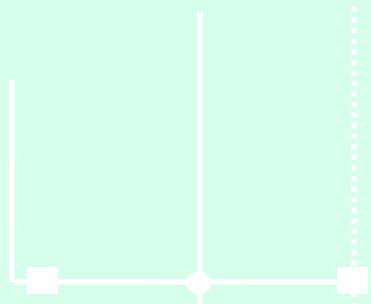




TDC-GPX

Ultra-high Performance 8 Channel
Time-to-Digital Converter

用户手册

2006 年 5 月 31 日

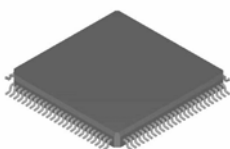
acam - 一切从时间开始

高精度时间间隔测量

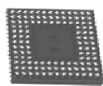
acam
mess·electronic

1. 简介

1.1 系统前瞻



TQFP100



TFBGA120

I-模式

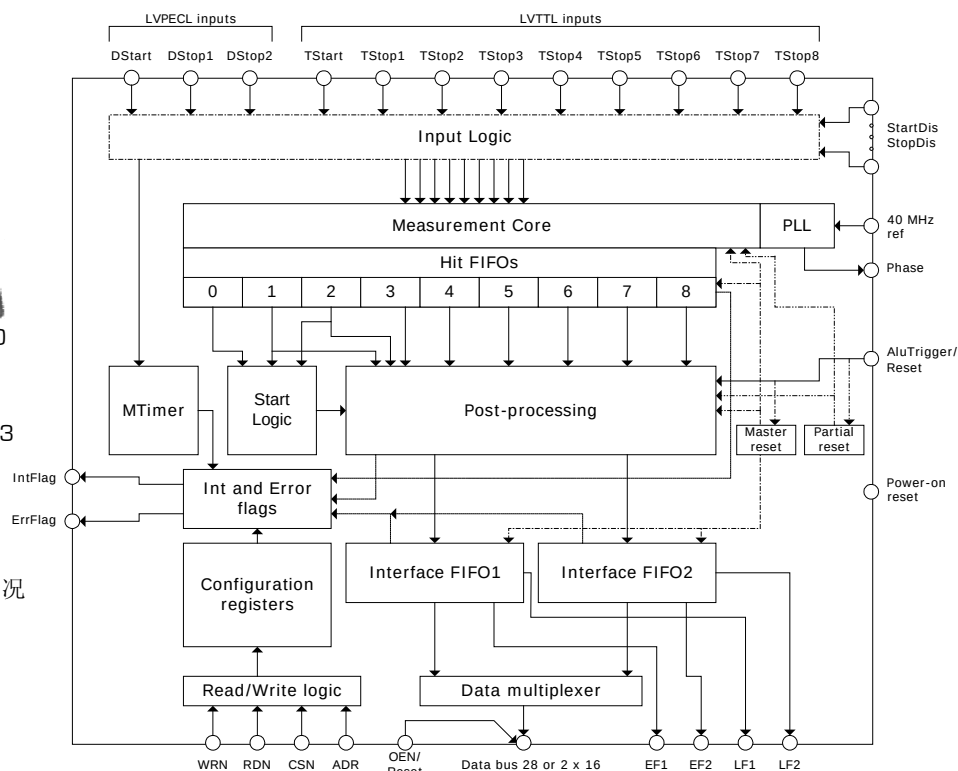
- 8 通道 81 皮秒的 BIN 大小，可选择 3 个 LVPECL 输入
- 5.5 纳秒脉冲对精度最多 32 个脉冲采样能力 = 182 MHz 峰值
- 可选择上升沿或下降沿触发
- 测量范围 9.8 μ s，在 START 再触发情况下无测量界限
- 每通道最高 10 MHz 持续采样率
- 每芯片最高 40 MHz 持续采样率

G-模式

- 双通道 40 皮秒精度
- 差分 LVPECL 输入 可选择 LVTTTL 输入
- 测量范围 0 ns 到 65 μ s
- 5.5 纳秒脉冲对精度最多 32 个脉冲采样能力 = 182 MHz 峰值
- 最低脉宽 1.5 ns
- 可选择上升沿和下降沿触发
- 可选择静态模式 [无需 ALU 操作-在测量过程中输出数据]
- 单通道 20 MHz 持续采样率
- 单芯片 40 MHz 持续采样率

R-模式

- 双通道 27 皮秒精度
- 差分 LVPECL 输入 可选择 LVTTTL 输入
- 测量范围 0 μ s 最高到 40 μ s
- 5.5 纳秒脉冲对精度最多 32 个脉冲采样能力 = 182 MHz 峰值
- 可选择上升沿或下降沿触发
- 可选择静态模式 [无需 ALU 操作-在测量过程中输出数据]
- 单通道 40 MHz 持续采样率
- 单芯片 40 MHz 持续采样率



M-模式

- 双通道 10 皮秒 RMS 精度 [70 皮秒 峰峰值]
- 差分 LVPECL 输入
- 测量范围 0 ns 到 10 μ s
- 每个 START 和通道单次采样
- 可选择上升沿或下降沿触发
- 静态模式 [无需 ALU 操作-在测量过程中输出数据]
- 单通道最高 500KHz 持续采样率
- 单芯片最高 1MHz 持续采样率

概述

- Start 再触发模式选择 [除 M-模式]
- 封装: TQFP100, TFBGA120
- IO 电压: 3.0 V - 3.6 V
- 核心电压 2.3 V - 3.6 V 通过精度可调节单元调节
- 数据总线: 28 位或 2 x 16 位的带选片，读，写的异步通信
- 单芯片 40 MHz 持续采样率
- 地址范围: 4 位

1.2 目录

1. 简介	3
1.1 系统前瞻	3
1.2 目录	4
1.3 电子特性	6
1.3.1 总线时序	7
1.3.2 16 位模式	8
1.3.3 关闭时序	9
1.3.4 复位时序	9
1.3.5 整体时序 & 精度	10
1.4 管脚描述	11
1.5 封装图	14
1.6 电源	15
1.6.1 精度可调模式	15
1.6.2 供电电压	16
1.6.3 设计规则	16
1.7 寄存器设置	17
1.7.1 写寄存器	17
1.7.2 读寄存器	19
1.7.3 读/写 寄存器	20
2 I-模式	22
2.1 I-模式 原理图	22
2.2 I-模式 输入电路	23
2.3 I-模式 基础介绍	24
2.4 数据结构	26
2.5 复位	26
2.6 MTimer	26
2.7 中断标志	26
2.8 出错标志	26
2.9 差动输入	26
2.10 I-模式 时序 & 精度	26
2.11 测量流程	28
2.11.1 单一测量	28
2.11.2 持续测量	29
3 G-模式	30
3.1 原理图 G-模式	30
3.2 输入电路 G-模式	31
3.3 G-模式 基础介绍	32
3.4 数据结构和读出	33
3.5 复位	33
3.6 MTimer	34
3.7 中断标志	34
3.8 出错标志	34
3.9 测试输入	34
3.10 RaSpeed & Delx	34
3.11 G-Mode 时序 & 精度	34
3.12 测量流程	36
4 R-模式	37
4.1 R-模式方框原理图	37
4.2 R-模式 输入电路	38

4.3 R-模式 基础介绍	39
4.4 数据结构和读出	40
4.5 复位	41
4.6 Mtimer	41
4.7 中断标志	41
4.8 出错标志	41
4.9 测试输入	41
4.10 RaSpeed & Delx	41
4.11 R-模式 时序 & 精度	41
4.12 测量流程	43
5 M-模式	45
5.1 M-模式 方框原理图	45
5.2 M-模式 输入电路	46
5.3 M-模式 基础介绍	47
5.5 复位	48
5.6 MTimer	48
5.7 中断标志	49
5.8 出错标志	49
5.10 M-模式 时序 & 精度	49
5.11 测量流程	50
6 调试报告	51
6.1 数据总线: 16 位模式	51

1.3 电子特性

绝对最大额定值 [$V_{SS} = 0V$, $T_j = 25^\circ C$]

参数		符号	条件	额定值	单位
供电电压	I/O	Vddo		-0.3~+3.6	V
	核心	Vddc	Vdcc < Vddo + 0.6V	-0.3~+3.6	
	宏单元	Vddc-h	Vdcc < Vddo + 0.6V	-0.3~+3.6	
	振荡器	Vddc-o	Vdcc < Vddo + 0.6V	-0.3~+3.6	
	差动输入	Vdde		-0.3~+3.6	
输入电压	5V 容忍电压 缓冲	Vi	Vddo = +0.3~3.6V	-0.3~6.0	V
输出电流	1 mA 缓冲	Io	-	-5~+5	mA
	4 mA 缓冲			-9~+9	
存储温度		Tstg		-65 到 150	°C
跳变温度		Tj		-40 到 125	°C
热藕电阻	跳变-外围环境	Rthj-a	TQFP100 TFBGA120	96 105	K/W

终端电容

终端	符号	条件	额定值			单位
			Min	Typ	Max	
输入	C_i	测量条件 在 $V_{dd} = V_i = V_o = V_{ss}$, $f = 1\text{ MHz}$, $T_a = 25^\circ C$ 情况下	-	6	-	pF
输出	C_o		-	9	-	
双向	C_{io}		-	10	-	

直流特性 [$V_{ddo} = 3.3V \pm 0.3V$, $V_{ss} = 0V$, $T_j = -40$ 到 $+85^\circ C$]

参数	符号	条件	额定值			单位
			Min	Typ	Max	
高平输入电压	Vih	TTL 5V 容忍电压输入	2.0	-	5.5	V
低平输入电压	Vil	TTL 5V 容忍电压输入	0.0	-	0.8	
高平输出电压	Voh		2.4			
低平输出电压	Vol				0.4	
供电电流			Typ			mA
	Vddo	I/O	1.4 + Bus			
	Vddc	核心	20			
	Vddc-h	宏单元	7			
	Vddc-o	振荡器	4			
	Vdde	差动输入	19			

LVPECL 输入:

DC 参数 [$V_{DD} = 3.3V \pm 5\%$, $T_j = 0^\circ C$ 到 $125^\circ C$]

参数	数值	条件
VinOS	$V_{dde} - 1.53V < V_{inOS} < V_{dde} - 0.89V$	-
VinDF	$0.2V < V_{inDF} < 2.1V$	-

V_{inOS} = 输入漂移电压, $(V_{ia} + V_{ian})/2$

V_{inDF} = 输入差动电压

V_{ia} = A 输入电压

V_{ian} = AN 输入电压

1.3.1 总线时序

[V_{ddo} = V_{ddc} = 3.3 V, T_a = +25°C]

写操作

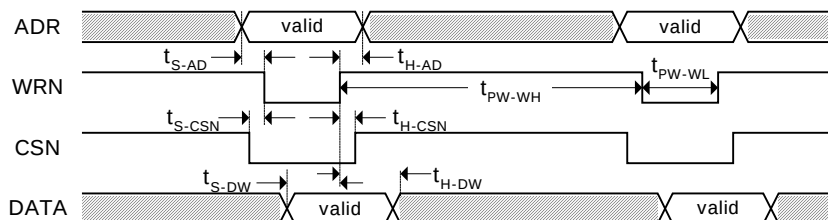


图 1

Spec	描述	Min (ns)	Max (ns)
t _{S-AD}	地址线准备时间	2	-
t _{H-AD}	地址线等待时间	0	-
t _{PW-WL}	写低电平时间	6	-
t _{PW-WH}	写高电平时间	6	-
t _{S-DW}	写数据准备时间	5	-
t _{H-DW}	写数据等待时间	4	-
t _{S-CSN}	片选准备时间	0	-
t _{H-CSN}	片选等待时间	0	-

读操作

不允许从空的
fifo 里读
数据!

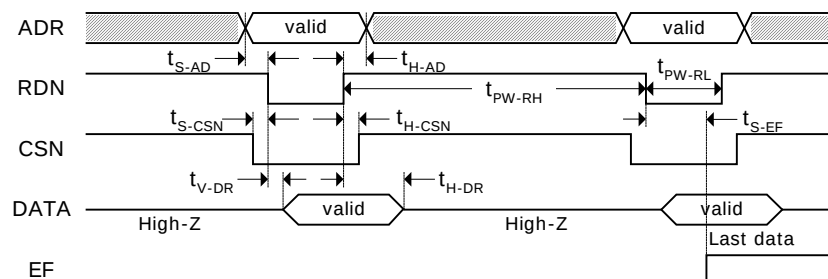


图 2

Spec	描述	Min (ns)	Max (ns)	
t _{S-AD}	地址线准备时间	2	-	* 这个值与荷载电容有关必须 要通过评估测试确定。这个值 同时与所调整的精度有关。 ** 可以在 OEN = 0 时被无限 延长[持续驱动总线] 和稳定总 线。
t _{H-AD}	地址线等待时间	0	-	
t _{PW-RL}	读低电平时间	6	-	
t _{PW-RH}	读高电平时间	6	-	
t _{V-DR}	读数据有效时间	5	10 *	
t _{H-DR}	读数据等待时间	4	8.5 **	
t _{S-CSN}	片选准备时间	0	-	
t _{H-CSN}	片选等待时间	0	-	
t _{S-EF}	空标志位设置时间	-	10 *	

OEN 操作 – 持续驱动总线

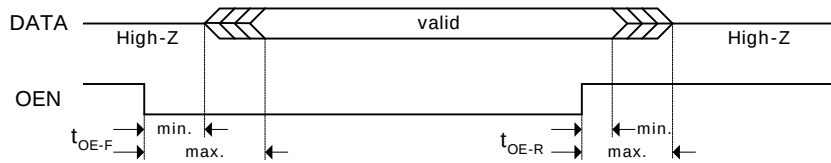


Figure 3

Spec	描述	Min [ns]	Max [ns]
t_{OE-F}	OEN 上升沿到数据有效	1.5	9
t_{OE-R}	OEN 下降沿到数据有效	1	8.5

注： 在 OEN = Low 时输出缓冲是一直不间断工作的。在 OEN = High 时它们仅在读地址时工作。当写到 TDC-GPX 时 OEN 必须要置高。

假读数据为了加速数据读出速度

因为不允许从空的 FIFO 读数据最大数据读出速率被空标志设置时间所限制。这个可以通过第 2 个假读数据操作来克服，这个假读操作是 TDC-GPX 读操作的一个延迟。

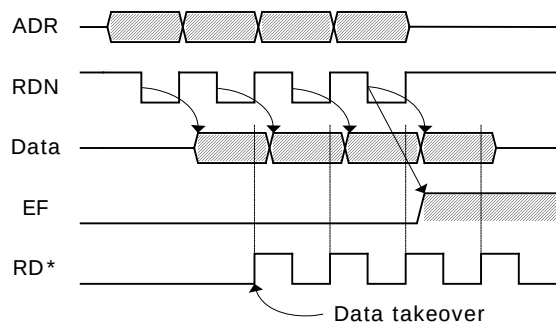


图 4

1.3.2 16 位模式

TDC-GPX 数据总线可以从 28 位调整到 16 位。这个调整是通过写 0x0000010 到地址线 14。在此之后所有读/写命令必须要以成对的方式完成。当从接口 FIFO 读最后一个数据时空标志在第一个读命令时就已经消失。尽管如此还是必须要读第 2 次。第一次读/写命令都是相对于 LSW 的。第 2 次相对的是 MSW。MSW 的高 4 位不相关或者可以被忽略（读时）。

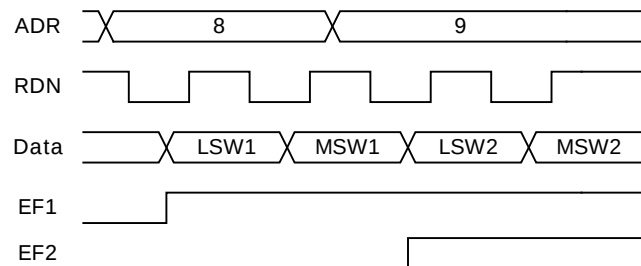


图 5

注: 见手册最后得调试-报告 01

1.3.3 关闭时序

[Vddo = Vddc = 3.3 V, Ta = +25°C]

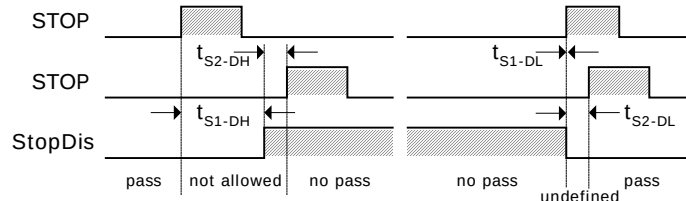


图 6

Spec	描述	Min (ns)	Max (ns)
t_{S1-DH}	关闭的准备时间	-	6.3
t_{S2-DH}	关闭的准备时间	-	6.1
t_{S1-DL}	关闭的等待时间	-	5.2
t_{S2-DL}	关闭的等待时间	-	7.4

1.3.4 复位时序

上电复位: [Vddo = Vddc = 3.3 V, Ta = +25°C]

Spec	描述	Min (ns)	Max (ns)
t_{ph}	复位脉宽	200	-

主复位: [Vddo = Vddc = 3.3 V, Ta = +25°C]

Spec	描述	Min (ns)	
t_{ph}	复位脉宽	10	
t_{rfs}	在接受 hit 之前到复位脉冲上升沿之后的时间	27	
t_{rrs}	在接受 hit 之前到复位脉冲下降沿之后的时间	13	

图 7

部分复位: [Vddo = Vddc = 3.3 V, Ta = +25°C]

Spec	描述	Min (ns)	
t_{ph}	复位脉宽	10	
t_{rfs}	在接受 hit 之前到复位脉冲上升沿之后的时间	60	
t_{rrs}	在接受 hit 之前到复位脉冲下降沿之后的时间	13	
t_{rs}	在复位脉冲上升沿之前 hits 会丢失得时间	-	

图 8

1.3.5 整体时序 & 精度

TDC-GPX 的时间测量是基于内部传播时间延迟的。这些延迟是与温度和电压有关的。根据生产量的不同这些也会变化的。精度可调模式应用其电压变化关系来补偿温度和电压所带来的变化，使电路的精度可以调整而且固定下来。

图 9 说明了时间随核心电压的变化所有时序，参照 3.3V 的时序。在 3.3V 的精度系数变化从 3.6V 时的 0.93 到 2.3V 时的 1.4。

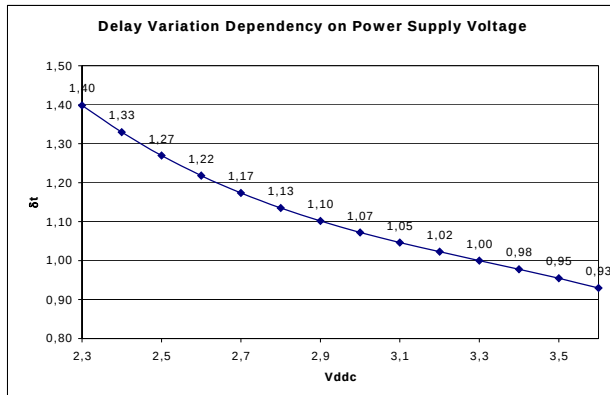


图 9

图 10 展示了精度系数的温度变化，参照 25°C 调变温度。如果温度从 25°C 到 70°C，精度将会下降 1.077 个系数。在精度可调模式中这个变化的补偿通过增加核心电压从 3.3V 到 3.6V。

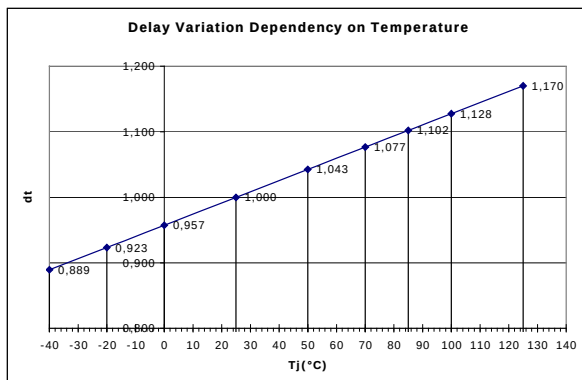


图 10

没有精度可调模式时，内部精度在芯片和芯片之间有微小的变化。这个变化加在生产过程中时是以高斯曲线分布的。

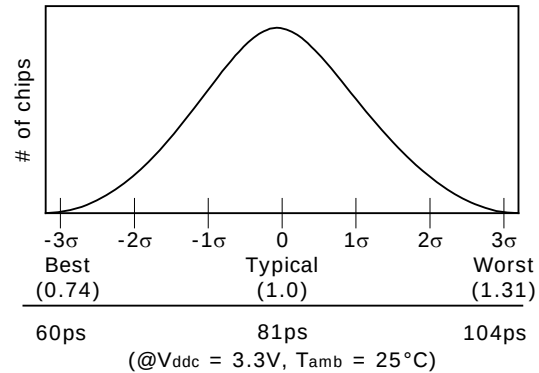


图 11

在小批量生产线上分布会窄一些。图 12 说明了在小批量生产时 3.3V 核心电压 25°C 周围温度情况下典型的精度曲线分布图。

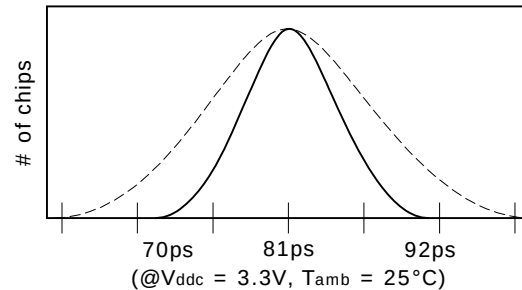


图 12

例:

从图 12 来看假设温度范围为 0°C 到 40°C 以及 1 Mhz 数据刷新率。跳变温度最高大概为 57°C。在 3.3V Vddc 时最慢的芯片的精度为 92ps * 1.043 = 97ps，增加核心电压到 3.6V 将会提高精度到 90.2ps。设置精度可调模式精度为 95ps 将会保证所有芯片的 PLLs 电路将会锁定住一个精度，在整个操作温度范围内都不会变化。

1.4 管脚描述

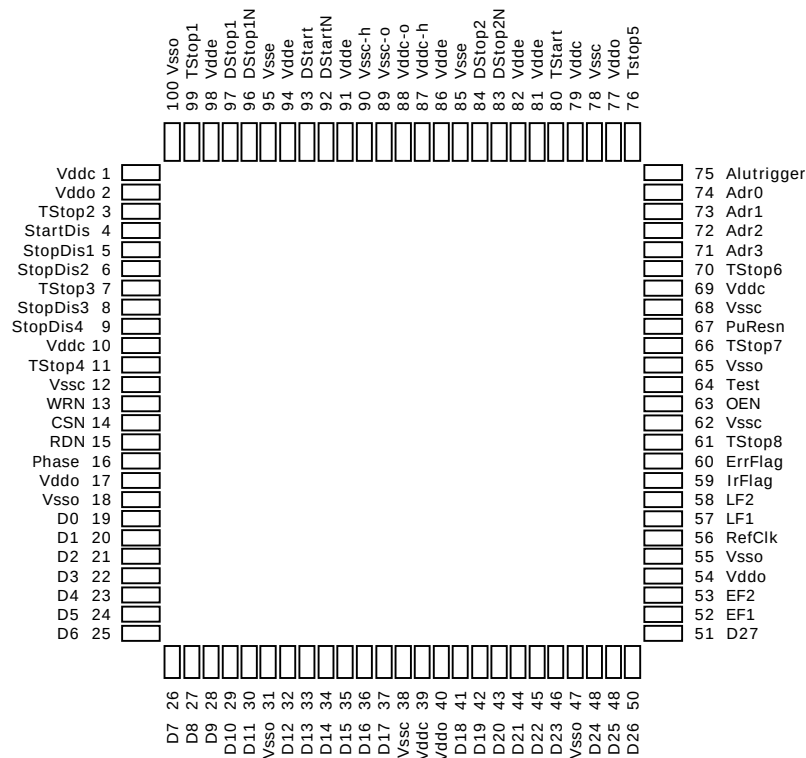


图 13

管脚号		管脚名称	描述	类型	终端 () = 如果不用的话
TQFP 100	TFBGA 120				
001	A1	Vddc	核心供电电压		Vddc
002	B1	Vddo	I/O 供电电压		Vddo
003	C1	Tstop2	TTL 输入 'Stop2'	TTL 输入	(10kΩ to GND)
004	C2	StartDis	关闭输入 'DStart' 或 'TStart'	TTL 输入	(GND)
005	D1	StopDis1	关闭输入 'DStop1' 或者输入 'TStop1' 和 'TStop2'	TTL 输入	(GND)
006	C3	StopDis2	关闭输入 'DStop2' 或者输入 'TStop3' 和 'TStop4'	TTL 输入	(GND)
007	D2	TStop3	TTL 输入 Stop3	TTL 输入	(10kΩ to GND)
008	E1	StopDis3	关闭输入 'TStop5' 和 'TStop6'	TTL 输入	(GND)
009	D3	StopDis4	关闭或者 输入 'TStop7' 和 'TStop8'	TTL 输入	(GND)
010	F1	Vddc	核心供电电压		Vddc
011	E3	TStop4	TTL 输入 'Stop4'	TTL 输入	(10kΩ to GND)
012	F2	Vssc	核心 GND		GND
013	G1	WRN	写 (低平有效)	TTL 输入	
014	F3	CSN	片选 (低平有效)	TTL 输入	(GND)
015	G2	RDN	读 (低平有效)	TTL 输入	
016	H1	Phase	相位输出 PLL		
017	G3	Vddo	I/O 供电电压		Vddo
018	H2	Vsso	I/O GND		GND

019	J1	D0	Data 0	双向 4mA	10kΩ to GND
020	J2	D1	'	双向 4mA	10kΩ to GND
021	K1	D2	'	双向 4mA	10kΩ to GND
022	K2	D3	'	双向 4mA	10kΩ to GND
023	L1	D4	'	双向 4mA	10kΩ to GND
024	L2	D5	'	双向 4mA	10kΩ to GND
025	M1	D6	'	双向 4mA	10kΩ to GND
026	N2	D7	'	双向 4mA	10kΩ to GND
027	M2	D8	'	双向 4mA	10kΩ to GND
028	N3	D9	'	双向 4mA	10kΩ to GND
029	M3	D10	'	双向 4mA	10kΩ to GND
030	N4	D11	Data 11	双向 4mA	10kΩ to GND
031	M4	Vsso	I/O GND		GND
032	N5	D12	Data 12	双向 4mA	10kΩ to GND
033	L3	D13	'	双向 4mA	10kΩ to GND
034	M5	D14	'	双向 4mA	10kΩ to GND
035	N6	D15	'	双向 4mA	10kΩ to GND
036	M6	D16	'	双向 4mA	10kΩ to GND
037	N7	D17	Data 17	双向 4mA	10kΩ to GND
038	L5	Vssc	核心 GND		GND
039	M7	Vddc	核心供电电压		Vddc
040	L6	Vddo	I/O 供电电压		Vddo
041	M8	D18	Data 18	双向 4mA	10kΩ to GND
042	N9	D19	'	双向 4mA	10kΩ to GND
043	L7	D20	'	双向 4mA	10kΩ to GND
044	M9	D21	'	双向 4mA	10kΩ to GND
045	L8	D22	'	双向 4mA	10kΩ to GND
046	M10	D23	Data 23	双向 4mA	10kΩ to GND
047	L9	Vsso	I/O GND		
048	M11	D24	Data 24	双向 4mA	10kΩ to GND
049	N12	D25	'	双向 4mA	10kΩ to GND
050	L10	D26	'	Bidirectional 4mA	10kΩ to GND
051	M13	D27	Data 27	Bidirectional 4mA	10kΩ to GND
052	N13	EF1	接口 FIFO 1 空标志, 高平有效	输出 4mA	
053	L13	EF2	接口 FIFO 2 空标志, 高平有效	输出 4mA	
054	L12	Vddo	I/O 供电电压		Vddo
055	L11	Vsso	I/O GND		GND
056	K13	RefClk	输入参考时钟	TTL 输入	
057	K12	LF1	接口 FIFO 1 有载荷标志, 高平有效 *	输出 1mA	
058	K11	LF2	接口 FIFO 2 有载荷标志, 高平有效 *	输出 1mA	
059	J13	IrFlag	中断标志, 高平有效	输出 1mA	
060	J12	ErrFlag	出错标志, 高平有效	输出 1mA	
061	H13	Tstop8	TTL 输入, Stop8'	TTL 输入	(10kΩ 到 GND)
062	H12	Vssc	核心 GND		GND
063	H11	OEN	输出使能, 低平有效	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
064	G11	Test	acam 测试输入, 接 GND !	TTL 输入	GND
065	F13	Vsso	I/O GND		GND

* 仅当 F13 没有被读时有效

066	F12	Tstop7	TTL 输入 „Stop7“	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
067	F11	PuResN	上电复位, 低平有效	TTL 输入	
068	E13	Vssc	核心 GND		GND
069	E12	Vddc	核心供电电压		Vddc
070	D12	Tstop6	TTL 输入 „Stop6“	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
071	D13	Adr3	地址 3	TTL 输入	
072	E11	Adr2	地址 2	TTL 输入	
073	C13	Adr1	地址 1	TTL 输入	
074	C12	Adr0	地址 0	TTL 输入	
075	D11	AluTrigger	外部 ALU 触发	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
076	C11	Tstop5	TTL 输入 „Stop5“	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
077	A11	Vddo	I/O 供电电压		Vddo
078	C10	Vssc	核心 GND		GND
079	B10	Vddc	核心供电电压		Vddc
080	C9	Tstart	TTL 输入 „Start“	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
081	B9	Vdde	LVPECL 供电电压		Vdde
082	A9	Vdde	LVPECL 供电电压		Vdde
083	B8	DStop2N	差动输入 „Stop2“, 反相	差动输入	(10kΩ到 GND)
084	A8	DStop2	差动输入 „Stop2“, 正相	差动输入	(10kΩ到 GND)
085	C7	Vsse	LVPECL GND		GND
086	B7	Vdde	LVPECL 供电电压		Vdde
087	A7	Vddc-h	宏单元 供电电压		Vddc-h
088	C6	Vddc-o	宏单元 供电电压		Vddc-o
089	B6	Vssc-o	宏单元 GND		GND
090	A6	Vssc-h	宏单元 GND		GND
091	C5	Vdde	LVPECL 供电电压		Vdde
092	B5	DStartN	差动输入 „Start“, 反相	差动输入	(10kΩ到 GND)
093	A5	DStart	差动输入 „Start“, 正相	差动输入	(10kΩ到 GND)
094	C4	Vdde	LVPECL 供电电压		Vdde
095	B4	Vsse	LVPECL GND		GND
096	A4	Dstop1N	差动输入 „Stop1“, 反相	差动输入	(10kΩ到 GND)
097	B3	Dstop1	差动输入 „Stop1“, 正相	差动输入	(10kΩ到 GND)
098	A3	Vdde	LVPECL 供电电压		Vdde
099	B2	TStop1	TTL 输入 „Stop1“	TTL 输入	(10kΩ到 GND)
100	A2	Vsso	I/O GND		GND

1.5 封装图

TQFP100:

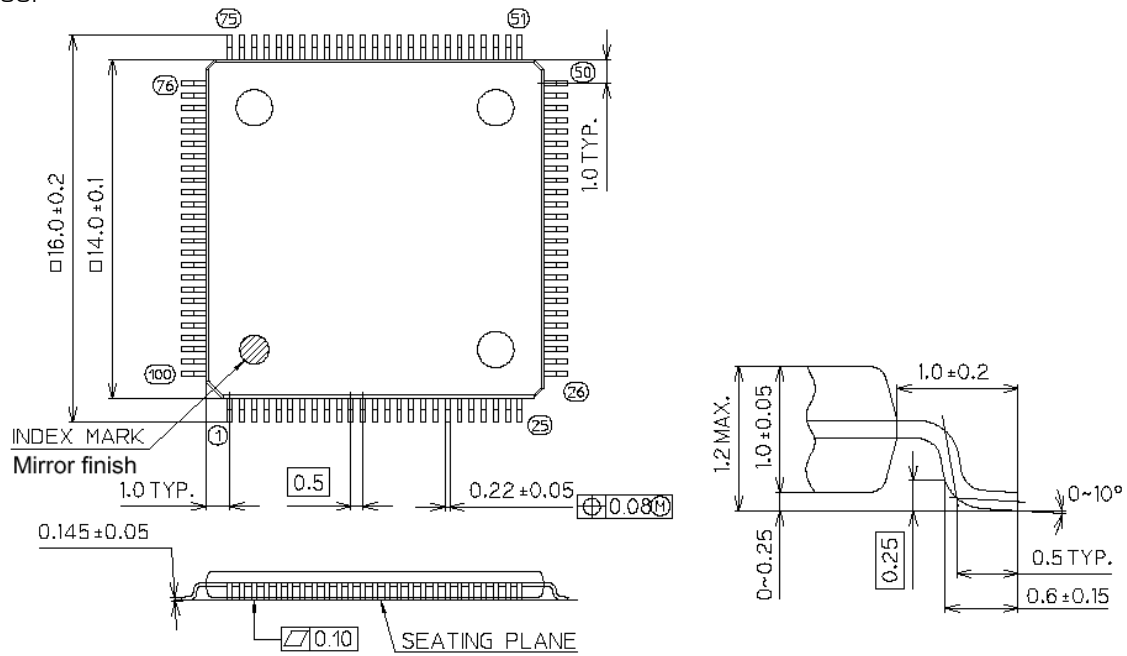
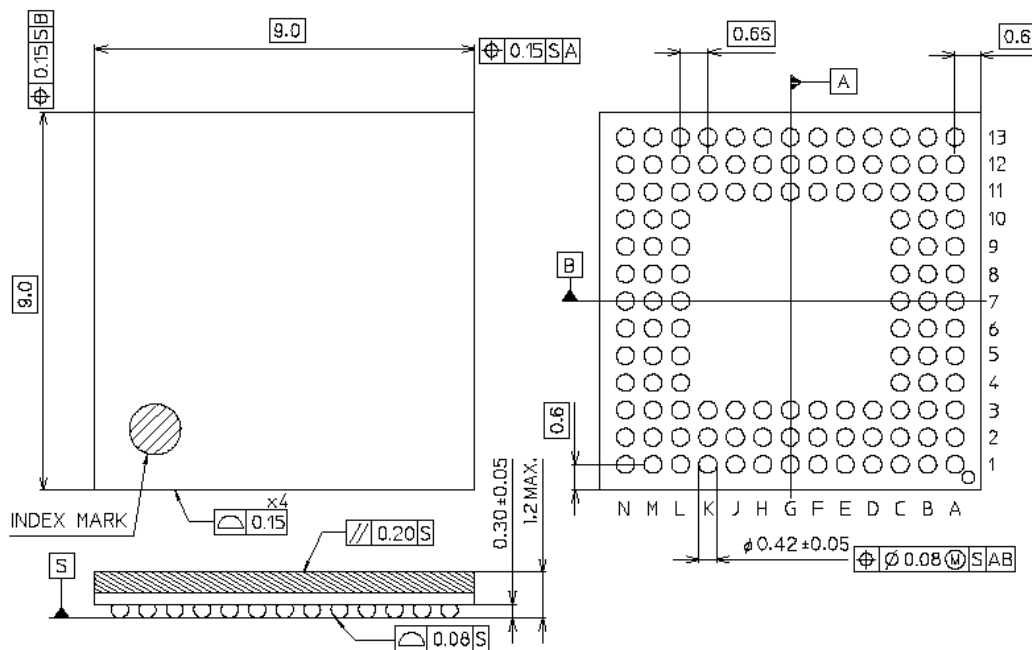


图 14

端口: 例如 Yamaichi IC149-100-025

TFBGA:



1.6 电源

1.6.1 精度可调模式

原理上讲 TDC-GPX 的高精度是来源于内部逻辑门传播延迟时间的。逻辑门传播延迟是与温度，电压和制造过程有关系的。由于这些关系精度一般是不确定的必须要通过校准来计算出来。另外，精度并不稳定，它会随电压和温度的变化摆动。在 TDC-GPX 精度可调模式中这些现象不会出现。因为在这个模式下 TDC-GPX 的精度被非常精确的温度稳定的通过锁相环电路(PLL)调整电压固定下来，因此精度被固定在一个可调整的数值上。

BIN 大小的计算如下:

$$BIN_{I-Mode} = \frac{T_{ref} \times 2^{refclkdiv}}{216 \times hsdv}$$

$$BIN_{G-Mode} = BIN_{I-Mode} \times \frac{1}{2}$$

$$BIN_{R-Mode} = BIN_{I-Mode} \times \frac{1}{3}$$

$$BIN_{M-Mode} = BIN_{R-Mode} \times \frac{1}{MSet + 1}$$

$T_{ref} = 25ns$ [40 MHz 参考时钟]

RefClkDiv, HSDiv → 寄存器 7

精度的调整范围可以达到普通精度的 -40 % 到 +9 % 在 3.3 V 和 25 °C 的时候. 如果周围环境导致非常大的调整那么锁相功能有可能会失灵。然后 PLL 将会变化到一个漂移的精度直到外界条件重新让锁相电路能锁相时。

注: 同时见应用手记 AN013.

例:

RefClkDiv = 7 和 HSDiv = 183 给出下面的精度:

I-模式 80.9553 ps BIN

G-模式 40.4776 ps BIN

R-模式 26.9851 ps BIN

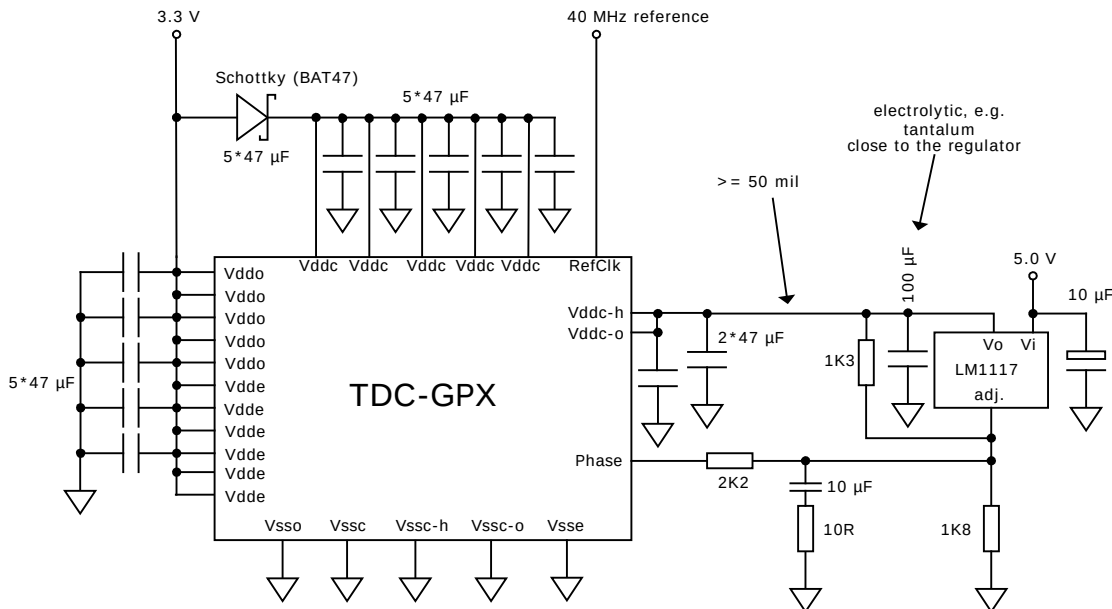


图 15

1.6.2 供电电压

虽然 TDC-GPX 是一个纯数字电路, 一些模拟测量也会影响电路. 原因是 TDC 是基于内部模拟测量“传播延迟时间”这个是受到温度和供电电压影响的. 好的供电电压的布局对于得到好的测量结果是非常重要的. 它应该是高电容荷和低电感.

TDC-GPX 提供许多种电源供电:

- Vddo - I/O 供电电压
- Vddc - 核心供电电压
- Vddc-h - 宏单元电压
- Vddc-o - 环振供电电压
- Vdde - LVPECL 输入电压
- Vsso - I/O GND
- Vssc - 核心 GND
- Vssc-h - 宏单元 GND
- Vssc-o - 环振 GND

为了更好的稳定性 我们推荐使用:

5 * 47 μ F, 给每个 Vddc 管脚.

1 * 47 μ F 给 Vddc-h.

1 * 47 μ F 给 Vddc-o.

5 * 47 μ F, 整个给 Vddo 和 Vdde.

推荐的电容:

Taiyo-Yuden LMK325BJ476MM, 47 μ F, 1210

核心的供电电压不能高于 I/O 电压加上 0.6 V. 否则信号将会被干扰.

所有得地脚应该接在电路板的地层上.

Vddc, Vddc-h 和 Vddc-o 是漂移的, 而且是由精度电压调节器所提供的.

Vddo 因该被调节电压器调整到固定值来避免由于出入带来的干扰.

功耗

电流消耗在 R- 和 G-模式下大约是 45 mA, 在 I-模式空闲时 39mA. 每增加 1 百万个事件则加 5 mA. 在每秒钟 1 百万次持续测量时温度跳变将会增加到周围温度加上 17 °以上.

热电阻 Rth j-a 是 96K/W [静态空气] 对于 TQFP 封装, 105K/W 对于 TFBGA 封装. 在有效的降热情况下它可以被减少到 35k/W [静态空气], 由于非常小的封装 Rthj-c.

