

英飞凌 XENSIV™ 数字绝对压力传感器

特性

- 专用低功耗监测 (LPM) 模式，用于电池监测应用（差分压力阈值精度 $\pm 4\%$ ）
- 高精度压力传感 (± 1.0 kPa)，压力范围 50 至 140 kPa
- 工作环境温度范围：-40°C 至 +105°C
- 行业领先低功耗
- 通过 SPI 接口提供 10、12 或 14 位分辨率的压力和温度值
- 信号路径和信号处理的集成诊断功能
- 绿色和小型 4.5 mm x 5.1 mm 8 引脚 DFN 封装



潜在应用

- 针对 LFP 电池热失控检测而优化的汽车电池监控系统 (BMS)
- 汽车气压传感器 (BAP)
- 汽车空气流量传感器 (MAF)
- 汽车座椅舒适系统
- 工业控制
- 气象站
- 高度计

产品验证

产品依据 AEC-Q103-002 进行验证。适用于汽车应用，已获得认证。

描述

英飞凌 KP467Q 是一款基于电容式传感原理的高性能、高精度微型数字绝对压力传感器。它采用表面微加工技术，内含单片集成信号调节电路。

器件将物理压力转换为 10 位、12 位或 14 位数值，并通过 SPI 接口传输信息。此外，芯片上还集成了温度传感器。根据接收到的 SPI 命令，10 位、12 位或 14 位温度信息也将通过 SPI 接口传输。

除了掉电模式外，KP467Q 还具有特定的低功耗监控 (LPM) 模式，可用于电池监控应用，以检测热失控事件引起的压力脉冲。集成诊断功能具有特殊的可靠性，可对传感器单元和信号路径进行测试。该诊断可通过 SPI 命令触发。

Product type	Package	Marking	Ordering code
KP467Q	PG-DFN-8-1	KP46Q	SP006179846

本数据手册的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

目录

目录	2
1 框图	4
2 引脚配置.....	5
3 产品一般特性.....	6
3.1 绝对最大额定值.....	6
3.2 功能范围.....	7
4 产品特性	8
4.1 特性.....	8
4.1.1 电气特性.....	8
4.1.2 低功耗监控特性.....	9
4.1.3 传递函数压力特性.....	10
4.1.4 传递函数温度特性.....	11
4.1.5 欠电压范围特性.....	11
4.1.6 SPI 时序.....	12
4.2 功能描述.....	14
4.2.1 传递函数压力.....	14
4.2.2 传递函数温度.....	15
4.2.3 掉电模式.....	18
4.2.3.1 进入掉电模式.....	18
4.2.3.2 退出掉电模式.....	18
4.2.4 低功耗监控模式.....	19
4.2.4.1 低环境监控（单个阈值）.....	19
4.2.4.2 低功耗监控（两个阈值）.....	20
4.2.4.3 间隔计时器.....	22
4.2.4.4 唤醒事件.....	22
4.2.4.5 进入低功耗监控模式.....	22
4.2.4.6 退出低功耗监控模式.....	22
4.2.4.7 差分压力精度.....	23
4.2.4.8 计算LPM 模式下的总电流消耗量.....	23
4.2.4.9 低功耗监控配置参数.....	24
4.2.5 串行接口.....	25
4.2.5.1 EEPROM 可编程.....	26
4.2.5.2 命令.....	26
4.2.5.3 命令行为.....	27
4.2.5.4 响应结构.....	27
4.2.5.5 奇偶校验.....	29
4.2.5.6 命令定义（16 位）.....	30
4.2.5.7 命令定义（8 位）.....	31

4.2.5.8	通讯错误	32
4.2.5.9	标识符响应定义.....	33
4.2.5.10	单器件操作.....	33
4.2.5.11	菊花链操作（4 引脚，全双工）	33
4.2.5.12	SPI 配置参数.....	35
4.2.6	诊断.....	37
4.2.6.1	LPM 诊断.....	38
4.2.6.2	诊断重置.....	39
4.2.6.2.1	复位位 ='1'.....	39
4.2.6.2.2	复位位 ='0'.....	39
4.2.6.3	压力超出范围.....	40
4.2.6.4	Diag1	40
4.2.6.5	Diag2	40
4.2.6.6	EEPROM 检查	41
4.2.7	计算总电流消耗.....	41
4.2.8	启动行为.....	42
5	应用信息	43
6	封装	45
6.1	识别代码.....	46
7	修订记录	47
	免责声明.....	48

1 框图

下图显示了器件的功能框图。

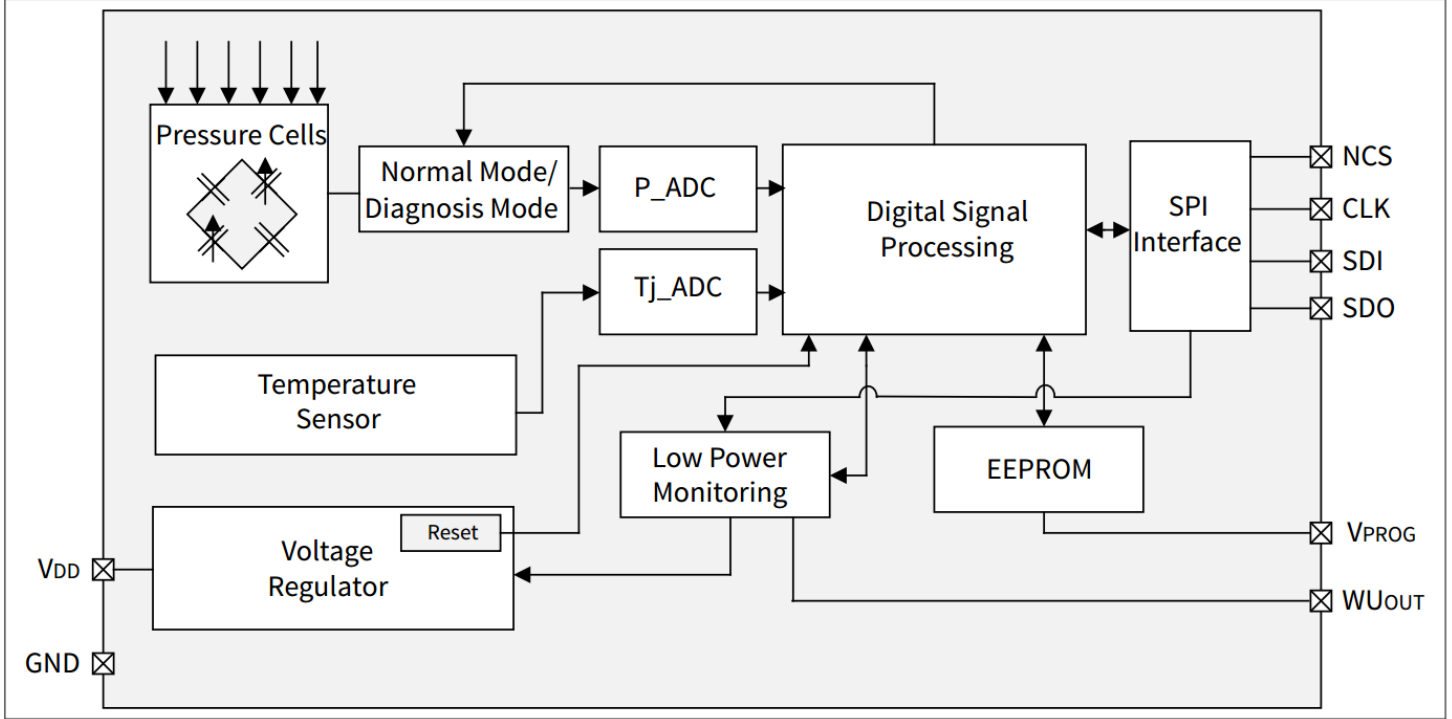


图 1 功能框图

2 引脚配置

下图显示了器件的引脚配置。

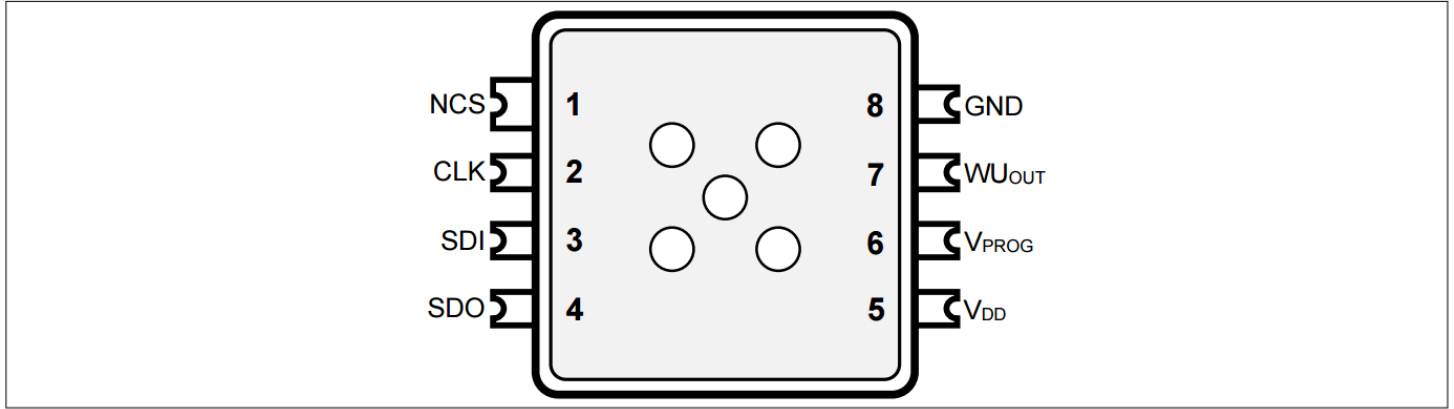


图 2 引脚配置（俯视图，图未按比例绘制）

下表列出了引脚说明。

表 1 引脚说明

Pin No.	Name	Function	Comment
1	NCS	Not-Chip-Select (active-low)	Communication is enabled when NCS is low
2	CLK	Serial Clock	External clock for serial communication
3	SDI	Serial Data In	Serial data input (such as from a controller)
4	SDO	Serial Data Out	Tri-state serial data output
5	V _{DD}	Supply voltage	–
6	V _{PROG}	Programming Voltage	Only required during EEPROM programming and Programming Mode entering
7	WU _{OUT}	Wake-up pin	Digital output to wake up such as microcontroller
8	GND	Ground	–

3 产品一般特性

3.1 绝对最大额定值

表 2 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Maximum supply voltage range	V_{DD_max}	-0.3	-	5.5	V	
Maximum voltage range on any pin	V_{in_max}	-0.3	-	5.5	V	
Maximum voltage range on any pin (short term)	$V_{in_max_short}$	-0.3	-	6.0	V	Limited time: Max. 300 s
Maximum voltage range at output pins	V_{out_max}	-0.3	-	$V_{DD} + 0.3$	V	
Storage temperature	T_S	-40	-	150	°C	
Maximum input pressure range	P_{amb_max}	10	-	300	kPa	
Maximum input pressure range (short term)	$P_{amb_max_short}$	10	-	600	kPa	Limited time: Max. 300 s
ESD robustness - HBM	V_{ESD_HBM}	-2000	-	2000	V	According to ANSI/ESDA/JEDEC JS-001
ESD robustness pins 1, 4, 5, 8 - CDM	$V_{ESD_CDM_c}$	-750	-	750	V	According to ANSI/ESDA/JEDEC JS-002
ESD robustness pins 2, 3, 6, 7 - CDM	$V_{ESD_CDM_o}$	-500	-	500	V	According to ANSI/ESDA/JEDEC JS-002

注意： 超过“绝对最大额定值”所列的应力可能会对器件造成永久性损坏。这只是应力额定值，并不表示器件在这些条件下，或在“工作范围”章节中所述条件之外的任何条件下能够正常运行。此外，仅假设了单一错误情况。一个以上的应力/错误情况也可能损坏器件。长时间暴露在绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。在绝对最大额定值过载条件下，VDD 引脚上相对于接地(GND) 的电压不得超过绝对最大额定值定义的值。生命周期声明是基于英飞凌 (Infineon) 认证测试结果外推得出的预期值。元件的实际生命周期取决于其应用形式、使用类型等因素，且可能与该声明存在偏差。生命周期声明在任何情况下均不得延长约定的保修期。

3.2 工作范围

为了确保器件正确运行，不得超出以下工作范围。除非另有说明，以下部分中指定的所有参数均指这些操作条件。

表 3 工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply voltage	V_{DD}	3.0	–	5.25	V	
Supply undervoltage	V_{DD_UV}	V_{UVR_max}	–	V_{DD_min}	V	Undervoltage range, reduced performance (see Undervoltage range characteristics)
Supply voltage power up/power down gradient	V_{grad}	1E-5	–	1E4	V/ms	
Input voltage for high level at pins NCS, CLK & SDI	V_{high_in}	1.8	–	$V_{DD} + 0.3$	V	Not valid in Power-Down mode
Input voltage for high level at pins NCS, CLK & SDI (Power-Down/LPM mode)	$V_{high_in_pd}$	2.3	–	$V_{DD} + 0.3$	V	Not valid during normal operation
Input voltage for low level at pins NCS, CLK & SDI	V_{low_in}	-0.3	–	0.8	V	
Output voltage for low level at pin SDO	V_{low_out}	–	–	0.4	V	Sink current at pin SDO less than 2.0 mA
Output voltage for high level at pin SDO	V_{high_out}	$V_{DD} - 0.4$	–	V_{DD}	V	Source current at pin SDO less than 2.0 mA
Ambient operating temperature range	T_a	-40	–	105	°C	
Thermal resistance (junction-ambient)	R_{thJA}	250	–	350	K/W	Thermal resistance between die and T_{amb} (measured acc. JESD51-2)

4 产品特性

4.1 特性

4.1.1 电气特性

表 4 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Undervoltage reset/ release level	V_{UVR}	2.1	–	2.7	V	
Undervoltage reset hysteresis	V_{UVR_Hyst}	100	–	300	mV	
Supply current into VDD	I_{VDD}	–	–	3.5	mA	Without SPI communication
Supply current into VDD during power- down mode (quiescent current)	I_{VDD_PD}	–	–	10	μ A	
Supply current into VDD during low power monitoring mode (quiescent current)	I_{VDD_LP}	–	–	20	μ A	
Pressure signal path settling time	t_{path_pres}	–	–	5	ms	Pressure accuracy within specification
Temperature signal path settling time	t_{path_temp}	–	–	5	ms	Temperature accuracy within specification
Start-up time (with self-diagnosis)	$t_{start-up_wd}$	–	–	10	ms	<ul style="list-style-type: none"> No SPI communication possible After $t_{start-up_wd}$ within full specification Configuration Parameter $power_up_{diag_en} = 1$
Start-up time (without self- diagnosis)	$t_{start-up_wod}$	–	–	5	ms	No SPI communication possible After $t_{start-up_wod}$ within full specification Configuration Parameter $power_up_{diag_en} = 0$
Power down wake- up time (with self- diagnosis)	$t_{PD_wake-up_wd}$	–	–	10	ms	Configuration Parameter $wup_{diag_en} = 1$

(表格续下页.....)

表 4 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Power down wake-up time (without self-diagnosis)	$t_{PD_wake-up_wod}$	-	-	5	ms	Configuration Parameter $wup_{diag_en} = 0$
Capacitive load at pins NCS, CLK & SDI	C_{load_in}	-	-	14	pF	
Capacitive load at pin SDO	C_{load_out}	-	-	19	pF	
Tri-state leakage current	I_{SDO}	-5	-	5	μA	NCS = high $V_{DD} = 5 V$
Hysteresis of input voltage at pins NCS, CLK & SDI	V_{SPI_Hys}	100	-	-	mV	
Current sink for NCS, CLK & SDI (each pin) - V_{low_in}	I_{SPI_in}	-100	-	-5	μA	$V_{low_in} = 0 V$ No back biasing Not valid in Power-down mode
Current sink for NCS, CLK & SDI (each pin) - V_{high_in}	I_{SPI_in}	-	-	5	μA	$V_{high_in} = 5 V$ No back biasing
Delta pressure noise RMS	Δp_{noise_RMS}	-	-	50	Pa	Root-mean-square of noise distribution ¹⁾

1) 均方根是指在测量值的统计分布中，68% 的值与分布平均值的偏差小于均方根。噪声峰值限值可根据所需的置信水平，计算为均方根的倍数。例如对于置信度为 99.99% 的噪声峰值限值，均方根值乘以系数 4。

4.1.2 低功耗监控特性

表 5 低功耗监控特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Timing accuracy of reading repetition	$acc_{t_PD_pread}$	-30	-	30	%	
Duration of pressure reading during low power monitoring mode	t_{PD_pread}	-	-	1001	μs	Average pressure reading time
Wake-up pin high state voltage level	V_{high_wake}	$V_{DD} - 0.4 V$	-	V_{DD}	V	Source current at pin WU_{OUT} less than 2.0 mA

(表格续下页.....)

