

Time-to-Digital-Converter

Предварительное техническое описание

TDC-GP22

Универсальный двухканальный время-цифровой преобразователь специально для ультразвуковых счётчиков расхода воды

26 июня 2012

Документ No.: DB_GP22_ru V0.5



Опубликовано acam-messelectronic gmbh

© acam-messelectronic gmbh 2011

Заявление об отсутствии гарантий / Примечания

Мы убеждены, что информация, приведённая в этом предварительном техническом описании является точной и надёжной и близкой к конечному продукту. Однако это теоретическая информация, и acam не несёт ответственности ни за её использование, ни за нарушение патентных и других прав третьими лицами, которые могут возникнуть в результате её использования. Информация может быть изменена без ссылок и предоставляется без каких-либо гарантий (прямых или косвенных). Picostrain является зарегистрированной торговой маркой фирмы acam. Другие марки и названия продуктов, упомянутые в этом документе являются торговыми или сервисными марками их действительных владельцев.

Поддержка

Для получения полного списка прямых продаж, дистрибуторов и торговых представительств просим посетить наш сайт в интернете:

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

По техническим вопросам Вы можете обратиться в наш отдел технической поддержки в главном представительстве фирмы в Германии или к дистрибутору в Вашей стране. Контактные данные фирмы acam в Германии:

sales@acam.de или по телефону +49-7244-74190.

Просим с пониманием отнестись к данному переводу технической информации по микросхеме TDC-GP21 и при появлении сомнений в понимании процессов обращаться к оригинальному документу DB_GP21_en.pdf или в службу технической поддержки региональной компании-дистрибутора

Содержание

1 Обзор		1-1
2 Характеристики и техническая спецификация	2.1 Электрические характеристики	2-1
	2.2 Спецификация преобразователя	2-4
	2.3 Временные параметры	2-4
	2.4 Описание выводов	2-6
	2.5 Корпус	2-8
	2.6 Электропитание	2-10
3 Регистры и коммуникации	3.1 Конфигурации регистров	3-1
	3.2 Регистры чтения	3-13
	3.3 EEPROM	3-16
	3.4 SPI-интерфейс	3-16
4 Внешний аналоговый интерфейс преобразователя	4.1 ВЦП - Режим измерения 1	4-1
	4.2 ВЦП - режим измерения 2	4-7
	4.3 Секция аналогового входа	4-14
	4.4 Режим распознавания первой волны	4-16
	4.5 Измерение температуры	4-21
5 Важные детали и специальные функции	5.1 Осциллятор	5-1
	5.2 Генератор запускающих импульсов	5-4
	5.3 Быстрая инициализация	5-7
	5.4 Модуль шумов	5-7
6 Применение		6-1
7 Разное	7.1 Сообщение о неполадках	7-1

1 Обзор

TDC-GP22 представляет собой усовершенствованную микросхему нового поколения по сравнению с TDC-GP21. Эта усовершенствованная микросхем на 100% совпадает по выводам с TDC-GP21 и обладает расширенными функциональными свойствами. Особенно способность детектирования первой волны делает TDC-GP 22 наиболее пригодным к применению в ультразвуковых счётчиках воды с их высокой динамикой. Программируемый диапазон смещения компаратора расширен до ± 35 мВ и смещение автоматически устанавливается на 0 после распознавания первой волны. Измерение относительной ширины импульса первой волны позволяет пользователю определить интенсивность полученного сигнала. Это может быть использовано для адаптации системы при затухании сигнала или для распознавания пузырей. Обработка данных многократного события multihit и считывание проще по сравнению с TDC-GP21.

В общем и целом TDC-GP 22 это улучшенная новая микросхема для разработки ультразвуковых теплосчётчиков, дополнительные функции являются важным шагом для разработки компактных ультразвуковых счётчиков воды.

Свойства

Режим измерения 2

- 1 канал с типовым разрешением в 90 пс
- Режим двойного разрешения - 45 пс, режим четверного разрешения - 22 пс
- Диапазон измерения от 500 нс до 4 мс
- 3-х кратная способность разрешения многократного события hit (multihit) с автоматической обработкой всех 3 комплектов данных
- **Аналоговые входные цепи**
- Стабилизированный чоппером компаратор с низким смещением, смещение можно программировать до ± 35 мВ
- **Распознавание первой волны сигналов:** смещение автоматически устанавливается на 0 после первой волны, выбор события hit относится к первой волне
- **Измерение ширины импульса первой волны** для отслеживания сигнала и обнаружения пузырей
- Встроенные аналоговые коммутаторы для выбора входа
- Внешние цепи сокращены до двух резисторов и двух конденсаторов

Устройство для измерения температуры

- 2 или 4 сенсора, двойное присоединение через провод
- Датчики PT500/PT1000 или выше
- Встроенный триггер Шмитта
- Очень высокое разрешение:
 - 16 эффективных битов с внешним триггером Шмитта (разрешение 0,004 °C для платинного датчика), 17,5-эффективных битов с интегрированным триггером Шмитта (разрешение 0,0015 °C для платинного датчика)
- Ультра низкий ток потребления (0,08 мкА при измерении каждые 30 секунд)

Специальные функции

- Генератор запускающих (иницирующих) импульсов, до 127 импульсов
- Триггер по спадающим и/или нарастающим фронтам
- Возможность прецизионного стопа в оконном режиме
- микромощный 32КГц осциллятор (500 наноампер)

1 Обзор

- Устройство калибровки тактов
- 7x32 бит EEPROM

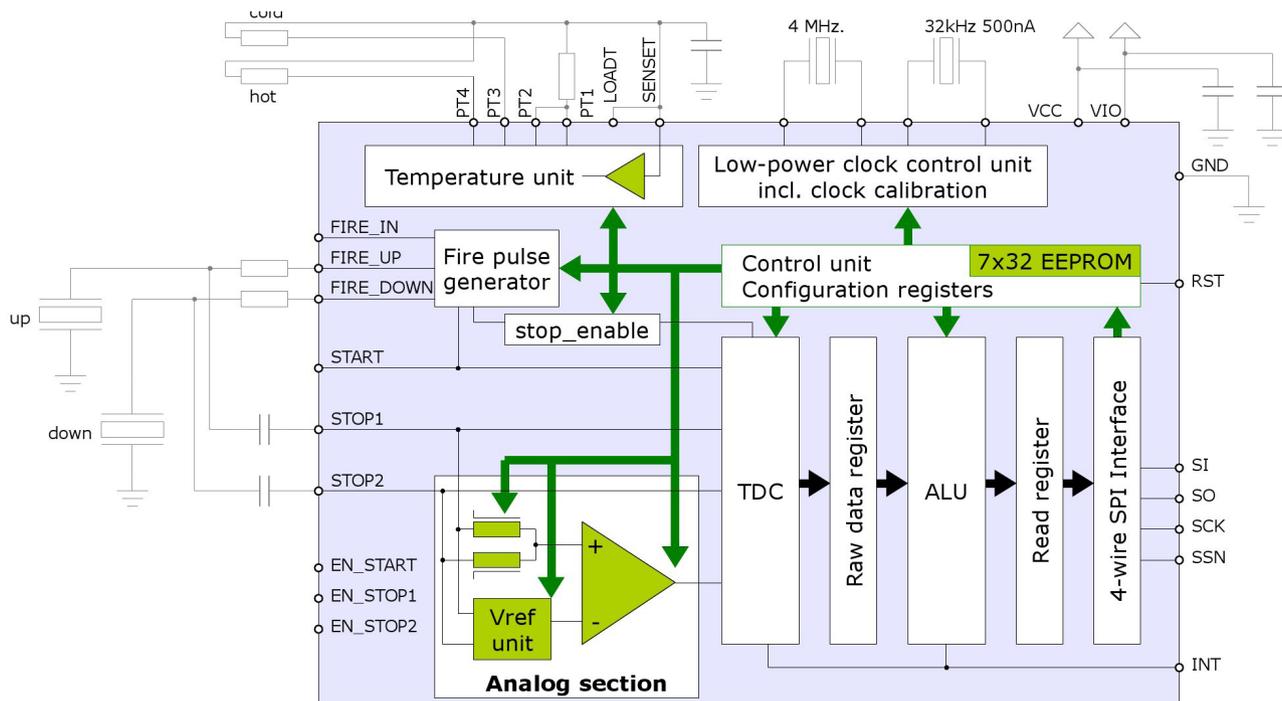
Режим измерения 1

- 2 канала с типовым разрешением в 90 пс
- 1 канал двойного разрешения с типовым в 45 пс
- диапазон измерения от 3,5 нс (0 нс) до 2,5 мкс
- 20 нс разрешение парного импульса, разрешение 4 событий
- До миллиона измерений в секунду в измерительном режиме 1

Общие свойства

- Четырёхпроводный SPI интерфейс
- 1 МГц максимальная скорость данных в постоянном потоке.
- Напряжение входа-выхода I/O от 2,5 В до 3,6 В
- питание кристалла от 2,5 В до 3,6 В
- Температурный диапазон – от 40 °C до +125 °C
- Корпус QFN-32

1.1 Блок-диаграмма



1.2 Порядковые номера

Наименование	корпус	шт./упаковка	номер заказа
TDC-GP22	QFN32	5000/3000; T&R	MNR 1950
TDC-GP22	QFN32	490/палета	MNR 1949
GP22-EVA-KIT	система	1/коробка	MNR 1951

Этот продукт соответствует европейским нормам по вредным веществам RoHS и не содержит свинец.

2 Характеристики и техническая спецификация

2.1 Электрические характеристики

Максимальный диапазон

Напряжение питания

V_{cc} vs. GND от - 0,3 до 4,0 В

V_{io} vs. GND от - 0,3 до 4,0 В

V_{in} от - 0,5 до $V_{cc} + 0,5$ В

Температура хранения (T_{stg}) от - 55 до 150 °С

ESD порядок (HBM), на каждый вывод > 2 КВ

Рабочая температура (T_j) максимум .125 °С

Рекомендуемые условия работы

символ	параметр	условия	мин.	тип.	макс.	единицы
V_{cc}	напряжение питания кристалла*	$V_{io} = V_{cc}$	2,5		3,6	В
V_{io}	I/O напряжение на входах/выходах		2,5		3,6	В
t_{ri}	нормальная длительность фронта по входу				200	нс
t_{fa}	нормальная длительность спада импульса по входу				200	нс
t_{ri}	длительность включения триггера Шмитта				5	мс
t_{fa}	длительность выключения триггера Шмитта				5	мс
T_a	температура окружающей среды	T_j не должна превышать +125°C	-40		125	°С
$R_{th(j-a)}$	температурная устойчивость	рабочая среда		28		К/Вт

*включая выводы осциллятора XIN, XOUT, Clk32In, Clk32Out

Характеристики постоянного тока ($V_{io} = V_{cc} = 3,0$ В, $T_j = -40$ to $+85$ °С)

символ	параметр	условия	минимум	тип.	макс.	един.
I_{32}	рабочий ток при 32 КГц	$I_{cc} + I_{io}$, только при рабочем 32 кГц осцилляторе		1,0		мкА
I_{hs}	рабочий ток при 4 МГц осцилляторе	$V_{cc} = V_{io} = 3,6$ В $= 3,0$ В выключен		200 130 < 1		мкА мкА мкА
I_{tmu}	ток потребления измерительной схемы	только во время активного измерения		4		мА
I_{ddq}	ток в состоянии покоя	все генераторы отключены, @ 85 °С		< 0,1		мкА

2 Характеристики и техническая спецификация

символ	параметр	условия	минимум	тип.	макс.	един.
I_I	рабочий ток	TOF-UP/DOWN, 1/s, среднее по температуре PT1000, 1/30s		1.1 0,15		мкА
V_{oh}	высокий уровень выходного напряжения	$I_{oh} = tbd \text{ mA } V_{io} = \text{Min.}$	$0,8V_{io}$			В
V_{ol}	низкий уровень выходного напряжения	$I_{ol} = tbd \text{ mA, } V_{io} = \text{Min}$			$0,2V_{io}$	В
V_{ih}	высокий уровень входного напряжения	LVTTL Level, $V_{io} = \text{Max.}$	$0,7V_{io}$			В
V_{il}	низкий уровень входного напряжения	LVTTL Level, $V_{io} = \text{Min.}$			$0,3V_{io}$	В
V_{th}	Высокий уровень напряжения триггера Шмитта		$0,7V_{io}$			В
V_{tl}	Низкий уровень напряжения триггера Шмитта				$0,3V_{io}$	В
V_h	Гистерезис триггера Шмитта			0,28		В

Ёмкость выводов

символ	вывод	условия	определённая величина			един.
			мин.	тип.	макс.	
C_i	цифровой вход	измерено при @ $V_{cc} = V_{io}$, $f = 1 \text{ МГц}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$		7		пФ
C_o	цифровой выход					
C_{io}	двунаправленные			9		
	PT выходы			должна быть определена		
	аналоговый вход			должна быть определена		

Аналоговый преобразователь

символ	вывод	условия	определяемая величина			един
			мин.	тип.	макс.	
	напряжение смещения компаратора по входу (стабилизированное чоппером)			< 1	2	мВ
$R_{dson(AS)}$	сопротивление регулятора аналогового переключения при STOP1/STOP2 поступающей энергии			200		Ом
$R_{dson(FIRE)}$	сопротивление регулятора FIRE_UP, FIRE_DOWN буфера выходящей энергии	симметричный выход, $R_{dson(\text{высокий})} = R_{dson(\text{низкий})}$		4		Ом

2 Характеристики и техническая спецификация

I_{fire}	выходящий рабочий ток FIRE_UP, FIRE_DOWN буфера выходящей энергии			96		мА
------------	---	--	--	----	--	----

EEPROM

символ	терминал	условия	минимальное значение	единицы
	хранение данных при 85°C	нормальные	10	годы
		с исправлением ошибок	практически бесконечно	

2.2 Спецификация преобразователя

Секция измерения длительности ($V_{IO} = V_{CC} = 3.0 V, T_j = 25^\circ C$)

символ	вывод	условия	определяемая величина			един.
			мин.	тип.	макс.	
LSB	разрешение(BIN-Size)	измерительный режим 1 & 2: DOUBLE_RES = 0		90		пс
		DOUBLE_RES = 1		45		
		измерительный режим 2: QUAD_RES = 1		22		пс
σ	стандартное отклонение	измерительный режим1 & 2: DOUBLE_RES = 0		нужно определить		пс
		DOUBLE_RES = 1				
		измерительный режим 2: QUAD_RES = 1		нужно определить		пс
t_m	диапазон измерения	измерительный режим 1	3,5 нс		2,4 мкс =26224 *LSB	
		2	500 нс		4 ms	
INL	интегральная нелинейность			< 0,1		LSB
DNL	дифференциальная нелинейность			< 0,8		LSB

Секция измерения температуры

символ	вывод	внутренний триггер Шмитта		внешний триггер Шмитта		единицы
		PT500	PT1000	PT500	PT1000	
	разрешение RMS	17,5	17,5	16,0	16,0	Бит
	SNR	105	105	96	96	дБ

2 Характеристики и техническая спецификация

	абсолютное усиления ³		0,9912	0,9931	0,9960	0,9979	%
	абсолютное усиление	3,6 В	0,9923	0,9940	0,9962	0,9980	
	по V_{io} ³	3,0 В	0,9912	0,9931	0,9960	0,9979	
		2,5 В	0,9895	0,9915	0,9956	0,9979	
	дрейф усиления по V_{io}		0,25	0,23	0,06	0,04	%/В
	максимальная абсолютная погрешность усиления (@ $d\Theta = 100$ К)		0,05%	0,05%	0,02%	< 0,01%	
	дрейф усиления по температуре		0,022	0,017	0,012	0,0082	%/10 К
	дрейф усиления по V_{io}				0,08		%/В
	начальное нулевое смещение		< 20	< 10	< 20	< 10	мК
	смещение дрейфа по температуре		< 0,05	< 0,03	< 0,012	< 0,0082	мК/°С
	PSRR				> 100		дБ

¹ Все величины измерены на $V_{io} = V_{cc} = 3.0$ В, нагрузка конденсатора = 100 нФ для PT1000 и 200 нФ для PT500 (COG-тип)

² Измеряно внешним триггером Шмитта 74АНС14.

³ По сравнению с идеальным усилением 1

2.3 Временные параметры

При $V_{cc} = 3,0$ В $\pm 0,3$ В, температура среды -40 °С to +85 °С если нет других данных по спецификации

Осциллятор

символ	параметр	мин.	тип.	макс.	единицы
Clk32	32 кГц осциллятор		32,768		кГц
t_{32st}	32 kHz время старта осциллятора после включения питания		250		мс
ClkHS	высокоскоростной осциллятор	2	4	8	МГц
t_{oszst}	время старта осциллятора с керамическим резонатором		100		мкс
t_{osrst}	время старта осциллятора с кристаллическим резонатором		3		мс

Последовательный интерфейс

символ	параметр	макс. при $V_{io} =$		един.
		2,5 В	3,3 В	
f_{clk}	частота тактов	15	20	МГц

символ	параметр	мин. при @ $V_{io} =$		един.
		2,5 В	3,3 В	
t_{pwh}	тактовая частота, ширина импульса, высокий уровень	30	25	нс

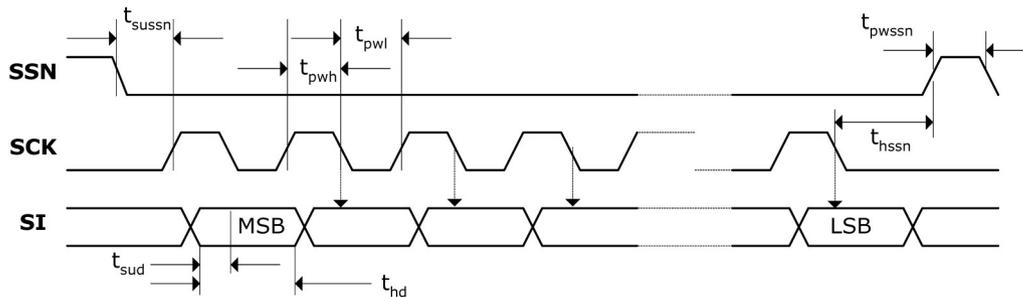
2 Характеристики и техническая спецификация

t_{pwl}	тактовая частота	30	25	нс
t_{sussn}	SSN инициирует действительный импульс	40	10	нс
t_{pwssn}	SSN ширина импульса между циклами записи	50	40	нс
t_{hssn}	SSN время удержания после спада SCLK	40	25	нс
t_{sud}	время установки данных перед спадом SCLK	5	5	нс
t_{hd}	время удержания данных перед спадом SCLK	5	5	нс

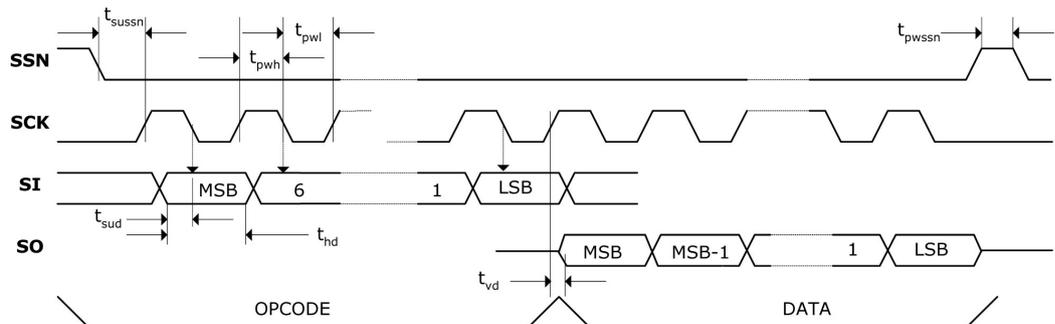
символ	параметр	макс. при $V_{io} =$		Единицы
		2,5 В	3,3 В	
t_{vd}	данные после повышения SCLK	20	16	нс

Последовательный интерфейс (SPI совместимость, тактовые фазы Bit =1, тактовая полярность =0):

Фигура 2-1: SPI запись

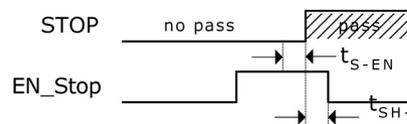


Фигура 2.2: SPI чтение



Нерабочие фазы

Фигура 2.3:

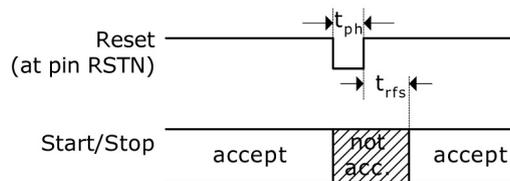


2 Характеристики и техническая спецификация

специфик.	описание	мин. (нс)	макс. (нс)
t_{S-EN}	инициация времени запуска	нужно определить нс	-
t_{SH-EN}	инициация времени стопа	нужно определить нс	-

Фазы перезагрузки

Фигура 2.4:

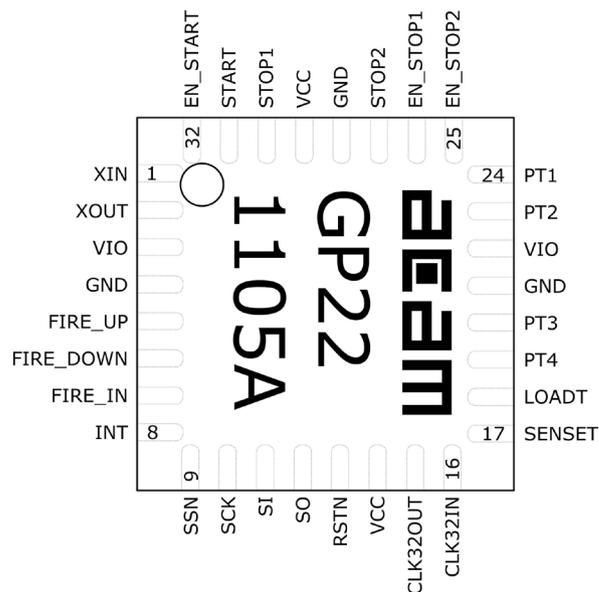


Специфик.	описание	мин.(нс)	макс (нс)
t_{ph}	сброс ширины импульса	нужно опред. нс	-
t_{rfs}	время после возрастающего фронта импульса сброса перед приёмом событий hit	нужно опред. мкс	-

Примечание: после включения питания необходимо подождать минимум 500 мкс перед установкой аналоговой секции.