最大跳变温度为:

Tj max = 125 °C

1.6.3 设计规则

如图 15 所示测量单元的电压, Vddc-o/h, 是由线性可调节整压器给出. 强烈推荐仅使用 LM317 或 LM1117 整压器, 因为只有这两种是经过测试和验证的. 不要使用低压差调节器因为这些电压调节器的参考都是参考输出电压的, 调节可能会与 PLL 调节有冲突. 调节器的输入电压应该 ≥ 5 V 因此 PLL 调节电路的最大输出电压不会被电压调节器的压降 1.2 V 到 1.3 V 所限制.

对于其它供电电压, Vddc, Vddo & Vdde, 推荐使用线性调节器. 开关模式调节器将会给测量引入很大得噪声.

在调节器输出和 TDC-GPX 电源电压管脚之间的细线宽度必须至少为 50 毫米.

对于 PLL 电压调节电路更详细的信息请参照在手册最后的应用手记 no. 13.

1.7 寄存器设置

与操作模式有关，是否 Bits 相关。尤其是读数据结构与操作模式有关。

1.7.1 写寄存器

Service bits 用于 ACAM 测试核安全目的所设，因此请应用推荐值。

这些寄存器的值可以被读回。

寄存器 0: 地址 = 0			I	G	R	M
0	ROsc	'1' = 开启环振器	x	x	x	x
1	RiseEn0	'1' 开启上升沿敏感在 DStart 输入		x	x	x
2	FallEn0	'1' 开启下降沿敏感在 DStart 输入		x	x	x
3	RiseEn1	'1' 开启上升沿敏感在 DStop1 输入		x	x	x
4	FallEn1	'1' 开启下降沿敏感在 DStop1 输入		x	x	x
5	RiseEn2	'1' 开启上升沿敏感在 Dstop2 输入		x	x	x
6	FallEn2	'1' 开启下降沿敏感在 Dstop2 输入		x	x	x
7 - 9	HQSel	Service bits, 必须设置为 '001'	x	x	x	x
10 - 18	TRiseEn	'1' 开启上升沿 作为 TTL 输入 Bit 10 = TStart, Bit 11 = TStop1 ... Bit 18 = TStop8	x			
19 - 27	TFallEn	'1' 开启下降沿 作为 TTL 输入 Bit 19 = TStart, Bit 20 = TStop1 ... Bit 27 = TStop8	x			

寄存器 1: 地址 = 1			I	G	R	M
0 - 3	Adj0	通道调整位 通道 0 (Start)		x	x	x
4 - 7	Adj1	通道调整位 通道 1 (R-模式 = 2, G-模式 = 0)		x	x	x
8 - 11	Adj2	通道调整位 通道 2 (R-模式 = 6, G-模式 = 5)		x	x	x
12 - 15	Adj3	通道调整位 通道 3 (R-模式 = 0, G-模式 = 0)		x	x	x
16 - 19	Adj4	通道调整位 通道 4 (R-模式 = 2, G-模式 = 5)		x	x	x
20 - 23	Adj5	通道调整位 通道 5 (R-模式 = 6, G-模式 = 0)		x	x	x
24 - 27	Adj6	通道调整位 通道 6 (R-模式 = 0, G-模式 = 5)		x	x	x

推荐调整位:

R-模式: Adj1 = Adj4 = Adj7 = 2, Adj 2 = Adj 8 = 6, Adj5 = 6

G-模式: Adj2 = Adj4 = Adj6 = Adj8 = 5.

寄存器 2: 地址 = 2			I	G	R	M
0	G-模式	'1' = 开启 G-模式		x		
1	I-模式	'1' = 开启 I-模式	x			
2	R-模式	'1' = 开启 R-模式			x	x
3 - 11	关闭	'1' = 关闭通道 Bit 3 = 通道 0 (Start) ... Bit 11 = 通道 8	x	x	x	x
12 - 15	Adj7	通道调整位 通道 7 (R-模式 = 2, G-模式 = 0)		x	x	x
16 - 19	Adj8	通道调整位 通道 8 (R-模式 = 6, G-模式 = 5)		x	x	x
20 - 21	DelRise1	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
22 - 23	DelFall1	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
24 - 25	DelRise2	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
26 - 27	DelFall2	Service bits, 设置为 '0'		x	x	

寄存器 3: 地址 = 3			I	G	R	M
0 - 4	MSet	在 M-模式设置精度系数 1 到 31				x
5 - 6	DeIT1	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
7 - 8	DeIT2	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
9 - 10	DeIT3	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
11 - 12	DeIT4	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
13 - 14	DeIT5	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
15 - 16	DeIT6	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
17 - 18	DeIT7	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
19 - 20	DeIT8	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
21 - 22	RaSpeed0	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
23 - 24	RaSpeed1	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
25 - 26	RaSpeed2	Service bits, 设置为 '0'		x	x	
27	GTest	转换 TStart 到 DStart, TStop1 到 DStop1 和 TStop2 到 DStop2 (TTL 到 ECL, 在 G-模式测试)		x	x	x

寄存器 4: 地址 = 4			I	G	R	M
0 - 7	StartTimer	定义了内部 Start 的重复率以 $[N + 1] \cdot T_{ref}$ 给出, 推荐: $5 \mu s [(199 + 1) \cdot 25ns]$	x			
8	Quiet	'1' = 在 G-, R- 或 M-模式中开启静态模式. 如果被设置为 '1', ALU 不会自动启动, 而是在管脚 ALUTrigger 上升沿后或者在写 '1' 到位 'AluTrigSoft' 后开启 (在 M-Mode 必须)		x	x	x
9	Mon	开启 M-模式				x
10 - 11	RaSpeed3	脉冲对时间调整, 一般设为 '0'		x	x	x
12 - 13	RaSpeed4	脉冲对时间调整, 一般设为 '0'		x	x	x
14 - 15	RaSpeed5	脉冲对时间调整, 一般设为 '0'		x	x	x
16 - 17	RaSpeed6	脉冲对时间调整, 一般设为 '0'		x	x	x
18 - 19	RaSpeed7	脉冲对时间调整, 一般设为 '0'		x	x	x
20 - 21	RaSpeed8	脉冲对时间调整, 一般设为 '0'		x	x	x
22	MasterReset	'1' = 除配置寄存器之外的总复位	x	x	x	x
23	PartialReset	'1' = 除配置寄存器和接口 FIFO 内容之外的总复位	x	x	x	x
24	AluTrigSoft	在静态模式中开启 ALU		x	x	x
25	EFlagHiZN	'1' = EF 输出脚一直驱动	x	x	x	x
26	MTimerStart	'1' = 内部 MTimer 由一个 Start 脉冲触发	x	x	x	x
27	MTimerStop	'1' = 内部 MTimer 由一个 Stop 脉冲触发	x	x	x	x

寄存器 5: 地址 = 5			I	G	R	M
0 - 17	StartOff1	可调整内部 Start-漂移	x	x	x	x
18 - 20	ServiceMAAdj	Service bits, 设置为 "0"				x
21	StopDisStart	在 Start 脉冲前关闭 Stop	x	x	x	x
22	StartDisStart	在 Start 脉冲前关闭 Start		x	x	x
23	MasterAluTrig	通过 Alutrigger 管脚高平主复位 [仅在没有静态模式情况下]	x	x	x	
24	PartialAluTrig	通过 Alutrigger 管脚部分复位 [仅在没有静态模式情况下]	x	x	x	
25	MasterOenTrig	通过 OEN 管脚低平主复位 [仅在 OEN 不用时]	x	x	x	x
26	PartialOenTrig	通过 OEN 管脚低平部分复位 [仅在 OEN 不用时]	x	x	x	x
27	StartRetrig	Start 再触发	x	x	x	

寄存器 6: 地址 = 6			I	G	R	M
0 - 7	Fill	Defines the level when the fill-level Flags LFX of the 2 interface FIFOs will be set.	x	x	x	
8 - 25	StartOff2	可调整内部 Start-漂移 [仅在 G-模式]		x		
26	InSelECL	为 I-Mode 选择 ECL 输入 DStop1 -> TStop1, TStop3, TStop5, TStop7 DStop2 -> TStop2, TStop4, TStop6, TStop8[单通道可以应用'Disable'来关闭]	x			
27	PowerOnECL	'1' = 为 ECL-输入上电	x	x	x	x

当读回寄存器 6 时"Fill" 位 0 到 7 将会被反相。

寄存器 7: 地址 = 7			I	G	R	M
0 - 7	HSDiv	高速分频器 PLL	x	x	x	x
8 - 10	RefClkDiv	参考时钟分频器 PLL	x	x	x	x
11	ResAdj	开启精度可调模式	x	x	x	x
12	NegPhase	反向 PLL 输入	x	x	x	x
13	Track	切断 PLL 环路	x	x	x	x
14	Service	Service Bits, 设置为 '0'				
15 - 27	MTimer	设置内部 timer, 与 Tref, 0 - 8191 相乘的因数	x	x	x	x

寄存器 14: 地址 = 14			I	G	R	
0 - 3	Service	写入 "0"	x	x	x	x
4	16BitMode	'1' 开启 16 Bit 数据线模式	x	x	x	x
5 - 27	Service	写入 "0"	x	x	x	x

在 16 位模式被设置后所有的后面的读/写命令必须要以一对的形势完成。

1.7.2 读寄存器

▪ I-模式

寄存器 8: 地址 = 8		
0 - 16	IFIFO1	从接口 FIFO1 里面的时间数据, Hit = Stop-Start
17	Slope1	这个 Hit 的 Slope
18 - 25	Start#1	这个 hit 的 Start 数
26 - 27	ChaCode1	这个 hit 的通道代码

Register 9: 地址 = 9		
0 - 16	IFIFO2	从接口 FIFO2 里面的时间数据, Hit = Stop-Start
17	Slope2	这个 Hit 的 Slope
18 - 25	Start#2	这个 hit 的 Start 数
26 - 27	ChaCode2	这个 hit 的通道代码

Register 10: 地址 = 10		
0 - 16	Start01	外部 Start 和第一个内部 Start 的时间间隔
17 - 27	-	不应用

▪ G-模式

寄存器 8: 地址= 8		
0 - 21	IFIFO1	从接口 FIFO1 里面的时间数据, Hit = Stop-Start
22	Slope1	0 = 下降沿, 1 = 上升沿
23 - 27	-	不应用

Register 9: 地址 = 9		
0 - 21	IFIFO2	从接口 FIFO2 里面的时间数据, Hit = Stop-Start
22	Slope2	0 =下降沿, 1 =上升沿
23 - 27	-	不应用

Register 10: Adr = 10		
0 - 15	-	不应用
16 - 27	-	不应用

▪ R-模式 & M-模式

寄存器 8: 地址= 8		
0 - 22	IFIFO1	从接口 FIFO1 里面的, Hit = Stop-Start
23 - 27	-	不应用

寄存器 9: 地址= 9		
0 - 22	IFIFO2	从接口 FIFO2 里面的, Hit = Stop-Start
23 - 27	-	不应用

寄存器 10: 地址 = 10		
0 - 15	-	不应用
16 - 27	-	不应用

1.7.3 读/写 寄存器

寄存器 11: 地址= 11			
0 - 7	StopCounter0	在 DStop1 上的 hits 数, I-模式: 无效 G-模式:下降沿计数 R-模式: 上升沿计数	只读
8 - 15	StopCounter1	在 Dstop2 上的 hits 数, I-模式: 无效 G-模式:下降沿计数 R-模式: 上升沿计数	只读
16 - 23	HFifoErrU	'1' 将在 Hit FIFOs 写满时接到 ErrFlag 管脚	读/写
24 - 25	IFifoErrU	接口 FIFOs 写满时接到到 ErrFlag 管脚	读/写
26	NotLockErrU	'1' 'PLL 不锁定时' 接到 ErrFlag 管脚	读/写

寄存器 12: 地址 = 12			
0 - 7	HFifoFull	Hit FIFOs 满标志	只读
8 - 9	IFifoFull	接口 FIFOs 的满标志	只读
10	NotLocked	'PLL not locked' 标志	只读
11	HFifoE	说明所有 Hit FIFOs 为空的标志	只读
12	TimerFlag	Mtimer 结束标志	只读
13 - 20	HFifoIntU	'1' Hit FIFOs 写满时接到 ErrFlag 管脚	读/写
21 - 22	IFifoIntU	'1' 接口 FIFOs 写满时接到 ErrFlag 管脚	读/写
23	NotLockIntU	'1' 'PLL 未锁定时' 接到 IntFlag 管脚	读/写
24	HFifoEU	'1' '所有 Hit FIFOs 为空时' 接到 IntFlag 管脚	读/写
25	TimerFlagU	'1' Mtimer 结束时接到 IntFlag 管脚	读/写
26	Start#U	'1' Start 数的最高位 (I-模式) 被置时接到 IntFlag 管脚	读/写
27	Service	设置为 "0"	读/写

当读寄存器 12 的时候 HFifoFull 和 IFifoFull 将会被设置回 "0". 他们将会被一个主复位或部分复位信号重新触发.

2 I-模式

2.1 I-模式 原理图

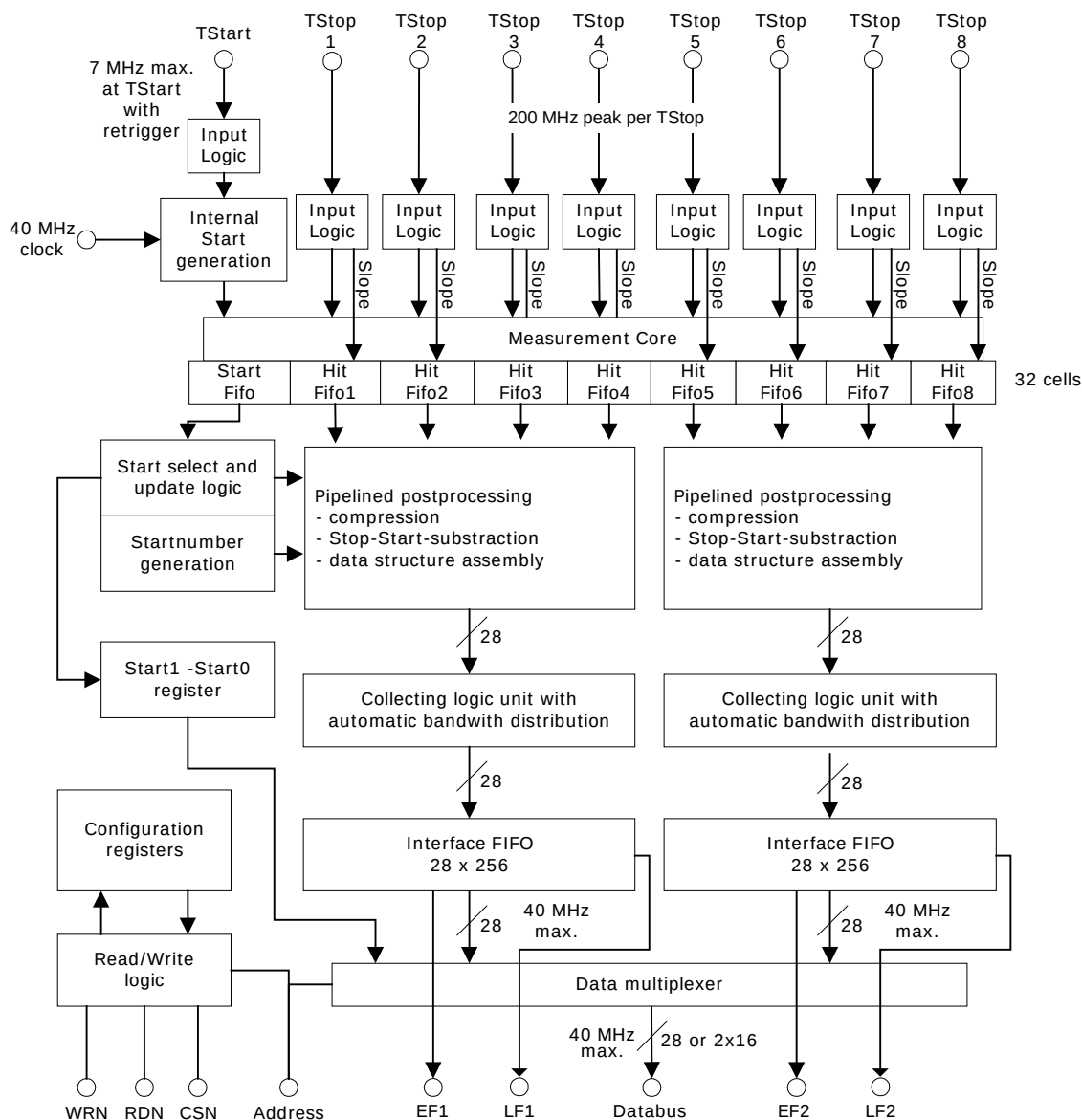


图 16: 原理图

2.2 I-模式 输入电路

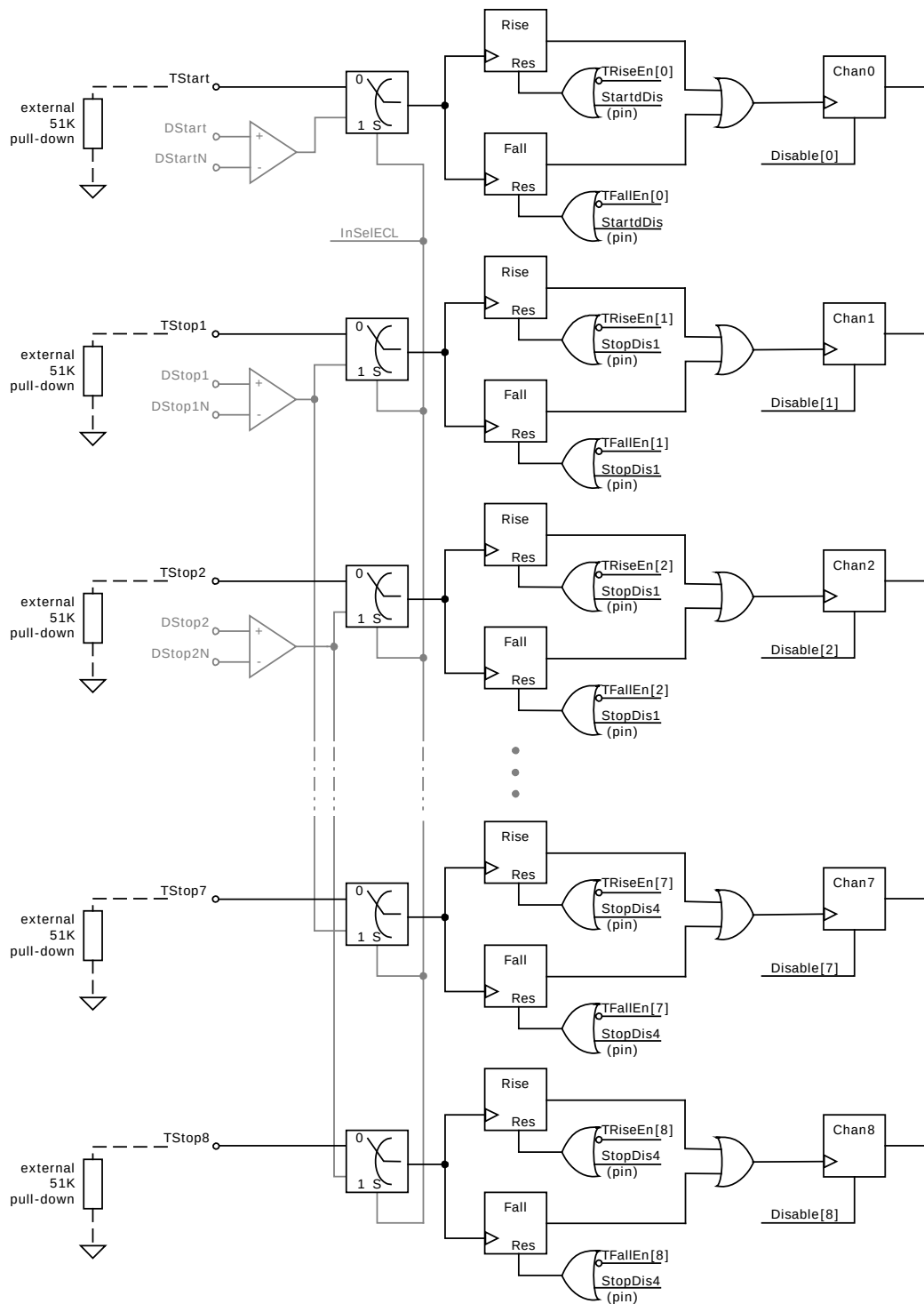


图 17: 输入电路

2.3 I-模式 基础介绍

在这个模式中 TDC-GPX 提供

- 8 个 stop 通道和 1 个 start 通道
- 没通道一般为 81ps 精度
- 5.5 ns 通道脉冲对精度
- Start-再触发最高频率达 7 MHz
- 应用内部 Start 再触发无限制的测量范围
- 所有输入为 LVTTTL 类型
- 所有通道可选择上升/下降边沿敏感
- 所有通道有许多不同方法的关闭可能性

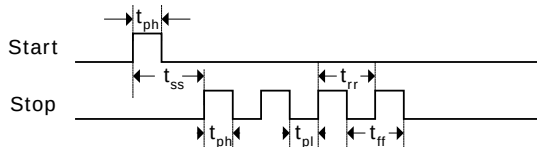


图 18: 测量时序

参 数.	时间 [条件]		描述
	Min.	Max.	
t_{ph}	1.5 ns		正脉冲宽度
t_{pl}	1.5 ns		负脉冲宽度
t_{ss}	0 ns 最小 * 5.2ns	9.4 μ s * 无限制	Start 到 Stop
t_{rr} t_{ff}	5.5 ns [typ.] 6.9ns [最大]#		边沿到边沿 #在 87ps 的精度情况

*带内部 Start 再触发情况 **在 StopDisStart = 情况

输入电路

详细的输入电路结构 在图 17:输入电路。每一个输入都分别可以设置边沿敏感方式。这是通过设置寄存器 OTRiseEn[8...0] 和 TFallEn[8...0]实现的。LSB 表示 TStart 输入, MSB 表示 TStop8 输入. 在通道位 TRiseEn 和 TfallEn 同时设置为零将会关闭这个通道。

所有输入可以通过硬件关闭。stop 输入对 [管脚 'Stop-Dis1' 关闭 输入 TStop1 和 TStop2, 等等.]. 他们也可以通过软件设置寄存器 2 中的'Disable' 位来关闭。TDC-GPX 提供在 Start 进入时自动关闭 Stop 输入的可能。这是通过设置在寄存器 5 中 StopDisStart = '1' 来实现的。

Start 再触发

在一个初始 Start 事件之后, TDC-GPX 将可以自己内部产生 Start. 这是通过在寄存器 4 中的参数 "StartTimer" 来控制的. start 再触发频率不能超过 7 MHz.

