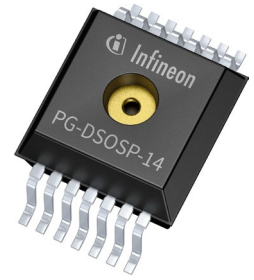


胎压监测传感器

特性

- 获得专利的玻璃-硅-玻璃 MEMS 压力传感器，具有同类最佳的介质兼容性
- z 轴加速度计用于运动检测和角度位置传感
- 行业标准的高能效 32 位 ARM® Cortex®(*) M0+ 微控制器
- 19 千字节闪存，用于存储应用程序代码或用户数据；也可用于引导加载程序
- 1 kB RAM 外加 192 字节保留 RAM
- 同类最佳的终生耗电量

(*) ARM 和 Cortex 是英国 ARM 有限公司的商标



潜在应用

- 用于原始设备制造商和售后市场的基于阀门的 TPMS 模块

产品验证

产品验证符合 AEC-Q100 标准，等级 1。适用于汽车应用，已获得认证。

描述

英飞凌 SP49 具有极高的集成度，并经过优化，可执行最先进的胎压监测系统 (TPMS) 传感器模块所需的所有功能。

SP49 集成了微控制器、传感器和便捷的外设，只需添加几个无源元件即可组成一个完整的 TPMS 传感器组件。该设备的设计可降低充电消耗，因此非常适合电池供电应用。

Product Name	Ordering Code	Marking	Package	Product Code
SP490-01-11	SP005878909	SP490	PG-DSOSP-14-84	0x3000 ... 0x35FF(*)

(*) 产品代码可在此范围内任意取值

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	规格	4
1.1	绝对最大额定值	4
1.2	工作范围	5
1.3	特性	6
1.3.1	压力传感器	6
1.3.2	z 轴加速度传感器	7
1.3.3	温度传感器	8
1.3.4	电池传感器	9
1.3.5	热关断	9
1.3.6	通用数字 I/O 引脚	10
1.3.7	模拟输入	11
1.3.8	电压监控和上电	12
1.3.9	闪存	12
1.3.10	电源电流	13
1.3.11	低频接收器工作范围	15
1.3.12	低频接收器	15
1.3.13	射频发射器	16
1.3.14	晶体振荡器	18
1.3.15	RC 振荡器	18
1.3.16	时序	19
1.3.17	恢复和唤醒充电	20
2	引脚说明	21
3	功能描述	22
3.1	工作模式	22
3.2	设备状态	23
3.2.1	状态转换	24
3.2.2	热关断	25
3.3	框图	26
3.4	系统复位	27
3.5	传感器测量	27
3.6	数字内核	27
3.6.1	微控制器	27
3.6.2	GP 定时器 / 计数器	27
3.6.3	看门狗定时器	27
3.6.4	唤醒和恢复源	28
3.6.5	CPU 唤醒和恢复事件	29
3.6.6	调试模式	29
3.6.7	采样定时器	29

Table of contents

3.6.8	间隔定时器.....	30
3.6.9	低功耗监控.....	31
3.7	用户闪存.....	32
3.7.1	设备保护.....	34
3.7.2	锁定字节.....	34
3.8	外设.....	34
3.8.1	通用 I/O.....	34
3.8.2	串行接口.....	35
3.8.3	模拟输入.....	35
3.9	RAM 和 寄存器	36
3.9.1	保留 RAM.....	36
3.9.2	易失性 RAM.....	36
3.9.3	特殊功能寄存器.....	36
3.10	低频接收器.....	36
3.10.1	低频接收器占空比.....	36
3.10.2	低频载波 检测模式(CDM).....	36
3.10.3	载波检测计数器.....	37
3.10.4	低频数据接收模式 (DRM).....	37
3.10.5	低频电报.....	37
3.10.6	唤醒模式.....	38
3.10.7	数据解码和存储.....	38
3.10.8	低频数据位的接收.....	38
3.10.9	切换模式.....	38
3.11	射频发射器.....	39
3.11.1	功率放大器.....	39
3.11.2	射频调制方案.....	39
3.11.3	射频脉冲串和帧间时序.....	39
3.11.4	射频帧.....	39
3.11.4.1	SOM 和 EOM.....	40
3.11.5	射频传输中止.....	40
3.11.6	射频电压警告和监测.....	40
4	应用电路	41
5	自诊断检查	43
6	封装信息	44
6.1	封装图.....	44
6.2	封装标记.....	45
7	器件标识.....	46
8	修订记录	47
	免责声明.....	48

1 规格

1.1 绝对最大额定值

任何超过规定绝对最大额定值的应力都可能对设备造成永久性损坏。给出的数值仅为应力额定值，并不意味着设备在这些条件下可以正常运行。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。

表 1 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Max. Supply voltage	V_{DD_MAX}	-0.3		3.8	V	Voltage at VDDBAT pin
ESD robustness HBM	V_{HBM}	±2000			V	All pins tested according to AEC-Q100-002
ESD robustness CDM	V_{CDM}	±500			V	Non-corner pins tested according to AEC-Q100-011
ESD robustness CDM, Corner Pins	V_{CDMC}	±750			V	Corner pins tested according to AEC-Q100-011
Transient Latch-up Current	I_{LU}	±100			mA	Maximum transient current at any pin according JEDEC78 class II level A
Input voltage at PP0, PP1, PP2, PP3	V_{IN_PPx}	-0.3		$V_{DD}+0.3$	V	
Input voltage at Analog In	$V_{Analog_In_Max}$	-0.3		1.6	V	Voltage at PP0 or PP3 if configured as Analog In.
Input voltage at LFP, LFN, XIN	V_{LF_XIN}	-0.3		+1.8	V	
Differential Input voltage at LFP, LFN	V_{DIFF_LF}	-0.3		+0.3	V	
Peak Voltage PAOUT pin	V_{PAOUT_PEAK}			8	V	The matching network must be designed such that the peak-voltage at PA does not exceed this value.
Output Short-Circuit Capability	V_{SC}	0		3.8	V	Short to VDD, GND or neighbor pin for max. 10min at VDD=3.8V. Note: VDDREG and XOUT must not be shorted to VDD
DC Current	I_{DC}	-10		10	mA	Maximum Input/Output Current at any Pin
Maximum Pressure	p_{MAX}			2500	kPa	Static
Max. Static Acceleration	a_{MAX}			3500	g	24 hour continuously for +x/+y/+z respectively

(表格续下页.....)

表 1 (续) 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Mechanical shock	a_{SHOCK}			6000	g	0.3 ms half sine pulses. 5 shocks in $\pm x$, $\pm y$, and $\pm z$ direction (30 shocks in total) Device unpowered.
Storage temperature	T_{STORAGE}	-50		150	°C	Maximal 1000 hours accumulated over lifetime between 125°C and 150°C. Maximum 1000 hours between -40°C and -50°C. Device not powered. Temperature cycling only allowed between -40°C and 125°C.

1.2 工作范围

工作范围定义了设备按规定运行的环境条件。本文档中的某些指定参数可能取决于其他工作条件。这些附加条件将在相应章节中说明。

表 2 工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply Voltage Range	V_{DD}	$V_{\text{UVR_A}}$		3.6	V	Device not in Power-Down State.
Supply Voltage Range in PD	V_{DD}	$V_{\text{UVR_PD}}$		3.6	V	Device in Power-Down State.
Ambient Temperature	T_{OP}	-40		125	°C	
Flash Programming Temperature Range	T_{FLASH}	-20		90	°C	Temperature range for flash erasing/programming.
Extended Temperature Range	T_{EXT}	-50		150	°C	Thermal shutdown functional. $V_{\text{DD}}=1.8$ to 3.3V. Exposure to 125°C .. 150°C maximum 24h over lifetime.
z-Axis Acceleration	a_{OP}			+/-1600	g	Exceeding this acceleration will result in a higher pressure error as specified.
Programming bit rate	BR_{PROG}			1000	kbit/s	Bit rate for programming/debugging via serial interface

(表格续下页.....)

1 Specification

表 2 (续) 工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
External Capacitor at VDDBAT	C_{VDD_BAT}		10		nF	
External Capacitor at VDDREG	C_{VDD_REG}	7	10	13	nF	
External Capacitor at VDDPA	C_{VDD_PA}	7	10	13	nF	Capacitor only needed if pin 13 is used as VDDPA
PP0 Input Frequency Tolerance	TOL_{fin_PP0}	-500		500	ppm	Tolerance relating to a selected input frequency

1.3 特性

1.3.1 压力传感器

指定的压力测量误差包括随机误差（噪音），并基于每次测量的 4 个原始值的平均值。超过工作范围规定的最大 Z 轴加速度将导致压力测量误差高于规定值。

表 3 压力传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Pressure Range	p_{RANGE}	100		920	kPa	Absolute Pressure
Pressure RMS Noise	p_{NOISE}			1.35	LSB	Each pressure reading is the mean of 4 ADC raw readings.
Pressure ADC resolution	p_{ADC_RES}		0.28	0.5	kPa/LSB	Refers to ADC raw readings.
Measurement Error 100-500kPa Temp1	$p_{ERROR\ 100-500, T1}$	-5		5	kPa	$T_{OP} = 0^{\circ}C$ to $+90^{\circ}C$
Measurement Error 100-500kPa Temp2	$p_{ERROR\ 100-500, T2}$	-7		7	kPa	$T_{OP} = -20^{\circ}C$ to $0^{\circ}C$, $T_{OP} = +90^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Measurement Error 100-500kPa Temp3	$p_{ERROR\ 100-500, T3}$	-9		9	kPa	$T_{OP} = -40^{\circ}C$ to $-20^{\circ}C$
Measurement Error 500-750kPa Temp1	$p_{ERROR\ 500-750, T1}$	-1.2		1.2	%	$T_{OP} = 0^{\circ}C$ to $+90^{\circ}C$; Percentage of actual pressure value
Measurement Error 500-750kPa Temp2	$p_{ERROR\ 500-750, T2}$	-1.6		1.6	%	$T_{OP} = -20^{\circ}C$ to $0^{\circ}C$, $T_{OP} = +90^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$; Percentage of actual pressure value

(表格续下页.....)