2.4 Описание выводов

фигура 2-5: TDC-GP22 Выводы



2 Характеристики и техническая спецификация

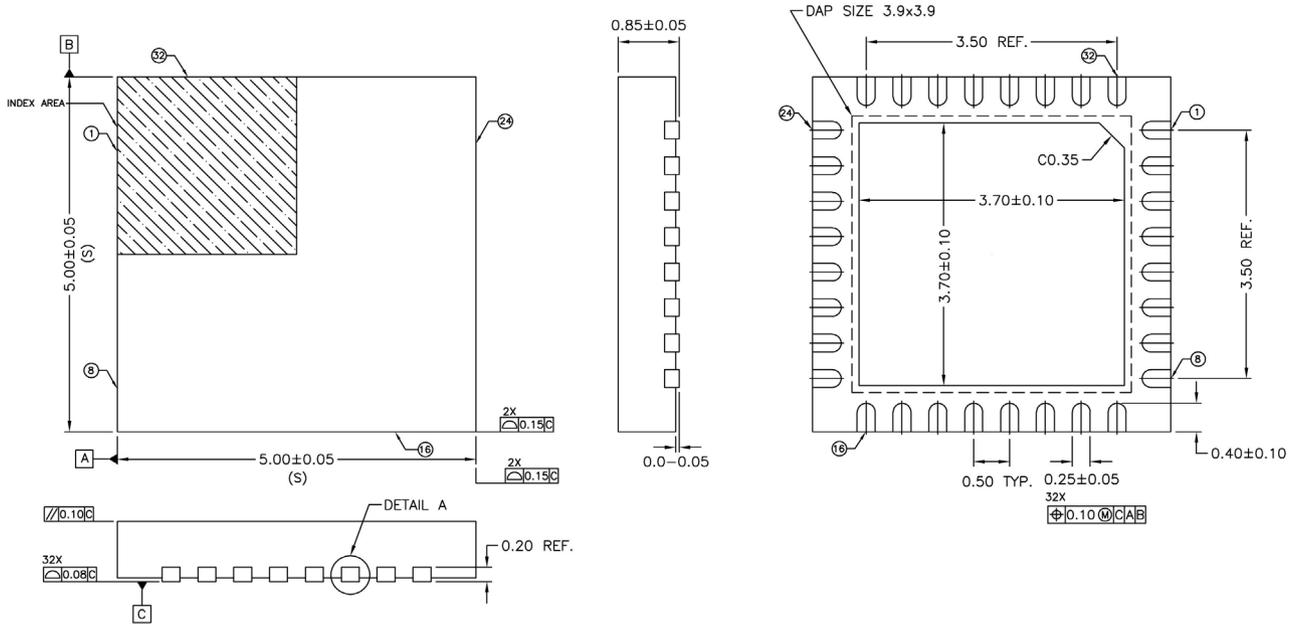
No.	название	описание	тип буфера	измеряемая величина	в нерабочей фазе
1	XIN	вход драйвера осциллятора			GND
2	XOUT	выход драйвера осциллятора			
3	VIO	I/O – напряжение питания входов-выходов			
4	GND	Земля			
5	FIRE_UP	Выход 1 генератора запускающих импульсов	48 мА		
6	FIRE_DOWN	Выход 2 генератора запускающих импульсов	48 мА		
7	FIRE_IN	сигнальный вход для квази обзвона			GND
8	INTN	флаг прерывания	4 мА	LOW активно	
9	SSN	выбор Slave		LOW активно	
10	SCK	частота последовательного интерфейса			
11	SI	вход данных последовательного интерфейса			
12	SO	выход данных последовательного интерфейса	4 мА три состояния		
13	RSTN	вход сброса		LOW активно	
14	VCC	напряжение питания кристалла			
15	CLK32OUT	выход генератора импульсов 32 КГц			п. с.
16	CLK32IN	вход генератора импульсов 32 КГц			GND
17	SENSET	вход датчика измерения температуры	Триггер Шмитта		GND
18	LOADT	выход сигнала измерения температуры	24 мА		п.с.
19	PT4*	порт 4 измерения температуры	> 96 мА открытый сток		
20	PT3*	порт 3 измерения температуры	> 96 мА открытый сток		
21	GND	земля			
22	VIO	I/O – напряжение питания шины входа-выхода			
23	PT2*	порт 2 измерения температуры	> 96 мА открытый сток		
24	PT1*	порт 1 измерения температуры	> 96 мА открытый сток		
25	EN_STOP2	вход разрешения импульса стопа 2		HIGH активен	Vio
26	EN_STOP1	вход разрешения импульса стопа 1		HIGH активен	Vio
27	STOP2	вход импульса стопа 2			GND
28	GND	земля			
29	VCC	напряжение питания кристалла			
30	STOP1	вход 1 импульса стопа 1			GND
31	START	вход старт			
32	EN_START	вход разрешения импульса старта		HIGH активен	Vio

* $R_{DS(on)}$ порты температуры: тип. 1,8 Ω @ 3,0 В

2 Характеристики и техническая спецификация

2.5 Корпус

Фигура 2-6: QFN-32 чертёж корпуса, $5 \times 5 \times 0,9 \text{ мм}^3$, $0,5 \text{ мм}$ расстояние между контактными поверхностями.



2 Характеристики и техническая спецификация

Внимание: центральный пэд , 3,70 * 3,70 mm² должен быть внутри присоединён к GND. Никакие другие присоединения кроме основания GND снизу не допустимы.

Нет необходимости соединения центрального пэда с GND снаружи.

Возможный сокет для установки: Plastronics 32QN50S15050D

Тепловое сопротивление: ориентировочно 28 К/Вт (величина указана только для ссылки).

Экология: корпус соответствует европейским нормам по содержанию вредных веществ RoHS и не содержит свинца.

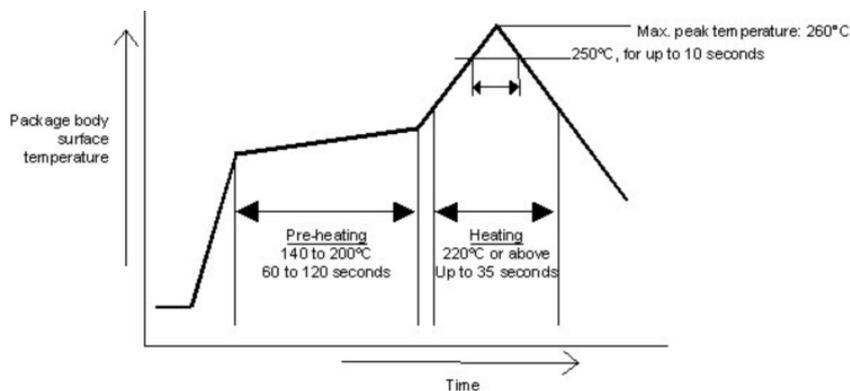
Уровень чувствительности к влажности (MSL)

В соответствии с определением уровня чувствительности к влажности на основании JEDEC 020 TDC-GP21 классифицирован как уровень MSL 3.

Температурный профиль пайки

Температурный профиль для инфракрасной печи с использованием флюса канифоля должен удовлетворять условиям, описанным ниже.

Фигура 2-7: условия пайки



2 Характеристики и техническая спецификация

Максимальная температура

Максимальная температура поверхности канифоли при 260°C как пиковый показатель для поверхности корпуса, не должна превышать 250°C в течение не более 10 секунд. Эта температура должна быть по возможности низкой для того, чтобы сократить нагрузку, вызванную термальным воздействием на корпус, а пайку рекомендуется производить как можно в более короткие периоды. В дополнение к соблюдению температурного профиля, мы также рекомендуем тщательно проверять и сравнивать результаты пайки.

Маркировка даты выпуска: YYWWA:YY = Year (год), WW = week (неделя), A = Assembly site code (место сборки).

2.6 Электропитание

Напряжение питания

TDC-GP22 является высокоточным комбинированным аналогово-цифровым устройством. Для достижения полной функциональности необходима хорошая подача энергии. Это должен быть источник с высокой ёмкостью и низкой индуктивностью.

TDC-GP22 имеет две пары выводов электропитания:

V_{io} - I/O напряжение питания для входов-выходов

V_{cc} - основное напряжение питания

Все выводы земли должны быть обязательно подсоединены к шине земли печатной платы. V_{io} и V_{cc} должны быть подключены к батарейному питанию или соединены с аналоговым регулятором напряжения. Не используйте импульсные регуляторы во избежание помех, возникших за счёт наводок на I/O .

Качество измерения время-цифровых преобразователей зависит от правильного энергоснабжения.

Микросхема хорошо распознаёт импульсные токи, в следствии чего необходима достаточная фильтрация:

V _{cc}	47 мкФ	(минимум 22 мкФ)
V _{io}	100 мкФ	(минимум 22 мкФ)

Снабжение напряжением должно производиться через аналоговые регуляторы. Мы строго рекомендуем не использовать источники с частотным преобразованием.

Ток потребления

Ток потребления можно представить, как сумму различных составных частей (все данные для V_{io} = V_{cc} = 3,0 В):

I _{ddq}	< 5 нА тип.@3,0 В, 25°C	ток в состоянии покоя, осциллятор в 32 КГц не включён
I ₃₂	тип. 1,0 мА	ток в ждущем режиме с включённым 32 КГц осциллятором, (GP22 ждёт команду).

2 Характеристики и техническая спецификация

I_{hs}	тип. 130 мкА/с * (активная рабочая фаза)	Рабочий ток в высокочастотном осцилляторе при 3,0 В Vio. Пример: В ультразвуковом счётчике осциллятор включён всего порядка 2 мс. В среднем потребление рабочего тока $130 \text{ мкА/с} * 2 \text{ мс} = 0,26 \text{ мкА}$
I_{tmu}	тип. 4 мА/с * (активная фаза измерения).	Рабочий ток во время измерений, в измерительном режиме 1, секция измерения времени активирована для интервалов старт-стоп плюс интервал времени калибровки 2 периода тактовой частоты. В измерительном режиме 2 секция измерения времени задействована на 4 периода тактовой частоты, два для измерения времени и два для калибровки. Пример: при 10 измерениях в секунду в режиме измерения 2 и 4 МГц тактовой частоты время измерения составляет только 10 мкс. Средний ток потребления будет $4 \text{ мА/с} * 10 \text{ мкА} = 0,040 \text{ м}$
I_T	тип. 2,5 мкАс * порядок измерения	Рабочий ток при полных температурных измерениях тип. 2,5 мкАс. В теплосчётчиках температура измеряется обычно один раз каждые 30 секунд. Средний ток составляет 0,085 мА
I_{ana}	тип. 0,8 мА	Потребление тока встроенной аналоговой секции TDC-GP22 во время измерения Time-of-flight (ToF). Аналоговая секция активна на время $250 \text{ мкс} + \text{ToF}$.
I_{total}	2,3 мкА	В типичных ультразвуковых теплосчётчиках поток измеряется 2 раза в секунду. Температура измеряется каждые 30 секунд. Типовое потребление тока всеми компонентами схемы при измерении потока и температуры, включая аналоговую часть, трансдукторы и РТ датчики.

2 Техническая характеристика и спецификация



3 Регистры и коммуникации

3.1 Конфигурации регистров

TDC-GP22 обладает 7 конфигурационными регистрами в 32 бита. Старшие 24 бита используются для конфигурации и работают только на запись. Они используются для запуска рабочего режима TDS-GP22. Младшие 8 бит используются для идентификации и могут быть считаны в обратном порядке.

Для проведения проверки коммуникаций пожалуйста сделайте запись в регистр 1 и прочитайте обратным порядком старшие 8 бит в адресе 5.

Примечание:

Регистры записи TDC-GP22 полностью совместимы снизу вверх с TDC-GP22. Дополнительно биты 30, 31 в регистре 3, которые ранее не были использованы, запускают новую функцию. Бит 30 запускает режим первой волны, а биты DELVAL2 и DELVAL3 в регистрах 3 и 4 получили второе значение.

Для правильной работы схемы TDC-GP22 сброс Reset по выводу или SPI командой необходимо делать после подачи питания на схему.

3.1.1 Алфавитный указатель параметров конфигураций

Таблица 3-1: Параметры конфигурации

Параметр	Регистр	Биты	Значение по умолчанию	новое
ANZ_FAKE	0	15	0	
ANZ_FIRE	6	28-31	2	
	0	8-10		
ANZ_PER_CALRES	0	22,23	0	
ANZ_PORT	0	17	1	
CALIBRATE	0	13	1	
Conf Fire	5	28-31	0	
CURR32K	1	15	1	
CYCLE_TEMP	6	18,19	0	
CYCLE_TOF	6	16,17	0	
DA_KORR	6	25-28	0	x
DELREL1	3	8-13	0	x
DELREL2	3	14-19	0	x
DELREL3	3	20-25	0	
DELVAL1	2	8-23	0	
DELVAL2	3	8-23	0	
DELVAL3	4	8-23	0	
DIS_PHASSHIFT	5	27	0	
DIS_PW	4	16	0	x
DIV_CLKHS	0	20,21	0	
DIV_FIRE	0	24-27	2	
DOUBLE_RES	6	12	0	

3 Регистры и коммуникации

Параметр	Регистр	Биты	Значение по умолчанию	новое
EDGE_FW	4	15	0	x
EN_ANALOG	6	31	0	
EN_AUTOCALC_MB2	3	31	0	x
EN_ERR_VAL	3	29	0	
EN_Fast_Init	1	23	0	
EN_FIRST_WAVE	3	30	0	x
EN_INT	2	29-31	1	x
	6	21		
EN_STARTNOISE	5	28	0	
FIREO_DEF	6	14	0	x
HIT1	1	24-27	5	
HIT2	1	28-31	5	
Hitin1	1	16-18	0	
Hitin2	1	19-21	0	
HZ60	6	15	0	x
ID0	0	0-7	0	x
ID1	1	0-7	0	x
ID2	2	0-7	0	x
ID3	3	0-7	0	x
ID4	4	0-7	0	x
ID5	5	0-7	0	x
ID6	6	0-7	0	x
MESSB2	0	11	1	
NEG_START	0	8	1	
NEG_STOP_TEMP	6	30	0	x
NEG_STOP1	0	9	1	
NEG_STOP2	0	10	1	
NO_CAL_AUTO	0	12	0	
OFFS	4	8-12	0	x
OFFSRNG1	4	13	0	x
OFFSRNG2	4	14	0	x
PHFIRE	5	8-23	0	
QUAD_RES	6	13	0	x
REPEAT_FIRE	5	24-26	0	
RFEDGE1	2	27	0	
RFEDGE2	2	28	0	
SEL_ECLK_TMP	0	14	1	
SEL_START_FIRE	1	14	0	x
SEL_TIMO_MB2	3	27,28	3	
SEL_TSTO1	1	8-10	0	x
SEL_TSTO2	1	11-13	0	x

3 Регистры и коммуникации

Параметр	Регистр	Биты	Значение по умолчанию	новое
START_CLKHS	0	18,19	1	×
	6	20		
TCYCLE	0	16	0	
TEMP_PORTDIR	6	11	0	×
TW2	6	22,23	0	×

3.1.2 Список регистров конфигурации

номер бита →	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
параметр →	param1						k.d.										
значение по умолчанию							1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
→																	

k.d. = держать значение по умолчанию

Регистр 0 (адрес 0):

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0																											
ANZ_FIRE				DIV_FIRE																				ID0																											
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0																											
ANZ_PER_CALRES				DIV_CLKHS				START_CLKHS				ANZ_PORT				TCYCLE				ANZ_FAKE				SEL_ECLK_TMP				CALIBRATE				NO_CAL_AUTO				MESSB2				NEG_STOP2				NEG_STOP1				NEG_START			

Параметр (старое имя по GP2)	Описание	Установка
ANZ_FIRE (FIRE#)	Устанавливает число импульсов, генерируемых генератором запускающих импульсов (fire puls). Дополнительные 3 бита установлены в регистре 6. Для величин ANZ_FIRE > 15 фазовые установки (PHFIRE) не будут использоваться	0 = отключен 1 = 1 импульс 2 = 2 импульса ... 127 = 127 импульсов
DIV_FIRE	Устанавливает делитель задающей частоты генератора запускающих импульсов (fire puls)	0 = не допущен 1 = деление на 2 2 = деление на 3 3 = деление на 4 ... 15 = деление на 16
ANZ_PER_CALRES (CALRES#)	Устанавливает число периодов для калибровки керамического резонатора	0 = 2 периода = 61.035 μs 1 = 4 периода = 122.07 μs 2 = 8 периодов = 244.14 μs 3 = 16 периодов = 488.281 μs

3 Регистры и коммуникации

DIV_CLKHS (ClkHSDiv)	Устанавливает предварительный делитель	0 = деление на 1 1 = деление на 2 2 = деление на 4 3 = деление на 4
START_CLKHS[1:0]	Определяет интервал времени, который чип ждёт после начала осцилляций перед процедурой измерения Примечание: старший бит настройки START_CLKS расположен в регистре 6, бит 20. Он имеет установку 1 при выборе интервалов времени в 2,44 мс и 5,14 мс.	0 = Осциллятор отключен 1 = осциллятор непрерывно включён 2 = установленный интервал 480 мкс 3 = установленный интервал 1.46 мс 4 = установленный интервал 2.44 мс 5 to 7 = установленный интервал 5.14 мс
ANZ_PORT (PORT#)	Устанавливает число портов используемых при температурных измерениях	0 = 2 температурных порта (PT1 and PT2) 1 = 4 температурных порта
TCYCLE	Устанавливает длительность цикла при температурных измерениях	0 = 128 мкс время цикла @ 4 MHz 1 = 512 мкс время цикла @ 4 MHz (рекомендуемое)
ANZ_FAKE (FAKE#)	Устанавливает число холстых циклов в начале температурных измерений	0 = 2 симулированных измерения 1 = 7 симулированных измерения
SEL_ECLK_TMP (SelClkT)	Выбор опорной частоты при температурных изменениях	0 = используется 32.768 kHz как опорная частота 1 = используется 128 * CLKHS как период опорной частоты (32 мкс при 4 МГц)
CALIBRATE	Разрешает/запрещает калибрационные вычисления в ALU	0 = калибровка выключена (разрешён только в режиме 1) 1 = калибровка включена (рекомендовано)
NO_CAL_AUTO (DisAutoCal)	Разрешает/запрещает автокалибровку, протекающую в ВЦП	0 = автокалибровка после измерений 1 = автокалибровка запрещена
MESB2 (MRange2)	переключение в диапазон измерения 2	0 = диапазон измерения 1 1 = диапазон измерения 2
NEG_STOP2	Вход отрицания стопа 2	0 = неинвертированный входной сигнал – нарастающий фронт 1 = инвертированный входной сигнал – фронт спада
NEG_STOP1	Вход отрицания стопа 1	0 = неинвертированный входной сигнал – нарастающий фронт 1 = инвертированный входной сигнал – фронт спада
NEG_START	Вход отрицания старта	0 = неинвертированный входной сигнал – нарастающий фронт 1 = инвертированный входной сигнал – фронт спада
ID0	Свободные биты могут быть использованы как идентификационные или номера версии	

3 Регистры и коммуникации

Регистр 1 (адрес1):

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

EN_FAST_INIT
k.d.

