



PCap01Ax-0301

电容测量的单芯片方案
带有标准固件 03. 01. 02

2011年5月13日
版本. : DB_PCap01-0301_e V0. 4

Published by acam-messelectronic gmbh

© copyright 2011 by acam-messelectronic gmbh, Stutensee, Germany

Legal note

The present manual (data sheet and guide) is still under development, which may result in corrections, modifications or additions. acam cannot be held liable for any of its contents, neither for accuracy, nor for completeness. The compiled information is believed correct, though some errors and omissions are likely. We welcome any notification, which will be integrated in succeeding releases.

The acam recommendations are believed useful, the firmware proposals and the schematics operable, nevertheless it is of the customer 's sole responsibility to modify, test and validate them before setting up any production process. acam products are not designed for use in medical, nuclear, military, aircraft, spacecraft or life-support devices. Nor are they suitable for applications where failure may provoke injury to people or heavy material damage. acam declines any liability with respect to such non-intended use, which remains under the customer 's sole responsibility and risk. Military, spatial and nuclear use subject to German export regulations.

acam do not warrant, and it is not implied that the information and/or practice presented here is free from patent, copyright or similar protection. All registered names and trademarks are mentioned for reference only and remain the property of their respective owners. The acam logo and the PicoCap logo are registered trademarks of acam-messelectronic gmbh, Germany.

Support / Contact

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

<http://www.acam.de>

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

sales@acam.de or by phone +49 7244 7419 0.

目录

1 系统前瞻

1-1

2 特性及规格

2.1 电气特性

2-2

2.2 CDC 精度

2-3

2.3 RDC 精度

2-7

2.4 功耗

2-8

2.5 封装信息

2-9

3 转换器前端

3.1 CDC 测量原理

3-2

3.2 重要 CDC 参数

3-2

3.3 CDC 外部电路

3-4

3.4 连接电容传感器

3-4

3.5 选择放电电阻

3-6

3.6 补偿测量

3-6

4 接口 (串行通信和 Pulse-Density 通信)

4.1 串行通信

4-2

4.2 PDM/PWM 和 GPIO

4-6

5 读 & 写寄存器

5.1 配置 & 参数寄存器

5-2

5.2 配置寄存器的说明

5-12

5.3 读寄存器

5-15

6 DSP, 存储 & 固件

6.1 DSP 管理和编程

6-2

6.2 存储器映射

6-3

6.3 存储器管理

6-3

6.4 OTP 固件编程

6-3

6.5 入门指南

6-5

7 其它

7.1 错误报告

7-2

7.2 文档历史

7-3

1 系统前瞻

PCap01为带有单片机处理单元的一款专门进行电容测量的电容数字转换单芯片方案。其前端转换单元是基于acam公司专利的**PICOCAP®**测量原理。这种转换测量原理提供了对于转换时间范围最小可以到 $2 \mu\text{s}$ 的高精度时间转换。客户将会从这种测量原理的杰出灵活性，低功耗，高精度以及高速度的优势当中受益。

这个手册描述了PCap01A的应用，带有标准固件 03.01xx。它可以支持单一接地和差动传感器，以及单一漂移和差动传感器的连接。通过接地电容，芯片内部的寄生电容可以被补偿。通过漂移电容，内部的寄生电容以及外部的寄生电容都可以被补偿。另外，温度测量可以通过内部或者外部的温敏电阻来进行测量。带有固件 03.01.xx 的PCap01A 提供了纯的电阻和电容的比率输出结果，没有进行任何额外的处理。

1.1 性能特点

基于CMOS技术的数字测量原理

- 在接地模式中最多可以测量8路电容
- 在漂移模式最多可测量4路电容(零电势及零偏压)
- 内部(接地)补偿和外部(漂移)寄生电容补偿
- 高精度：最高达
 - 6 aF 在 5 Hz 和 10 pF 基础电容
 - 17 位精度在5 Hz 和 100 pF基础电容 和 10 pF的最大变化电容
- 高测量频率：
最高达500 kHz
- 超低测量功耗可能：
在3Hz带有 13.4位测量精度情况下可以最低到4.0 μA 功耗
- 超高的温度稳定性, 超低温漂 (每摄氏度漂移仅为 30 aF每摄氏度), 低增益漂移当所有补偿全部开启的时候
- 用于高精度温度测量的专有端口
(应用Pt1000 传感器, 精度可达0.005 K)
- 串行通信接口 (SPI兼容)
- 内部集成电路接口(I2C 兼容)

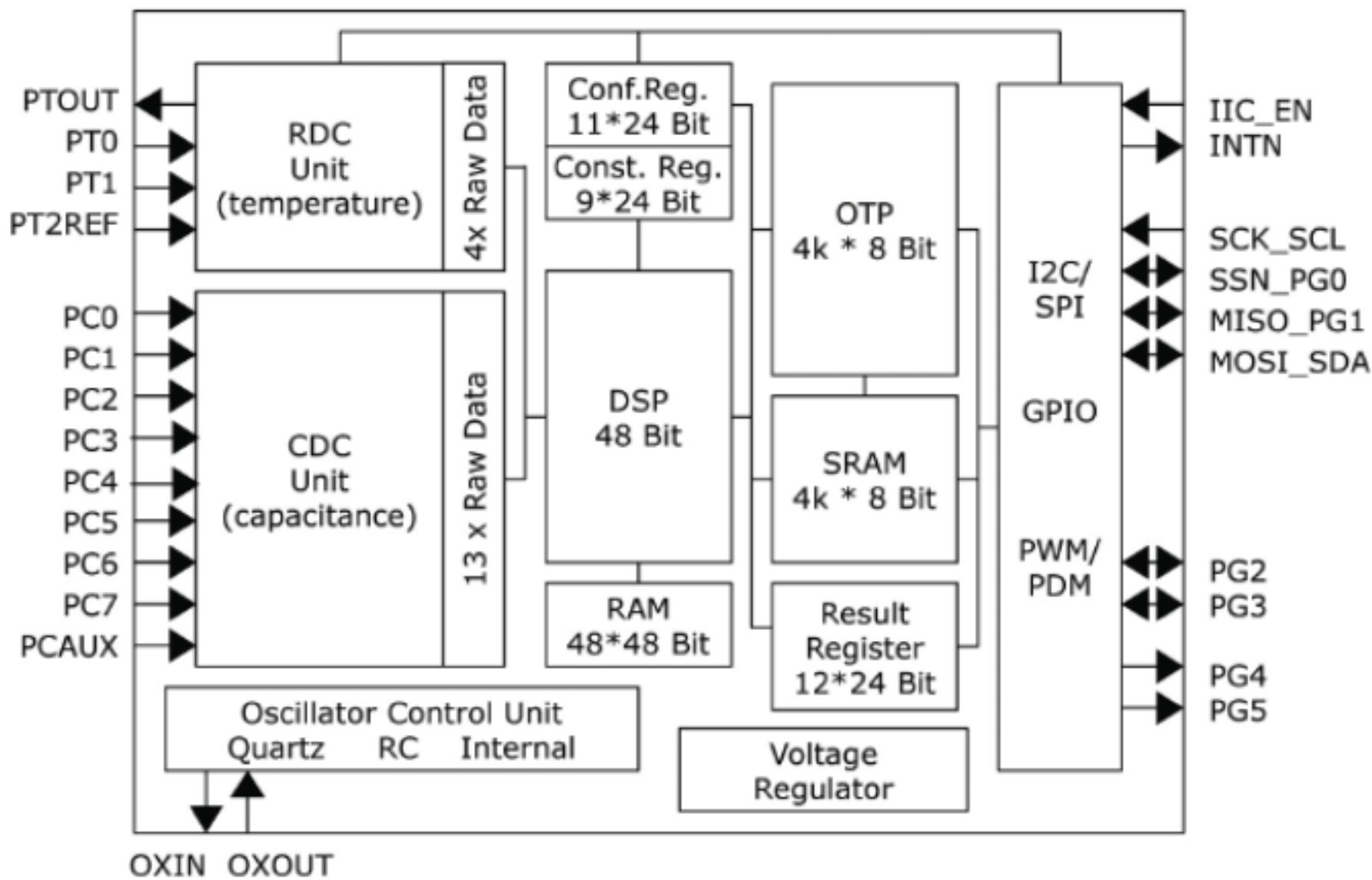
- 自启动功能
- 单一供电电源 (2.1 到 3.6 V)
- 无需时钟
- RISC 内部单片机内核应用哈佛结构：
 - 48 x 48 RAM数据
 - 4k x 8 非永久存储单元用于高速测量应用 (40到100 MHz)
 - 4k x 8位永久性存储单元 (OTP) 用于一般速度的应用(最高到 40 MHz)

1.2 典型应用

- 湿度传感器
- 位移传感器
- 压力传感器
- 力学传感器
- 加速度传感器
- 倾角传感器
- 角度传感器
- 无线应用
- 夜位开关传感器
- 麦克风
- MEMS 传感器

1.3 内部结构原理图

图 1-1：内部结构原理图



2 特性及规格	2-2
2.1 电气特性.....	2-2
2.1.1 绝对最额定值.....	2-2
2.1.2 推荐操作条件.....	2-2
2.2 CDC 精度.....	2-3
2.2.1 RMS 噪声和精度 vs. 输出数据频率.....	2-3
2.2.2 RMS 噪声 vs. 供电电压.....	2-5
2.2.3 增益和零点offset漂移的电源相关性(PSRR).....	2-6
2.2.4 增益和零点offset漂移的温度相关性.....	2-6
2.3 RDC 精度.....	2-7
2.4 功耗.....	2-8
2.5 封装信息.....	2-9
2.5.1 裸片 - Pad Layout	2-9
2.5.2 QFN 封装	2-9
2.5.3 管脚定义QFN32 和QFN24 版本.....	2-10
2.5.4 Pin/Pad 管脚分配.....	2-11

2 特性及规格

2.1 电气特性

2.1.1 绝对最额定值

供电电压	VDD-到-GND	- 0.3 到 4.0 V
存储温度	T _{stg}	- 55 to 150 ° C
ESD	能力(HBM)，每个管脚	> 2 kV
结点温度 (T _j)	最大.	125 ° C
OTP 数据保留期	10 年在 95 ° C 度	

2.1.2 推荐操作条件

表 2-1: 操作条件

名称	符号	符号	最小.	典型.	最大.	单位
供电电压	VDD		2.1		3.6	V
数字端口电压	V _{io_digital}	相对于地	- 0.6	3.3	VDD +0.6 ≤ 3.6	V
数字端口切换电压		HIGH 到 LOW LOW 到 HIGH		0.3 * VDD 0.7 * VDD		
模拟端口电压	V _{io_analog}		- 0.6		VDD +0.6 ≤ 3.6	V
OTP 编程电压	V _{OTP}	在 “VPP OTP” 端口和地之间的电压. 请不要将其它端口应用此电压.		6.5	7.0	V
SPI 总线频率	f _{SPI-bus}	时钟频率用于4线SPI总线操作	0		20	MHz
I2C 总线频率		2线I2C总线操作的速度(数据频率)	0		100(1)	kHz
OTP 位保持时间		OTP 写操作的位保持时间	30		500	μs
GPIO 输入上升沿时间		输入信号给到普通IO口的上升沿			t. b. d	ns
GPIO 输出上升沿时间		输出信号给到普通IO口的上升沿			t. b. d.	ns
CDC 放电时间		MR1	0		40	μs
RDC 放电时间			0		100	μs
结点温度	T _j	结点温度不能超过 +125 ° C	- 40		+ 125	° C
环境温度	T _a	在 VDD = 2.4V -/+ 0.3V	- 40		+ 125	° C

⁽¹⁾ Overclocking技术上是可行的，但是客户需自己承担所有责任（需要认证证书）。

2 特性及规格

2.2 CDC 精度

2.2.1 RMS 噪声和精度 vs. 输出数据频率

表 2-2 典型电容测量噪声 & 精度 vs. 输出数据频率, 10 pF 基础电容 + 1 pF 最大变化, 快速模式, V = 3.0 V

输出数据频率 [Hz]	漂移模式完全补偿			接地模式内部补偿		
	RMS 噪声 [aF]	有效分辨率 10 pF 基础电容 [位]	有效分辨率 1 pF 最大变化 [位]	RMS 噪声 [aF]	有效分辨率 10 pF 基础电容 [位]	有效分辨率 1 pF 最大变化 [位]
5	6	20.7	17.3	6	20.7	17.3
10	13	19.6	16.2	11	19.8	16.5
25	20	18.9	15.6	17	19.2	15.8
100	39	18.0	14.6	22	18.8	15.5
250	72	17.1	13.8	29	18.4	15.1
1,000	157	16.0	12.6	66	17.2	13.9
3,500	290	15.1	11.8	139	16.1	12.8
7,000	420	14.5	11.2	176	15.8	12.5
10,000	495	14.3	11.0	246	15.3	12.0

表 2-3 典型电容测量噪声 & 精度 vs. 输出数据频率, 33 pF 基础 + 3.3 pF 最大变化, 快模式, V = 3.0 V

输出数据频率 [Hz]	漂移模式, 完全补偿			接地模式, 内部补偿		
	RMS 噪声 [aF]	有效精度 33 pF 基础电容 [位]	Eff. Resolution 3.3 pF span [Bits]	RMS Noise [aF]	Eff. Resolution 33 pF base [Bits]	Eff. Resolution 3.3 pF span [Bits]
5	18	20.8	17.5	12	21.4	18.1
10	26	20.3	17.0	16	21.0	17.7
25	42	19.6	16.3	28	20.2	16.8
100	79	18.7	15.4	50	19.3	16.0
250	134	17.9	14.6	75	18.7	15.4
1,000	321	16.6	13.3	176	17.5	14.2
3,500	546	15.9	12.6	325	16.6	13.3
7,000	756	15.4	12.1	508	16.0	12.7
10,000	1119	14.8	11.5	742	15.4	12.1

均方根(RMS)噪声值以aF为单位, 以及输出数据的频率以Hz为单位, 在3.0V电压情况下 应用最大采样频率通过芯片内部平均, 以及应用可能的最小周期时间。有效位的计算是基于基础电容和最大变化电容, 通过测量噪声(阿法)进行2的指数计算获得。测量是通过PCap01的评估板获取, 带有固定的COG陶瓷电容。

如表格所示, 传感器和参考电容全部接到“漂移”或者“接地”模式, 当应用漂移模式时, 补偿内部和外部的寄生电容的完整机制被开启。当应用接地模式, 仅开启了内部补偿机制。

2 特性及规格

表 2-4 典型电容测量噪声& 精度 vs. 输出数据频率, 100 pF 参考电容 + 10 pF 最大变化, 快速模式, V = 3.0 V

输出数据频率 [Hz]	漂移模式完全补偿			接地模式, 内部补偿		
	RMS 噪声 [aF]	有效精度 100 pF 参考电容 [位]	有效精度 10 pF 变化 [位]	RMS 噪声 [aF]	有效精度 100 pF 参考电容 [位]	有效精度 10 pF 变化 [位]
5	71	20.4	17.1	106	19.8	16.5
10	91	20.1	16.7	133	19.5	16.2
25	185	19.0	15.7	226	18.8	15.4
100	321	18.2	14.9	350	18.1	14.8
250	543	17.5	14.2	480	17.7	14.3
1,000	1044	16.5	13.2	987	16.6	13.3
3,500	3320	14.9	11.6	1965	15.6	12.3
7,000	4226	14.5	11.2	3675	14.7	11.4

图 2-1 典型电容噪声 vs. 输出数据频率带有 10pF 基础电容, V = 3.0 V

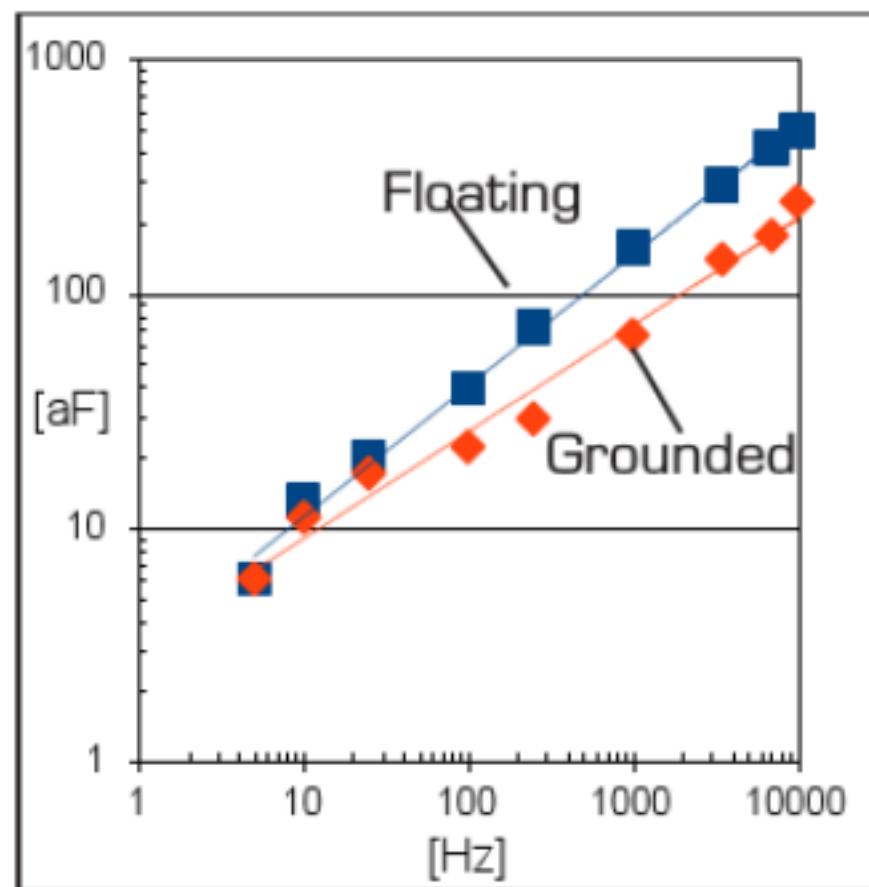
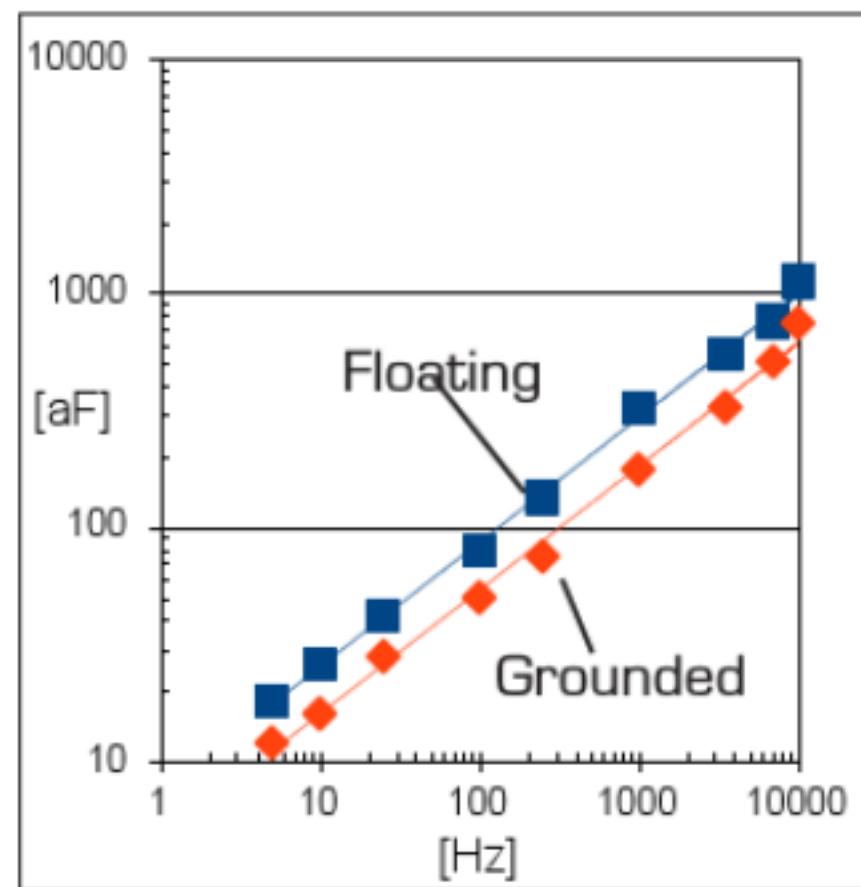
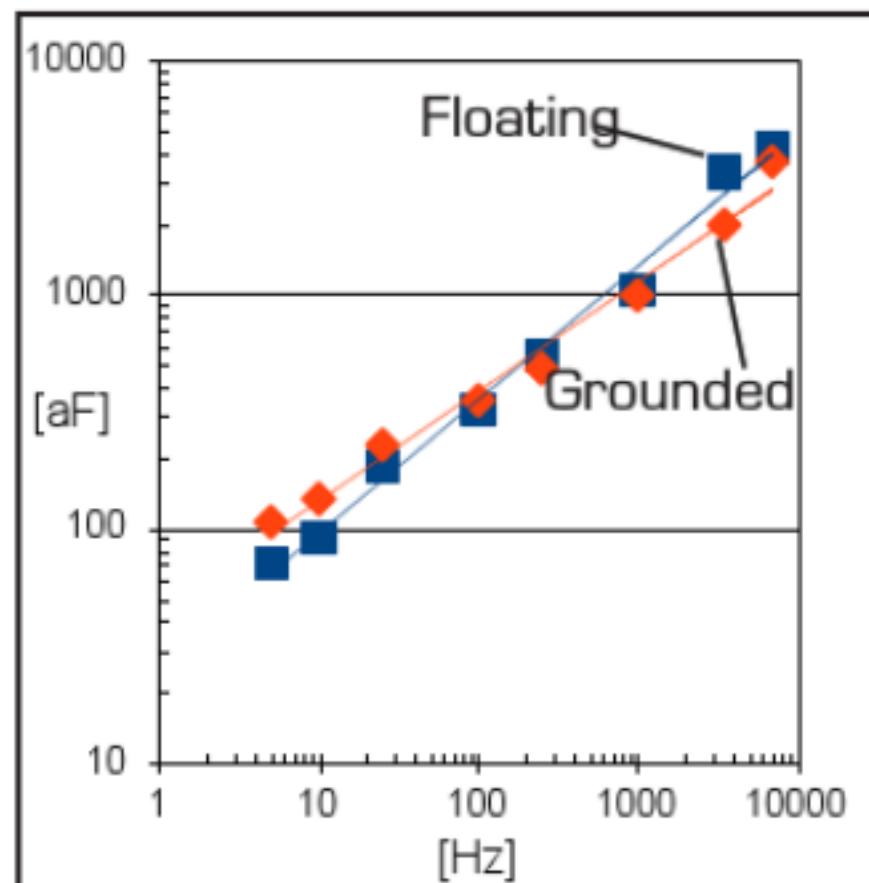