1 Specification

表 3 (续) 压力传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Measurement Error 500-750kPa Temp3	$\rho_{\text{ERROR 500-750, T3}}$	-2.0		2.0	%	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to -20°C ; Percentage of actual pressure value
Measurement Error 750-920kPa Temp1	$\rho_{\text{ERROR 750-920, T1}}$	-12		12	kPa	$T_{\text{OP}} = 0^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
Measurement Error 750-920kPa Temp2	$\rho_{\text{ERROR 750-920, T2}}$	-14		14	kPa	$T_{\text{OP}} = -20^{\circ}\text{C}$ to 0°C
Measurement Error 750-920kPa Temp3	$\rho_{\text{ERROR 750-920, T3}}$	-15		15	kPa	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to -20°C

1.3.2 z 轴加速度传感器

总加速度误差规格包括随机误差（噪音）。它们基于每次测量的 16 个原始值的平均值。总加速度误差规范的有效条件是，在产品的整个使用寿命期间使用适当的自动偏移算法。有关自动偏移校准的更多信息，请参阅 SP49 用户手册。

请注意，误差规格要求正确选择加速度测量范围 ($|a_{\text{IN}_z}| \leq 400\text{g}$ 时为低量程， $400\text{g} < |a_{\text{IN}_z}| \leq 600\text{g}$ 时为高量程)，另请参阅 SP49 用户手册。

表 4 z 轴加速度传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Z-Acceleration Range	a_{IN_z}	-600		+600	g	Measurement range for absolute acceleration
Total Acceleration Error, 20g, LT	$a_{\text{ERR_TOT_20_LT}}$	-3.0		+3.0	g	$ a_{\text{IN}_z} = 0\text{g}$ to 20g , $T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to 90°C
Total Acceleration Error, 20g, HT	$a_{\text{ERR_TOT_20_HT}}$	-5.0		+5.0	g	$ a_{\text{IN}_z} = 0\text{g}$ to 20g , $T_{\text{OP}} = 90^{\circ}\text{C}$ to 125°C
Total Acceleration Error, 100g, LT	$a_{\text{ERR_TOT_100_LT}}$	-5.0		+5.0	g	$ a_{\text{IN}_z} = 20\text{g}$ to 100g , $T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to 90°C
Total Acceleration Error, 100g, HT	$a_{\text{ERR_TOT_100_HT}}$	-7.0		+7.0	g	$ a_{\text{IN}_z} = 20\text{g}$ to 100g , $T_{\text{OP}} = 90^{\circ}\text{C}$ to 125°C
Total Acceleration Error, 200g, LT	$a_{\text{ERR_TOT_200_LT}}$	-9.0		+9.0	g	$ a_{\text{IN}_z} = 100\text{g}$ to 200g , $T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to 90°C
Total Acceleration Error, 200g, HT	$a_{\text{ERR_TOT_200_HT}}$	-11.0		+11.0	g	$ a_{\text{IN}_z} = 100\text{g}$ to 200g , $T_{\text{OP}} = 90^{\circ}\text{C}$ to 125°C

(表格续下页.....)

1 Specification

表 4 (续) z 轴加速度传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Total Acceleration Error, 400g, LT	$a_{ERR_TOT_400_LT}$	-19.0		+19.0	g	$ a_{IN_Z} = 200g \text{ to } 400g$, $T_{OP} = -40^{\circ}C \text{ to } 90^{\circ}C$
Total Acceleration Error, 400g, HT	$a_{ERR_TOT_400_HT}$	-20.5		+20.5	g	$ a_{IN_Z} = 200g \text{ to } 400g$, $T_{OP} = 90^{\circ}C \text{ to } 125^{\circ}C$
Total Acceleration Error, 600g	$a_{ERR_TOT_600}$	-40		40	g	$ a_{IN_Z} = 400g \text{ to } 600g$, $T_{OP} = -40^{\circ}C \text{ to } 125^{\circ}C$
Total Acceleration Offset Drift	a_{OFF_DRIFT}	-5		5	g	Valid for all a_{in} ranges.
Acceleration ADC resolution	a_{ADC_RES}			0.175	g/LSB	$a_{IN_Z+} = -100g \dots +400g$, $a_{IN_Z-} = -400g \dots +100g$; Refers to ADC raw readings
Acceleration High Range ADC Resolution	$a_{ADC_RES_high}$			0.35	g/LSB	Refers to ADC Readings. Applies if High Acceleration Range is selected.
Acceleration RMS Noise	a_{NOISE}			0.9	LSB	$ a_{IN_Z} \leq 400g$. Each acceleration reading is the mean of 16 ADC raw readings. No external noise sources present.
Accelerometer resonance frequency	f_{RES_ACC}	5.1	6	6.9	kHz	Mechanical excitation of the device in this frequency range must be avoided (e.g. PCB sawing process)
Motion detection range	$a_{IN_Z_MD}$	± 600		± 1600	g	Acceleration signal used for motion detection only.
z-Accelerometer x-Axis Cross Sensitivity	$a_{Z_CROSS_X}$		5	9	%	
z-Accelerometer y-Axis Cross Sensitivity	$a_{Z_CROSS_Y}$			1.1	%	

1.3.3 温度传感器

表 5 温度传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Temperature Measurement Range	T_{MEAS_RANGE}	-40		125	$^{\circ}C$	

(表格续下页.....)

1 Specification

表 5 (续) 温度传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Temperature Sensor Total Error	T_{ERR}	-3		3	°C	The measurement error is understood as total error, including random error (noise)
Temperature Sensor Total Error, RT	T_{ERR_RT}	-2		2	°C	$T_{OP} = -20^{\circ}\text{C}$ to $+90^{\circ}\text{C}$
Temperature RMS Noise	T_{NOISE}			0.25	°C	Refers to compensated temperature values. Random Error is included in Total Error.
Temperature Sensor Physical Resolution	T_{RES}		0.2	1	°C	

1.3.4 电池传感器

表 6 电池传感器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Voltage Measurement Range	V_{RANGE}	V_{UVR_A}		3.3	V	see section Under Voltage Reset Threshold for V_{UVR_A}
Voltage Measurement Total Error	V_{BAT_ERR}	-3		3	%	$V_{DD} = V_{UVR_A}$ to V_{DD_MAX}
Voltage Sensor Physical Resolution	V_{RES}			1.3	mV	Refers to ADC raw readings

1.3.5 热关断

工作状态 V_{DD_AS} 的电压工作范围和扩展温度范围 T_{EXT} 适用于热关断。

表 7 热关断

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Thermal Shutdown Entry HOT	T_{HOT_E}	119	122	125	°C	
Thermal Shutdown Release HOT	T_{HOT_REL}	115	120	123.5	°C	
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{HYST}	1.5		4	°C	
Thermal Shutdown Entry COLD	T_{COLD_E}	-40	-37	-34	°C	

(表格续下页.....)

表 7 (续) 热关断

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Thermal Shutdown Release COLD	$T_{\text{COLD_REL}}$	-38.5	-35	-30	°C	

1.3.6 通用数字 I/O 引脚

表 8 通用数字 I/O 引脚

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input High Voltage	V_{IH}	$0.8V_{\text{DD}}$			V	1)
Input Low Voltage	V_{IL}			$0.2V_{\text{DD}}$	V	1)
Output High Voltage	V_{OH}	$V_{\text{DD}}-0.3$			V	$I_{\text{load}} = 1\text{mA}$
Output Low Voltage	V_{OL}			0.3	V	$I_{\text{load}} = -1\text{mA}$
PP0/PP1/PP3 Pin Input Capacitance	C_{IN}			10	pF	
PP2 Pin Input Capacitance	$C_{\text{IN_PP2}}$			20	pF	
PP0, PP1, PP3 Leakage Current	$I_{\text{IN_PP0_1_3}}$	-1		1	μA	PP0, PP1, PP3 configured as input
PP2 Leakage Current	$I_{\text{IN_PP2}}$	-1		1	μA	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to 90°C ; PP2 configured as input
PP2 Leakage Current, HT	$I_{\text{IN_PP2_HT}}$	-2		2	μA	$T_{\text{OP}} = 90^{\circ}\text{C}$ to 125°C ; PP2 configured as input
Resistance of low-side power switch	R_{LSPS}			5	Ohm	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C}$ to 90°C ; low-side power switch on PP2 enabled and active
I2C Low Datarate	$DR_{\text{I2C_low}}$		100		kbit/s	2), 3)
I2C Medium Datarate	$DR_{\text{I2C_med}}$		400		kbit/s	2), 3), 4)
I2C High Datarate	$DR_{\text{I2C_HIGH}}$			1000	kbit/s	2), 3), 5)
PP0 Input Frequency Range	$f_{\text{in_PP0}}$	1		26	MHz	
Equivalent pull resistor	$R_{\text{PULL_3V}}$	15		70	kΩ	$V_{\text{IN_PPx}} = 1.5\text{V}$, $V_{\text{DD}} = 3\text{V}$; Valid for pull-down at PP0, PP1, PP2, PP3. Valid for pull-up at PP2, PP3.
Equivalent Pull Up Resistors at PP0 and PP1	R_{PULLUP}	5.9	8.4	11	kΩ	

1 Specification

- 1) 如果在应用中使用数字 I/O 引脚，则输入高电压应为 $V_{DD}-0.05V$ 或更高，以获得最低的电荷消耗。输入低电压最大应为 $0.05V$ 。如果数字 I/O 引脚处于开路状态，内部拉电阻处于激活状态，则符合上述最低电荷消耗标准。
- 2) 对于 I2C 操作，PP0 配置为 SCL，PP1 配置为 SDA
- 3) 根据电容负载和数据传输速率的不同，可能需要外接上拉电阻。系统集成商有责任确定正确的上拉值。
- 4) 如果只使用内部上拉电阻，在 400 kbit/s 速率下，任一引脚的最大负载电容为 32 pF
- 5) 即使使用外部上拉电阻器，在 1000 kbit/s 速率下，任一引脚的最大负载电容为 80 pF

1.3.7 模拟输入

以下规格适用于测量连接到 PP0 或 PP3 引脚的外部模拟电压。

表 9 模拟输入

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Analog Voltage Range	V_{ANALOG_IN}	0		1.4	V	
Low Voltage Measurement Error	V_{ERROR_LOW}	-1.5		+1.5	mV	$V_{ANALOG_IN} = 0$ to 37.5 mV ; 95% of all measurements
Voltage Measurement Error	V_{ERROR}	-4		+4	%	$V_{ANALOG_IN} = 37.5\text{ mV}$ to $1.4V$; 95% of all measurements
Voltage Measurement Resolution	V_{ANALOG_RES}		0.4	1	mV/LSB	

1.3.8 电压监控和上电

表 10 电压监控和上电

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Under Voltage reset	V_{UVR_A}	1.6		1.7	V	Measured at VDDBAT pin. Applies only in Run State, Idle, and if RF transmission is ongoing. Disabled in PD, Stand-By, and TSD.
Under Voltage reset in Power Down	V_{UVR_PD}	1.2		1.6	V	Measured at VDDBAT pin. Applies in all states.
Reset release threshold	V_{THR}	1.8		1.9	V	Applies for a Reset triggered by under-voltage or power-on reset. Device releases from Reset when voltage at VDDBAT pin exceeds V_{THR} .
TX Undervoltage Warning Level	V_{TX_MIN}	1.8	1.85	1.9	V	$t_{drop} > 10\mu s$; A flag is set if voltage at VDDBAT pin falls below V_{TX_MIN} during RF transmission.
TX Voltage Monitoring Threshold	V_{TX_MON}	1.7	1.75	1.8	V	RF-PA will be shut off if the voltage VDDBAT falls below this threshold.