CURR32K
SEL_START_FIRE

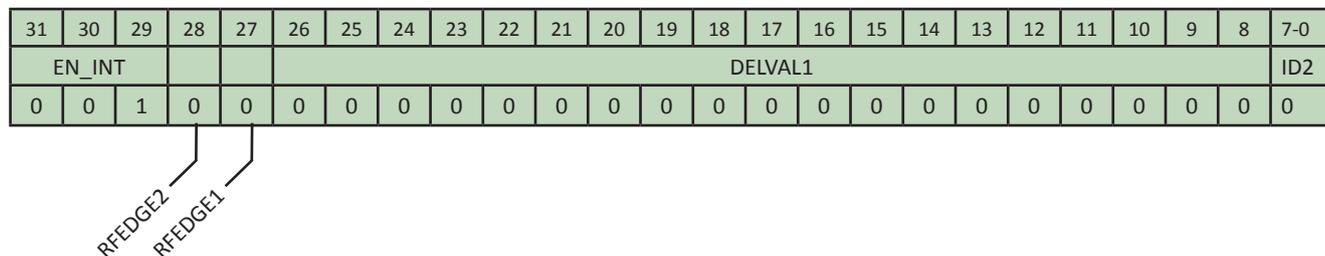
Параметр	Описание	Установка	
HIT2	<p>Определяет оператор для окончания обработки данных ALU</p> <p>режим измерения 1: HIT1-HIT2</p> <p>режим измерения2: HIT2-HIT1</p>	<p>Измерительный диапазон 1:</p> <p>0 = Start (Старт)</p> <p>1 = 1. Стоп канал (Stop Ch) 1</p> <p>2 = 2. стоп канал 1</p> <p>3 = 3. стоп канал 1</p> <p>4 = 4. стоп канал 1</p> <p>5 = нет действий</p> <p>6 = Cal1 Ch1 (каналы калибра)</p> <p>7 = Cal2 Ch1</p> <p>9 = 1. Stop Ch2</p> <p>A = 2. Stop Ch2</p> <p>B = 3. Stop Ch2</p> <p>C = 4. Stop Ch2</p>	<p>Измерительный диапазон 2:</p> <p>2 = 1. Stop Ch1</p> <p>3 = 2. Stop Ch1</p> <p>4 = 3. Stop Ch1</p>
HIT1	<p>Определяет оператор для окончательной обработки данных ALU</p> <p>диапазон измерений 1: HIT1-HIT2</p> <p>диапазон измерений 2: HIT2-HIT1</p>	<p>Измерительный режим 1:</p> <p>0 = Start</p> <p>1 = 1. Stop Ch1</p> <p>2 = 2. Stop Ch1</p> <p>3 = 3. Stop Ch1</p> <p>4 = 4. Stop Ch1</p> <p>5 = no action</p> <p>6 = Cal1 Ch1</p> <p>7 = Cal2 Ch1</p> <p>9 = 1. Stop Ch2</p> <p>A = 2. Stop Ch2</p> <p>B = 3. Stop Ch2</p> <p>C = 4. Stop Ch2</p>	<p>Измерительный режим 2:</p> <p>1 = Start (старт)</p>

3 Регистры и коммуникации

EN_FAST_INIT	Разрешает операции fast init	0 = fast init режим разрешён 1 = fast init режима запрещён
HITIN2	Число попаданий событий (hit), ожидаемых на канале 2	0 = стоп канал 2 дезиницирован 1 = 1 событие (hit) 2 = 2 события 3 = 3 события 4 = 4 события 5 to 7 = не допустимо
HITIN1	Число ожидаемых событий hit в канале 1	0 = стоп канала 1 запрещён 1 = 1 hit 2 = 2 hits 3 = 3 hits 4 = 4 hits 5 to 7 = не разрешён
CURR32K	Опция с низким током потребления для 32 кГц осциллятора. Нет жёсткой необходимости использования высокотоковых режимов (1). Низкотоковый режим также гарантирует осцилляции.	0 = низкий рабочий ток (рекомендуется) 1 = высокий рабочий ток (совместимость с GP2)
SEL_START_FIRE	Запускающий импульс Firepulse используется как запуск TDC. Вход START запрещён	0 = TDC-GP2 режим работы 1 = использует FIRE как Старт
SEL_TSTO2	Определяет функции вывода EN_START. Помимо функциональностей как GP2 он может использоваться как выход для различных сигналов. Если SEL_TSTOP2 > 0 то EN_START = HIGH внутренне	0 = функциональность как GP2, высокий уровень разрешает вход START. 1 = START_TDC выход 2 = STOP1 TDC выход 3 = STOP2 TDC выход 4 = выход остановки температурных измерений выхода измерения температуры 5 = TOF_UP, =1 когда TOF_UP измерение активно 6 = нет 7 = 4 КГц (32 КГц/8) частота
SEL_TSTO1	Определяет функции вывода FIRE_IN. Помимо GP2 функциональностей он может использоваться как выход для различных сигналов. Если SEL_TSTO1 >1 то FIRE_IN подключён к GND внутренне	0 = функциональность GP2, FIRE_IN вход для всех зондирований-обзвонов 1 = START_TDC выход 2 = STOP1 TDC выход 3 = STOP2 TDC выход 4 = выход старта температурных измерений 5 = EN_STOP к DELVAL выходу 6 = выход компаратора 7 = 32 кГц частота
ID1	Свободные биты могут быть использованы как идентификационные или номер версии	

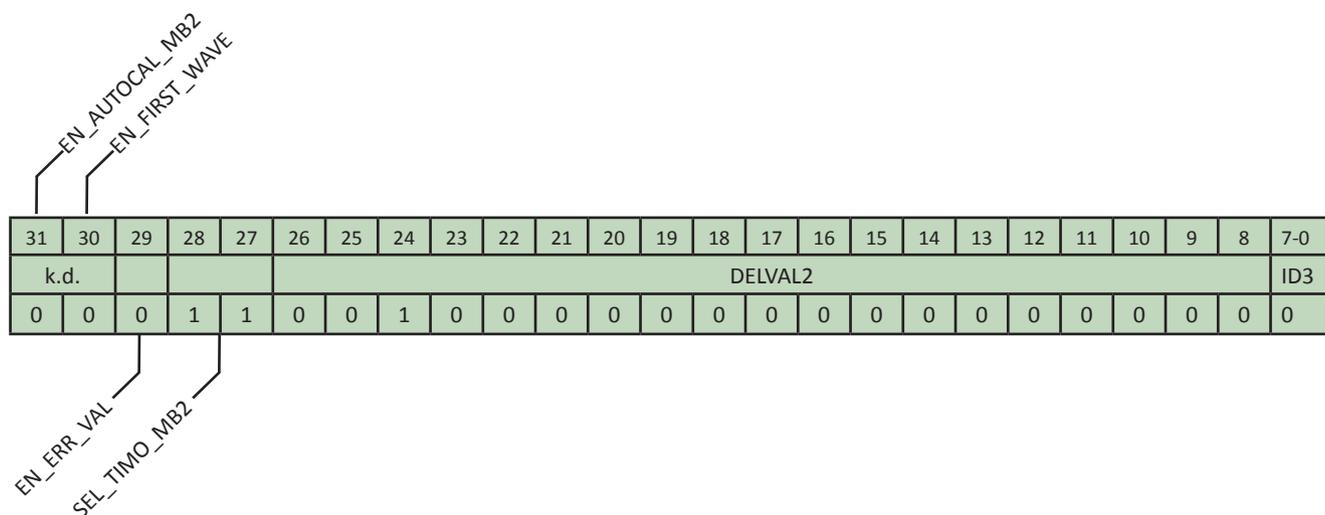
3 Регистры и коммуникации

Регистр 2 (адрес 2):



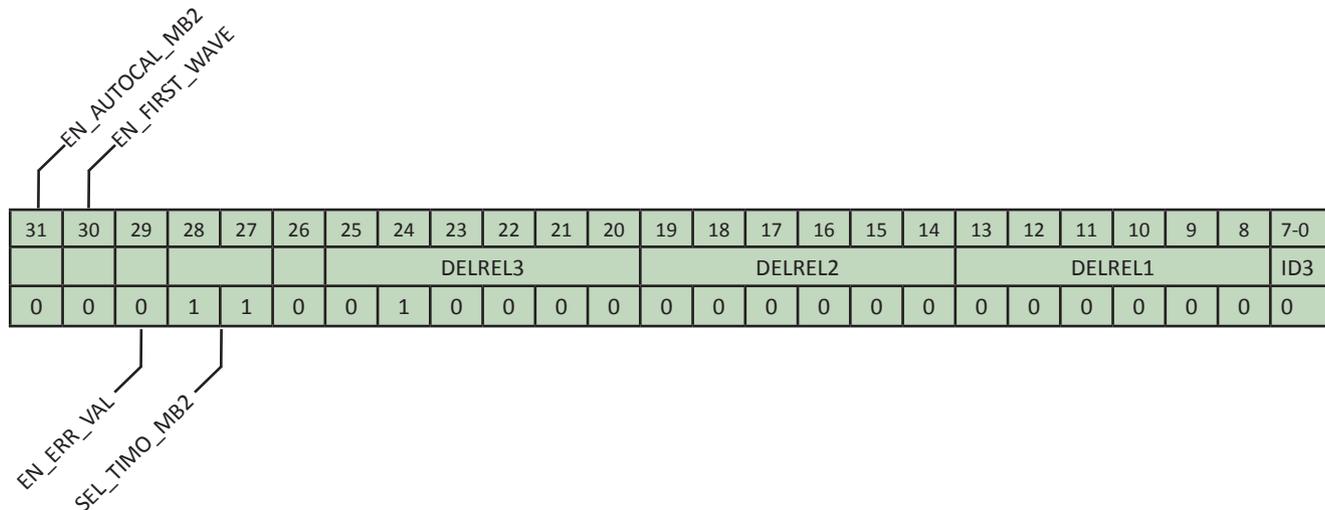
Параметр	Описание	Установки
EN_INT	Активирует источники прерывания, подключённые по OR. Дополнительный бит в регистре 6	бит 31 = прерывание Timeout разрешено бит 30 = прерывание End Hits разрешено бит 29 = прерывание ALU разрешено Reg6, BIT21 = конец EEPROM
RFEDGE2	Чувствительность канала 2 по фронтам	0 = по спадающему или нарастающему фронту 1 = по спадающему или нарастающему фронту
RFEDGE1	Чувствительность канала 1 по фронтам	0 = по спадающему или нарастающему фронту 1 = по спадающему или нарастающему фронту
DELVAL1	Величина задержки для внутреннего модуля разрешения стопа, событие 1 канал 1. Число с фиксированной точкой с 14 целыми и 5 дробными числами в умножениях Tref	DELVAL1 = 0 to 16383.96875
ID2	Свободные биты могут быть использованы как идентификационные или номер версии	

Регистр 3 (адрес 3) с EN_FIRST_WAVE = 0 :



3 Регистры и коммуникации

Register 3 (address 3) с EN_FIRST_WAVE = 1:



Параметр	Описание	Установки
EN_AUTOCAL_MB2	Только в измерительном диапазоне 2: автоматическое вычисление всех разрешённых событий hit. Сумма результатов записывается в регистр чтения 4.	0 = запрещён 1 = разрешён
EN_ERR_VAL	Тайм-аут заставляет ALU записать 0xFFFFFFFF в регистр выхода	0 = запрещён 1 = разрешён
EN_FIRST_WAVE	Запускает автоматическое распознавание первого события hit. В этом случае, когда этот бит установлен, регистры 3 и 4 получают новое значение.	0 = запрещён 1 = разрешён
SEL_TIMO_MB2	Выбирает делитель для тайм-аут в измерительном диапазоне 2	0 = 64 мкс 1 = 256 мкс 2 = 1024 мкс 3 = 4096 мкс при 4 МГц ClkHS
DELREL3	Устанавливает число периодов после первого события hit для третьего стопа	от 5 до 63 DELREL3 > DELREL2
DELREL2	Устанавливает число периодов после первого события hit для второго стопа	от 4 до 63 DELREL2 > DELREL1
DELREL1	Устанавливает число периодов после первого события hit для первого стопа	от 3 до 63
DELVAL2	Величина задержки для внутреннего модуля разрешения стопа, событие 2 канал 1. Число с фиксированной точкой с 14 целыми и 5 дробными числами в умножениях Tref	DELVAL1 = 0 to 16383.96875
ID3	Свободные биты могут быть использованы как идентификационные или номер версии	

3 Регистры и коммуникации

Регистр 4 (адрес 4) при EN_FIRST_WAVE = 0:

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

Register 4 (address 4) при EN_FIRST_WAVE = 1:

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

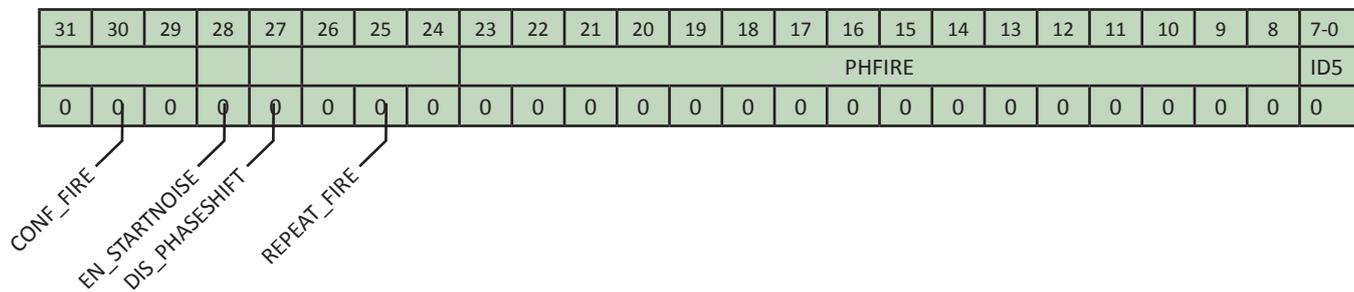


Параметр	Описание	Установки
DELVAL3	Величина задержки для внутреннего модуля разрешения стопа, событие 2 на канале 1. Число с фиксированной точкой с 14 целыми и 5 дробными кратное Tref	DELVAL1 = 0 to 16383.96875
DIS_PW	Запрещает измерение ширины импульса	0 = измерение ширины импульса включено 1 = измерение ширины импульса выключено
EDGE_FW	Устанавливает чувствительность фронта для первой волны. При отрицательном смещении имеет смысл произвести запуск по фронту спада первой волны	0 = нарастающий фронт 1 = фронт спада
OFFSRNG2	Дополнительный сдвиг смещения на + 20 мВ	0 = выключен 1 = активен
OFFSRNG1	Дополнительный сдвиг смещения на - 20 мВ	0 = выключен 1 = активен
OFFS	Установка сдвига смещения по двоичному дополнительному коду в 1 мВ	0 = 0 мВ 1 = +1 мВ ... 15 = +15 мВ 16 = -16 мВ 17 = -15 мВ ... 30 = -2 мВ 31 = -1 мВ
ID4	Свободные биты могут быть использованы как идентификационные или номер версии	

Примечание: При запуске режима распознавания первой волны убедитесь, что старшие 5 битов имеют значения по умолчанию. Особенно бит 29 должен быть 1.

3 Регистры и коммуникации

Регистр 5 (адрес 5):



Параметр	Описание	Установки
CONF_FIRE	Конфигурация выхода для генератора импульсов 3'b 011 не разрешается	Бит 31 = 1: FIRE_BOTH (инвертирует FIRE_DOWN) Бит 30 = 1: разрешает выход FIRE_UP Бит 29 = 1: разрешают выход FIRE_DOWN

3 Регистры и коммуникации

EN_STARTNOISE	Разрешает дополнительный шум для канала старта	1 = включение модуля шума
DIS_PHASESHIFT (DIS_PHASENOISE)	Модуль шума фазы. Улучшает результаты измерения и запускается, когда стартовый импульс генерирования производится от тактового сигнала GP2 (например через генератор запускающих импульсов fire puls)	1 = запрещает шум фазы 0 = разрешает шум фазы
REPEAT_FIRE	Число повторений последовательности импульсов для „квазиобзвона“ ("quasi-sing-around")	0 = нет повторения сигнала 1 = 1 повторение сигнала 2 = 2 повторения сигнала... 7 = 7 повторений сигнала
PHASE_FIRE	разрешает реверсирование фазы для каждого импульса последовательности вплоть до 15 возможных импульсов	0 = нет инверсии 1 = инверсия
ID5	Свободные биты используются как идентификационные или номер версии	

Регистр 6 (адрес 6):

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7-0	
																									ID6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EN_ANALOG	NEG_STOP_TEMP			DA_KORR						TW2	EN_INT[3]	START_CLKHS	CYCLE_TEMP	CYCLE_TOF	HZ60	FIREO_DEF	QUAD_RES	DOUBLE_RES	TEMP_PORTDIR				ANZ_FIRE[4-6]		

Параметр	Описание	Установки
EN_ANALOG	Активирует аналоговую часть ультразвукового измерителя потока. Если активный, то эта секция записывается только на время измерения для экономии потребления тока. СТОП 1 и СТОП 2 аналоговые входы и могут быть автоматически выбраны встроенным мультиплексером	0 = СТОП1 и СТОП2 являются цифровыми входами (совместимость с TDC-GP2) 1 = используется аналоговая секция.
NEG_STOP_TEMP	Инвертирует SenseT входной сигнал. Это обязательно, когда внутренний компаратор используется взамен внешнего, как в TDC-GP2	0 = внешняя 74HC14 (TDC-GP совместимость) 1 = используется внутренний триггер Шмитта

3 Регистры и коммуникации

DA_KORR	Устанавливает смещение компаратора от -8 мВ до +7 мВ 2-х полярное	7 = 7 мВ 6 = 6 мВ 1 = 1 мВ 0 = 0 мВ	15 = - 1 мВ 14 = - 2 мВ... 9 = - 7 мВ 8 = - 8 мВ
TW2	Таймер заряжает конденсатор рекомендуемой RC цепи во время использования внутренней аналоговой части	Время заряда: 0 = 90 мкс 1 = 120 мкс 2 = 150 мкс 3 = 300 мкс	
EN_INT	Источник дополнительного прерывания. См. также регистр 2 для младших 3-х битов EN_INT. Различные источники ИЛИ (OR). В EEPROM режиме, например EEPROM_COMPARE будет обслужен TDC-GP21 и особенно востребован, когда запись EEPROM может длиться до 130 мс. Индикация завершения будет здесь полезной	1 = конец операций EEPROM	
START_CLKHS[2]	Старшие биты устанавливают время стабилизации частоты высокоскоростного осциллятора. младшие биты размещены в регистре 0, биты 20 и 21.	0 = отключены 1 = постоянно включены 2 = 480 мкс задержка 3 = 1,46 мс 4 = 2,44 мс от 5 до 7 = 5,14 мс	
CYCLE_TEMP	Выбирает таймер для запуска второго измерения температуры кратное 50/60 Гц	0 = 1 1 = 1,5 2 = 2 3 = 2,5	
CYCLE_TOF	Выбирает таймер для запуска второго измерения ToF кратное 50/60 Гц	0 = 1 1 = 1,5 2 = 2 3 = 2,5	
HZ60	TDC-GP22 может производить полное измерение потока вверх и вниз, а также два измерения температуры в цикл. Временной интервал между двумя измерениями базируется на 50 или 60 Гц.	0 = 50 Гц база, 20 мс 1 = 60 Гц база, 16,67 мс	
FIREO_DEF	Определяет уровень по умолчанию неактивного буфера FIRE. Например если FIRE_UP активен, то FIRE_DOWN будет подключён к уровню по умолчанию. Установка 1 обязательна, когда используется внутренняя аналоговая секция	0 = высокий-Z (как в GP2) 1 = низкий	
QUAD_RES	Опция улучшения разрешения по фактору 4 с 90 пс до 22 пс может быть использована только в режиме измерения 2	0 = выключено (TDC-GP2 режим) 1 = включено	

3 Регистры и коммуникации

DOUBLE_RES	Удваивает разрешение от 90 пс до 45 пс. В режиме измерения 1 эта опция ограничивает число входов стопов до одного (Stop 1)	0 = выключено (TDC-GP2 режим) 1 = включено
TEMP_PORTDIR	Порты для измерения температуры измеряют в противоположном порядке	0 = PT1 > PT2 > PT3 > PT4 1 = PT4 > PT3 > PT2 > PT1
ANZ_FIRE[6:4]	Старшие 3 бита числа запускающих импульсов (Fire puls). Смотри также регистр 0. Если ANZ_FIRE > 15 то PHFIRE больше неактивен.	0 = отключён 1 = 1 импульс 2 = 2 импульса ... 127 = 127 импульсов

3.2 Регистры чтения

Регистры результата и статуса могут быть считаны посредством рабочего кода 'hBX. Этот код состоит из 4, 2 или 1 байт, в зависимости от адреса.

Биты идентификационного регистра ID в регистрах конфигурации могут быть считаны в обратном порядке посредством команды 'hB7. Её код состоит из 7 байт в порядке ID0, ID1 ... ID6, при этом младший бит MSB расположен первым.

Таблица 3-2: Регистры чтения

Адр.	Символ	бит	Описание										
0	RES_0	32	Результат измерения 1, число с фиксированной точкой с 16 целыми и 16 дробными цифрами 2^{15} $2^0, 2^{-1}$ 2^{-16}										
1	RES_1	32	Результат измерения 2, число с фиксированной точкой с 16 целыми и 16 дробными цифрами										
2	RES_2	32	Результат измерения 3, число с фиксированной точкой с 16 целыми и 16 дробными цифрами										
3	RES_3	32	Результат измерения 4, число с фиксированной точкой с 16 целыми и 16 дробными цифрами										
4	STAT	16	15	14	13	12	11	10	9	8 - 6	5 - 3	2 - 0	
			EEPROM_eq_CREG	EEPROM_DED	EEPROM_Error	ошиб ка корот кое за мыка ние	ошиб ка связь прерва на	сбой счёт чик	сбой TDC	количес во событий на канале Ch2	количес во событий на канале Ch1	указа тель регистра результатов	
5	REG_1	8	Содержимое старших 8 битов регистра записи 1 используется для тестирования коммуникаций										
8	PW1ST	8	Ширина импульса первой волны в сравнении с измеренными событиями, 1 битное целое число с фиксированной точкой										

3 Регистры и коммуникации

3.2.1 Регистры результатов

Структура данных и заполнение регистров результата зависит от рабочего режима и того будут ли откалиброваны или неоткалиброваны накопленные данные. Несколько случаев должны быть особо отмечены:

- Только в режиме измерений 1 возможны результаты с минусом.
- В режиме измерений 2 возможны только результаты со знаком плюс, выдаваемые как числа без знака.
- Некалиброванные измерения возможны только в измерительном режиме 1.
- Измеряемые временные интервалы в режиме измерений 1 с калиброванными данными (ALU) не должны превышать период калиброванных тактов больше чем вдвое. В случае измерения более длительных временных интервалов происходит переизбыток ALU и в соответствующем регистре результатов будет сделана запись 'hFFFFFFF.

А. Режим измерения 1 с калиброванными данными (Calibrate = 1)

Результаты получаются кратными внутренней тактовой частоте (она равна внешней тактовой частоте делённой на 1, 2 или 4 (DIV_CLKHS)). Откалиброванные данные представляют собой 32-х битных числа с фиксированной точкой с 16 целыми и 16 дробными. Таким образом любой откалиброванный результат располагается в 1 регистре результата. Последовательность данных начинается со старших бит (2^{15}) и заканчивается младшими (2^{-16}). Результат формируется в дополнительном двоичном коде.

$$\text{Time (время)} = \text{RES_X} * T_{\text{ref}} * 2^{\text{ClkHSDiv}} = \text{RES_X} * T_{\text{ref}} * N, \text{ при } N = 1, 2 \text{ или } 4$$

$$\text{Time (время)} < 2 * T_{\text{ref}} * 2^{\text{ClkHSDiv}}$$

Б. Режим измерения 1 без калибрации (Calibrate = 0)

Некалиброванные данные относятся к типу целое число со знаком и накапливаются как 16 битные величины в старшем слове регистров результата. Биты в младшем слове устанавливаются в ноль. Результат представлен как число младшего разряда LSB в дополнительном двоичном коде.

$$\text{Time (время)} = \text{RES_X} * \text{LSB} \sim \text{RES_X} * 90 \text{ ps}$$

В. Режим измерения 2

В режиме измерения 2 TDC-GP21 поддерживает только измерения с калибровкой. Результаты получаются кратными внутренней тактовой частоте (она равна внешней тактовой частоте делённой на 1, 2 или 4 (DIV_CLKHS)). Откалиброванные данные представляют собой 32-х битные числа с 16 целыми и 16 дробными. Таким образом любой откалиброванный результат располагается в одном регистре результата. Последовательность данных начинается на старшем бите (2^{15}) и заканчивается младшим (2^{-16}). Результат

3 Регистры и коммуникации

формируется в дополнительном двоичном коде.