图 2-2 典型电容噪声 vs. 输出数据频率, 带有 33 pF 参考电容, V = 3.0 V



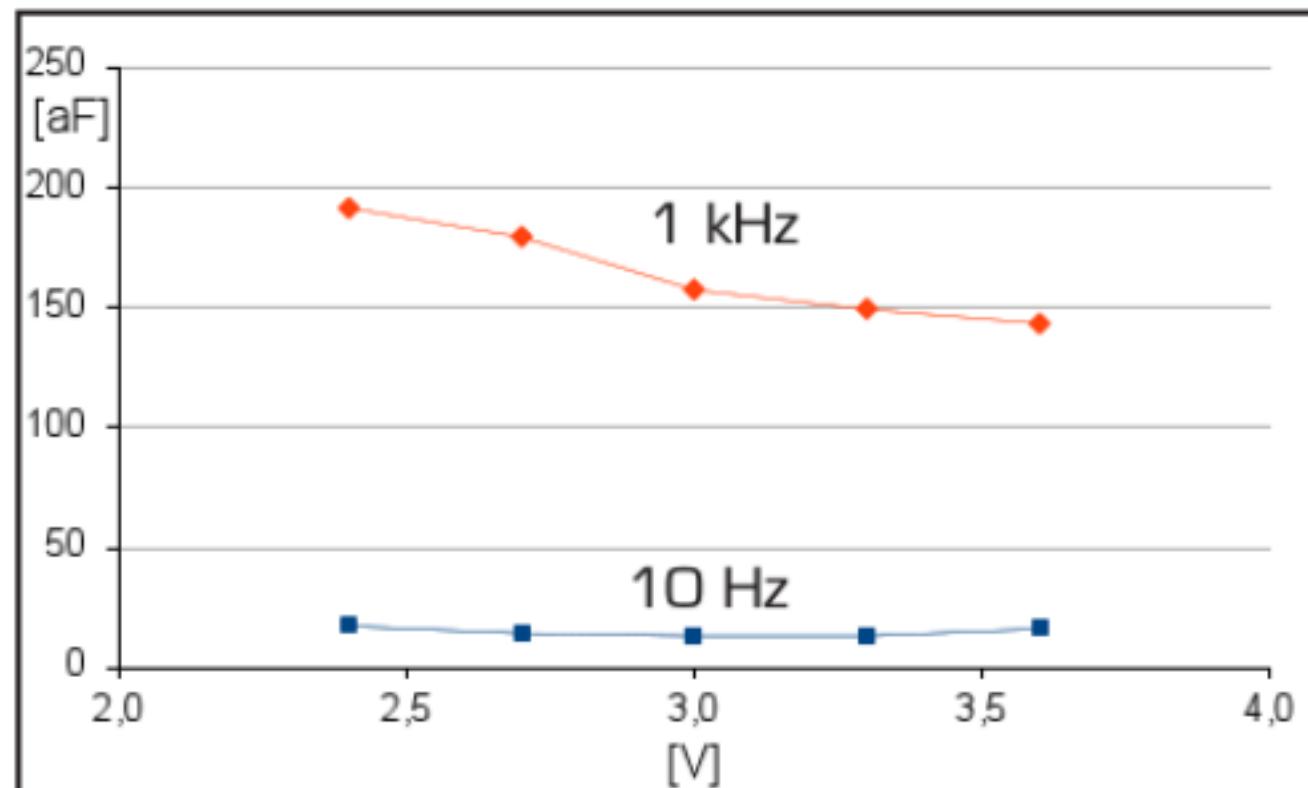
2 特性及规格

图 2-3 典型电容噪声 vs. 输出数据频率, 带有, 带有 100 pF参考电容, V = 3.0 V



2.2.2 RMS 噪声 vs. 供电电压

图 2-4 RMS 噪声 vs. 供电电压



RMS 噪声以aF单位给出, 与供电电压VDD的方程关系。

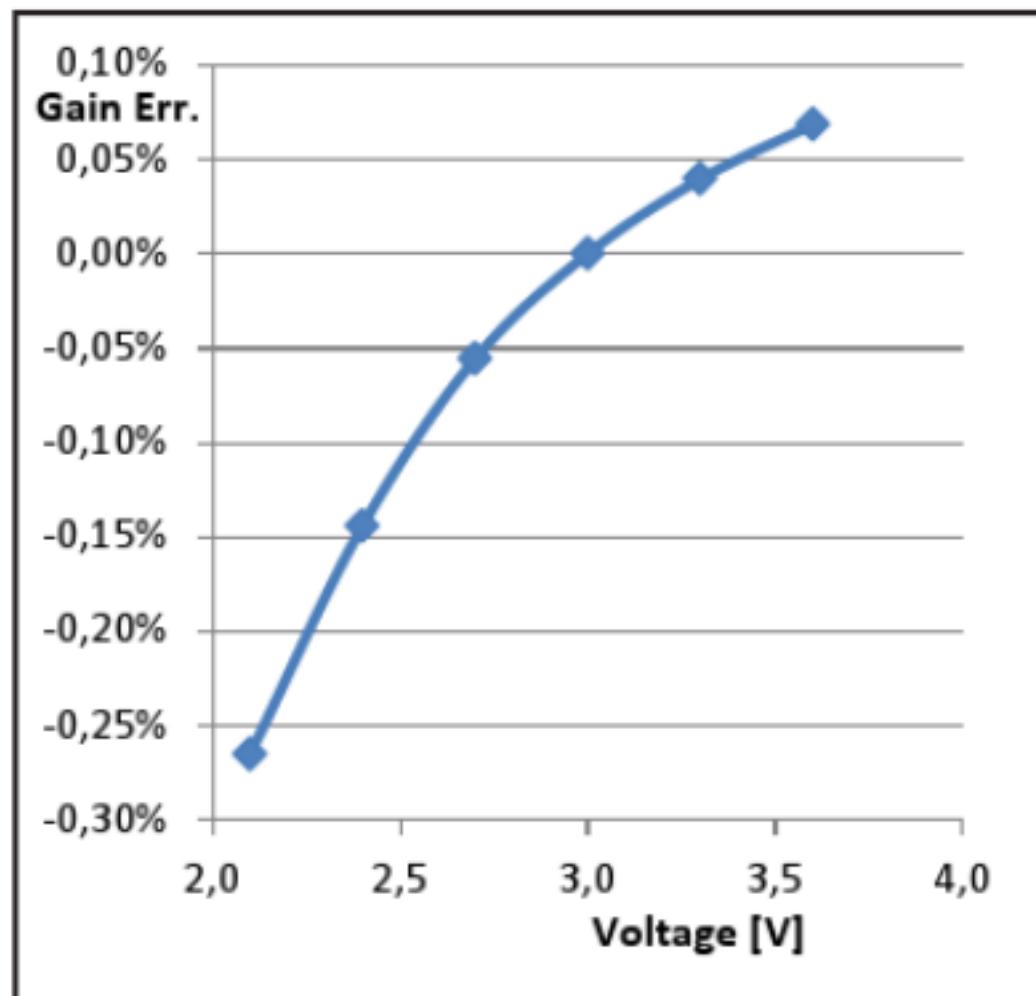
上面的曲线为1Khz数据输出频率,
下面曲线为10Hz输出频率。

数据获取如之前相同, 10pF陶瓷COG
电容连接到“漂移”模式的传感器和参考电容端口。加载的电容为
1pF陶瓷COG类型。

2 特性及规格

2.2.3 增益和零点offset漂移的电源相关性(PSRR)

图 2-5 增益误差 % vs. 供电电压 (电源抑制比)



数据获取如之前相同，10pF陶瓷COG电容连接到“漂移”模式的传感器和参考电容端口。加载的电容为10pF陶瓷COG类型。

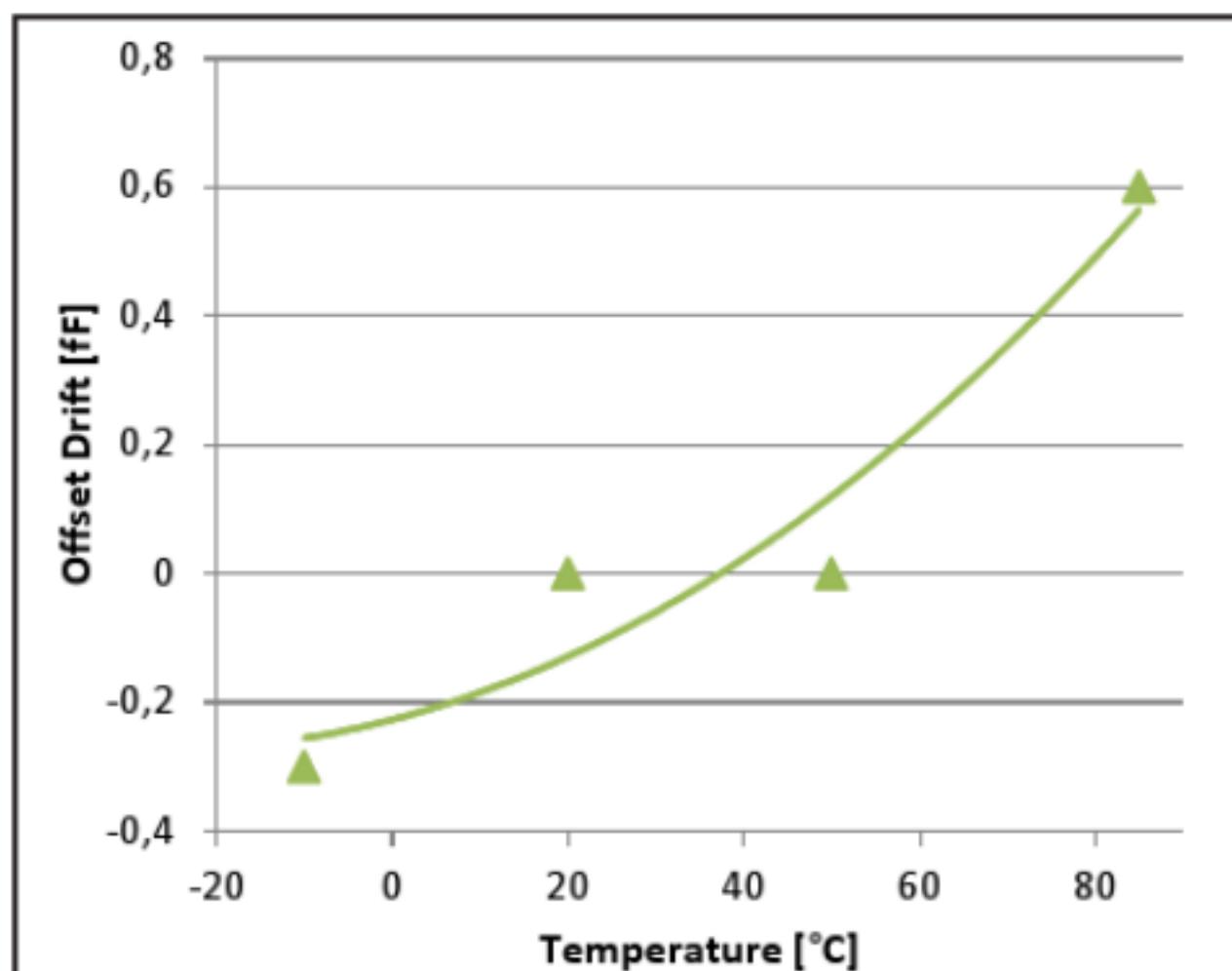
增益漂移为主要的误差来源；offset零点漂移可以忽略不计。没有侦测到与测量刷新率的相关性。

当前，电源抑制是比较差的，因此需要一些较好的滤波元器件，来稳定电源。在绝大多数情况下推荐使用现行的电压调节元件。在这里获得的数据则为应用这种电压调节的情况。

任何在电源线上的开关调节器都必须通过一个线性的电压调节器将其与芯片分开。另外结合一些RC的滤波器。任何在电源线的漂移和噪声都会给到输出结果中。

2.2.4 增益和零点offset漂移的温度相关性

图 2-5 零点offset漂移 vs. 温度



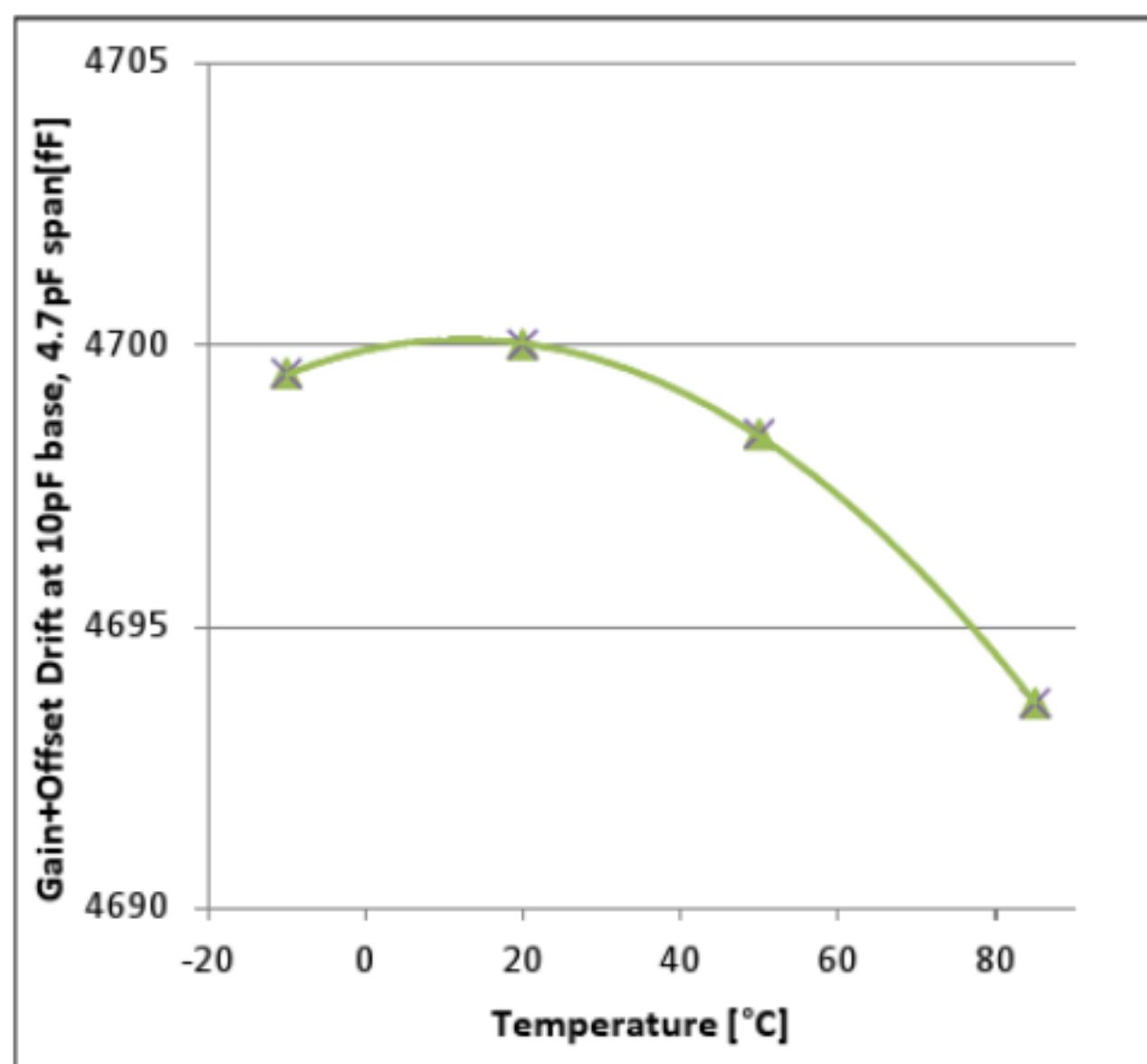
零点漂移与温度的方程关系，在供电电压VDD为3.0V的情况下。10 pF 参考电容，参考和传感器电容均为 COG 陶瓷电容，以“漂移”模式连接。

零点offset漂移：

3.0 V: 9.5 aF/K

2 特性及规格

图2-6 增益漂移 vs. 温度



零点漂移与温度的方程关系，在供电电压VDD为3.0V的情况下。10 pF 参考电容和传感器电容，额外加上4.7pF的变化电容。全部为COG陶瓷电容，连接为“漂移”模式。

Offset 零点漂移：

3.0 V: 13 ppm/K

2.3 RDC 精度

温度敏感系数 Tk 在 20 ° C

材料	Tk
内部硅参考电阻	-1.1 ppm/K
内部铝制温敏电阻	2830 ppm/K
外部 PT1000传感器	3830 ppm/K

应用内部 铝电阻/硅电阻是的测量精度 在20 ° C的情况下

测量条件	R2/Rref 典型.	RMS 噪声 R2/Rref	典型 RMS 噪声 (*) Temperature
无平均， 2 次假测量	0.825	50 ppm	25 mK
16-次平均, 8 次假测量	0.823	10 ppm	5 mK

(*) 在预处理的软件中进行线性调整之后

应用内部铝温敏电阻在线性调整后转化到温度的典型误差，假设温度和电阻的现行关系为：

-20 ° C < Temp. < 0 ° C 290 mK

0 ° C < Temp. < 80 ° C 110 mK

2 特性及规格

2.4 功耗

表 2-4 在Triggered模式下整个电流消耗I [μA]与速度(SEQTIME)和测量精度(C_AVRG)的关系

SEQTIME (数据频率 [Hz])		I [μA]								
		C_AVRG (RMS 精度[位])								
		1 (11.3)	4 (12.3)	16 (13.4)	64 (14.4)	128 (14.9)	256 (15.4)	512 (15.9)	1024 (16.4)	2048 (16.9)
13	(3.1)	4	4	4	5	10	10	55	80	150
12	(6.1)	4	5	7	10	20	35	80	150	
11	(12.2)	5	6	9	22	40	80	160		
10	(24.4)	6	8	15	44	82	160			
9	(48.8)	8	12	27	85	160				
8	(97.7)	12	20	49	163					
7	(195.0)	20	35	93						
6	(391.0)	36	65	178						
5	(781.0)	67	124							
4	(1560.0)	127	236							
3	(3120.0)	229								
2	(6250.0)	409								

表 2-4 在持续测量模式下整个电流消耗I [μA]与速度(SEQTIME)和测量精度(C_AVRG)的关系
(这个模式将会体现最快测量速度/最佳性能)

	C_AVRG (RMS 精度[位])								
	1 (11.3)	4 (12.3)	16 (13.4)	64 (14.4)	128 (14.9)	256 (15.4)	512 (15.9)	1024 (16.4)	2048 (16.9)
I [μA]	515	275	204	185	182	181	180	180	179

根据选择测量速度不同，在电容测量之外的温度测量将会有大约额外2-10μA 的功耗，整体功耗低于30uA仅在驱动电压为1.8 V核心电压，在节能模式的时候实现(参见章节 5, 寄存器 10)；降低功耗将会降低DSP的速度 (参见章节 5, 寄存器 8).

2 特性及规格

2.5 封装信息

2.5.1 裸片 - Pad Layout

裸片尺寸: 2.04 mm x 1.56 mm 线宽 120 μm , pad开窗尺寸 85 μm x 85 μm

2.5.2 QFN 封装

图 2-7: QFN 封装尺寸

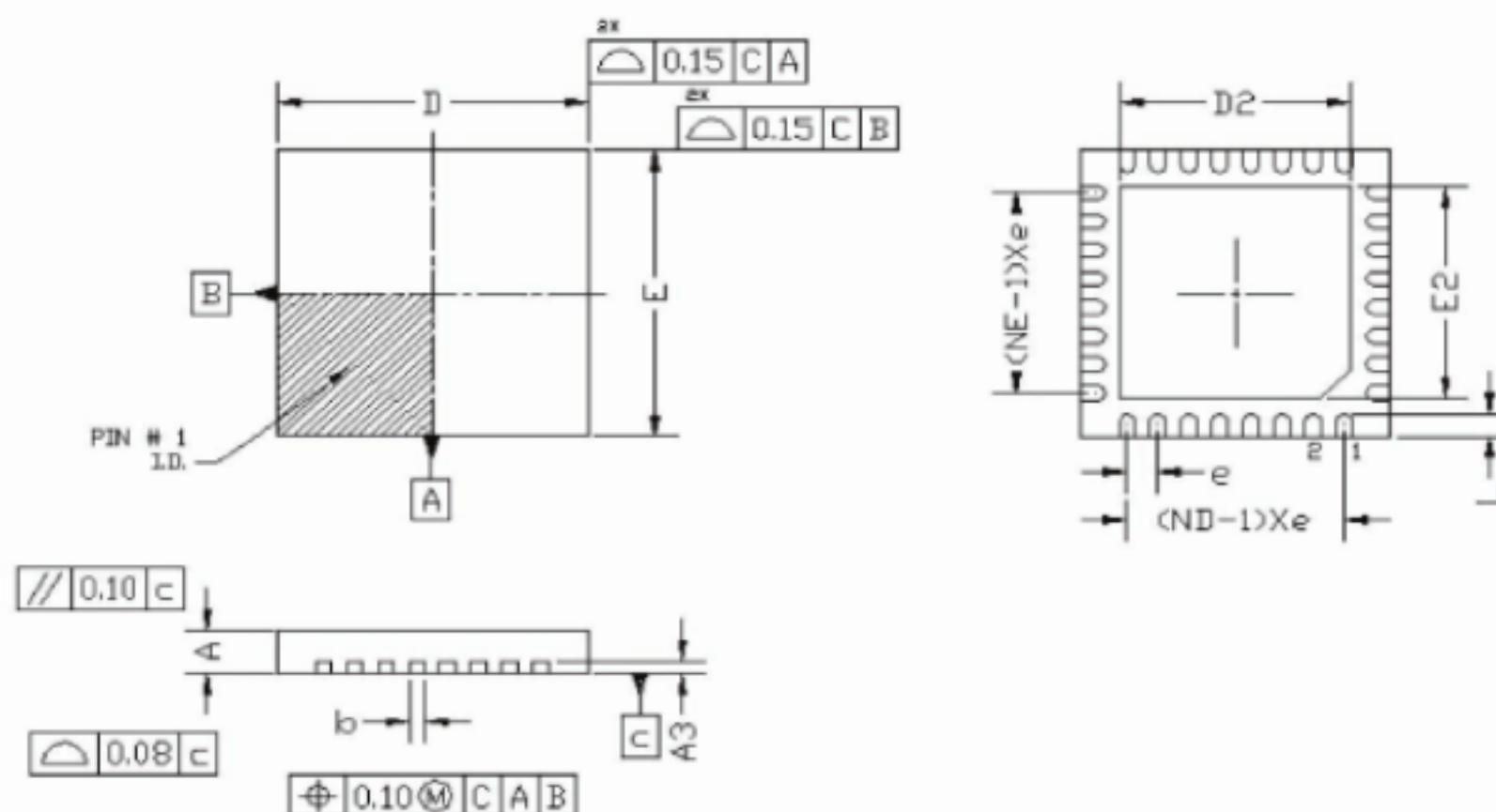


表 2-5: QFN尺寸

版本号	封装	尺寸以mm为单位							
		D, E	D2, E2	N	e	L	b	A	A3
PCap01-AD	QFN32	5.00	2.70	8	0.5	0.4	0.25	0.75/0.9	0.20
PCap01-AK	QFN24	4.00	2.70	6	0.5	0.35	0.25	0.75/0.9	0.20

根据 ASME Y14.5M-1994 所规定工差的尺寸和容忍范围

重要注释: 上面所描述的尺寸是适合量产的。在设计原型的阶段, (“原型” 针对设计中的版本而非应用版本), 如果应用其他尺寸, 请进一步咨询我们。

2 特性及规格

2.5.3 管脚定义QFN32 和QFN24 版本

图 2-8

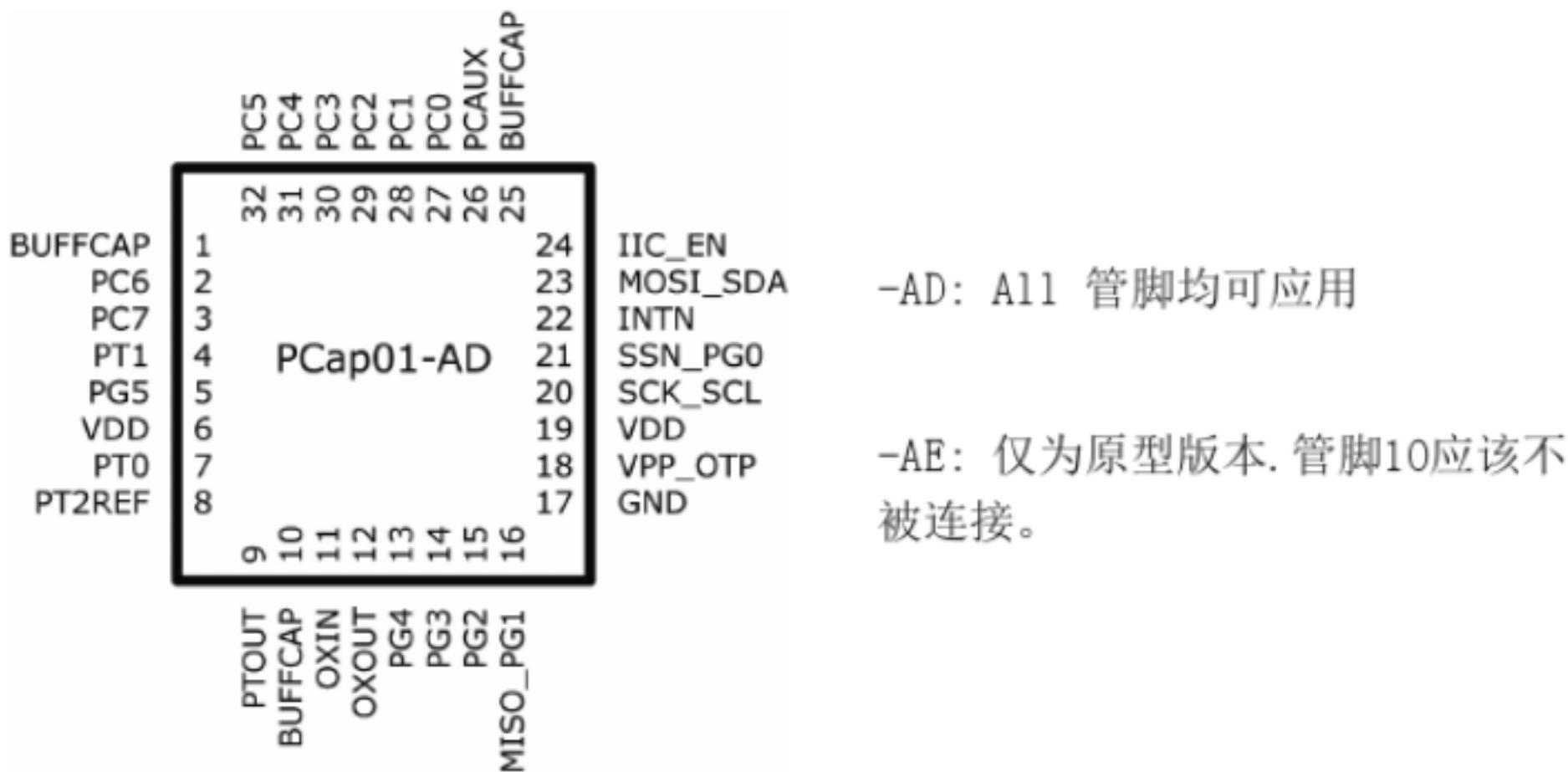


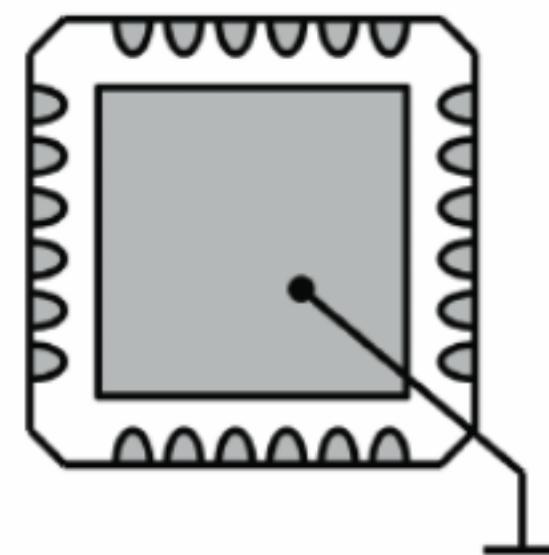
图 2-9



QFN 封装将会在底部提供一个方形的PAD, 一般称为 “热导pad” . 这个部分为提供给芯片提供地-电势.