1.3.9 闪存

表 11 闪存

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Flash Retention Time	t_{RET_FLASH}	10			years	Defect rate < 1ppm over lifetime, N_{write} cycles not exceeded
Flash write cycles	N_{WRITE}	100				$T_{OP} = -20^{\circ}C$ to $90^{\circ}C$; No more than N_{WRITE} cycles allowed
Flash Programming Time	t_{FLASH_PROG}			3.5	s	Time for programming 19 kbyte flash

1.3.10 电源电流

所有电流均基于 3.0V 电源电压。

表 12 电源电流

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply current in Power Down, LT	$I_{PWD_3V_LT}$		150	500	nA	$T_{OP} = -40^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in Power Down, RT	$I_{PWD_3V_RT}$		240	500	nA	$T_{OP} = +25^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in Power Down, MT	$I_{PWD_3V_MT}$		1	2.5	μA	$T_{OP} = +70^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in Power Down, HT	$I_{PWD_3.6V_HT}$		9	20	μA	$T_{OP} = 125^{\circ}C, V_{DD} = 3.6V$
Supply current in Stand-By, LT	I_{STBY_LT}		2.3	6	μA	$T_{OP} = -40^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in Stand-By, RT	I_{STBY_RT}		2.3	6	μA	$T_{OP} = 25^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in Stand-By, HT	I_{STBY_HT}		32	82	μA	$T_{OP} = +125^{\circ}C, V_{DD} = 3.6V$
Supply Current in Thermal Shutdown, LT	I_{TSD_LT}		61	85	μA	$T_{OP} = -40^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$; Average current for clocked operation is $I_{TSD_avg} = I_{PWD} + (I_{TSD} - I_{PWD}) * 2.9/16 / Interval_Mul_16ms$
Supply Current in Thermal Shutdown, HT	I_{TSD_HT}		85	116	μA	$T_{OP} = +125^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$; Average current for clocked operation is $I_{TSD_avg} = I_{PWD} + (I_{TSD} - I_{PWD}) * 2.9/16 / Interval_Mul_16ms$
Supply current in IDLE, LT	I_{IDLE_LT}		370	460	μA	$T_{OP} = -40^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in IDLE, RT	I_{IDLE_RT}		370	460	μA	$T_{OP} = 25^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in IDLE, HT	I_{IDLE_HT}		450	600	μA	$T_{OP} = +125^{\circ}C, V_{DD} = 3.6V$
Supply current in RUN state, LT	I_{RUN_LT}		1.57	1.8	mA	$T_{OP} = -40^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in RUN state, RT	I_{RUN_RT}		1.57	1.8	mA	$T_{OP} = +25^{\circ}C, V_{DD} = 3.0V$
Supply current in RUN State, HT	I_{RUN_HT}		1.66	2	mA	$T_{OP} = +125^{\circ}C, V_{DD} = 3.6V$

(表格续下页.....)

1 Specification

表 12 (续) 电源电流

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
LF-receiver supply current in CDM (digital filter off), LT	$I_{LF_CDM_LT}$		2.8	4	μA	$T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in CDM (digital filter off), RT	$I_{LF_CDM_RT}$		3.3	4	μA	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in CDM (digital filter off), HT	$I_{LF_CDM_HT}$		7.7	30	μA	$T_{OP} = +125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.6\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in CDM (digital filter on), LT	$I_{LFCDFilter_LT}$		3.2	6	μA	$T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in CDM (digital filter on), RT	$I_{LFCDFilter_RT}$		4	6	μA	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in CDM (digital filter on), HT	$I_{LFCDFilter_HT}$		8.2	30	μA	$T_{OP} = +125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.6\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in DRM, LT	$I_{LF_DRM_LT}$		3.6	6	μA	$T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in DRM, RT	$I_{LF_DRM_RT}$		3.85	6	μA	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; 100% receiver duty cycle
LF-receiver supply current in DRM, HT	$I_{LF_DRM_HT}$		8.3	30	μA	$T_{OP} = +125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.6\text{V}$; 100% receiver duty cycle
Supply current at RF transmission CW or FSK	I_{RFTX}		5.5	6.7	mA	$f_{TX} = 315\text{MHz}$, $f_{TX} = 434\text{MHz}$
Inrush Current	I_{INRUSH}			8	mA	Peak supply current drawn from battery during startup of internal regulators; Capacitors $C_{VDDBAT} \geq 10\text{nF}$ nom, $C_{VDDREG} = 10\text{nF}$ nom ¹⁾
Current during flash write access	I_{FLASH_WRITE}			6	mA	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$
Current consumption during undervoltage	I_{UV}		62		μA	$T_{OP} = 125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 1.6\text{V}$; Device in reset.

1) 在内部电压调节器启动阶段之后，由于内部开关事件较短，即 $\ll 1\mu\text{s}$ ，可能会产生超过 8mA 的峰值电流脉冲。如果要抑制这些峰值脉冲，可能需要使用几百 nF 的 C_{VDDBAT} 。

1.3.11 低频接收器工作范围

表 13 低频接收器工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
LF Carrier Frequency	f_{LF}	115		135	kHz	Sine wave, LF sensitivity levels are only valid for the specified carrier frequency range
LF Data Rate	DR_{LF}	3.8		4.2	kbit/s	
LF Data Rate Tolerance	TOL_{LF_DR}	-3		+3	%	
LF Frequency Detector Range	f_{DISCR_RANGE}	3			MHz	
LF Data Duty Cycle	DC_{LF}	45	50	55	%	

1.3.12 低频接收器

表 14 低频接收器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
LF Input Differential Capacitance	C_{LF_DIFF}	2.5	3.9	10	pF	$f_{LF} = 125\text{kHz}$
LF Input differential Impedance	R_{LF_DIFF}	1			MΩ	$f_{LF} = 125\text{kHz}$, $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 90°C ; AGC inactive
LF Input Differential Impedance, HT	$R_{LF_DIFF_HT}$	$1 - (T/^{\circ}\text{C} - 90)/70$			MOhm	$f_{LF} = 125\text{kHz}$, $T_{OP} = 90^{\circ}\text{C}$ to 125°C ; AGC inactive
LF-Receiver Settling Time	$t_{ON_SETTLING}$		3.0	3.9	ms	
Carrier Detector Filter Time	t_{CD}	700	1000	1300	μs	
LF Frequency Discriminator always accepted	f_{CD_DET}	112.5	125	137.5	kHz	Accepted LF frequency, in case LF carrier frequency discriminator is enabled
LF Frequency Discriminator always rejected low	$f_{CD_NODET_LOW}$	80			kHz	
LF Frequency Discriminator always rejected high	$f_{CD_NODET_HIGH}$			190	kHz	$f_{LF} < 3\text{MHz}$
Data Reception Preamble Time	$t_{SETTLING_PRE}$	2			ms	Minimum duration of preamble for telegram reception

(表格续下页.....)

表 14 (续) 低频接收器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
LF Carrier No Detect Level 2, RT	$S_{\text{NODET_CDM_2_RT}}$	0.6			mVpp	$T_{\text{OP}} = 0^{\circ}\text{C to } +50^{\circ}\text{C}$
LF Carrier No Detect Level 2	$S_{\text{NODET_CDM_2}}$	0.5			mVpp	$T_{\text{OP}} = -20^{\circ}\text{C to } +90^{\circ}\text{C}$
LF Carrier No Detect Level 2, LT & HT	$S_{\text{NODET_CDM_2_LT\&HT}}$	0.3			mVpp	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C to } -20^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{OP}} = +90^{\circ}\text{C to } +125^{\circ}\text{C}$
LF Carrier Detect Level 2, RT	$S_{\text{DET_CDM_2_RT}}$			2.15	mVpp	$T_{\text{OP}} = 0^{\circ}\text{C to } +50^{\circ}\text{C}$
LF Carrier Detect Level 2	$S_{\text{DET_CDM_2}}$			2.5	mVpp	$T_{\text{OP}} = -20^{\circ}\text{C to } +90^{\circ}\text{C}$
LF Carrier Detect Level 2, LT & HT	$S_{\text{DET_CDM_2_LT\&HT}}$			3.0	mVpp	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C to } -20^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{OP}} = +90^{\circ}\text{C to } +125^{\circ}\text{C}$
LF Data Reception No Detect Level 0, RT	$S_{\text{NODET_DRM_0_RT}}$	0.6			mVpp	$T_{\text{OP}} = 0^{\circ}\text{C to } +50^{\circ}\text{C}$
LF Data Reception No Detect Level 0	$S_{\text{NODET_DRM_0}}$	0.5			mVpp	$T_{\text{OP}} = -20^{\circ}\text{C to } +90^{\circ}\text{C}$
LF Data Reception No Detect Level 0, LT & HT	$S_{\text{NODET_DRM_0_LT\&HT}}$	0.3			mVpp	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C to } -20^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{OP}} = +90^{\circ}\text{C to } +125^{\circ}\text{C}$
LF Data Reception Detect Level 0, RT	$S_{\text{DET_DRM_0_RT}}$			2.15	mVpp	$T_{\text{OP}} = 0^{\circ}\text{C to } +50^{\circ}\text{C}$
LF Data Reception Detect Level 0	$S_{\text{DET_DRM_0}}$			2.5	mVpp	$T_{\text{OP}} = -20^{\circ}\text{C to } +90^{\circ}\text{C}$
LF Data Reception Detect Level 0, LT & HT	$S_{\text{DET_DRM_0_LT\&HT}}$			3.0	mVpp	$T_{\text{OP}} = -40^{\circ}\text{C to } -20^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{OP}} = +90^{\circ}\text{C to } +125^{\circ}\text{C}$
LF Receiver Dynamic Range	DY_{NLF}	75			dB	Defined at LF differential input pins.

1.3.13 射频发射器

射频发射器规格在 50 Ω 时有效，PAOUT 引脚和 50 Ω 点之间有适当的匹配网络。

表 15 射频发射器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
RF Low TX Frequency	$f_{\text{TX_315}}$	314	315	316	MHz	
RF High TX Frequency	$f_{\text{TX_433}}$	433	433.92	435	MHz	

(表格续下页.....)

表 15 (续) 射频发射器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
FSK deviation	f_{DEV_FSK}	35	80	100	kHz	peak to peak
Transmitter Data Rate	DR_{TX}	1		20	kbit/s	
Transmitter High Data Rate	DR_{TX_HIGH}	38.01	38.4	38.79	kBit/s	only for GFSK Modulation
RF Data Rate Tolerance	TOL_{DR}	-1		1	%	
RF Output Power at 50 Ohm, RT	$P_{RF50\Omega_RT}$	4	5	6	dBm	$V_{DD} = 2.5V$ to $3.6V$, $T_{op} = +25$ to $+60$ °C
RF Output Power at 50 Ohm	$P_{RF50\Omega}$	3		7	dBm	$T_{op} = -40$ to 0 °C, $V_{DD} = V_{TX_MIN}$ to $3.6V$; $T_{op} = +0$ to $+125$ °C, $V_{DD} = 2.5V$ to $3.6V$
RF High Output Power at 50 Ohm	P_{RF_HIGH}	10			dBm	$V_{DD} > 2.7V$, $T_{op} = 25^{\circ}C$ ¹⁾
TX Modulation Duty Cycle	DC_{TX_DATA}	45	50	55	%	Valid for ASK and FSK
TX ASK Modulation Depth	MD_{TX_ASK}	90		100	%	Definition: $MD_{TX_ASK} = (V_{High} - V_{Low})/V_{High}$
2nd Harmonic Attenuation	ATT_{2nd}	20			dBc	
Harmonics Attenuation	A_{TT_HAR}	35			dBc	Not valid for 2nd harmonic
Xtal Spurs Attenuation	ATT_{SP_XTAL}	50			dBc	
Attenuation of all other Spurs	ATT_{SP_OTHERS}	65			dBc	Below 4.4 GHz
Carrier Frequency Drift	C_{FDF_TX}	-10		10	ppm	Crystal tolerance not included. Valif for f_{TX} and f_{dev_FSK} .
Occupied bandwidth Korea (MIC 2007-63)	O_{BW_K}			180	kHz	$f_{DEV_FSK} = 90$ kHz p-p, $DR_{TX} = 19200$ bps; RBW = 10 KHz, VBW = Auto, Span = 750 KHz, Max Hold, Peak detector enabled, Sweep points=1000 "Sweep count" option disabled For GFSK or ASK.