Time (время) = RES_X * T_{ref} * 2^{ClkHSDiv} = RES_X * T_{ref} * N, при N = 1, 2 или 4

Г. Измерение температуры

Длительность разряда получается в том же формате данных, как и в режиме измерения 2.

Отношение времён разряда соответствует отношению сопротивлений:

$$R_T = R_{ref} * \tau_T / \tau_{ref}$$

3.2.2 Регистры состояния

Таблица 3-3: Регистры состояния

биты	название	описание	показатель
2 – 0	указатель регистра результатов	указатель следующего свободного регистра результатов	
5 – 3	число хитов на канале 1	число хитов, зарегистрированных на канале 1	
8 – 6	число хитов на канале 2	число хитов, зарегистрированных на канале 2	
9	блокировка по времени TDC	показывает перегрузку модуля TDC	1 = перегрузка
10	блокировка по времени предварительного счётчика	показывает перегрузку 14- битного предварительного счётчика в MR 2	1 = перегрузка
11	ошибка, прервано соединение	индицирует обрыв соединения в цепи датчика при температурных измерениях	1 = обрыв
12	ошибка короткое замыкание	индицирует короткое замыкание в цепи датчика при температурных измерениях	1 = короткое замыкание
13	EEPROM_eq_CREG	индицирует, соответствует ли содержимое регистра конфигурации содержимому EEPROM	1 = соответствует
14	EEPROM_DED	индикация двойной ошибки. Многократные ошибки могут быть обнаружены, но не могут быть исправлены.	1 = многократная ошибка
15	EEPROM_Error	однократная ошибка в EEPROM, которая может быть скорректирована	1 = ошибка

3.2.3 PW1ST Register

Этот регистр содержит 8-ми битное число с фиксированной точкой с 1 целым и 7 дробными. PW1ST показывает отношение ширины первой полуволны (по заданному смещению) по сравнению с полупериодом полученного сигнала. Смотрите раздел 4.4 для дальнейших подробностей.

Диапазон данных: от 0 до 1,99219

3 Регистры и коммуникации

3.3 EEPROM

TDC-GP22 имеет в своём составе 7x32 бит EEPROM. Эта память может быть использована для накопления данных конфигурации совместно с идентификационным номером ID и номером версии. Только следующие 3 действия с EEPROM возможны:

- Запись содержимого регистра конфигурации в EEPROM
- Передача содержимого EEPROM в регистр конфигурации
- Сравнение содержимого регистра конфигурации с EEPROM

За исключением ID в EEPROM читать обратно невозможно. Это позволяет производителю самостоятельно программировать чип и защищать его от считывания конфигурации кем-то другим.

Для проверки возможно сравнение регистра конфигурации с EEPROM. Бит EEPROM_eq_CREG в регистре состояния показывает соответствие содержания.

EEPROM имеет встроенную коррекцию ошибок (Код Хэмминга). Это позволяет

- найти и исправить ошибки одного единственного бита,
- найти ошибки нескольких битов без исправления

Ошибки индицируются в регистре состояния, биты EEPROM_Error (единичный бит) и EEPROM_DED (нахождение двойных ошибок).

*****С каждым доступом к чтению / сравнению в EEPROM происходит проверка ошибок бита. В случае обнаружения одиночных ошибок бита цикл обновления запускается автоматически и данные восстанавливаются.

Данные сохраняются в EEPROM более 10 лет при 85°C без единичных или многократных ошибок. При регулярном использовании команды Compare_EEPROM (например, один раз в месяц) сохранение данных может быть расширено до неограниченного срока.

3.4 SPI-интерфейс

Последовательный интерфейс совместим со стандартом 4-х проводного SPI-интерфейса. Ему необходим сигнал SerialSelectNot (SSN) и он не может работать как 3-х проводной интерфейс. То есть задействованы следующие линии

SSN	- Slave Select
SCK	- SPI Clock
SI	- SPI Data in

* Нет общей спецификации SPI, особенно по фазе и полярности. Для некоторых микроконтроллеров возможно потребуются различные установки, например MSP430 работает с Clock Phase = Clock Polarity = 0

3 Регистры и коммуникации

SO - SPI Data Out

TDC-GP22 поддерживает только следующий SPI режим (спецификация Motorola)*:

Clock Phase Bit = 1

Clock Polarity Bit = 0

SCK стартует с низкого LOW, данные выбираются по фронту спада SCK. Временные диаграммы показаны в разделе 2.3.

Первый возрастающий фронт SCK сбрасывает вывод INTN (прерывание).

SSN как сброс

Линия SerialSelectNot (SSN) является активным по высокому уровню сбросом для последовательного интерфейса. После установки SSN на LOW различные операции могут быть адресованы независимо от состояния интерфейса перед сбросом.

Примечание:

Необходимо установить линию SSN в высокое состояние как минимум на 50 нс между каждой последовательностью Записи/Считывания.

Рабочие коды

Таблица 3-4: Команды

Hex	MSB					LSB				Описание	соответствует	новое
	1	0	0	0	0	A2	A1	A0				
'h8x	1	0	0	0	0	A2	A1	A0	Запись в адрес A	24 бита или 32 бита данных		
'hBx	1	0	1	1	0	A2	A1	A0	чтение из адреса A	8, 16 или 32 бита данных		
'hB7	1	0	1	1	0	1	1	1	чтение идентификационных ID битов	56 битов ID'S	×	
'hB8	1	0	1	1	1	0	0	0	чтение PW1ST	8 бит	×	
'hC0	1	1	0	0	0	0	0	0	запись конфигурационных регистров в EEPROM		×	
'hF0	1	1	1	1	0	0	0	0	транспортировка содержания EEPROM в конфигурационные регистры		×	

3 Регистры и коммуникации

Hex	MSB			LSB			Описание	соответствует	новое		
'hC5	1	1	0	0	0	1	1	0	Сравнение конфигурационных регистров с EEPROM		×
'h70	0	1	1	1	0	0	0	0	Init инициация работы		
'h50	0	1	0	1	0	0	0	0	Power On Reset полная перезагрузка		
'h01	0	0	0	0	0	0	0	1	Start_TOF (старое обозначение: Start_Cycle)		
'h02	0	0	0	0	0	0	1	0	Start_Temp		
'h03	0	0	0	0	0	0	1	1	Start_Cal_Resonator		
'h04	0	0	0	0	0	1	0	0	Start_Cal_TDC		
'h05	0	0	0	0	0	1	0	1	Start_TOF_Restart		×
'h06	0	0	0	0	0	1	1	0	Start_Temp_Restart		×

Передача данных начинается с младших разрядов MSB и заканчивается посылкой старших бит LSB. Данные передаются по одному байту. Транспортировка данных может быть остановлена после каждого байта путём посылки LOW-HIGH-LOW на линию SSN.

Пример:

h80 + 3 байта будут записаны в конфигурационный регистр 0 в режиме, совместимом с TDC-GP2.

h80 + 4 байта будут записаны в конфигурационный регистр 0 включая IDO (только для TDC-GP21).

Дополнительное автоматическое расширение адреса при записи невозможно. Каждый адрес регистра должен быть указан отдельно.

3.4.1 Объяснение рабочих команд

- 'hC0, 'hF0, 'hC6 относятся к командам EEPROM. Они могут продолжаться 130 мс, особенно запись EEPROM. Поэтому бит 3 EN_INT в регистре 6 показывает окончание операции с EEPROM. Это может быть использовано для регулировки операций микропроцессора.
- 'h01, Start_TOF: запускают команду для единичного измерения время-пролётным способом. Сначала включается осциллятор 4 МГц. После задержки, необходимой для запуска осциллятора (START_CLKHS), включаются компаратор и опорное напряжение. Конденсатор приёмника заряжается до Vref, в то время как неактивный буфер запускающих импульсов подключён к земле GND. После установки задержки зарядки

3 Регистры и коммуникации

конденсатора буфер запускающих импульсов посылает импульсы (TW2). После установки задержки в DELVAL стоп канал ВЦП открыт. По окончании измерения аналоговая секция и осциллятор в 4 MHz отключаются и потребление рабочего тока близко к нулю. Устанавливается прерывание, вывод INTN = LOW.

- 'h05, Start_TOF_Restart: Эта новая команда проходит ряд Start_TOF дважды, в направлении вверх и вниз, как это свойственно приборам для измерения ультразвуковых потоков. Прерывание установлено, выход INTN = LOW, когда измерения в обоих направлениях закончены. Таким образом, для одной команды Start_TOF_Restart микропроцессор предусматривает два сбоя прерывания и должен читать дважды. Временной интервал между измерением вниз и вверх устанавливается конфигурационным параметром CYCLE_TOF кратно 50 Гц или 60 Гц. Правильный выбор задержки между двумя измерениями скрывает влияние 50/60 Гц шумов.

CYCLE_TOF	фактор	HZ60 = 0(50Hz)	HZ60 = 1(60Hz)
0	1	20 мс	16,67 мс
1	1.5	30 мс	25,00 мс
2	2	40 мс	33,33 мс
3	2.5	50 мс	41,67 мс

- 'h02, Start_Temp: запускает последовательность однократного измерения температуры. Оно начинается с фиктивного измерения (ANZ_FAKE) на порту PT0. Далее производятся измерения по портам PT0 > PT1 > PT2 > PT4. Если TEMP_PORTDIR установлено, то последовательность опроса изменяется на противоположное и начинается с PT4.
- 'h06, Start_Temp_Restart: Эта команда запускает Start_Temp последовательность дважды. Временной интервал между направлениями измерения по направлению вверх и вниз определён через конфигурационный параметр CYCLE_TEMP кратным 50 Гц или 60 Гц. Правильный выбор задержки между двумя измерениями способствует отсечению шума 50/60 Гц.

CYCLE_TEMP	фактор	HZ60 = 0	HZ60 = 1
0	1	20 мс	16,67 мс
1	1.5	30 мс	25,00 мс
2	2	40 мс	33,33 мс
3	2.5	50 мс	41,67 мс

- 'h03, Start_Cal_Resonator: Запускает калибровку измерения высокоскоростного осциллятора. ВЦП измеряет временной интервал между 61 мкс и 488 мкс, специфицированный в ANZ_PER_CALRES. Окончание измерения обозначается прерыванием. Результаты многократных или высокоскоростных измерений

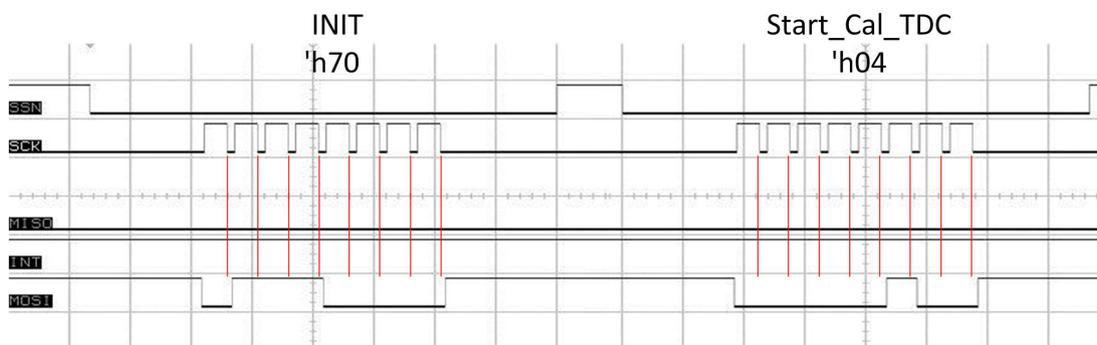
3 Регистры и коммуникации

сохраняются в регистре результатов 0. Деление их на теоретические значения даёт фактор корректировки.

- 'h04, Start_Cal_TDC: Эта команда запускает измерение 2 периодов опорной частоты. Она используется для обновления калибровки необработанных данных. Обычно микросхема конфигурирована на автоматическую калибровку и эта команда не важна.

3.4.2 SPI - Пример

Фигура 3-1: Образец осциллограммы для последовательности INIT 'h70 и Start_Cal_TDC = 'h04



4 Внешний аналоговый интерфейс преобразователя

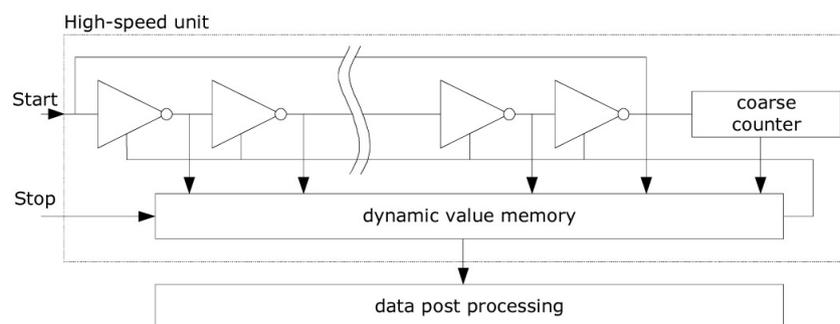
4.1 ВЦП - Режим измерения 1

4.1.1 Общее описание

- Диапазон измерения от 3,5 нс до 2,4 мкс (0 до 2,4 мкс между каналами стоп)
- 2 канала стоп относятся к одному каналу старт, каждый с тип. разрешением в 90 пс.
- 1 канал стоп относится к одному каналу старт с тип. разрешением в 45 пс.
- Разрешение парных импульсов составляет 20 нс.
- Способность к 4-х кратным импульсам multihit для каждого стоп канала
- Возможность выбора чувствительности по нарастающему/спадающему фронтам для каждого канала
- Вывод включения режима работы с окнами
- Возможность произвольного измерения всех событий по отношению друг к другу
- Типовые сферы использования: обработка сигналов лазерных, ультразвуковых, радиочастотных измерителей

Цифровые ВЦП используют внутреннюю задержку распространения сигналов по вентилям для того, чтобы осуществлять измерение временных интервалов с наиболее высокой точностью. Фигура 4.1 разъясняет принцип устройства такого ВЦП абсолютного времени. Умное устройство схемы, резервные цепи и специальные методы расположения на чипе дают возможность воспроизведения точных номеров вентиляей, которые проходит сигнал. Возможность максимального разрешения строго зависит от максимальной задержки распространения сигнала по вентилям.

Фигура 4.1



4 Внешний интерфейс преобразователя

Измерительный модуль запускается сигналом START и останавливается сигналом STOP. На основании позиций кольцевого осциллятора и счётчика грубых показаний временной интервал между START и STOP предполагает диапазон измерения в 20 бит.

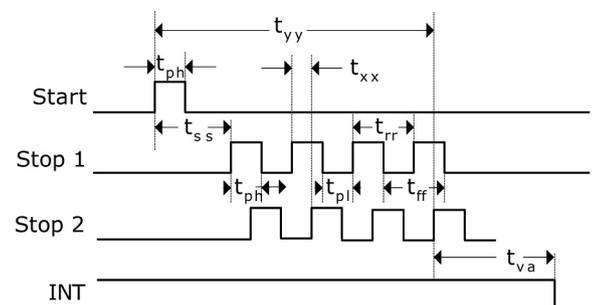
Размер минимального разряда (LSB) составляет обычно 90 пс на 3,3 В и 25 °С температуры среды. Среднеквадратичные шумы RMS составляет 60 пс (0.7 LSB). Задержка прохождения сигнала через вентили находится в зависимости от температуры и напряжения. Обычно все влияния компенсируются после калибровки. Во время калибровки ВЦП измеряет 1-ый и 2-й периоды тактовой частоты.

Измерительный диапазон ограничен ёмкостью счётчика:

$$t_{yy} = \text{BIN} \times 26224 \sim 90 \text{ пс} \times 26224 = 2,4 \text{ мкс}$$

	Время (Условия)	Описание
t _{ph}	2,5 нс (мин.)	Мин. ширина импульса
t _{pl}	2,5 нс (мин.)	Мин. ширина импульса
t _{ss}	3,5 нс (мин) 2,4 мкс (макс)	от старта к стопу
t _{tr}	20 нс (тип..)	от нарастающего фронта к нарастающему фронту
t _{ff}	20 нс (тип.)	
t _{va}	откалиброван, результат нужно определить, неоткалиброван, нужно определить результат	последний хит к действительным данным
t _{xx}	время не ограничено	
t _{yy}	2,4 мкс (макс)	Макс. диапазон измерения = 26224 * LSB

Figure 4.2



Входные цепи

Каждый вход может быть отдельно установлен на восприятие нарастающего или спадающего фронта или обоих фронтов. Это производится в регистре 0, биты от 8 до 10. (NEG_START, NEG_STOP1, NEG_STOP2) и регистре 2, биты 27&28, RFEDGEх.

Кроме того все входы Start/Stop поддерживают высокий активный уровень.

4 Внешний интерфейс преобразователя

4.1.2 Измер

4.1.3

4.1.4 Измерительный поток

Конфигурирование

В начале TDC-GP22 должен быть сконфигурирован. Основными установочными параметрами для измерительного диапазона 1 являются:

А. Выбор измерительного режима 1

Регистр 0, бит 11, MESSB2 = 0.

Регистр 6, бит 12, DOUBLE_RES = 1 выбор двойного разрешения по точности. При этой установке типовое разрешение составляет 45 пс вместо 90 пс, но только один канал STOP доступен.

Б. Выбор опорной частоты (см. также раздел 5.1)

Биты 18 и 19 в регистре 0 и бит 20 регистра 6 START_CLKHS определяет линию поведения высокоскоростного генератора тактовых импульсов при запуске (длительность и тип запуска). При использовании только 32 кГц должно быть установлено „0“ состояние. Если используется только сверхскоростной генератор тактовых импульсов, то установка должна быть в „1“ (постоянно включён).

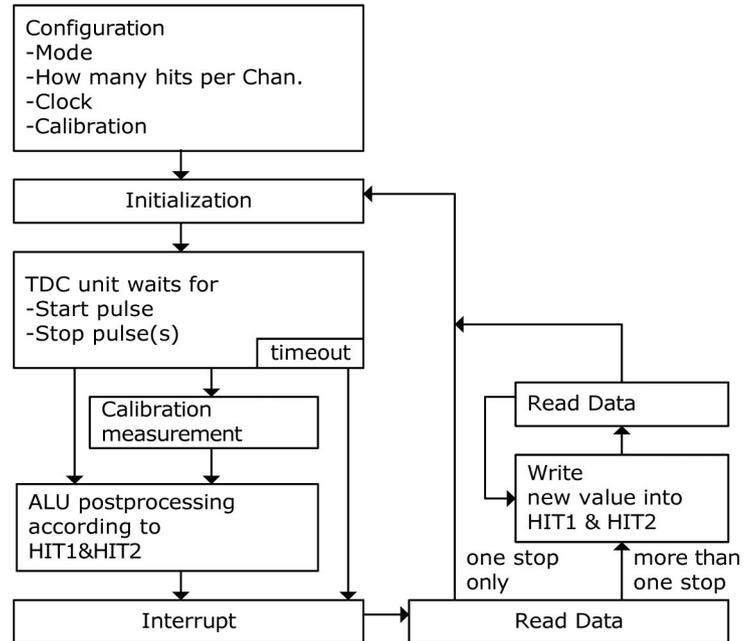
Регистр 0, биты 20 & 21, DIV_CLKHS запускают дополнительный внутренний делитель опорной частоты (1,2 or 4). Это важно для откалиброванных измерений в измерительном диапазоне 1, поскольку ALU работает правильно только если $2 * T_{ref}(intern)$ больше чем максимальный измеряемый временной интервал. В противном случае выход ALU будет показывать 'hFFFFFFF.

Убедитесь также, что $2 * T_{ref}(intern) < 2,4$ мкс, чтобы избежать время простоя (тайм аут) во время калибровки.

В. Установка числа ожидаемых событий hits.

В регистре 1, биты от 16 до 18 и от 19 до 21, HITIN1 и HITIN2 пользователь должен определить число событий hit, которое ожидается на TDC-GP21. Возможны максимум 4 на каждом канале. TDC-GP22 производит измерения до тех пор, пока установленное число событий hits не будет зарегистрировано или не пройдёт

Фигура 4.3



4 Внешний интерфейс преобразователя

„тайм-аут“.

Г. Выбор калибровки

Так же как BIN изменяется в зависимости от температуры и напряжения, ALU в TDC-GP22 может производить внутреннюю калибровку результатов. Эта опция включается путём установки регистра 0, бит 13, CALIBRATE = „1“. Производить эту операцию рекомендуется производителям.

С целью калибровки ВЦП измеряет 1 и 2 цикла опорной частоты. Два комплекта данных накапливаются как Cal1 и Cal2.

Существуют два пути модификации данных калибровки Cal1 и Cal2:

- Калибровка путём посылки команды Start_Cal_TDC через SPI интерфейс
- Автоматическая модификация путём установки регистра 0, бит 12, NO_CAL_Auto = „0“. Чаще всего используется последний способ.

Д. Определение процедур обработки данных ALU

В то время как модуль ВЦП может производить измерение до 4 событий hits на каждом канале, пользователь свободен в выборе того, что ALU должен вычислять. Установки производятся в регистре 1, биты от 16 до 19 и от 20 до 23, HIT1 и HIT2. Оба эти параметра могут быть установлены:

0 = Start

1 = 1. Stop Ch1 9 = 1. Stop Ch2

2 = 2. Stop Ch1 A = 2. Stop Ch2

3 = 3. Stop Ch1 B = 3. Stop Ch2

4 = 4. Stop Ch1 C = 4. Stop Ch2

6 = Cal1 Ch1

7 = Cal2 Ch1

ALU вычисляет Hit1 - Hit2.