将这个PAD连接到地是必须的。过孔在大多数情况下是不需要的。因为IC本身所释放的热量是很小的。尽管如此，有一些情况则需要特殊处理，在一些应用中比如应用片上温度测量被应用的情况

图 2-10 QFN 接地PAD



2 特性及规格

2.5.4 Pin/Pad 管脚分配

管脚	描述	说明 Com- ment	管脚号码
			-AD -AK
BUFFCAP	连接微法级别去藕旁路电容和纳法级别旁路电容到GND桥接管脚1 和25 , 如果存在的话。去藕是必须的!	在任何情况下都需要连接	1 10 25 17 24
GND	地		13
IIC_EN	将这个管脚接到 低平或者到GND来应用SPI总线, 否则将管脚接到高平或者VDD.		18
INTN	可选择. 中断管脚, 低平有效		22
MISO_PG1	串行通信数据线(仅支持SPI, 否则可以作为GPIO端口应用)		16
MOSI_SDA	串行通信数据线, 主机输出 - 从机输入		17
OXIN	可悬空。在很例外的情况下连接一个4Mhz石英或者陶瓷晶振.		11
OXOUT			12
PC0	“CDC” 或者电容测量端口. 在这里连接参考电容和传感器, 从PC0开始作为参考电容端口.		27
PC1			19
PC2			28
PC3			20
PC4			29
PC5			21
PC6			30
PC7			22
PCaux	一般不作应用		31
PG2	一般输入输出 I/O 端口. PG4和PG5仅为输出端口, 其他IO为输入或者输出 (可进行配置).		23
PG3			32
PG4			24
PG5			2
PT0			3
PT1	“RDC” 或者温度测量端口. 将外部温度电阻传感器的一端连接到这个端口.		26
PT2REF	如果有一个外部参考电阻 (温度测量电阻), 将其连接到这个端口, 否则这个端口可以接第三个电阻温度传感器.	如果不用, 请悬空	11 10 9 3 5 5 2 6

2 特性及规格

PTOUT	将温度传感器的另一端接到这个端口	如果不用, 请悬空 连接到GND	9	7
SCK_SCL	串行SPI时钟端口		20	15
SSN_PG0	SPI串行通信选择端口, 低平有效 或者作为一般输入输出 I/O 端口		21	16
VDD	电压, 请连接去藕电容到GND. 去藕是必须的		6 19	4
VPP OTP	在OTP 编程的时候设置到 6.5V. 在程序完毕之后迅速调回到GND。在普通的操作当中请将其接到GND。请连接一个470kOhm下拉电阻		18	14

-AE: 仅为原型版本, 将会被 -AD版本替换. 管脚10 应该不被连接.

-AH: 仅为原型版本, 将会被 -AK版本替换. 管脚8 应该不被连接.

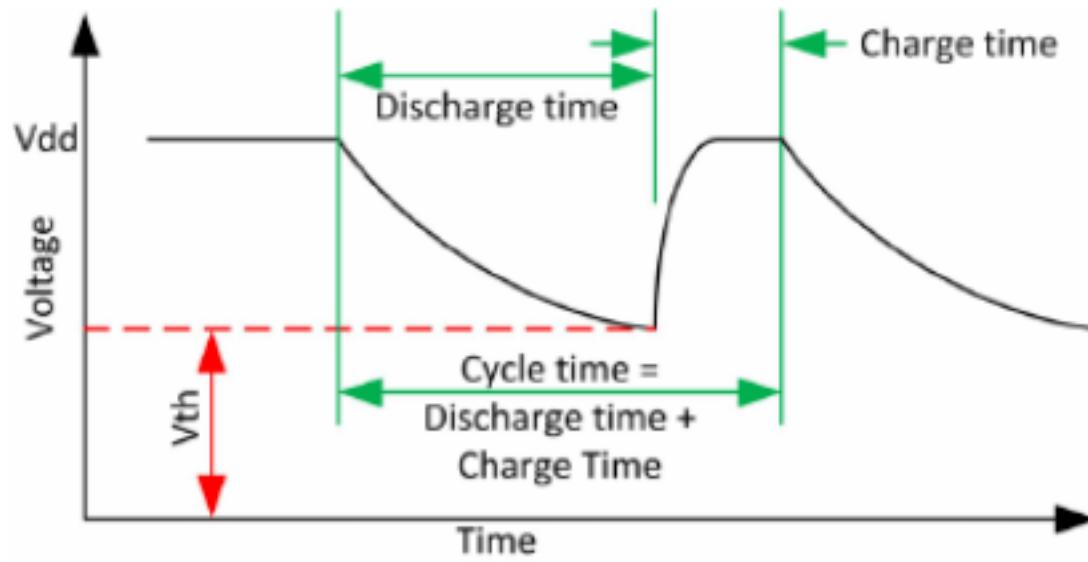
3 转换器前端	3-2
3.1 CDC 测量原理.....	3-2
3.2 重要 CDC 参数.....	3-2
3.3 CDC 外部电路.....	3-4
3.4 连接电容传感器	3-4
3.5 选择放电电阻	3-6
3.6 补偿测量.....	3-6

3 转换器前端

3.1 CDC 测量原理

仪器应用“放电时间的测量”作为测量电容 (CDC 单元) 或者电阻 (RDC 单元) 的测量原理。它将会覆盖所有的端口 (PC..., PT...) 以时间倍数的形式。

图 3-1 Cycle Time



3.2 重要 CDC 参数

一个非常重要的参数就是“cycle time”，由一次充电和一次放电时间组成。参见图 3-1。放电时间是由电容和放电电阻共同作用给出。cycle time是在两次放电时间测量之间的时间间隔，是由客户自己来设置的。相关的参数设置是在寄存器4中的 CMEAS_CYTIME。用户必须要注意放电时间的大小，那么设置cycletime一定要足够长。在默认情况下我们推荐设置cycletime的时间大于2倍的放电时间。否则，电容将不能够被完全充电。另外，如果cycletime的时间小于放电时间，那么CDC将会显示time-out。

测量结果如下公式进行推导：放电时间是与传感器和参考电容值成比率关系的：

$$\frac{\tau_N}{\tau_{ref}} = \frac{C_N}{C_{ref}}$$

这个方式是对于 CDC而言，而 RDC的推导是非常类似的。

图 3-2 充电-/ 放电循环 接地, 补偿模式, 单一传感器或者差动传感器

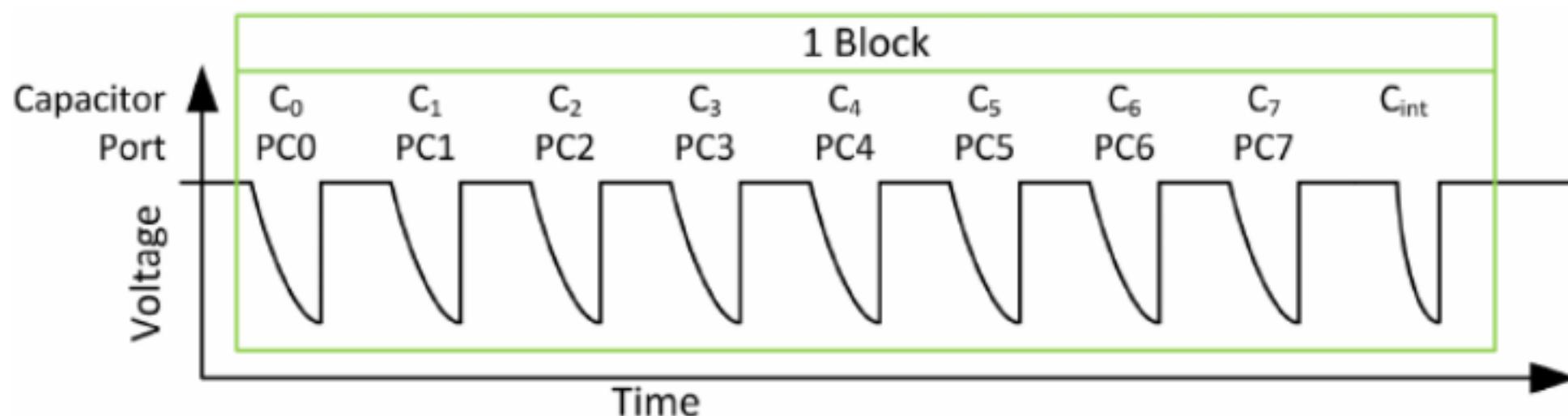


图 3-2 显示了一个CDC的例子，带有7次单一/ 3 次差动接地传感器测量和一次Block测量。一次Block测量包括了对于每一个电容端口和额外的一次内部寄生电容和比较器延迟的测量(内部补偿)。

3 转换器前端

图 3-3 充电-/放电循环 漂移, 补偿模式, 单一传感器或者差动传感器

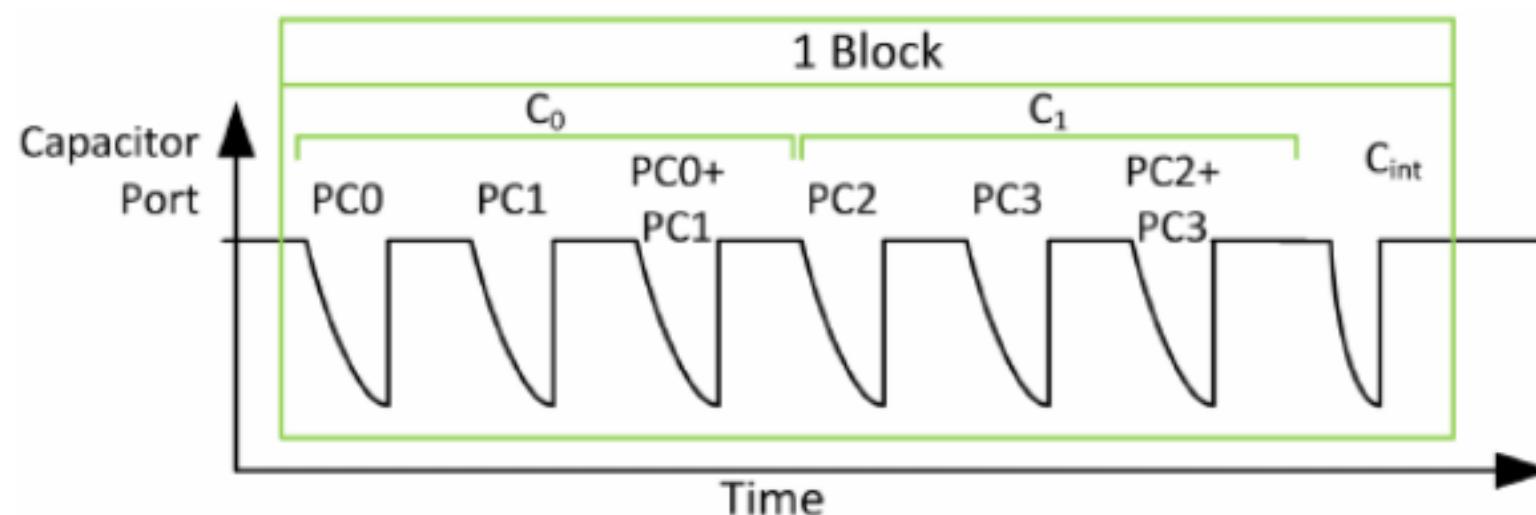
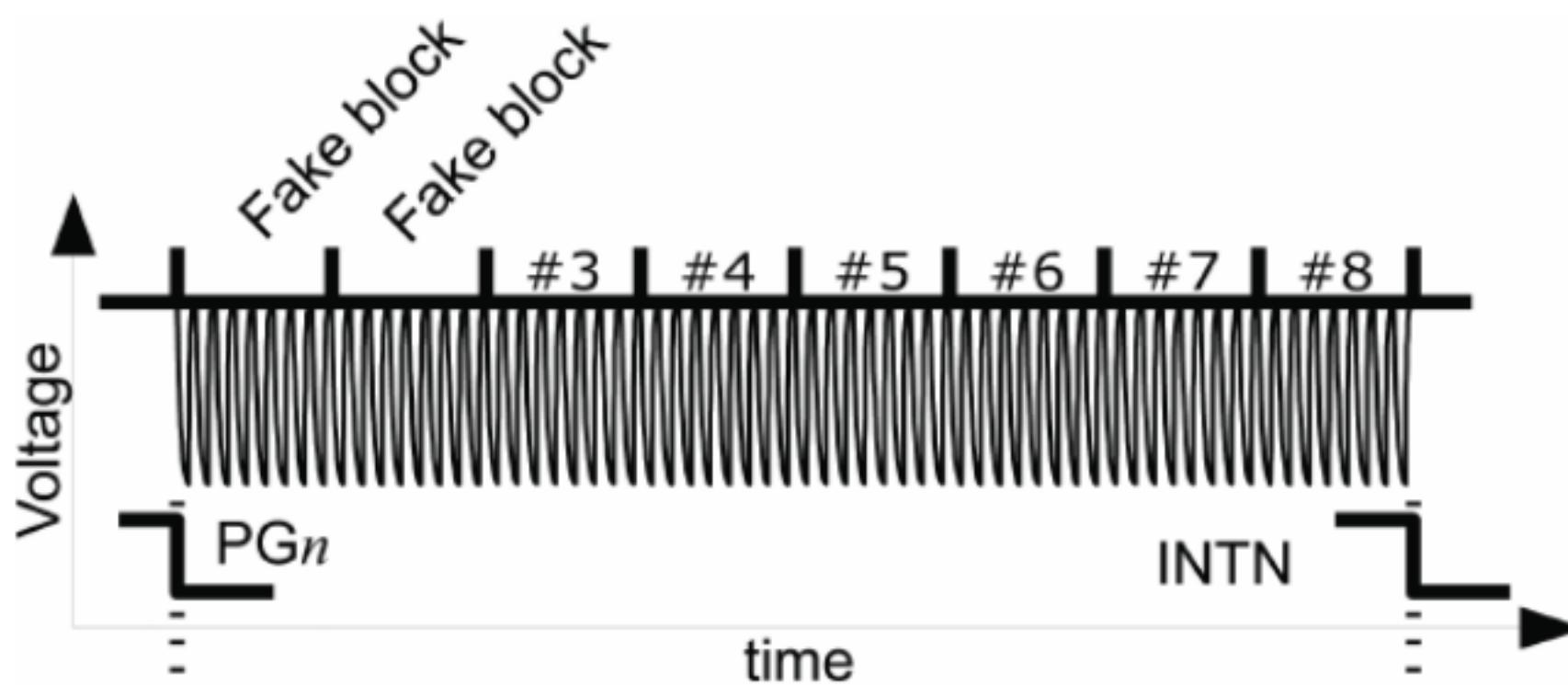


图 3-3 显示了一次漂移单传感器和参考电容/一个差分漂移电容的CDC测量例子. 一次Block 测量包括了对于每个电容的3次放电测量, 包括外部补偿测量. 还有一次测量是用于内部寄生电容和比较器延迟的补偿测量. 参见3.6章节获得更多关于补偿的信息.

测量频率或者“输出数据频率” 是与cycletime和“假测量次数” 和 “平均采样次数” 总合时间成反比的. 如果既没有假测量也没有在芯片进行任何平均的话, 测量结果将会每次“block” 都刷新一次.

图 3-4 测量循环



例 1:

2 次单一接地传感器 + 参考测量, cycle time = 20 μs: block 周期 = 80 μs
 2 次假block测量 + 4次平均: 测量周期 = 480 μs
 最大输出频率 = 2,083 Hz

例 2:

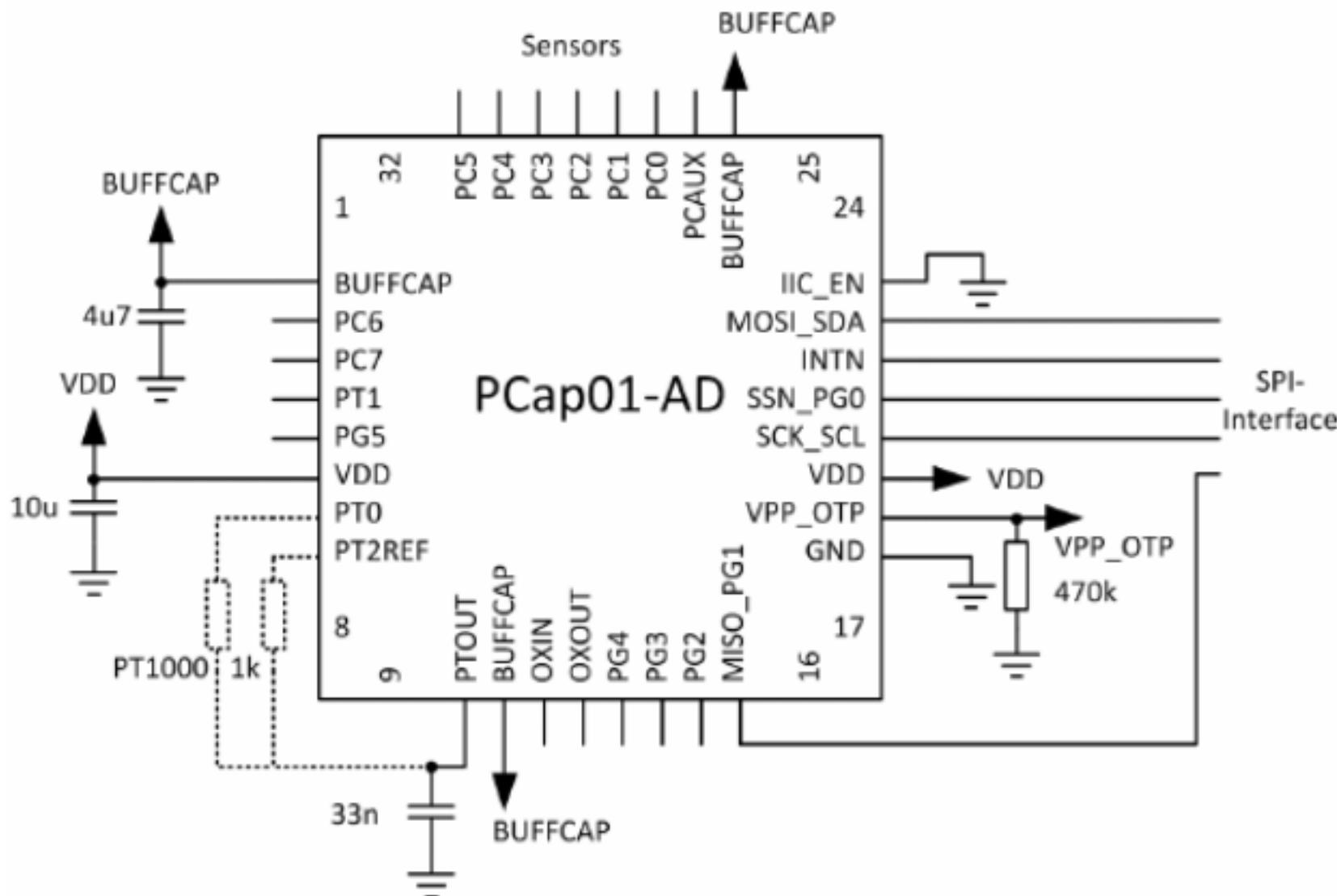
1 个单一漂移 传感器+ 参考电容, cycle time = 20 μs: block 周期 = 140 μs
 2 次假block测量 + 8-次平均: 测量周期 = 1400 μs
 最大刷新频率 = 714 Hz

