. 产生 CAL 值

在非校准模式下，可以选择产生 CAL 值和不产生 CAL 值，寄存器 bit 12 NO_CAL_AUTO=0 时，产生 CAL 值，NO_CAL_AUTO=1 时，不产生 CAL 值。

e. 溢出选择

在非校准模式下，寄存器 bit 7 EN_SEL_TIMO=0 溢出时间关闭，这时溢出时间为 TDC 溢出，当 EN_SEL_TIMO=1 时开启溢出时间，且溢出时间和寄存器 bit 23-22 SEL_TIMO 设置有关。

f. 选择输入触发方式

可通过设置寄存器的 Bit 8-10(NEG_X)在每一个输入端口(Start, Stop1, Stop2)边沿触发方式。当 RFEDGE = 0 时，NEG_X = 0 则上升沿触发，NEG_X = 1 则下降沿发。还可以通过设置寄存器的 Bit0&1(RFEDGE1 & FEDGE2),选择 STOP 由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)，当 RFEDGE=1 时，Bit 9-10 选择无效。

g. 中断

中断引脚 INTN 可以有不同的中断源，在寄存器的 Bits4-6(EN_INT)中进行选择,非校准模式选择 bit 6 = 1 和 bit 5= 1;

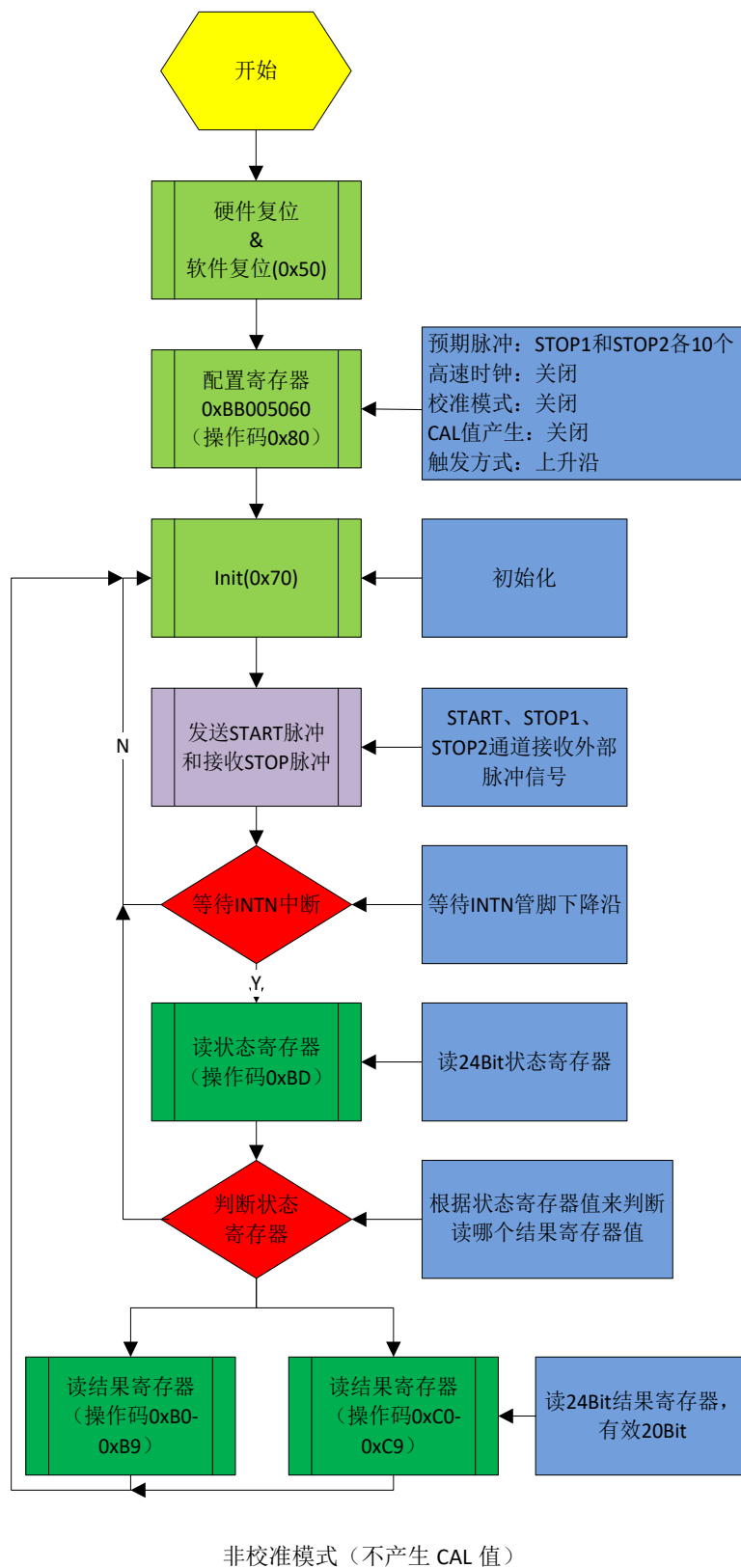
Reg bit 4 = 1 ALU 已经准备好。

Reg bit 5 = 1 预期脉冲个数全部被接收到。

Reg bit 6 = 1 测量时间溢出。

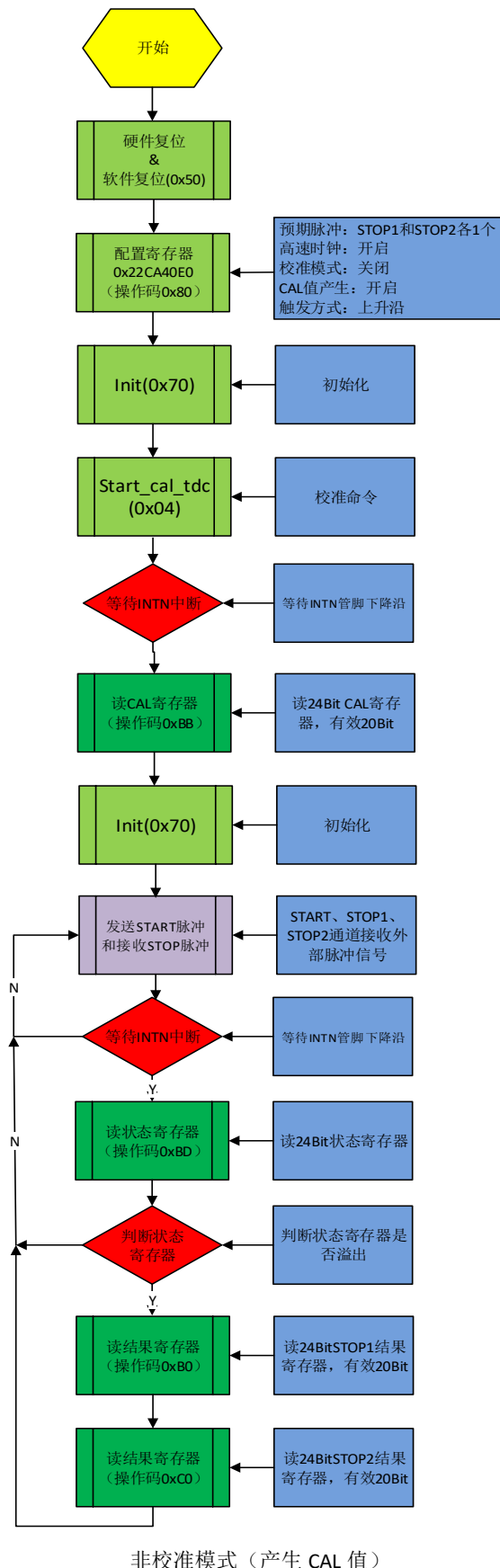


6.3.3 测量流程



非校准模式 (不产生 CAL 值)





非校准模式（产生 CAL 值）



6.4 校准时间测量

注：校准测量单精度最大测量范围 4μs，双精度最大测量范围 2μs。

6.4.1 校准时间测量概述

校准时间测量，在高速振荡器开启情况下进行测量，测量的门延时数量和 Tref 门延时数量通过 ALU 进行计算并输出到结果寄存器。输出的结果为 24 位浮点数，高 8 位为整数位，低 16 位为小数位。校准模式下最大测量范围是 3.5ns-4μs，单精度模式下，可以两个 STOP 通道同时测量，且每个通道最多可以测量 10 个 STOP 脉冲，双精度模式下，仅 STOP1 通道可以使用。