(表格续下页.....)

表 15 (续) 射频发射器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Occupied bandwidth Japan (ARIB STD-T93)	O_{BW_J}			400	kHz	$f_{DEV_FSK} = 90 \text{ kHz p-p}$, $DR_{TX} = 9600 \text{ bps}$; RBW = 30 KHz, VBW = Auto, Span = 3500 KHz, Max Hold, Peak detector enabled, Sweep points = 1000 "Sweep count" option disabled. For GFSK or ASK.
PLL lock time	t_{PLL_LOCK}			100	μs	

1) 为了实现高射频输出功率，需要满足以下条件：VDDPA 的稳压器旁路，启动全部 16 个功率放大器级，并使用适当的天线匹配电路。集成商有责任遵守地区射频法规。

1.3.14 晶体振荡器

表 16 晶体振荡器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Crystal frequency	f_{XTAL}	25.920	26	26.080	MHz	
Crystal Oscillator Startup Time	t_{XTAL_START}			1	ms	
Crystal Oscillator Drive Current	I_{XTAL_DRIVE}	1.5			mA	

1.3.15 RC 振荡器

表 17 RC 振荡器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
LP-RC Total Tolerance	TOL_{LPRC_TOT}	-30		+30	%	Nominal frequency is 2.2kHz
LP-RC Temperature Drift	T_{D_LPRC}	-0.075		+0.075	%/K	
MP-RC Total Tolerance	TOL_{MPRC_TOT}	-5		+5	%	Nominal frequency is 90 kHz
MP-RC Temperature Drift	T_{D_MPRC}	-0.05		+0.05	%/K	
HP-RC Total Tolerance	TOL_{HPRC_TOT}	-8		+8	%	Nominal frequency is 12 MHz

(表格续下页.....)

表 17 (续) RC 振荡器

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
HP-RC Temperature Drift	T_{D_HPRC}	-0.05		+0.05	%/K	

1.3.16 时序

表 18 时序

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Power on time	t_{INI}			10	ms	Time from V_{DD} exceeding V_{THR} until serial interface ready.
Mode Selection Time	t_{MODE_SEL}	2	2.8	4	s	
Normal mode delay time	t_{NM_DELAY}			110	us	Time after I2C command for normal mode sent until application code start.
Idle Resume Time	t_{RES_IDLE}	0.3		0.45	μs	
Stand-By Resume Time	t_{RES_STBY}	263	283	303	μs	Time from resume event to execution of application code
Power Down Wake-Up Time	t_{WU}			4	ms	Time from any Wake-Up event in Power Down to application code execution start.
Watchdog timer period	t_{WD}	0.7	1	1.3	s	
LF OFF-Time Tolerance	TOL_{T_OFF}	-5		5	%	$t_{OFF} \geq 50 \text{ ms}$ ¹⁾
Short LF ON-Time Tolerance	$TOL_{T_ON_S}$	-1		1	ms	$T_{ON} < 50 \text{ ms}$ ¹⁾
Long LF ON-Time Tolerance	$TOL_{T_ON_L}$	-2		2	%	$T_{ON} \geq 50 \text{ ms}$ ¹⁾

1) 使用 FW 校准定时器后, 只要校准后温度漂移不超过 10°C, 则公差有效。

1.3.17 恢复和唤醒充电

表 19 恢复和唤醒充电

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Wake-up charge, RT	Q_{WAKEUP_RT}		0.62	0.8	μC	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; From wake-up event in Power-Down to application code execution start.
Wake-up charge	Q_{WAKEUP}			1	μC	From wake-up event in Power-Down to application code execution start
Resume from Stand-By charge, RT	$Q_{RESUME_S_RT}$			0.13	μC	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; From resume event in Stand-By to application code execution start.
Resume from Stand-By charge	Q_{RESUME_S}			0.16	μC	$T_{OP} = +125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; From resume event in Stand-By to application code execution start.
LPM Start-Up charge, RT	$Q_{STARTUP_LPM_RT}$		0.09		μC	$T_{OP} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; From LPM postcounter elapsed until LPM measurement start
LPM Start-Up charge	$Q_{STARTUP_LPM}$		0.1		μC	$T_{OP} = +125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0\text{V}$; From LPM postcounter elapsed until LPM measurement start.

2 引脚说明

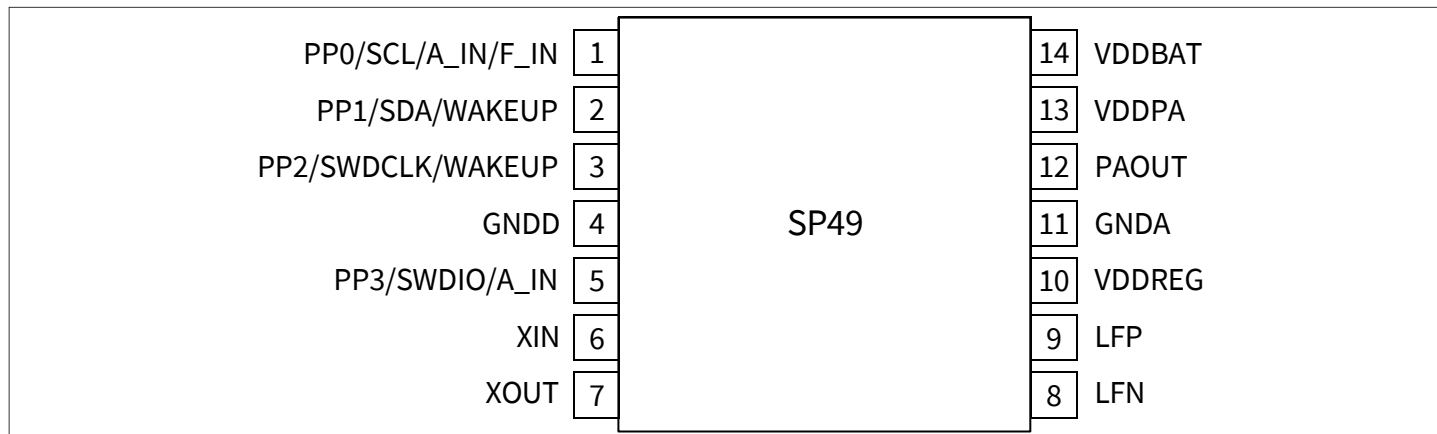


图 1 引脚说明

表 20 引脚说明

Pin	Name	Description
1	PP0/SCL/ A_IN /F_IN	General Purpose IO / I2C-SCL / Analog ADC Input / External Reference Frequency Input
2	PP1/SDA/WAKEUP	General Purpose IO / I2C-SDA / External Wake-Up ^(*)
3	PP2/SWDCLK/WAKEUP	General Purpose IO / Serial Wire Debug Interface Clock/ External Wake-Up ^(*)
4	GNDD	Digital Ground
5	PP3 / SWDIO /A_IN	General Purpose IO / Serial Wire Debug Interface Input Output/ Analog ADC Input
6	XIN	Crystal Oscillator Input
7	XOUT	Crystal Oscillator Output
8	LFN	LF Receiver Input
9	LFP	LF Receiver Input
10	VDDREG	Internal Regulated Power Supply
11	GNDA	Analog and Power amplifier Ground
12	PAOUT	RF Power Amplifier Output
13	VDDPA	Regulated Power Supply for RF Power Amplifier
14	VDDBAT	Power Supply

^(*)PP1 或 PP2 均可配置为外部唤醒源。

3 功能说明

3.1 工作模式

除了执行应用程序代码的正常工作模式外，SP49 还提供用于调试和编程的其他工作模式。编程模式用于客户的生产线，而调试模式用于应用代码开发。

表 21 工作模式

Operating mode	Device controlled by	Short Description	Entering method
Normal mode	Application code	Normal operating mode for execution of TPMS application software.	I2C command
Program mode	External I ² C Master	Used for programming application code, writing user configuration data and device locking. Additional I ² C commands available for diagnosis purposes, e.g. reading sensor measurement values.	I2C command
Debug mode	SWD interface	Used for application code development. Commands for RAM read/write, program counter manipulation, execute single step and run until breakpoint/interrupt are available. Device may also be programmed in Debug Mode.	Line reset sequence

系统复位释放后，设备等待模式选择。正常模式或编程模式由 PP0/PP1 处的特定 I²C 命令选择。调试模式通过 PP2/PP3 的线路复位序列进入。如果没有收到有效的模式选择信息，设备将在规定的超时后以正常模式启动。该超时称为模式选择时间 (MST)，参见参数 t_{MST} 。

在上电复位阶段，通过在可选通用引脚上施加一定的电压电平，可禁用 MST。如果禁用 MST，设备在复位释放后会立即以正常模式启动。在这种情况下，既不能进入调试模式，也不能进入编程模式。

禁用 MST 的电压电平可配置，可以是高电平或低电平。用于禁用 MST 的引脚是可选的，可以是 PP0、PP1、PP2 或 PP3。如果没有选择引脚，则 MST 始终处于激活状态。相应的配置信息位于用户闪存的第一行。

3.2 设备状态

表 22 设备状态

Device State	Description	Main purpose
Run State	CPU running	Application Code or Firmware execution
Idle State	CPU halted. Device is waiting for a resume event and immediate (t_{RES_IDLE}) code continuation. Device fully powered.	Used if software needs to wait a short time for a hardware event.
Stand-By	CPU halted. Device is waiting for a resume event and fast (t_{RES_STBY}) code continuation. Fewer circuits powered as in Idle. RAM powered.	Used together with the Sampling Timer, e.g. for RF Interframes or in wait states between subsequent measurements.
Power Down	Digital Core powered down. Lowest current consumption because only few circuits remain powered, mainly the Interval Timer and optionally the LF Receiver and Low Power Monitoring (LPM).	Power saving state during long time intervals where the device is waiting for a hardware Wake-Up event.
Thermal Shutdown	Almost all circuits shut off apart from a temperature detector and the Interval Timer. Resume to Run State if temperature returns to normal operating range.	Device protection against overstress in case of ambient temperature out of operating range.