表 5 (续) 低功耗监控特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Wake-up pin low state voltage level	$V_{\text{low_wake}}$	-	-	0.4	V	Sink current at pin WU _{OUT} less than 2.0 mA
Delta pressure threshold accuracy	$acc_{\Delta p_{\text{threshold}}}$	-4	-	4	%	$i=1$ or 2 Delta pressure threshold accuracy depends on the threshold values used ($\Delta p_{\text{threshold}1}$ or $\Delta p_{\text{threshold}2}$).
Time entering LPM mode	$t_{\text{enter_LPM}}$	-	-	1	ms	From the end of the SPI frame.

4.1.3 传递函数压力特性

表 6 传递函数压力特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Ambient operating pressure range	p_{amb}	50	-	140	kPa	
Accuracy pressure mid temperature range	acc_{p_Tmid}	-1.0	-	1.0	kPa	$T_a = 0^\circ\text{C}$ to 85°C ; additional drift from specifications for 24 h after reflow soldering.
Accuracy pressure low temperature range	acc_{p_Tlow}	-1.5	-	1.5	kPa	$T_a = -40^\circ\text{C}$; additional drift from specifications for 24 h after reflow soldering.
Accuracy pressure high temperature range	acc_{p_Thigh}	-1.5	-	1.5	kPa	$T_a = 105^\circ\text{C}$; additional drift from specifications for 24 h after reflow soldering.

注释: 在标准条件下 (25°C , 100kPa) 回流焊接后或器件暴露于极端温度条件下所产生的漂移, 最长持续时间为24小时。

注意: 器件对通过压力端口进入的光线敏感。所有规格均适用于照度小于 1 lx 的情况。

4.1.4 传递函数温度特性

表 7 传递函数温度特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Accuracy temperature low	acc_{T_low}	-5.0	-	5.0	°C	$T_a = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C ; After device self-heating within acc_{T_low}
Accuracy temperature center	acc_{T_cen}	-3.0	-	3.0	°C	$T_a = 25^{\circ}\text{C}$ to 85°C ; After device self-heating within acc_{T_cen}
Accuracy temperature high	acc_{T_high}	-3.25	-	3.25	°C	$T_a = 85^{\circ}\text{C}$ to T_{a_max} ; After device self-heating within acc_{T_high}

4.1.5 欠压范围特性

表 8 欠压范围特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Clock frequency of SPI interface (push-pull, undervoltage range)	$f_{SPI,PP}$	0.1	-	2.5	MHz	Valid for push-pull configuration of SDO; Undervoltage range V_{DD_UV}
Accuracy pressure central temperature (undervoltage range)	acc_{p_UV}	-2.0	-	2.0	kPa	$T_a = 0^{\circ}\text{C}$ to 85°C Undervoltage range V_{DD_UV}
Accuracy pressure low temperature (undervoltage range)	$acc_{p_UV_Tlow}$	-3.0	-	3.0	kPa	$T_a = -40^{\circ}\text{C}$ to 0°C Undervoltage range V_{DD_UV}
Accuracy pressure high temperature (undervoltage range)	$acc_{p_UV_Thigh}$	-3.0	-	3.0	kPa	$T_a = 85^{\circ}\text{C}$ to 105°C Undervoltage range V_{DD_UV}
Output voltage for low level at pin SDO (undervoltage range)	V_{low_out}	-	-	0.4	V	Sink current at pin SDO less than 1.5 mA; Undervoltage range V_{DD_UV}
Output voltage for high level at pin SDO (undervoltage range)	V_{high_out}	$V_{DD_UV} - 0.4$	-	V_{DD_UV}	V	Source current at pin SDO less than 1.5 mA; Undervoltage range V_{DD_UV}

4.1.6 SPI 时序

表 9 SPI 时序

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Clock frequency of SPI interface (push-pull)	$f_{\text{SPI,PP}}$	0.1	–	5	MHz	Valid for SDO push-pull configuration
Clock frequency of SPI interface (open-drain)	$f_{\text{SPI,OD}}$	0.1	–	0.5	MHz	Valid for SDO open-drain configuration. Depends on output load. Max value is valid for load capacitance of 50 pF or less and pull-up resistor of nominal 5 k Ω or less.
Transition speed at SDO (low capacitive load)	$t_{\text{SDO_trans}}$	5	–	30	ns	$V_{\text{DD}} = 5 \text{ V}$ $C_{\text{load}} = 50 \text{ pF}$ Rising edge = 20% - 80% Falling edge = 80% - 20% Only valid for falling edge if $\text{SDO}_{\text{config}}$ set to open-drain
Transition speed at SDO (high capacitive load)	$t_{\text{SDO_trans}}$	5	–	50	ns	$V_{\text{DD}} = 5 \text{ V}$ $C_{\text{load}} = 150 \text{ pF}$ Rising edge = 20% - 80% Falling edge = 80% - 20% Only valid for falling edge if $\text{SDO}_{\text{config}}$ set to open-drain
Clock high time (full-duplex)	$t_{\text{clh,fd}}$	75	–	–	ns	Valid for full-duplex SPI configuration
Clock low time (full-duplex)	$t_{\text{cll,fd}}$	75	–	–	ns	Valid for full-duplex SPI configuration
Clock high time (half-duplex)	$t_{\text{clh,hd}}$	400	–	–	ns	Valid for half-duplex SPI configuration
Clock low time (half-duplex)	$t_{\text{cll,fd}}$	400	–	–	ns	Valid for half-duplex SPI configuration
NCS filter time	t_{fNCS}	10	–	60	ns	Pulses below the NCS filter time will be ignored
Delay between NCS falling edge and SDO active	t_{csdv}	–	–	75	ns	Only valid for full duplex SPI
Delay between CLK rising edge and start SDO data	t_{pclid}	–	–	50	ns	CLK to data at 10% of SDO rising edge $C_{\text{load}} = 120 \text{ pF}$

(表格续下页.....)

表 9 (续) SPI 时序

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Delay between CLK low and start NCS low	t_{sclch}	75	-	-	ns	
Delay between NCS low and rising edge 1st CLK pulse	t_{hclcl}	75	-	-	ns	
Time between start SDI data and falling edge CLK	$t_{scl d}$	15	-	-	ns	
Time between falling edge CLK and end SDI data	$t_{hcl d}$	15	-	-	ns	
Delay between falling edge last CLK pulse and rising edge NCS	t_{sclcl}	100	-	-	ns	
Delay between rising edge NCS and rising edge CLK pulse	t_{hclch}	100	-	-	ns	
Delay between rising edge NCS and end SDO data	$t_{p ch dz}$	-	-	75	ns	
Time between rising edge NCS and falling edge next NCS	$t_{on ncs}$	300	-	-	ns	
Minimum input rise/fall time	t_{SPI_switch}	-	-	2	ns	20% - 80% at SDI, CLK, NCS
Maximum output over-/undershoot	V_{SDO_ovun}	-200	-	200	mV	$V_{DD} = 5 V$ $C_{load} = 150 pF$ Trace inductance < 400 nH
Valid pressure/temperature value after trigger diagnostic command	t_{diag_wait}	-	-	10	ms	
Time between diagnosis command and entering LPM mode	$t_{LPM_diag_wait}$	-	-	2	ms	

4.2 功能描述

4.2.1 传递函数压力

KP46x 的压力校准通过参数 S_p 和 $offs_p$ 进行调整。根据这些参数和传感器输出计算环境压力的公式如下所示：

$$p_{amb} = \frac{(out_p - offs_p)}{S_p} \quad (1)$$

KP46x 器件在交付时已完全校准。传感器在外加压力和数字输出信号之间具有线性传递函数。通过触发 [获取压力命令 8 位](#) 或 [获取压力命令 16 位](#)，器件可提供绝对压力值。

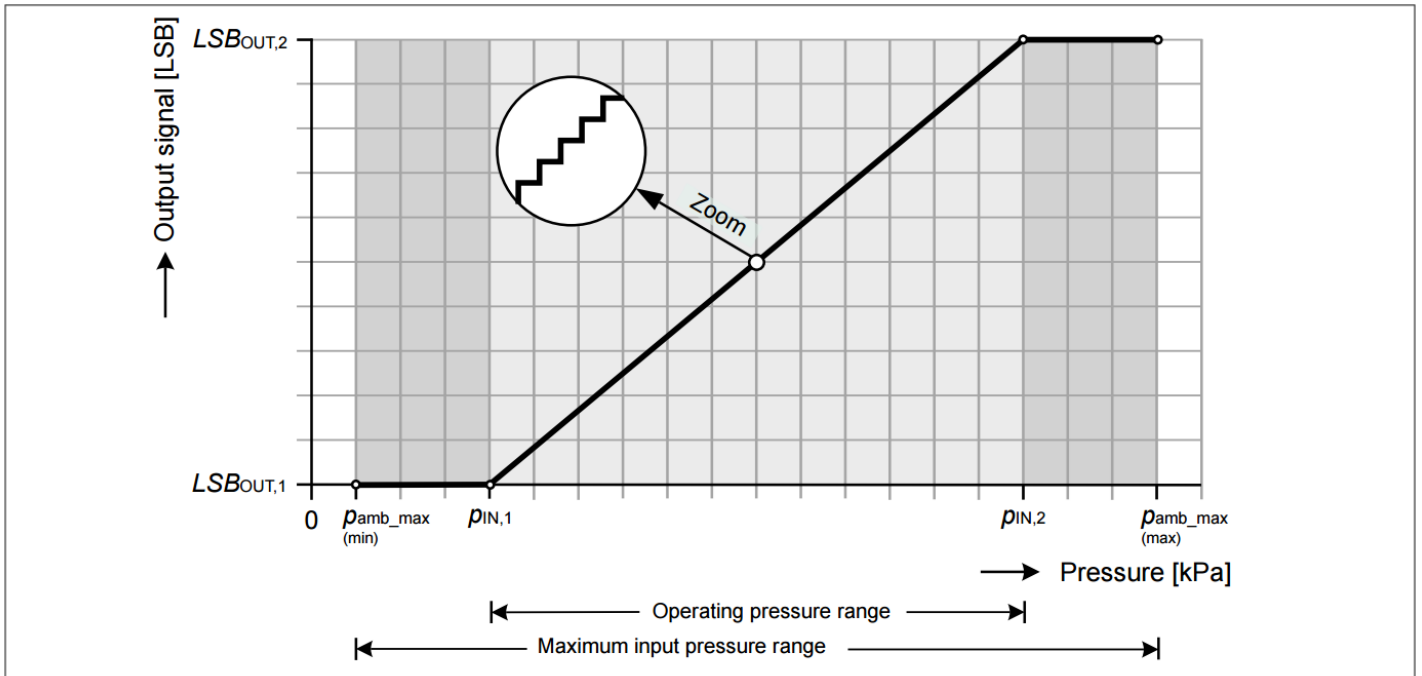


图 3 压力传递函数

表 10 压力传递函数特性 (10 位)

Pressure			Output code		
Symbol	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
$p_{IN,1}$	50	kPa	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
$p_{IN,2}$	140	kPa	$LSB_{OUT,2}$	1023	LSB

表 11 增益和偏移压力传递函数 (10 位)

Gain and Offset		
Symbol	Values (Typ.)	Unit
S_p	11.37	LSB/kPa
$offs_p$	-568	LSB

表 12 压力传递函数特性 (12 位)

Pressure			Output code		
Symbol	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
$p_{IN,1}$	50	kPa	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
$p_{IN,2}$	140	kPa	$LSB_{OUT,2}$	4095	LSB

表 13 增益和偏移压力传递函数 (12 位)

Gain and Offset		
Symbol	Values (Typ.)	Unit
S_p	45.50	LSB/kPa
$offs_p$	-2275	LSB

表 14 压力传递函数特性 (14 位)

Pressure			Output code		
Symbol	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
$p_{IN,1}$	50	kPa	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
$p_{IN,2}$	140	kPa	$LSB_{OUT,2}$	16383	LSB

表 15 增益和偏移压力传递函数 (14 位)

Gain and Offset		
Symbol	Values (Typ.)	Unit
S_p	182.03	LSB/kPa
$offs_p$	-9102	LSB

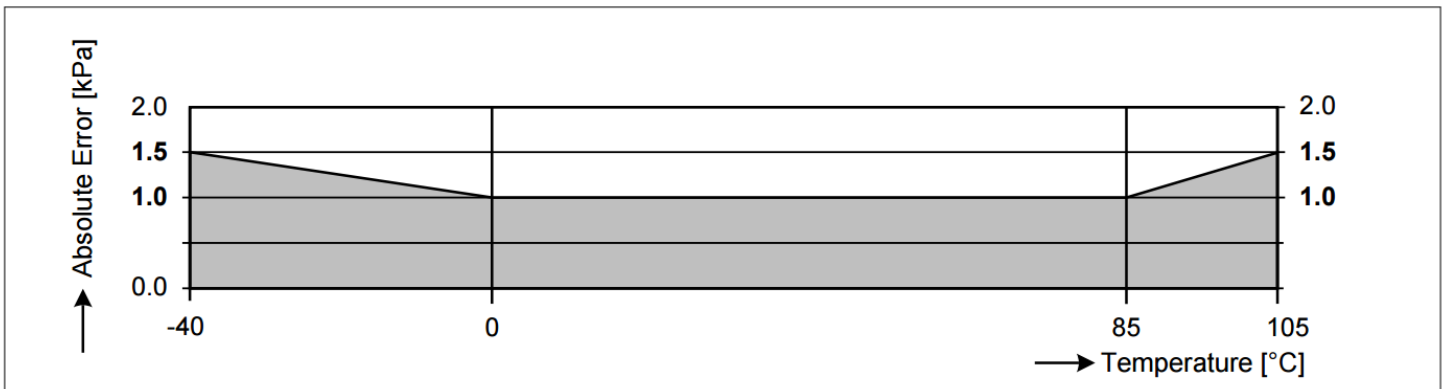


图 4 压力采集精度

4.2.2 传递函数温度

KP46x 温度校准通过参数 S_T 和 $offs_T$ 进行调整。根据这些参数和传感器输出计算环境温度的公式如下所示：

$$T_{amb} = \frac{(out_T - offs_T)}{S_T} \quad (2)$$

4 Product features

KP46x 器件在交付时已完全校准。传感器在应用温度和数字输出信号之间具有线性传递函数。通过触发获取温度命令，器件可提供环境温度值。

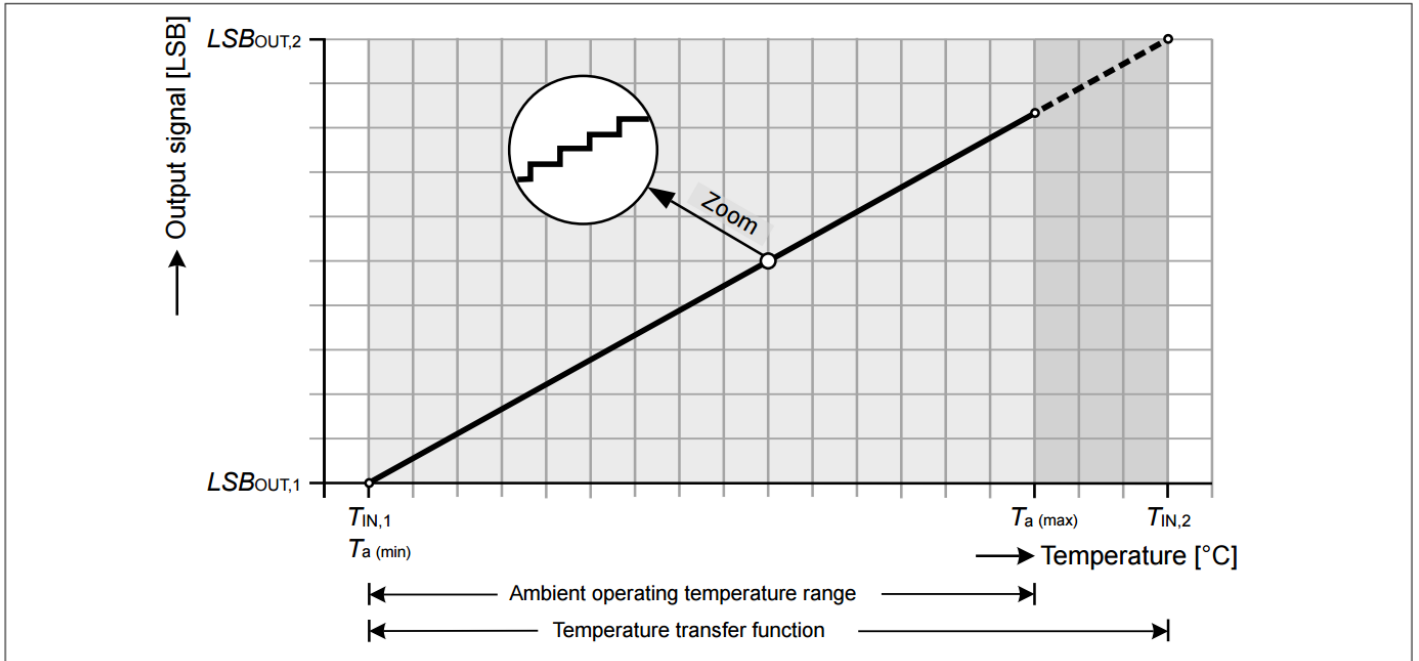


图 5 温度传递函数

表 16 温度传递函数特性 (10 位)

<i>kp25x_{t_compat}</i>	<i>vdd_{range}</i>	V_{DD}		Temperature			Output code		
Bit	Bit	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
0	0	3.3	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	1023	LSB
	1	5.0	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	1023	LSB
1	-	3.3	V	$T_{IN,1}$	-38.5	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	126.5	°C	$LSB_{OUT,2}$	1023	LSB
	-	5.0	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	1023	LSB

表 17 增益和偏移温度传递函数 (10 位)

<i>kp25x_{t_compat}</i>	V_{DD}		Gain and offset		
Bit	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
1	3.3 / 5.0	V	S_T	6.2	LSB/°C
	5.0		$offs_{T_5.0}$	248	LSB
	3.3		$offs_{T_3.3}$	238.7	LSB

(表格续下页.....)