3 转换器前端

3.3 CDC 外部电路

图 3-5 显示了部分电路原理图，与电容传感器配置无关。在这里应用了一个 SPI 接口的例子。

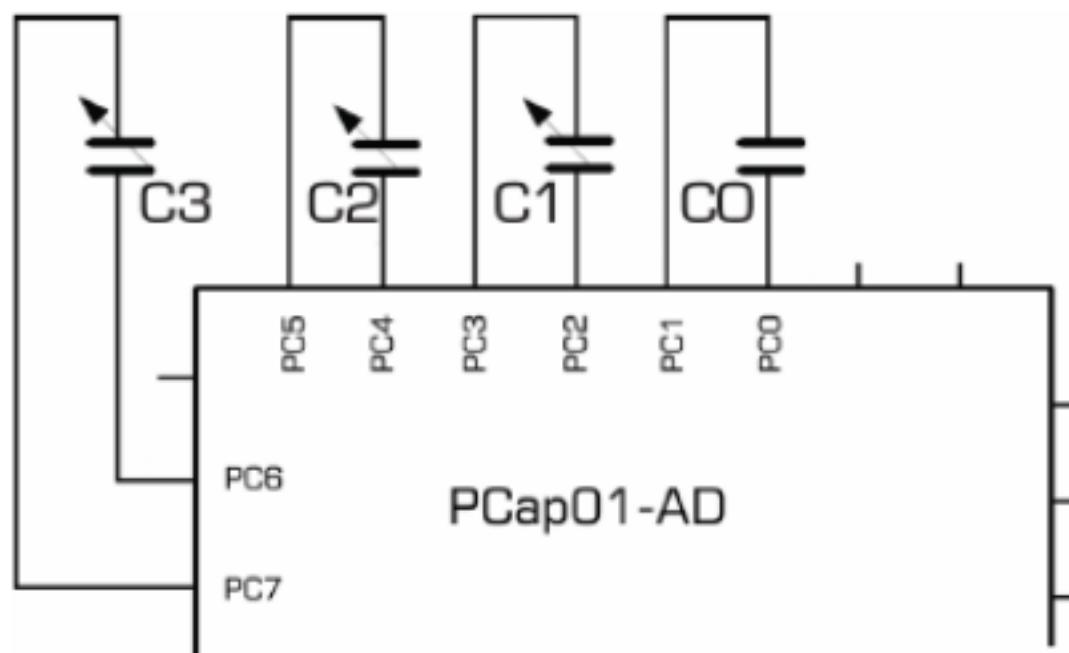
图 3-5: 没有显示连接传感器的电路原理图¹



3.4 连接电容传感器

原理图中的传感器部分：在任何可能的情况下，请连接为漂移模式，不要连接为接地模式。

图 3-6: 单一传感器，漂移模式，最多可接3个传感器和一个参考电容



¹ 注释：去耦电容必须为陶瓷类型。低噪声的特性主要取决于好的去耦电容。请一定将这个电容放置离芯片管脚越近越好。

3 转换器前端

图 3-7: 单一传感器, 接地模式 最多可以连接7个传感器和一个参考电容

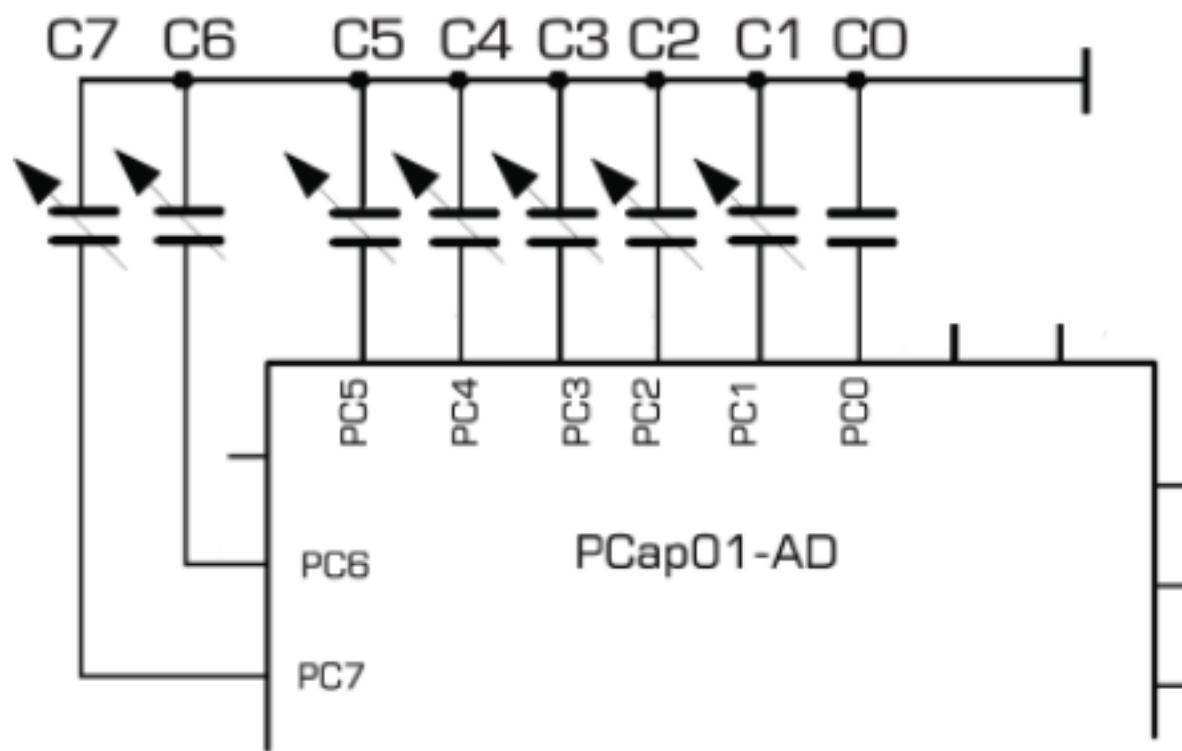


图 3-8: 差分传感器连接, 漂移模式

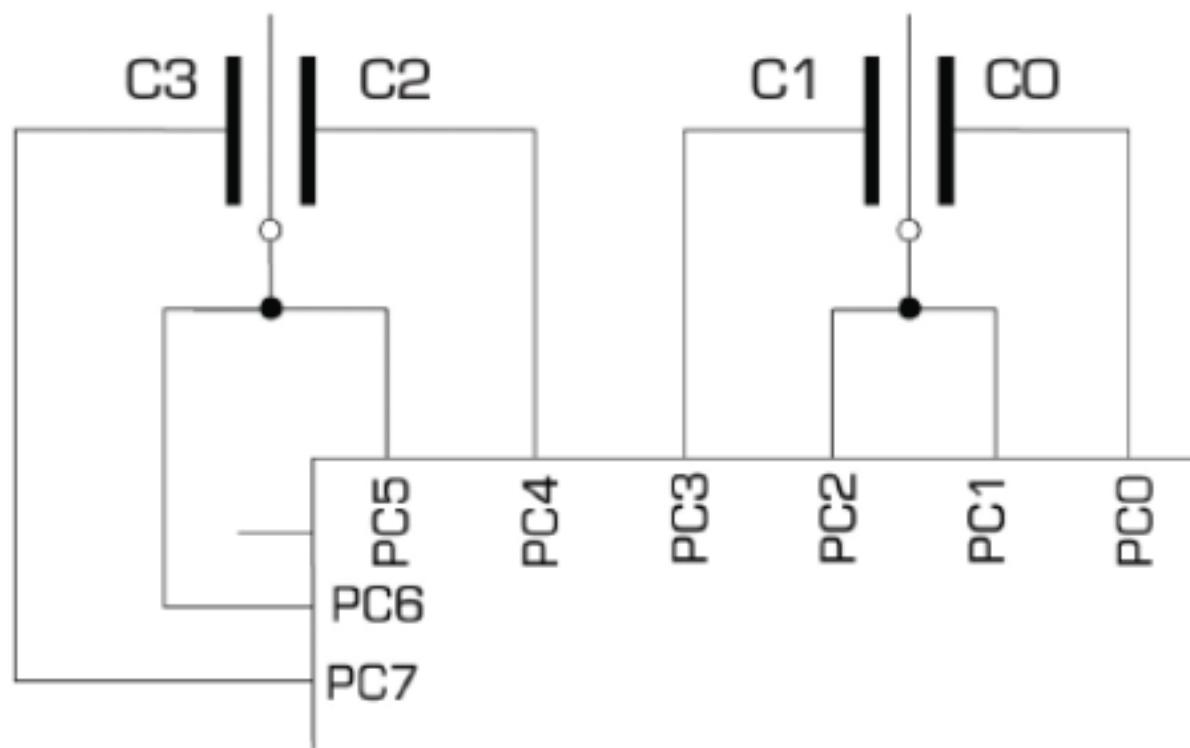
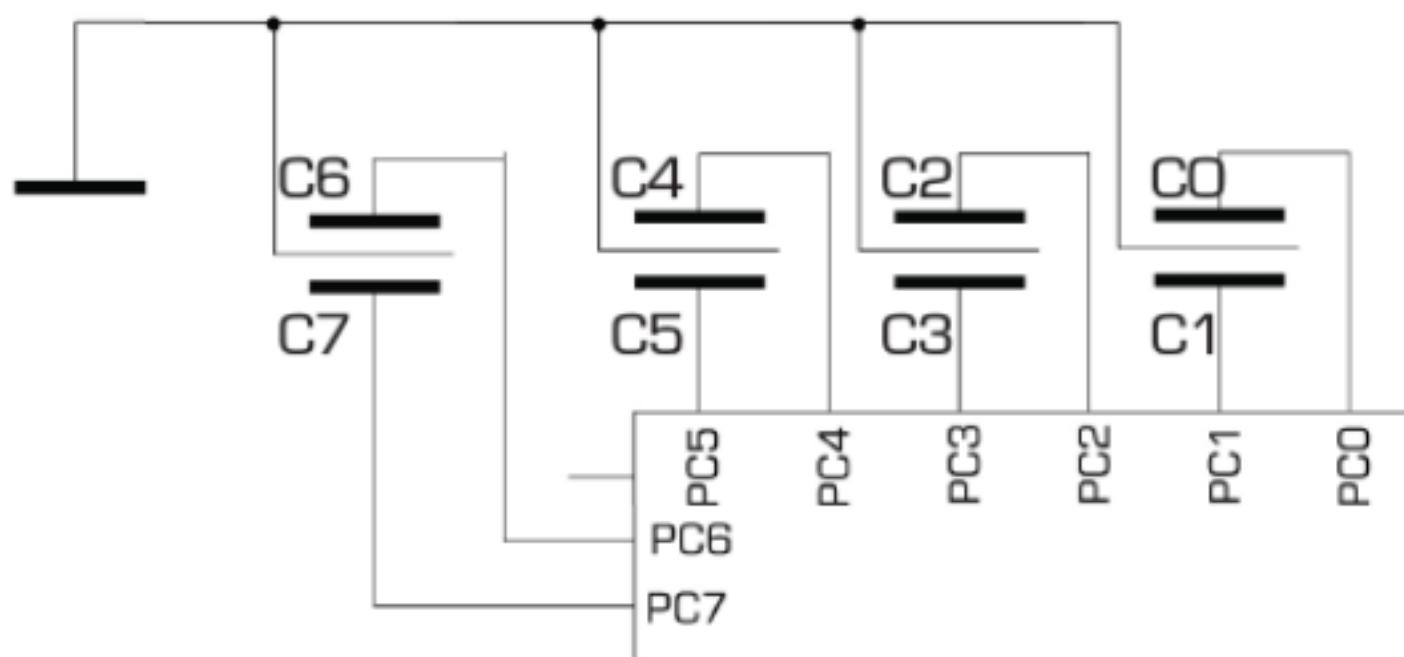


图 3-9: 差分传感器连接, 接地模式
设置参数CSCHM=0.

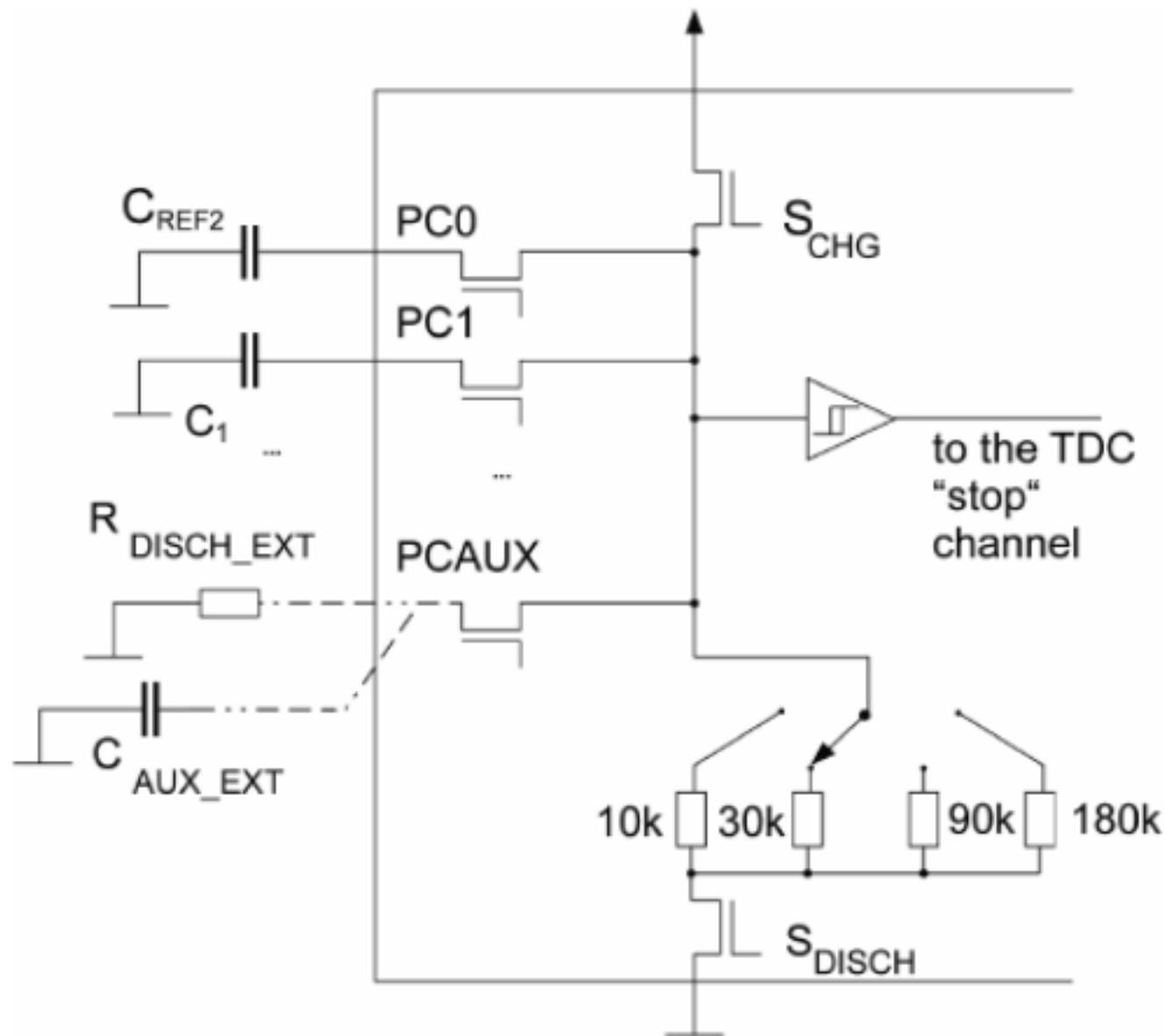


3 转换器前端

3.5 选择放电电阻

测量是基于放电时间控制的：在 CDC 部分中，提供了四个可以选择的放电电阻最低到10 kOhm (参见 3-10). 他们是用于基础电容值从0 到最高3.5 nF的. 在本手册没有详细介绍的是外接额外的放电电阻，可以进一步扩展电容的测量范围。

图 3-10: CDC 的尺寸



3.6 补偿测量

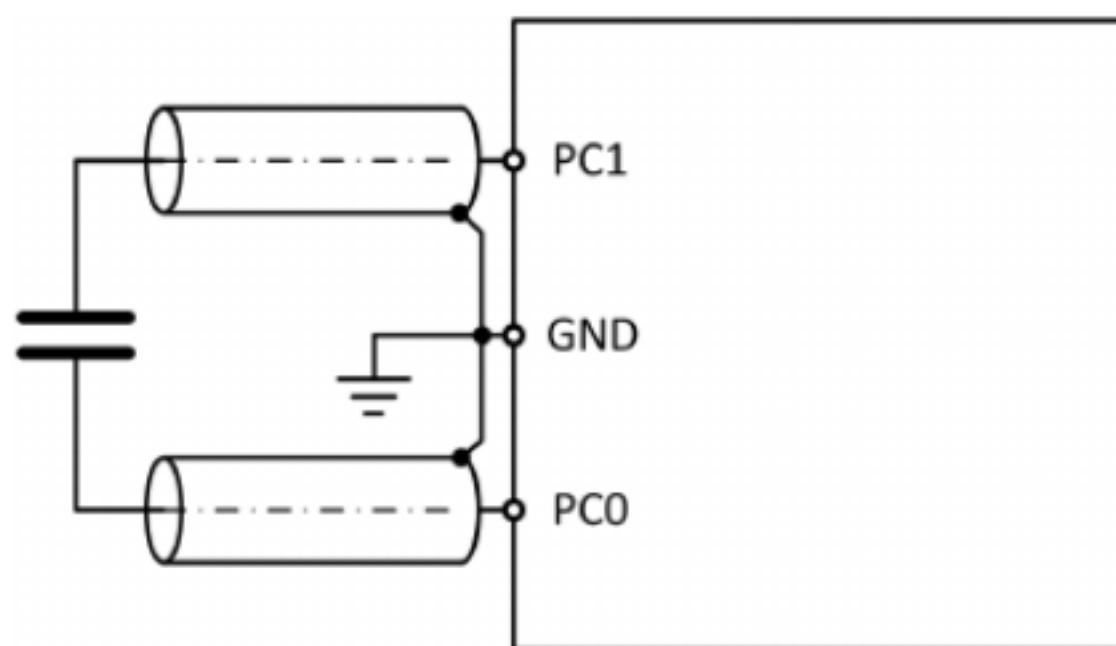
通过接地的电容模式，PCap01提供了一个可以补偿内部寄生电容的可能性。同时也将会对内部的比较器延迟进行相应补偿。

而通过漂移的电容模式，额外的补偿到地的外部寄生电容的功能也可以进行。在PCB端，所连接的电容一般是到地的。对于长导线应用的情况，需要应用屏蔽线，而屏蔽线的屏蔽端需要与PCB的地端相连接。

图 3-11 显示了如何连接屏蔽导线进行外部寄生电容的补偿。

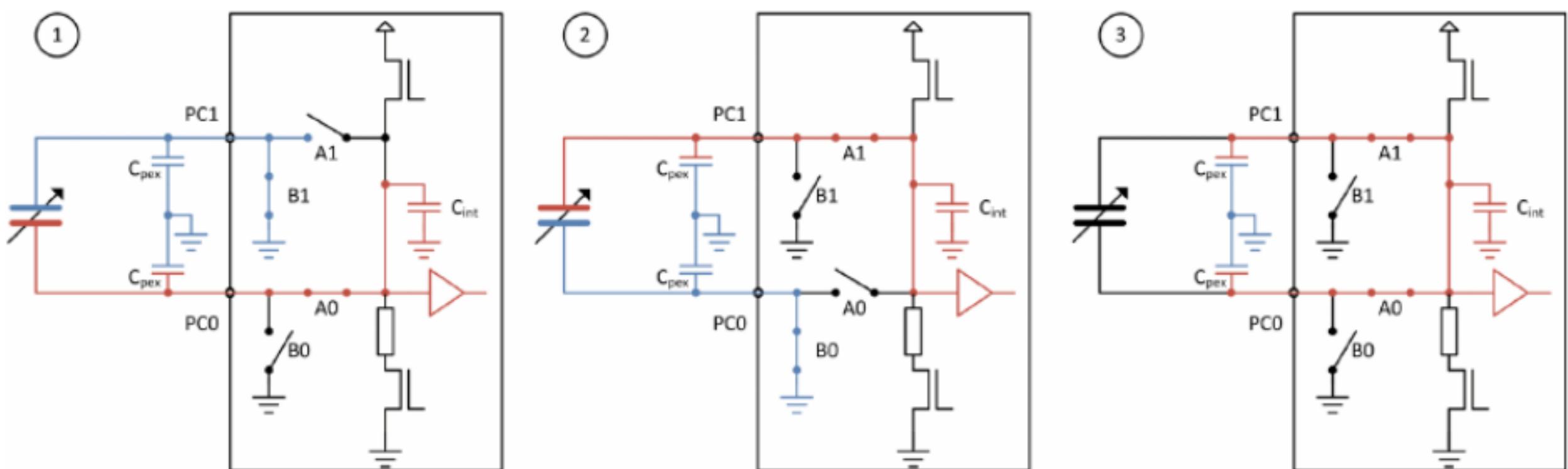
3 转换器前端

图 3-11 通过屏蔽线连接传感器



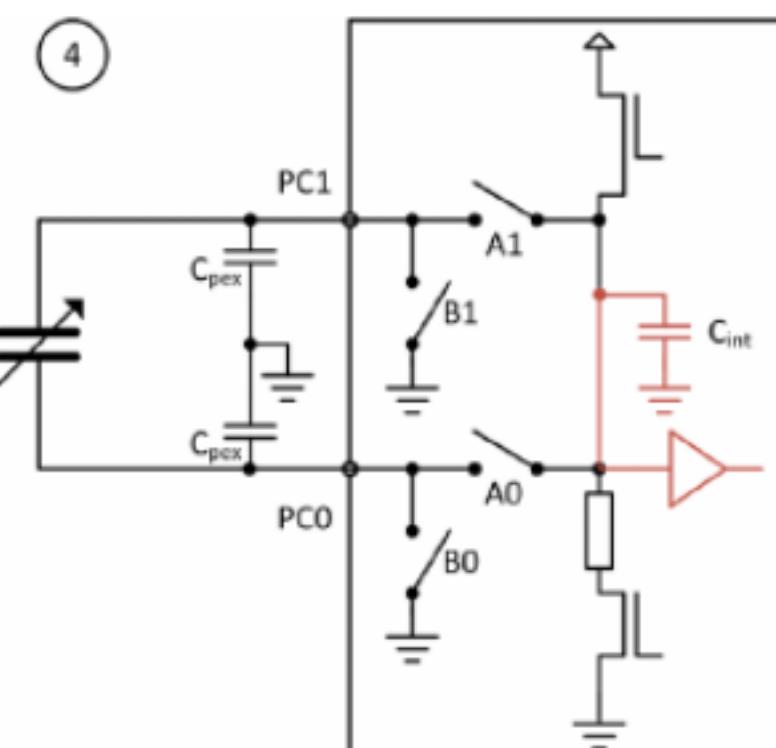
在漂移模式下，要进行三次必要的对于每个电容的测量如下图 3-12所示。
这三次测量是对于每个电容分别进行的。

图 3-12 漂移电容模式，外部补偿测量



对于内部补偿测量，两个开关A1和AO全部开启。仅内部寄生电容和比较器的传播延迟被测量。

图 3-13 接地/漂移电容，内部补偿测量



3 转换器前端

RDC 温度测量

芯片是带有2个片上电阻元件可以用用温度测量的，一个铝电阻温度系数为 $T_K \approx 2800$

ppm/K 可作为温度传感器，和一个多晶硅电阻其TK的系数“接近”零值作为参考。

作为另一个选择，可以外部连接温度传感器电阻和参考电阻。（一般来说芯片可以支持2个外部传感器，但此选择在这个固件中是不可用的）。

任何情况下，都必须要外部连接一个 33 nF COG电容，因为温度测量也是通过放电时间测量来完成的。推荐使用COG材质的电容作为放电电容，X7R材质的电容绝对不能应用。

从原理上讲，外部和内部的传感器/参考电阻是可以混合使用的，比如一个外部的PT1000传感器可以与内部的多晶硅电阻进行比较。

选择内部和外部电阻是在寄存器6当中的 TMEAS_7BITS 来进行的：

A) 外部解决方案

配置：

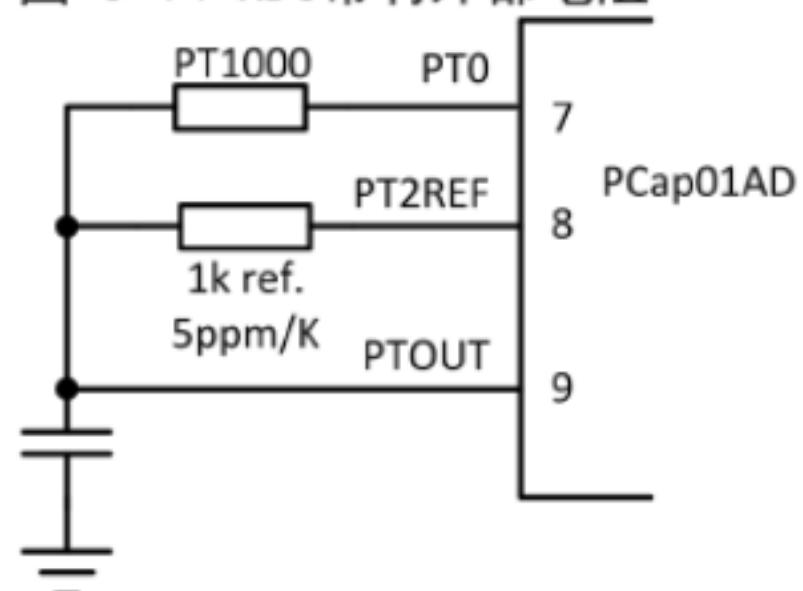
寄存器 4 = ' h XX XX 01 (CMEAS 触发)

寄存器 5 = ' h CX XX XX

寄存器 6 = ' h 00 0C 40 (外部电阻)

输出数据：比率关系 $PT1000/R_{ref}$ 作为 R_0/R_{ref} 在寄存器 Res10 可读(地址13)。

图 3-14 RDC 带有外部电阻



B) 完整的内部解决方案

配置：

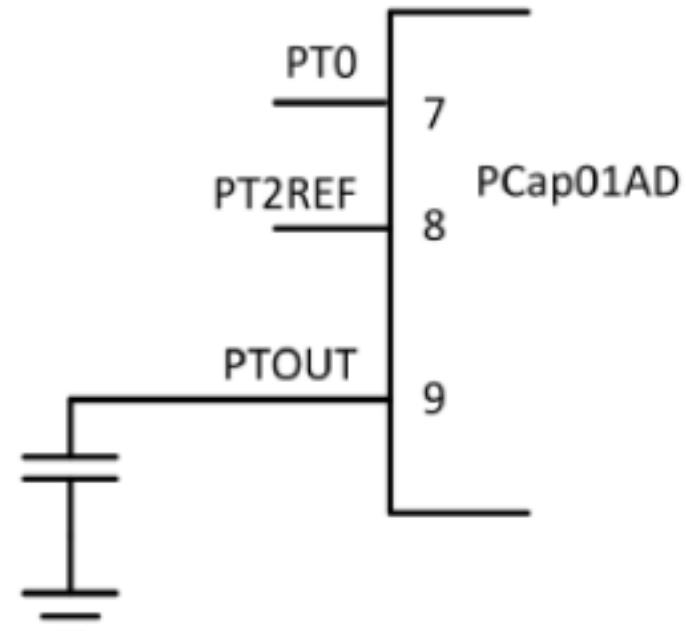
寄存器 4 = ' h XX XX 01 (CMEAS 触发)

寄存器 5 = ' h CX XX XX

寄存器 6 = ' h 00 43 40 (外部电阻)