3.2.1 状态转换

图 2 显示了正常工作模式下可能的状态转换。设备的中心状态是运行状态，因为状态转换只能在运行状态之间进行。运行状态以外的设备状态由应用程序代码控制进入。返回运行状态由硬件事件源触发，例如定时器下溢标志和 LF 标志。

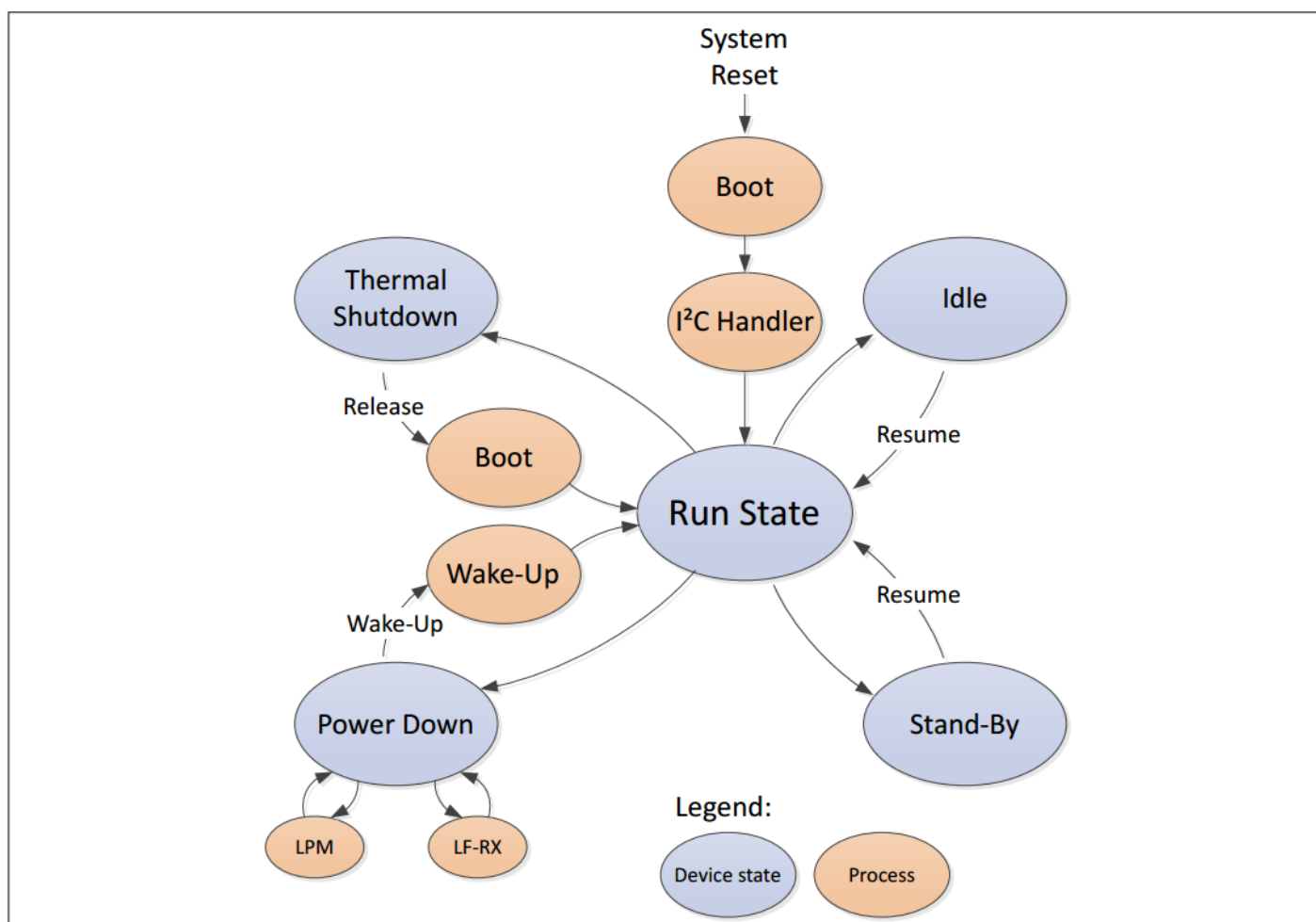


图 2 状态转换图

恢复事件可恢复 CPU 上下文，并在进入待机或空闲状态后继续执行代码。唤醒后，代码执行从复位向量开始。

3.2.2 热关断

为了避免在正常工作温度范围之外出现未定义的设备行为，该设备提供了进入热关断状态的选项。

如果环境温度上升超过定义的热阈值 T_{HOT_E} ，或降低低于定义的冷阈值 T_{COLD_E} ，则可进入热关断。热关断完全由应用程序代码控制，不会自动进入。

设备一直处于热关断状态，直到环境温度恢复到正常工作范围，即温度达到规定的上限阈值 T_{COLD_REL} 或下限释放阈值 T_{HOT_RELO} 。

当热关断解除时，设备重新进入运行状态，并设置一个专用标志，向应用程序指示这种情况。

进入和释放热关断的阈值之间有一个确定的滞后，见图3。

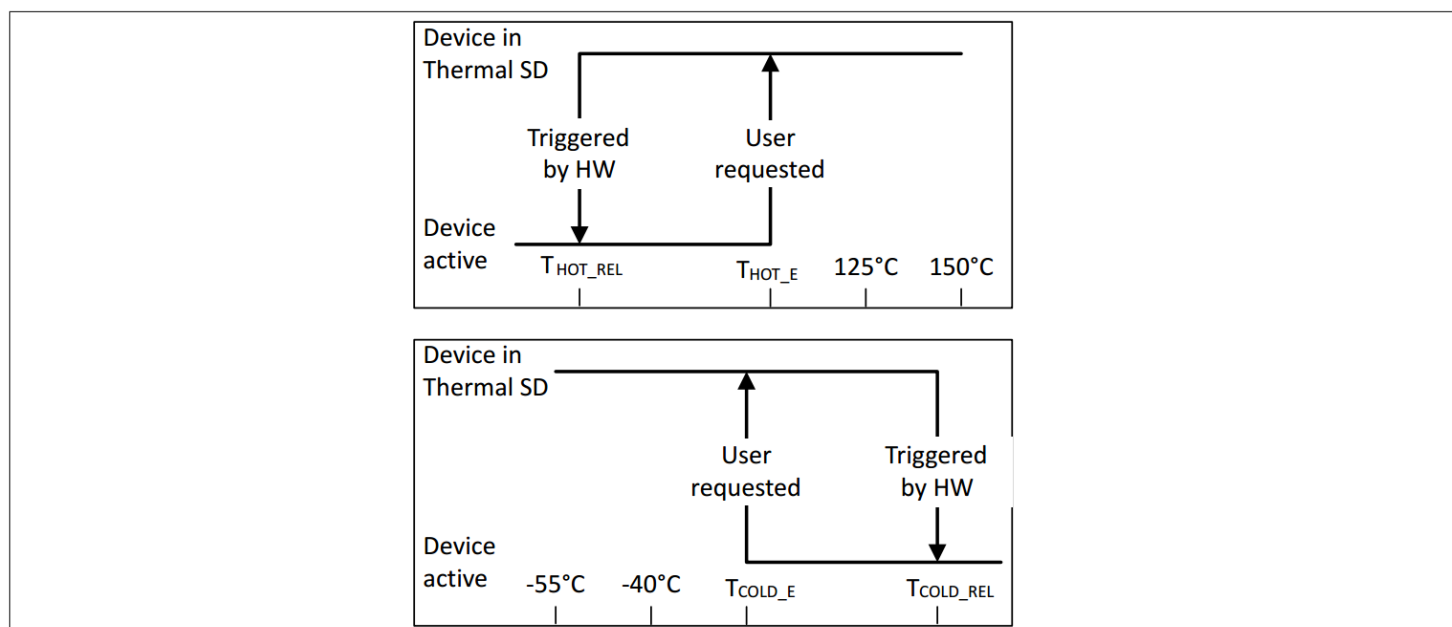


图3 热关断滞后

3.3 框图

SP49 可以看作是三个控制器和外设的组合，专门针对 TPMS 应用进行了优化。按等级顺序，控制器包括唤醒控制器、系统控制器和内核。

唤醒控制器始终处于启用状态，并在掉电状态下控制设备。这里的主要功能包括间隔定时、低频接收器与低频开/关定时器的控制以及低功耗监测（LPM）的定时。

系统控制器依赖于唤醒控制器，仅在执行无需内核即可执行的特殊高级任务时才会激活。重要的任务是控制测量接口和功率域以及采样定时。

内核基于 ARM® Cortex® M0+ MCU。它只有在系统控制器启用相应电源域的情况下才能运行。ARM® 控制器用于执行固件和应用软件。内核包括一个看门狗定时器、一个 CRC 单元、一个 I2C 控制器和一个调试访问端口 (DAP)。此外，还实现了四个通用定时器，其中两个用于固件，另外两个用于应用代码。

存储器模块包括用于应用代码和用户数据的闪存、用于固件的 ROM、ARM® 控制器使用的 RAM 和用于硬件控制的特殊功能寄存器 (SFR)。部分 SFR 和 RAM 采用保留存储器的方式，在所有设备状态下都能保留其内容。

专用外设包括测量接口、射频发射器和低频接收器。这些外设的运行由固件功能提供支持。射频发射器由 MCU 控制，但发射器的部分数据处理由硬件完成，如从 FIFO 中移位和位编码。