表 17 (续) 增益和偏移温度传递函数 (10 位)

<i>kp25x_{t_compat}</i>	V_{DD}		Gain and offset		
0	3.3 / 5.0	V	S_T	6.2	LSB/°C
			$offs_T$	248	LSB

表 18 温度传递函数特性 (12 位)

<i>kp25x_{t_compat}</i>	<i>vdd_{range}</i>	V_{DD}		Temperature			Output code		
Bit	Bit	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
0	0	3.3	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	4095	LSB
	1	5.0	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	4095	LSB
1	-	3.3	V	$T_{IN,1}$	-38.5	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	126.5	°C	$LSB_{OUT,2}$	4095	LSB
	-	5.0	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	4095	LSB

表 19 增益和偏移温度传递函数 (12 位)

<i>kp25x_{t_compat}</i>	V_{DD}		Gain and offset		
Bit	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
1	3.3 / 5.0	V	S_T	24.82	LSB/°C
	5.0		$offs_{T_{5.0}}$	992.73	LSB
	3.3		$offs_{T_{3.3}}$	955.5	LSB
0	3.3 / 5.0	V	S_T	24.82	LSB/°C
			$offs_T$	992.73	LSB

表 20 温度传递函数特性 (14 位)

<i>kp25x_{t_compat}</i>	<i>vdd_{range}</i>	V_{DD}		Temperature			Output code		
Bit	Bit	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
0	0	3.3	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	16383	LSB
	1	5.0	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	16383	LSB

(表格续下页.....)

表 20 (续) 温度传递函数特性 (14 位)

$kp25x_t_compat$	vdd_range	V_{DD}		Temperature			Output code		
1	-	3.3	V	$T_{IN,1}$	-38.5	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	126.5	°C	$LSB_{OUT,2}$	16383	LSB
	-	5.0	V	$T_{IN,1}$	-40	°C	$LSB_{OUT,1}$	0	LSB
				$T_{IN,2}$	125	°C	$LSB_{OUT,2}$	16383	LSB

表 21 增益和偏移温度传递函数 (14 位)

$kp25x_t_compat$	V_{DD}		Gain and offset		
Bit	Values (Typ.)	Unit	Symbol	Values (Typ.)	Unit
1	3.3 / 5.0	V	S_T	99.29	LSB/°C
	5.0		$offs_{T_5.0}$	3971.64	LSB
	3.3		$offs_{T_3.3}$	3822.7	LSB
0	3.3 / 5.0	V	S_T	99.29	LSB/°C
			$offs_T$	3971.64	LSB

注释: $T_{IN,1}/LSB_{OUT,1}$ 和 $T_{IN,2}/LSB_{OUT,2}$ 点定义的是校准传递函数, 而不是工作范围。工作温度范围由参数工作温度 T_a 定义。

4.2.3 掉电模式

KP46x 具有一种特殊的省电特性, 称为掉电模式。传感器将进入掉电状态, 功耗将大幅降低。有关掉电模式下的电流消耗, 请参阅参数 I_{VDD_PD} 。

4.2.3.1 进入掉电模式

当通过 SPI 接口接收到触发掉电模式命令时, 器件进入掉电模式。

4.2.3.2 退出掉电模式

要从掉电模式唤醒传感器, NCS 引脚必须在 CLK 引脚上升沿期间为低电平。

注释: 如果传感器处于掉电状态, 则下一条命令将触发唤醒过程 (NCS 必须为低电平, 同时 CLK 边沿上升)。

根据 wup_{diag_en} 的配置, 用户需要在发送第一条 SPI 命令 (如 [获取压力命令](#)) 之前, 等待 $t_{PD_start-up_wd_max}$ 或 $t_{PD_start-up_wod_max}$, 允许传感器在从断电模式唤醒后重新供电。

注释: 如果 NCS 和 CLK 唤醒序列中包含一条命令, 则必须忽略第一条命令期间传感器的响应。下一条 SPI 命令将返回第一条命令的响应。

4.2.4 低功耗监控模式

KP46x 实现了灵活而特殊的低功耗压力测量，称为低功耗监控（LPM）模式。它可用于停车时的电池热失控检测，功耗低。LPM 模式允许传感器在微控制器也处于掉电状态（睡眠模式）时，以较低的功耗继续进行压力测量。如果差分压力达到阈值时，将通过 WU_{OUT} 引脚发送唤醒信号，以唤醒微控制器并做出相应反应。为了进一步提高热失控检测的可靠性，可以配置具有两个差分压力阈值的 LPM 变体。WU_{OUT} 引脚上的唤醒脉冲也会在每次上电、掉电/唤醒后以及 LPM 期间检测到诊断错误时触发，以避免当前运行模式的模糊性，并降低错误或无唤醒信号的概率。

4.2.4.1 低功耗监控（单个阈值）

下文将详细介绍带有一个差分压力阈值的低功耗监控的功能和相关参数：

LPM 序列（一个阈值）：

- 压力读数为一次可调重复 $t_{l_read_repo}$
- Δp 是当前测量的环境压力值 p_{amb} 与先前存储的压力值 $p_{register}$ （例如 $p_4 - p_3$ 或 $p_7 - p_6$ ，参见“低功耗监控单个阈值时序图，表示为梯度值）之间的差值。
- 如果 Δp 超过定义和配置的阈值 $\Delta p_{l_threshold}$ ：
 - 将传感器的唤醒引脚设置为高电平状态（参见 V_{high_wake} ），持续时间可调整为 t_{wp_pulse} ，且传感器正在退出 LPM 模式。
 - LPM 状态寄存器（参见 LPM 状态寄存器的响应结构）通过 SPI 接口传输，作为对下一条接收到的命令的响应。

其他信息：

- 在第一个唤醒信号发出后的 t_{PD_pread} 期间，器件测量并存储第一个环境压力值（例如 p_0 ），用于内部 Δp 计算。

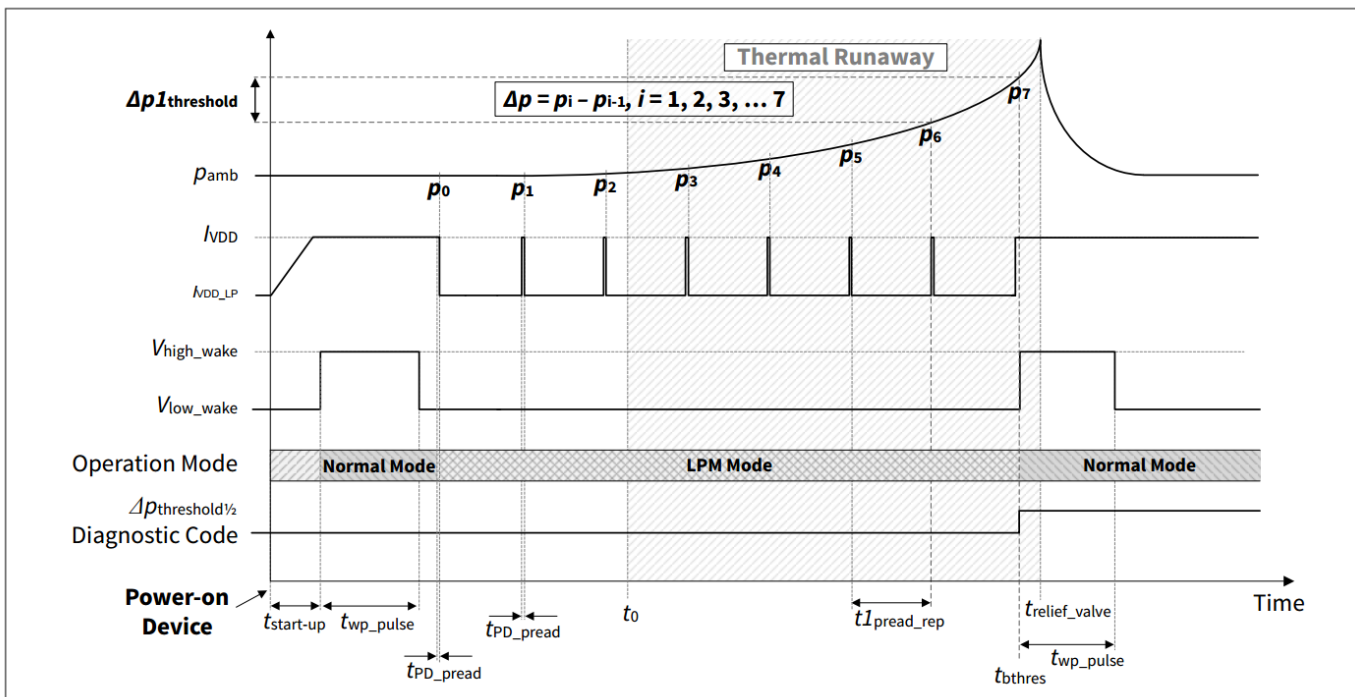


图 6 低功耗监控单个阈值时序图

4.2.4.2 低功耗监控（两个阈值）

下文将详细介绍带有两个差分压力阈值的低功耗监控的功能和相关参数：

LPM 序列（两个阶段和两个阈值）：

- 压力读数有两个可调节的重复次数。一次用于第一阶段（参见 $t_{1\text{pread_rep}}$ ），另一次用于第二阶段（参见 $t_{2\text{pread_rep}}$ ）。
- 第一阶段的 Δp_1 值是当前测量的环境压力值 p_{amb} 与先前存储的压力值 p_{register} （例如 $p_3 - p_2$ ，参见低功耗监控两个阈值时序图，表示为梯度值）之间的差值。
- 如果 Δp_1 超过定义和配置的第一阈值 $\Delta p_{1\text{threshold}}$ ，传感器直接进入第二阶段。
- 第二阶段的 Δp_2 值是当前测量的环境压力值 p_{amb} 与第二阶段第一个存储的环境压力值 p_{register} （例如 $p_{16} - p_3$ ，参见低功耗监控两个阈值时序图，表示为相对阈值）之间的差值。
- 在第二阶段，如果 Δp_2 超过第二个可配置阈值 $\Delta p_{2\text{threshold}}$ ：
 - 传感器的唤醒引脚被设置为高电平状态（参见 $V_{\text{high_wake}}$ ），持续时间可调（参见 $t_{\text{wp_pulse}}$ ），且传感器正在退出 LPM 模式，以及
 - LPM 状态寄存器（参见 LPM 状态寄存器的响应结构）通过 SPI 接口传输，作为下一条接收到的命令的响应。
- 如果 Δp_2 在第二阶段没有超过第二个可配置的阈值 $\Delta p_{2\text{threshold}}$ ，传感器会在读数数量可调后自动切换回第一阶段（参见 $t_{2\text{pread}}$ ）。

其他信息：

- 如果器件在第一阶段测量到 $\Delta p_1 > (\Delta p_{1\text{threshold}} + \Delta p_{2\text{threshold}})$ ，传感器的唤醒引脚将被设置为高电平状态（参见 $V_{\text{high_wake}}$ ），持续时间可调（参见 $t_{\text{wp_pulse}}$ ），传感器将退出 LPM 模式，而不进入第二阶段。
- 在第一个唤醒信号发出后的 $t_{\text{PD_pread}}$ 期间，器件测量并存储第一个环境压力值（例如 p_0 ），用于内部 Δp 计算。