输出数据：比率关系 $R[A1]/R[Si_poly]$ 作为 R_2/R_{ref} 在寄存器 Res11 (地址 14)。

图 3-15 RDC 带有内部电阻



3 转换器前端

对于温度测量来说有非常多的触发源可以应用，可以在寄存器4中的参数TMEAS_TRIG_SEL来进行设置。我们推荐设置TMEAS_TRIG_SEL = 1，通过电容测量来触发。通过这个设置，温度测量将会在每N次电容测量后自动产生，N 的设置是通过在寄存器5 的TMEAS_TRIG_PREDIV 来完成。通过设置 TMEAS_TRIG_PREDIV = 0 温度测量将会在每次电容测量后进行。通过设置 TMEAS_TRIG_SEL = 0 温度测量将会通过软件触发，发送操作码 ’ h8E。如果没有操作码发送的话，温度测量将会被关闭。

对于低功耗方面的应用，推荐设置分频器TMEAS_TRIG_PREDIV 到一个数值那么温度测量最大测量频率是10次每秒钟。

图 3-16 温度测量通过电容测量来触发（持续模式）

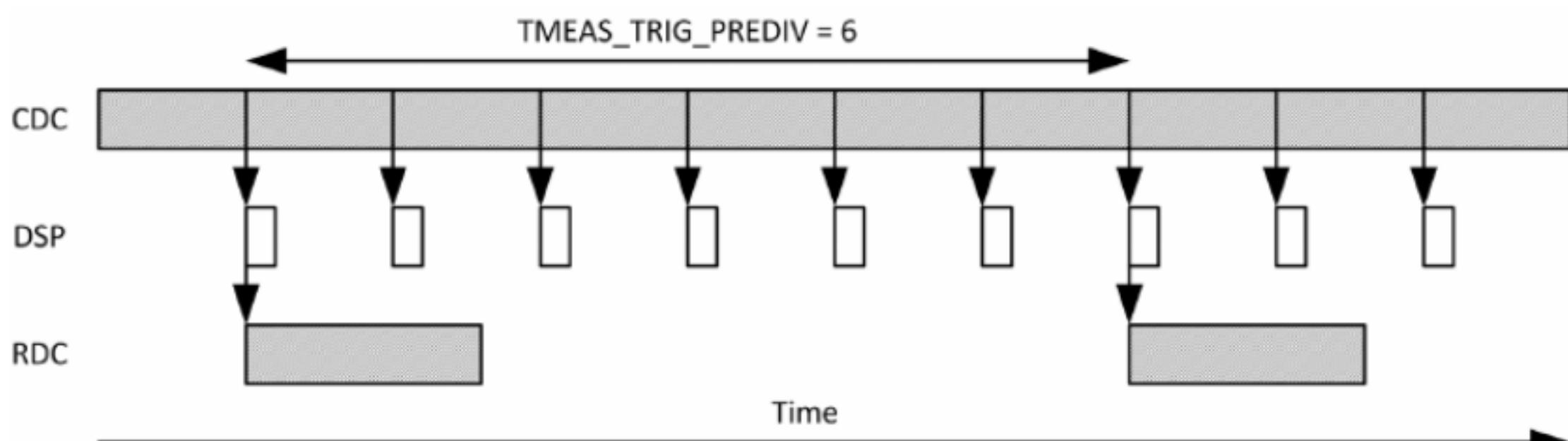
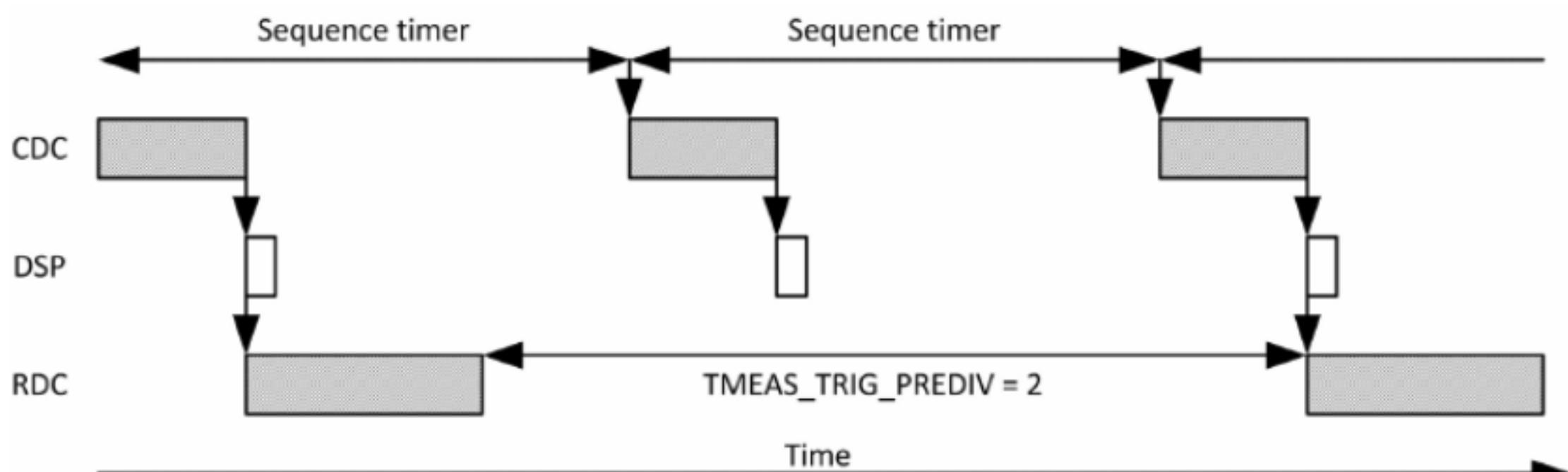


图 3-17 通过电容测量触发的温度测量(通过定时装置触发)



请注意电阻测量是脉冲的AC方式的，而不是一个DC直流测量方式。在传感器和芯片之间的导线会通过电感和电容方式引入漂移和噪声。双绞屏蔽导线应该是比较优化的选择，在某些情况下主动式的屏蔽导线会更加有帮助。

给出一个开启命令 (op code 0x8C) 然后查询数据或者通过INTN进行中断。参见章节6.5获得更加详细的信息。您所读出的是 R0/Rref 或者 R2/Rref的比率关系，两个电阻之间的比率关系值。

外部或者内部传感器 - 你都需要在温度箱中进行标定。

3

转换器前端

4 接口(串行通信和 Pulse-Density 通信)	4-2
4.1 串行通信.....	4-2
4.1.1 操作码	4-2
4.1.2 I2C 兼容的通信端口	4-3
4.1.3 4-线制SPI接口.....	4-4
4.2 PDM/PWM 和 GPIO.....	4-6

4 接口(串行通信和 Pulse-Density通信)

4.1 串行通信

当应用外部单片机对芯片进行控制的时候，或者当对芯片进行编程的时候，有两种串行通信方式可以使用。每次通信仅有一种接口可以应用，通过将电压给到管脚“IIC_EN”来选择。芯片两种通信方式都只能作为“从机”，两种都允许进行编程：

管脚 IIC_EN 连接到 GND	4-线 SPI 通信接口开启。General-purpose I/O 管脚#0 和 #1 不能应用(被SPI占用)。
管脚 IIC_EN连接到 VDD	2-线 I2C 通信接口开启。所有的general-purpose I/O 管脚都可以被使用，包括#0 和 #1。

注释：普通I/O 管脚2到管脚5在任何情况下都是可以使用的。如果不需要这些端口，请将 IIC_EN接到VDD，不要接到GND，另外请不要将这个管脚悬空。

一旦程序下载进去，那么芯片可以以单芯片独立工作的方式运行。而两种接口方式都仅限于以从机的方式工作。作为单芯片与辅助设备进行数据传输(比如一个LCD 转换器或者一个D/A 转换器) 需要软件写入串行协议 (联系acam公司获得更详细信息)。

4.1.1 操作码

表 4-1: 8-Bit 操作码命令

' h88	上电复位。这个命令将会复位所有的状态。
' h8A	“Initial” 或者 “partial” 复位, 这个复位下SRAM内容和寄存器配置将不会改变。主要复位了重要的部分，比如 front-end 转换器和DSP数据处理部分
' h8C	开始一次电容测量
' h84	终止write-to-OTP 的进程
' h8E	开始一次温度测量

表 4-2: 24-位 操作码命令

命令	Byte 2	Byte 1	Byte 0
写入SRAM	1 0 0 1	Address<11...0>	Data<7...0>
读取 SRAM	0 0 0 1	Address<11...0>	Data<7...0>
写入OTP	1 0 1	Address<12...0>	Data<7...0>
读取OTP	0 0 1	Address<12...0>	Data<7...0>

表 4-3: 32-位 操作码命令

命令	Byte 3	Byte 2	Byte 1	Byte 0
写配置 Config	1 1	Cf_Address<5...0>	Registry Parameter<23...0>	
读结果	0 1	Rs_Address<5...0>	Measurement Results<23...0> or Measurement Results<47...24>	

对于 Cf_Address, 请应用寄存器单元的号码, 0 到 20 (十进制), 参见下面的 Register Map. 那么对于Rs_Address, 请从 0 到 14 来选择 (同时参见章节 5.3).

4 接口 (串行通信和 Pulse-Density通信)

4.1.2 I2C 兼容的通信端口

下面的章节主要介绍了PCap01 的I2C 接口的特殊用途。对于acam公司I2C接口的子命令集，请参考数据手册相应部分。另外请参考PCap01手册最后的bug report.

主机开始通信是通过发送一个start条件，也就是当SCL为高平的时候，在SDA线上的一个下降沿。通讯的停止是通过发送一个stop条件，也就是当SCK为高平的时候，在SDA上的一个上升沿。而数据位是在SCK时钟上升沿的时候被传输的。

在 I2C 通讯总线上，每一个从机都拥有一个单独的7位的设备地址。而这个地址必需要在 start 条件之后作为第一个字节被发送。而最后一位则说明了接下来传输数据的方向。

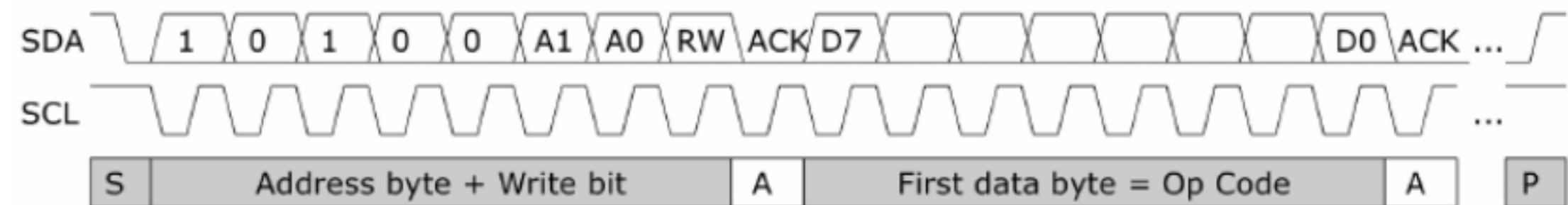
地址字节：

MSB							LSB
1	0	1	0	0	A1	A0	R/W
固定的						可变的	

默认的地址： A1 = A0 = 0

址字节之后则是操作码和有效数据。每一个字节最后都会跟随一个确认位(= 0)。PCap01 有 8位, 24位和 32位的操作码，在表格4-3到4-5当中列出。

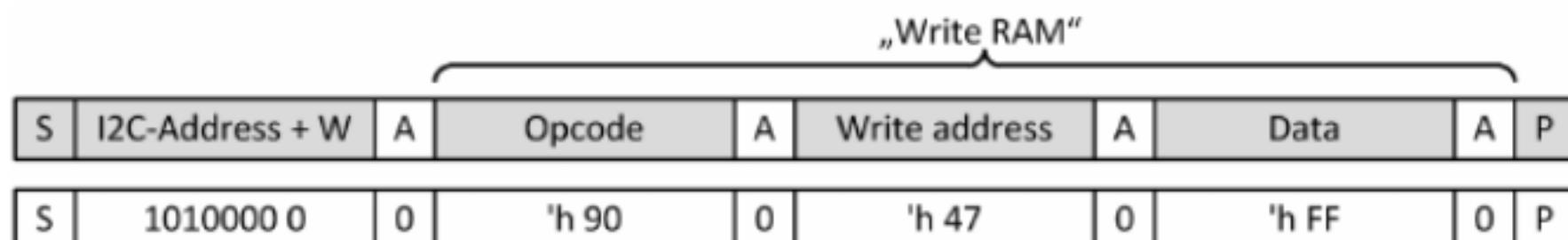
图 4-1: I2C的时序原理图



I2C 写时序

读在写时序当中，仅主机发送数据，而所被寻址的从机仅发送确认位。主机发送带有写操作位的第一个从机地址。然后将会发送操作码包括寄存器地址给从机。最后将会发送数据。

图 4-2 I2C 写时序

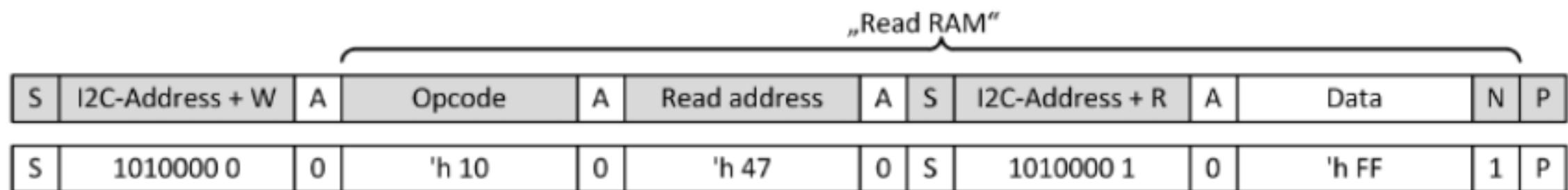


I2C 读时序

在读的过程当中，通讯的方向必须要被改变。因此主机发送一个start条件和一个从机地址，然后一个读操作位（而不是写操作位）来切换到读模式。图 3-3 显示了带有一个操作码“读 RAM”的例子。主机设置确认位 (1) 来说明读取从机结束。

4 接口 (串行通信和 Pulse-Density 通信)

图 4-3: I2C 读时序



4.1.3 4-线制 SPI 接口

时钟相位，时钟极性以及位传输的顺序。下面的选择对于成功通信是必须的。

表 4-4: SPI 时钟极性，时钟相位和位顺序

SPI - 参数	描述	设置
CPOL	时钟极性	0
CPHA	时钟相位	1
Mode	SPI 模式	1
DORD	位传输顺序	0, MSB 最先输出

时序：

图 4-4: SPI 写时序

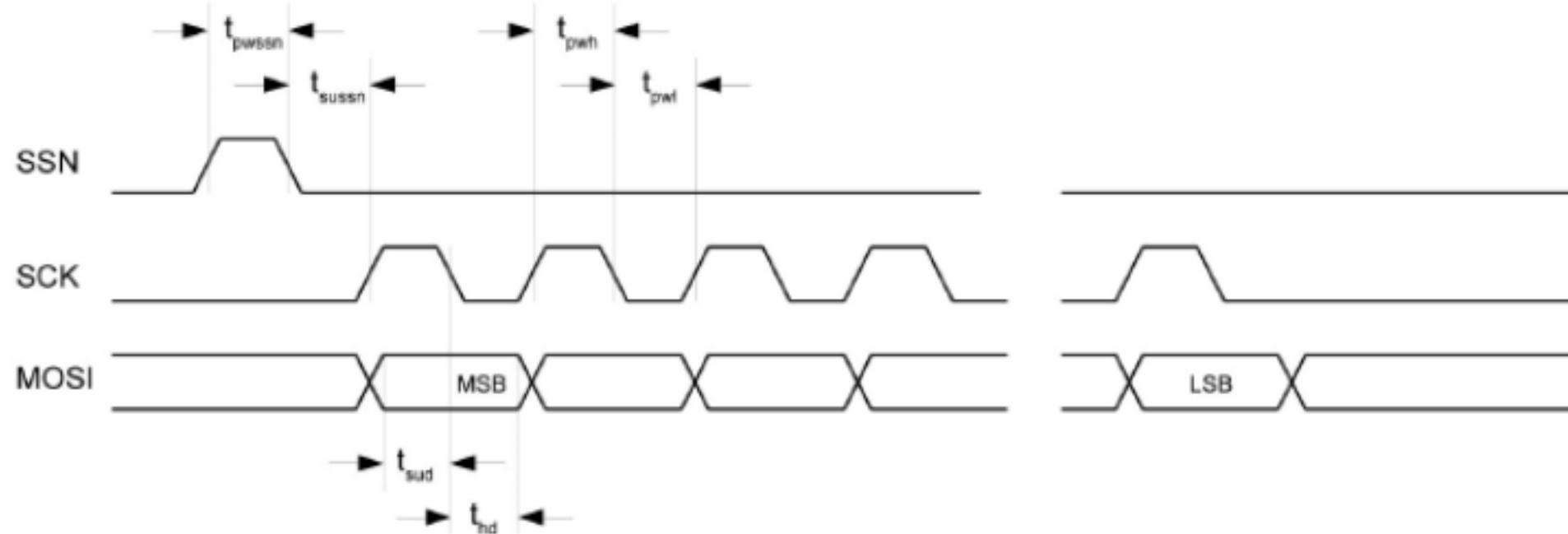
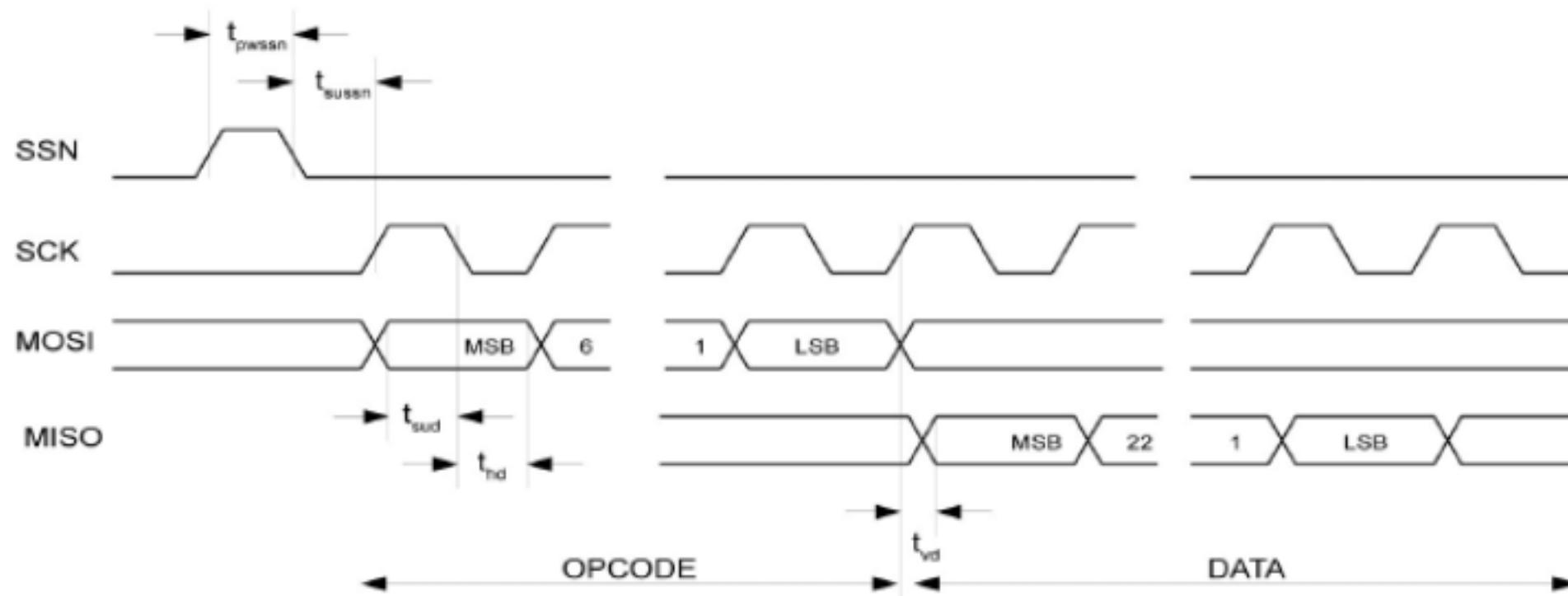


图 4-5: SPI 读时序



4 接口 (串行通信和 Pulse-Density 通信)

表 4-5: SPI 时序参数

名称	符号	VDD=2.2 V	VDD=3.0 V	VDD=3.6 V	单位
串行通信时钟频率	fSPI-bus	10	17	20	MHz
串行时钟高平状态脉宽	tpwh	50	30	25	ns
串行时钟低平状态脉宽	tpwl	50	30	25	ns
SSN 锁存时间	tsussn	10	8	7	ns
SSN在两次写循环之间脉宽	tpwssn	50	30	25	ns
数据建立到时钟沿的时间	tsud	7	6	5	ns
时钟边沿数据保持的时间	thd	5	4	3	ns
时钟边沿到数据有效的时间	tvd	40	26	16	ns

请转到第七章来查看关于应用芯片内部CDC的一个实例.

4 接口 (串行通信和 Pulse-Density通信)

4.2 PDM/PWM 和 GPIO

脉冲密度调节码 / 脉冲宽度调节码通信接口以及普通IO端口

下面的表格显示了不同的普通IO口输出脉冲代码的分配可能。

表 4-6: 普通IO口的分配:

外部端口名称	描述	方向 in 或 out
PG0	SSN (in SPI-Mode)	in
	DSP0 or DSP2	in(1) / out
	FF0 or FF2	in(1)
	Pulse0	out
PG1	MISO (in SPI-Mode)	out
	DSP1 or DSP3	in(1) / out
	FF1 or FF3	in(1)
	Pulse1	out
PG2	DSP0 or DSP2	in(1) / out
	FF0 or FF2	in(1)
	Pulse0	out
	INTN	out
PG3	DSP1 or DSP3	in(1) / out
	FF1 or FF3	in(1)
	Pulse1	out
PG4	DSP4 (output only)	out
PG5	DSP5 (output only)	out

(1) 这些端口提供一个去抖动滤波以及一个可选择的上拉电阻.

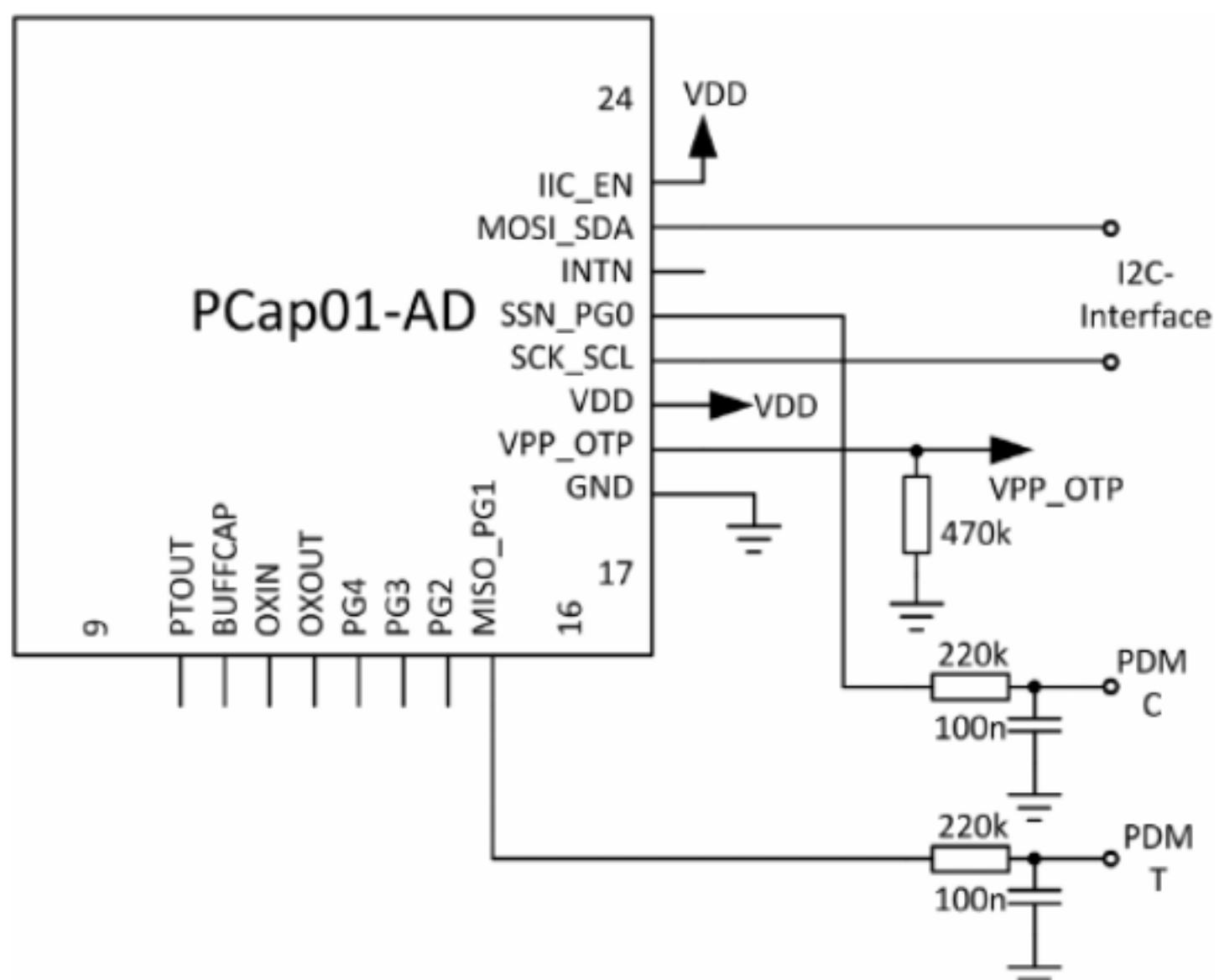
从上面的表格中可以看出， PG0和PG1当被作为SPI接口的时候是不能够输出脉冲的。而在大多数情况下是需要这些端口作为脉冲输出端口。SPI接口仅在对芯片编程时使用。在这个情况下，在编程完成后，编程器将会被移除，管脚/pad VPP OTP被设置为LOW，而管脚 pin/pad IIC_EN 被设置为 HIGH . 一旦完成，那么所有的PG端口都可以作为一般IO端口使用.