校准时间测量过程中，需要开启高速时钟(START_CLKHS=1)和校准开启(CALIBRATE=1)，当产生校准值关闭(NO_CAL_AUTOCALIBRATE=1)结果寄存器输出非校准值（可参考非校准部分介绍），当产生校准值开启(NO_CAL_AUTOCALIBRATE=0)时，结果寄存器输出校准后的值 RES_X，测量时间如下计算，被测时差不能超过 $2 \times Tref \times DIV_CLKHS$ 。

$$\text{测量时间} = RES_X \times Tref \times N, N = 1, 2, 4, 8;$$

在校准时间测量中，必须开启溢出时间功能(EN_SEL_TIMO=1)，溢出时间由溢出时间选择(SEL_TIMO)进行选择溢出时间，这里的时间仅和高速时钟相关，不受时钟分频(DIV_CLKHS)的影响，例如高速时钟为 8MHZ，SEL_TIMO=0 的情况下，溢出时间为 250ns，这时状态寄存器 Bit14=1（时间溢出）。

校准模式下，测量脉冲个数必须大于或者等于预期脉冲个数，当测量脉冲小于预期脉冲个数时，ALU 不进行计算，这时状态寄存器 Bit14=1（时间溢出）。且 EN_ERR_VAL=1 的情况下，结果寄存器 0 输出 0xFFFFFFFF。

6.4.2 寄存器设置

主要的设置为：

a. 选择测量预期脉冲个数

寄存器 bit 31-28 设置 STOP2 预期脉冲个数 HITIN2=0 或者 2-B；

寄存器 bit 27-24 设置 STOP1 预期脉冲个数 HITIN1=2-B，不能设置为 0；否则无法开启测量。

b. 选择测量精度

寄存器 bit 18, DOUBLE_RES = 1 选择双精度模式，测量精度为典型 23ps，但仅有一个 stop 通道可用。

DOUBLE_RES = 0 选择单精度模式，测量精度为典型 46ps，这时两个 stop 通道都可用。

c. 校准选择

在校准模式下，高速晶振和校准都必须开启，寄存器 bit 13 CALIBRATE=1 和 bit 19

START_CLKHS=1

d. 产生 CAL 值

在校准模式下，必须选择产生 CAL 值，寄存器 bit 12 NO_CAL_AUTO=0 时，产生 CAL 值。



e. 溢出选择

在校准模式下，必须开启溢出，寄存器 bit 7 EN_SEL_TIMO=1 开启溢出时间，且溢出时间和寄存器 bit 23-22 SEL_TIMO 设置有关。

f. 选择输入触发方式

可通过设置寄存器的 Bit 8-10(NEG_X)在每一个输入端口(Start,Stop1,Stop2)边沿触发方式。当 RFEDGE = 0 时，NEG_X = 0 则上升沿触发，NEG_X = 1 则下降沿发。还可以通过设置寄存器的 Bit0&1(RFEDGE1 & FEDGE2)，可以选择 STOP 下降沿单独触发(RFEDGE=0)还是上升沿和下降沿同时触发(RFEDGE=1)，当 RFEDGE=1 时，Bit 9-10 选择无效。

g. 中断

中断引脚 INT 可以有不同的中断源，在寄存器的 Bits4-6(EN_INT)中进行选择,由于 Reg bit 5=1 中断输出最早，Reg bit 4=1 输出最晚，用户可以根据实际情况进行选择。