单一 Start

StartTimer = 0 关闭了内部 Start 触发. 在这个模式中测量范围被限制在 2^{17} BIN $\approx 10.6 \mu$ s [在 BIN = 81 ps]. 在 Tstart 其余脉冲将会被忽略。

内部 Start 再触发

重复 Start 的周期可以通过设置与 40MHz 参考时钟的乘法因数在 [4+1] 和 [255+1] x 25ns 之间调整[寄存器 4: StartTimer[7...0]].

初始 Start, 内部, 外部 Start 之间的时间间隔是会变化的。因此被测量下来保存到寄存器 10 的 'Start01' 中. 它可以从这个寄存器中以 17 位整数读出, 然后乘以 BIN。

后面的 Starts 信号之间的时间间隔是固定的, 为 [N + 1] x Tref. 另外, 有一个记录 Start 数的 8 位计数器 [Start#].

start 数被加到输出数据当中。进一步的选择就是将 Start 计数器的最高位通过设置寄存器 11, 设置位 26 Start#U 到 1 来反馈到 IrFlag 输出管脚。通过这个信号内部 Start 计数器可以被扩展到任何尺寸。

内部 Start 再触发允许 TDC-GPX 无限的测量范围。

外部 Start 再触发

另一个选择就是通过外部 Start 再触发。这个选项是通过设置 StartTimer = 1 (Reg 4) 和 StartRetrig = 1 (Reg 5)来实现的。其他的特性和内部再触发相同。最大再触发频率为 7MHz。两个 Start 信号的时差被测量并且被存放在 "Start01" 寄存器。这个值只有在两个 Start 脉冲的时间间隔不超过测量范围 2^{17} BIN $\approx 10.6 \mu$ s 的情况下才有意义。

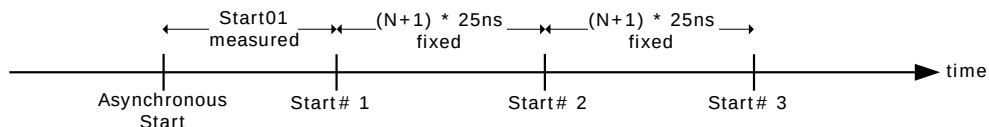


图 19

Start-偏移

由于某些原因一个数学漂移被加到了 Stop 时间上。一个原因是因为这样可以处理 Start-Stop 时间间隔最低到 0 甚至更小。这个 'StartOff1' 通过寄存器 5 设置为 BIN 的乘法因数。在内部这个 Start 偏移被加到测量结果里面，在读 TDC 结果的时候要减去。加这个偏移得另一个原因是可以让 ALU 在不用处理负值情况下查询 "过去" [ALU 不能处理负值]。

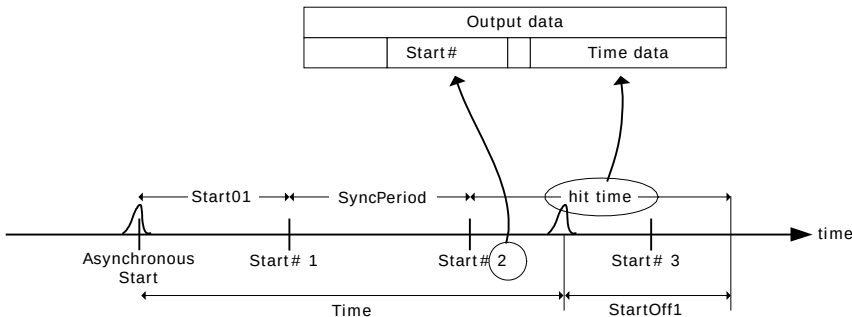


图 20

实际的 Start 到 Stop 的时间间隔是通过输出数据所计算出来 [Start# >0]:

$$\text{Time} = [\text{hit time} - \text{StartOff1} + \text{Start01}] * \text{resolution} + [\text{Start\#} - 1] * [\text{StartTimer} + 1] * \text{Tref}$$

调整 Start-偏移

TDC-GPX 的 Start-偏移寄存器可以设置不同的内部延迟。它允许 Start 和 Stop 测量之间的时间间隔为 0。正确的设置需要通过实验完成。

在单一 start 应用时的步骤:

1. 设置 StartOff1 = 0
2. 给 Start 和 Stop 信号一个小的延迟 [例如 12ns]
3. 逐渐减少时间间隔然后观察输出数据。输出数据的值也将会逐步减小直到你通过了内部 Start 时间点。这个时候数据将会跳转到非常高的值。
4. 记录下这个现象发生时的输出时间间隔 t_{cross} [从你的产生器上]
5. 计算 $\text{StartOff1} = t_{\text{cross}} / \text{BIN}$ 然后将这个值写入寄存器 5, StartOff1。如果你希望负值的话加一个额外的 X 值给 StartOff1 然后在后面读出数据中减去这个值。

6. 通过 start 再触发 StartOff1 的值可以设置为
 $\text{StartOff1} = 2,000 \approx 162 \text{ ns}$.

原因是由于 ALU 在 Start 再触发到新的 Start 时间信号产生过程中要终止大约 50ns。如果在这个段时间内每个通道有一个 hit 的话那么 ALU 需要

$4 \times 25 \text{ ns} + 50 \text{ ns} = 150 \text{ ns}$ 的时间来将数据传送到 IFIFO。ALU 不能够处理负值。因此要加一个 Start 漂移这样 ALU 可以处理在这个间歇中所收集到的数据。如果数据输入频率更高 [bursts] 那么有必要设置更高的漂移值，比如设置到 10,000。

根据 25ns 参考 Start 再触发加了一些不确定因素到是否这个 Stop 是相对于以前的 Start 还是新的 Start。其实这个并不是个不确定的。每一次在减去漂移后负的时间数据可以通过加一个 Start 周期和减少 1 个 Start 数来定位之前所属的 Start。

StopDisStart & StartDisStop

默认情况下 TDC-GPX 的 Start 和 Stop 输入在一次复位后迅速开启的。

这样的结果就是 Stop 通道上甚至在 Start 信号之前的信号都会被测量。在寄存器 5 中的位 StopDisStart 可以关闭 Stop 通道直到有一个 Start 出现为止。这样的结果就是在 Start 后和允许 Stop 通道接受 hit 前有一个最小的时间延迟 7ns。

在单一-Start 和内部 Start-再触发情况下仅第一个 Start 脉冲是作为测量用。如果希望得到多于一个 Start 脉冲的话这个选择会造成在 Start 通道中 HITFIFO 的溢出。这将会产生垃圾数据。因此我们推荐设置寄存器 5 的 StartDisStart 位。设置为 1 将会在第一个 Start 脉冲后关闭 Start 通道。

内部数据处理

stop 通道记录下来得粗值数据被存放在 32-阶的 Hit FIFOs 里面。有一位被加到信号中为了显示信号边沿敏感方式。这个 hit FIFO 可以填充数据的最高频率为 182MHz。

下面的管道式预处理单元是负责数据压缩，Start 选择，执行 Stop-Start 相减以及加 Start 数到输出数据中。继而一个采集单元将数据发送到接口 FIFO，为 256-阶深度。这个是通过自动带宽分布完成的。如果一个通道上的 1 个 hit 被处理后，相邻的通道将得到下一个操作的优先权。如果在下一个通道没有采样，则优先权传递到下一个通道，依次类推。到接口 FIFO 的数据最大传输率为 40MHz。因此如果每个通道都有平等采样的分布的话。分配到每个通道的 hits 采样率为 10MHz。如果仅有一个通道有采样，其他没有的话，这个通道最高采样率为 40MHz。

最后一个数据选择器将数据从接口 FIFOs 加到数据总线上。数据线为 28 位宽可以传输最高 40MHz 频率。数

数据线可以被转换到 16 位宽度通过写 0x0000010 到地址 14。在管脚 'Output enable' 一个低电平将迫使双向数据线成为永久输出状态。这将对快速读出数据非常有帮助。

每一个接口 FIFO 有一个空标志 [EF] 和一个承载水平标志 [LF]。所有的标志都为高平有校。在低数据刷新率时推荐检查 EF 看是否有数据有校可读。不允许读空的接口 FIFO。LF 在高测量刷新率下非常有帮助。载入数据的界限值可以通过设置寄存器 6 中的 'Fill' 来完成对于两个 FIFO 是一样的。只要设置的数据数目达到后就可以不检查 EF 直接从 FIFO 读数据块。

注: 承载水平标志并不是同步的。一个 FIFO 的承载水平标志仅在没有从这个 FIFO 读的情况下有效。否则将会有峰尖脉冲出现。

2.4 数据结构

输出数据为以 BIN 为精度的整数, BIN 的计算在精度可调模式时如下[1.6.1] :

$$BIN = \frac{T_{ref} \times 2^{refclkdiv}}{216 \times hsdv}$$

位 27...26	位 25...18	位 17	位 16...0
通道代码	Start# = Start 数	边沿方式位	时间间隔数据 Hit = Stop-Start

时间间隔计算[外部]如下:

如果 Start# 为 0:

$$Time = 1 \text{ BIN[ps]} * [Hit - StartOff1]$$

If Start# > 0:

$$Time = 1 \text{ BIN[ps]} * [Hit - StartOff1 + StartOff1 + (Start# - 1) * (StartTimer + 1) * Tref]$$

2.5 复位

有 3 种复位的方法:

- **上电复位:** 在 PURES_N 管脚的低平信号将使整个芯片复位。
- **主-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器外的所有东西复位。它可以通过软件写寄存器 4 来实现。当寄存器 5 的 MasterAluTrig 被设置为 1 时这个复位也可以通过给 Alutrigger 输入管脚加高平来完成。
- **部分-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器和接口 FIFOs 的其他东西复位。可以通过设置寄存器 4 来完成。当寄存器 5 中 PartialAluTrig 被设为 1 时也可以通过给 Alutrigger 输入管脚一个高平脉冲来实现部分复位。

在上电复位和主复位后和 Start, Stop 信号开始接受数据前需要 40ns 时间。

在部分复位和 Start, Stop 信号开始接受数据前需要 75ns 时间。

2.6 MTimer

有一个内部应用的内部 Timer。这个 Timer 的主要应用是设置一个在 25ns 和 204.7 μs 一个时间间隔在此时间之后将会置位中断。这个在寄存器 7 'MTimer', 中设置乘以 Tref 的周期数。最大得时间延迟为 8191 * Tref = 204.7 μs。这个 Timer 可以通过一个 Stop 信号和/或一个 Start 信号启动。这个通过设置寄存器 4 的 'MTimer-Start' 和 'MTimerStop' 实现。设置寄存器 12 位 'TimerFlag', 中断标志将会在 Timer 停止时出现。

2.7 中断标志

用户可以选择对于那一个事件才置中断标志。

选择是通过设置寄存器 12 的位 13 到 25 完成。通过将所需位连接到中断。它们内部是通过一个或门连接到中断标志位上的。

可选择的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1 或/和 2 被写满时
- PLL 没有锁定时
- 所有的 Hit FIFOs 为空时
- Mtimer 结束时

2.8 出错标志

用户可以选择是哪个事件的出错标志可以被置。

这个选择是通过设置寄存器 11 位 16 到 26, 设置相应的位连接到中断。它们是通过一个或门连接到出错标志管脚。

可选的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- PLL 没有锁定时

2.9 差动输入

在 I-M 模式下也可以使用差动输入。设置寄存器 6, InSelECL = '1' 来转化测量通道为 2 个有效的差动输入。对于差动输入的加电必须单独的通过设置寄存器 6, PowerOnECL = '1' 来完成。

2.10 I-模式 时序 & 精度

逻辑门延迟参数将会随电压, 温度和工艺容忍度而变化。下面的表格例出了限制额定值系数:

额定值	最小	最大
电压	0.91 在 3.6V	1.2 在 2.85V
温度	0.889 在 负 40°C	1.17 在 正 125°C
工艺	0.74 在 BC	1.31 在 WC

利用精度可调模式来稳定精度, 在温度下降的时候降低核心电压, 温度增加的时候增加核心电压。设置应该为

在最大操作温度时达到最大核心电压，在最小操作温度时达到最小核心电压。用这个方法，有两个界限：

最好工艺情况, 最低温度, 最低电压时: $0.74 \times 0.889 \times 1.2 = 0.789$

最差工艺情况, 最高温度, 最高电压时: $1.31 \times 1.17 \times 0.91 = 1.394$

一般精度为 81 ps [一般工一情况下, 25°C, 3.3 V] 你可以得到两个精度的极限值:

	最佳	最差
精度	64 ps	113 ps

BIN 或者 LSB 宽度通过精度调节单元被确定下来 [1.6.1]。

测量结果的标准偏差 [1σ] 一般为 $0.9 \text{ LSB} + 2.5\text{ps} \times \Delta t/\mu\text{s}$ 。

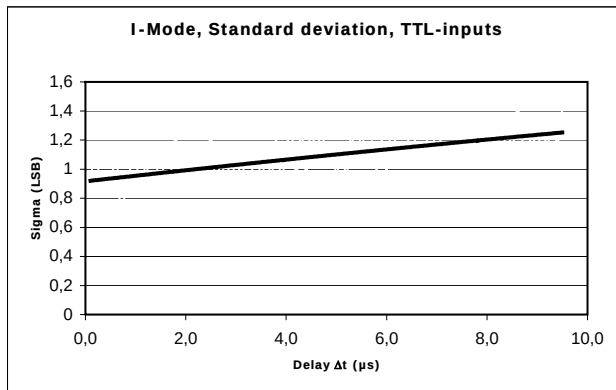


图 21

DNL

TDC-GPX 显示了一个很缓和的差动非线性形度 [DNL] 因为内部逻辑门时间延迟被用于时间的测量上而且这些延迟对于上升沿和下降沿是不同的。对于各个通道间的这些变化是非常系统的。下面的图说明了在精度为 74ps 时的 DNL 数据:

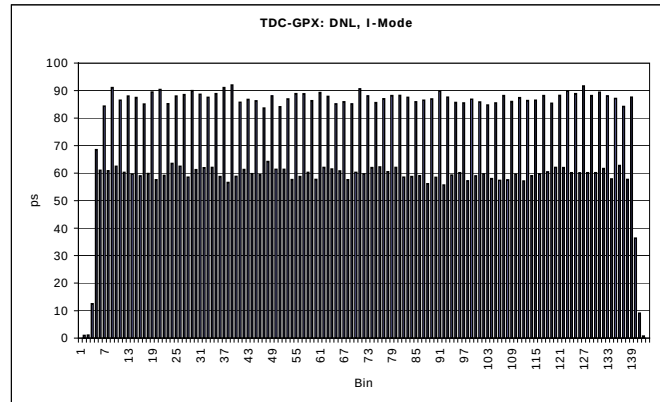


图 22: DNL

INL

积分非线性形度描述了在最大测量范围时的偏差。对于单一 Start-Stop 测量测量延迟 > 6 ns INL 是再我们测量能力之下的，可以被忽略掉。在接近 6ns 的测量时间间隔时这个偏移大概为 100ps。

2.11 测量流程

下面我们将说明两个在 I-模式下寄存器设置和测量流程的典型例子。

2.11.1 单一测量

任务:

测量 8 个通道和 Start 时间间隔为 2 μ s 内。

```
//***** I-模式, Stops 相对于 单一 Start *****

PuResN=Low;           // 上电复位
PuResN=High;

StopDis1 = High;      // 关闭所有输入
StopDis2 = High;
StopDis3 = High;
StopDis4 = High;

// 写配置寄存器
// 上升沿, 开启环振器.
_oupd( 0,0x007FC81);
_oupd( 1,0x0000000);
_oupd( 2,0x0000002);
_oupd( 3,0x0000000);
_oupd( 4,0x6000000);
_oupd( 5,0x0E004DA);
_oupd( 6,0x0000000);
_oupd( 7,0x0281FB4);
_oupd(11,0x7FF0000);
_oupd(12,0x2000000);
_oupd(14,0x0000000);
_oupd( 4,0x6400000);

// Mtimes 由 start, EflagHiZN 触发
//StopDisStart, StartDisStart, StartOff1 = 100ns, MasterAluTrig

// Res = 82.3045ps
// Any error -> ErrFlag
// Mtimer -> IrFlag

StopDis1 = Low;
StopDis2 = Low;
StopDis3 = Low;
StopDis4 = Low;

// 主复位
// 开启输入

do
{
    while(IrFlag=Low);           // 检查中断标志

    while((EF1=Low)or(EF2=Low))  // 检查空标志
    {
        if (EF1=Low)           // 是否 IFIF01 有数据?
        {
            data = _inpd(8);    // 读 IFIF01
            Chan = (data & 0xC000000)>>26 + 1; // 获得通道号#
            Time = (data & 0x1FFFF); // 获得 Stop-Start 时间
            Printf(Chan,time);
        }
        if (EF2=Low)           // 是否 IFIF02 有数据?
        {
            data = _inpd(9);    // 读 IFIF02
            Chan = ((data & 0xC000000)>>26) + 5; // 获得通道号#
            Time = (data & 0x1FFFF); // 获得 Stop-Start 时间
            Printf(Chan,time);
        }
    }

    Alutrigger = High;          // 主复位
    Alutrigger = Low;
} while(!quit)
```

2.11.2 持续测量

任务: 一般应用于荧光光谱仪。

应用内部 Start 再触发测量一串持续输入信号。

```

//***** I-模式, 应用内部 Start 再触发无限制测量范围 *****
PuResN=Low;           // 上电复位
PuResN=High;
StopDis1 = High;      // 关闭输入
StopDis2 = High;
StopDis3 = High;
StopDis4 = High;

// 写配置寄存器
// 上升沿, 开启环振
_oupd( 0,0x007FC81);
_oupd( 1,0x0000000);
_oupd( 2,0x0000002);
_oupd( 3,0x0000000);
_oupd( 4,0x2000027);
_oupd( 5,0x02004DA);
_oupd( 6,0x0000000);
_oupd( 7,0x0281FB4);
_oupd(11,0x7FF0000);
_oupd(12,0x4000000);
_oupd(14,0x0000000);
_oupd( 4,0x6400027);
StopDis1 = Low;
StopDis2 = Low;
StopDis3 = Low;
StopDis4 = Low;

Wait(1µs);
Sta01 = -inpd(10)& 0xFFFF
do
{
  if (EF1=Low)
  {
    data = _inpd(8);
    Chan = (data & 0xC000000)>>26 + 1;
    Start = (data & 0x3FC0000)>>18;
    Time = (data & 0x1FFFF)-0x4DA;
    if (Time<0)
    {
      Time = Time + 1µs;
      Start = Start -1
    }
    Printf(Chan,Start,Time);
  }
  if (EF2=Low)
  {
    data = _inpd(9);
    Chan = ((data & 0xC000000)>>26) + 5;
    Start = (data & 0x3FC0000)>>18;
    Time = (data & 0x1FFFF)-0x4DA;
    if (Time<0)
    {
      Time = Time + 1µs;
      Start = Start -1
    }
    Printf(Chan,Start,Time);
  }
} while(!quit)
  