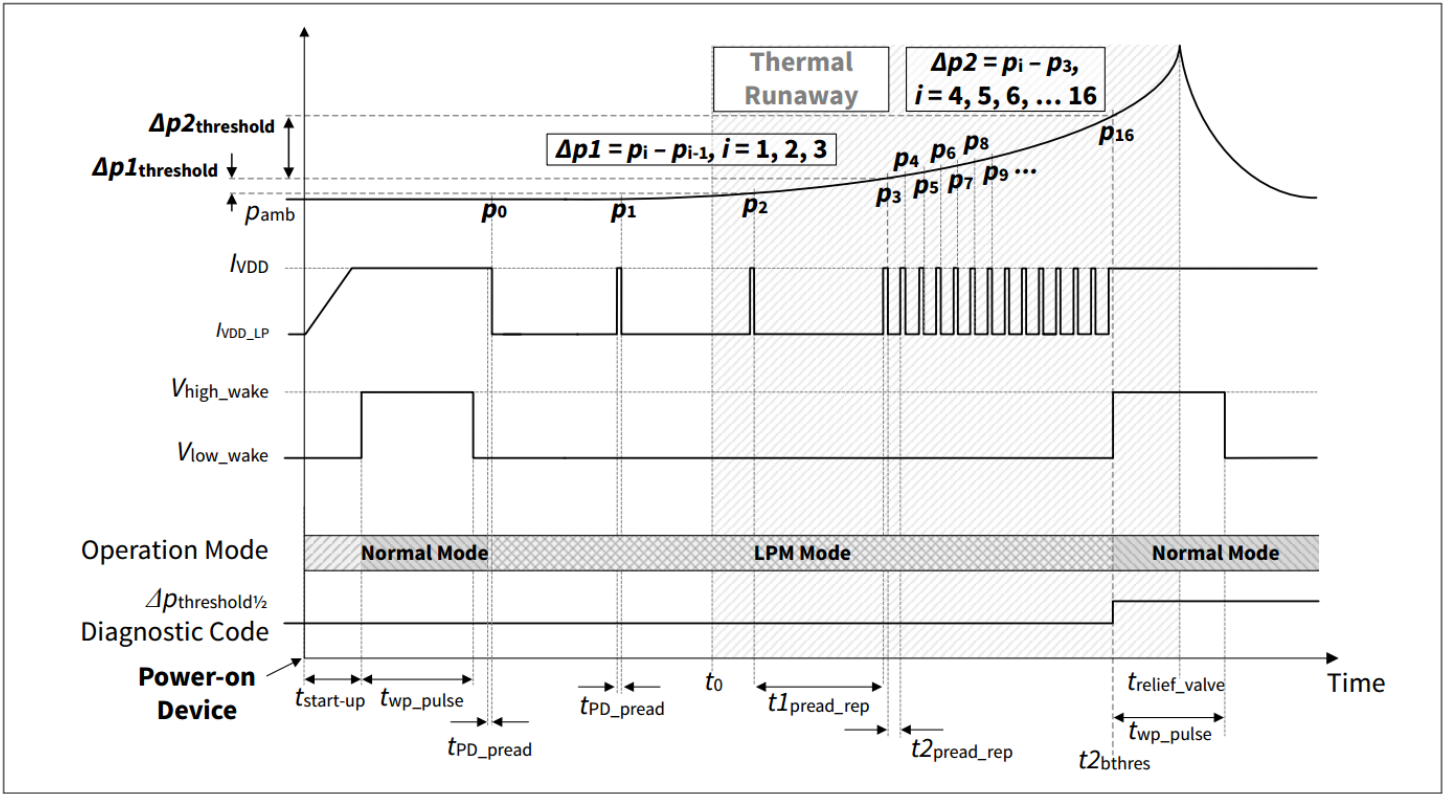


图 7 带失控时序图的低功耗监控两个阈值

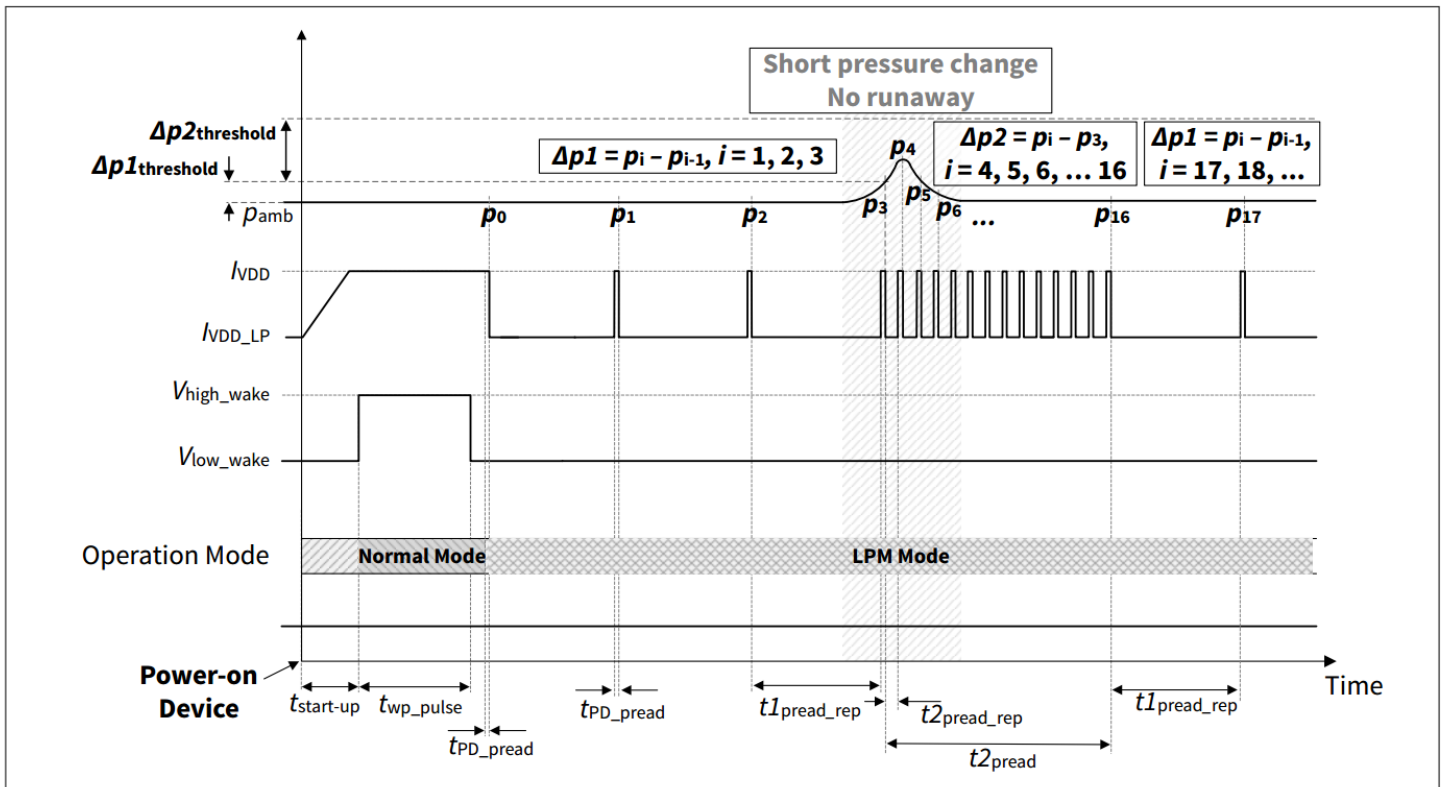


图 8 不带失控时序图的低功耗监控两个阈值

4.2.4.3 间隔计时器

在 LPM 模式下，器件以 $acc_{t_PD_pread}$ 的重复精度定期唤醒。通过更改参数 $t_{1_pread_rep}$ 或 $t_{2_pread_rep}$ ，可调整第 1 和第 2 阶段计时器的重复次数。

4.2.4.4 唤醒事件

唤醒事件（唤醒引脚置为高电平）的目的是：在达到配置的差分压力阈值（ $\Delta p_{1_threshold}$ 或 $\Delta p_{2_threshold}$ ）、自检检测到错误、器件上电或从掉电模式唤醒时，唤醒外部器件（例如微控制器）。唤醒引脚的高电平持续时间可通过修改参数 t_{wp_pulse} 进行调节。

4.2.4.5 进入低功耗监控模式

在通过 SPI 命令执行 LPM 模式之前，**必须**遵循以下三个步骤之一：

序列 A: VDD 完全关闭/开启复位

1. 通过将 VDD 电压降低至“欠压复位/释放电平”中定义的值以下，执行欠压复位。
2. VDD 引脚的电压低于欠压复位/释放电平后，至少等待 1 ms。
3. 根据指定的电源电平重新加入 VDD 以重启器件。
4. 等待 $t_{start-up_wd}$ 或 $t_{start-up_wod}$ （取决于器件配置）。
5. 然后可通过指定的 SPI 命令“触发低功耗监控命令”启动 LPM 模式。

序列 B: 掉电/唤醒周期

1. 发送断电模式 SPI 命令。
2. 至少等待 1 ms。
3. 使用 SPI 命令（任何 SPI 命令）唤醒器件。
4. 等待 $t_{start-up_wd}$ 或 $t_{start-up_wod}$ （取决于器件配置）。
5. 然后可通过指定的 SPI 命令“触发低功耗监控命令”启动 LPM 模式。

序列 C: SPI 诊断命令

1. 发送诊断 SPI 命令。
2. 发送 LPM SPI 命令。命令发送时间不得晚于 $t_{LPM_diag_wait_max}$ （从诊断 SPI 命令结束到 LPM SPI 命令结束）。

4.2.4.6 退出低功耗监控模式

如果 SPI 主控器在 CLK 信号上升沿期间将 NCS 保持为低电平，则器件会从 LPM 模式过渡到正常模式。

注释：当主控触发从 LPM 过渡到正常模式时，器件也会将唤醒引脚设置为高电平。

注释： 如果传感器处于低功耗监控（LPM）模式，则下一条命令将触发唤醒过程（NCS 必须为低电平同时 CLK 边沿上升）。

根据 $power_up_diag_en$ 的配置，用户在发送第一条 SPI 命令（如获取压力命令）之前，需要等待 $t_{start-up_wd_max}$ 或 $t_{start-up_wod_max}$ ，以允许传感器在从 LPM 模式唤醒后重新供电。

注释： 如果命令是 NCS 和 CLK 唤醒序列的一部分，则必须忽略第一条命令期间传感器的响应。在下一条 SPI 命令中，器件的响应将是 LPM 状态寄存器。

4.2.4.7 差分压力精度

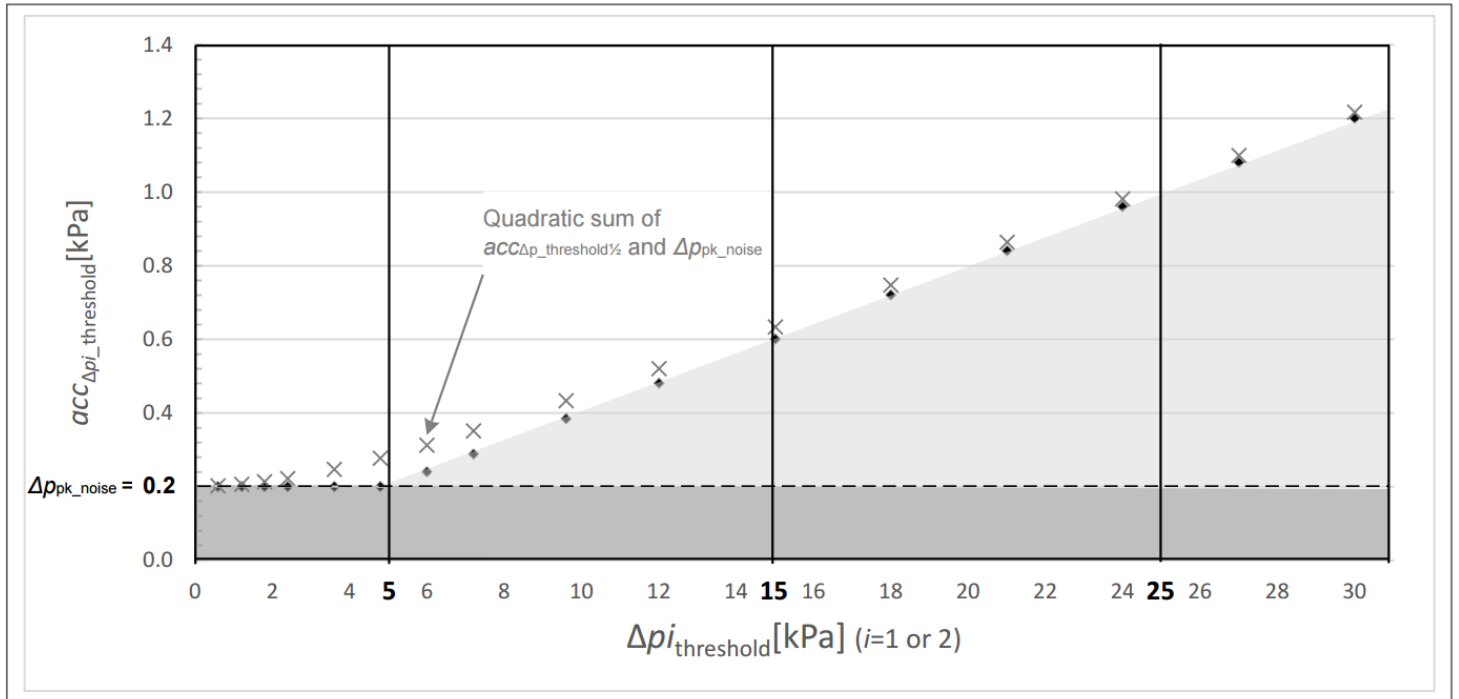


图 9 差分压力阈值采集的精度

注释: 这里的 Δp_{pk_noise} 是按99.99%置信度计算的峰值噪声： $\Delta p_{pk_noise} = 4 * \Delta p_{noise_RMS}$ 。
 $\Delta p_{i_threshold}$ 和 Δp_{pk_noise} 的限值是不相关的，其值按四次方相加。

注释: 该图说明了LPM模式下差分压力阈值的准确性，其中每个图都对应于低功耗监测配置参数中所列的阈值（ $\Delta p1_{threshold}$ 或 $\Delta p2_{threshold}$ ），这些值存储在EEPROM中。该图也适用于正常模式下的操作，条件是形成相关差分压力值的（连续）压力测量值的时间间隔为 ≤ 5 秒，且测量值之间的差分压力差不超过50 kPa。

4.2.4.8 计算LPM模式下的总电流消耗量

可以使用下面的公式，根据配置的LPM参数计算LPM模式下器件的总体平均电流消耗：

$$I_{total_i} = \frac{t_{PD_pread}}{t_{iPD_pread_rep} + t_{PD_pread}} \times I_{VDD} + \frac{t_{iPD_pread_rep}}{t_{iPD_pread_rep} + t_{PD_pread}} \times I_{VDD_LP} \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

表 22 LPM模式期间总平均电流消耗的变量

Variable	Description	Unit
$t1_{pread_rep}$	Phase 1 repetition of pressure reading	ms
$t2_{pread_rep}$	Phase 2 repetition of pressure reading	ms
t_{PD_pread}	Duration of pressure reading during low power monitoring mode	ms

(表格续下页.....)

表 22 (续) LPM 模式期间总平均电流消耗的变量

Variable	Description	Unit
I_{VDD}	Supply current into VDD	mA
I_{VDD_LP}	Supply current into VDD during low power monitoring mode (quiescent current)	mA
I_{total}	Average current consumption	mA

4.2.4.9 低功耗监控配置参数

低功耗监控的下列参数可由用户配置：

表 23 低功耗监控配置参数

Configuration parameter	Symbol	Nominal range	Unit	Steps	Default	Note
Low Power Monitoring Variant	$LPM_{variant}$	0 or 1	bit	-	1	<ul style="list-style-type: none"> Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: • 0: LPM with one threshold • 1: LPM with two thresholds
Phase 1 ambient pressure change threshold	$\Delta p1_{threshold}$	0.6 to 6.0	kPa	0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.6, 4.8, 6.0	2.4	<ul style="list-style-type: none"> • Can be chosen from predefined values • Programming in EEPROM user page
Phase 2 ambient pressure change threshold	$\Delta p2_{threshold}$	0.6 to 30.0	kPa	0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.6, 4.8, 7.2, 9.6, 12.0, 15.0, 18.0, 21.0, 24.0, 27.0, 30.0	12.0	<ul style="list-style-type: none"> • Can be chosen from predefined values • Programming in EEPROM user page
Phase 1 repetition of pressure reading	$t1_{pread_rep}$	10 to 5000	ms	10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 150, 300, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000	10	<ul style="list-style-type: none"> • Can be chosen from predefined values. • Programming in EEPROM user page • Timing accuracy $ACC_{t_PD_pread}$ applies
Phase 2 repetition of pressure reading	$t2_{pread_rep}$	10 to 500	ms	10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500	50	<ul style="list-style-type: none"> • Can be chosen from predefined values • Programming in EEPROM user page • Timing accuracy $ACC_{t_PD_pread}$ applies

(表格续下页.....)

表 23 (续) 低功耗监控配置参数

Configuration parameter	Symbol	Nominal range	Unit	Steps	Default	Note
Phase 2 maximum duration	t_{2_pread}	2 to 1000	Reading pulses	2, 4, 8, 10, 15, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000	100	<ul style="list-style-type: none"> Can be chosen from predefined values Programming in EEPROM user page
Wake-up high state duration	t_{wp_pulse}	10 to always high	ms	10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, latched	300	<ul style="list-style-type: none"> Can be chosen from predefined values Programming in EEPROM user page Timing accuracy $acc_{t_PD_pread}$ applies The setting "latched" means: high until next valid SPI command

4.2.5 串行接口

通过编程 SPI_{type} 配置参数，可将器件接口配置为全双工 4 引脚 SPI 或半双工 3 引脚 SPI。

用于全双工通信和数据传输的 SPI 时序和相关时序参数如下所示：

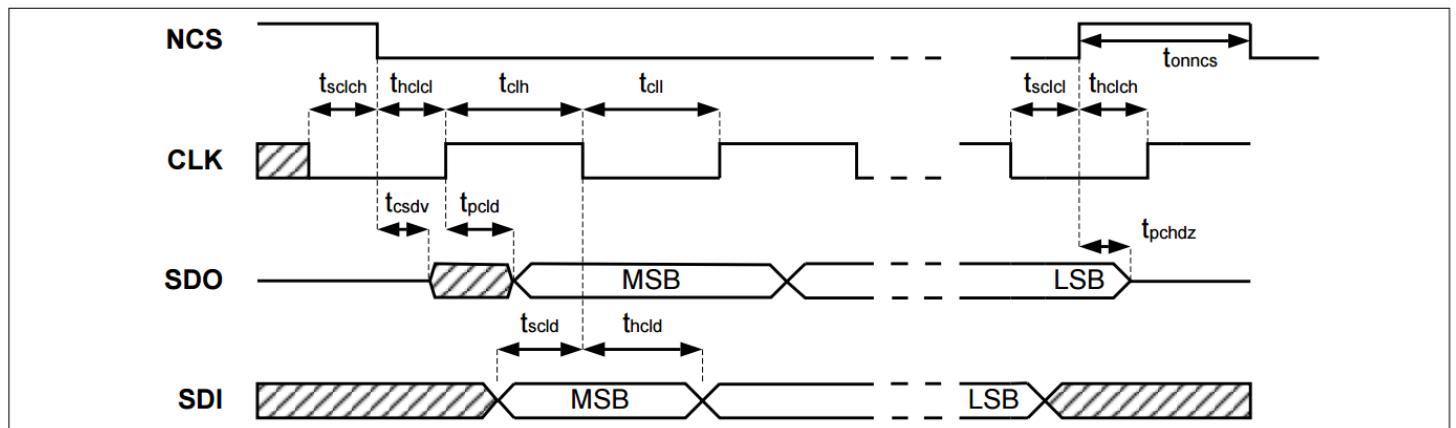


图 10 SPI 时序 (4 引脚全双工) , CPOL = 0 设置

半双工通信和数据传输的 SPI 时序和相关时序参数如下所示：

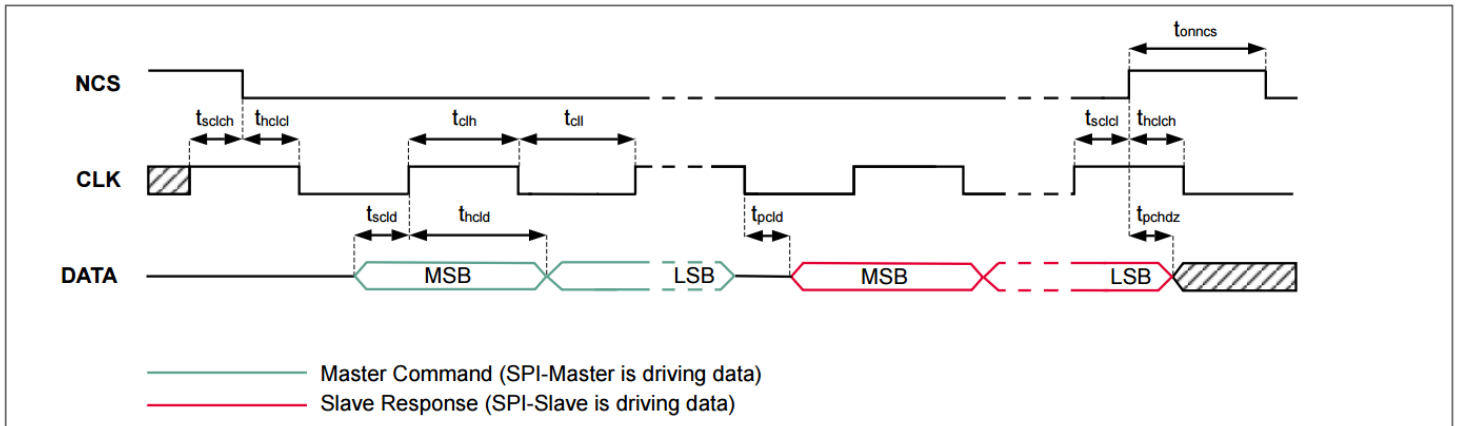


图 11 SPI 时序 (3 引脚半双工) , CPOL = 1 设置

当 NCS 为高电平时, SDO 处于高阻抗状态 (无法进行 SPI 通信)。

如果 CLK 周期数与配置的 SPI 物理层不符, 下一个 SPI 应答就会发出通信错误的信号。

如果 NCS 为低电平时没有 CLK 边沿, 则认为传输有效。对于全双工, 在下一次传输时将发送上次正确接收到的命令的答案。

器件可根据要求发送唯一的 ID 号。该可追溯性标识确保 KP46x 系列的所有编号都是唯一的。

4.2.5.1 EEPROM 可编程

用户可通过 SPI 接口对 EEPROM 的以下部分进行编程:

- 标识符响应 (spi_id: 第 0-7 位)
- SPI 接口配置:
 - *kp25x_res_compat*
 - *vdd_range*
 - *kp25x_t_compat*
 - *SDO_config*
 - *SPI_type*
 - *CLK_polarity*
 - *SPI_layer*
- 启动自诊断:
 - *wup_diag_en*
 - *power_up_diag_en*
- 低功耗监控 (LPM) 功能的参数:
 - *Δp1_threshold*
 - *Δp2_threshold*
 - *t1_pread_rep*
 - *t2_pread_rep*
 - *t_wp_pulse*
 - *t2_pread*
 - *LPM_variant*

4.2.5.2 命令

定义了以下命令

- 获取标识符

4 Product features

- 获取压力（包括诊断压力超出范围、EEPROM 检查和最后更新的 Diag1 & Diag2)¹⁾
- 获取温度（包括诊断压力超出范围、EEPROM 检查和最后更新的 Diag1 & Diag2)¹⁾
- 触发掉电模式（激活掉电状态）
- 触发诊断（触发器 Diag1、Diag2）
- 触发编程模式（只有当引脚 V_{PROG} 上出现高电平 (>10V) 时才会进入编程模式)²⁾

LPM 专用命令：

- 获取 LPM 状态寄存器
- 获取绝对压力值（迭代 N）
- 获取绝对压力值（迭代 N-1）
- 获取绝对压力值（迭代 N-2）
- 获取第 2 阶段压力读数迭代次数
- 获取 LPM 存储 EDC 检查
- 触发低功耗监控模式（激活低功耗监控状态）

¹⁾ 仅当此前任意时间已发送**触发诊断命令**，且诊断复位未激活（复位位 C12 = '1'）的情况下，才能获得最后更新的诊断信息。

²⁾ 高压编程要求详见《用户手册》"电气特性"一章。

注释： 完整的5位诊断信息只能在10位SPI响应帧中提供。LPM 专用诊断信息需要通过专用SPI命令单独获取。

4.2.5.3 命令行为

当收到一条命令(N)且前一条命令(N-1)的处理尚未结束时，最后一条命令(N)不会中断处理。

诊断命令触发 Diag1 和 Diag2 测量；在执行自诊断期间，压力和温度值（包括超出量程的信息）不会更新。

传感器在上电或复位后的第一个应答是独立于命令的标识符应答（请参阅**标识符的响应结构**）。

在全双工配置中，SPI 帧 N 中发送的命令的应答将在下一个 SPI 帧（N+1）中发送。

在半双工配置中，从站应答直接（ t_{pclk_max} ）跟随主站在同一 NCS 周期内发送的命令。

4.2.5.4 响应结构

以下结构为 10 位 SPI 的响应定义：

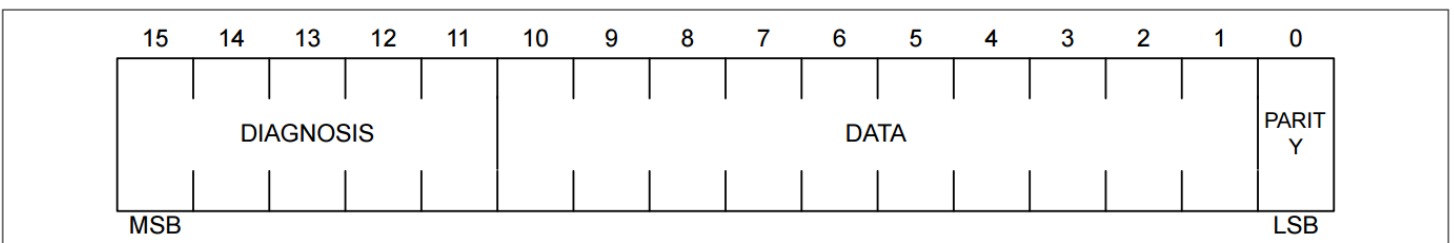


图 12 SPI 响应结构（10 位）

该响应结构适用于获取压力命令（10 位）、获取温度命令（10 位）和触发诊断命令（10 位）。

以下结构为 12 位 SPI 的响应定义：

4 Product features

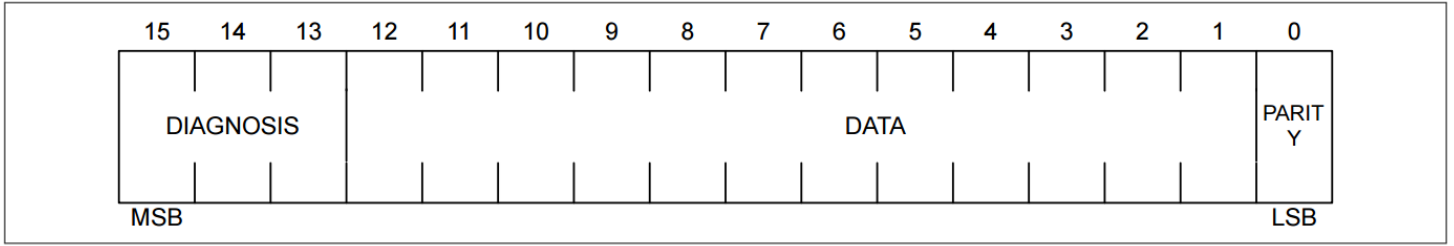


图 13 SPI 响应结构（12 位）

该响应结构适用于获取压力命令（12 位）、获取温度命令（12 位）和触发诊断命令（12 位）。

以下结构为 14 位 SPI 的响应定义：

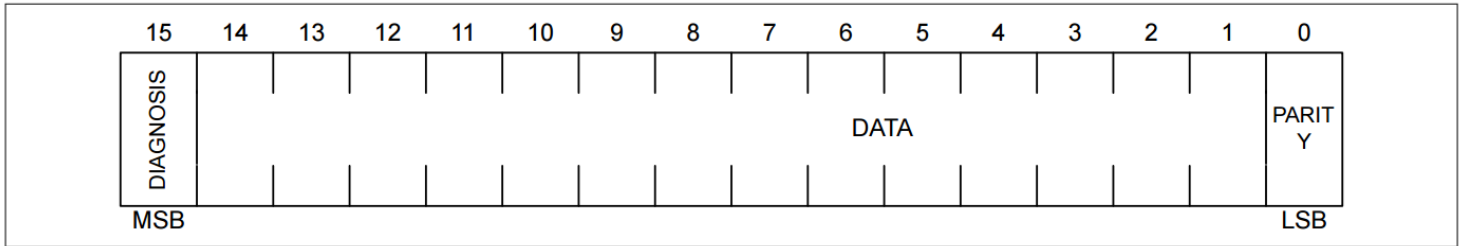


图 14 SPI 响应结构（14 位）

该响应结构适用于获取压力命令（14 位）、获取温度命令（14 位）和触发诊断命令（14 位）。

以下结构为标识符的 SPI 响应定义：

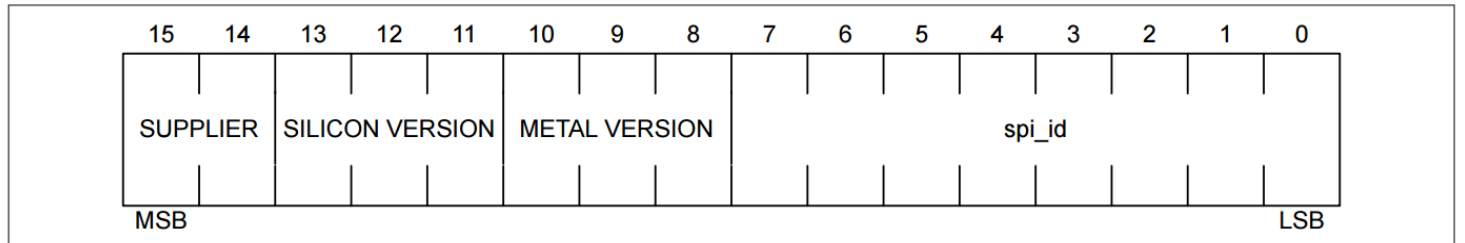


图 15 标识符的 SPI 响应结构

以下结构为 LPM 状态寄存器的 SPI 响应定义：

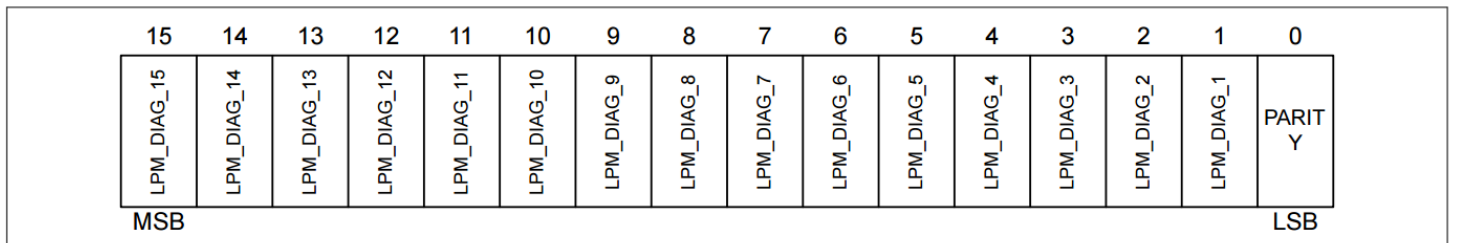


图 16 LPM 状态寄存器的 SPI 响应结构

表 24 LPM 状态寄存器说明

Bit	Name	Description
15	LPM_DIAG_15	Δp exceeded configured threshold $\Delta p_{1\text{threshold}}$ in phase 1

(表格续下页.....)

4 Product features

表 24 (续) LPM 状态寄存器说明

Bit	Name	Description
14	LPM_DIAG_14	Δp exceeded configured threshold $\Delta p_{2\text{threshold}}$ in phase 2 OR Δp exceeded configured threshold $\Delta p_{1\text{threshold}} + \Delta p_{2\text{threshold}}$ in phase 1
13	LPM_DIAG_13	Uncorrectable error in LPM storage
12	LPM_DIAG_12	EEPROM unprogrammed
11	LPM_DIAG_11	Uncorrectable error in EEPROM
10	LPM_DIAG_10	Error detected in EEPROM controller data page
9	LPM_DIAG_9	Overvoltage detected
8	LPM_DIAG_8	Pressure too high error
7	LPM_DIAG_7	Pressure too low error
6	LPM_DIAG_6	Diag1 error
5	LPM_DIAG_5	Diag2 error
4	LPM_DIAG_4	TJDiag error
3	LPM_DIAG_3	Full power-on reset
2	LPM_DIAG_2	Wake-up via NCS + SCLK
1	LPM_DIAG_1	Error of the LPM counter built-in self-test
0	Parity	Parity bit

以下结构为 LPM 诊断的 SPI 响应定义：

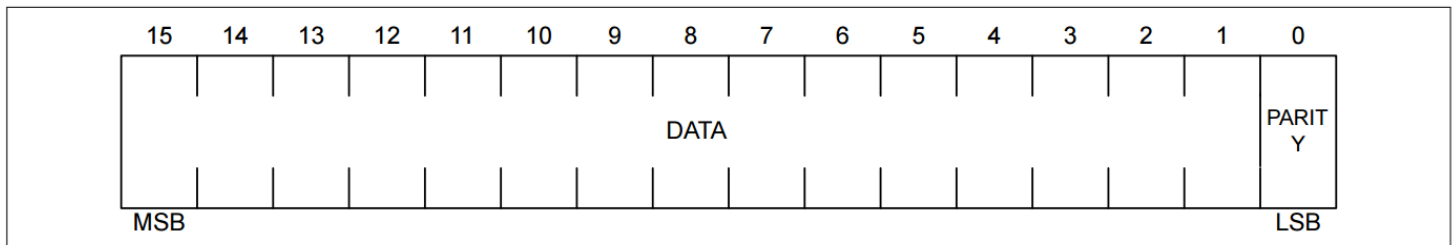


图 17 用于 LPM 诊断的 SPI 响应结构

4.2.5.5 奇偶校验

以下 SPI 响应包括奇偶校验 (LSB, [0]) :

- 获取压力
- 获取 LPM 状态寄存器
- 获取绝对压力值 (迭代 N)
- 获取绝对压力值 (迭代 N-1)
- 获取绝对压力值 (迭代 N-2)
- 获取第 2 阶段压力读数迭代次数
- 获取 LPM 存储 EDC 检查
- 获取温度
- 触发诊断
- 通讯错误

16 位响应中数值为一的位数为奇数 (包括奇偶校验位)。

4.2.5.6 命令定义 (16 位)

SPI 命令的结构如下:

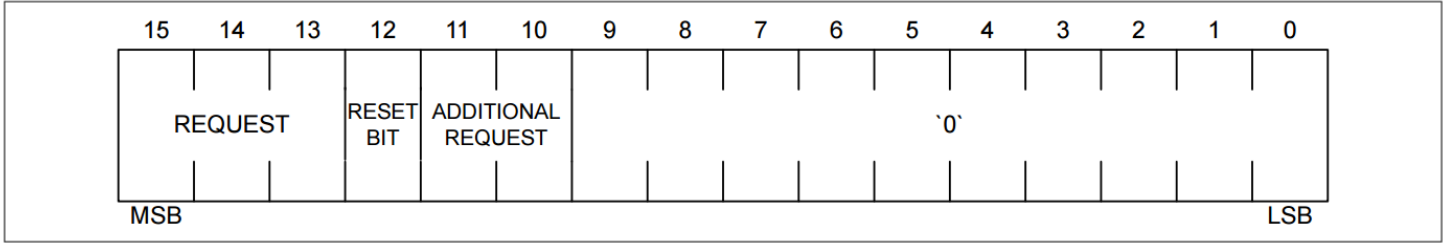


图 18 SPI 命令结构

以下结构为 LPM 诊断的 SPI 命令定义:

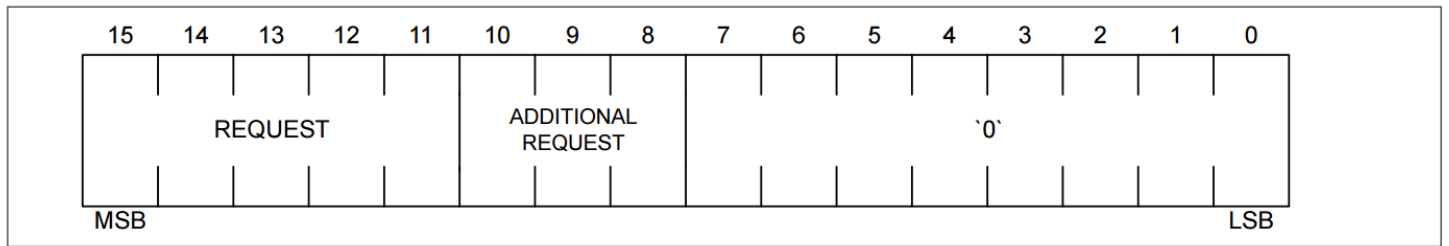


图 19 用于 LPM 诊断的 SPI 命令结构

如果配置参数 SPI_{layer} 配置为 32 个时钟周期，器件将接受下列 16 位命令:

表 25 16 位 SPI 命令

Command	Bit 15... Bit 0
Acquire pressure command (10-bit) for $kp25x_{res_compat} = 0$	001X000000000000
Acquire pressure command (10-bit) for $kp25x_{res_compat} = 1^*$	001X010000000000
Acquire pressure command (12-bit) for $kp25x_{res_compat} = 0$	001X010000000000
Acquire pressure command (12-bit) for $kp25x_{res_compat} = 1^*$	001X000000000000
Acquire pressure command (14-bit)	001X100000000000
Acquire temperature command (10-bit) for $kp25x_{res_compat} = 0$	010X000000000000
Acquire temperature command (10-bit) for $kp25x_{res_compat} = 1^*$	010X010000000000
Acquire temperature command (12-bit) for $kp25x_{res_compat} = 0$	010X010000000000
Acquire temperature command (12-bit) for $kp25x_{res_compat} = 1^*$	010X000000000000
Acquire temperature command (14-bit)	010X100000000000
Acquire LPM status register	1010100100000000
Acquire absolute pressure value (iteration N)	1010101000000000

(表格续下页.....)