В случае, если калибровка активна, ALU производит полный расчёт калибровки (за исключением когда считываются данные калибровки. В этом случае ALU записывает необработанные данные Cal1/Cal2 в регистр

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

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

$$Time = RES_X \times T_{ref} \times 2^{ClkHSDiv} = RES_X \times T_{ref} \times I$$

Пример:

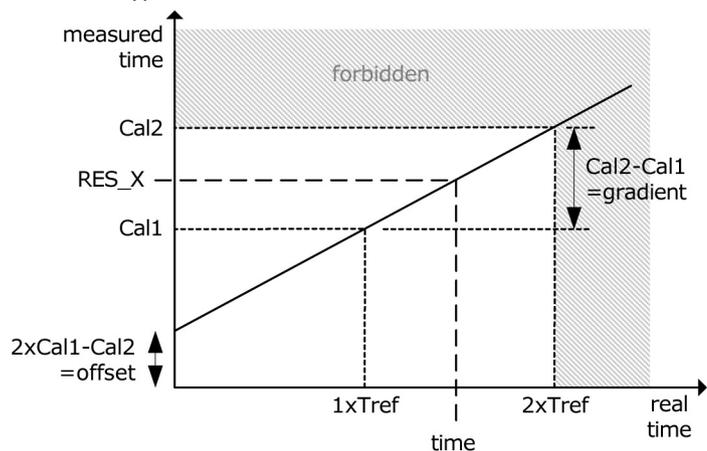
Reg1 = 0x01xxxx - 1st Stop Ch1-Start

Reg1 = 0x2Bxxxx - 3rd Stop Ch2-2nd Stop Ch1

Reg1 = 0x06xxxx - Cal1

выхода). N = 1, 2 или 4.

Фигура 4.4



4 Внешний интерфейс преобразователя

Е. Выбор чувствительности входа

В регистре 2, биты 27 & 28, RFEDGE1 and RFEDGE2, пользователь может выбирать между чувствительностью входов стопа по нарастающему или спадающему фронту (RFEDGE = „0“) или по нарастающему и спадающему фронтам одновременно (RFEDGE = „1“).

В регистре 0, битами от 8 до 10 пользователь может добавить внутренний инвертор на каждый из входов, Start, Stop1 и Stop2. При RFEDGE = „0“ это будут те же нарастающий (NEG_X = „0“) или спадающий (NEG_X = „1“) фронты.

Ж. Поведение прерывания

Вывод прерывания 8, INT может иметь различные источники. Они выбраны в регистре 2, биты от 29 до 31, EN_INT и регистре 6, бит 21.

Reg 2 bit 29 = 1 ALU готов

Reg 2 bit 30 = 1 Число установленных событий hits имеется

Reg 2 bit 31 = 1 Тайм аут модуля ВЦП

Reg 6 bit 21 = 1 конец работы с EEPROM

Различные опции могут быть подключены по схеме ИЛИ для разрешения более чем одного источника. Первый нарастающий фронт SCK возвращает вывод INTN в исходное положение (прерывание).

После конфигурации пользователь должен установить TDC-GP21 в исходное положение посылкой команды “Init” для того чтобы ВЦП мог принимать события hits Start и Stop.

Измерение

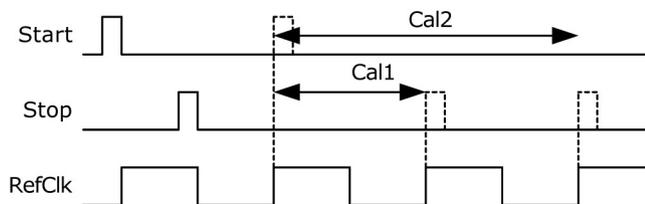
После возвращения в исходное положение модуль ВЦП запускается с поступлением первого импульса на входе старта Start. Это будет продолжаться до тех пор пока:

- установленное число событий hits будет распознано (максимум 4 на обоих каналах stop в режиме измерения 1)
- или до тех пор, пока не произойдет простой (таймаут) В конце измерительного диапазона (на примерно 2,4 мкс в режиме 1).

Необработанные данные измерения времени накапливаются во внутренней памяти. Число событий hits можно просмотреть в регистре состояния, биты от 3 до 8. В случае, если производится калибровка, ВЦП измеряет один и два периода внутренней опорной частоты ($T_{ref} * 1, 2$ или 4). Необработанные данные калибровки Cal1 и Cal2 также накапливаются во внутренней памяти.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Фигура 4.5



Обработка данных

По окончании измерений ALU начинает обработку данных в соответствии с установками HIT1, HIT2 и передаёт результаты в регистр выхода. При отключённой калибровке ALU передаёт 16 бит необработанных данных в регистр выхода. В режиме калибровки ALU делает расчёты в соответствии с 4.1.2.e и передаёт 32-х битное число с фиксированной точкой в регистр выхода.

ALU может быть отключён при конфигурации HIT1=HIT2=5.

Время, необходимое ALU для работы зависит от того, включена ли калибровка или нет и от подачи напряжения питания.

Таблица 3.1: таймирование ALU

	без калибровки	с калибровкой
3,3 В	надо определить	надо определить
2,5 В	надо определить	надо определить

Чтение данных

Теперь пользователь может считывать данные путём отправки команды-кода 10110ADR. Со следующими 16-тью циклами тактов (некалиброванные данные) или 32-мя циклами тактов (калиброванные данные) TDC-GP21 посылает результат, при этом он начинает со старшего бита (MSB). Первый нарастающий фронт SCK осуществляет сброс на выводе INTN (прерывание).

А. Формат данных без калибровки :

16 битное знаковое число в дополнительном двоичном коде. 1BIN = некалиброванная задержка по вентилю около 90 пс при 3,3 В и 25 °С.

$$\text{Time} = \text{RES_X} \times 90 \text{ пс}$$

Как только данные из регистра выхода будут доступны, устанавливается флаг прерывания (предполагается, что прерывание ALU запущено, см. рег. 2, EN_INT). Далее указатель загрузки регистра выхода увеличивается на 1 и указывает на следующую свободную память. Положение указателя загрузки в настоящий момент видно из регистра состояния, Биты от 0 до 2.

```

Пример:
configuration
...
write reg 1=`h014400 4 hits on channel 1 calculate 1 Stop-Start
...
Initialize
...
while(Check interrupt flag)
write reg 1=`h024400 calculate 2nd-Start
wait (4.6 mks)
write reg 1=`h034400 calculate 3rd Start
wait (4.6 mks)
write reg 1=`h044400 calculate 4th Start
wait (4.6 mks)
Теперь все данные по событиям Hit можно получить из
регистра от 0 до 3. Указатель загрузки на 4
    
```

4 Внешний интерфейс преобразователя

В. Формат данных с калибровкой:

32-х битное число с фиксированной точкой в дополнительном коде. Результат получается кратным опорной тактовой частоте.

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

Измеряемые временные интервалы не должны превышать, иначе произойдёт перегрузка ALU и в регистре выхода будет сделана запись 'hFFFFFFF'.

Конфигурация ALU допускает только одно вычисление событий hit за указанное время. В случае, если нужно измерить больше чем одно событие, важно записать новые команды в HIT1/HIT2, чтобы дать АЛУ инструкцию для расчёта других событий hit. После записи в HIT1/HIT2 важно подождать некоторое время (его величина должна быть определена в мкс для откалиброванных данных или в нс для неоткалиброванных данных) перед тем, как будут производиться новая запись или новое чтение в HIT1/HIT2.

В конце TDC-GP22 должен быть установлен в исходное состояние для следующих измерений. Это производится через посылку команды-кода „Init“ для того, чтобы ВЦП смог принимать новые Start и Stop события hit.

4.2 ВЦП - режим измерения 2

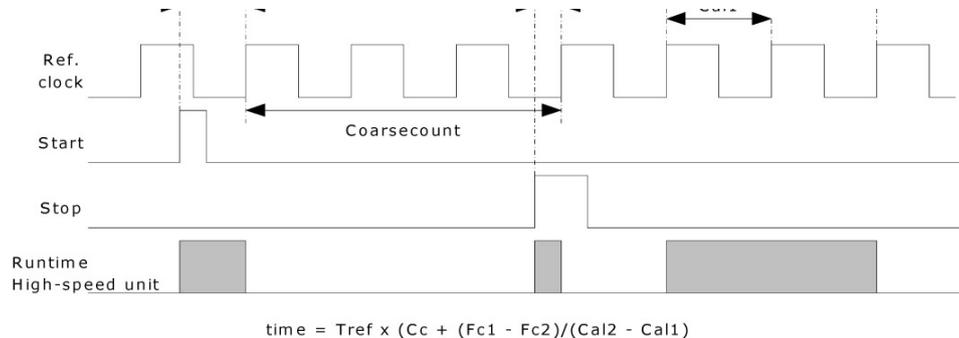
4.2.1 Общее описание

- 1 канал стопа соответствует одному каналу старта
- Типовое разрешение 22 пс / 45 пс / 90 пс
- Измерительный диапазон 2 x Tref до 4 мс при 4МГц
- 2 x Tref разрешение пар импульсов
- способность разрешения 3-х событий одновременно (multihit)
- возможность выбора чувствительности к нарастающему/спадающему фронтам
- встроенная программируемая система временной фильтрации по каждому стопу с точностью в 10 нс
- используется в ультразвуковых счётчиках потоков жидкостей и тепла

Метод измерения цифровых ВЦП базируется на измерении задержки сигнала, проходящего по внутренним вентилям (смотри также диапазон измерения 1, раздел 4). В измерительном режиме 2 максимальный интервал по времени увеличен за счёт использования дополнительного делителя. Однако, разрешение в LSB остаётся при этом неизменным. В этом режиме ВЦП производит не прямые измерения временного интервала, а вычисляет его через разность между передними фронтами START и STOP сигналов и следующими за ними нарастающими фронтами опорной частоты с использованием в процедуре точного счётчика, см. фиг. 4.6. Между точными расчётами ВЦП считает число периодов опорной частоты (производит грубое измерение).

4 Внешний интерфейс преобразователя

Фигуры 4.6



В этом режиме величина BIN (LSB), также как и в режиме 1 составляет порядка 90 пс при 3,3 В и 25 °С температуры окружающей среды. Среднеквадратичный шум RMS примерно 60 пс (0,7 LSB). Время задержки прохождения сигналов через вентили строго зависит от температуры и напряжения. Результат измерения в режиме 2 это сумма результатов грубых измерений и разностей точных. Поэтому в измерительном режиме 2 так важна калибрация. Во время калибровки ВЦП измеряет 1-й и 2-й периоды опорной частоты.

Откалиброванный результат не зависит от температуры и напряжения питания.

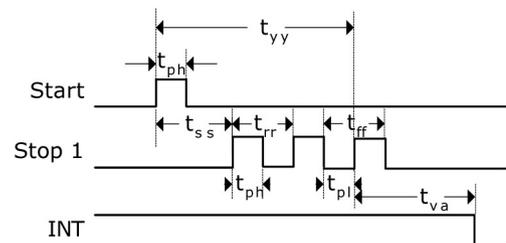
Диапазон измерения ограничен по величине ёмкости грубого счётчика :

$$t_{yy} = T_{\text{ref}} \times 2^{14} = 4,1 \text{ мс при } 4 \text{ МГц}$$

Временной интервал между START и STOP вычисляется в пределе диапазона измерения 26 бит.

Фигура 4.7

	Время (условия)	Описание
t_{ph}	2,5 нс (мин.)	Минимальная ширина импульса
t_{pl}	2,5 нс (мин.)	Минимальная ширина импульса
t_{ss}	$2 \times T_{\text{ref}}$	от Start к Stop при Dis_PhaseNoise=1
t_{rr}	$2 \times T_{\text{ref}}$	от нарастающего до нарастающего фронта
t_{ff}	$2 \times T_{\text{ref}}$	от спадающего до спадающему фронта



4 Внешний интерфейс преобразователя

Регистр 0, биты 20 и 21, ClkHSDiv запускают дополнительный внутренний делитель опорной частоты (1,2 или 4). Выбор оказывает влияние на минимальный временной интервал

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

и максимальный временной интервал

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

далее важно, чтобы

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

В противном случае ALU будет перегружен во время калибрования и запишет 'hFFFFFFF' как входные данные.

Пожалуйста запомните:

Полученная в результате применения делителя частота должна находиться в допустимом диапазоне от 2 МГц до 8 МГц при однократном и двукратном разрешении и от 2 МГц до 6 МГц при четырёхкратном разрешении.

В. Установка числа ожидаемых событий hits.

В регистре 0, биты от 16 до 18, HITIN1 пользователь должен установить количество событий hits, ожидаемых TDC-GP22. Возможны максимум 3 события на канале 1. Число HITIN1 всегда должно быть на 1 больше, чем число ожидаемых событий hit, потому что Старт (Start) тоже считается событием hit. TDC-GP22 производит измерения до тех пор, пока заданное число событий будет зарегистрировано или произойдёт прерывание. Регистр 0, биты от 11 до 13, HITIN2 должен быть установлен на „0“.

Пример:

ожидаются 2 импульса стоп:

HITIN1 = 3, HITIN2 = 0

Г. Выбор калибрации

Калибрация включается через установку регистр 0, бит13, Calibrate = „1“ (registr 0, Bit13, Calibrate = „1“). Это обязательная установка. С целью калибрования ВЦП измеряет 1 и 2 циклы опорной частоты. Два комплекта данных накапливаются как Cal1 и Cal2.

Существуют два пути обновления данных калибрования Cal1 и Cal2:

- Отдельное калибрование путём отправки команды-кода Start_Cal_TDC по последовательному интерфейсу SPI
- Автоматическое обновление через установку регистра 0, бит 12, NO_AUTO_CAL = „0“. В большинстве случаев предпочтение отдаётся этой установке.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Д. Определение обработки данных по АЛУ (ALU)

В то время как ВЦП может измерять до 3-х событий hit, ALU может делать расчёты только для одного события hit за один раз. Установки производятся в регистре 1, биты от 24 до 27 и 28 до 31, HIT1 и HIT2. Со стартовым импульсом Start 2 здесь обращаются как с импульсом Стоп (Stop), так как в измерительном режиме MR 2 применяется особый метод измерения.

Reg1 = 'h21xxxx = 1 стоп Ch1-Start согласно расчётам

Reg1 = 'h31xxxx = 2 стоп Ch1-Start согласно расчётам

Reg1 = 'h41xxxx = 3 стоп Ch1-Start согласно расчётам

ALU делает расчёты временных интервалов следующим образом:

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

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

Е. Выбор чувствительности входа

В регистре 2, биты 27 и 28, RFEDGE1 и RFEDGE2 пользователь может выбрать чувствительность входов стопа по нарастающему или спадающему фронту как по отдельности (RFEDGE = „0“) так и по обоим фронтам (по нарастающему и спадающему) вместе (RFEDGE = „1“). В регистре 0, биты от 8 до 10 пользователь имеет возможность дополнительно использовать внутренний инвертор для каждого входа, Start, Stop1 и Stop2. При RFEDGE = „0“ это так же, как и при нарастающем фронте (NEG_X = „0“) или спадающем фронте (NEG_X = „1“).

Ж. Поведение прерывания

Вывод INT может иметь различные источники для выбора в регистре 2, биты от 21 до 23, EN_INT, и в регистре 6 бит 21 EN_INT.

EN_INT =	биты не установлены	нет источника прерывания
	reg2 Bit29	ALU готов
	reg2 Bit30	число установленных событий hit здесь
	reg2 Bit31	превышение лимита времени (тайм-аут) модуля ВЦП
	reg6 Bit21	работа EEPROM закончена

Различные опции подключены по схеме ИЛИ. Первый нарастающий фронт SCK сбрасывает вывод INTN (прерывание). После конфигурации пользователь должен инициализировать TDC-GP22 путём отправки кода команды „Init“ для того, чтобы ВЦП мог принимать события старта и стопа (Start and Stop hits).

4 Внешний интерфейс преобразователя

Измерение

После инициализации ВЦП начинает работу с первым импульсом по входу Старт (Start). Это будет происходить до того момента, как:

- установленное число событий видно (максимум 3 на канале 1 в измерительном режиме MR 2)
- или до того, как произойдёт превышение лимита времени (тайм-аут). Тайм-аут может быть запрограммирован параллельно к установке опорной частоты Reg 3, Bits 27&28, SEL_TIMO_MR2. При 4 МГц величины будут складываться следующим образом:

SEL_TIMO_MR2 (при 4 MHz, ClkHSDiv = 0)

= 0	= 64 мкс
= 1	= 256 мкс
= 2	= 1024 мкс
= 3	= 4096 мкс

По окончании времени измерения ВЦП измеряет 2 периода опорной частоты перед калибровкой.

Обработка данных

В конце каждого измерения ALU начинает обработку данных согласно установочным параметрам HIT1, HIT2 и передаёт результаты в регистр выхода. Расчёты делаются в соответствии с 4.2.2.Д и 32-х битное число с фиксированной точкой передаётся в регистр выхода.

Время, необходимое ALU для вычислений, зависит от напряжения питания:

Таблица 4-2: Временные параметры ALU

	1 событие
3,3 В	следует определить мкс
2,5 В	следует определить мкс

Как только данные поступили в регистр выхода, устанавливается флаг прерывания (предполагается, что прерывание ALU разрешено (запущено), см. reg 2, EN_INT). Далее указатель загрузки регистра выхода увеличивается на 1 и указывает на следующую свободную память. Позиция указателя загрузки данных в текущий момент видна из регистра состояния, биты от 0 до 2.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Чтение данных

Теперь пользователь может считывать данные путём отправки команды-кода 10110ADR. Со следующими 32-мя циклами (калиброванные данные) TDC-GP22 посылает результаты, начиная при этом с основного значимого бита (MSB).

32-х битное число с фиксированной точкой в дополнительном двоичном коде представляет собой временной интервал, умноженный на опорную частоту.

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

Конфигурация ALU позволяет производить только один расчёт событий hit за определённое время. Если должно быть измерено больше, чем одно событие hit, необходимо записать новую команду в HIT1/HIT2 для того, чтобы дать указание ALU произвести расчёт другого события hit. После записи в HIT1/HIT2 важно подождать минимум 3,1 мкс перед новыми записью/чтением в HIT1/HIT2.

```

Пример:
конфигурация
...
write reg1='h214400      3 события hit на канале 1, расчёт Hit1-Start
...
Инициализация
...
while(Check interrupt flag)
write reg1='h314400      расчёт Hit2-Start
wait(4.6µs)
write reg1='h414400      расчёт Hit3-Start
wait(4.6µs)
  
```

Теперь все данные о событиях доступны в регистрах от 0 до 2. Значение указателя загрузки будет 3.

В конце TDC-GP22 должен быть инициализирован в исходное состояние для новых измерений. Это осуществляется путём отправки команды-кода „Init“, так что ВЦП может принимать новые события hit по старту Start и стопу Stop.

Первый нарастающий фронт SCK производит сброс вывода INTN (прерывание).

4.2.2 Маскирование стопа

TDC-GP22 может устанавливать временные окна маскирования для каждого из трёх событий hit на входе Stop1, если не принято ни одного события hit. Это маскирование относится к начальному (стартовому) событию и имеет погрешность менее 10 нс.

Внутренний разрешающий модуль соединён с внешним разрешающим выводом по логической схеме И (AND).

4 Внешний интерфейс преобразователя

Внешний разрешающий вывод должен быть установлен в "1" для того, чтобы использовать внутренний модуль маскирования. Конфигурационные установки делаются в регистрах от 2 до 4, DELVAL1, DELVAL2 и DELVAL3:

- DELVAL1 ... DELVAL3 представляют собой число с фиксированной точкой с 14 бит целыми 5 бит дробными, кратное внутренней опорной частоте.

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

- Минимальная временная маска составляет 3 тактовых цикла.
- Величина маски должна иметь возрастающий порядок. Каждая величина маски должна быть больше, чем предыдущая на 3 тактовых цикла.

Иногда используются не все регистры маскирования. В этом случае необходимо установить на „0” те регистры, которые в данный момент не используются. Если все регистры DELVAL установлены на 0, весь модуль маскирования находится в неактивном состоянии.

Пример:

4 Mhz reference, ClkHSDiv = 1

DELVAL1 = 'h3200 1 стоп не принимается раньше чем 200 мкс после старта
(128000/32 * 250нс * 2¹ = 200 мкс)

DELVAL2 = 'h3300 2 стоп не принимается раньше чем 204 мкс после старта
(13056/32 * 250нс * 2¹ = 204 мкс)

DELVAL3 = 'h3400 3 стоп не принимается раньше чем 208 мкс после старта
(13312/32 * 250нс * 2¹ = 208 мкс)

4.3 Секция аналогового входа

По сравнению с TDC-GP2 TDC-GP22 обладает дополнительной секцией аналогового входа, которую можно использовать альтернативно как полноценный цифровой вход. Эта новая опция существенно упрощает конструирование и разработку ультразвуковых счётчиков жидкостей и тепла. Внешняя цепь ультразвуковой секции сокращена до всего 2-х резисторов и конденсаторов в дополнение к пьезотрансдукторам.

Ультразвуковые сигналы пакетируются в блоки от 50 до 200 синусоидальных колебаний в каждом с амплитудой примерно в 100 мВ. Схематически сигналы соединяются со входами через фильтр высоких частот, так что компаратор не может использовать GND (землю) как порог. Порог компаратора установлен на 1/3 VCC. Аналоговый коммутатор выбирает вход в соответствии с направлением активного измерения. Компаратор стабилизирован чоппером и гарантирует низкое напряжение смещения порядка < 2 мВ. Это необходимо для достижения высокого качества измерения. Напряжение смещения по входу компаратора периодически корректируется внутренней схемой чоппера. При изменении температуры или напряжения питания напряжение смещения корректируется автоматически и удерживается в пределах < 2 мВ.