Reg bit 4 = 1 ALU 已经准备好。

Reg bit 5 = 1 预期脉冲个数全部被接收到。

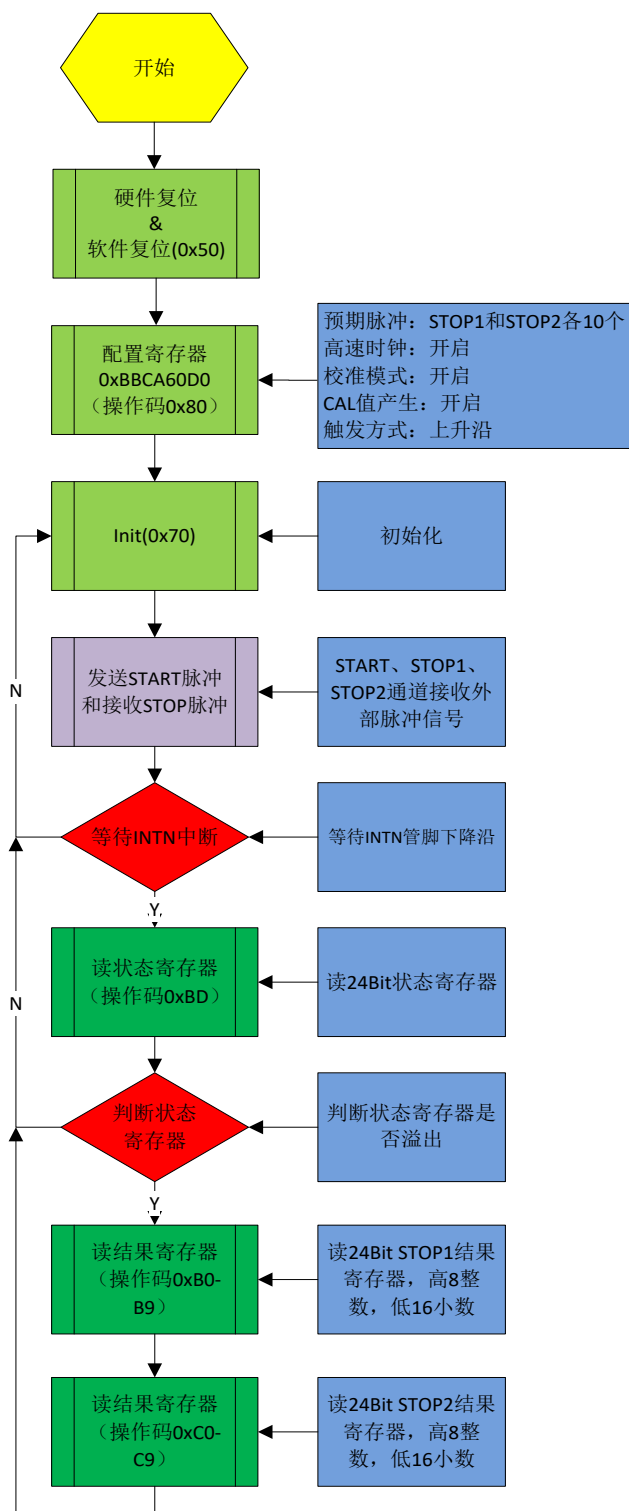
Reg bit 6 = 1 测量时间溢出&TDC 溢出。

h. 高速时钟分频

由于校准测量时间小于 $2 \times T_{ref}$ ，所以需要测量时间增长的话，需要设置高速时钟分频，在寄存器的 Bits20-21(DIV_CLKHS)中进行设置，但 $2 \times T_{ref}$ 不能超出测量范围最大值 $4\mu s$ 。



6.4.3 测量流程



校准模式



7. 高速振荡器

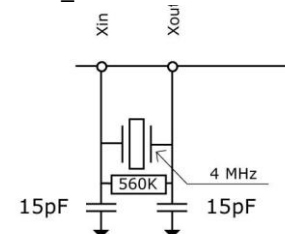
MS1003 在校准模式下需要高速时钟用于校准采样，通常 MS1003 会需要一个高速时钟单元进行校准，频率范围 1-8MHz，推荐高速时钟频率为 4MHz。

晶振在一直起振的状态下，平均工作电流为 260 μ A。但是晶振仅在测量时间的时候需要开启，MS1003 可以通过内部电路控制晶振的开启和关闭。设置是通过设置参数 START_CLKHS 来实现。