可以通过芯片产生脉冲宽度或者脉冲密度调节码输出。这个输出是基于测量结果的输出。任何温度测量或者电容测量的结果可以通过这种脉冲的方式输出。 所输出测量结果可以通过设置寄存器Param2中的 pulse1_select 或者 pulse0_select来进行设置。 脉冲代码可以通过普通IO口PG0和PG1来进行输出。在I2C通信模式下，他们也可以通过IO口 PG2和PG3输出，而替代 PG0和PG1。为了可以开启替换脉冲输出端口 PG0 和 PG1到PG2和PG3，在寄存器8中的位PG0_X_G2 和 PG1_X_G3在任何情况下，在相应端口输出脉冲代码时都需要在寄存器9中设置 PG_DIR_IN 相应的位到输出。

4 接口 (串行通信和 Pulse-Density 通信)

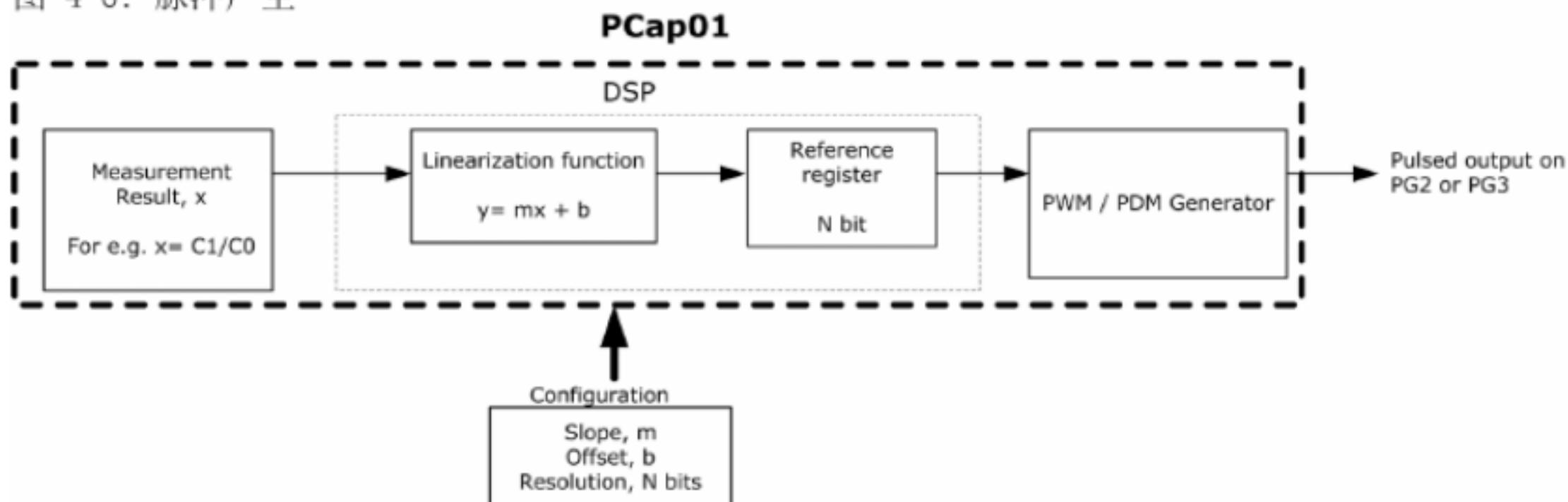
脉冲调节输出代码可以通过一个低通滤波进行平均然后输出一个模拟电压值。脉冲宽度调节输出码需要一个低通滤波或者更高阶的滤波，而脉冲密度输出码则需要一个LPF或者低阶滤波来获得模拟信号。对于 PDM 输出来说一个 $220\text{ k}\Omega / 100\text{ nF}$ 的组合可以给出小于 1 LSB 的输出波纹。

图 4-5: PDM 输出滤波



为了产生脉冲输出码，那么时钟频率被配置为 8 MHz, 1MHz 或者 100 kHz. 尽管如此我们推荐使用 LH_X2 100 kHz 来获得最佳结果。这个可以在寄存器9当中的PI1_CLK_SEL或者PIO_CLK_SEL 设置完成. 电容或者温度的测量结果为一个24位的值。DSP将会对这个24位数据线性调整到10位数据(对于一个10位精度设置而言)；而线性方程的参数可以进行调整，应用参数- 斜率 (m) 和 零点(b)，这个调整在寄存器 Param3 - Param5当中. 另外脉冲端口的精度比需要通过寄存器9的 PI1_RES 和 PIO_RES来进行配置。斜率和零点的设置可以为正值或者负值。对于斜率和零点的设置将会限制输出信号的范围，那么也就决定了滤波输出的模拟电压信号的电压值。10-位的精度也限制了结果为 0 和 1023之间的数值. 对于更低位数的精度，那么相应的范围也将会被缩减。下面的图描述了如何将测量结果输出脉冲代码。

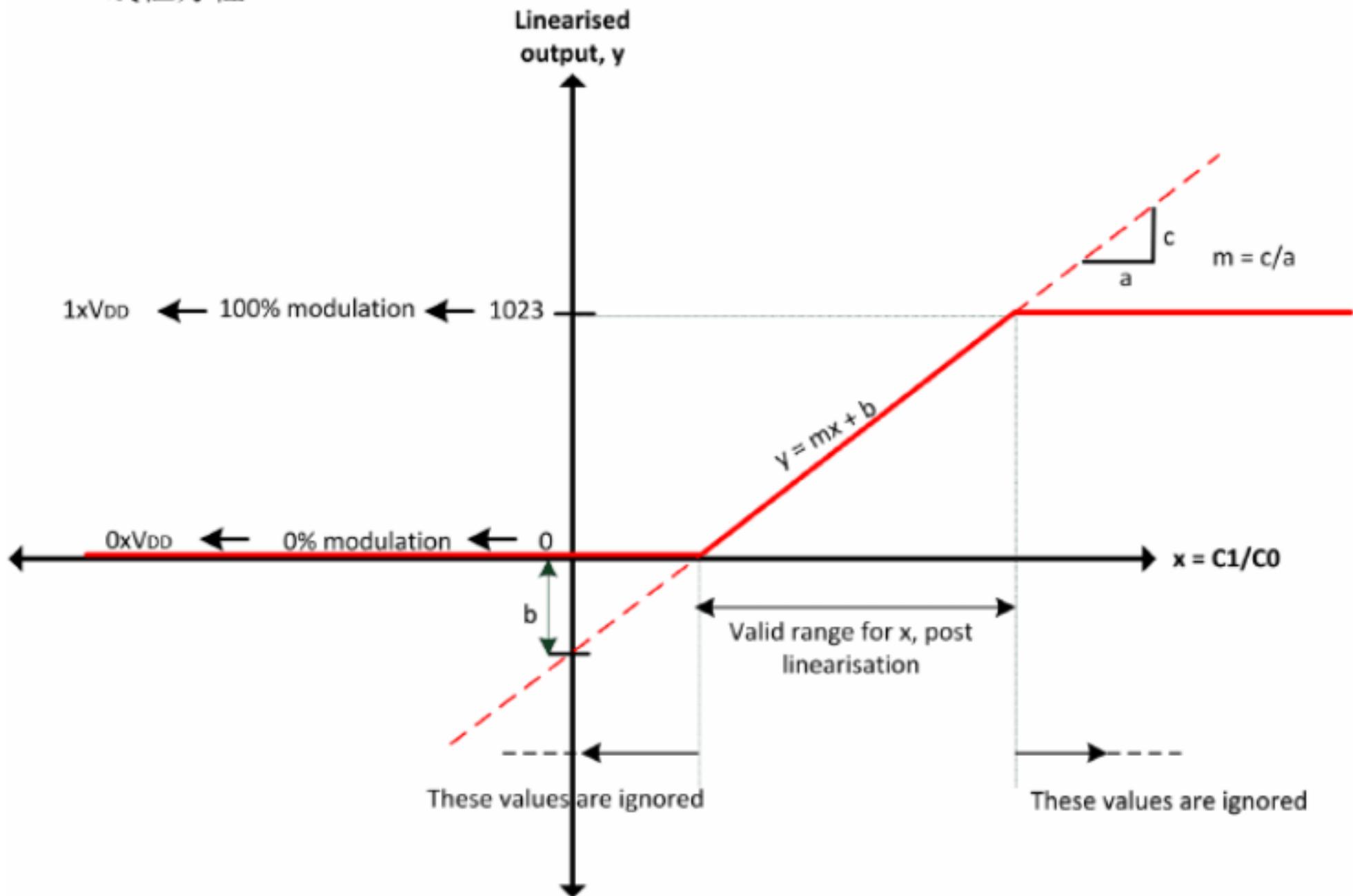
图 4-6: 脉冲产生



4 接口 (串行通信和 Pulse-Density 通信)

下面的图以图形的方式显示了线性方程和其参数。在这个图中，结果 $C1/C0$ 为在x-轴的数值，假设这个结果将会被脉冲调节输出。在这里M数值为正值，而b为负值。所配置的为10位精度。

图 4-7: PWM-PDM 线性方程



通过设置数值 m 和 b ，线性方程将会限制输出 x 的范围，如图所示。在这个限制之外的数值将会被忽略掉。因而知道结果变化的范围，那么相应的线性参数可以被给出。有效范围的最低限制相对于 0% 的占空比调节输出（所有位为0），这个是输出(0)的最小值。而范围的上限值为相应的 100% 调节输出（所有位全部为 1），也是输出的最大值。10 位精度表示最大数值为 1023。对于低精度位，这个最大值也将会相应的下降。而对于电压值，两个范围极限值为相应的 OV 和 Vdd.

应用：

- 一个典型例子就是通过PG0输出电容结果，而通过PG1输出温度测量结果。那么计算和拷贝动作必须通过固件来完成。参见相应PCap01 assembler的帮助窗口来获得详细信息。
- 对于希望通过SPI/I2C接口读数据的话将不适合，因为速度限制或者一些应用必须要模拟输出信号的情况
- 一个温度代码脉冲输出可以经过一个低通滤波后然后用于温度的控制。

5 读 & 写寄存器	5-2
5.1 配置 & 参数寄存器	5-2
5.2 配置寄存器的说明	5-12
5.2.1 对于寄存器 0 的说明	5-12
5.2.2 对于寄存器 2 的说明	5-12
5.2.3 对于寄存器 3 的说明	5-13
5.2.4 对于寄存器 3 和寄存器 4 的说明 (时序规则)	5-13
5.2.5 对于寄存器 4 和寄存器 5 的说明	5-13
5.2.6 对于寄存器 6 的说明	5-14
5.2.7 对于寄存器 8 的说明	5-14
5.2.8 对于寄存器 9 的说明	5-14
5.3 读寄存器	5-15

5 读 & 写寄存器

PCap01Ax-V0301带有标准固件 03.01.xx 提供了20个配置和参数寄存器以及12个读寄存器。而配置寄存器则不能够被读回。因此，作为通信测试请应用“Write to SRAM” & “Read SRAM” 操作码来进行。

配置寄存器直接设置了CDC, RDC, 接口, 时钟以及DSP。参数寄存器设置了固件的数值，因此为特定固件。

5.1 配置 & 参数寄存器

概述：

地址	名称	描述	目标
0	Register 0	OTP 设置: MEMCOMP, ECC_MODE, AUTOBOOT_DIS, MEM_LOCK_DIS	硬件
1	Register 1	固定默认值	硬件
2	Register 2	C-测量设置: CMESS_PORT_EN, CMEAS_BITS, RDCHG_INT_SEL	硬件
3	Register 3	C-测量设置: CY_CLK_SEL, SEQ_TIME, CMEAS_FAKE, C_AVRG	硬件
4	Register 4	C/T-测量设置: CMEAS_STARTPIN, CMEAS_TRIG_SEL, CMEAS_CYTIME, TMEAS_CYTIME, TMEAS_STARTPIN, TMEAS_TRIG_SEL	硬件
5	Register 5	T-测量设置: T_AVRG, TMEAS_TRIG_PREDIV	硬件
6	Register 6	T-测量设置: TMEAS_FAKE, TMEAS_7BITS	硬件
7	Register 7	固定默认值	硬件
8	Register 8	DSP 配置 : DSP_SRAM_SEL, DSP_START, DSPSTARTONOVL, DSP_STAR-TONTEMP, DSP_STARTPIN, DSP_FF_IN, DSP_WATCHDOG_LENGTH, DSP_MOFLO_EN, DSP_SPEED, INT2PG2	硬件
9	Register 9	GPIO 设置: PG_DIR_IN, PG_PULL_UP, PI_EN, PI1_CLK_SEL, PIO_CLK_SEL, PI1_RES, PIO_RES	硬件
10	Register 10	内部 1.8 V 调节器的控制	硬件
11	Param0	不应用	固件
12	Param1	不应用	固件
13	Param2	脉冲输出设置: pulse_select	固件
14	Param3	脉冲输出设置: pulse0_slope	固件
15	Param4	脉冲输出设置: pulse0_offset	固件
16	Param5	脉冲输出设置: pulse1_slope	固件
17	Param6	脉冲输出设置: pulse1_offset	固件
18	Param7	C-测量设置: 差分	固件
19	Param8	Gain_Corr	固件
20	Register 20	RUNBIT	硬件

5 读 & 写寄存器

寄存器的详细描述

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

寄存器 0 (address 0):

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

MEMCOMP

参数	描述	设置
MEMCOMP	位18 和 19 控制了 SRAM与OTP的比较机制	0 = 关闭 1 = 5 Byte 2 = 33 Byte 3 = 257 Byte
ECC_MODE	OTP-内部错误检测和修复机制.	0x00 = 关闭(“single”); limit=4032 Byte 0x0F = “Double” 模式; limit=4032 Byte 0xF0 = “Quad” 模式; limit=1984 Byte
AUTOBOOT_DIS	从 OTP中自动从新启动	0x0 =单芯片工作模式，芯片将会自动从OTP中从新启动 0xF = 从机模式，芯片通过通讯接口被复位启动.
MEM_LOCK_DIS		0x0 =启动防止存储内容读出功能，主要是有助于阻止固件程序信息被读出，因此可以起到保护您的知识产权的作用.

BYTE 0 (bits 7...0) 不能够直接通过接口被写入。但是仅可以从OTP中被拷贝进入。这也是作为保护OTP内容被读出的存储内容保护机制的一种方式。

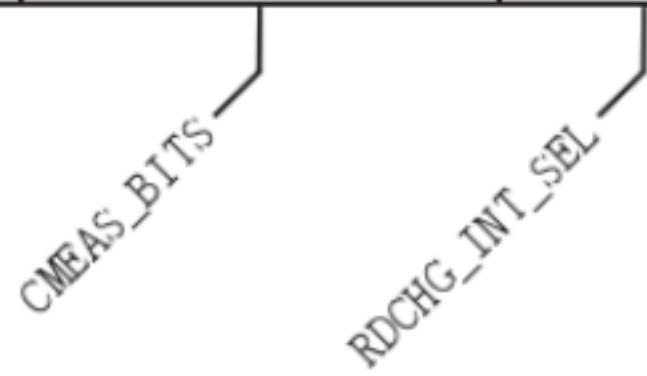
寄存器 1 (address 1):

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

5 读 & 写寄存器

寄存器 2 (address 2):

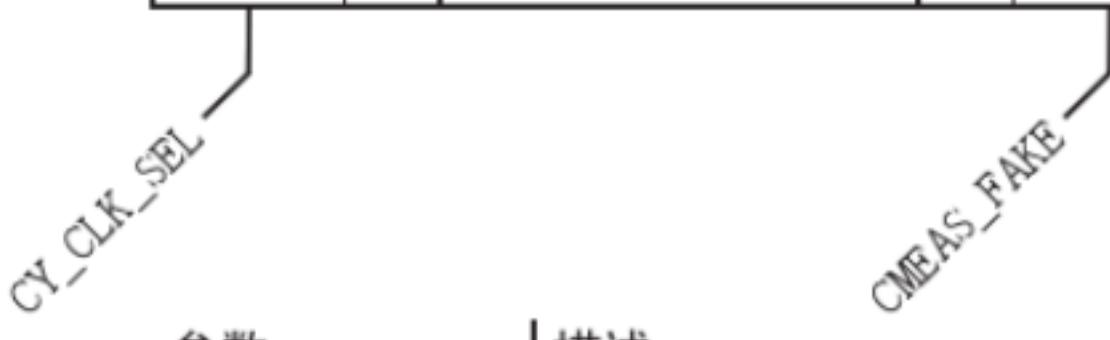
23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CMEAS_PORT_EN												0 0 0 0 1 0 1 1											



参数	描述	设置
CMEAS_PORT_EN	CDC端口使能	位 16开启了PC0端口, 位17 开启了PC1, 以此类推。
CMEAS_BITS	传感器连接原理. 参见章节 3.4	b ‘00010 = 接地电容, 单一或者差分 b ‘01000 = 漂移单一电容 b ‘10000 = 漂移差分电容
RDCHG_INT_SEL	选择内部放电电阻	b ‘100 = 180 kOhm b ‘101 = 90 kOhm b ‘110 = 30 kOhm b ‘111 = 10 kOhm

寄存器 3 (address 3):

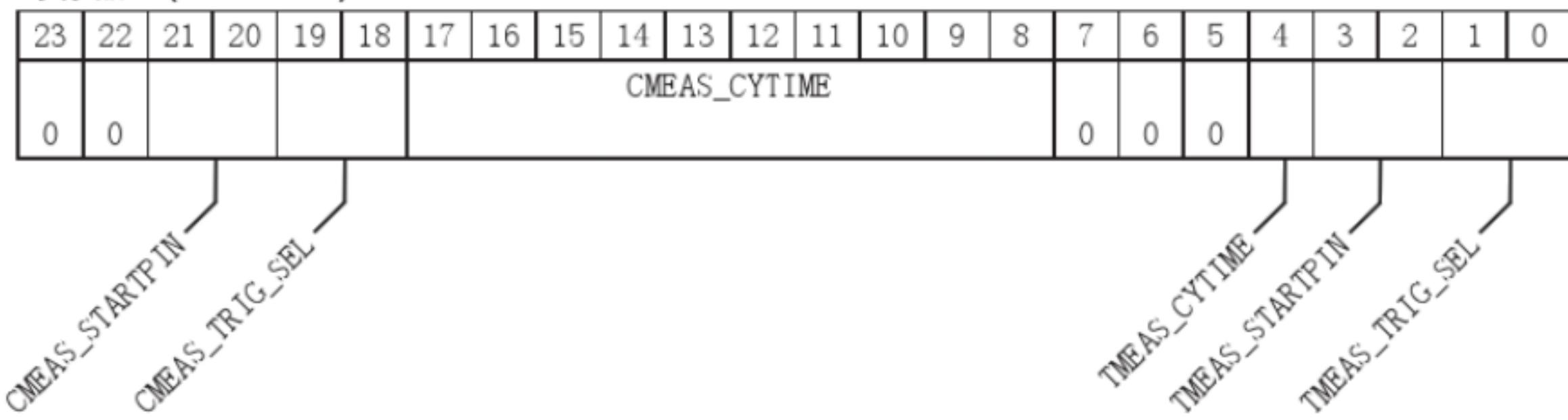
23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
				SEQ_TIME				0					C_AVRG											



参数	描述	设置
CY_CLK_SEL	CY_CLK_SEL将会固定CDC循环的时钟基准, 参见下面的第6章 .	0 = 20 μ s (不带高频时钟的应用) 2 = 1 μ s (仅当应用外部 4 MHz振荡) 3 = 0.25 μ s (仅当应用外部 4 MHz振荡)
SEQ_TIME	在时钟-触发模式设置触发的周期 (寄存器4, TMEAS_TRIG_SEL = 2).	0 = 关闭 否则, 如果 s = SEQ_TIME , 触发的周期将会为 $20 \mu\text{s} * 2^{s+1}$ 当 $1 \leq s \leq 24$.
CMEAS_FAKE	设定CDC每次测量的后的假测量次数, 可从0到4选择	
C_AVRG	CDC 测量后内部平均的次数。设置为0无效, 默认为1.	信噪比 将提升大约平均数C_AVRG的均方根次倍。

5 读 & 写寄存器

寄存器 4 (address 4):



参数	描述	设置
CMEAS_STARTPIN	选择相应的输出电容测量的脉冲触发管脚	0 = PG0 1 = PG1 2 = PG2 3 = PG3
CMEAS_TRIG_SEL	选择电容测量的触发源	0 = 仅软件触发 1 = 持续模式 2 = 时钟触发模式 3 = 脉冲触发模式
CMEAS_CYTIME	设置用于电容测量的 cycle time. 参见章节 3 获得详细信息.	CDC 周期时间 = (CMEAS_CYTIME+1) * Clock_Period Clock_period=20μs / 1μs / 0.25 μs 根据 CYCLKSEL=0/2/3
TMEAS_CYTIME	设置用于温度测量的 cycle time. 选择 33nF, 1000kOhm 传感器设置为 0.	0 = 140 μs (推荐) 1 = 280 μs
TMEAS_STARTPIN	选择用于温度测量的脉冲触发管脚	0 = PG0 1 = PG1 2 = PG2 3 = PG3
TMEAS_TRIG_SEL	选择温度测量的触发源. 选项 2 和 3 请不要应用.	0 = 关闭 / 操作码触发 1 = CMEAS-触发 (通过 C-测量, 推荐) 2 = 时钟触发模式 3 = 脉冲触发模式

先以 0x041300 来确保获得 CDC 的数值。然后根据您的需要增加或者降低CDC的cycle time (线性方式)。对于第一次 CDC测试, RDC 最好可以保持静止, 那么也就是这个部分的触发设置为0.