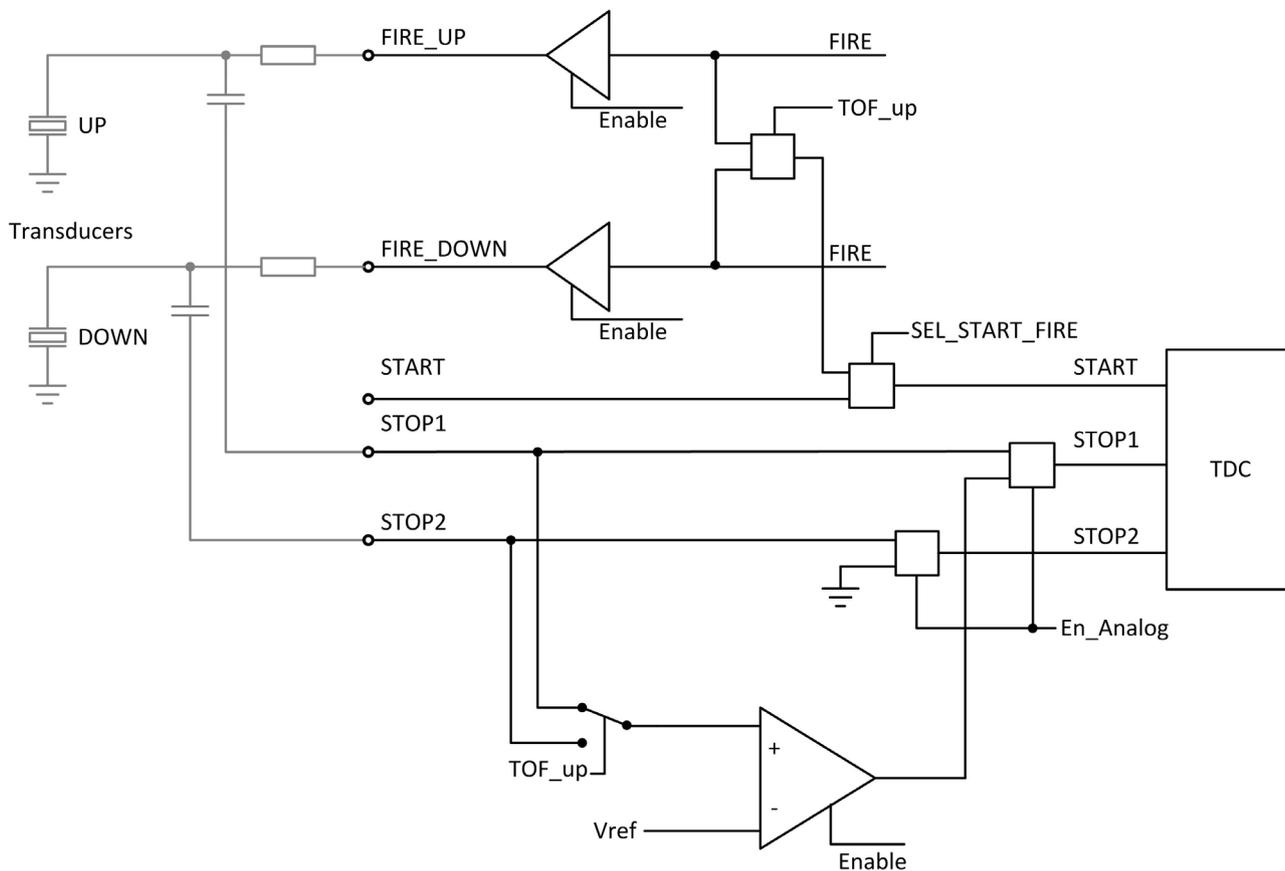
4 Внешний интерфейс преобразователя

Управляющий модуль TDC-GP22 осуществляет контроль всех элементов аналоговой секции. Он подключает их к питанию только на время измерения, снижая таким образом потребление энергии прибором.

Процесс измерения, запускаемый по команде Start_TOF_Restart, начинается с измерения рабочего потока и соответствует следующей процедуре:

- Осциллятор в 4 МГц включается. Микросхема обрабатывает запрограммированную задержку по времени для достижения осциллятором полной амплитуды.
- Компаратор, резистор опорного напряжения и аналоговые коммутаторы подключаются к питанию.
- Конденсатор передающего канала (STOP1) соединяется с землёй GND.
- Буфер глушения импульса (FIRE_DOWN) соединяется с землёй GND.

Фигура 4.9:



4 Внешний интерфейс преобразователя

- Конденсатор принимающего канала (STOP2) заряжается до V_{ref} . ВЦП ждёт в соответствии со временем задержки, установленной в TW2.
- Аналоговый переключатель выбирает вход STOP2 как вход компаратора.
- FIRE_UP выбирается как сигнал TDC START.
- Установленное число импульсов посылается по генерирующему буферу, вывод FIRE_UP.
- Аналоговый сигнал, поступивший на STOP2, проходит через компаратор, преобразуется в цифровой сигнал и выводится на вход STOP модуля ВЦП.
- По истечении задержки стоп модуля маскирования (DELVAL) ВЦП готов к измерению. Он может измерять до 3 стопов.
- В конце измерения управляющее устройство отключает компаратор, указатель, аналоговые коммутаторы и высокую частоту 4 МГц. Рабочий ток близок к нулю. Флаг прерывания установлен.
- Управляющее устройство ждёт период времени, кратный 50 Гц/60 Гц. В это время процессор считывает результаты.
- После задержки начинается тот же самый процесс, но в обратном направлении.

4.3.1 Установка смещения

Смещение компаратора может быть установлено поэтапно по 1 мВ от - 8мВ до +7 мВ. Установка производится через параметр DA_korrt, биты от 25 до 28 в регистре 6. DA_korrt устанавливается в двоичном дополнительном коде.

Через First Wave Mode может быть установлено дополнительное смещение в ± 35 мВ для распознавания первой волны. Подробно это описано в разделе 4.4.

4.4 Режим распознавания первой волны

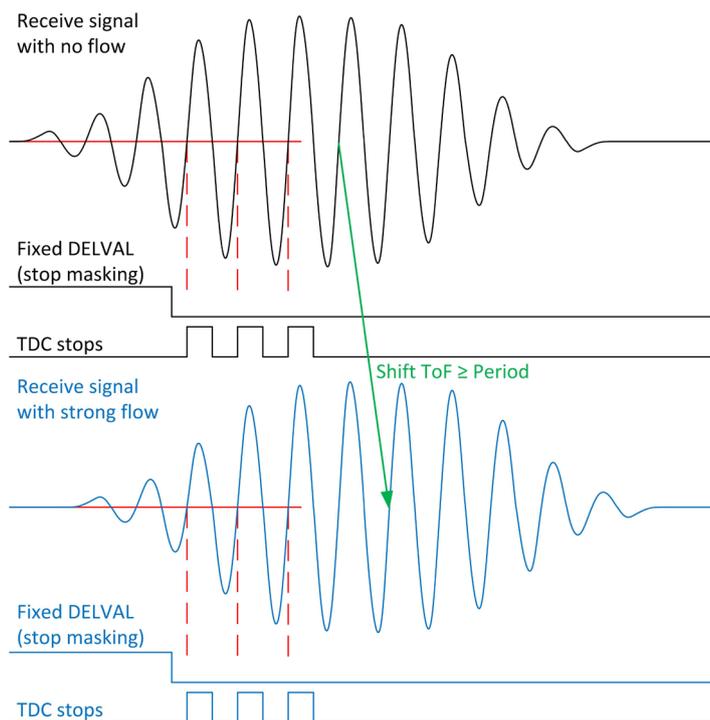
Основным усовершенствованием в схеме TDC-GP22 является введение режима распознавания первой волны сигналов. Эта функция базируется на режиме измерения 2 при использовании аналоговой секции. Новым признаком здесь является то, что смещение автоматически направлено на точное распознавание первой волны и проведение окончательного измерения транзитного времени ToF в соотношении с первой волной. Соотношение может использоваться как показатель мощности сигнала. За счёт смещения происходит подавление шума и тайм-аут распознаёт отсутствие воды в трубе. Следующий перечень обобщает новые возможности:

- Точное распознавание первой волны, позволяет применение в приборах с высокой динамикой, таких как счётчики воды

4 Внешний интерфейс преобразователя

- Повышенная динамика позволяет использовать трансдукторы в от 2 МГц до 4 МГц
- Возможность обработки обратного потока (очень помогает в работе, например с счётчиками воды)
- Измерение ширины импульса позволяет проанализировать мощность поступившего сигнала и пронаблюдать уровень триггера или послать предупредительный сигнал
- Отсечение сигналов шума позволяет распознать пустую трубу.

Фигура 4-10: Типичная ошибка при высокой динамике потока



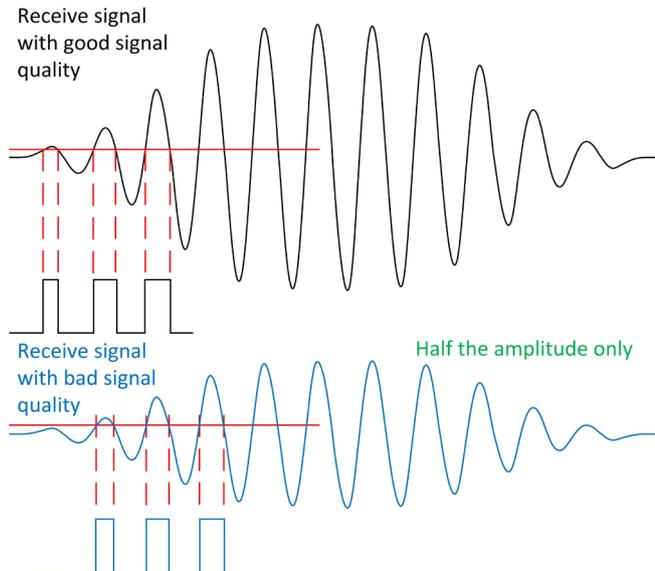
Фигура 4-10 показывает, насколько важно надёжное распознавание первого события в расходомерах с высокой степенью динамики, таких как счётчики воды. С фиксированным маскированием стопа (фиксированные значения DALVAL) невозможно установить, превышают ли изменения транзитного времени ToF период звукового сигнала. По целому ряду причин изменение в транзитном времени ToF может превышать период. Одной из самых важных является влияние температуры, изменяющее скорость ультразвука. Для медленных систем, таких как теплосчётчики это умное и правильное программное обеспечение. Но для таких динамичных систем, как счётчики воды с потоком также и в противоположном

направлении, этот метод не подходит. Тенденция к более высоким трансдукторным частотам от 2 МГц до 4 МГц является следующей причиной введения системы, способной обрабатывать изменения, превышающие период сигнала. Остаётся ещё и другой источник неправильных измерений. Осадок грязи на трансдукторе, зеркалах измерительных трубок и корпусе ведут к затуханию сигнала, например с ± 400 мВ до $< \pm 80$ мВ. Фигура 4-11 показывает, как это повлияет на распознавание первой волны при данном фиксированном смещении для распознавания первой волны сигналов. После первой волны амплитудой ниже уровня смещения, результаты измерения сместятся на один период.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Фигура 4-11: Неправильное измерение по причине

затухания сигнала



С опцией распознавания первой волны TDC-GP 22 измерение транзитного времени относится к первой волне и таким образом не зависит от температуры и потока. Здесь больше не происходят просчёты из-за неправильного показателя пересечения нулевой точки.

Дополнительно, измерение ширины первой полуволны даёт пользователю возможность контролировать качество сигнала и в случае необходимости регулировать уровень триггера первой волны.

Следующая фигура показывает новый ход измерения в режиме распознавания первой волны TDC-GP22.

1. С генерированием запускающих импульсов смещение для распознавания первой волны устанавливается на программируемый уровень. Маскирование стопа DELVAL1 используется для отсекающего шума и установлено приблизительно на минимум ожидаемого транзитного времени. Далее шум будет отсечён через смещение компаратора до того, как полученный сигнал достигнет амплитуды выше этого уровня смещения.
2. TDC-GP22 измеряет интервал времени между нарастающим и задним фронтами первой волны. Затем он автоматически сбрасывает смещение на 0 мВ. При смещении менее < 1 мВ дрейф смещения измерения потока по температуре сводится к минимуму.
3. Маскирование стопа для трёх измерений времени устанавливается через параметры DELREL1 до DELREL3, относительно к первой волне. Например, DELREL1 = 3 означает, что третья волна была измерена после первой.
4. Период полуволны (hwp) первого реального измерения времени измеряется как эталон для первой волны. В указанном в фигуре 4-12 примере это будет ширина пятой волны. Отношение $hwp_{\text{first wave}}/hwp_{\text{firstToF}}$ находится в диапазоне от 0 до 1, обычно меньше 1. Чем меньше значение, тем слабее сигнал. Эта информация может быть использована для контроля счётчика жидкости. Если за годы работы здесь накапливается слишком много осадка и отношение сигнала падает, например ниже 0,5, то тогда в будущем как эталон будет использоваться вторая волна.

Причиной снижения интенсивности сигнала могут быть также пузырьки в воде. Поэтому параллельно посылаётся предупредительный сигнал оператору.

5. TDC-GP22 автоматически производит вычисление трёх событий стопа, далее он вычисляет среднее из трёх,

4 Внешний интерфейс преобразователя

полученных из регистра 4. Таким образом коммуникации с микропроцессором существенно упрощаются.

Как только будет установлено прерывание, процессор сразу считывает все три результата или только среднее значение. Здесь нет необходимости переписи регистра 1, как это было с TDC-GP21.

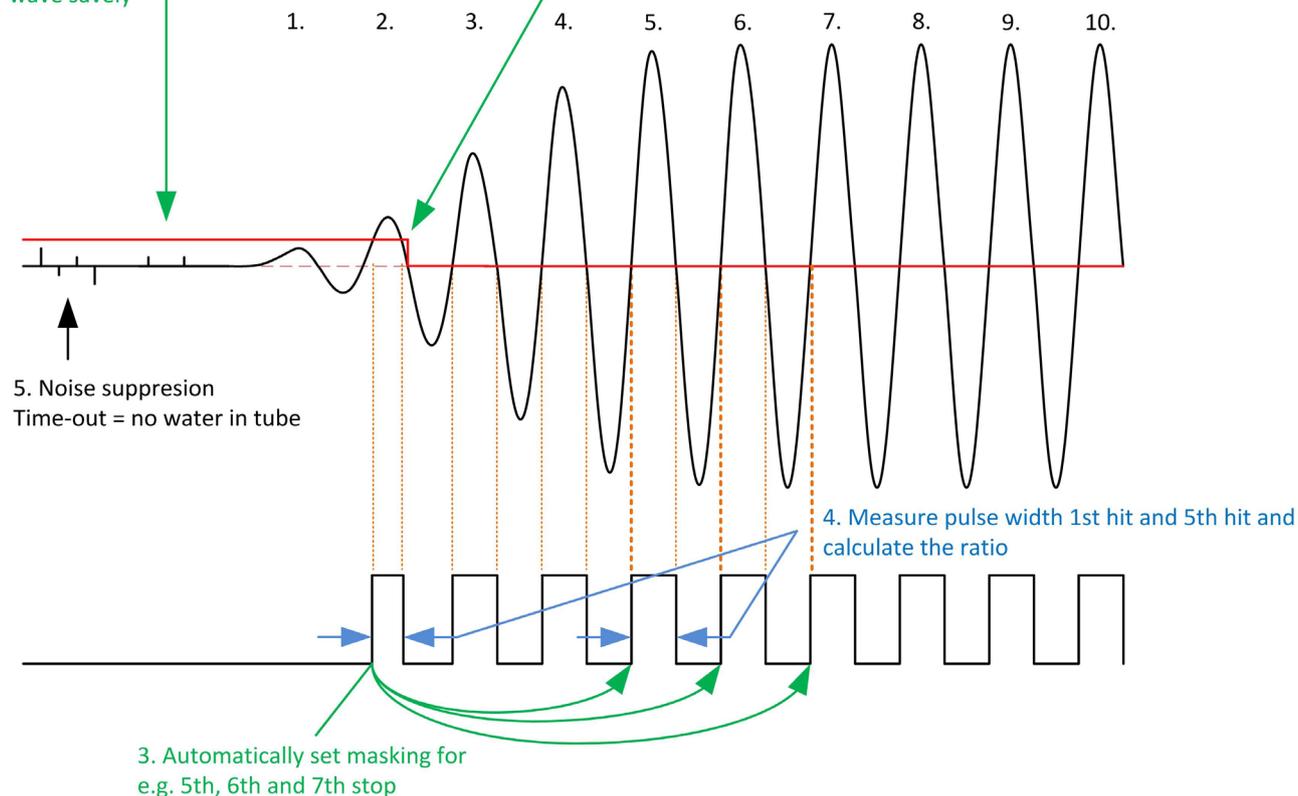
6. В случае, если трубка пуста, здесь нет сигнала стоп. Смещение останется на уровне детектирования первой волны. Тогда шум не может послать сигнал на ВЦП и ВЦП будет работать в тайм-аут.

Иными словами: тайм-аут это индикатор пустой трубки.

Фигура 4-12: Режим первой волны

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

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



4 Внешний интерфейс преобразователя

4.4.1 Конфигурации

Важными параметрами конфигурации являются:

Таблица 4-3: Конфигурации режима первой волны

Регистр	Бит	Параметр	Описание
3	30	EN_FIRST_WAVE	1=переключение на модус первой волны, Reg3, DELVAL2 и Reg4, DELVAL3 получают новое значение
4	8-12	OFFS	Установка сдвига смещения по двоичному дополнительному коду в 1 мВ 0=0 мВ 1= +1 мВ ... 15=+15 мВ 16=-16 мВ 17=-15 мВ ... 31=-1 мВ
4	13	OFFSRNG1	1 = Дополнительный сдвиг смещения при + 20 мВ
4	14	OFFSRNG2	1= Дополнительный сдвиг смещения при - 20 мВ
3	8-25	DELREL1 до DELREL3	Маскирование стопа, выбирает волну для измерения транзитного времени. Максимум 63-я волна. DELREL1 ≥ 3 DELREL1 до DELREL3 должны быть установлены в порядке возрастания. Пример: DELREL1 = 3, DELREL2 = 4, DELREL3 = 5 означают, что измеряется третья, четвёртая и пятая волна после первой волны
4	16	DIS_PW	0 = запускает / 1 = выключает измерение ширины импульса. Отношение может быть считано из адреса 8 в регистре PW1ST как восьмибитное число с фиксированной точкой с одним целым битом (диапазон от 0 до 1,99).

4 Внешний интерфейс преобразователя

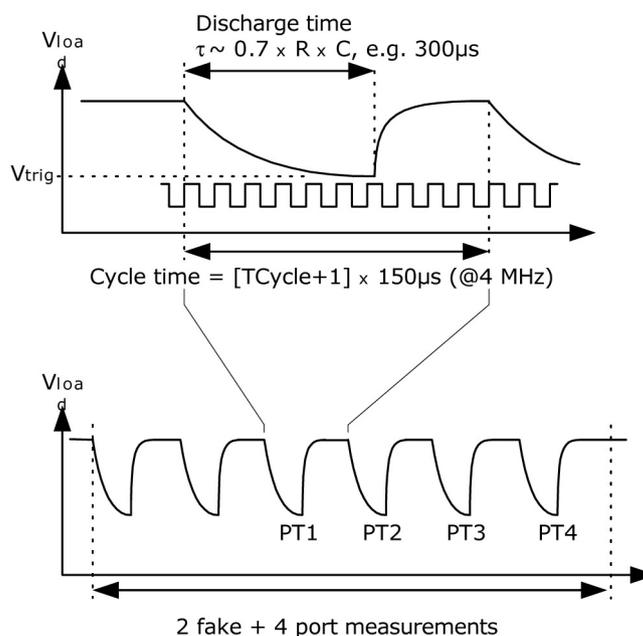
4	15	EDGE_FW	Устанавливает чувствительность по фронтам для первой волны. С отрицательным смещением имеет смысл посылать сигнал по заднему фронту первой волны 0 = нарастающий фронт, 1 = задний фронт
3	31	EN_AUTOCALC_MB	1 = запускает автоматический расчёт всех разрешённых событий hit. Сумма всех результатов записана в регистр чтения 4

4.5 Измерение температуры

Специально для применения в теплосчётчиках TDC-GP22 снабжён модулем измерения температуры по методу PICOSTRAIN, что обеспечивает высокую точность и низкий ток потребления.

Измерение основывается на измерении длительностей разряда. Поэтому конденсатор разряжается попеременно через сопротивление датчика и опорные резисторы. Преимуществом по сравнению с TDC-GP2 является то, что TDC-GP22 обладает уже встроенным компаратором.

Фигура 4.13



Модуль измерения температуры имеет 4 резисторных порта, два порта используются для подключения датчиков горячей воды (поток вверх) и холодной воды (поток вниз). Остальные два порта используются для опорных резисторов. Обычно достаточно соединить один опорный резистор с обоими портами.

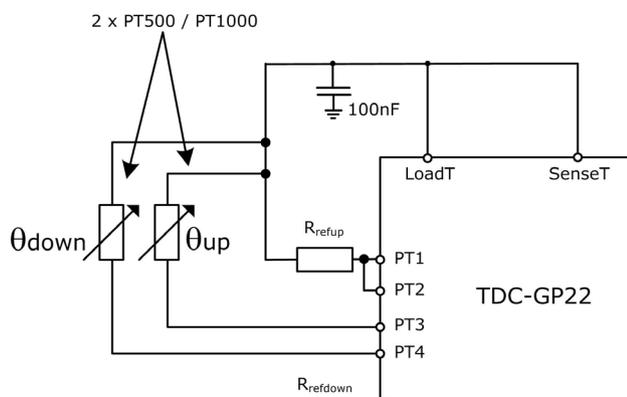
4 Внешний интерфейс преобразователя

Температурные датчики должны обладать сопротивлением не менее 500 Ом. Длина кабеля не должна превышать 3 м. К TDC-GP21 можно подключать только 2-х проводные датчики. Не возможно использовать 4-х проводные датчики. При использовании платиновых датчиков PT500 или PT1000 точность измерения температуры намного лучше стандартов для теплосчётчиков поэтому нет необходимости использовать два опорных резистора в сочетании с датчиками PT500 или PT1000. Типовая схема с одним опорным резистором показана в фигуре 4-14.