电源模块为不同的电源域提供电压。电压域由系统控制器按需激活，从而实现最低的系统电流消耗。

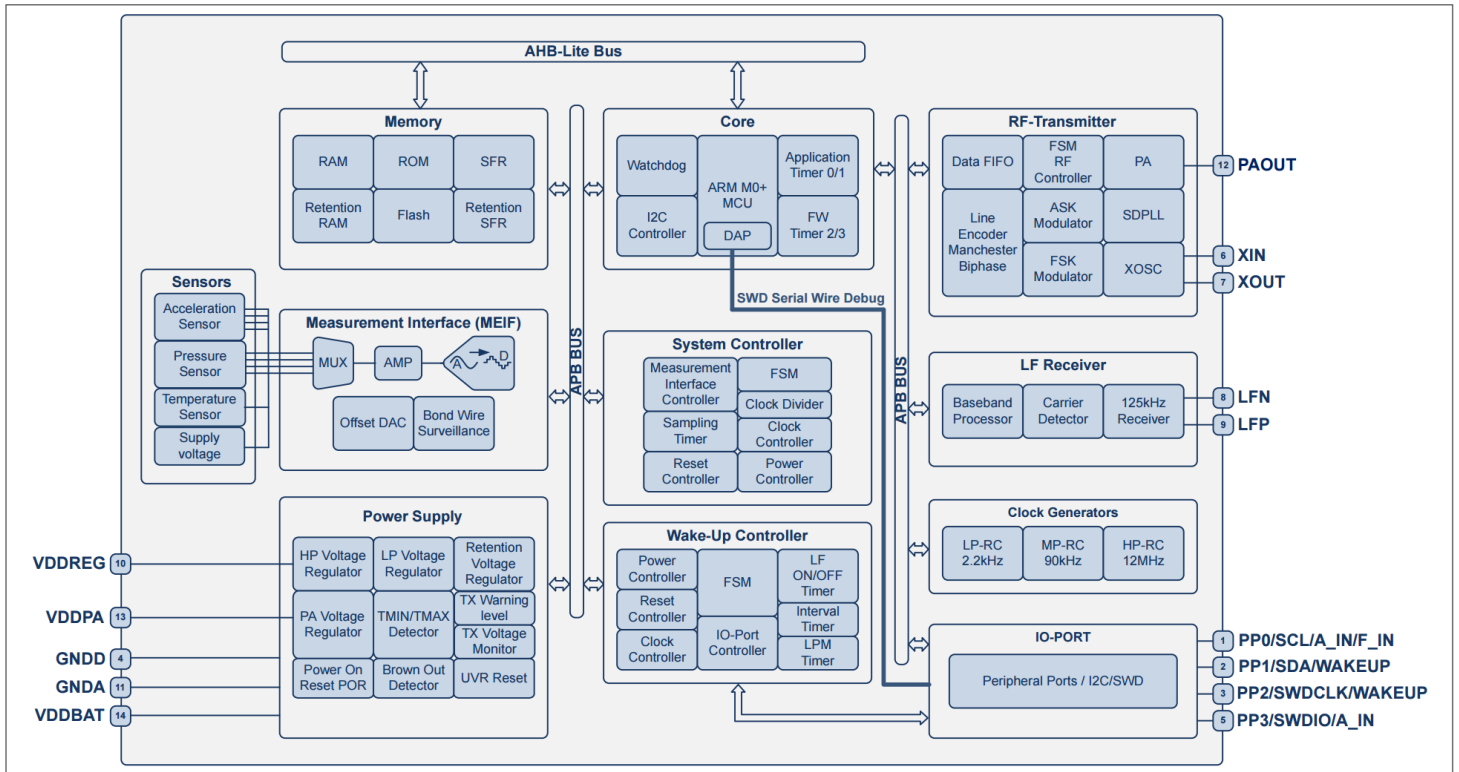


图 4 框图

3.4 系统复位

为避免设备运行超出工作范围或持续出现故障，设备设有复位电路。复位可能由各种来源触发：

- 上电 (POR)
- 欠压检测器，监测 VDDBAT 电压
- 断电检测器，监测稳压的 1.5V 电压域
- 闪存错误，即在闪存字中检测到 2 位错误时 (ECC2) 复位
- 看门狗
- 软件复位

复位释放后，应用程序代码能够通过读取专用标志来确定复位源。

3.5 传感器测量

该设备可以测量以下物理量：

- 绝对压力
- 温度
- VDDBAT 引脚电压
- 垂直于设备安装平面的加速度

集成的测量接口包括一个 ADC，可由应用软件按需触发。由此产生的 ADC 原始读数可通过固件库函数进行补偿，这些函数使用存储在制造商闪存区的各个校准系数。所有校准系数都有 CRC 值作为保证。

3.6 数字内核

3.6.1 微控制器

该设备包括一个 ARM® Cortex® M0+ 低功耗微控制器内核，该内核可执行用户应用软件，并允许使用和配置设备。

3.6.2 GP 定时器/计数器

该设备包括两个可配置的 16 位定时器/计数器，供应用软件专用。除其他外，这两个定时器还可从以下来源获取时钟：

- HP-RC (12 MHz) 除以 4
- 晶体振荡器除以 8
- MP-RC (90 kHz)
- LP-RC (2.2 kHz) 乘以 2

这两个定时器都采用了时钟预分频器，可实现多种分频比。

两个定时器都能在运行状态和空闲状态下工作。启动后，当编程时间间隔已过，每个定时器/计数器都会立即设置一个标志，向微控制器发出一个恢复事件，并（在相应配置的情况下）自动重新开始计数。

3.6.3 看门狗定时器

设备有一个看门狗定时器，默认情况下复位后启用。看门狗定时器使用与 CPU 内核不同的时钟，在运行状态和空闲状态下工作。在待机状态下，看门狗定时器停止运行并保持其值。从待机状态恢复后，它不会自动复位。

在掉电状态下，看门狗定时器被禁用，不起作用。掉电唤醒后，看门狗定时器自动复位。

在由 I2C 控制设备的编程模式下，固件 I2C 处理程序会重置看门狗。在调试模式下，看门狗处于非激活状态。

如果看门狗定时器溢出，将触发设备复位。专用的看门狗复位标志被设置为在设备重启后向应用软件通知复位源。

3.6.4 唤醒和恢复源

有多种来源可用于从低功耗状态唤醒或恢复设备：

- 间隔定时器
- 通用定时器（从空闲状态恢复）
- 采样定时器（从待机或空闲状态恢复）
- 低频接收器
- 低功耗传感器监测 (LPM)
- 唤醒引脚（PP1 或 PP2）
- 热关断唤醒温度检测器

当 CPU 在低功耗状态下发生唤醒事件时，相关的唤醒标志会被设置。如果事件未被屏蔽，则会产生唤醒/恢复，设备进入运行状态，应用代码可读取唤醒标志以识别唤醒源。可通过向其写入 "1" 单独清除每个唤醒标志。没有自动清除机制。

3.6.5 CPU 唤醒和恢复事件

表 23 唤醒/恢复事件

Event Type	Description of the event	Wake-Up / resume from states
Interval Timer	Interval timer (post-counter dedicated to CPU Wake-Up) expired	Power Down / Stand-By / Idle
LF Sync Pattern	LF Receiver is activated in Data Reception Mode (DRM) mode and a valid LF-Sync pattern is detected	Power Down / Stand-By / Idle
LF Pattern 0/1/2/3	LF Receiver is activated in DRM mode and a valid LF Wake-Up pattern is detected	Power Down / Stand-By / Idle
LF Carrier	LF Receiver is activated in Carrier Detection Mode (CDM) mode and a valid carrier is detected.	Power Down / Stand-By / Idle
LF End of Message	A complete LF frame has been received, i.e. a violation of Manchester coding is detected.	Power Down / Stand-By / Idle
LF buffer full	LF data buffer is full.	Power Down / Stand-By / Idle
Wake-Up pin	This event occurs each time an active low or high level (selectable) is detected on a Wake-Up pin.	Power Down / Stand-By / Idle
Thermal shutdown release	The device returns from Thermal Shutdown after temperature reaches the release threshold.	Thermal Shutdown
Timer 0/1	Timer / Counter 0 or 1 reaches underflow or overflow depending on user configuration.	IDLE
Sampling Timer	Sampling Timer reaches underflow or overflow depending on user configuration.	Stand-By / Idle
Low Power Monitoring	Low Power Monitoring has detected pressure / acceleration / temperature out of window.	Power Down

除热关断和间隔定时器事件不可屏蔽外，所有事件均可通过单独的屏蔽位屏蔽。当任何其他事件被屏蔽时，不会产生唤醒或恢复。

3.6.6 调试模式

该设备具有全面的调试功能，包括

- 运行至断点（4 个断点）
- 数据观察点时停止（2 个观察点）
- 单步
- 读写程序计数器
- 可读写 RAM、保留 RAM 和所有客户 SFR。

此外，调试模式还允许

- 读写（编程）所有用户闪存扇区
- 使用正常模式下的所有 FW 和 HW 功能及外设
- 使用所有低功耗状态，并在低功耗状态结束时恢复调试
- 在所有低功耗状态下设置并保持断点和观察点

3.6.7 采样定时器

该设备包括一个采样定时器，可在运行、空闲或待机状态下工作。定时器可通过 FW 函数 Lib_Calib_Sample_Timer 进行配置。当编程采样时间结束后，定时器将设置一个专用事件标志，并产生一个恢复事件。程序设定的采样时间结束后，定时器自动重新启动。采样定时器由 MP-RC 时钟（90 kHz）提供时钟，主要用于 GP 定时器不起作用的待机状态。

3.6.8 间隔定时器

该器件有一个可编程的低功耗间隔定时器 (IT) ，在复位释放后开始工作。它由一个 9 位长的前置计数器和一个 12 位长的后置计数器组成，前置计数器的时钟由 LP-RC 提供 (2.2kHz) 。前置计数器始终运行，并为后置计数器产生时钟。IT 不能被禁用，并会在过期时设置一个唤醒标志。该唤醒功能在正常模式下不可屏蔽。

3.6.9 低功耗监控

为了延长电池寿命，该设备提供了低功耗监控（LPM）功能，允许定期中断掉电状态，以便在不执行应用程序代码的情况下采集和监控压力、加速度和温度原始值。原始值分别与上阈值和下阈值进行比较。如果原始值低于相应的下阈值或超过相应的上阈值，就会产生设备唤醒。

与运行状态不同，LPM 始终在不进行任何自诊断检查和不检查 ADC 溢出或下溢的情况下进行测量。这是因为 LPM 仅被视为唤醒源。因此，应用程序代码无法访问 LPM 测量结果。

图 5 进一步说明了 LPM 的行为：

1. 这三个物理量的监测时间间隔可单独设置。为此，实现了三个 10 位长的 LPM 后置计数器，分别用于压力、温度和加速度测量。如果某个 LPM 后置计数器的预加载值设置为零，则相应的 LPM 测量将被停用。LPM 后置计数器由间隔定时器前置计数器计时。因此，LPM 测量和间隔定时器是同步的。
2. 当任何一个单独的时间间隔结束时，相应的标志 (LPMx_PEND) 将被设置，表示 LPM 测量待定。如果设备处于 "掉电" 状态，则过渡到 "运行" 状态。不过，在多个监控事件同时发生的情况下，会启动一个任务调度程序，按照用户可编程的顺序（优先级）进行测量，而不是运行应用程序代码。在所有其他设备状态下，LPMx_PEND 标志被设置，但调度程序不会启动，也不会执行测量。
3. 测量结束后，立即将测量结果与相应的阈值进行比较。如果超过阈值，则会设置 LPM 唤醒标志 (LPMx_FLAG) 并生成设备唤醒。优先级较低但仍在进行的测量不会被执行。
4. LPMx_FLAG 向应用程序指明是哪个物理量产生了唤醒。它们必须由应用软件清除。
5. 进行相应测量后，FW 将清除 LPMx_PEND 标志。如果在进行所有测量之前发生唤醒，则不会清除待清除的 LPMx_PEND 标志。在这种情况下，应用程序 SW 可以读取并必须清除 LPMx_PEND 标志。
6. 其他唤醒事件（如果未屏蔽）的优先级高于 LPM 测量，例如由 LF 接收器或间隔定时器触发的事件。不过，这种唤醒不会中断正在进行的 LPM 任务，而是要等到任务完成。（LPM 任务包括实际测量采集、将结果与阈值进行比较，以及在超出阈值时设置 LPMx_FLAG）。
7. 请注意，低频接收器可与 LPM 并联运行。