5 读 & 写寄存器

寄存器 5 (address 5):

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

T_AVRG

参数	描述	设置
T_AVRG	RDC结果多少次采样进行平均	0 (1 = 无平均) 1 (4-次平均) 2 (8-次平均) 3 (16-次平均)
TMEAS_TRIG_PREDIV	将确定相对于CDC的测量RDC测量出现的次数	设置为0则为1次。建议在湿度计中设置为0。因为温度测量和湿度测量的次数应该是一样的/ 在压力传感器设置 100...1k 更多，因为压力的变化一般非常快，比温度要快很多。

寄存器 6 (address 6):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0		TMEAS_7BITS														

TMEAS_FAKE

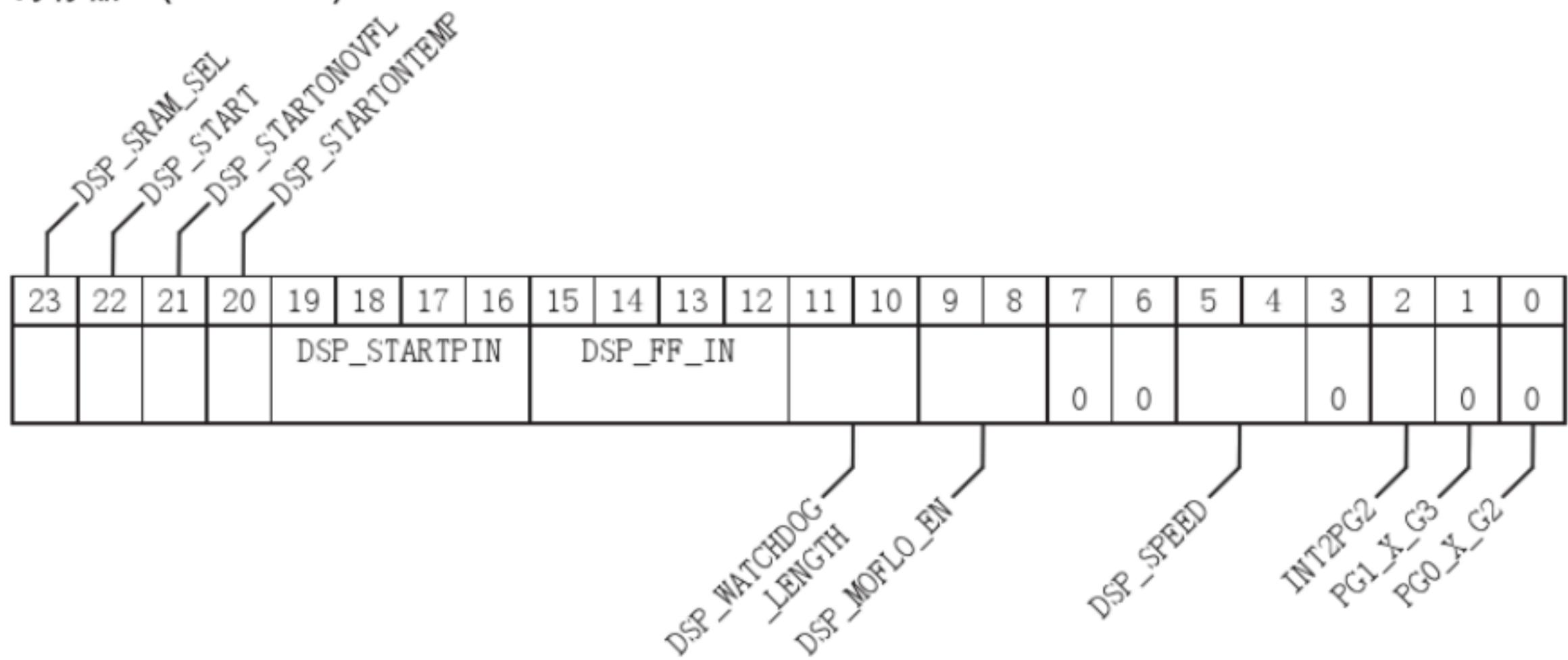
参数	描述	设置
TMEAS_FAKE	选择假测量的次数. 精度/分辨率当设置为1的时候比较好，但速度将会比较慢	0 = 2 次假测量 1 = 8 次假测量
TMEAS_7BITS	参见下面特定章节 5.2.6	

寄存器 7 (address 7):

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

5 读 & 写寄存器

寄存器 8 (address 8):



参数	描述	设置
DSP_SRAM_SEL	为单片机选择程序存储空间	0 = OTP 1 = SRAM
DSP_START	单片机的开始命令；单片机的时钟开始工作，程序器跳转到地址0然后处理器开始运行。当固件完成后，DSP将会停止其自身的时钟！	
DSPSTARTONOVL	这个设置确保了单片机在错误产生时可被开启。	0 = 需要默认设置
DSP_STARTONTEMP	这个设置保证了处理器在温度测量完成后开启。根据不同固件，在固件 03.01.xx 中温度测量是在 CDC-完成之后进行的。	0 = 默认设置，在固件03.01.xx中是必须的
DSP_STARTPIN	激活锁存触发的给出管脚	0 = PG0 1 = PG1 2 = PG2 3 = PG3
DSP_FF_IN	激活锁存触发的给出管脚	Bit 12 = PG0 Bit 13 = PG1 Bit 14 = PG2 Bit 15 = PG3
DSP_WATCHDOG_LENGTH	单片机的定时器，由软件工程师来进行定义	
DSP_MOFLO_EN	开启在 PG0 和 PG1线上的抗抖动滤波	位 9 为 PG1 位 8 为 PG0
DSP_SPEED	设置 DSP 速度	1 = 标准 (快速) 3 = 低功耗(慢速)

5 读 & 写寄存器

INT2PG2	在QFN24封装下有作用, 因为这个时候没有INTN中断管脚. 允许将中断信号通过PG2端口输出.	
PG1_X_G3	脉冲调制码一般在端口 PG0 和 PG1输出。在I2C通信模式下, 他们需要被选择为输出在 PG2 和 PG3.	0 = PG1 1 = PG3
PG0_X_G2		0 = PG0 1 = PG2

参见下面特定章节. 在开始时设置 0x800010. 低功耗的设置可能与高速测量并不兼容。

寄存器 9 (address 9):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PG_DIR_IN				PG_PULL_UP				PI_EN				PI1_CLK_SEL				PI0_CLK_SEL							

参数	描述	设置	
PG_DIR_IN	将输出切换为输入 (PG3/位23 到 PG0/位20).	0 = 输出 1 = 输入	
PG_PULL_UP	在 PG0 到 PG3 线上开启上拉电阻; 应用机械切换机制.	Bit 16 = PG0 Bit 17 = PG1 Bit 18 = PG2 Bit 19 = PG3	
PI_EN	开启脉冲密度或者脉冲宽度调制码输出。 PWM0/PDM0 可以输出在端口 PG0 或者 PG2. PWM1/PDM1 可以输出在端口 PG1 或者 PG3.	b 'xx01 = PWM0 开启 b 'xx10 = PDM0 开启 b '01xx = PWM1 开启 b '10xx = PDM1 开启	
PI1_CLK_SEL	对于脉冲接口的基础频率, 基于内部低频振荡 (OLF) 或者外部高频晶振 (OHF)	4 = OLF * 2	8 = OLF * 2
PI0_CLK_SEL		5 = OLF 6 = OLF / 2 7 = OLF / 4	9 = OLF 10 = OLF / 2 11 = OLF / 4
PI1_RES	脉冲输出的精度	0 = 7 bit 1 = 8 bit 2 = 9 bit 3 = 10 bit	
PI0_RES			

尝试 0xFF000F 来进行最开始的测量

5 读 & 写寄存器

寄存器 10 (address 10):

参数	描述	设置
V_CORE_CTL	控制1.8 V 核心电压调节器。 低功耗的设置也可以获得好的测量精度,但是这个与RDC的测量速度和时序有关.请参考附录当中的例子.	0x47 = 标准 0x87 = 低功耗

Param0 (address 11): 不应用

Param1 (address 12): 不应用

Param2 (address 13):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
																pulse1_select					pulse0_select			

参数	描述	设置	
pulse0_select	选择PDM/PWM输出的信号源	单一	差分
pulse1_select		1 = C1/C0	1 = C1/C0
		2 = C2/C0	2 = C3/C2
		3 = C3/C0	3 = C5/C4
		4 = C4/C0	4 = C7/C6
		5 = C5/C0	
		6 = C6/C0	
		7 = C7/C0	
		8 = R0/Rref	8 = R0/Rref
		9 = R2/Rref	9 = R2/Rref

5 读 & 写寄存器

Param3 (address 14):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
pulse0_slope																								

参数	描述	设置
pulse0_slope	对于脉冲输出0的斜率。 有符号固定点数, 19位整数和4位小数	-524,288 到 +524,288 以 0.0625为最小单位

Param4 (address 15):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
pulse0_offset																								

参数	描述	设置
pulse0_offset	对于脉冲输出0的零点 有符号固定点数, 22 整数, 1 位小数. 这一位小数用于数学的求近似值, 不会 用于输出	-4,194,304 到 + 4,194,303.5 以 0.5 为最小单位

Param5 (address 16):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
pulse1_slope																								

参数	描述	设置
pulse1_slope	对于脉冲输出1的斜率。 有符号固定点数, 19位整数和4位小数	-524,288 到 +524,288 以 0.0625为最小单位

Param6 (address 17):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
pulse1_offset																								

5 读 & 写寄存器

参数	描述	设置
pulse1_offset	对于脉冲输出1的零点 有符号固定点数, 22 整数, 1 位小数. 这一位小数用于数学的求近似值, 不会 用于输出	-4,194,304 到 +4,194,303.5 以 0.5 为最小单位

Param7 (address 18):

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

differential

参数	描述	设置
differential	选择单一或者差分传感器	0 = 单一 1 = 差分

Param8 (address 19):

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

参数	描述	设置
Gain_Corr	用于内部补偿的乘法系数 无符号固定浮 点数, 3位整数, 21位小数	0 到 7.9999..

寄存器 20 (address 20):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	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

RUNBIT

Parameter	Description	Settings
RUNBIT	RUNBIT 必须为最后写入的参数.	0 = 保护整个设备, 保证在配置过程中 静止, 强迫DSP处于静止状态. 1 = 开启 运行模式

5 读 & 写寄存器

5.2 配置寄存器的说明

5.2.1 对于寄存器 0 的说明

寄存器0 在表格中的第一个寄存器, 但是是最后一个需要处理的寄存器. 因为它是应用于OTP存储器的. 因此在设计评估过程中, 它并不重要.

MEMCOMP: 如果设置DSP_SRAM_SEL= ‘OTP ‘的话, 设置 0x0 是必须的. 否则设置为0x2可能是比较好的选择: 通过发送固件 “ stop ”, DSP时钟将会被放慢, 那么SRAM的内容将会以33-byte包裹的方式与OTP进行比较. 下一个包裹将会在下一个stop后进行比较. 一旦比较出现报警, MEMCOMP 将会给出一个上电复位动作, 通过 AUTOBOOT自动引导, SRAM的内容将会被刷新.

ECC_MODE如果没有开启的话 (“single”), 这个机制将会以担保方式存储和比较BaOTP的内容. 参见在附件中的OTP memory map。 当固件小于1985 bytes 的时候推荐在(“quad”) 模式设置为0xF0 在(“double”)模式设置为0x0F. Quad 模式的意思为三次拷贝每一位然后将其进行 AND(与逻辑) 连接. (注:意外发生的0到1的位移是可能的, 但是1到0的位移是不可能的). Double 模式是基于海明码校验测试的。 尽可能的纠正出现的错误 (但不能修复). AUTOBOOT ≠ 0xF 意味着芯片不能够在上电复位之后自动启动. 芯片将会等待串行接口写入固件到SRAM, 然后写入相应的数据到配置和参数寄存器中.

5.2.2 对于寄存器2的说明

BYTE 1: 推荐的CMEAS_BITS 数值为:

表 5-1: 对于 CMEAS_BITS 的设置

单电容测量方式漂移连接	5b'01000
单电容测量方式接地连接	5b'00010
差分电容测量方式漂移连接	5b'10000
差分电容测量方式接地连接	5b'00010

一些不同的电容需要一个镜像对称的充电/放电过程来中和机械方面的干扰. 这个选项可以通过设置Bit13 = 1来开启. 同时 Param7 寄存器必须要在单电容和差分电容方式之间进行选择.

选择芯片内部放电电阻 (RDCHG_INT_SEL) 如下:

表 5-2: 对于参数 RDCHG_INT_SEL的设置

请考虑到在您的设计中最大电容值包括寄生电容(平均来说寄生电容 10 到40 pF). 请应用一个计算出来的最大值我们称之为C_largest.

If C_largest	< 100 pF	RDCHG_INT_SEL	= b '100 (180 kOhm)
	< 300 pF		= b '101 (90 kOhm)
	< 1 nF		= b '110 (30 kOhm)
	< 3.5 nF		= b '111 (10 kOhm)

5 读 & 写寄存器

5.2.3 对于寄存器3的说明

对于应用假测量所获得的效果主要取决于不同的传感器，需要进行实验来获得最佳的设置。通过平均的设置，可以首先以设置= CMEAS_AVRG = 1来开始。增加这个平均值，将会提高测量的精度，但是测量的输出频率也会被降低。

5.2.4 对于寄存器3和寄存器4的说明 (时序规则)

CDC 和 RDC测量的时间上的一些要点主要取决于比如“cycle time” 和 “sequence time”(参见章节3)。一次cycle循环为最基础的一个测量的过程；它包括了对于每个传感器路径的一次充电和放电的过程。最大可设置从100us或者甚至几毫秒的极限情况，最小的设置对于CDC部分为0.25 μs - 请一定确保充电的时间是充足的，因为放电时间是完全和实际的电容数值以及放电电阻有关的。请配置充电时间与放电时间相同。

不充足的cycletime (在一个或者多个端口有测量时间溢出或者端口错误) 将会增加测量的噪声。有的时候我们很难确定真正的总体电容值大小。尤其是导线电容以及其他寄生电容很难确定。在进行设计的时候，比较明智的选择就是首先应用大的周期时间来进行测试，之后再进一步优化调整。周期时间不能够根据每个测量端口被固定下来。而对于CDC有一个大概的周期时间，对于RDC则有另一个大致的周期时间。

“Sequence Time” 也可以被称为“片上触发周期”。Sequence time 并不是一直都非常重要。当低噪声测量必须要“时不时”进行的时候，这个功能是很有用的，可以设置毫秒，秒，甚至11分钟的静态时间间隔。这个对于节省功耗也是有作用的。而当芯片被设置为持续测量 (“持续测量模式”) 时，这个序列时间参数将会被忽略，在持续测量模式中，上一个测量的最后一个周期将会马上触发下一个序列的第一个周期测量。

持续测量模式是通过设置CMEAS_TRIG_SEL=1 和 TMEAS_TRIG_SEL=1 (或者 0 将关闭RDC) 来实现的。Single-conversion (单一转换模式) 通过操作码或者DSP的命令是完全可以实现。还可以控制测量的间隔通过设置CMEAS_TRIG_SEL=2 以及根据SEQ_TIME (仅在这个参数被启动的情况下) 来触发一个序列定时器。另外，还可以通过设置CMEAS_TRIG_SEL=3，外部给脉冲到芯片的普通I0口。这个情况下需要设置的参数为..._STARTPIN.

5.2.5 对于寄存器4和寄存器5的说明

当功耗以及外部同步不是主要的考虑因素的时候，请设置CMEAS_TRIG_SEL=1 (推荐) 以及 TMEAS_TRIG_SEL=1。TMEAS_TRIG_PREDIV=1, 将会每次电容测量时都会进行温度测量，这可能会有些太频繁。当设置TMEAS_TRIG_PREDIV=64, 将会在每 64 次CDC测量转换后进行1次温度测量。类似的，RDC内部的触发分频器当触发源被选择后TMEAS_TRIG_SEL=2 (不推荐)，将LF时钟的频率进行了分频 (周期大概为 20 us)。在 TMEAS_CYTIME 的设置上，请尝试所有两者设置选择。设置这个位为1，那么您的测量效果将会更好些，但是测量速度上会有一定损失。

5 读 & 写寄存器

5.2.6 对于寄存器6的说明

芯片内部集成了一个温敏电阻和一个内部参考电阻. 另外还提供了连接外部温度传感器和参考电阻的端口. 总而言之, 这颗芯片支持11种组合. 但是在这里所描述的带有标准固件的芯片, 将会仅有6种组合可能:

选择#	参考电阻	外部电阻	内部电阻
1	内部	无	连接, 开启
2	内部	连接到端口 PT0	连接, 开启
3	内部	连接到端口 PT0	连接, 不开启
4	外部连接到端口PT2REF	无	连接, 开启
5	外部连接到端口 PT2REF	连接到端口 PT0	连接, 开启
6	外部连接到端口 PT2REF	连接到端口 PT0	连接, 不开启

对于这6种组合, 选择参数 TMEAS_7BITS 从结果寄存器中读取结果:

选择#	TMEAS_7BITS	输出结果寄存器
1	1000011 = ' h43	Res11 = R(Al_internal)/R(Si_internal)
2	1001011 = ' h4B	Res10 = R(external)/R(Si_internal) Res11 = R(Al_internal)/R(Si_internal)
3	1001001 = ' h49	Res10 = R(external)/R(Si_internal)
4	0000110 = ' h06	Res11 = R(Al_internal)/R(Ref_external)
5	0001110 = ' h0E	Res10 = R(external)/R(Ref_external) Res11 = R(Al_internal)/R(Ref_external)
6	0001100 = ' h0C	Res10 = R(external)/R(Ref_external)

5.2.7 对于寄存器8的说明

推荐您在从开始机操作中设置为0x800030. 当应用单芯片方案的时候请设置为 0xA00030. 参数 WATCHDOG 应该在开发者设计固件时即被确定。当应用标准固件时 (参考章节 7....?), 看门狗可以被应用设置为3是比较好的选择. 设置为0将会关闭看门狗. 设置 INT2PG 则允许中断输出在管脚PG2 (在24-管脚封装的时候非常有用). 推荐使用中断方式来判断, 可以降低噪声.

5.2.8 对于寄存器9的说明

对于pulse code 接口的进一步详细的考虑需要在开发者设计固件的时候来确定.

5 读 & 写寄存器

5.3 读寄存器

读寄存器的内容是完全由固件所制定的。它根据DSP的程序而定。在带有标准固件03.01.xx的情况下寄存器如下：

地址	名称	内容	描述
0	Res 0	C0 LSB	仅作为参考：以LSB为单位的 TDC 标准化的值
1	Res 1	C1/C0	单电容C: 比率 C1/C0 差分电容 C: 比率 C1/C0
2	Res 2	C2/C0 或 C3/C2	单电容C: 比率 C2/C0 差分电容 C: 比率 C3/C2
3	Res 3	C3/C0 or C5/C4	单电容C: 比率 C3/C0 差分电容 C: 比率 C5/C4
4	Res 4	C4/C0 or C7/C6	单电容C: 比率 C4/C0 差分电容 C: 比率 C7/C6
5	Res 5	C5/C0	单电容C: 比率 C5/C0
6	Res 6	C6/C0	单电容C: 比率 C6/C0
7	Res 7	C7/C0	单电容C: 比率 C7/C0
8	Status	Status	状态信息
11	Res 8	不应用	
12	Res 9	不应用	
13	Res 10	R0/Rref	比率 传感器0与参考电容
14	Res 11	R2/Rref	比率 传感器0与参考电容

参见图 3-3 到 3-6 获得对于 C0 到 C7 含义的描述。

寄存器详细描述：

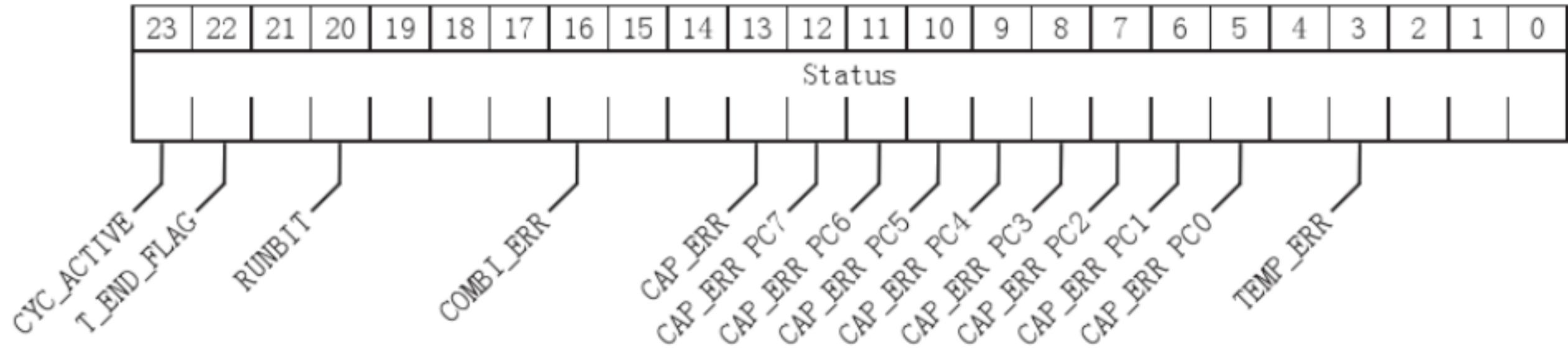
Res1 (address 1) 到 Res7 (adr7):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Cx/Cy																							

参数	描述	数据范围
C1/C0 etc.	电容测量比率, 无符号固定点数带有3位 整数21位小数.	0 到 7.9999 精度 0.477 ppm

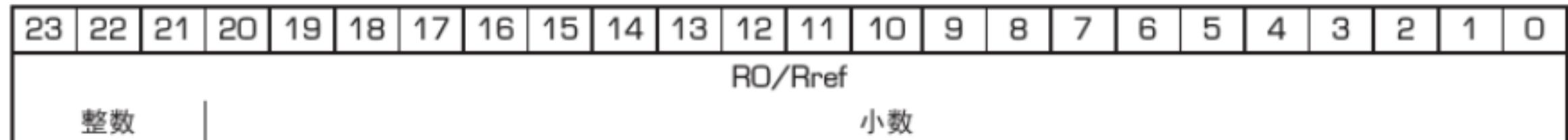
5 读 & 写寄存器

状态寄存器 (address 8):



请忽略所有没有在上面提到的状态位。

Res10 (address 13):



5 读 & 写寄存器

Res11 (address 14):

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R2/Rref																							
整数												小数											

参数	描述	数据范围
R2/Rref	温度测量的电阻比率. - R2 可以为连接到端口PT2的参考电阻 也可以为内部铝电阻. - Rref 可以为连接到端口PT2REF的参考 电阻 (仅 R0 = 内部铝电阻) 或者内部 参考电阻. 无符号固定浮点数3位整数, 21位小数.	0 到 7.9999 精度 0.477 ppm

5

读 & 写寄存器

6 DSP, 存储 & 固件	6-2
6.1 DSP 管理和编程	6-2
6.2 存储器映射	6-3
6.3 存储器管理	6-3
6.4 OTP 固件编程	6-3
6.5 入门指南.....	6-5
6.5.1 SRAM 固件编程	6-5
6.5.2 配置, 例1	6-6
6.5.3 配置, 例2.....	6-7
6.5.4 配置, 例3	6-8

6 DSP, 存储 & 固件

6.1 DSP 管理和编程

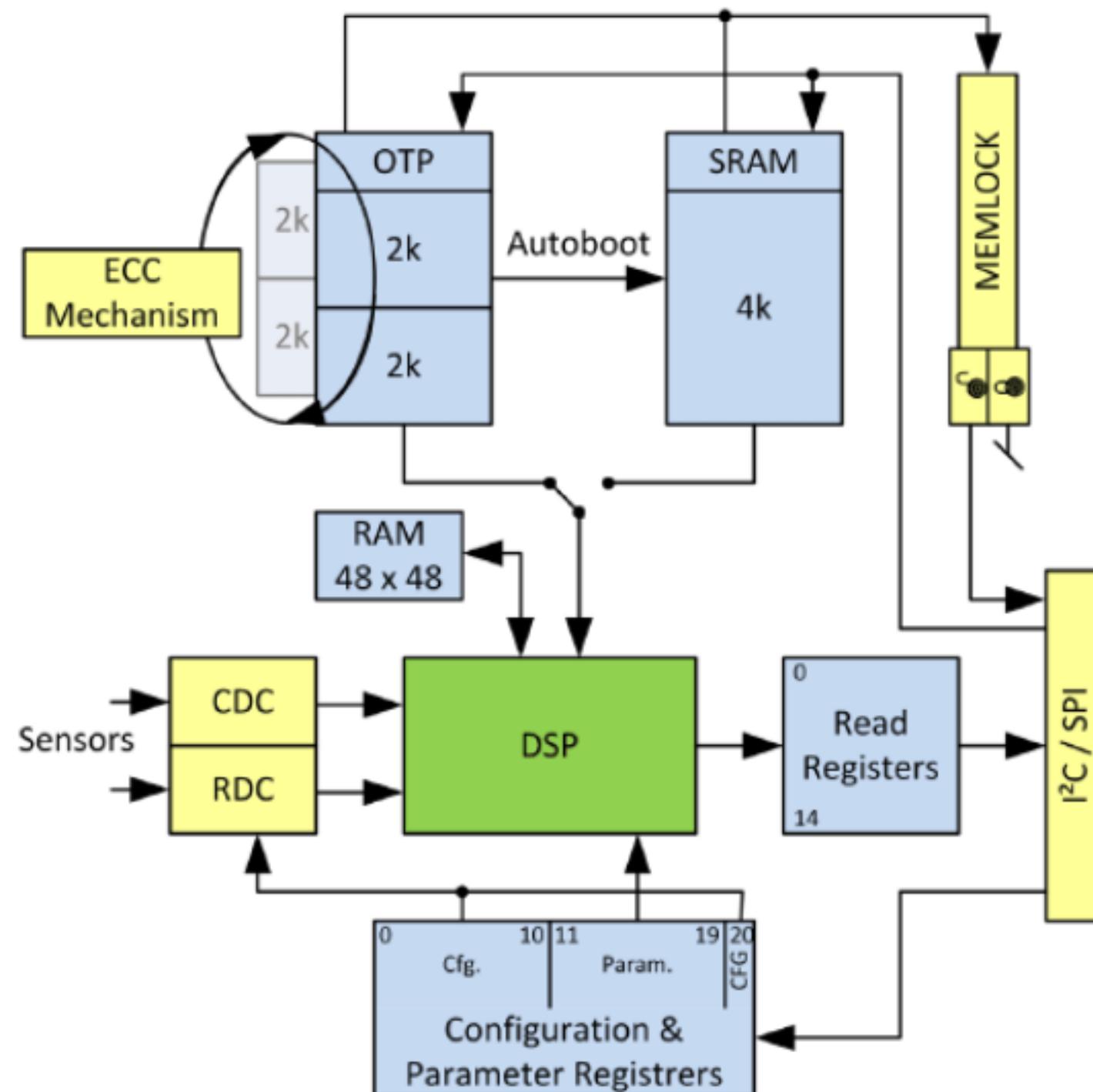
一个哈佛结构的数字信号处理器(DSP)被集成在芯片当中,而且是可进行编程的. 所写入的软件叫做“固件”,这个固件可以由acam公司提供已经准备好的或者由用户自己编写. 在这个文档当中我们仅描述了acam公司所提供的标准固件03.01.xx. 固件将会把补偿的电容和电阻测量比率写入到读寄存器中,不带任何数据处理比如线性和滤波等。