```

3 G-模式

3.1 原理图 G-模式

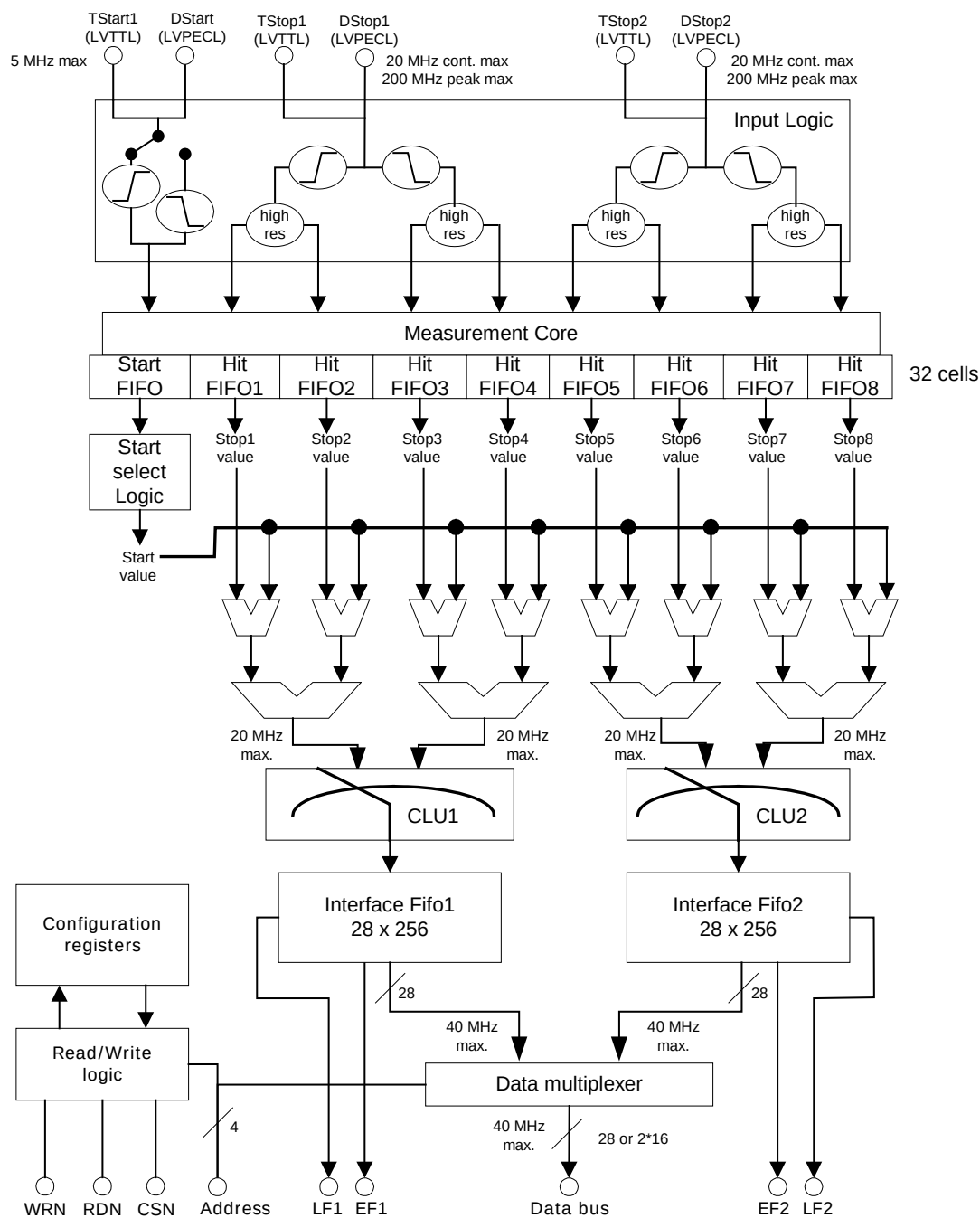


图 23

3.2 输入电路 G-模式

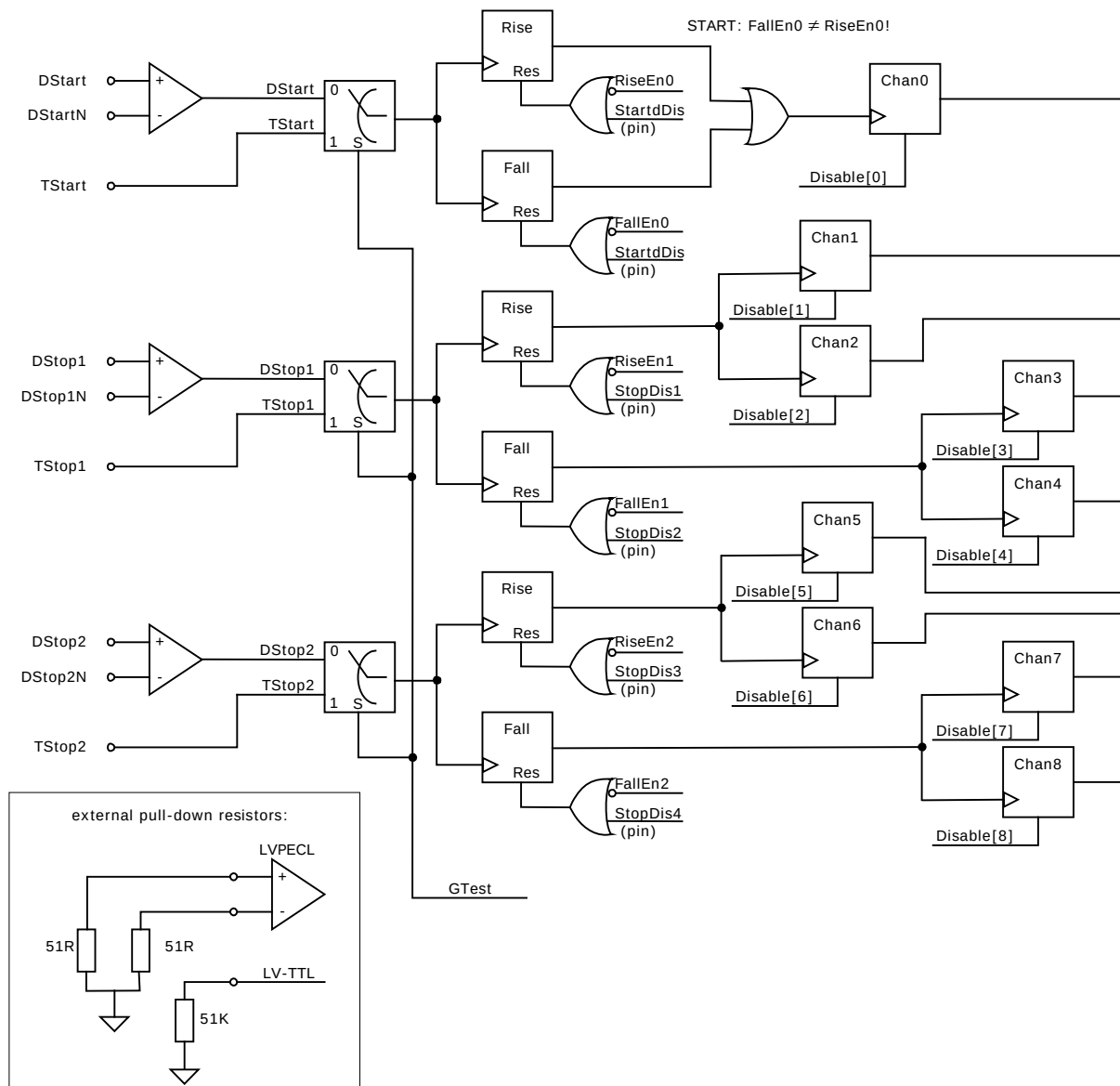


图 24

3.3 G-模式 基础介绍

在这个模式中 TDC-GPX 提供:

- 2 Stop 通道和 1 个 Start 通道
- 每通道 36 ps 精度
- 脉冲宽度上升和下降沿测量 最低到 1.5ns
- Start-再触发频率可达 5 MHz
- 4.7 ns 脉冲对精度
- 0 到 65 μ s 测量范围
- 最小 32-fold 脉冲采样能力
- 可选择的静态模式
- LVPECL 输入

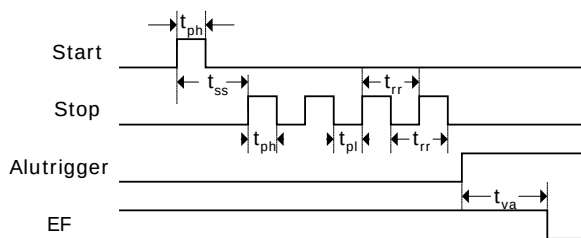


图 25. 测量时序

参数	时间 [条件]	描述
t_{ph}	1.5 ns [min.]	正脉冲宽度
t_{pl}	1.5 ns [min.]	负脉冲宽度
t_{ss}	0 ns min *5.2 ns min 64 μ s [max]	Start 到 Stop *在 StopDisStart = 1 时
t_{rr}, t_{ff}	5.5 ns [typ.] 6.9 max.#	相同的边沿到边沿 #在 87ps 的精度情况下
T_{rf}, T_{fr}	5.5 ns [typ.]	下降沿到上升沿和 v.v
t_{va}	107 ns [max.]	ALU 开启到数据有效

在这个模式中 TDC-GPX 有两个独立得 Stop 输入同道, 每个通道可以同时测量上升和下降沿。每个通道最小采样 32 个。

为了提高测量准确度, 两个通道内部被绑定, 因此精度为 40ps。两个通道构成的通道被成为绑定通道。这些绑定通道中的每个通道都可以测量一个采样通道的上升或者下降脉冲。用这种方法可以测量差动输入得脉冲宽度最低到 1.5ns。两个相邻的在采样通道上的上升或者下降沿可以有最低时间延迟为 5.5 ns [一般来说.]。每一个 STOP 输入有一个 8 位的计数器。上升沿有效。每个通道的 hit 数可以通过寄存器 11 StopCounter0 和 StopCounter1 被读出来。

内部 Start 被加上一个偏移量[LSB 的乘法因数]。这将允许测量 hits 在 start 信号产生之前被记录下来, 可以测量时间间隔到 0。

输入电路

在 G-模式下 TDC-GPX 有差动低压 PECL 输入缓冲。对于差动输入得电源必须要独立的通过设置寄存器 6, PowerOnECL = '1'来加电。

详细的输入结构如图 24所示。每一个输入可以分别被设置成上升和/或下降沿触发方式。这是通过设置寄存器 0 RiseEn0..2 和 FallEn0..2 完成。在一个通道中对于两位同时设为 0 将关闭这个通道。

所有的输入可以通过硬件被关闭。硬件设置 Stop 边沿敏感方式 [例如管脚 'StopDis1' 关闭 DStop1, 上升沿.]。它们同时可以通过软件设置寄存器 2 的'Disable' 被关闭。'Disable' 位必须要成对设置, 例如 Disable3 和 Disable4 来关闭 Dstop, 下降沿。

StopDisStart & StartDisStop

默认情况下 TDC-GPX 的 Start 和 Stop 输入在一个复位后马上开启的。

这样的结果就是 Stop 通道的采样甚至在 Start 之前的采样也会被记录下来。设置寄存器 5 中位 StopDisStart 将会直到有 Start 脉冲前关闭 Stop 通道。结果就是在 Start 脉冲到可以接受 Stop 脉冲之间有一个最小时间 7 ns。

在单一 Start 模式仅有第一个 Start 脉冲被用为测量。如果期望多 Start 脉冲那么这可能会导致 Start 通道 Hit FIFO 的溢出。这将会在测量结果中产生垃圾数据。因此我们推荐设置寄存器 5 中的 StartDisStart 位。设置为 '1'会在第一个 Start 脉冲接受后关闭 Start 通道。

外部 Start 再触发

另一个选择是通过外部再触发 Start。这个选项是通过设置 StartRetrig = 1 [Reg 5]完成的。最大再触发频率限制在 5 MHz 内。更高的频率将会对芯片造成干扰。

Start-偏移

由于一些原因一个纯数学偏移被加到 Stop 测量时间里。一个原因是为了补偿从输入缓冲到 Start 和 Stop 路径的 TDC 测量单元的延迟。另一个原因是可以让 ALU 在不用处理负值情况下查询 "过去" [ALU 不能处理负值]。这样可以处理 Start-Stop 的时间间隔为 0 或者更小。在 G-模式中 TDC-GPX 在 Start 通道内自己制造出第 2 个 Start。因此两个偏移值需要被设置, 寄存器 5 中的 'StartOff1' 和寄存器 6 中的 StartOff2 , 两个偏移值都是 BIN 的乘法因数形式有 18 位宽。在內

部 Start 偏移值被加到时间测量结果中去在从 TDC 中读出测量结果时必须手动把它减掉。

调整 Start-偏移

TDC-GPX 的 Start-偏移寄存器可以设置不同的内部延迟。它允许 Start 和 Stop 测量之间的时间间隔为 0。正确的设置需要通过实验完成。

在单一 start 应用时的步骤:

1. 设置 StartOff1 = 0 StartOff2 = 0
2. 给 Start 和 Stop 信号一个小的延迟 [例如 12ns]
3. 逐渐减少时间间隔然后观察输出数据。输出数据的值也将会逐步减小直到你通过了内部 Start 时间点。这个时候数据将会跳转到非常高的值。
4. 记录下这个现象发生时的输出时间间隔 t_{cross1} [从你的产生器上]
5. 计算 StartOff1 = t_{cross1} / BIN 然后将这个值写入寄存器 5, StartOff1
6. 继续逐渐减少时间间隔直到你再次看到如步骤 3 中的现象
7. 记录下这个现象发生时的输出时间间隔 t_{cross2} [从你的产生器上] 计算 StartOff2 = t_{cross2} / BIN
8. 将这个值写入寄存器 6

内部数据处理

stop 通道记录下来得粗值数据被存放在 32-阶的 Hit FIFOs 里面。有一位被加到信号中为了显示信号边敏感方式。这个 hit FIFO 可以填充数据的最高频率为 182MHz。

下面的管道式预处理单元是负责数据压缩, Start 选择, 执行 Stop-Start 相减以及加 Start 数到输出数据中。继而一个采集单元将数据发送到接口 FIFO, 为 256-阶深度。每个通道都有自己得接口 FIFO。到接口 FIFO 的数据最大传输率为 40MHz。20MHz 上升沿数据和 20MHz 下降沿数据。

最后一个数据选择器将数据从接口 FIFOs 加到数据总线上。数据线为 28 位宽可以传输最高 40MHz 频率。数据线可以被转换到 16 位宽度通过写 0x0000010 到地址 14。在管脚 'Output enable' 一个低电平将迫使双向数据线成为永久输出状态。这将对于快速读出数据非常有帮助。

每一个接口 FIFO 有一个空标志 [EF] 和一个承载水平标志 [LF]。所有的标志都为高平有校。在低数据刷新率时推荐检查 EF 看是否有数据有校可读。不允许读空的接口 FIFO。LF 在高测量刷新率下非常有帮助。载入数据的界限值可以通过设置寄存器 6 中的 'Fill' 来完成对于两个 FIFO 是一样的。只要设置的数据数目达到后就可以不检查 EF 直接从 FIFO 读数据块。

注: 承载水平标志并不是同步的。一个 FIFO 的承载水平标志仅在**没有**从这个 FIFO 读的情况下有效。否着将会有峰尖脉冲出现。

静态模式

TDC-GPX 为预处理提供了两种选择:

- 静态模式
- 非静态模式

在静态模式中预处理和计算并不是每次单一事件后自动开始的, 而是在一个专门的触发后。这个触发可以通过在外部管脚 ALUTRIGGER 加一个上升沿或者通过软件方式设置专门的 ALU-Trigger 位来完成。这个模式的引入是为了在测量中降低噪声以及允许更小的脉冲对和脉宽精度。

在非静态模式中, 预处理在第一个 hit 到达一个粗值 FIFO 后马上开启。预处理至少要在有一个 START 信号和一个 STOP 信号后才会启动。从预处理开始到第一个数据在接口 FIFO 有效的所需时间一般为 200ns。

3.4 数据结构和读出

输出数据是以通过设置精度调节单元来定义的 LSB, 并且以 1 个 LSB 为单位的整数。

$$\text{BIN} = \frac{T_{\text{ref}} \times 2^{\text{refclkdiv}}}{216 \times \text{hsdiv}} \times \frac{1}{2}$$

Bit22	Bit21..0
1=上升沿 0=下降沿	地址绑定通道的边沿到 Start 的测量结果

数据读出对于接口 FIFO1[DStop1]可以从地址 8 读出, 对于接口 FIFO2[Dstop2]可以从地址 9 读出。

3.5 复位

有 3 种方法可以复位系统:

- **上电复位:** 在 PURESIN 管脚的低平信号将使整个芯片复位。
- **主-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器外的所有东西复位。它可以通过软件写寄存器 4 来实现。在非静态模式下寄存器 5 的 MasterAluTrig 位可以设置为 1。然后这个复位可以通过在输入管脚 Alutrigger 上加高电平来完成。在静态模式下寄存器 5 的 MasterOenTrig 可以被设置为 1。然后通过在 OEN 输入管脚[仅当 OEN 关闭时]加低平来复位。

- **部分-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器和接口 FIFOs 的其他东西复位。可以通过设置寄存器 4 来完成。在非静态模式下当寄存器 5 中 PartialAluTrig 被设为 1 时也可以通过给 Alutrigger 输入管脚一个高平脉冲来实现部分复位。在静态模式下当寄存器 5 的 PartialOenTrig 设为 1 时, 给管脚 OEN[仅当 OEN 关闭时]一个低电平可以实现复位。

在上电复位和主复位后和 Start, Stop 信号开始接受数据前需要 40ns 时间。

在部分复位和 Start, Stop 信号开始接受数据前需要 75ns 时间。

3.6 MTimer

有一个内部应用的内部 Timer。这个 Timer 的主要应用是设置一个在 25ns 和 204.7 μ s 一个时间间隔在此时间之后将会置位中断。这个在寄存器 7 'MTimer', 中设置乘以 Tref 的周期数。最大得时间延迟为 $8191 \times Tref = 204.7 \mu s$ 。这个 Timer 可以通过一个 Stop 信号和/或一个 Start 信号启动。这个通过设置寄存器 4 的 'MTimer-Start' 和 'MTimerStop' 实现。设置寄存器 12 位 'TimerFlag', 中断标志将会在 Timer 停止时出现。

3.7 中断标志

用户可以选择对于那一个事件才置中断标志。

选择是通过设置寄存器 12 的位 13 到 25 完成。通过将所需位连接到中断。它们内部是通过一个或门连接到中断标志位上的。

可选择的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1 或/和 2 被写满时
- PLL 没有锁定时
- 所有的 Hit FIFOs 为空时
- Mtimer 结束时

3.8 出错标志

用户可以选择是哪个事件的出错标志可以被置。

这个选择是通过设置寄存器 11 位 16 到 26, 设置相应的位连接到中断。它们是通过一个或门连接到出错标志管脚。

可选的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- PLL 没有锁定时

3.9 测试输入

出于测试方面的考虑一组 3 个 TTL 输入可以通过设置寄存器 3 的 Gtest 位被选择到测量电路中。测试输入与正

常测量输入有同样的功能, 但是只能测量最低带宽为 5ns 的脉冲和最低边沿到边沿 距离为 20ns 的时间。

3.10 RaSpeed & Delx

上升到下降沿为 1.5ns 这个最低时间是非常危险的。对于一些芯片可能有比要加一个外部的额外的延迟来确保正确的测量结果。这个延迟通过寄存器 2,3 和 4 的 RaSpeed 和 DelRisex/DelFallx/DelTx 位来设置。增加这些将会减 TDC-GPX 的脉冲对精度。

RaSpeed & Delx	脉冲对精度
0	5.5 ns
1	6.5 ns
2	7.5 ns
3	8.5 ns

3.11 G-Mode 时序 &精度

延迟参数根据电压, 温度和工艺而变化。下面的表格列出了额定系数。

配给通过	最小系数	最大系数
电压	0.91 在 3.6V	1.2 在 2.85V
温度	0.889 在 -40°C	1.17 在 +125°C
工艺	0.74 最好情况	1.31 最差情况

通过精度可调模式可以使精度稳定到固定数值, 核心电压在温度上升时增加, 在温度下降时降低。设置应该为在最大操作温度时达到最大核心电压, 在最小操作温度时达到最小核心电压。用这个方法, 有两个界限:

最好工艺情况, 最低温度, 最低电压时: $0.74 \times 0.889 \times 1.2 = 0.789$

最差工艺情况, 最高温度, 最高电压时: $1.31 \times 1.17 \times 0.91 = 1.394$

一般精度为 40 ps [一般工一情况下, 25°C, 3.3 V] 你可以得到两个精度的极限值:

	最佳	最差
精度[绑定的通道]	32 ps	56 ps

BIN 或者 LSB 宽度通过精度调节单元被确定下来 [1.6.1]。

测量结果的标准偏差 [1 σ] 一般为 $1 \text{ LSB} + 4\text{ps} \times \Delta t/\mu s$ 。

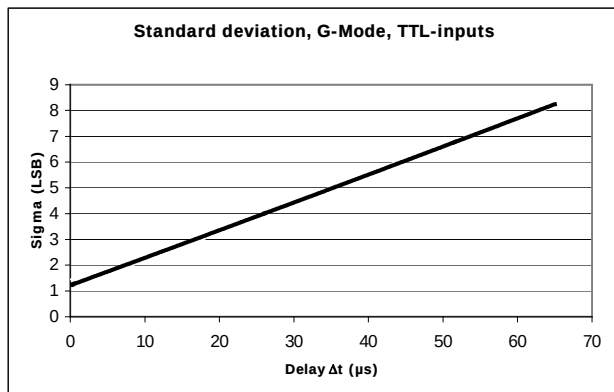


图 26

DNL

TDC-GPX 显示了一个很缓和的差动非线性形度 (DNL) 因为内部逻辑门时间延迟被用于时间的测量上而且这些延迟对于上升沿和下降沿是不同的。对于各个通道间的这些变化是非常系统的。下面的图说明了在精度为 37ps 时的 DNL 数据:

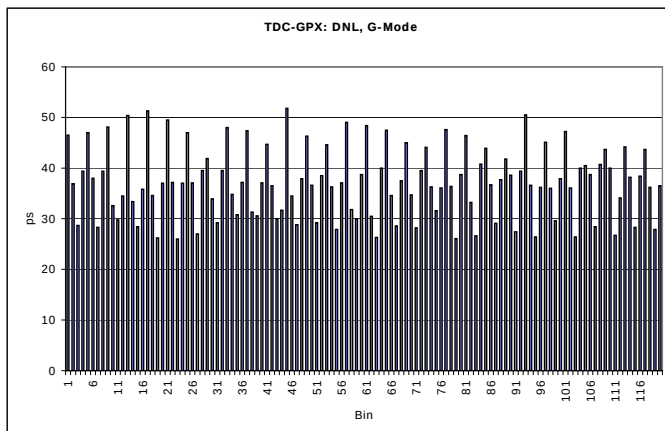


图 27

3.12 测量流程

下面我们将说明一个在 G-模式下寄存器设置和测量流程的典型例子。

任务: laser rangefinder 典型应用

在 2 个通道测量 stop 脉冲上升和下降沿敏感, 设置从 Start 的窗口时间为 1 μ s。

```
//***** G-模式, 测量 stop 信号和单一 start 信号 *****

PuResN=Low;           // 上电复位
PuResN=High;

StopDis1 = High;      // 关闭输入
StopDis2 = High;
StopDis3 = High;
StopDis4 = High;

// 写配置寄存器:
// 上升和下降沿, 开启环振.
// 通道调整 = 5 for each second stop channel
// G-模式, 通道调整 = 5
// 应用差动输入
// Mtimes 通过 Start, EflagHiZN 和触发
// StopDisStart, StartDisStart, StartOff1 = 10ns, MasterAluTrig
// StartOff2 = 20ns
// Res = 41.1523ps, Mtimer = 1 $\mu$ s
// 任何 error -> ErrFlag
// Mtimer -> IrFlag

_oupd( 0,0x000000FF);
_oupd( 1,0x5050500);
_oupd( 2,0x00500001);
_oupd( 3,0x00000000);
_oupd( 4,0x60000000);
_oupd( 5,0x0E000080);
_oupd( 6,0x01000000);
_oupd( 7,0x0141FB4);
_oupd(11,0x7FF0000);
_oupd(12,0x20000000);
_oupd(14,0x00000000);
_oupd( 4,0x64000000);
StopDis1 = Low;
StopDis2 = Low;
StopDis3 = Low;
StopDis4 = Low;

do
{
    while(IrFlag=Low);           // 检查中断位

    while((EF1=Low)or(EF2=Low)) // 检查空标志位
    {
        if (EF1=Low)           // 是否在 IFIF01 有数据?
        {
            data = _inpd(8);    // 读 IFIF01
            Chan = 1;           // 通道#
            Edge = ((data & 0x0400000)>>26) + 1; // 获得边沿方式
            Time = (data & 0x3FFFFFF); // 获得时间 Stop-Start
            Printf(Chan,Edge,Time);
        }
        if (EF2=Low)           // 是否在 IFIF02 有数据?
        {
            data = _inpd(9);    // 读 IFIF02
            Chan = 2;           // 通道#
            Edge = ((data & 0x0400000)>>26) + 5; // 获得边沿方式
            Time = (data & 0x3FFFFFF); // 获得时间 Stop-Start
            Printf(Chan,Edge,Time);
        }
    }
    Alutrigger = High;          // 主机复位
    Alutrigger = Low;
} while(!quit)
```

4 R-模式

4.1 R-模式方框原理图

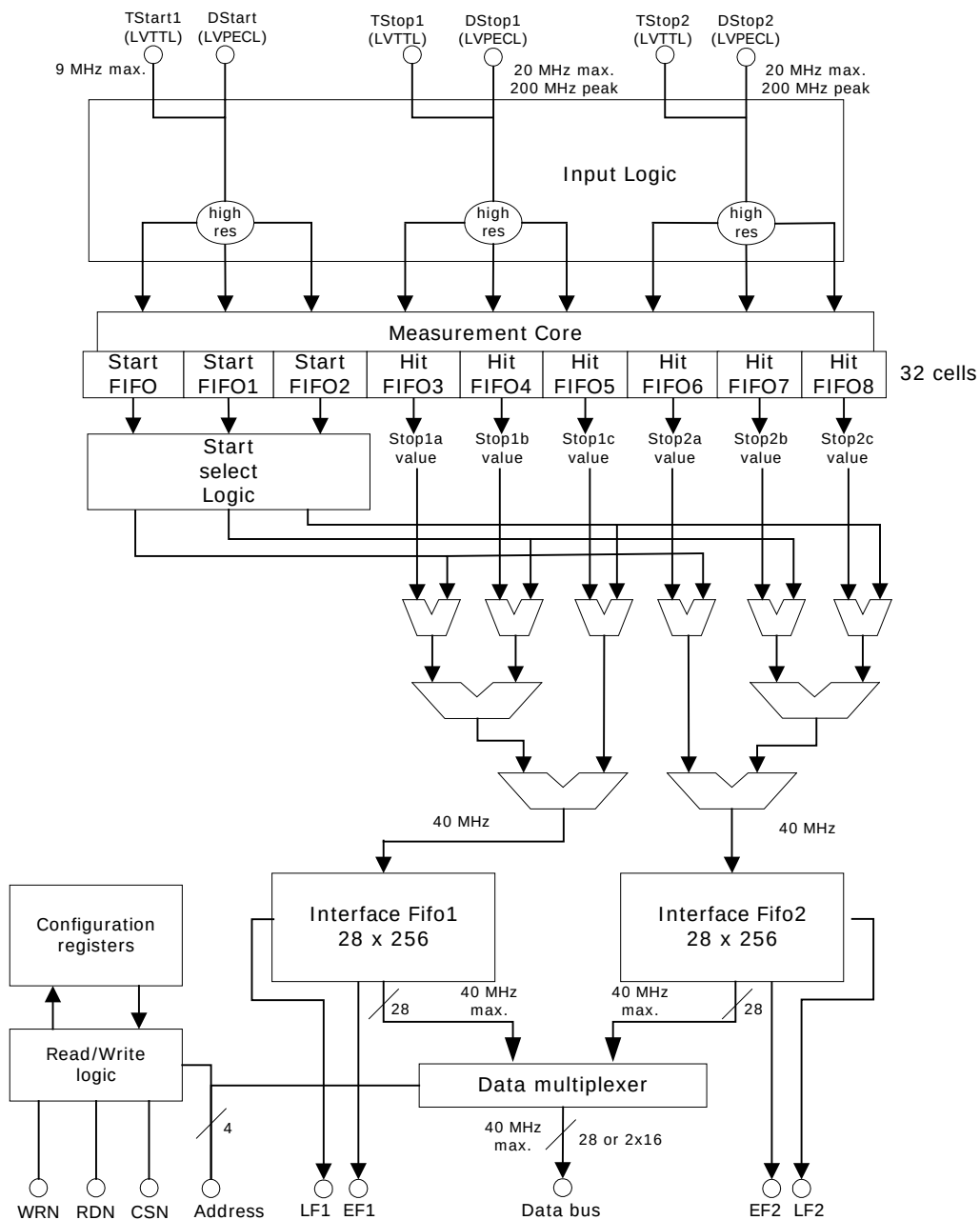


图 28

4.2 R-模式 输入电路

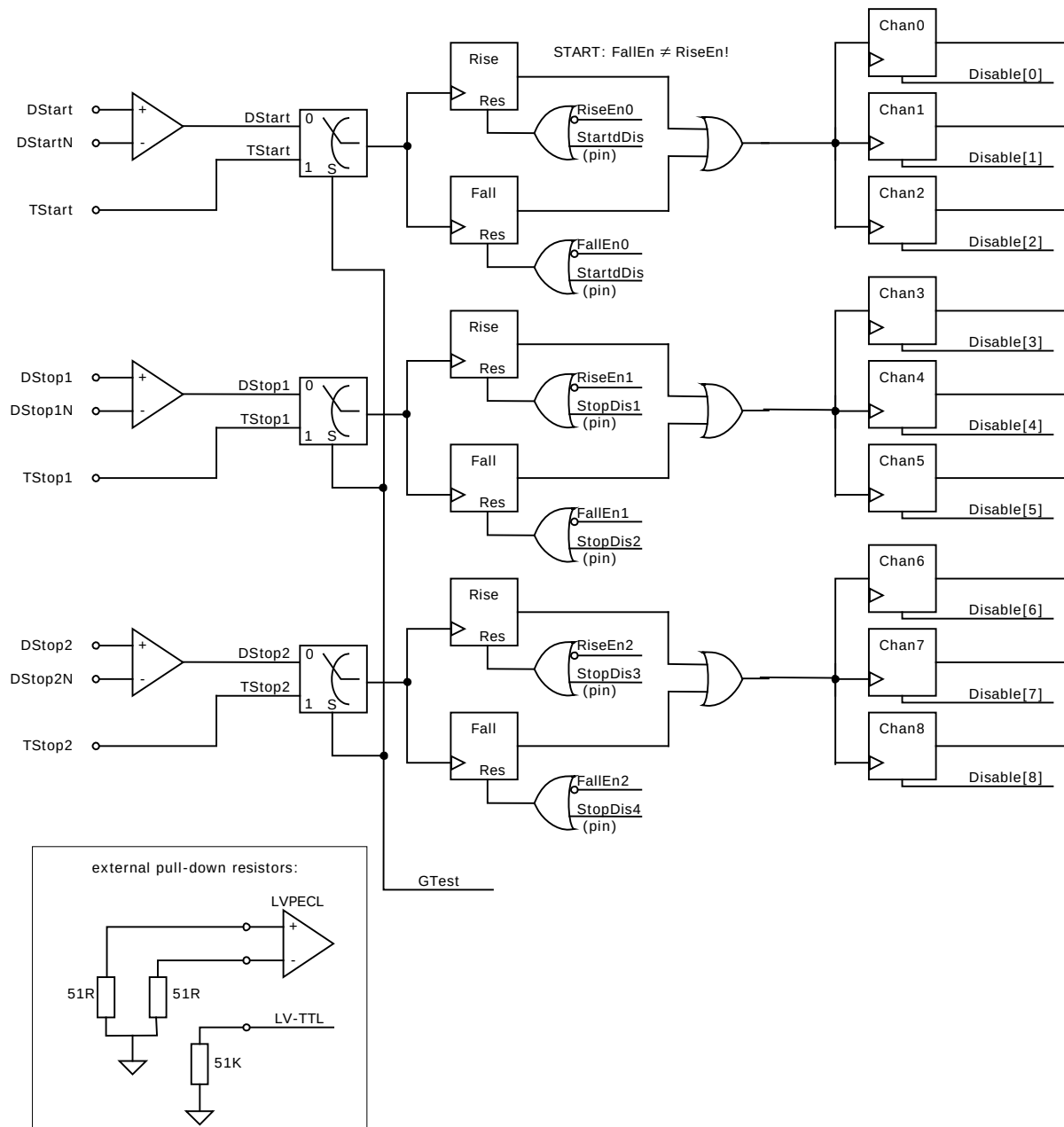


图 29

4.3 R-模式 基础介绍

在这个模式中 TDC-GPX 提供:

- 2 个 Stop 通道相对于 1 个 start 通道
- 每个通道 27 ps 精度
- Start-再触发 最高 9 MHz
- 上升或者下降沿
- 5.5 ns 脉冲对精度
- 0 到 40 μ s 测量范围
- 最小 32-个脉冲采样能力
- 可选择静态模式
- LVPECL 输入

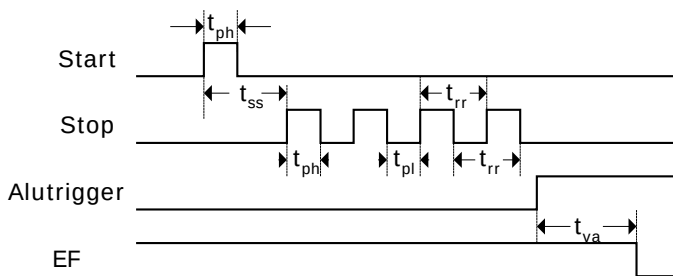


图 30 测量时序

参数	时间 [条件]	描述
t_{ph}	1.5 ns [最小.]	最小脉冲宽度
t_{pl}	1.5 ns [最小.]	最小脉冲宽度
t_{ss}	0 ns [最小] *5.2 ns [最小] 40 μ s [最大.]	Start 到 Stop *在 StopDisStart = 1 时
t_{rr}, t_{ff}	5.5 ns [一般.] 6.9ns [最大.]#	边沿到边沿 #在 87ps 的精度情况下
	5.5 ns [一般.]	下降沿到下降沿
t_{va}	107 ns [最大.]	ALU 开始到数据有效

在这个模式中 TDC-GPX 有两个独立得 STOP 输入通道。每个通道都可以测量上升或者下降沿。每个通道最少可以存储 32 个采样。

为了提高测量准确度, 3 个通道内部被绑定, 因此精度为 27ps。3 个通道构成的通道被成为绑定通道。这些绑定通道中的每个通道都可以测量一个采样通道的上升或者下降脉沿冲。两个相邻的在采样通道上的上升或者下降沿可以有最低时间延迟为 5.5 ns [一般来说]。每一个 STOP 输入有一个 8 位的计数器。上升沿有效。每个通道的 hit 数可以通过寄存器 11 StopCounter0 和 StopCounter1 被读出来。

内部 Start 被加上一个偏移量[LSB 的乘法因数]。这将允许测量 hits 在 start 信号产生之前被记录下来, 可以测量时间间隔到 0。

内部 Start 被一个偏移所偏置

[LSB 的乘数形式]。这将允许测量脉冲在 Start 信号之前到达, 可以测量最低到 0ns。

输入电路

在 R-模式下 TDC-GPX 有差动低压 PECL 输入缓冲。对于差动输入得电源必须要独立的通过设置寄存器 6, PowerOnECL = '1'来加电。

详细的输入结构如图 29所示。每一个输入可以分别被设置成上升或下降沿触发方式。这是通过设置寄存器 0 RiseEn0..2 和 FallEn0..2 完成。在一个通道中对于两位同时设为 0 将关闭这个通道。

所有的输入可以通过硬件备关闭。硬件设置 Stop 边沿敏感方式 [例如管脚 'StopDis1' 关闭 DStop1, 上升沿.]。它们同时可以通过软件设置寄存器 2 的'Disable' 被关闭。'Disable' 位必须要成对设置, 例如 Disable3 和 Disable4 来关闭 Dstop, 下降沿。

StopDisStart & StartDisStop

默认情况下 TDC-GPX 的 Start 和 Stop 输入在一个复位后马上开启的。

这样的结果就是 Stop 通道的采样甚至在 Start 之前的采样也会被记录下来。设置寄存器 5 中位 StopDisStart 将会直到有 Start 脉冲前关闭 Stop 通道。结果就是在 Start 脉冲到可以接受 Stop 脉冲之间有一个最小时间 7 ns。

在单一 Start 模式仅有第一个 Start 脉冲被用为测量。如果期望多 Start 脉冲那么这可能会导致 Start 通道 Hit FIFO 的溢出。这将会在测量结果中产生垃圾数据。因此我们推荐设置寄存器 5 中的 StartDisStart 位。设置为 '1'会在第一个 Start 脉冲接受后关闭 Start 通道。

外部 Start 再触发

另一个选择是通过外部再触发 Start。这个选项是通过设置 StartRetrig = 1 [Reg 5]完成的。最大再触发频率限制在 9 MHz 内。更高的频率将会对芯片造成干扰。

Start-偏移

由于一些原因一个纯数学偏移被加到 Stop 测量时间里。一个原因是为了补偿从输入缓冲到 Start 和 Stop 路径的 TDC 测量单元的延迟。另一个原因是可以让 ALU 在不用处理负值情况下查询“过去”[ALU 不能处理负值]。这样可以处理 Start-Stop 的时间间隔为 0 或者更小。寄存器 5 中的 'StartOff1' 是 3 x BIN 的乘法因数形式有 18 位宽。在内部 Start 偏移值被加到时间测量结果中去在从 TDC 中读出测量结果时必须手动把它减掉。

调整 Start-偏移

TDC-GPX 的 Start-偏移寄存器可以设置不同的内部延迟。它允许 Start 和 Stop 测量之间的时间间隔为 0。正确的设置需要通过实验完成。

在单一 start 应用时的步骤:

1. 设置 StartOff1 = 0
2. 给 Start 和 Stop 信号一个小的延迟 [例如 12ns]
3. 逐渐减少时间间隔然后观察输出数据。输出数据的值也将会逐步渐小直到你通过了内部 Start 时间点。这个时候数据将会跳转到非常高的值。
4. 记录下这个现象发生时的输出时间间隔 t_{cross} [从你的产生器上]
5. 计算 $StartOff1 = t_{cross} / 3 \times BIN$ 然后将这个值写入寄存器 5, StartOff1。如果你希望负值的话加一个额外的 X 值给 StartOff1 然后在后面读出数据中减去这个值。
6. 通过 start 再触发 StartOff1 的值可以设置为 $StartOff1 = 1,000 [\approx 81 ns]$.