表 25 (续) **16 位 SPI 命令**

Command	Bit 15... Bit 0
Acquire absolute pressure value (iteration N-1)	1010101100000000
Acquire absolute pressure value (iteration N-2)	1010110000000000
Acquire number of pressure reading iterations in phase 2	1010110100000000
Acquire LPM storage EDC check	1010111000000000
Trigger diagnosis command (10-bit) for $kp25x_{res_compat} = 0$	100X000000000000
Trigger diagnosis command (10-bit) for $kp25x_{res_compat} = 1^*$	100X010000000000
Trigger diagnosis command (12-bit) for $kp25x_{res_compat} = 0$	100X010000000000
Trigger diagnosis command (12-bit) for $kp25x_{res_compat} = 1^*$	100X000000000000
Trigger diagnosis command (14-bit)	100X100000000000
Trigger power-down mode command	1010000000000000
Trigger low power monitoring command	1010100000000000
Acquire identifier command	111X000000000000
Trigger programming mode command	0000110000000000

:标有""的命令仅适用于全双工通信。在半双工模式下, $kp25x_{res_compat}$ 设置被忽略, "0" 设置的命令始终有效。

注释: 在触发诊断命令之后, 用户必须等待 $t_{diag_wait_max}$, 才能获取有效的压力或温度值。

注释: 复位位(C12) 决定如何处理诊断复位 (另请参阅第 4.2.6.2 章)。

4.2.5.7 命令定义 (8 位)

如果配置参数 SPI_{type} 编程为半双工 3 引脚 SPI, 配置参数 SPI_{layer} 编程为 24 个时钟周期, 器件将接受下列 8 位命令:

表 26 **8 位 SPI 命令**

Command	Bit 7 ... Bit 0
Acquire pressure command (10-bit)	001X0000
Acquire pressure command (12-bit)	001X0100
Acquire pressure command (14-bit)	001X1000
Acquire temperature command (10-bit)	010X0000
Acquire temperature command (12-bit)	010X0100
Acquire temperature command (14-bit)	010X1000
Trigger diagnosis command (10-bit)	100X0000

(表格续下页.....)

表 26 (续) 8 位 SPI 命令

Command	Bit 7 ... Bit 0
Trigger diagnosis command (12-bit)	100X0100
Trigger diagnosis command (14-bit)	100X1000
Trigger power-down mode command	10100000
Trigger low power monitoring command	10101000
Acquire identifier command	111X0000
Trigger programming mode command	00001100
Acquire LPM status register	10101001
Acquire absolute pressure value (iteration N)	10101010
Acquire absolute pressure value (iteration N-1)	10101011
Acquire absolute pressure value (iteration N-2)	10101100
Acquire number of pressure reading iterations in phase 2	10101101
Acquire LPM storage EDC check	10101110

注释: 复位位(C4) 决定如何处理诊断复位 (另见第 4.2.6.2 章)。

当接口配置为三线 SPI (半双工) 时, 如果器件接收到有效的"触发编程模式" 命令, 则会进入编程模式, 并在随后的 SPI 帧中切换到带有 16 位命令的半双工 SPI。

注释: 无论 SPI 物理层 (SPI_{layer}) 配置如何, 编程接口始终使用 16 位命令。

4.2.5.8 通讯错误

正常运行时, 只有指定的命令有效。这些命令的任何异常情况 (例如未使用的命令、未使用位的其他值、时钟周期数与配置的物理层不符) 都会导致通信错误。检测到通信错误时的响应如下。

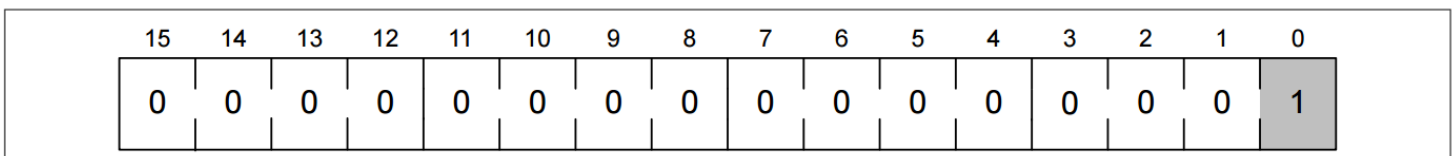


图 20 通信错误后的响应

此外, 如果检测到通信错误, 器件会将唤醒引脚设置为高电平状态 (参见 V_{high_wake})。

如果发生通信错误, 器件会发送错误响应, 并在发送响应后清除错误状态。

当接口配置为 3 引脚半双工时, 如果出现以下两种错误中的一种 (或两种), 器件将发送错误响应:

- 当前帧中的错误命令
- 上一帧时间不对

4.2.5.9 标识符响应定义

"获取标识符命令"的响应是每个派生值的定义值，如下所述。当**KP467Q**传感器在带有多个不同部件的总线系统中运行时，可通过该响应识别传感器。

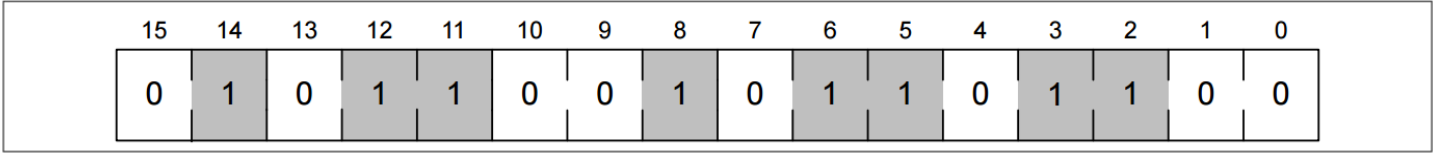


图 21 标识符响应定义

4.2.5.10 单器件操作

下图举例说明了如何将单个器件连接到微控制器。NCS 被拉至低电平后，请求命令将在接下来的 16 个 CLK 周期内发送至传感器。同时返回传感器对上一条请求命令的响应。

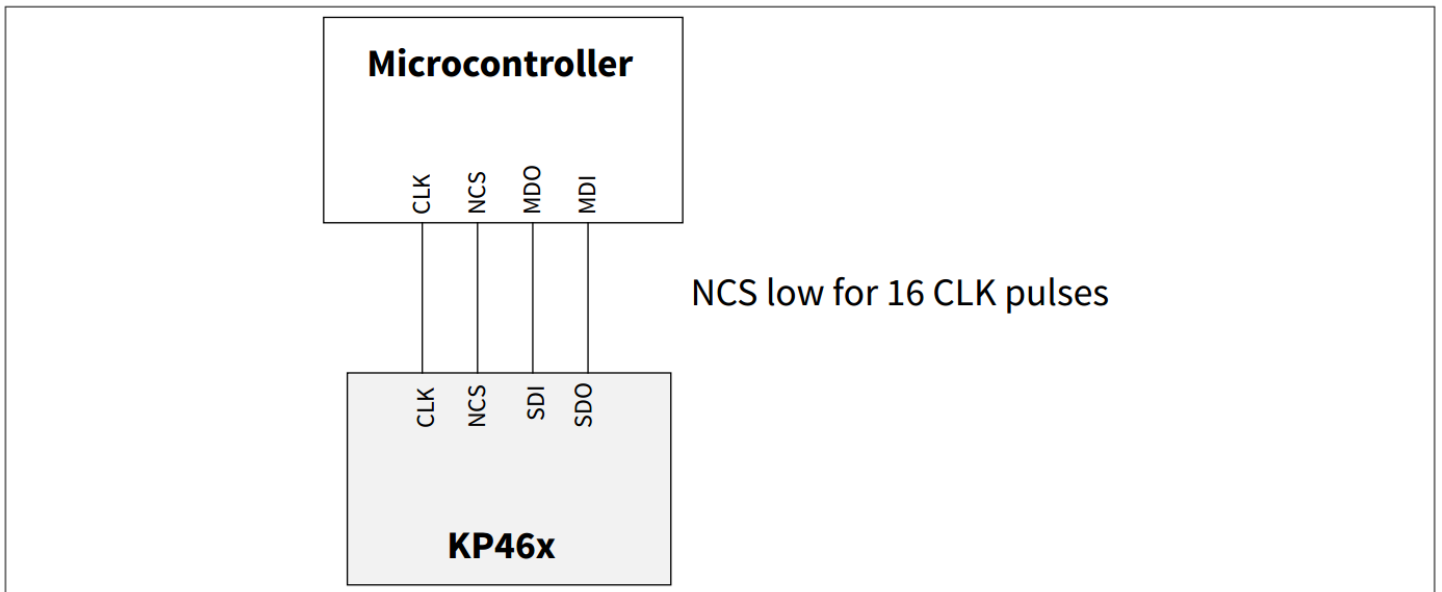


图 22 单器件运行示例

单器件运行的 SPI 信号时序如下图所示。

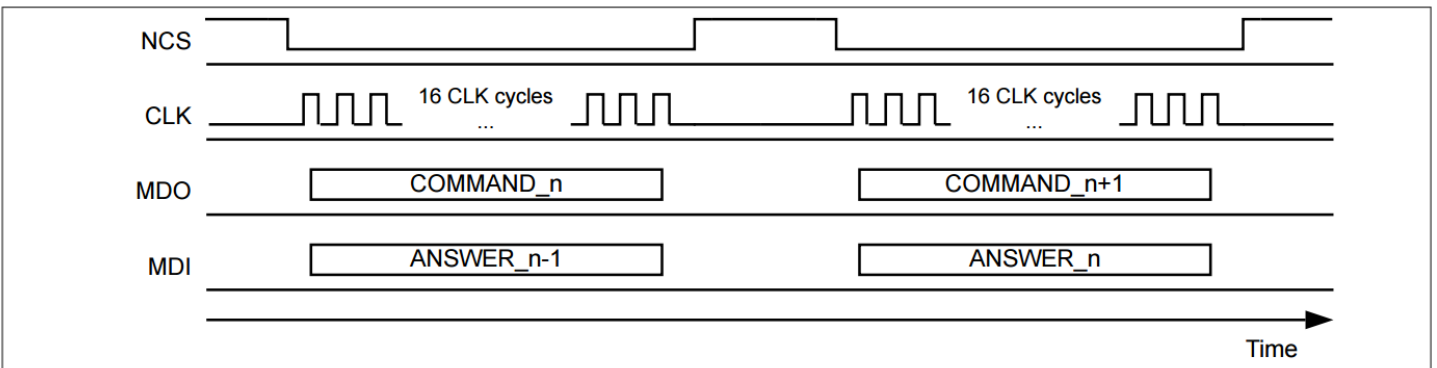


图 23 单器件信号图示例

4.2.5.11 菊花链操作（4 引脚，全双工）

菊花链操作可用于将多个器件连接到一个 SPI 连接，以节省微控制器引脚。请参阅[菊花链操作示例](#)，了解如何将多个器件连接到一个微控制器。

以菊花链方式连接的器件数量不受限制。

下图显示了菊花链模式和并行操作相结合的示例。

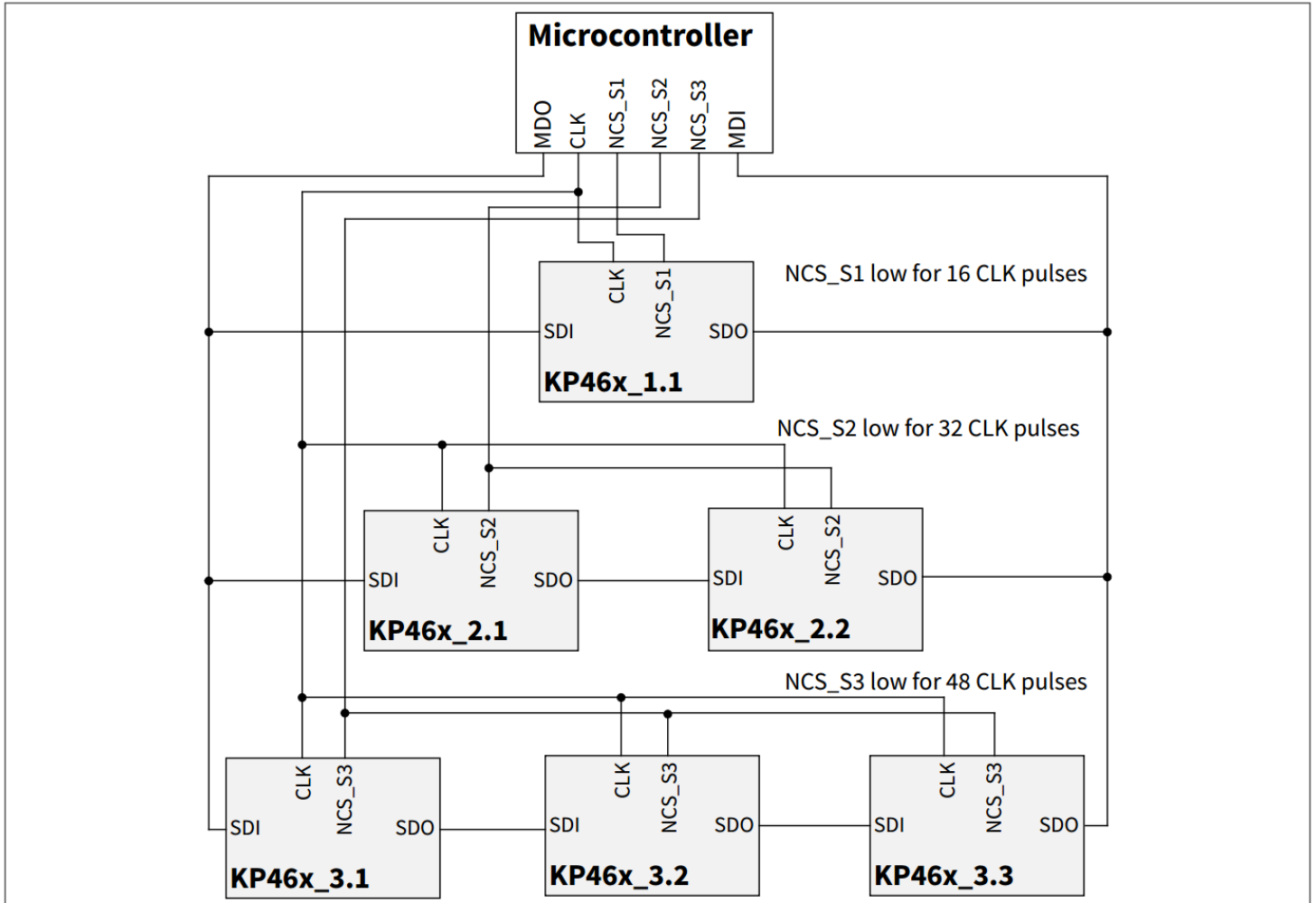


图 24 菊花链操作示例

注释： 本例中并非所有五个传感器都能同时寻址。一次只能寻址一个分支（如KP46x_2.x 分支）。最后，同一时间只能有一条NCS 线路为低电平(NCS_S1, NCS_S2 or NCS_S3)。