这个 DSP 可以处理48 位并行数据并耦合到一个48 x 48 位的 RAM, 内部的时钟频率为大概 100MHz. 内部时钟可以通过一个固件的命令被停止。为了能够节省功耗, DSP可以通过在GPIO 或者通过“测量结束”的条件被再次触发。

DSP 为acam公司的专有的处理器可以覆盖低功耗以及高速度的测量。它以汇编编程组成(无高级语言编程的可能)。非常简单方便的汇编软件, 带有图形界面显示, 以及一些帮助命令将会帮您简化变成的工作。可以对子程序进行编码。

DSP处理器将会在中断端口给出一个“数据准备完成”的状态信号。中断可以在INTN端口或者从GPIO (PG2) 给出。应用中断技术对于噪声以及功耗方面都有很大的好处, 而且可以避免读取同样重复的结果。这个情况在查询接口的情况下会发生; 当然也可以通过小心的时序以及同步来避免。

图 6-1 DSP & 存储



6 DSP, 存储 & 固件

6.2 存储器映射

表 8-1 存储器结构

		SRAM		OTP					
地址				直接/单一		加倍		四倍	
dec.	hex.	内容	长度 [Byte]	内容	长度 [Byte]	内容	长度 [Byte]	内容	长度 [Byte]
4095	FFF			Unused	1	Test byte	1	Test byte	1
4094	FFE			Config. Registry	63	Config. Registry	63	Config. Registry	63
..	..								
4032	FC0								
4031	FBF								
..	..								
2048	800h							Program code	1984
2047	7FF							Test byte	1
2046	7FE							Config. Registry	63
..	..								
1984	7C0								
1983	7BF								
..	..								
0	0	Program code	4096	Program code	4032	Program code	4032	Program code	1984

6.3 存储器管理

DSP 可以在SRAM（高速度）或者在OTP（低功耗）下工作。当通过SRAM运行的时候，一个 SRAM-to-OTP 数据完整监控器可以通过在寄存器0中的参数MEMCOMP开启，但是当直接从OTP 操作中必须要关闭！

存储完整性（“ECC”）机制内部检查了OTP的内容，然后纠正有问题的位（尽可能的）。

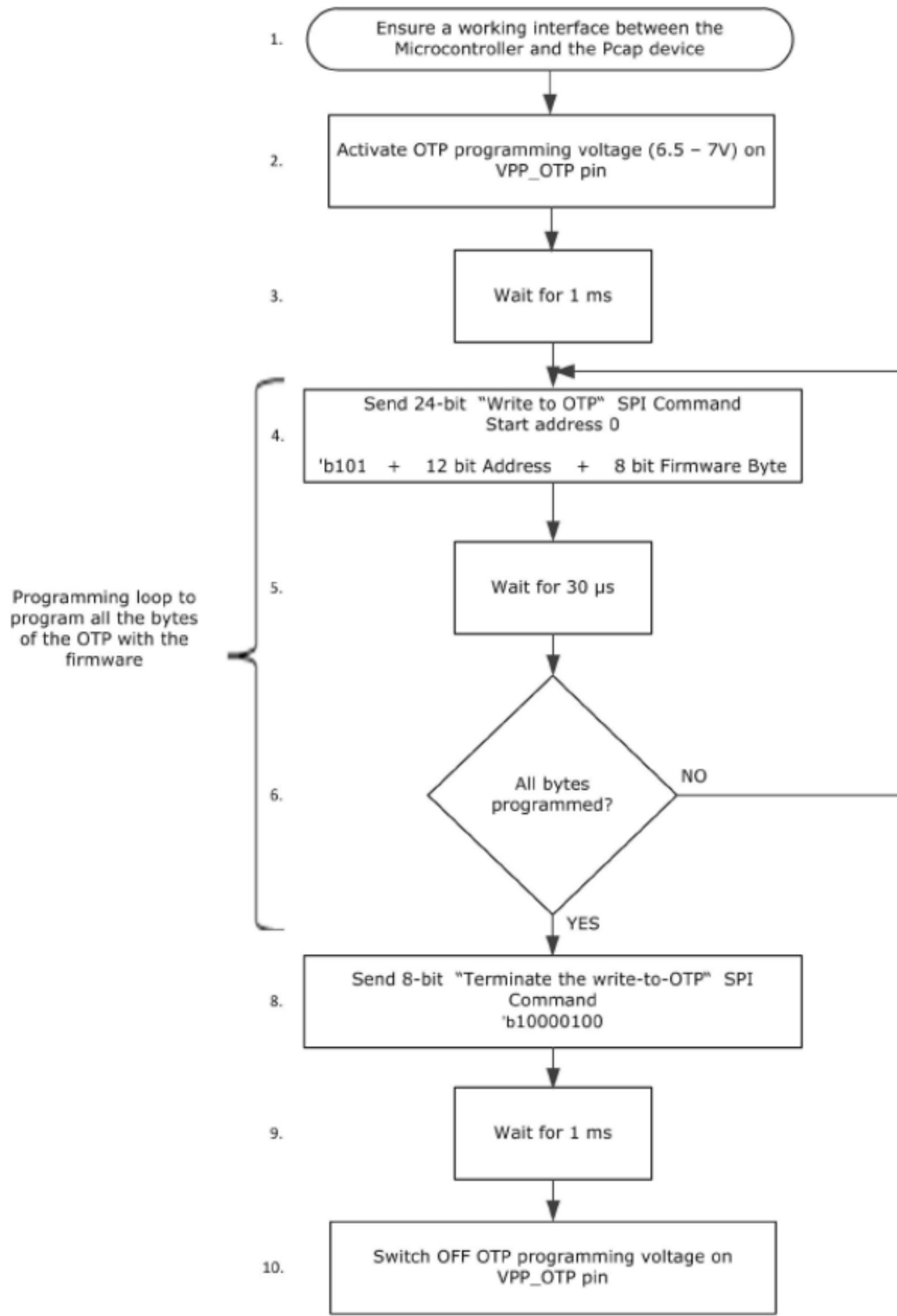
开启 MEMLOCK，读存储内容的限制，通过特殊的OTP设置，防止有人想读取下载固件（参见已经存在的固件开发的图形用户界面）。MEMLOCK 功能将会给您的知识产权提供保护。MEMLOCK 最早开启是在其被写入OTP然后芯片获得一个上电复位之后。

6.4 OTP 固件编程

PCap 仪器带有4kB的一次可编程持续存储空间。称之为 OTP存储。实际上，这个 OTP 是有 8 kB 大小，但其中 4 kB 是用于ECC。所有的OTP存储空间在未编程状态下的默认值为‘高’或者 1，比如按字节来说的0xFF。编写一位意味着将其状态从高转换到低。一旦这一位被编写为0，那么它将不能再回到1的状态。数据保存时间在95° C情况下为10年。MEMLOCK 为四重保护的。

6 DSP, 存储 & 固件

为了能够在OTP中将一位的状态编程为低或者‘0’，需要一个外部的6.5 V编程电压。这个电压必须要给到管脚 VPP OTP。因此当这个管脚在接地状态时，是不可能将一个未编程的位状态改变到0的。下面的流程图显示了编写固件到OTP当中的操作步骤：



比较好的实践方法就是读取固件当中的内容然后进行比较，至少可以读取在固件中的前960字节。读命令和写命令非常类似，是以操作码 ’b001 开头的：

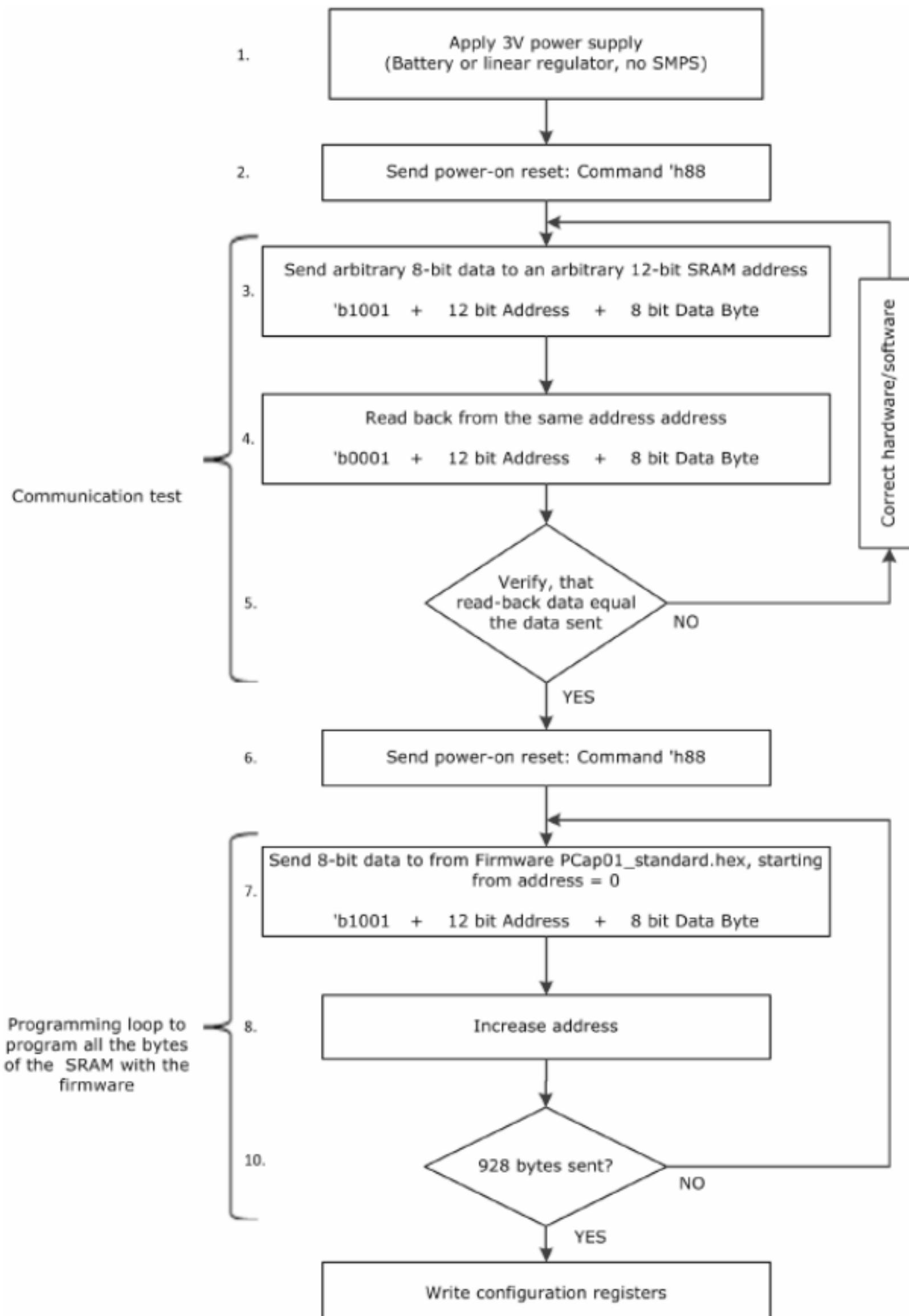
24位的COMMAND_READ = ’b001
+ 12-bit 地址 + 8-bit 固件-byte

6 DSP, 存储 & 固件

6.5 入门指南

6.5.1 SRAM 固件编程

在软件的开发，评估过程中，客户是希望应用SRAM作为程序空间而不是OTP的。因此在上电复位之后首先需要将固件写到SRAM中。通过操作码“Write to SRAM”和“Read SRAM”可以对于SRAM进行任何读或者写的操作。下面的流程图显示了在上电复位后的开始步骤。



6 DSP, 存储 & 固件

6.5.2 配置, 例1

在下载完固件后的下一步则是下载寄存器配置。

这个例子为一个基本的配置例子参考文档为Pcap01_standard.cfg (此配置来源于评估系统).

这个例子的特性如下:

电容	温度	其它
单一接地电容 1 个传感器, 1 个参考, i 内部 补偿 Rdisch = 30 kOhm, 20 μs cycle time 3 Hz 数据频率 100次采样平均	关闭	Sequence time 触发

详细的配置如下:

Register 0:	' h 42 00 FF
Register 1:	' h 20 10 22
Register 2:	' h 03 1E 0B
Register 3:	' h 0D 00 64
Register 4:	' h 08 00 00
Register 5:	' h 00 00 00
Register 6:	' h 00 00 40
Register 7:	' h 1F 00 00
Register 8:	' h 80 00 30
Register 9:	' h FF 00 0F
Register 10:	' h 18 00 87

1. 为了写入这些 24-位的参数, 应用下面32-位格式:

```
{2' b01, 5' b<Result_Address>, 23' b<Result_Data>}
```

当所有11个寄存器被配置完成后, 请设置在寄存器20的runbit:

```
{2' b11, 5' b10100, ' h000001}
```

2. 现在芯片已经准备好可以进行测量了。发送一个部分复位命令(' h8A), 但不要发完整复位命令!

3. 接下来, 请发送一个开始测量命令 (' h8C).

4. 等待半秒钟, 读取状态寄存器 (address 8) 和结果寄存器 (addresses 0 和 1). 当读取24位状态和结果寄存器是应用如下的32位格式:

```
{2' b01, 5' b<Result_Address>, 23' b<Result_Data>}
```

6 DSP, 存储 & 固件

一般来说状态寄存器应该为 `status=='` h100000 或 '`h900000`.

`Res0` 应该在比如范围在 70000. 这个整数值，与典型21ps相乘，将会给出放电时间的一个范围指示。当为 70000 的时候，我们的放电时间为大概1.5us。当然这个数值是根据所应用的电容大小而定的。

`Res1` 的结果预期在2,000,000 范围或者 '`h1FF2XX` 如果传感器和参考电容应用的是同一尺寸的话。`Res1` 的格式为3位整数和21位小数。因此，将2,000,000 除以 2^{21} 将会给出一个系数给到比率 C_1/C_0 .

现在需要给出一些注意的问题，21ps是在室温情况下3V电压时的一个典型值。这个数值当温度变化以及生产批次不同的时候是会有很大变化的。尽管如此，这个数值在一个毫秒级别的时间段中变化是非常小的。这也是为什么我们推荐应用在传感器和参考的比率测量作为结果。

6.5.3 配置, 例2

这个例子是参考一个电容测量带有温度测量(内部传感器)给出的。

这个例子的一些特性：

电容	温度	其它
单一漂移电容 1 个传感器, 1 个参考, 完全补偿 $R_{disch} = 90 \text{ kOhm}$, $20 \mu\text{s}$ cycle time 12.2 Hz 数据频率 平均 100 次	内部参考和传感器电阻 C-测量触发 12.2 Hz $140 \mu\text{s}$ cycle time	Sequence time 触发

详细配置如下：

```

Register 0:      ' h 42 00 FF
Register 1:      ' h 20 10 22
Register 2:      ' h 0F 45 0B
Register 3:      ' h 0B 00 64
Register 4:      ' h 08 00 01
Register 5:      ' h 00 00 00
Register 6:      ' h 00 43 40
Register 7:      ' h 1F 00 00
Register 8:      ' h 80 00 30
Register 9:      ' h FF 00 0F
Register 10:     ' h 18 00 87

```

6 DSP, 存储 & 固件

步骤 1. 到 3. 与第一个例子中相同.

4. 等待100ms, 然后读取状态寄存器 (address 8) , 结果寄存器 Res0, Res1 和 Res11 (addresses 0, 1 和14). 对于读取 24-位的状态和结果请应用如下32位的格式:

{2' b01, 5' b<Result_Address>, 23' b<Result_Data>}

预期的在状态寄存器中将会获得 status== ‘h100000 或者 0x900000.

Res0 可以为比如 70000范围的数值. 这个整数值, 与典型的21ps精度相乘, 将会给出放电测量时间的大小。如果获得70000的话, 那么我们预计的放电时间在1.5us左右。这个数值是与测量的电容有关系的。

Res1 的结果预期在2,000,000 范围或者 ’ h1FF2XX 如果传感器和参考电容应用的是同一尺寸的话. Res1 的格式为3位整数和21位小数。因此, 将2,000,000 除以 2^21 将会给出一个系数给到比率 C1/C0.

Res11 将会给出 R(alu)/R(Si-poly) 的比率值, 应该在 1,750,000的范围。转换为小数的话(除以 2^21) 则为大约0.84, 一个在室温情况下的典型比值.

6.5.4 配置, 例3

这个例子是在电容测量频率为1 kHz. 而温度测量(应用外部传感器)频率为 2 Hz的情况

这个例子的特性如下:

电容	温度	其它
单一接地电容 1 个传感器, 1 个参考。内部 补偿模式。Rdisch = 30 kOhm, 20 μs cycle time 1.04 kHz输出频率 16次平均	CMEAS 触发 外部端口PT0连接 PT1000 vs. 内部 Poly-Si参考电阻 2.06 Hz 数据频率 280 μs cycle time	持续测量模式

详细配置如下:

Register 0: ' h 42 00 FF

Register 1: ' h 20 10 22

Register 2: ' h 03 16 0B

Register 3: ' h 06 00 10

Register 4: ' h 04 01 11

Register 5: ' h 00 01 F8

Register 6: ' h 00 49 40

Register 7: ' h 1F 00 00

Register 8: ' h 80 00 04

Register 9: ' h BB 00 00

Register 10: ' h 18 00 40

6 DSP, 存储 & 固件

步骤 1. 到 3. 与第一个例子中相同.

4. 等待100ms, 然后读取状态寄存器 (address 8) 和从address 1中读取结果寄存器 Res1.

对于读取 24-位状态或者结果请应用如下32位的格式:

{2' b01, 5' b<Result_Address>, 23' b<Result_Data>}

预期的读取的结果应该为 status== ‘h100000 或 0x900000.

Res1 结果预期在2, 000, 000 范围或者 ’ h1FF2XX 如果传感器和参考电容应用的是同一尺寸的话. 因此, 将2, 000, 000 除以 2^{21} 将会给出一个系数给到比率 C1/C0.

Res11 给出的是R(PT1000)/R(Si-poly)的比率, 那么数值大致应该为2, 080, 000. C将其转换为小数(除以 2^{21}) 则将会给出 0.994, 一个典型的室温下的比值.

6 DSP, 存储 & 固件

7 其它.....	7-2
7.1 错误报告.....	7-2
7.1.1 I2C 的错误	7-2
7.1.2 SPI 限制.....	7-3
7.1.3 Power-up 复位限制	7-3
7.2 文档历史.....	7-3

7 其它

7.1 错误报告

7.1.1 I2C 的错误

描述

当 PCap01A 不是I2C总线中唯一的设备时，我们有如下错误，如表格 7-1所示：

表 7-1：在主机与总线上其它从机而非PCap01通信的时候

情况	预期的效果	实际效果	结论
主机开启与总线上其他从机的通信而非PCap01	PCap01 应该保持沉默，如同其没有在总线上一样	PCap01将会确认任何地址字节. 它将会设置确认位如同它本身被主机呼叫一样 (1) (2)	错误
主机已经与其他从机建立了通信，而且正在写入或者读取数据。	PCap01应该保持关闭 SDA线	PCap01 确认任何数据字节给并联总线上的从机 (2) 和主机(3) 或者给他们拒绝确认的消息	错误
	PCap01 应该忽略数据位本身	PCap01将不会对发送给其它从及的数据有任何动作	正确

(1) 如果被要求的从机出现并且已经准备响应，那么这是可以接受的

(2) NACK (拒绝确认) 在这个情况下将不再存在.

(3) 这种“干涉主机”的情况可能会对主机通信造成麻烦(尤其注意带有硬件集成I2C通信的控制器).

一些临时建议：

- 如果可能的话, 请应用SPI通信. 在SPI通信上没有任何问题。
- 如果您需要I2C 通信, 那么请从新构造通信的结构, 那么让PCap01为一个单独的从机接到主机。
- 如果您需要 I2C通信而又不能避免多从机结构, 那么请注意在总线上的一些限制, 如在这章当中所描述的。

应用内部集成I2C 控制器的结果 (带有多个或者单独从机)

应用主机集成的硬件I2C通信接口，当在一个“写”的过程当中收到ACK位的时候，主机有可能会有错误，(因为主机应该会对从机数据给出确认). 这将会使整个接口被封锁，除非主机已经被设定不会根据检测主机冲突线1有任何动作。另外不允许有多个活动的主机！

因为写操作是可能的，I2C 的扩展元件可以用于连接Pcap01在多从机系统中的应用。

1 在多主机系统中，两个主机有可能在偶然情况下在同一时间成为主机尝试控制总线。这是标准当中的一个部分，而且不应该有任何问题，而且不会引起从机的特殊注意。当两个主机每次写入一个‘high’高平都会等待SDA线的回应，看看是否有其他一个主机将会发出‘lows’. 当这个情况产生的时候，任何发出‘high’高平的主机将会自动变成从机，让另外一个主机作为单独主机在总线上。而PCap01在这一点上将会被困扰和迷惑。主机写入 NACK (‘high’)然后从PCap01的ACK看到 ‘low’。那么这个主机将会认为PCap01为另一个主机(实际上不是)然后返回从机模式。PCap01则等待下一个时钟脉冲的到来，但是另一个主机是不会继续发送的。结果：在总线上将不再有主机存在；这个总线处于被占用的状态，而且带有一个SDA=‘low’ (从Pcap01的ACK)和 SCL=‘high’的持续状态

7 其它

当用户自己编写通信协议软件，“软件实现“ i2C 接口

我们推荐您简化和修改通信的协议：

- 最基本的i2C通信协议标准是最佳的选择.
- 多主机，任意通信等方式需要被去除掉.
- 主机必须忽略与其本身ACKs或者NACKs所冲突的任何其他ACK位.
- 主机不能够依赖于其他任何从机除了PCap01以外发出的ACK位. ACK 位只可能来自于 PCap01. 请注意这一点，尤其当进行芯片调试以及处理错误的情况下。
- 有些时候可能需要做进一步的工作来检查是否从机已经出现和做好通信准备，可以通过 ACK给出信号来执行。
- 您不能应用NACK确认位。这个信号尤其不能用于给从机的“传输结束“的标志位. 您必须重复给出start来退出或者通过一个stop条件来退出通信。
- 如果可能，请在多从机的情况下应用一个I2C扩展元件
-

7.1.2 SPI 限制

在一些应用当中，多个单元被连接到SPI总线上，而分别的通过片选线 (SSN) 来进行寻址。对于这个工作，任何没有被分配地址的单元，当看到SSN高平的时候，必须要设置它的MISO 端口到高阻状态。

而在PCap01的MISO端口没有这个高阻状态的选择。

进行的工作：避免总线分享，或者加一个外部的三态缓存在Pcap01 MISO端口和MISO线之间。

7.1.3 Power-up 复位限制

在非常短时间的断电情况下，PCap01不能够安全的检测到这个断电现象。结果就是，芯片可能不会进行一次上电复位而是处于挂起的状态。

进行的工作：在独立工作单芯片模式下 PCap01A 需要一个额外的上电复位电路。而当PCap01 在仅作为转换器的时候，可以通过单片机的一个软件的复位命令来进行复位。

7.2 文档历史

04. 08. 2010	第一次发布
03. 09. 2010	完整版本，版本 0.2，从新进行lay-out
28. 04. 2011	完整版本，版本 0.3，基于标准固件版本 03. 01
13. 05. 2011	图 4-3



acam-messelectronic gmbh
Am Hasenbiel 27
76297 Stutensee-Blankenloch
Germany
ph. +49 7244 7419 - 0
fax +49 7244 7419 - 29
e-mail: support@acam.de
www.acam.de