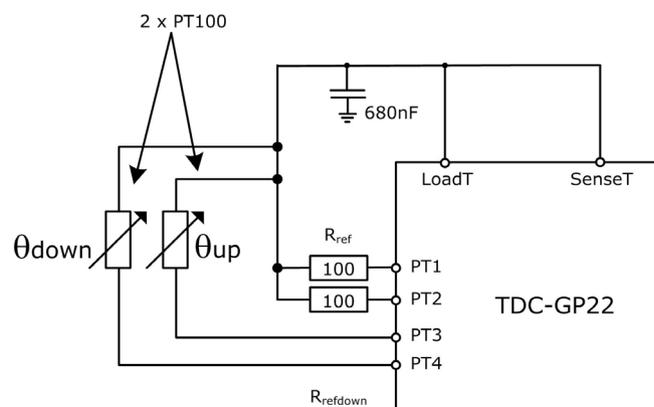
С учётом некоторых потерь в стабильности показаний измеряемой температуры, GP21 также может использоваться для работы с датчиком PT100.

В этом случае мы рекомендуем использовать два опорных резистора вместо одного, как это показано в фигуре 4-15. Это даёт возможность частично избежать возрастания дрейфа усиления путём калибрования температуры по двум точкам расширяя полный температурный диапазон.

Фигура 4.14: PT500 / PT1000 измерение температуры с одним опорным резистором



Фигура 4.15: PT100 измерение температуры с двумя опорными резисторами



Измерение температуры полностью автоматизировано. Оно запускается микропроцессором посылкой кодов команд Start_Temp или Start_Temp_Restart. При Start_Temp_Restart TDC-GP22 измеряет температуру дважды, с задержкой с периодом, кратным 50 Гц или 60 Гц. Это способствует отсечению шума 50/60 Гц.

TDC-GP22 начинает с 2-х или с 8-ми холостых измерений на порте PT1 перед тем, как он производит 4 реальных измерения в последовательности PT1 > PT2 > PT3 > PT4. По окончании 4-х измерений устанавливается флаг прерывания. TDC-GP22 имеет возможность изменить последовательность процедуры в обратном направлении. При этом холостые измерения выполняются на порте PT4.

Четыре комплекта данных размещаются в регистрах от 0 до 3. Из Res_3/RES_1 и RES_4/RES_2 микроконтроллер может рассчитать отношение Rtemp/Rref. При использовании специального типа датчиков он может сделать вычисления по таблице преобразования для данного типа.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Конфигурирование

Регистр 0, бит 15, ANZ_FAKE задаёт число холостых измерений в начале измерения температуры. Это важно для того, чтобы избежать механических эффектов от заряженного конденсатора.

ANZ_FAKE = 0 2 холостых измерения

ANZ_FAKE = 1 8 холостых измерений

Регистр 0, бит 16, TCYCLE задаёт циклы по времени для измерения температуры.

TCYCLE = 0 128 мкс время цикла при 4МГц

TCYCLE = 1 512 мкс время цикла при 4МГц

Регистр 0, бит 17, ANZ_PORTS устанавливает число портов, которые будут использоваться.

ANZ_PORTS = 0 2 порта = 1 датчик

ANZ_PORTS = 1 4 порта = 2 датчика

Регистр 6, бит 11, TEMP_PORTDIR задаёт последовательность измерений по портам

TEMP_PORTDIR = 0 PT1 > PT2 > PT3 > PT4

TEMP_PORTDIR = 1 PT4 > PT3 > PT2 > PT1

Регистр 6, бит 15 HZ60 устанавливает базовую частоту задержки между восходящим и нисходящим измерением для команд Start_TOF_Restart и Start_Temp_Restart.

HZ60 = 0 50 Гц задающая

HZ60 = 1 60 Гц задающая

Регистр 6, биты 18,19, CYCLE_TEMP, выбирает фактор таймера для запуска второго цикла измерения температуры кратного 50/60 Гц.

CYCLE_TEMP = 0 1

 = 1 1,5

 = 2 2

 = 3 2,5

Регистр 6, бит 30, NEG_STOP_TEMP инвертирует this сигнал на маршруте SenseT. Это обязательно при использовании встроенного компаратора. Без инверсии этот модуль совместим с TDC-GP2, использующим внешний триггер Шмитта.

4 Внешний интерфейс преобразователя

NEG_STOP_TEMP= 0 без инверсии, TDC-GP2 совместим
= 1 инверсия, обязательно при использовании встроенного компаратора

Рекомендуемые номиналы конденсаторов

Время разряда конденсатора должно составлять порядка 150 мкс. Поэтому следует использовать конденсаторы следующих номиналов:

PT500: 220 нФ

PT1000: 100 нФ

Пожалуйста, установите T_{cycle} = 1 во избежание ошибки при тайм-ауте (превышении лимита времени).

Рекомендуемый тип конденсатора

Для получения наиболее точных результатов мы рекомендуем типы конденсаторов с очень низким dC/dU. Мы рекомендуем:

COG тип или CfCap серии фирмы TaYo Yuden

Пожалуйста не используйте в теплосчётчиках X7R или подобные типы конденсаторы.

Ток потребления

При использовании технологии ВЦП для проведения измерений температуры требуется очень низкий ток, существенно ниже, чем это требуется традиционным аналогово-цифровым преобразователям.

Для полного температурного измерения с 2 датчиками типа PT1000, включая все расчёты требуется меньше, чем 2,5 мкА. При температурном измерении длительностью в 30 секунд (типично для теплосчётчиков) средний расход рабочего тока составляет всего 0,08 мкА. Это примерно в 50 раз меньше, чем при других технологиях. Использование датчика PT500 удваивает ток.

Примечание: Во время измерений температуры вход старта должен быть активирован.

Обнаружение ошибок

Дополнительно температурный модуль проверяет правильность результатов. Он в состоянии обнаружить короткое замыкание датчика или разомкнутый датчик. TDC-GP22 передаёт ошибку вместо результата в соответствующий выходной регистр датчика с коротким замыканием.

1. Короткое замыкание между линиями: эквивалентно очень короткому отрезку времени ($< 8 \times T_{ref} = 2 \mu\text{s}$ при 4 MHz). TDC-GP22 сделает запись 'h0 в регистр выхода датчика с коротким замыканием.
2. Разомкнутый датчик / короткое замыкание на GND: эквивалентно сигналу „не стоп“ или тайм-ауту (превышению лимита времени). TDC-GP21 сделает запись 'hFFFFFFF в регистр выхода разомкнутого датчика.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Примечание: из-за ошибок важно установить SEL_TIMO_MB2 на 2 мс для получения точной индикации прерывания при выборе времени цикла в 512 мкс.

Фигура 4-16: Индикация короткого замыкания

- 1: Short circuit between lines: Error short
- 2: Short circuit LoadT against GND: Error open
- 3: Circuit circuit PT2 against GND: Measurement at PT1 with half the nominal discharge time as sensor is in parallel to Rref, result out of reasonable range

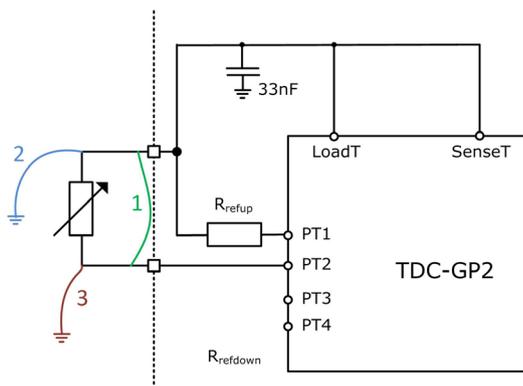


Таблица 4.4: Аналоговая спецификация

Символ	Параметр	Внутренний триггер Шмитта		внешний триггер Шмитта ²		Единицы	
		PT500	PT1000	PT500	PT1000		
	Разрешение RMS	17,5	17,5	16,0	16,0	бит	
	SNR			96	96	дБ	
	Абсолютное усиление ³	0,9912	0,9931	0,9960	0,9979		
	Абсолютное усиление по Vio ³ (фактор усиления)	3,6 В	0,9923	0,9940	0,9962	0,9980	
		3,0 В	0,9912	0,9931	0,9960	0,9979	
		2,5 В	0,9895	0,9915	0,9956	0,9979	
	Дрейф усиления по Vio	0,25	0,23	0,06	0,04	%/В	
	Макс. погрешность усиления(@ dΘ = 100 К)	0,05%	0,05%	0,02%	< 0,01%		
	Дрейф усиления по температуре	0,022	0,017	0,012	0,0082	%/10 К	
	Дрейф усиления по Vio			0,08		%/В	
	Смещение инициального нуля	< 20	<10	< 20	< 10	мК	
	Дрейф смещения по температуре	< 0,05	< 0,03	< 0,012	< 0,0082	мК/ °С	
	PSRR			>100		дБ	

¹ все значения измерения на Vio = Vcc = 3.0 В, Cload = 100 нФ для PT1000 и 200 нФ для PT500 (COG-тип)

² измерено внешним триггером Шмитта 74АНС14

³ в сравнении с идеальным усилением 1

4 Внешний интерфейс преобразователя

Ошибка усиления и её математическая корректировка

Измерение температуры с GP22 основывается на технологии PICO STRAIN фирмы Asam. Изменения сопротивления температурного датчика RTD оцифровываются путём сверхточного измерения временных интервалов. Соответственно, время задержки триггера Шмитта в общем виде, вносит существенную ошибку усиления, и происходит снижения усиления сигнала по сравнению с идеальными значениями выхода. Это снижение усиления может быть математически описано как девиация (отклонение) от идеальной прямой линии. Простая математическая корректировка путём прибавления фактора корректировки компенсирует это отклонение от идеального усиления. Вычисление производится следующим образом:

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}} / \text{фактор усиления}$$

T_{corr} : результат по температуре с корректировкой усиления

T_{uncorr} : результат по температуре без корректировки

фактор усиления: фактор корректировки усиления, компенсирующий отклонение от идеального усиления в 1.

При помощи этой компенсации, эффект задержки сигнала в триггере Шмитта может быть сокращен до остаточной ошибки усиления в 0,05% от F. S. при использовании внутреннего триггера Шмитта, или даже до меньшей величины при комбинации с внешним триггером Шмитта 74АНС14.

Три основных параметра должны быть учтены при выборе правильного фактора корректировки усиления:

- основное сопротивление датчика температуры (например PT500, PT1000)
- используемый триггер Шмитта (GP22 внутренний, внешний 74АНС14)
- GP22 напряжение питания

Соответствующие факторы коррекции усиления приведены в Таблице 4-3 (“абсолютное усиление при V_{io} ”).

Важное примечание:

Фактор корректировки усиления для внешнего триггера Шмитта относится исключительно к 74АНС14. Для других типов микросхем (например 74НС14) требуются другие факторы корректировки усиления, для предоставления правильной компенсации. В соответствии с этим мы строго рекомендуем использовать 74АНС14 как внешний триггер Шмитта.

4 Внешний интерфейс преобразователя

Пример 1:

Применение датчика PT1000 , GP22 внутренним триггером Шмитта и напряжение питания в 3,0 В. В соответствии с таблицей 4.3 должен быть выбран фактор усиления в 0,9931 . Скорректированный результат по усилению тогда рассчитывается по следующему уравнению:

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}} / 0,9931$$

Пример 2:

Применение датчика PT500, внешний триггер Шмитта 74АНС14 и 3,6 В напряжение питания. Таблица 4-3 специфицирует в этом случае фактор усиления 0,9980. Скорректированный результат по усилению будет рассчитан следующим образом:

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{uncorr}} / 0,9980$$

4 Внешний интерфейс преобразователя



5 Важные детали и специальные функции

5.1 Осциллятор

TDC-GP22 использует до 2-х видов тактовых импульсов в зависимости от рабочего режима:

- Высокоскоростной тактовый сигнал с базовой частотой 4 МГц, используемый для калибровки и как делитель для измерительного модуля ВЦП в режиме измерения 2 и для EEPROM.
- 32 КГц тактовый сигнал, который используется для работы внутреннего таймера.

5.1.1 Высокоскоростной осциллятор

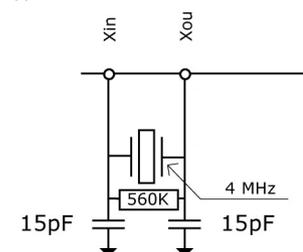
Высокоскоростной тактовый сигнал нужен TDC-GP22 в первую очередь для калибровки. Рекомендуемая величина здесь 4 МГц, возможный диапазон от 2 до 8 МГц (от 2 до 6 МГц в режиме QUAD_RES). В режиме измерения 2 высокоскоростной тактовый сигнал также участвует в части измерительного процесса. И наконец, для осуществления управляющих операций необходима также высокоскоростная тактовая частота.

Среднее потребление тока включённым осциллятором в рабочем режиме составляет 200 мкА. Так как этот осциллятор необходим только во время процесса измерения, TDC-GP21 самостоятельно способен регулировать процесс его включения-выключения. Установка режимов при этом производится через параметр START_CLKHS. При START_CLKHS > 1 осциллятор включается после посылки кода команды Start_TOF, Start_TOF_Restart, Start_Temp и Start_Temp_Restart на время измерений. Задержка между запуском осциллятора и началом измерений предоставляет достаточно времени для выхода осциллятора на режим с полной амплитудой.

START_CLKHS

Фигура 5.1

= 0	Осциллятор выключен
= 1	Осциллятор постоянно включён
= 2	Измерение начинвается с задержкой в 480 мкс
= 3	как '2', но с задержкой в 1,46 мс
= 4	как '2', но с задержкой в 2,44 мс
= 5 to 7	как '2', но с задержкой в 5,14 мс



Программируемая задержка гарантирует полноценный запуск осциллятора перед началом измерений. Для керамического резонатора достаточно 480 мкс этой задержки.

При таком измерении среднее потребление рабочего тока может быть радикально снижено.

Пример:

На одно измерение ToF в ультразвуковом жидкостном счётчике (вперёд/назад) в секунду высокоскоростной осциллятор активен всего 2 мс. Среднее потребление тока составляет $130 \text{ мкА} * 2 \text{ мс} = 0,26 \text{ мкА}$.

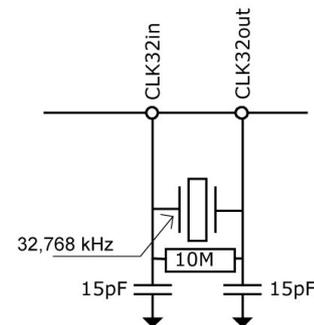
5 Важные детали и специальные функции

5.1.2 32,768 КГц осциллятор

Фигура 5.2

Для стартового контроля высокоскоростных тактовых сигналов и тактовой калибрации TDC-GP22 такж требуется опорная частота в 32,768 кГц. Её обеспечивает встроенный в микросхему низкопотенциальный драйвер.

32,768 кГц осциллятор работает постоянно и потребляет 0,5 мкА при питании от источника 3,0 В. Время выхода на рабочий режим такого осциллятора составляет порядка 3 с. Осциллятор 32,768 кГц не может быть отключён. Чтобы включить генератор 32 кГц необходимо вывод CLK32In подключить на землю GND.



Маломощные тактовые импульсы могут быть выведены на внешние выводы. Здесь возможны следующие установки:

SEL_TSTO1 = 7: 32 кГц выход на вывод-пин FIRE_IN

SEL_TSTO2 = 7: 4 кГц (32 кГц/8) выход на вывод-пин EN_START

Также имеется возможность направить низкочастотные прямоугольные тактовые импульсы на вывод CLK32Out (3,6 В макс.).

5.1.3 Калибровка керамического высокоскоростного осциллятора

Использование керамического осциллятора для генерации тактовых импульсов от 2 до 8 МГц интересно с точки зрения низкой стоимости и его быстрого выхода на рабочий режим. К сожалению он недостаточно устойчив по частоте (диапазон устойчивости от 0,3 до 0,5%) и имеет сильный дрейф по температуре. Поэтому необходимо проведение калибрационного измерения для компенсации этих явлений. Это измерение базируется на очень точной частоте в 32,768 кГц. TDC-GP22 генерирует старт/стоп импульсы в 32,768 кГц и измеряет этот интервал времени модулем ВЦП. Результат запоминается в регистре результатов и устанавливается флаг прерывания. Ошибку по частоте керамического резонатора рассчитывает микропроцессор. Конфигурация калибрации производится через установку регистра 0, ANZ_PER_CALRES и запускается через „START_Cal_Resonator“ - инструкция при микропроцессоре.

Измеряемый временной интервал устанавливается через ANZ_PER_CALRES, который определяет число периодов частоты 32,768кГц:

ANZ_PER_CALRES	= 0	2 периода = 61,035 мкс
	= 1	4 периода = 122,07 мкс
	= 2	8 периодов = 244,14 мкс
	= 3	16 периодов = 488,281 мкс

5 Важные детали и специальные функции

Результат будет кратным высокоскоростной частоте и (делённый на 1, 2 или 4 (DIV_CLKHS)) представляет собой 32-х битное число с фиксированной точкой из 16 целых и 16 дробных битов.

Микроконтроллер сравнивает эти полученные величины измерения с теоретическими и рассчитывает фактор коррекции RES_X/RES_{theor}.

Пример:

Система работает с резонатором в 4 МГц. При CLKHSDIV=0 и CALRES#=1 теоретический результат составляет 122,0703125 мкс/25 Онс = 488,28125 (RES_0 = 'h01E84800). При использовании керамического резонатора величина будет не 4МГц, а только 3,98 МГц, калибрационное измерение покажет 485,83984375 (RES_0 = 1E5D700). Фактор коррекции составляет 1,005.

Примечание: Во время калибрации вход старта должен быть разрешён.

5.1.4 Как использовать калибрацию частоты

А. Применение

Эта опция предназначена специально для ультразвуковых счётчиков жидкостей и тепла. Использование керамических осцилляторов имеет два основных преимущества: низкая стоимость и низкое потребление тока. Быстрый выход керамического осциллятора на рабочий режим позволяет экономить до нескольких мкА рабочего тока каждый раз, что за 10 лет эксплуатации позволяет сэкономить уже порядка 100 мАч ёмкости батареи. При правильном использовании этой опции не происходит отрицательного воздействия на разрешение/точность.

Б. Дрожание (джиттер) частоты в 32 кГц и его последствия

Такты в 32 кГц очень точны по частоте и имеют погрешность всего несколько ppm. Однако, фазовое дрожание составляет порядка от 3 до 5 нс между пиками, что вносит ошибку в калибрационное измерение (Start_Cal_Resonator). При умножении результатов измерения на результаты калибрации дрожание калибрации будет перенесено в результат через отношение времени калибрационного измерения (см CALRES#) к времени измерения. При постоянном использовании новых данных калибрации уже существенное дрожание добавляется к результату измерения.

В. Применение этой опции в ультразвуковых расходомерах

Результаты измерения в ультразвуковых расходомерах всегда основаны на двух отдельных измерениях проходов ToF в направлении по и против течения. Разность между этими двумя измерениями является мерой потока. Во избежание влияния дрожания калибрации на результаты измерения необходимо использовать одну и ту же калибрацию для измерения обоих потоков (в оба направления). В следствии этого разница между двумя измерениями ToF не будет содержать дрожание частоты калибрационного измерения. Частоту следует калибровать только между двумя измерениями, что исключит прямое влияние измерений друг на друга.

5 Важные детали и специальные функции

5.2 Генератор запускающих импульсов

5.2.1 Общее описание

Генератор запускающих импульсов генерирует последовательность импульсов, которые точно программируются по частоте, фазе и числу импульсов. Частота высокоскоростного осциллятора, делённая на выбранный для CLKHS_DIV фактор используется как базовая частота. Эта частота удваивается внутри и может быть произвольно поделена на фактор от 2 до 15. Возможно генерировать от 1 до 127 импульсов. Если посланы максимум 15 импульсов, то фаза для каждого импульса может быть отрегулирована через конфигурацию в регистре. Генератор запускающих импульсов активируется путём отправки кода команды Start_Cycle. Запускающий импульс может быть напрямую использован для START (старт) ВЦП.

Генератор запускающих импульсов обслуживает два выхода: FIRE_UP и FIRE_DOWN. Мощность драйвера на каждый выход составляет 96 мА при 3,3 В. Кроме того, FIRE_DOWN выходной сигнал может быть инвертирован в двойную амплитуду сигнала. Выходы могут быть индивидуально установлены также и в состояние с разомкнутым выходом. Попеременно уровень по умолчанию неактивного буфера может быть установлен на GND (земля).

Генератор запускающих импульсов позволяет генерировать и посылать импульсные последовательности многократно для использования метода „квасибзвона“ (“sing-around”). При использовании этой функции полученная последовательность импульсов подаётся на вход TDC-GP21 FIRE_IN. Она усиливается цифровым способом и подаётся напрямую в выходной буфер для непосредственной передачи без задержки такта. Эта опция не может быть использована с внутренней аналоговой секцией.

5.2.2 Конфигурация

Число импульсов:

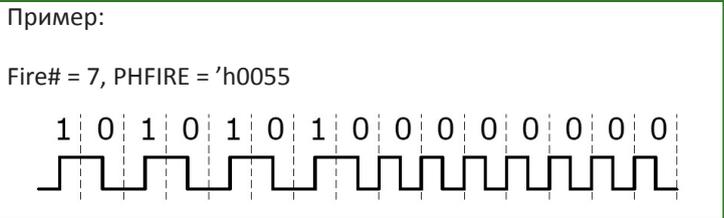
ANZ_FIRE	= 0	генератор запускающих импульсов отключён
	= 1	1 импульс
	= 2	2 импульса

	= 127	127 импульсов
SEL_START_FIRE	= 1	Запускающий импульс используется на START (запуске) ВЦП
FIRE_DEFAULT	= 0	Уровень по умолчанию с разомкнутым выходом (совместимость с GP2)
	= 1	Уровень по умолчанию GND. Это обязательно при использовании внутренней аналоговой схемы и рекомендуемой схемы с внешними R и C.