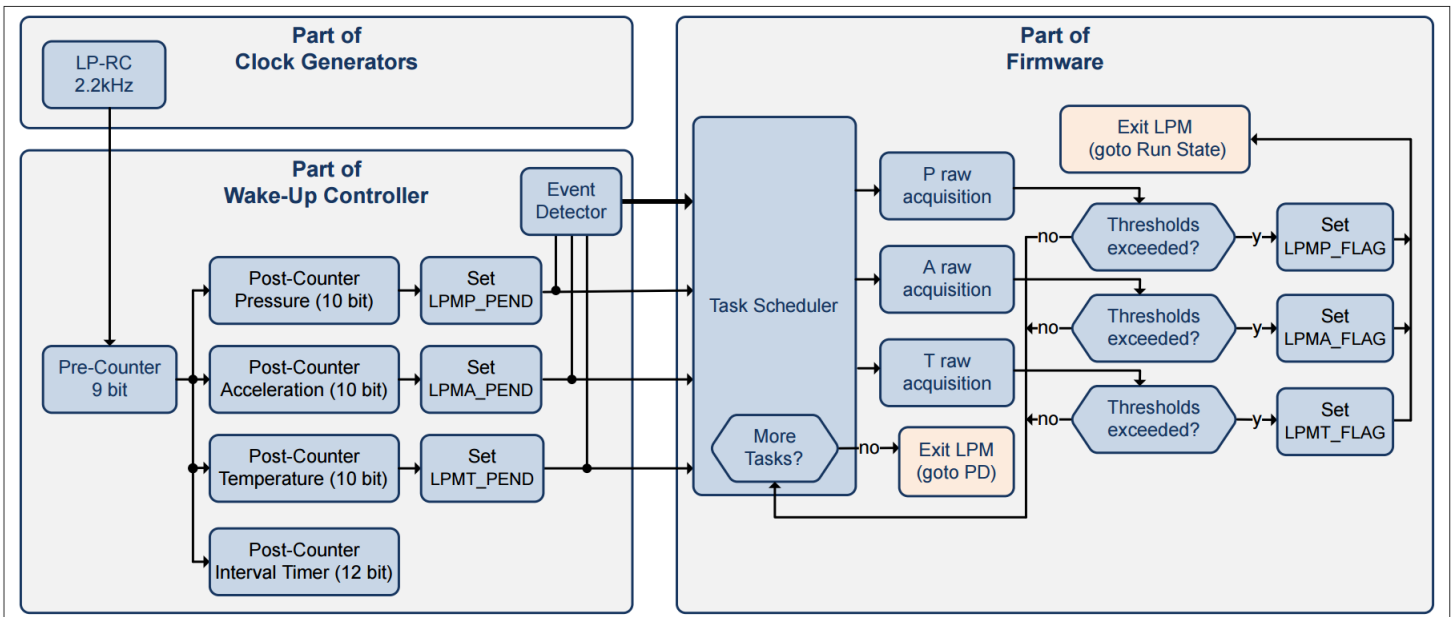


图 5 LPM 事件流程

3.7 用户闪存

用户闪存总容量为 19 kByte，分为 8 个物理扇区，如下 图 6 所示。从低地址到高地址，闪存分为三种逻辑扇区：

1. 引导扇区 (BS)：1 kByte 至 7 kByte
2. (多个) 用户配置扇区 (UCS)：0 至 6 个 1 kByte 的扇区
3. 用户代码扇区：12 kByte 至 18 kByte

将闪存块分配到三个扇区时，只有以下三个限制条件适用：

- 第一个 1 kByte 块始终是 BS，但也可用于普通应用代码。
- 随后 6 kByte 可以以 1 kByte 为单位自由分配给三种逻辑扇区类型。
- 12 kByte 块始终分配给代码扇区。

UCS 始终为 1 kByte。如果需要超过 1 kByte 的用户配置存储器，可配置多个独立的 UCS。

第一个 1 kByte 块包含 32 字节长的闪存配置行。这 32 个字节不能用于引导扇区。闪存配置行用于配置引脚设置，以禁用模式选择时间、设置闪存配置以及启用或禁用器件保护。

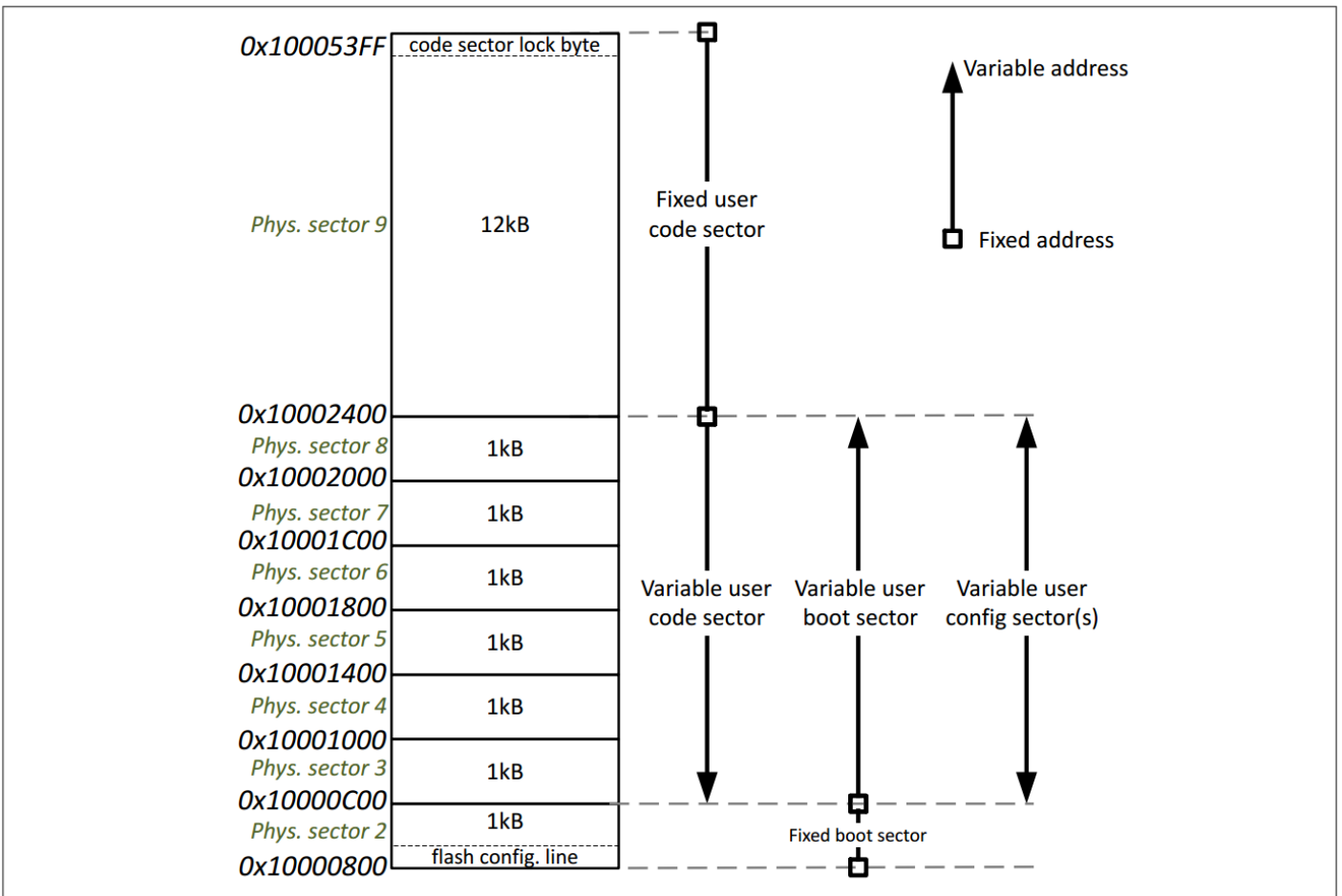


图 6 用户闪存

如果用户闪存的闪存配置行为空白或无效，则适用图 7 所示的默认配置。

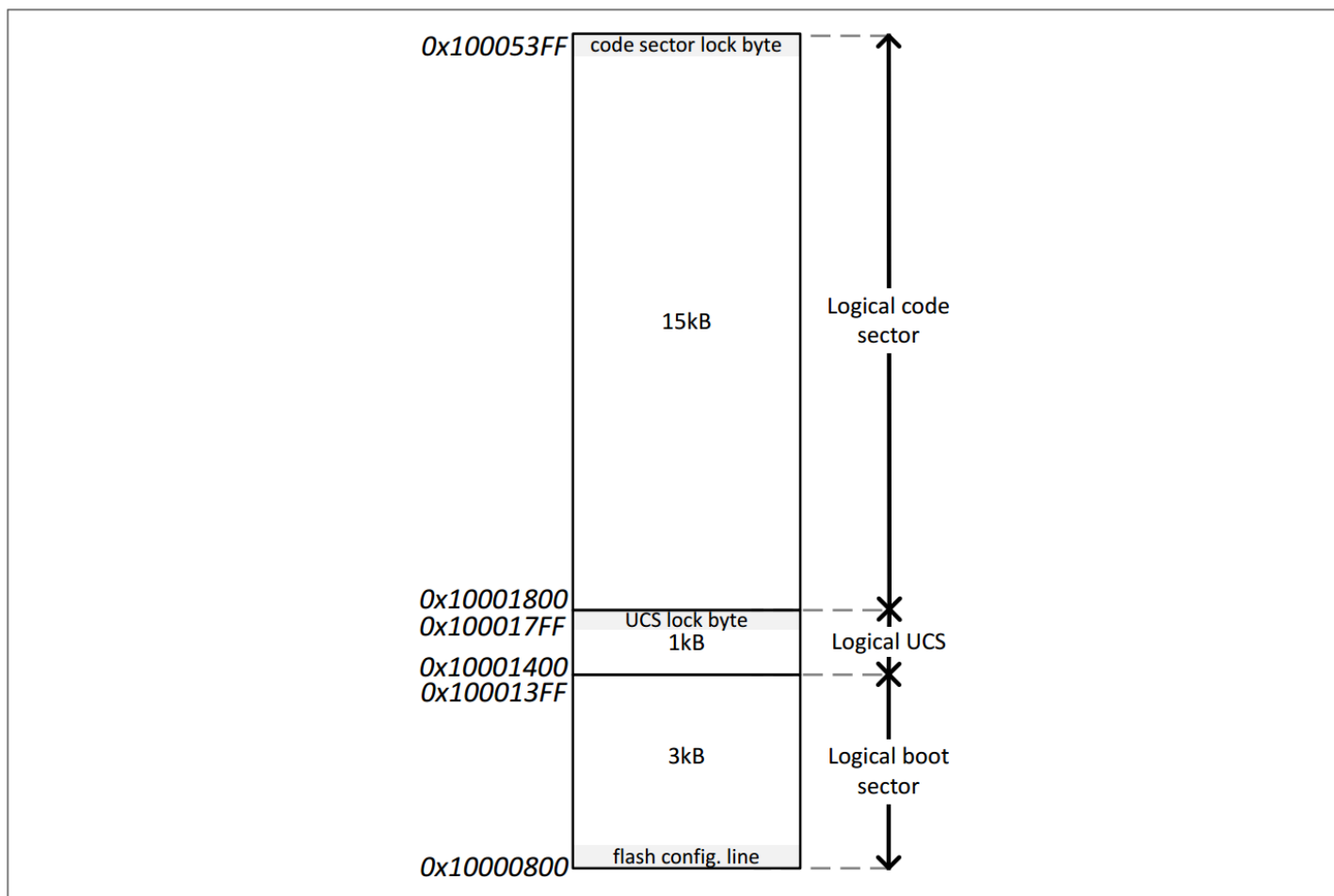


图 7 用户闪存默认配置

3.7.1 设备保护

设备具有保护 IP（即用户代码或任何其他用户数据）的机制。通过将闪存配置行的最后两个字节设置为 0x6969 可以激活该功能，只有通过编程模式命令完全擦除用户闪存才能停用该功能。设备保护在复位后生效。设备行为如下表所示。