原因是由于 ALU 在 Start 再触发到新的 Start 时间信号产生过程中要终止大约 50ns。如果在这个段时间内每个通道有一个 hit 的话那么 ALU 需要

$25 ns + 50 ns = 75 ns$ 的时间来将数据传送到 IFIFO。ALU 不能够处理负值。因此要加一个 Start 漂移这样 ALU 可以处理在这个间歇中所收集到的数据。如果数据输入频率更高(bursts)那么有必要设置更高的漂移值, 比如设置到 10,000。

根据 25ns 参考 Start 再触发加了一些不确定因素到是否这个 Stop 是相对于以前的 Start 还是新的 Start。其实这个并不是个不确定的。每一次在减去漂移后负的时间数据可以通过加一个 Start 周期和减少 1 个 Start 数来定位之前所属的 Start。

内部数据处理

stop 通道记录下来得粗值数据被存放在 32-阶的 Hit FIFOs 里面。这个 hit FIFO 可以填充数据的最高频率为 182MHz。

下面的管道式预处理单元是负责数据压缩, Start 选择, 执行 Stop-Start 相减以及加 Start 数到输出数据中。继而一个采集单元将数据发送到接口 FIFO, 为

256-阶深度。每个通道都有自己得接口 FIFO。到接口 FIFO 的数据最大传输率为 40MHz。

最后一个数据选择器将数据从接口 FIFOs 加到数据总线上。数据线为 28 位宽可以传输最高 40MHz 频率。数据线可以被转换到 16 位宽度通过写 0x0000010 到地址 14。在管脚 'Output enable' 一个低电平将迫使双向数据线成为永久输出状态。这将对快速读出数据非常有帮助。

每一个接口 FIFO 有一个空标志 (EF) 和一个承载水平标志 (LF)。所有的标志都为高平有校。在低数据刷新率时推荐检查 EF 看是否有数据有校可读。不允许读空的接口 FIFO。LF 在高测量刷新率下非常有帮助。载入数据的界限值可以通过设置寄存器 6 中的 'Fill' 来完成对于两个 FIFO 是一样的。只要设置的数据数目达到后就可以不检查 EF 直接从 FIFO 读数据块。

注: 承载水平标志并不是同步的。一个 FIFO 的承载水平标志仅在**没有**从这个 FIFO 读的情况下有效。否着将会有峰尖脉冲出现。

静态模式

TDC-GPX 为预处理提供了两种选择:

- 静态模式
- 非静态模式

在静态模式中预处理和计算并不是每次单一事件后自动开始的, 而是在一个专门的触发后。这个触发可以通过在外部管脚 ALUTRIGGER 加一个上升沿或者通过软件方式设置专门的 ALU-Trigger 位来完成。这个模式的引入是为了在测量中降低噪声以及允许更小的脉冲对和脉宽精度。

在非静态模式中, 预处理在第一个 hit 到达一个粗值 FIFO 后马上开启。预处理至少要在有一个 START 信号和一个 STOP 信号后才会启动。

从预处理开始到第一个数据在接口 FIFO 有效的所需时间一般为 200ns。

4.4 数据结构和读出

输出数据是以通过设置精度调节单元来定义的 LSB, 并且以 1 个 LSB 为单位的整数。

$$BIN = \frac{T_{ref} \times 2^{refclkdiv}}{216 \times hsdv} \times \frac{1}{3}$$

Bit22	Bit21..0
1=上升沿 0=下降沿	地址绑定通道的边沿到 Start 的测量结果

数据读出对于接口 FIFO1[DStop1]可以从地址 8 读出，
对于接口 FIFO2[DStop2]可以从地址 9 读出。

4.5 复位

有 3 种复位的方法:

- **上电复位:** 在 PURES_N 管脚的低平信号将使整个芯片复位。
- **主-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器外的所有东西复位。它可以通过软件写寄存器 4 来实现。在非静态模式下寄存器 5 的 MasterAluTrig 位可以设置为 1。然后这个复位可以通过在输入管脚 Alutrigger 上加高电平来完成。在静态模式下寄存器 5 的 MasterOenTrig 可以被设置为 1。然后通过 OEN 输入管脚[仅当 OEN 关闭时]加低电平来复位。
- **部分-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器和接口 FIFOs 的其他东西复位。可以通过设置寄存器 4 来完成。在非静态模式下当寄存器 5 中 PartialAluTrig 被设为 1 时也可以通过给 Alutrigger 输入管脚一个高平脉冲来实现部分复位。在静态模式下当寄存器 5 的 PartialOenTrig 设为 1 时，给管脚 OEN[仅当 OEN 关闭时]一个低电平可以实现复位。

在上电复位和主复位后和 Start, Stop 信号开始接受数据前需要 40ns 时间。

在部分复位和 Start, Stop 信号开始接受数据前需要 75ns 时间。

4.6 Mtimer

有一个内部应用的内部 Timer。这个 Timer 的主要应用是设置一个在 25ns 和 204.7 μ s 一个时间间隔在此时间之后将会置位中断。这个在寄存器 7 'MTimer', 中设置乘以 Tref 的周期数.最大得时间延迟为 $8191 * Tref = 204.7 \mu s$. 这个 Timer 可以通过一个 Stop 信号和/或一个 Start 信号启动.这个通过设置寄存器 4 的 'MTimer-Start' 和 'MTimerStop'实现。设置寄存器 12 位 'TimerFlag', 中断标志将会在 Timer 停止时出现。

4.7 中断标志

用户可以选择对于那一个事件才置中断标志。
选择是通过设置寄存器 12 的位 13 到 25 完成。通过将所需位连接到中断。它们内部是通过一个或门连接到中断标志位上的。

可选的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1 或/和 2 被写满时

- PLL 没有锁定时
- 所有的 Hit FIFOs 为时空
- Mtimer 结束时

4.8 出错标志

用户可以选择是哪个事件的出错标志可以被置。

这个选择是通过设置寄存器 11 位 16 到 26, 设置相应的位连接到中断。它们是通过一个或门连接到出错标志管脚。

可选的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- PLL 没有锁定时

4.9 测试输入

出于测试方面的考虑一组 3 个 TTL 输入可以通过设置寄存器 3 的 Gtest 位被选择到测量电路中。测试输入与正常测量输入有同样的功能, 但是只能测量最低带宽为 5ns 的脉冲和最低边沿到边沿 距离为 20ns 的时间。

4.10 RaSpeed & Delx

上升到下降沿为 1.5ns 这个最低时间是非常危险的。对于一些芯片可能有比要加一个外部的额外的延迟来确保正确的测量结果。这个延迟通过寄存器 2,3 和 4 的 RaSpeed 和 DelRisex/DelFallx/DelTx 位来设置。增加这些将会减 TDC-GPX 的脉冲对精度。

RaSpeed & Delx	脉冲对精度
1	5.5 ns
2	6.5 ns
3	7.5 ns
4	8.5 ns

4.11 R-模式 时序 & 精度

TDC-GPX 在精度可调模式下工作。精度调节单元等同于 TDC-F1 的单元。

延迟参数根据电压, 温度和工艺而变化。下面的表格列出了额定系数。

额定参数	最小系数	最大系数
电压	3.6V 时 0.91	2.85V 时 1.2
温度	-40°C 时 0.889	+125°C 时 1.17
工艺	0.74 最好情况	1.31 最差情况

通过精度可调模式可以使精度稳定到固定数值, 核心电压在温度上升时增加, 在温度下降时降低。设置应该为在最大操作温度时达到最大核心电压, 在最小操作温度时达到最小核心电压。用这个方法, 有两个界限:

最好工艺情况, 最低温度, 最低电压时: $0.74 \times 0.889 \times 1.2 = 0.789$

最差工艺情况, 最高温度, 最高电压时: $1.31 \times 1.17 \times 0.91 = 1.394$

一般精度为 27 ps [一般工一情况下, 25°C, 3.3 V] 你可以得到两个精度的极限值:

	最好	最差
精度	21 ps	38 ps

BIN 或者 LSB 宽度通过精度调节单元被确定下来 [1.6.1]。

测量结果的标准偏差 [1σ] 一般为 $1 \text{ LSB} + 2.8\text{ps} \cdot \Delta t/\mu\text{s}$ 。

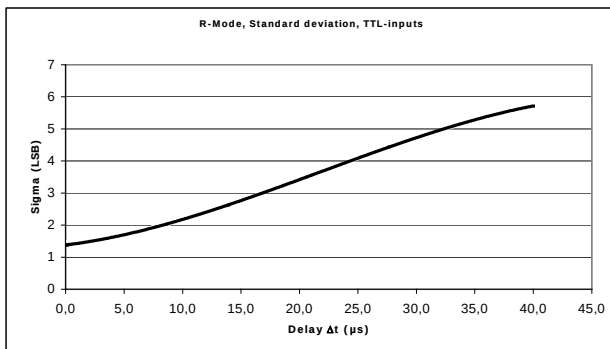


图 31

脉冲宽度一般限制在 1.5 ns 最小, 是由输入缓冲区大小所限制的。

测量范围根据 BIN 的大小和粗值计数器大小而定。典型值为:

测量范围 = $54 \times 32767 \times 27 \text{ ps}$
= 47 μs

DNL

TDC-GPX 显示了一个很缓和的差动非线性度 [DNL] 因为内部逻辑门时间延迟被用于时间的测量上而且这些延迟对于上升沿和下降沿是不同的。对于各个通道间的这些变化是非常系统的。下面的图说明了在精度为 27ps 时的 DNL 数据:

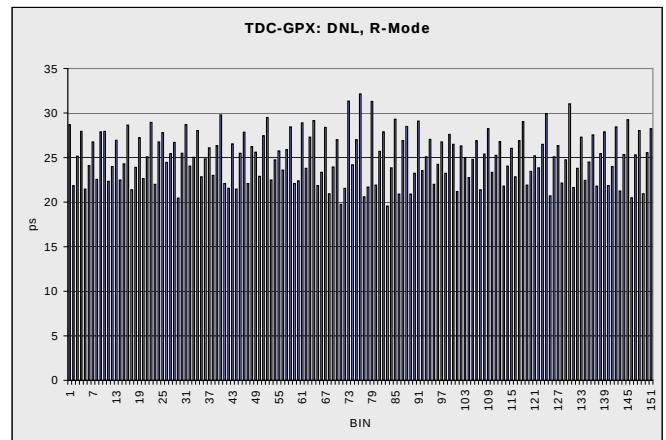


图 32

4.12 测量流程

下面我们将说明一个在 G-模式下寄存器设置和测量流程的典型例子。

任务 1: 光谱测试典型应用。

1 MHz 的 Start 输入信号。对于每个 Start 信号都有一个 Stop 信号在通道 1。Start 和 Stop 的时间间隔应该通过高精度模式测量。应用 LVTTL 输入。

选择: R-模式和 Start 再触发, 应用填充水平标志。

```
//***** R-模式, Stop 相对于 Start 信号 *****

PuResN=Low;           // 上电复位
PuResN=High;

StopDis1 = High;      // 关闭所有输入
StopDis2 = High;
StopDis3 = High;
StopDis4 = High;

// 写配置寄存器:
// 上升和下降沿, 开启环振器
_oupd( 0,0x0000009F);
// 通道调整 = 6 & 2
_oupd( 1,0x0620620);
// R-模式, 通道调整 = 6 & 2
_oupd( 2,0x0062004);
// 应用 LVTTL 输入
_oupd( 3,0x8000000);
// EFlagHiZN
_oupd( 4,0x2000000);
// StartOff1 = 100ns, StartRetrigger
_oupd( 5,0x80004DA);
// Fill = 200
_oupd( 6,0x00000C8);
// Res = 27.4348ps
_oupd( 7,0x0001FB4);
// 任何错误 -> ErrFlag
_oupd(11,0x7FF0000);
// 无 IrFlag
_oupd(12,0x0000000);
_oupd(14,0x0000000);

_oupd( 4,0x2400001); // 主复位

StopDis1 = Low;      // 开启输入
StopDis2 = Low;
StopDis3 = Low;
StopDis4 = Low;

do
{
  if (LF1=High)      // 填充水平=200 IFIF01 是否可读?
  {
    for (i=0;i<200,i++) // 读 200 次
    {
      data = _inpd(8); // 读 IFIF01
      Time = (data & 0x7FFFFFFF)-0x4DA; // 获得时间间隔 Stop-Start
      Printf(Time);
    }
  }
} while(!quit)
```

任务 2: 激光测距典型应用

给出 Start 信号的频率为 10 kHz。对于每一个 Start 都有未知数量的 Stop 在通道 1 上出现。最大测量范围为 1 μ s。用高精度测量 Start 和 Stop 之间的时间间隔, 应用 LVPECL 输入。

选择: R-模式 和静态模式和内部时钟。

```
//***** R-模式, Stop 相对于 Start *****

PuResN=Low;           // 上电复位
```

```

PuResN=High;

StopDis1 = High;           // 关闭所有输入
StopDis2 = High;
StopDis3 = High;
StopDis4 = High;

// 写配置寄存器:
// 上升沿和下降沿, 开启环振器
// 通道调整 = 6 & 2
// G-模式, 通道调整 = 6 & 2
// 应用 LVPECL 输入
// EFlagHiZN, 静态模式, Start 上有 Mtimer
// StartOff1 = 100ns
// 上电 ECL
// Res = 27.4348ps, Mtimer = 1 µs
// 任何错误 -> 错误标志
// Mtimer -> 中断标志

_oupd( 0,0x000009F);
_oupd( 1,0x0620620);
_oupd( 2,0x0062004);
_oupd( 3,0x0000000);
_oupd( 4,0x6000100);
_oupd( 5,0x00004DA);
_oupd( 6,0x8000000);
_oupd( 7,0x0141FB4);
_oupd(11,0x7FF0000);
_oupd(12,0x2000000);
_oupd(14,0x0000000);

_oupd( 4,0x6400100);           // 主复位

StopDis1 = Low;
StopDis2 = Low;
StopDis3 = Low;
StopDis4 = Low;

do
{
    while(IrFlag=Low);           // 检查中断标志

    Alutrigger = High;           // Alu 触发
    Alutrigger = Low;

    wait(100ns);                 // 计算第一个 Hit 的时间

    while(EF1=Low)               // 检查空标志位
    {
        data = _inpd(8);         // 读 IFIF01
        Time = (data & 0x7FFFFF); // 获得时间间隔 Stop-Start
        Printf(Time);
    }
    _oupd( 4,0x6400100);         // 主复位
} while(!quit)

```

5 M-模式

5.1 M-模式 方框原理图

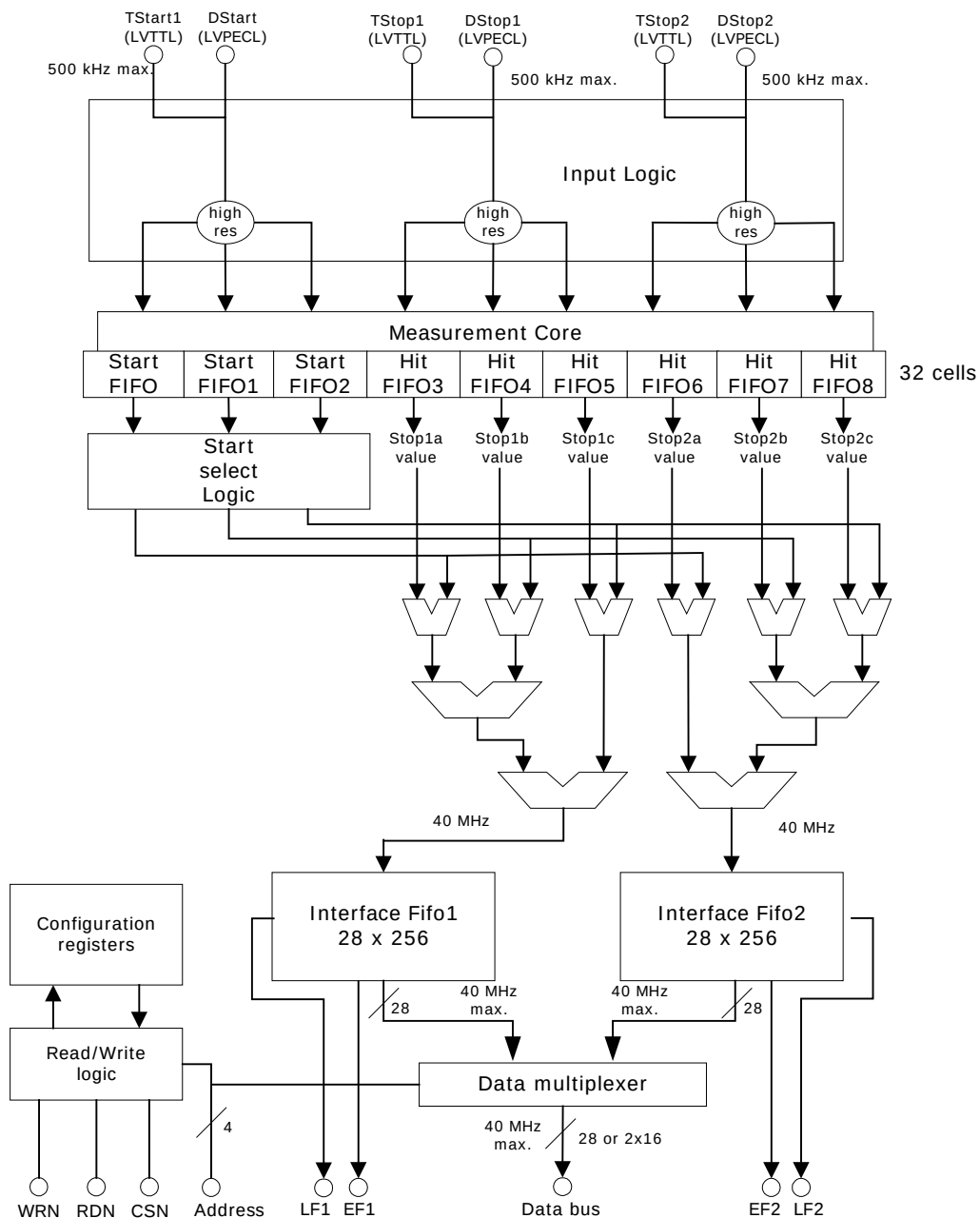


图 33

5.2 M-模式 输入电路

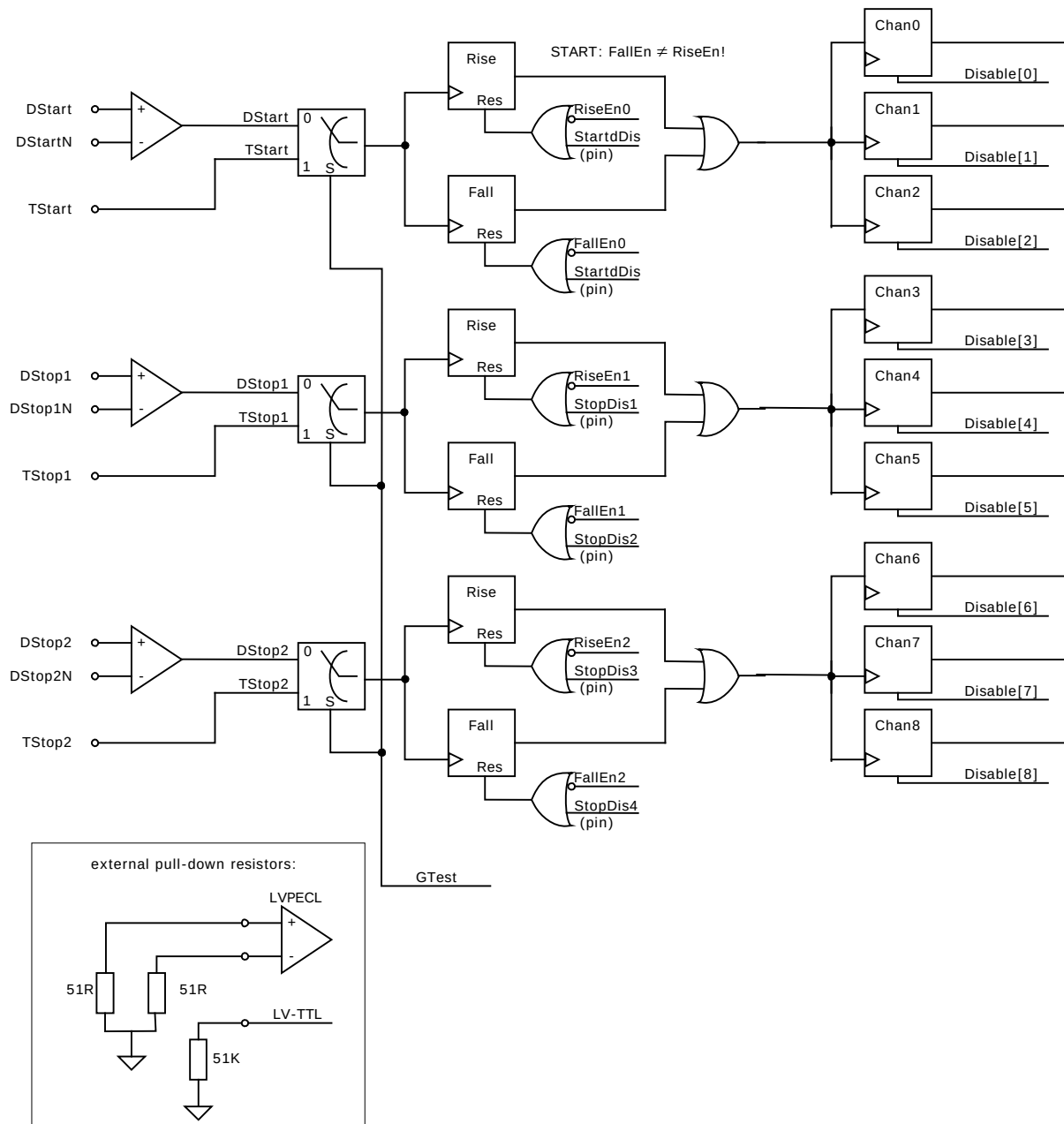


图 34

5.3 M-模式 基础介绍

- 最大精度:
 - 标准偏差最低到 10 ps,
 - 峰-峰最低到 70 ps
- 2 个 stop-相对于 1 个 start 通道
- 每个通道 1 个采样
- 0 ns 到 40 μ s 测量范围
- 静态模式
- LVPECL 输入
- 每通道最高 500 kHz 刷新率
- 每个芯片最高 1 MHz 刷新率

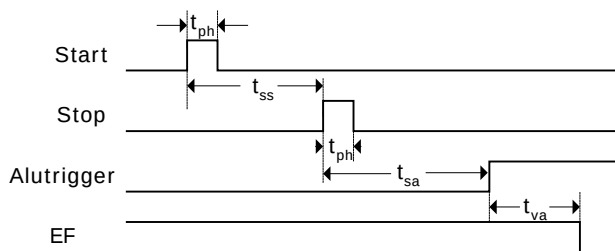


图 35: 测量时序

参数	时间 [条件]	描述
t_{ph}	1.5 ns [min.]	最小脉冲宽度
t_{pl}	3.2 ns [min.]	最小脉冲宽度
t_{ss}	0 ns [min] 40 μ s [max.]	Start 到 Stop
t_{sa}	400 ns [min]	Stop 到 ALU 触发
t_{va}	1 μ s [max.]	ALU 触发到数据有效