菊花链操作示例图显示了菊花链模式和并行运行相结合的示例。在整个通信过程中，寻址传感器组的响应NCS 线路必须为低电平。在此期间，所提供的时钟脉冲数必须是菊花链中传感器数量乘以16 的结果（例如，图例中用于菊花链操作的 KP46x_2.x 分支为 32 个时钟脉冲）。重要的是，NCS_S2.1 和 NCS_S2.2在整个传输过程中保持低电平。因此，传感器在接收到超过 16 个时钟脉冲而NCS 信号不变的情况下，能够自动切换到菊花链模式（在此示例中，传感器 S2.1 接收到的第一个 16 位输入数据将通过最后 16 个时钟脉冲时钟传送到传感器 S2.1 的输出端）。菊花链操作示例显示了整个信号图。

4 Product features

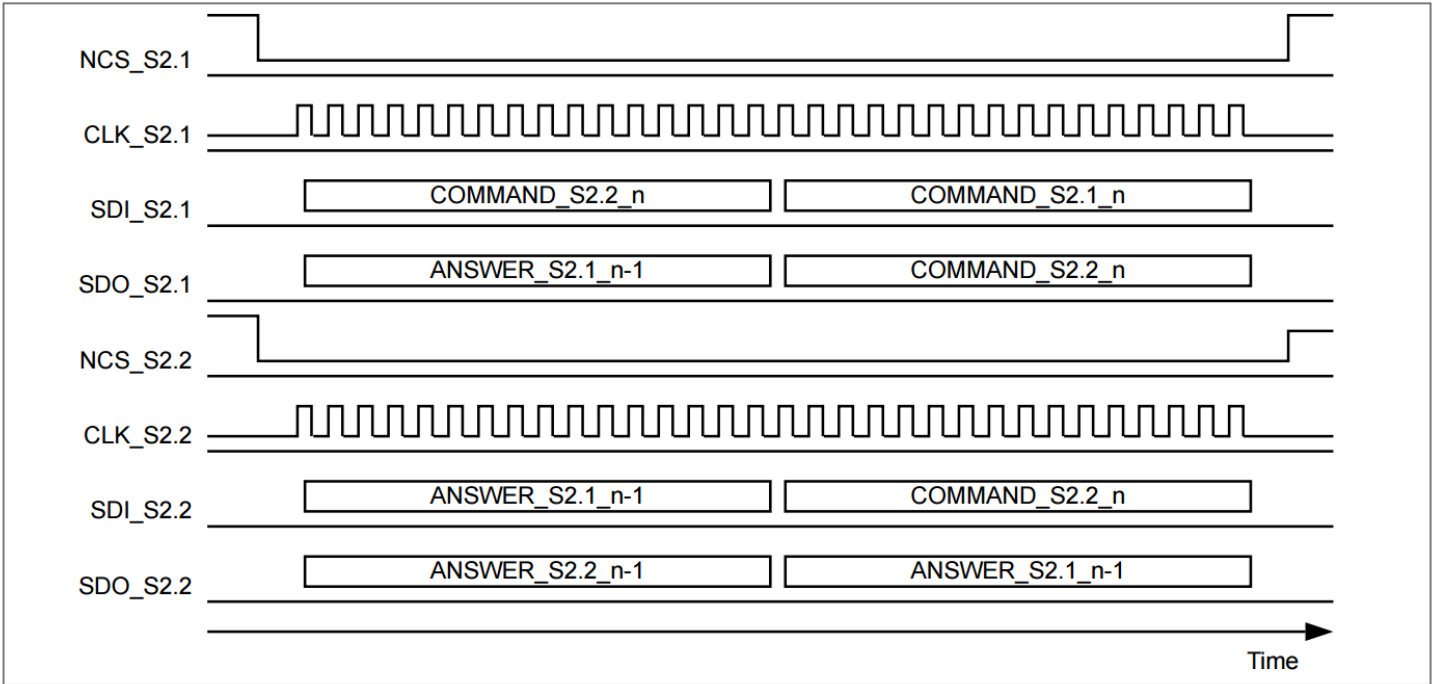


图 25 菊花链信号图示例

时钟脉冲数必须是 16 的倍数。否则，菊花链分支的所有命令都将被识别为无效命令，该分支上所有传感器的响应都将是通信错误响应。

4.2.5.12 SPI 配置参数

用户可对数字接口的下列参数进行配置：

表 27 接口配置参数

Configuration parameter	Symbol	Nominal range	Unit	Step width	Default	Note
Start-up diagnostics - VDD Power-On	$power_up_{diag_en}$	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: Deactivated self diagnostics during V_{DD} start-up 1: Activated self diagnostics during V_{DD} start-up This influences the average power consumption of the device.
Start-up diagnostic - PD Power-Up	wup_{diag_en}	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: Deactivated self diagnostics during PD start-up 1: Activated self diagnostics during PD start-up This influences the average power consumption of the device.

(表格续下页.....)

表 27 (续) 接口配置参数

Configuration parameter	Symbol	Nominal range	Unit	Step width	Default	Note
VDD range	vdd_{range}	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: 3.3 V supply voltage for the device 1: 5.0 V supply voltage for the device
Temperature compatibility	$kp25x_t_{compat}$	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: vdd_{range} bit is active. Same temperature offset parameter and transfer function for 3.3 V and 5.0 V supply voltage (please see Transfer function temperature). 1: vdd_{range} bit is inactive. Different temperature offset parameter and transfer function for 3.3 V and 5.0 V supply voltage (please see Transfer function temperature).
Acquire pressure and temperature command	$kp25x_{res_compat}$	0 or 1	bit	-	0	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: 10-bit acquire pressure/temperature command like KP254 1: 12-bit acquire pressure/temperature command like KP253
SDO configuration	SDO_{config}	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: SDO is configured as Open Drain 1: SDO is configured as Push/ Pull
SPI type	SPI_{type}	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: SPI half-duplex configuration (3-pin SPI) 1: SPI full-duplex configuration (4-pin SPI)

(表格续下页.....)

表 27 (续) 接口配置参数

Configuration parameter	Symbol	Nominal range	Unit	Step width	Default	Note
SPI physical layer	SPI_{layer}	0 or 1	bit	-	1	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: 24 clock cycles (CLK) for 8-bit master command and 16-bit slave (Sensor) response 1: 32 clock cycles (CLK) for 16-bit master command and 16-bit slave (Sensor) response Info: This configuration is only valid in case the device is configured to half-duplex 3-pin SPI ($SPI_{type} = 0$).
CLK polarity (CPOL)	$CLK_{polarity}$	0 or 1	bit	-	0	Can be adjusted by changing the corresponding EEPROM bit: <ul style="list-style-type: none"> 0: CLK low when NCS goes low (data read on falling CLK edge) 1: CLK high when NCS goes low (data read on rising CLK edge)

4.2.6 诊断

传感器可自动检测以下故障:

- 压力超出范围 (低压和高压)
- 信号路径检查 (Diag1)
- 传感器单元检查 (Diag2)
- EEPROM 检查 (ECC 错误)

如果检测到故障, 则在下一次响应时发送响应的诊断代码。

注释: $Diag1$ 和 $Diag2$ 测试只能由单独的触发诊断命令触发。在该命令之后, 用户必须等待 $t_{diag_wait_max}$ 时间, 才能在新请求后获得有效的压力或温度值。

如果器件收到 10 位获取温度或压力命令, 则将在下一次接收命令时传输 5 位诊断结果, 作为 10 位响应结构的一部分。

如果有一个以上的测试失败, 则只发送优先级最高的诊断代码。

表 28 5 位诊断代码

Failure	Priority	Diagnosis code				
		Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11
EEPROM: ECC error	1	1	0	0	0	0
Internal Error Detected	2	1	1	1	1	1

(表格续下页.....)

表 28 (续) 5 位诊断代码

Failure	Priority	Diagnosis code				
Acquisition chain failure: Diag1	3	0	1	0	0	0
Sensor cell failure: Diag2	4	0	0	1	0	0
Pressure out of range: High	5	0	0	0	1	0
Pressure out of range: Low	6	0	0	0	0	1
No error	-	0	1	0	1	0

如果器件接收到 12 位温度或压力采集命令，则将在下一次接收命令时传输 3 位诊断结果，作为 12 位响应结构的一部分。

如果有一个以上的测试失败，则只发送优先级最高的诊断代码。

表 29 3 位诊断代码

Failure	Priority	Diagnosis code		
		Bit 15	Bit 14	Bit 13
EEPROM: ECC error	1	1	0	0
Internal Error Detected	2	1	1	1
Acquisition chain failure: Diag1	3	0	1	0
Sensor cell failure: Diag2	4	0	0	1
No error	-	0	1	1

如果器件接收到 14 位获取温度或压力命令，则将在下一次接收命令时传输 1 位诊断结果，作为 14 位响应结构的一部分。

表 30 1 位诊断代码

Failure	Diagnosis code
	Bit 15
Internal error detected	1
No error	0

注释： 诊断代码 Diag1 和 Diag2 不会更新，直到通过发送触发诊断命令。

4.2.6.1 LPM 诊断

如果在 LPM 模式期间检测到内部错误（如 ECC），器件会将 WU_{OUT} 引脚设置为高电平状态（V_{high_wake}），并传输 LPM 诊断响应作为下一条接收到的 SPI 命令的响应。

传感器可通过 SPI 请求提供 LPM 诊断信息。

- LPM 状态寄存器
 - 第一阶段 Δp 超出配置阈值 $\Delta p1_{threshold}$
 - 第二阶段 Δp 超出配置阈值 $\Delta p2_{threshold}$
 - LPM 存储器出现不可纠正错误
 - EEPROM 未编程
 - EEPROM 出现不可纠正错误
 - EEPROM 控制器数据页检测到错误

4 Product features

- 检测到过压
- 压力过高错误
- 压力过低错误
- Diag1 错误
- Diag2 错误
- TJDiag 错误
- 完全上电复位
- 通过NCS + SCLK唤醒
- LPM 计时器内置自测试错误
- 环境压力值迭代 N (唤醒后的第一个压力读数)
- 环境压力值迭代 N-1
- 环境压力值迭代 N-2
- 第 2 阶段压力读数迭代次数
- LPM 存储 EDC 检查

4.2.6.2 诊断重置

SPI 命令的复位位 (16 位命令为 C12, 8 位命令为 C4) 允许使用不同的复位策略:

- 复位位 = '0': 所有传输故障将被重置 (ECC 错误除外)
- 重置位 = '1': 传输故障会被复位

注意: 无法重置 ECC 错误。ECC 错误一旦被检测到并传输, 就会一直存在, 直到电源复位或进入掉电模式。

4.2.6.2.1 复位位 = '1'

一旦检测到故障, 即使故障消失/不再存在, 只要符合以下条件, 相应的诊断代码仍会持续传输:

- 未检测到优先级更高的故障
- 传感器未复位 (掉电)

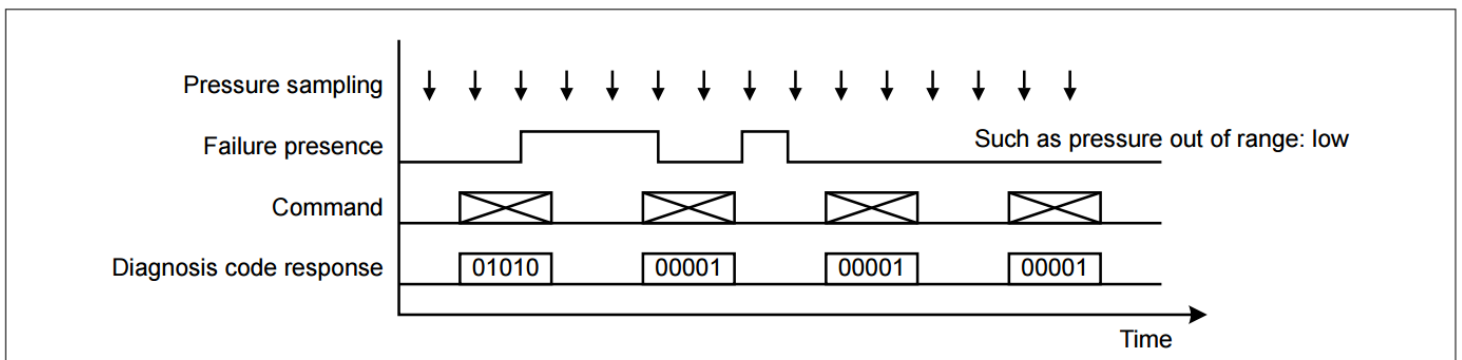


图 26 复位策略示例复位位 C12 = "1"

4.2.6.2.2 复位位 = '0'

除 ECC 错误外, 只要故障存在, 检测到的故障仅由响应的诊断代码传送。诊断代码传送一次后将被重置。只有当再次检测到故障时, 诊断代码才会随下一次响应再次发送。

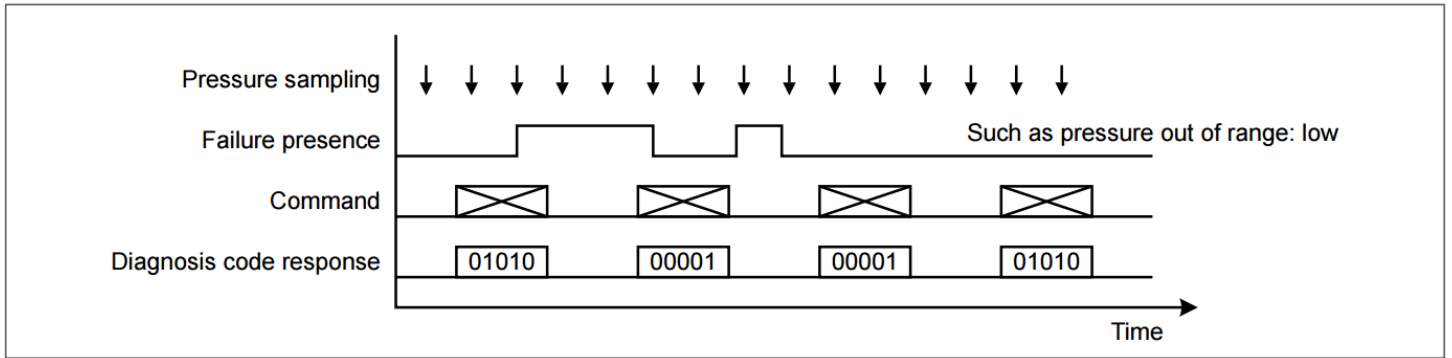


图 27 复位策略示例复位位 C12 = "0"

4.2.6.3 压力超出范围

内部检查测量的压力。如果压力值低于下限 $p_{IN,1}$ 或超过上限 $p_{IN,2}$ ，则会设置相应的诊断代码。下限和上限在[传递函数压力](#)章节中定义。

4.2.6.4 Diag1

Diag1 测试检查信号路径的功能。因此， $\Sigma\Delta$ ADC 的输入端是短路的。然后，将系统响应与预期范围（约为满量程的 50%）进行比较。如果系统响应超出范围，则设置诊断代码。

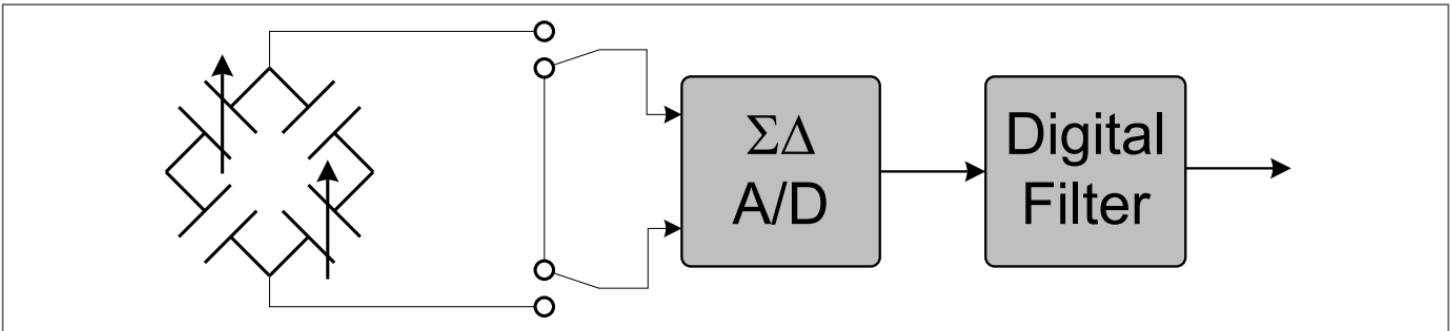


图 28 Diag1 功能

4.2.6.5 Diag2

Diag2 测试检查压力传感器单元的功能。因此可以检测到故障（例如膜破损）。KP46x 压力传感元件由 2 个测量单元和 2 个参考单元组成。在正常模式下，这四个电池以惠斯通电桥配置连接。在 Diag2 模式下，单元格的连接方式会发生变化，如下图所示：