START_CLKHS = 0 晶振关闭

= 1 晶振持续开启

通过关闭晶振这种方式电流消耗可以大大被降低。

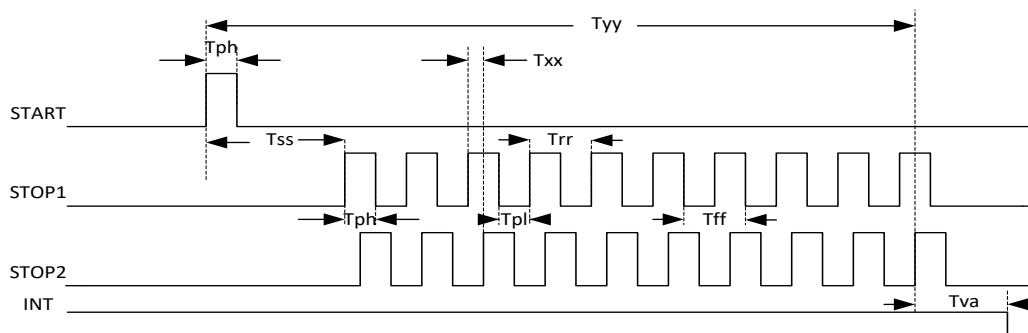


8. 快速初始化

MS1003 提供了快速初始化的功能。设置寄存器的 bit16(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。在快速初始化模式下，状态寄存器的值永远是 0，所以无需再读状态寄存器。

9. INTN 不同模式下产生时间

INIT 是整个测试流程的重要标志位，INTN 是和 EN_INT[2:0]来配合使用，不同的中断源输出中断时间不一样，如下图 Tva 的时间为 INTN 产生时间，具体统计如下：



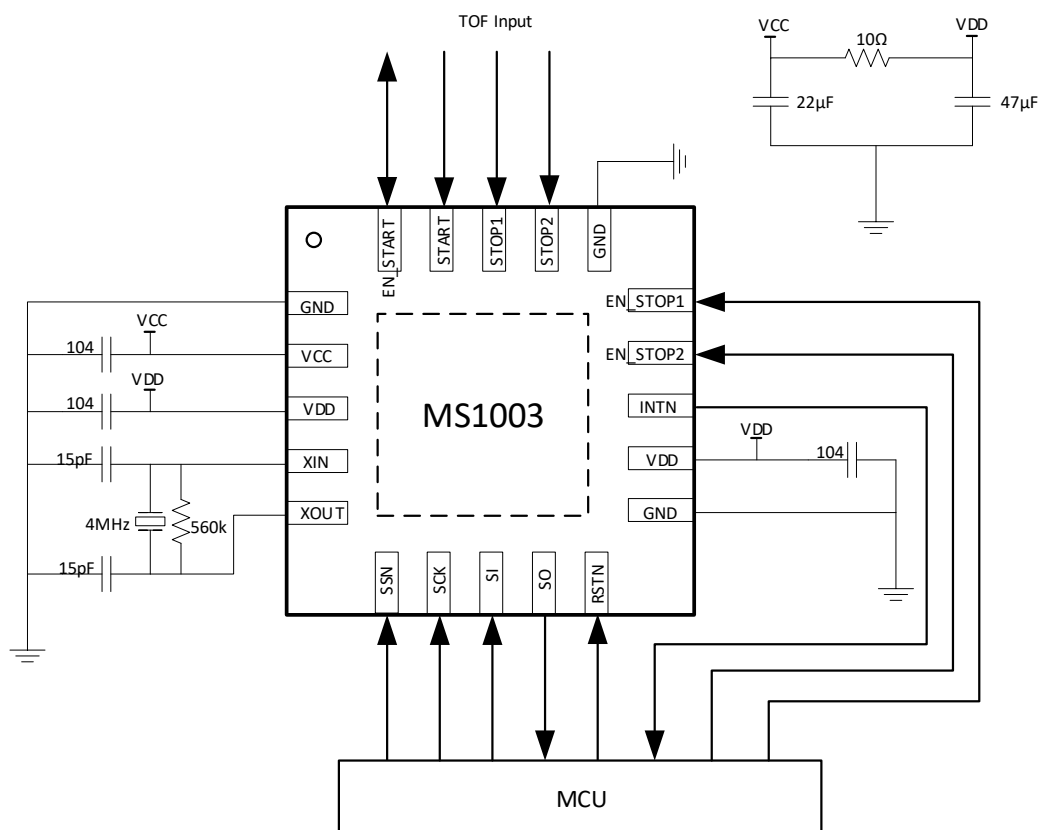
名称	条件（以下测试高速时钟均为 8MHZ）	参数	单位
Tinit1	VCC=3.3V; EN_INT: End Hits=1; 非校准模式; 关闭 CAL 校准; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。	16	ns
Tinit2	VCC=3.3V; EN_INT: ALU=1; 非校准模式; 关闭 CAL 校准; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。	104	ns
Tinit3	VCC=3.3V; EN_INT: ALU=1; 非校准模式; 开启 CAL 校准; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。	800	ns
Tinit4	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出关闭; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	20	μ s