5 Важные детали и специальные функции

Фазы:

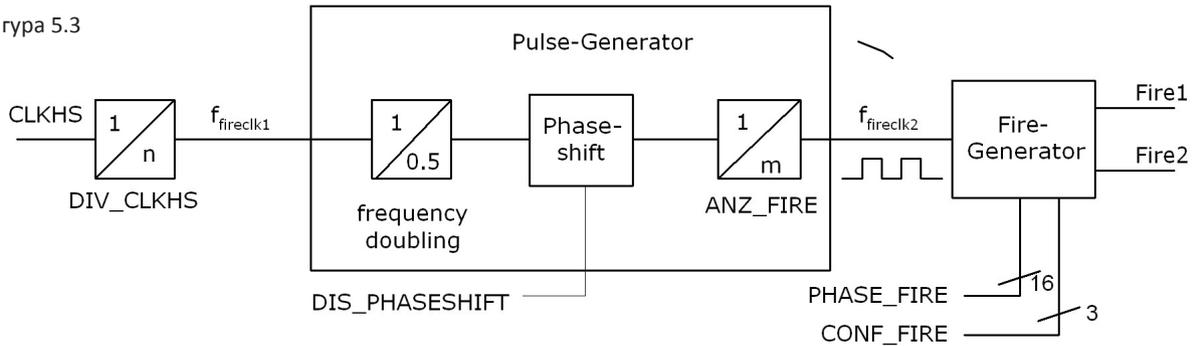
Фазы каждого импульса могут быть выбраны в регистре 5, биты от 0 до 15, PHFIRE, если послано не более 15 импульсов. При этом „0“ представляет собой переход HIGH-LOW и „1“ это переход LOW-HIGH. Импульсная последовательность начинается с младших битов LSB и заканчивается старшими битами MSB.



Частота запускающего импульса:

Выходной сигнал fireclk1 для генератора запускающих импульсов получается из высокоскоростной частоты CLKHS и выбранного значения делителя высокоскоростной частоты DIV_CLKHS.

Фигура 5.3



В генераторе запускающих импульсов этот сигнал удваивается и делится на DIV_FIRE.

DIV_FIRE =	0	не разрешён
	1	разделен на 2
	2	разделен на 3

	15	разделен на 16

Регистр 5, бит 19, DIS_PHASESHIFT активирует сдвиг по фазе, что предоставляет дополнительный шум для улучшения статистического поведения при усреднении.

5 Важные детали и специальные функции

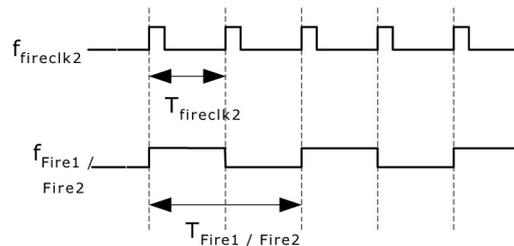
DIS_PHASESHIFT = 0 Сдвиг фазы включён

DIS_PHASESHIFT = 1 Сдвиг фазы отключён

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

fireclk2 используется как опорный сигнал для FIRE_UP / FIRE_DOWN - этот сигнал посылается по буферу выхода FIRE_UP / Fire 2 генератора запускающих импульсов.

Фигура 5.4



Как показано в фигуре 5.4 необходимы как минимум 2 тактовых периода T_{fireclk2} для того чтобы послать один Fire_Pulse. Один для высокой фазы и один для низкой фазы выходного сигнала FIRE_UP/FIRE_DOWN.

Пример:

CLKHS = 4 MHz, DIV_CLKHS = 1, DIV_FIRE = 1

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

Макс. частота FIRE_UP / FIRE_DOWN выходного сигнала:

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

Выходы драйвера:

Выходы драйвера конфигурируются в регистре 5, биты с 29 по 31, CONF_FIRE:

Bit 31 = 1 FIRE_BOTH (инвертированный выход на FIRE_DOWN)

Bit 30 = 1 FIRE_Up разрешён

Bit 29 = 2 FIRE_DOWN разрешён

Повторение пачки импульсов (квазиобзвон):

5 Важные детали и специальные функции

В регистре 5, биты от 16 до 18, REPEAT_FIRE определяется число повторений импульсной последовательности.

REPEAT_FIRE	= 0	нет повторения
	= 1	1 повторение

	= 7	7 повторений

Повторено будет только число импульсов, установленных по FIRE#. С периодом в 5 мкс без поступления импульсов TDC-GP22 детектирует окончание ряда импульсов.

Примечание:

Эта опция не может быть использована с внутренней аналоговой секцией. Поэтому строго рекомендуется, чтобы суммированное время прохода (пролёта) до 7 повторений не превышало измерительный диапазон GP21 !!!

5.3 Быстрая инициализация

В измерительном диапазоне 1 TDC-GP22 предоставляет возможность быстрой инициализации.

Активированный через установку в регистре 1, бит 15, EN_FAST_INIT = „1“ флаг прерывания автоматически инициализирует ВЦП. Таким образом ВЦП уже готов к следующему измерению в то время, в которое данные считываются. Этот режим предназначен только для сверхскоростных применений. Это имеет смысл при некалиброванных измерениях с только одним стопом.

5.4 Модуль шумов

В том случае, если пользователь хочет улучшить результаты измерения путём усреднения, важно, чтобы значения не всегда показывали в точности одинаковую разницу по времени. Вместо этого пользователю надо произвести некоторый „шум“, для того чтобы были задействованы различные ступени квантования характеристической кривой. Этого не произойдёт при очень постоянных (константных) временных разностях. Одна будет постоянно падать на один и тот же младший бит LSB.

Модуль шумов позволяет использование взвешенного среднего даже при постоянных временных разностях.

Модуль шумов добавляет произвольное (случайное) смещение к старту (началу). Это предназначено для применений, при которых ВЦП получает холостой старт и измеряет временную разницу между STOP1 и STOP2 (например лазерных измерителях дистанции).

Модуль шумов запускается путём установки регистра 5, бит 20, EN_STARTNOISE = „1“

5 Важные детали и специальные функции



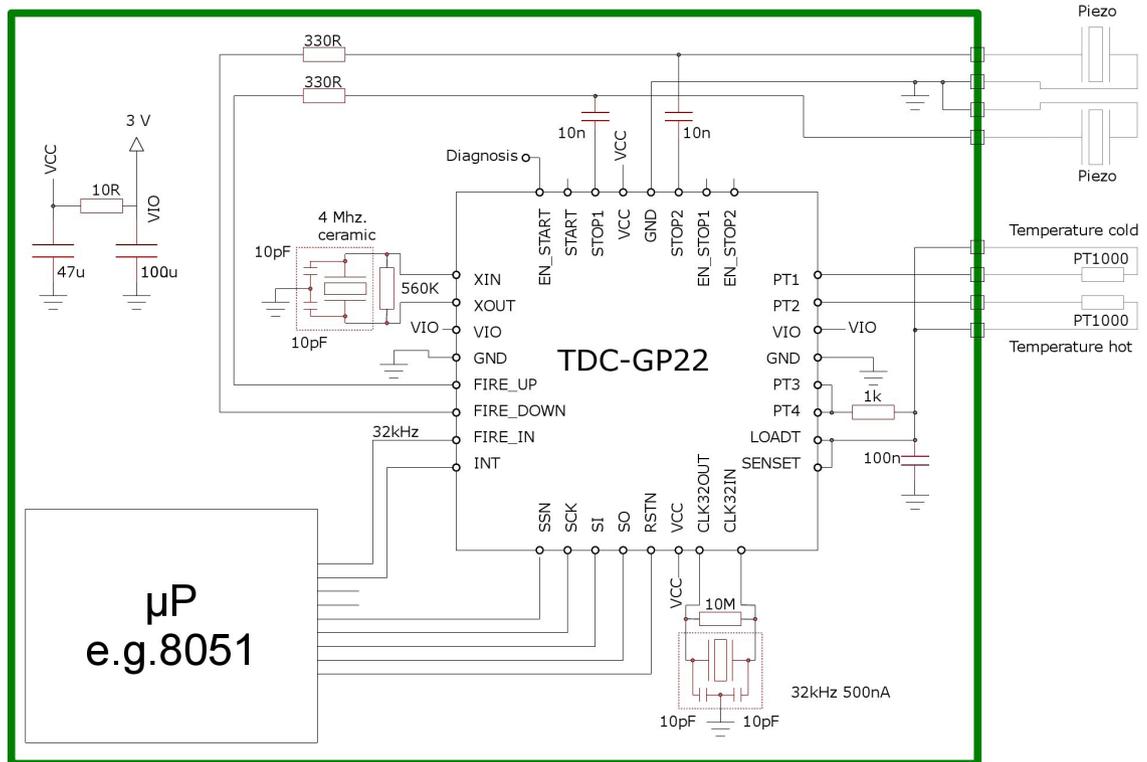
6 Применение

6.1 Ультразвуковой счётчик тепла

Микросхема TDC-GP22 наилучшим образом приспособлена для конструирования недорогих ультразвуковых теплосчётчиков. Благодаря внедрённой улучшенной функциональности, включая точное измерение температуры, генерацию запускающих импульсов, аналоговые коммутаторы, компаратор, кадрирование и калибровку тактовой частоты, достаточно добавить к TDC-GP 22 простой микропроцессор (не содержащий АЦП) для получения законченной конструкции счётчика тепла.

Готовая схема по своей компактности и малому размеру не имеет аналогов в промышленности. Следующая диаграмма показывает секцию внешнего интерфейса типового ультразвукового теплосчётчика, с использованием TDC-GP22.

Фигура 6.1



Отмеченные красным элементы показывают, какие внешние компоненты будут нужны. Число сокращено до минимума:

- На ультразвуковом канале, пьезодатчики соединены попарно с R и C.
- На температурном канале только температурностабильный опорный резистор и конденсатор
- Осциллятор в 32, 768 КГц и керамический осциллятор в 4 MHz. Вывод FIRE_IN может быть использован как выходной драйвер тактовой частоты в 32.768 КГц для микропроцессора.

6 Применение

- Для подачи питания используются два конденсатора-фильтра по шинам питания VCC и VIO. Отделите их друг от друга небольшим резистором.

Всего 11 недорогих электронных компонента требуется для организации измерения.

Регистр	Значение	Пример типичной конфигурации
Регистр 0	'hA3086800	ANZ_FIRE = 31 (см также регистр 6) DIV_FIRE = 3, частота запускающего импульса = 4 МГц/4 = 1,0 МГц ANZ_PER_CALRES = 3, 4 МГц откалиброван 61,035 мкс DIV_CLKHS = 0, 4 MHz керамический осциллятор используется внутренне как таковой START_CLKHS = 2, керамическому осциллятору требуются для установки 480 мкс ANZ_PORT = 1, используются все 4 порта для измерения температуры TCYCLE = 1, 512 мкс время цикла измерения температуры ANZ_FAKE = 0, 2 фиктивное измерение SEL_ECLK_TMP = 1, используются 4 МГц для определения цикла измерения температуры CALIBRATE = 1, обязательно включён в режиме измерения 2 NO_CAL_AUTO = 0, обязательно для автокалибрации в режиме измерения 2 MESSB2 = 1, переключение на режим измерения 2 для измерений > 2 мкс. NEG_STOP/NEGSTART = 0, всё установлено на нарастающий фронт ID0 = h00
Регистр 1	'h21444000	HIT2 = 2, HIT1 = 1: рассчитывает 1. Stop - Start в измерительном режиме 2 EN_FAST_Init = 0, выключен HITIN2 = 0 HITIN1 = 4, измеряет 3 стопа (в измерительном режиме 2 это содержит и старт, давая при этом 4 события hit) CURR32K = 0, используется умолчание SEL_START_FIRE = 1, используется внутреннее прямое соединение от буфера запускающих импульсов к старту ВЦП (TDC start) SEL_TSTO2 = 0, вывод EN_START активен SEL_TSTO1 = 0, FIRE_IN вывод используется как вход запускающего импульса ID1 = h00
Регистр 2	'hA0230000	EN_INT = b1101, прерывание из-за превышения лимита времени, ALU готово или конец работы EEPROM или превышение лимита по времени тайм аут RFEDGE1 = RFEDGE2 = 0, использовать только нарастающий фронт DELVAL1 = 8960, первый стоп допускается после 70 мкс ID2 = h00
Регистр 3	'hD8510300	EN_AUTOALCALC = 1, автоматическое вычисление всех 3 событий hit EN_FIRST_WAVE = 1, Механизм распознавания первого события hit разрешён EN_ERR_VAL = 0, достаточно времени для чтения регистров состояния SEL_TIMO_MB2 = 3, тайм аут сгенерирован после 4096 мкс DELREL 1 = 3, DELREL 2 = 4, DELREL3 = 5, измерение 3-го, 4-го и 5-го стопа после первого события hit ID3 = h00

6 Применение

Регистр 4	'h20004A00	<p>DIS_PW = 0, измерение ширины импульса не отключено</p> <p>EDGE_PW = 0, измерение ширины импульса по нарастающему фронту</p> <p>OFFSPRING1 = 0, нет отрицательного смещения</p> <p>OFFSRNG2 = 1, OFFS = 10: общее смещение = 20 мВ + 10 мВ = 30 мВ</p> <p>ID4 = h00</p>
Регистр 5	'h40000000	<p>CON_FIRE = 2, даёт отбой FIRE_UP, FIRE_DOWN = разрешает. Если используется команда-код Start_TOF_Restart, то FIRE_UP и FIRE_DOWN используются попеременно для измерения потока вверх и вниз. Тогда описанная здесь конфигурация начинает цикл измерений с измерения потока вниз (FIRE_DOWN = enable).</p> <p>EN_STARTNOISE = 0, отключён</p> <p>DIS_PHASESHIFT = 0, модуль фазового шума активен для улучшения статистического поведения</p> <p>REPEAT_FIRE = 0, нет обзвона (sing around)</p> <p>PHASE_FIRE = 0, нет изменений фазы в последовательности запускающих импульсов</p> <p>ID5 = h00</p>
Регистр 6	'hC0C06000	<p>EN_ANALOG = 1, используется внутренняя аналоговая схема</p> <p>NEG_STOP_TEMP = 1, при измерении температуры используется внутренний триггер Шмитта</p> <p>TW2 = 3, 300 мкс задержка заряда конденсаторов высоких частот</p> <p>EN_INT = b1101, прерывание по time_out, ALU готов или конец работы EEPROM (см. также регистр 6)</p> <p>START_CLKHS = 2, керамическому осциллятору требуются для установки 480 мкс (см. также 0)</p> <p>CYCLE_TEMP = 0, используется фактор 1,0 для Start_Temp_Restart</p> <p>CYCLE_TOF = 0, используется фактор 1,0 для задержки между двумя измерениями TOF</p> <p>HZ60 = 0, 50 Гц база</p> <p>FIREO_DEF = 1, обязательно при использовании внутренней аналоговой схемы</p> <p>QUAD_RES = 1, используются 23 пс BIN</p> <p>DOUBLE_RES = 0</p> <p>TEMP_PORTDIR = 0, стандарт или для T измерения</p> <p>ANZ_FIRE = 10 (см. также регистр 0)</p> <p>ID6 = 00</p>

Контрольный цикл INTN = 0?

Последовательность при измерении:

Послать SO = 'hB0, Читать SI = RES_0

Перезапуск включения питания:

Фактор корректировки 61,035/RES_0

Послать SO = 'h50

Цикл измерения

Калибровать частоту:

Измерение температуры каждые 30 секунд:

Послать SO = 'h03 Start_Cal_Resonator

Послать SO = 'h02 Start_Temp

6 Применение

Контрольный цикл INTN = 0?

Послать SO = 'hB4, читать SI = STAT

STAT&'h1E00 > 0: -> программа обработки ошибок

Послать SO = 'hB0, читать SI = RES_0

Послать SO = 'hB1, читать SI = RES_1

Послать SO = 'hB2, читать SI = RES_2

Послать SO = 'hB3, читать SI = RES_3

Rhot/Rref = RES_0/RES_1

Rcold/Rref = RES_3/RES_2

Просмотреть таблицу для получения температуры.

Измерение транзитного времени каждые пол-секунды

Послать SO = 'h70, инициализировать ВЦП

Послать SO = 'h05 Start_TOF_Restart

Контрольный цикл INTN = 0? (TOF вверх)

Послать SO = 'hB4, читать SI = STAT

STAT&'h0600 > 0: -> программа обработки ошибок,
тайм-аут = пустая труба;

Послать SO = 'hB3, читать SI = RES_3

Послать SO = 'h70 инициализировать ВЦП

Контрольный цикл INTN = 0? (TOF вниз)

Послать SO = 'hB4, читать SI = STAT

STAT&'h0600 > 0: -> программа обработки ошибок

Послать SO = 'hB3 читать SI = RES_3

Теперь микропроцессор может начать дообработку
данных и рассчитать поток и тепло.

Проверка интенсивности сигнала через ширину
импульса:

Послать SO = 'hB8, читать SI = PW1ST

Если PW1ST < 0,3 означает слабый сигнал, даётся
предупредительный сигнал

7 Разное

7.1 Сообщение о неполадках

7.1.1 TDC-CAL считывает ошибку без четырёхкратного разрешения

В случае, если четырёхкратное разрешение не установлено, то при чтении значения калибрации ВЦП появится неправильное значение. Значение внутренней калибрации будет правильным, но передача в регистр чтения будет неверной. Это значит, что данные измерения не пострадают.

Влияние в измерительном режиме 2 :

- В этом режиме значение калибрации служит только для информации. Далее в любом случае рекомендуется четырёхкратное разрешение.

Влияние в измерительном режиме 1:

- На пользователей, работающих с автокалибровкой, это не оказывает влияние.
- Это касается только пользователей, которые хотят считывать некалиброванные данные и производят внешнюю калибрацию.

Решение:

- Данные калибрации посылаются не сразу после калибрационного измерения, а после следующего регулярного измерения, перед следующим INIT.

Пример:

```
Reg2 = 'h2144...
```

```
Reg2 = 'h7644...
```

```
result0 = read(adr=0)
```

```
cal = read(adr=1)
```

```
INIT
```

7.1.2 Тайм-аут измерения температуры

Примечание: Из-за неполадок важно установить SEL_TIMO_MB2 на 2 мс для получения точной индикации прерывания, если выбрана продолжительность цикла в 512 мкс.

7.1.3 Таймаут и измерение ширины импульса

Проблема:

Если возникает таймаут (например по причине воздуха в трубе) измерение ширины импульса запускается, но не заканчивается до запуска INIT. Потребление тока возрастает до 500 мкА. Проблема возникает только при активном измерении ширины импульса.

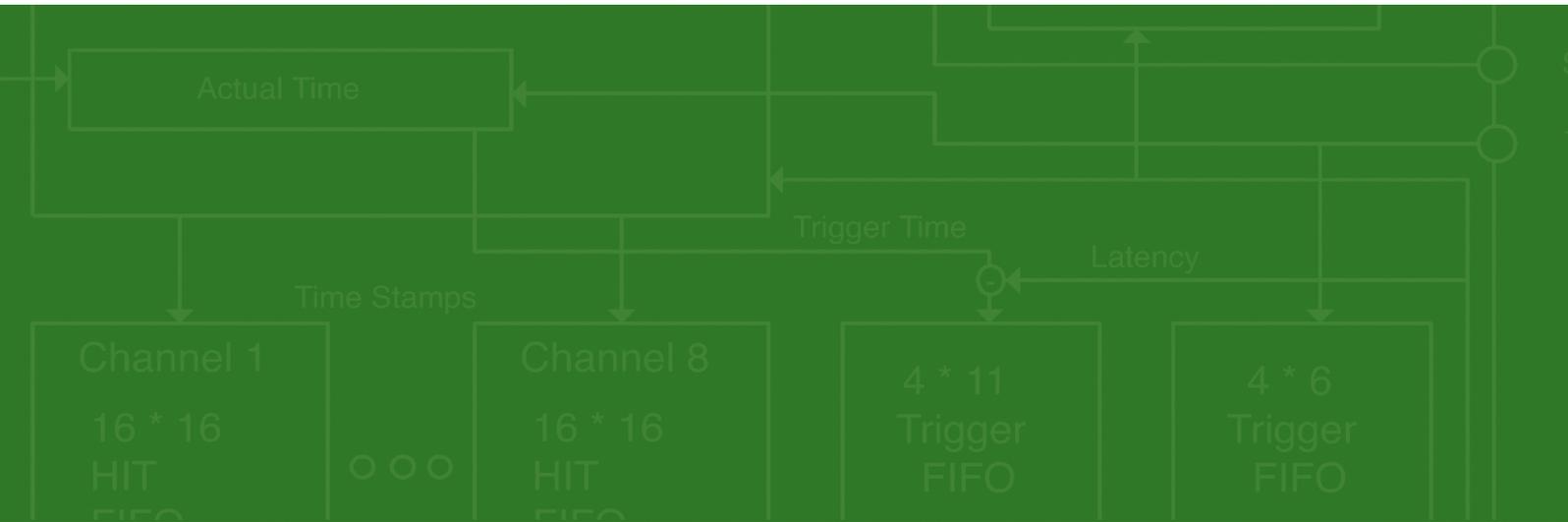
Решение:

1. На любое прерывание TDC-GP22 необходимо отвечать командой INIT. Даже если вы знаете, что следующие данные будут неправильными, Вам необходимо послать команду INIT для остановки измерения ширины импульса. То же самое в случае, если Вы не считываете данные. Таймаут должен быть выбран как источник прерывания.
2. Если нет необходимости в использовании информации от измерения ширины импульса, отключите этот модуль.

7.2 Последние изменения

19.08.2011	Версия 0.0
02.11.2011	Версия 0.0 к выпуску
27.01.2012	Версия 0.1 к выпуску, разделы 6 и 7 обновлены
29.03.2012	Версия 0.3 к выпуску, 7.1.2 новый раздел, регистры 1 и 4 исправлены
24.05.2012	Версия 0.4 к выпуску, небольшие исправления раздел 2, стр. 2-4, раздел, 6 стр. 6-3 и 6-4
26.06.2012	Версия 0.5 к выпуску, исправления и дополнения стр. 2-8, 2-9 и 7-1, 7-2





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