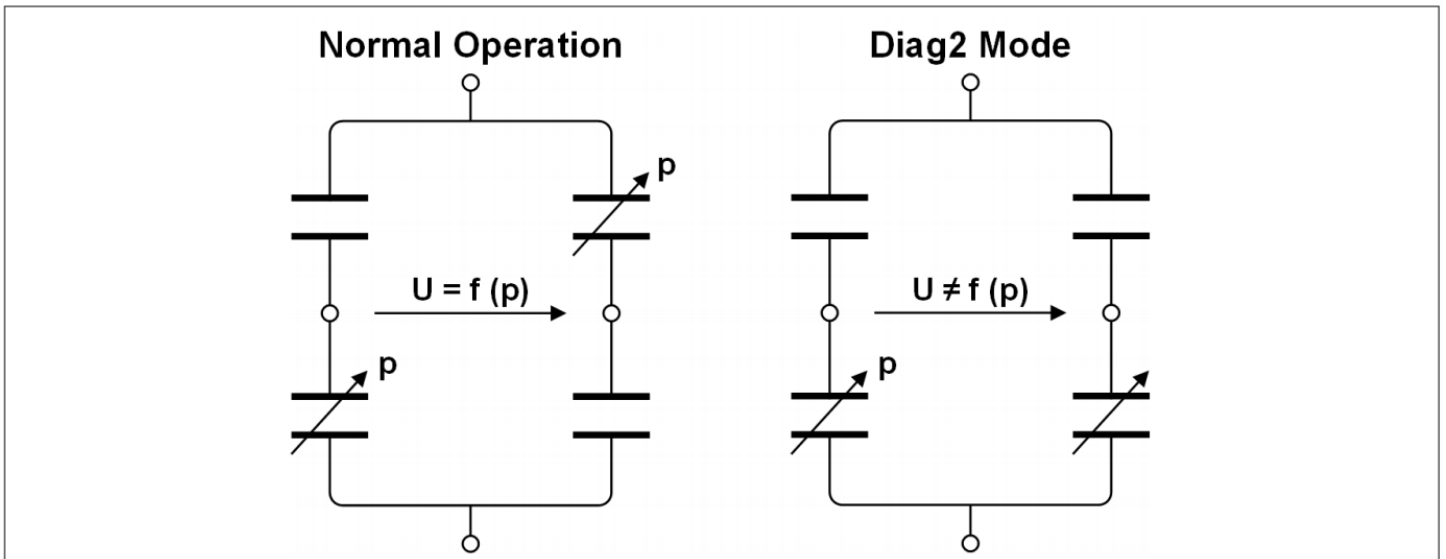


图 29 Diag2 功能

4.2.6.6 EEPROM 检查

每次启动和唤醒都会执行一次完整的 EEPROM ECC 测试。每个 EEPROM 字由 16 个数据位和 6 个 ECC 位组成。6 个 ECC 位可在一个 EEPROM 字（16 个数据位）内检测和纠正一个翻转数据位或检测两个翻转数据位。

每个 EEPROM 字的一位错误将得到纠正。传感器将继续正常运行。该 EEPROM 字中的任何额外位错误都会导致 ECC 错误。如果出现 ECC 错误，相应的诊断代码将随下一次响应一起传送。

4.2.7 计算总电流消耗

根据系统和 SPI 配置（例如 SDO 上的 C_{load} ），可以使用下面的公式计算正常运行模式下器件的总体平均电流消耗：

$$I_{VDD_{average}} = I_{VDD} + I_{SPI_{average}} \quad (4)$$

$$I_{VDD_{average}} = I_{VDD} + \frac{16 \times f_{NCS}}{f_{SPI}} \times \left(250 \mu A + \frac{f_{SPI} \times C_{load} \times V_{DD}}{2} \right) \quad (5)$$

表 31 总平均电流消耗公式变量

Variable	Description	Unit
I_{VDD}	Supply current into VDD	μA
f_{NCS}	Sampling rate (for example pressure requests)	MHz
f_{SPI}	Clock frequency of SPI interface	MHz
C_{load}	Load capacitance on SDO	pF
V_{DD}	Supply voltage	V
$I_{VDD_{average}}$	Average current consumption	μA

4.2.8 启动行为

在启动阶段 ($t_{\text{start-up}}$)，器件对任何 SPI 命令都没有 SPI 响应。

5 应用信息

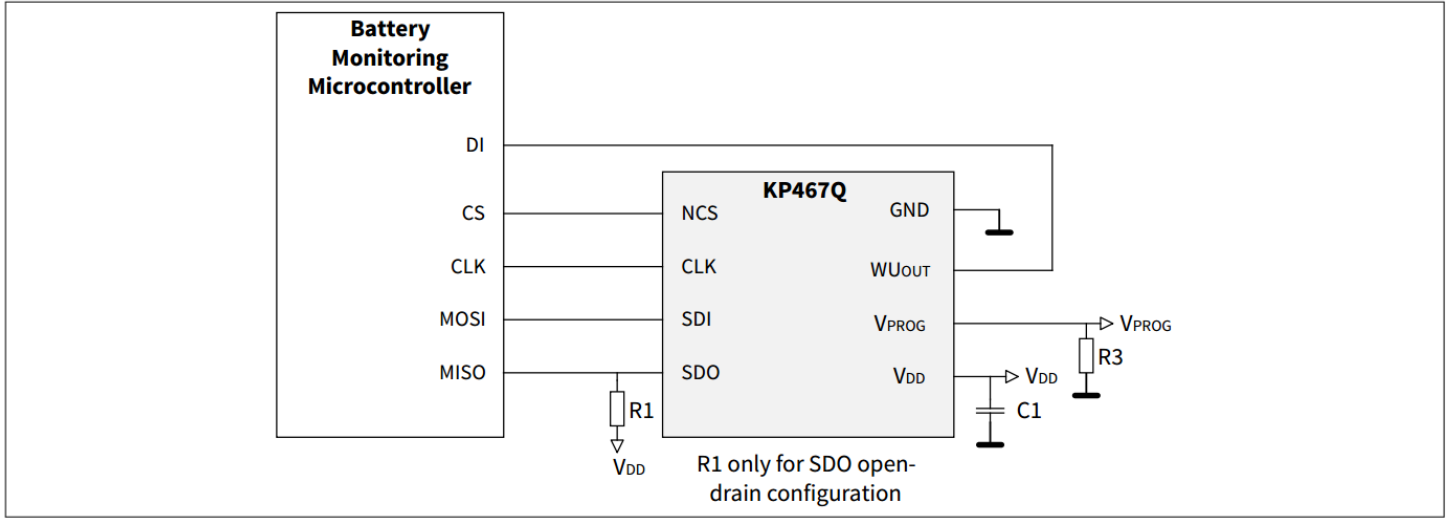


图 30 电池监控应用电路示例（全双工）

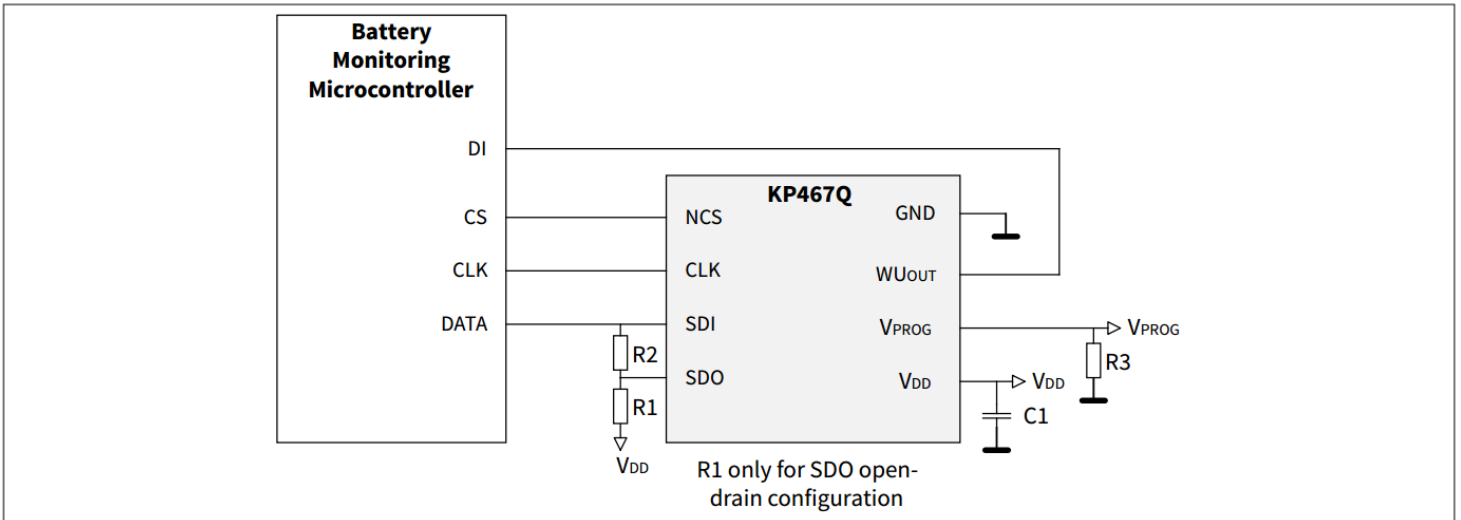


图 31 电池监控应用电路示例（半双工）

当器件用于 3 引脚半双工 SPI 配置时，强烈建议在主器件和从器件上使用开漏输出配置。如果该器件用于 3 引脚半双工 SPI 配置，且输出配置为推挽式，则系统集成商有责任安装一个合适的 SDO/SDI 去耦电阻，以防止交叉电流造成损坏。

表 32 元件值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply decoupling capacitor	C1	30	100	–	nF	1)
SDO pull-up resistor (open-drain)	R1	3	5	–	k Ω	Valid for SDO open-drain configuration
SDO/SDI resistor (half-duplex)	R2	0	500	–	Ω	Resistor to connect SDO and SDI pin for half-duplex

(表格续下页.....)

表 32 (续) 元件值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
VPROG resistor (pull-down)	R3	–	10	–	kΩ	Pull-down resistor used for EEPROM programming

1) 必须选择电源去耦电容器的标称电容和相关容差，以确保在工作条件下和使用寿命期间不违反此处规定的最小值。

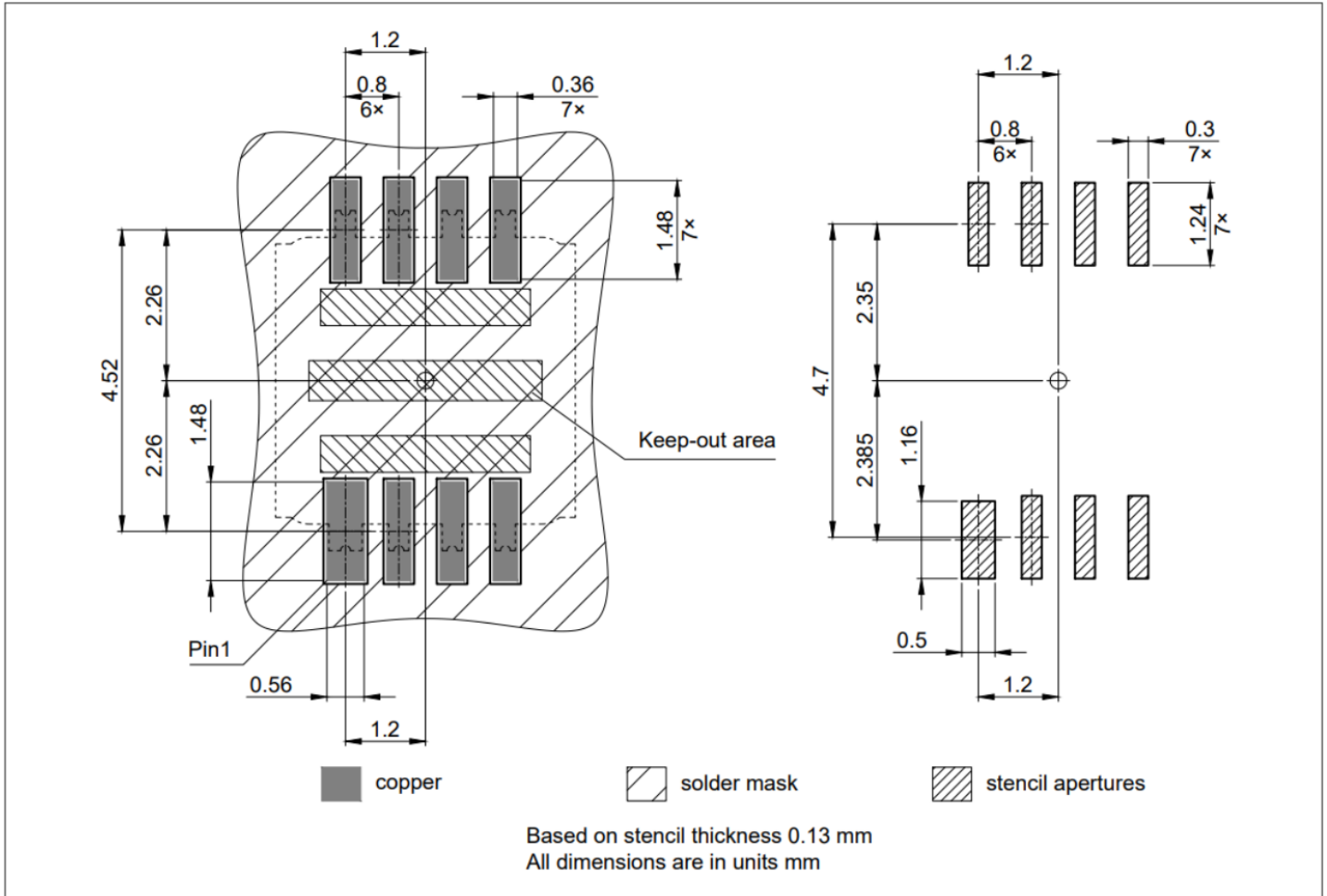


图 33 封装占板图

虽然液态焊料的表面张力所产生的自对准效应有助于形成可靠的焊点，但元件必须根据其几何形状准确放置。不建议手动定位货包，但这是可行的。对于焊盘宽度为 0.3 mm、间距为 0.8 mm 的 PG-DFN 封装，建议使用自动拾取贴装器件，以实现可靠的焊点。该器件采用卷带包装，适合在拾放器件中使用。

6.1 识别代码

器件的识别码与引脚 1 位于封装的同一侧。

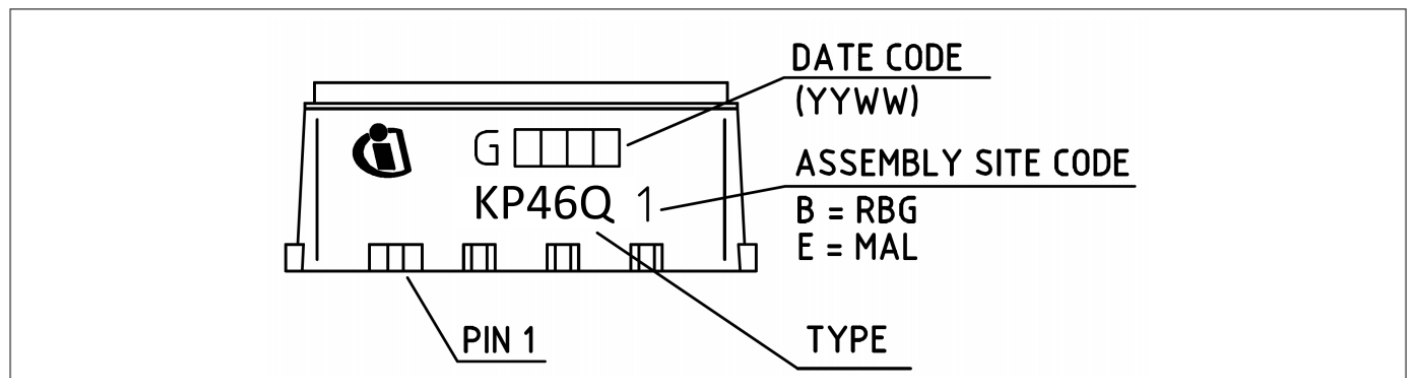


图 34 识别代码

7 修订记录

表 33

Revision number	Date of release	Description of changes
1.00	2025-08-30	Initial release
1.10	2026-03-25	<ul style="list-style-type: none">Information regarding execution prior to LPM mode added in Entering low power monitoring mode.Editorial changes



免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。

由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。

因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 <http://www.infineon.com>

英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

重要通知

版本 2026-06-25

Infineon Technologies AG 出版，
德国 Neubiberg 85579

版权 © 2026 Infineon Technologies AG
及其关联公司。
保留所有权利。

Do you have a question about this
document?

Email:

erratum@infineon.com

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称“英飞凌”）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称“产品”），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文件中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据探勘（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：

由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称“安全漏洞”），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文档包含或引用软件：

根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码 (binary code) 形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 <https://www.infineon.com>。