M-模式 通过设置 MSet = 31 (Reg3) 和 Mon = 1 (Reg4) 来启动。

最高精度的 M-模式其实是 R-模式的一个扩展。方框原理图和输入电路与 R-模式相同。而且进一步的设置也与 R-模式相同。

在这个模式下 TDC-GPX 每个通道仅接受 1 个 Stop 脉冲。必须将 M 模式和静态模式共同选择使用。

输入电路

在 M-模式下 TDC-GPX 有差动低压 PECL 输入缓冲。差动输入的电源必须独立的通过设置寄存器 6 的 PowerOnECL = '1'来完成。

细节的输入结构图如图 29。每一个输入可以分别被设置成上升或下降沿触发方式。这是通过设置寄存器 0 RiseEn0..2 和 FallEn0..2 完成。在一个通道中对于两位同时设为 0 将关闭这个通道。

所有的输入可以通过硬件被关闭。硬件设置 Stop 边沿敏感方式 [例如管脚 'StopDis1' 关闭 DStop1, 上升沿.]。它们同时可以通过软件设置寄存器 2 的'Disable' 被关闭。'Disable' 位必须要成对设置, 例如 Disable3 和 Disable4 来关闭 Dstop, 下降沿。

StopDisStart & StartDisStop

默认情况下 TDC-GPX 的 Start 和 Stop 输入在一个复位后马上开启的。

这样的结果就是 Stop 通道的采样甚至在 Start 之前的采样也会被记录下来。设置寄存器 5 中位 StopDisStart 将会直到有 Start 脉冲前关闭 Stop 通道。结果就是在 Start 脉冲到可以接受 Stop 脉冲之间有一个最小时间 7 ns。

在单一 Start 模式仅有第一个 Start 脉冲被用为测量。如果期望多 Start 脉冲那么这可能会导致 Start 通道 Hit FIFO 的溢出。这将会在测量结果中产生垃圾数据。因此我们推荐设置寄存器 5 中的 StartDisStart 位。设置为 '1'会在第一个 Start 脉冲接受后关闭 Start 通道。

外部 Start 再触发

另一个选择是通过外部再触发 Start。这个选项是通过设置 StartRetrig = 1 (Reg 5)完成的。最大再触发频率限制在 9 MHz 内。更高的频率将会对芯片造成干扰。

Start-偏移

由于一些原因一个纯数学偏移被加到 Stop 测量时间里。一个原因是为了补偿从输入缓冲到 Start 和 Stop 路径的 TDC 测量单元的延迟。另一个原因是可以让 ALU 在不用处理负值情况下查询 "过去" [ALU 不能处理负值]。这样可以处理 Start-Stop 的时间间隔为 0 或者更小。寄存器 5 中的 'StartOff1'是 3 x BIN 的乘法因数形式有 18 位宽。在内部 Start 偏移值被加到时间测量结果中去在从 TDC 中读出测量结果时必须手动把它减掉。

调整 Start-偏移

TDC-GPX 的 Start-偏移寄存器可以设置不同的内部延迟。它允许 Start 和 Stop 测量之间的时间间隔为 0。正确的设置需要通过实验完成。

在单一 start 应用时的步骤:

- 1.设置 StartOff1 = 0
- 2.给 Start 和 Stop 信号一个小的延迟 [例如 12ns]
- 3.逐渐减少时间间隔然后观察输出数据。输出数据的值也将会逐步渐小直到你通过了内部 Start 时间点。这个时候数据将会跳转到非常高的值。

4. 记录下这个现象发生时的输出时间间隔 t_{cross} [从你的产生器上]

5. 计算 $StartOff1 = t_{cross} / BIN$ 然后将这个值写入寄存器 5, $StartOff1$ 。如果你希望负值的话加一个额外的 X 值给 $StartOff1$ 然后在后面读出数据中减去这个值。

原因是由于 ALU 在 $Start$ 再触发到新的 $Start$ 时间信号产生过程中要终止大约 50ns。如果在这个段时间内每个通道有一个 hit 的话那么 ALU 需要

$25\text{ ns} + 50\text{ ns} = 75\text{ ns}$ 的时间来将数据传送到 IFIFO。ALU 不能够处理负值。因此要加一个 $Start$ 漂移这样 ALU 可以处理在这个间歇中所收集到的数据。如果数据输入频率更高[bursts]那么有必要设置更高的漂移值, 比如设置到 10,000。

根据 25ns 参考 $Start$ 再触发加了一些不确定因素到是否这个 $Stop$ 是相对于以前的 $Start$ 还是新的 $Start$ 。其实这个并不是个不确定的。每一次在减去漂移后负的时间数据可以通过加一个 $Start$ 周期和减少 1 个 $Start$ 数来定位之前所属的 $Start$ 。

内部数据处理

stop 通道记录下来得粗值数据被存放在 32-阶的 Hit FIFOs 里面。

下面的管道式预处理单元是负责数据压缩, $Start$ 选择, 执行 $Stop-Start$ 相减以及加 $Start$ 数到输出数据中。继而一个采集单元将数据发送到接口 FIFO, 为 256-阶深度。每个通道都有自己得接口 FIFO。到接口 FIFO 的数据最大传输率为 40MHz。

最后一个数据选择器将数据从接口 FIFOs 加到数据总线上。数据线为 28 位宽可以传输最高 40MHz 频率。数据线可以被转换到 16 位宽度通过写 0x0000010 到地址 14。在管脚 'Output enable' 一个低电平将迫使双向数据线成为永久输出状态。这将对快速读出数据非常有帮助。

每一个接口 FIFO 有一个空标志 [EF] 和一个承载水平标志 [LF]。所有的标志都为高平有校。在低数据刷新率时推荐检查 EF 看是否有数据有校可读。不允许读空的接口 FIFO。LF 在高测量刷新率下非常有帮助。载入数据的界限值可以通过设置寄存器 6 中的 'Fill' 来完成对于两个 FIFO 是一样的。只要设置的数据数目达到后就可以不检查 EF 直接从 FIFO 读数据块。

注: 承载水平标志并不是同步的。一个 FIFO 的承载水平标志仅在**没有**从这个 FIFO 读的情况下有效。否着将会有峰尖脉冲出现。

静态模式

在 M 模式中必须要应用静态模式。

在静态模式中预处理和计算并不是每次单一事件后自动开始的, 而是在一个专门的触发后。这个触发可以通过在外部管脚 ALUTRIGGER 加一个上升沿或者通过软件方式设置专门的 ALU-Trigger 位来完成。这个模式的引入是为了在测量中降低噪声以及允许更小的脉冲对和脉宽精度。

从预处理开始到第一个数据在接口 FIFO 有效的所需时间一般为 900ns。

$$BIN = \frac{T_{ref} \times 2^{refclkdiv}}{216 \times hsdv} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{MSet + 1}$$

Bit 27 ... 23	Bit 22...0
不用	地址绑定通道的边沿到 $Start$ 的测量结果

数据可以通过 FIFO1 的地址 8 和 FIFO2 的地址 9 中读出。

5.5 复位

有 3 种复位的方法:

- **上电复位:** 在 PURESN 管脚的低平信号将使整个芯片复位。
- **主-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器外的所有东西复位。它可以通过软件写寄存器 4 来实现。在非静态模式下寄存器 5 的 MasterAluTrig 位可以设置为 1。然后这个复位可以通过在输入管脚 Alutrigger 上加高电平来完成。在静态模式下寄存器 5 的 MasterOenTrig 可以被设置为 1。然后通过 OEN 输入管脚[仅当 OEN 关闭时]加低平来复位。
- **部分-复位:** 这个命令将使除了配置寄存器和接口 FIFOs 的其他东西复位。可以通过设置寄存器 4 来完成。在非静态模式下当寄存器 5 中 PartialAluTrig 被设为 1 时也可以通过给 Alutrigger 输入管脚一个高平脉冲来实现部分复位。在静态模式下当寄存器 5 的 PartialOenTrig 设为 1 时, 给管脚 OEN[仅当 OEN 关闭时]一个低电平可以实现复位。

在上电复位和主复位后和 $Start$, $Stop$ 信号开始接受数据前需要 40ns 时间。

在部分复位和 $Start$, $Stop$ 信号开始接受数据前需要 75ns 时间。

5.6 MTimer

有一个内部应用的内部 Timer。这个 Timer 的主要应用是设置一个在 25ns 和 204.7 μs 一个时间间隔在此时间之后将会置位中断。这个在寄存器 7 'MTimer', 中设置

乘以 Tref 的周期数.最大得时间延迟为 $8191 \times Tref = 204.7 \mu s$. 这个 Timer 可以通过一个 Stop 信号和/或一个 Start 信号启动.这个通过设置寄存器 4 的 'MTimer-Start' 和 'MTimerStop'实现。设置寄存器 12 位 'TimerFlag', 中断标志将会在 Timer 停止时出现。

5.7 中断标志

用户可以选择对于那一个事件才置中断标志。选择是通过设置寄存器 12 的位 13 到 25 完成。通过将所需位连接到中断。它们内部是通过一个或门连接到中断标志位上的。

可选择的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1 或/和 2 被写满时
- PLL 没有锁定时
- 所有的 Hit FIFOs 为空时
- Mtimer 结束时

5.8 出错标志

用户可以选择是哪个事件的出错标志可以被置。这个选择是通过设置寄存器 11 位 16 到 26, 设置相应的位连接到中断。它们是通过一个或门连接到出错标志管脚。

可选的位有:

- Hit FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- 接口 FIFOs 1, 2 ...或/和 8 被写满时
- PLL 没有锁定时

5.9 测试输入

出于测试方面的考虑一组 3 个 TTL 输入可以通过设置寄存器 3 的 Gtest 位被选择到测量电路中。测试输入与正常测量输入有同样的功能,但是只能测量最低带宽为 5ns 的脉冲和最低边沿到边沿 距离为 20ns 的时间。

5.10 M-模式 时序 & 精度

TDC-GPX 在精度可调节模式下工作。内部的延迟参数根据电压, 温度和工艺的不同会改变。精度可调节模式应用电压的改变来补偿温度和工艺的变化。下面的表列出了额定系数:

额定参数	最小系数	最大系数
电压	3.6V 时 0.91	2.85V 时 1.2
温度	-40°C 时 0.889	+125°C 时 1.17
工艺	最好情况 0.74	最差情况 1.31

通过精度可调模式可以使精度稳定到固定数值, 核心电压在温度上升时增加, 在温度下降时降低。设置应该为在最大操作温度时达到最大核心电压, 在最小操作温度时达到最小核心电压。用这个方法, 有两个界限:

最好工艺情况, 最低温度, 最低电压时: $0.74 \times 0.889 \times 1.2 = 0.789$

最差工艺情况, 最高温度, 最高电压时: $1.31 \times 1.17 \times 0.91 = 1.394$

BIN 的大小 由 $BIN_{R-Mode}/Mset$ 这个公式计算出来。M-模式中的标准偏差限制在测量单元的噪声值并且由公式 $10 ps + 8 ps \times \Delta t/\mu s$ 计算得出。BIN 的大小在这个上面没有实际的影响。

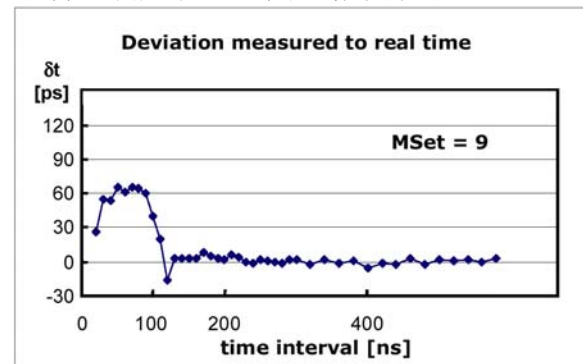
脉冲宽度被限制在最小 1.5 ns, 是由于输入缓冲的大小而限制的。

测量范围是与 M-模式的 BIN 大小和粗值寄存器有关的。典型值为:

$$Range = 2^{23} \times BIN_{R-Mode} \times \frac{1}{MSet + 1} \approx 7 \mu s (MSet = 31)$$

INL

由于 M-模式的特殊性它的几分非线性变化显示出在接近最小测量范围时的实际时间测量偏移。这个非线性变化的峰值范围是与 MSet 值成线性关系的。



5.11 测量流程

下面我们将说明一个在 M-模式下寄存器设置和测量流程的典型例子。

任务: 激光扫描仪典型应用。

给出一个 Start 信号为 10 kHz 频率。对于每一个 Start 都有一个 Stop 信号在通道 1 上出现。在 Start 和 Stop 的时间间隔被应用 LVPECL 输入高精度的测量下来。

选择: M-模式, 触发外部激光器。

```
//***** M-模式, Stop 相对于 Start 信号*****

PuResN=Low;           // 上电复位
PuResN=High;

StopDis1 = High;      // 关闭输入
StopDis2 = High;
StopDis3 = High;
StopDis4 = High;

// 写配置寄存器:
_oupd( 0,0x000008B);  // 上升沿, 开启环振器.
_oupd( 1,0x0620620);  // 通道调整= 6 & 2
_oupd( 2,0x0062004);  // R-模式, 通道调整= 6 & 2
_oupd( 3,0x000001E);  // 应用 LVPECL 输入, MSet = 30
_oupd( 4,0x6000300);  // EFlagHiZN, 静态模式, M-模式
_oupd( 5,0x0000000);  // -
_oupd( 6,0x8000000);  // 开启 ECL 电源
_oupd( 7,0x0001FB4);  // Bin = 0.8850ps (精度 ~ 10ps rms)
_oupd(11,0x7FF0000);  // 有任何错误-> ErrFlag
_oupd(12,0x2000000);  // MTimer 到 IrFlag
_oupd(14,0x0000000);

_oupd( 4,0x2400001);  // 主复位

StopDis1 = Low;       // 启动输入
StopDis2 = Low;
StopDis3 = Low;
StopDis4 = Low;

do
{
  TriggerLaser;       // 发送触发信号给激光器

  while(!(_inpw(8) & 0x0020));  // 检查中断标志位
  _outpd(4,0x7000300);          // Reg4, ALU 触发
  while(!(_inpd(8) & 0x0800)>0); // 检查空标志位

  FIF00 = _inpd(8) & 0x7FFFFFFF; // 读 FIF00
  printf("%5.3fns\n",float(FIF01)*27.4348/1000/31); // 显示时间 单位为 ns

  _outpd(4,0x6400300);          // 主复位
} while(!quit)
```

6 调试报告

6.1 数据总线：16 位模式

主题:

CSN 在 16-位 模式

当工作在 16 位总线模式时，寄存器 14 位 4 = 1, 将会出现 CSN 的故障。

相关:

不仅是 TDC-GPX 这款芯片其它 TDCs 有 16 位总线模式的同样存在这个问题。

描述:

在 16 位模式中我们有两个边沿采集低位和高位数据然后将他们合为一个 28 位的值。在 RDN 或者 WRN 线上信号将会在两个边沿采集之间翻转。当 CSN 为高平时这个功能本应该被关闭但是并没有关闭。

只要 CSN 线为高平那么将没有数据写入 TDC-GPX 尽管边沿有翻转。如果 CSN 变为低平指针已经指向高平边沿那么在下一个 RDN/WRN 操作是数据将会有错误。

修正:

1. 通过软件

下面的在 TDC-GPX 开始任何通信之前的操作将会保证指针将会指在低位边沿上:

写 Adr = 15, Val = 0x00 [空地址]

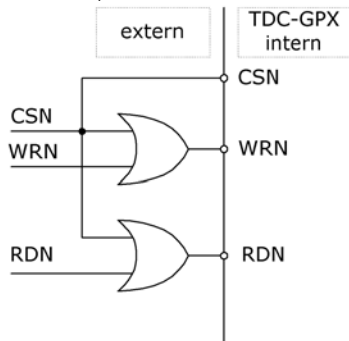
写 Adr = 14, Val = 0x00

写 Adr = 14, Val = 0x00 现在 16 位模式绝对被关闭, 边沿指针正确

写 Adr = 14, Val = 0x10 再次开启 16 位模式

2. 通过硬件

关闭 RDN/WRN 线通过使 CSN = High



7 最后更改

8 th Nov 2005	加注释, 细节修正
16 th Feb 2006	新 TFBGA120 封装
12 th April 2006	在章节 3.5, 4.5, 5.5 中的修正.
31 st May 2006	新章节 1.6.3.

总部	acam-messelectronic gmbh	Am Hasenbiel 27 76297 Stutensee-Blankenloch	Tel: +49 (0) 7244 7419-0 Fax: +49 (0) 7244 7419-29 support@acam.de www.acam.de
----	--------------------------	--	--

欧洲代理商

比利时	CenS (Micro) Electronics BV.	PO Box 2331/ NL 7332 EA Apeldoorn Lamfe Amerikaweg 67 NL 7332 BP Apeldoorn	Tel: +31 (0) 55 3558611 Fax: +31 (0) 55 3560211 info@censelect.nl www.censelect.nl
法国	microel (CATS S.A.)	Immeuble "Oslo" - Les Fjords 19, avenue de Norvège Z.A. de Courtaboeuf - BP 3 91941 LES ULIS Cedex	Tel. : +33 1 69 07 08 24 Fax : +33 1 69 07 17 23 commercial@microel.fr www.microel.fr
英国	2001 Electronic Components Ltd.	Stevenage Business Park, Pin Green Stevenage, Herts SG1 4S2	Tel. +44 1438 74 2001 Fax +44 1438 74 2001 a.parker@2k1.co.uk www.2k1.co.uk
匈牙利	ChipCAD ELEKTRONIKAI DISZTRIBUCIÓ KFT	Tuzolto u. 31. 1094 BUDAPEST	Tel: +36 231 7000 Fax: +36 231 7011 Email: szfarkas@chipcad.hu www.chipcad.hu
意大利	DELTA Elettronice s.r.l	Via Valpraiso 7/A 20144 Milano	Tel: +39 02 485 611 1 Fax: +39 02 485 611 242 email: afrigerio@deltacomp.it www.deltacomp.it
荷兰	CenS (Micro) Electronics BV.	PO Box 2331/ NL 7332 EA Apeldoorn Lamfe Amerikaweg 67 NL 7332 BP Apeldoorn	Tel: +31 (0) 55 3558611 Fax: +31 (0) 55 3560211 info@censelect.nl www.censelect.nl
波兰	W.G. Electronics Sp.z o.o.	ul. Modzelewskiego 35 02-679 WARSZAWA	Tel: +48 22 847 9720, 847 9721 Fax: +48 22 647 0642 Email: tgornicki@wg.com.pl www.wg.com.pl
瑞士	Computer Controls AG	Neunbrunnenstr. 55 8050 Zürich	Tel.: +41-1-308 6666 Fax: +41-1-308 6655 email: roeschger@ccontrols.ch www.ccontrols.ch
俄罗斯	Galant Electronics, Ltd.	100, Prospekt Mira, Moscow, 129626, Russia	Tel\Fax: +7-495-987-42-10, Tel: +7-095-107-19-62 Mobile +7-916-993-67-57 Email: leonid-k@galant-e.ru www.galant-e.ru

美洲代理商

美国	Transducers Direct, LCC	264 Center Street Miamiville, Ohio 45147	Tel: 513-583-9491 Fax: 513-583-9476 Email: sales@acam-usa.com www.acam-usa.com
----	-------------------------	---	---

亚洲代理商

印度	Brilliant Electro-Sys. Pvt. Ltd.	4, Chiplunker Building, 4 Tara Temple Lane, Lamington Road, Bombay – 400 007	Tel: +91 22 2387 5565 Fax: +91 22 2388 7063 www.brilliantelectronics.com besimpex@vsnl.net
以色列	ArazimLtd.	4 Hamelacha St. Lod P.O.Box 4011 Lod 71110	Tel: 972-8-9230555 Fax: 972-8-9230044 email: info@arazim.com www.arazim.co.il
日本	DMD–Daiei Musen Denki Co., Ltd.	10-10, Sotokanda, 3-Chome, Chiyoda-Ku Tokyo 101-0021	Tel: +81 (0)3 3255 0931 Fax: +81 (0)3 3255 9869 sales@daiei-dmd.co.jp www.daiei-dmd.co.jp
中国大陆	上海宽创电子科技有限公司	上海浦东新区长柳路 58 号 邮编: 200031	Tel.: +86-21-54654391 Tel.: +86-13916212954 Fax: +86-21-64454370 Email: info@acam-china.com www.acam-china.com
	深圳市强电讯有限公司	总部: 深圳市人民南路 3005 号深房广场 A 座 32 楼 邮编: 518001 南京 Office: 北京 Office: 青岛 Office: 上海 Office: 成都 Office: 武汉 Office: 西安 Office: 厦门 Office:	Tel.: +86 755 25155888 Fax: +86 755 25155880 Email: zorro_huang@secomtel.com www.secomtel.com Tel.: +86 25 84552900 Tel.: +86 10 82336866 Tel.: +86 86 532 85899132 Tel.: +86 21 52371820 Tel.: +86 28 82981751 Tel.: +86 27 87322726 Tel.: +86 29 88323435 Tel.: +86 592 5806950
韩国	SamHwa Technology Co., Ltd.	#4 4F Kyungwon building, 416-6 Jakjeon-dong GYEYANG-GU, INCHEON 407-060	Tel: +82 32 556 5410 Fax: +82 32 556 5411 www.isamhwa.com minjoonho@isamhwa.com