名称	条件（以下测试高速时钟均为 8MHZ）	参数	单位
Tinit5	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=0; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	240	ns
Tinit6	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=1; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	500	ns
Tinit7	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=2; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	1000	ns
Tinit8	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=3; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	2000	ns
Tinit9	VCC=3.3V; EN_INT: ALU=1; 校准模式; 开启 CAL 校准, 溢出开启; 且 SEL_TIMO_MB2=0; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。	1300	ns
Tinit10	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=0; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	240	ns
Tinit11	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=1; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	500	ns
Tinit12	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=2; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	1000	ns
Tinit13	VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=3; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。	2000	ns



典型应用图



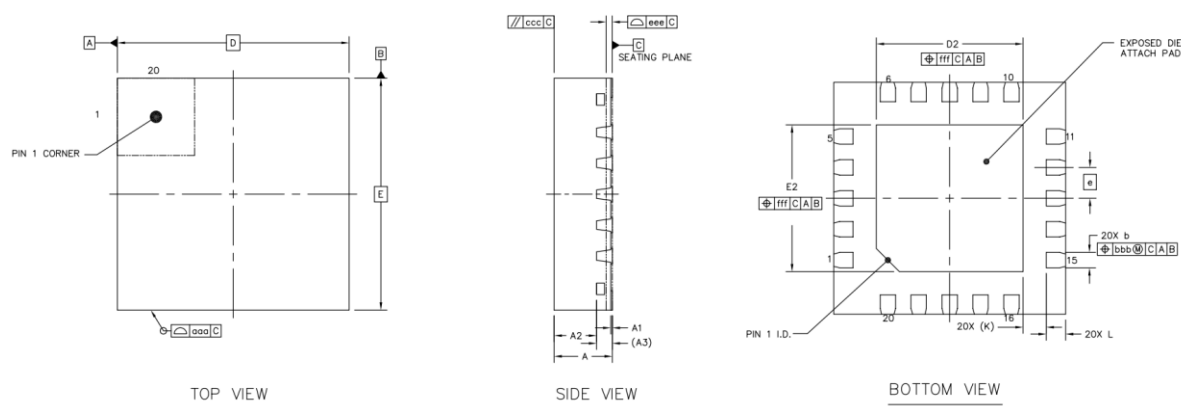
MS1002&MS1022&MS1003 主要性能对比

对比参数	对比条件	MS1002	MS1022	MS1003	单位
测量分辨率 1	VDD=3.3V, 单精度	65	80	46	ps
测量分辨率 2	VDD=3.3V, 双精度	/	40	23	ps
测量范围	非校准	2	2.4	20	μs
	校准模式	4000	4000	4	μs
SPI 速度	VDD=3.3V	20	20	40	MHz
STOP 通道数	单精度	2	2	2	/
	双精度	1	1	1	/
STOP 通道捕获脉冲数	VDD=3.3V	4	4	10	/
测量未达预期脉冲数	非校准模式	否	否	是	/
一次性输出测量结果	未溢出情况下	否	否	是	/



封装外形图

QFN20

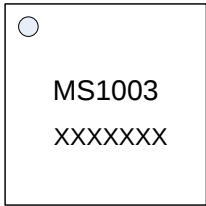


符号	尺寸（毫米）		
	最小值	典型值	最大值
A	0.7	0.75	0.8
A1	0	0.02	0.05
A2	-	0.55	-
A3	0.203 REF		
b	0.15	0.2	0.25
D	3 BSC		
E	3 BSC		
e	0.4 BSC		
D2	1.8	1.9	2
E2	1.8	1.9	2
L	0.15	0.25	0.35
K	0.3 REF		
aaa	0.1		
ccc	0.1		
eee	0.08		
bbb	0.07		
fff	0.1		



印章与包装规范

1. 印章内容介绍



产品型号：MS1003
生产批号：XXXXXXX

2. 印章规范要求

采用激光打印，整体居中且采用 Arial 字体。

3. 包装规范说明

型号	封装形式	只/卷	卷/盒	只/盒	盒/箱	只/箱
MS1003	QFN20	5000	1	5000	8	40000



添加代理商

声明

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





MOS电路操作注意事项

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

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