表 24 设备保护

		Device protection activated			Device protection deactivated		
		read	write	erase	read	write	erase
Program Mode	Boot sector	no	no	all together	yes	yes	yes
Program Mode	Code sector User config sector(s)	no	no	all together	yes	LB depending	individually
Debug Mode	Boot sector	no debug mode available			yes	yes	yes
Debug Mode	Code sector User config sector(s)				yes	LB depending	individually
Normal Mode	Boot sector	yes	no	no	yes	no	no
Normal Mode	Code sector	yes	LB depending	yes	yes	LB depending	yes
Normal Mode	User config sector(s)	yes	LB depending	individually	yes	LB depending	individually

LB 指逻辑用户扇区的单个锁定字节。

3.7.2 锁定字节

除引导扇区外，每个逻辑用户扇区都预留了两个字节用于扇区锁定，以防止意外写入该扇区。锁定的扇区仍可读取或擦除。擦除锁定的扇区后，在下次设备复位或唤醒后将其解锁。设置两个锁定字节后，只有在设备复位或唤醒后锁定才会生效。

3.8 外设

3.8.1 通用 I/O

该器件有四个可配置的通用 I/O 引脚，分别命名为 PP0 至 PP3。应用软件可通过 SFR 对每个 I/O 引脚进行如下配置：

- 输出（推挽式）
- 输入（三态）
- 输入（带内部上拉电阻器）
- 输入（带内部下拉电阻器）

当器件在 POR 之后以正常模式启动时，所有 I/O 引脚默认配置为带上拉的输入。I/O 配置在所有设备状态下均保持不变。

PP1 或 PP2 均可配置为唤醒功能，以便从外部唤醒设备。引脚唤醒功能在复位期间和复位后自动禁用，可通过应用软件启用。

PP0 和 PP1 与 I2C 接口的 SCL/SDA 共享，PP2 和 PP3 与 SWD 接口共享。有关 PP 引脚的其他共享功能，请参阅第 2 章中的引脚说明。

3.8.2 串行接口

该器件具有两个片上串行同步接口，分别用于编程和调试。每个接口使用两个引脚，一个用于串行时钟，一个用于串行数据。

首先，它包含一个高速硬件主/从 I2C 接口，可通过特殊命令进行编程或在线测试。POR 释放后，它默认在从机模式下启用，以接收来自外部主机的命令。在正常模式下，I2C 接口默认为禁用，可配置为主机设备，以便连接外部从设备，例如外部传感器。

第二个接口是用于调试的标准 SWD 接口，默认情况下在 POR 释放后启用。SWD 接口允许在调试过程中对设备进行编程。因此，即使 I2C 引脚在应用中用于其他目的，也可以对设备进行编程和调试。

3.8.3 模拟输入

PP0 或 PP3 可配置为单端模拟输入。模拟信号直接路由到集成的 ADC，用于对模拟信号进行采样。不对信号进行模拟放大或滤波。有关模拟输入的规格，请参阅参数部分。

3.9 RAM 和寄存器

3.9.1 保留 RAM

设备包含总计 256 字节的保留 RAM (Saved RAM)。其中 192 字节可供应用程序代码使用。固件永久保留 64 个字节。

3.9.2 易失性 RAM

设备包含 1 kbyte 易失性 RAM，其中固件库函数最多使用 512 字节。

3.9.3 特殊功能寄存器

SP49 的硬件由特殊功能寄存器 (SFR) 控制。它们按内部和外部 SFR 进行分类。外部 SFR 可由应用程序代码访问。详见 SP49 用户手册。内部 SFR 仅由固件修改。它们受到保护，不会被应用程序代码写入。

3.10 低频接收器

低频接收器是一个独立的电路块，可在除热关断外的所有设备状态下运行。它能在低频载波检测 (CDM) 或 ASK 调制报文接收 (DRM) 时从任何低功耗状态唤醒/恢复设备。接收器可解码标准同步序列和反转曼彻斯特 (逻辑"0" 编码为 ASK 高到 ASK 低的转换，逻辑"1" 编码为 ASK 低到 ASK 高的转换) 编码数据。

默认情况下，低频接收器在 POR 后禁用，可通过应用软件启用和配置。一旦启用低频接收器，无论设备处于何种状态，它都将继续运行，热关断除外。

低频接收器唤醒/恢复事件是可屏蔽的，即屏蔽事件不会唤醒设备。在运行状态下，低频接收器事件不会对运行中的操作产生任何影响，无论它们是否被屏蔽。

3.10.1 低频接收器占空比

为了节约能源，低频接收器可选择以可配置的占空比运行。

- 在接通时间内，低频接收器可完全工作，并能检测低频载波 (CDM) 或低频报文 (DRM)。
- 开启和关闭时间可通过 FW 函数 (Lib_Calib_LF_OnOff_Timer) 进行配置。
- 关断时间和接通时间容差由 TOL_{t_OFF} 、 $TOL_{t_ON_S}$ 和 $TOL_{t_ON_I}$ 指定。
- 配置的接通时间是有效的接通时间，即低频接收器的静置 (见 $t_{ON_SETTLING}$) 不包括在所选的接通时间内，而是由固件自动考虑。

3.10.2 低频载波检测模式 (CDM)

CDM 最多检查三个标准，以证明信号的有效性：

1. 信号振幅：标准始终启用。当输入信号高于指定和可配置的电平时，它就会生效。
2. 信号持续时间：标准为可选项。当输入信号持续指定的时间 t_{CD} 时，该标准才成立。
3. 信号频率：标准为可选项。当输入信号的频率在指定范围 f_{CD_DET} 、 f_{CD_NODET} 内时，它才有效。

可选标准可通过应用软件启用或禁用。一旦所有启用标准都得到满足，低频接收器就会设置一个可屏蔽事件标志。如果未屏蔽，事件会将设备从任何低功耗状态唤醒/恢复到运行状态

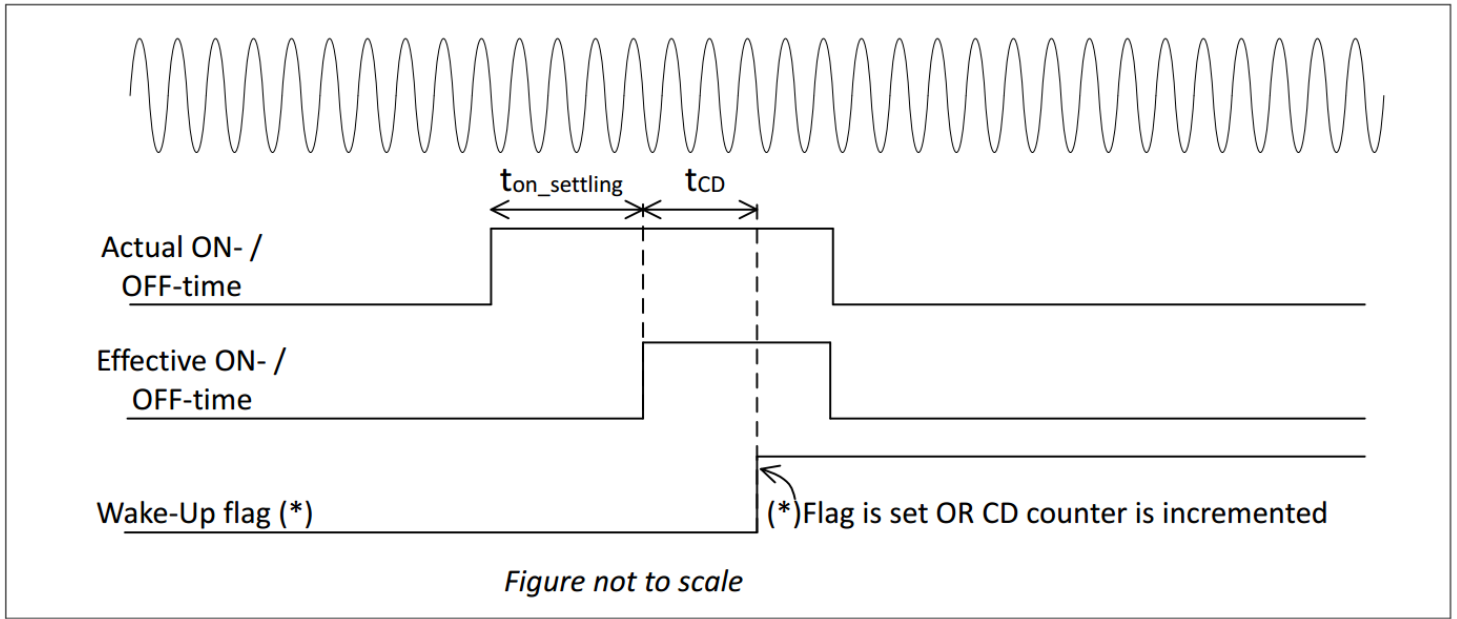


图 8 当低频接收器的占空比小于 1 时的载波检测时序图

3.10.3 载波检测计数器

为了检测持续数个占空比的长载波脉冲，还提供了一个计数器，在满足所选 CDM 标准的情况下，每个接通时间计数一次。成功检测到载波后，低频接收器会立即关闭，直至剩余的接通时间。如果计数器达到可配置的次数，低频接收器就会产生一个唤醒/恢复事件。可配置的最大数量为 64。如果在任何接通时间内没有检测到载波，计数器将被重置。

3.10.4 低频数据接收模式 (DRM)

在 DRM 中，低频接收器的行为如下：

1. 在数据接收模式下，每次开启低频接收器时，基带处理器都会关闭，接收器会监测输入信号的振幅。当振幅达到指定水平时，基带处理器就会开启。
2. 基带处理器启用后，接收器开始扫描输入信号，寻找有效的同步模式。当接收器处于占空比循环时，一旦同步模式解码开始，接通时间就会延长。如果无法正确检测到同步模式，接收器会在标称 4 毫秒至 1020 毫秒的可配置超时后关闭，超时时间可按 4 毫秒为单位进行编程。
3. 同步模式识别成功后，接收器将保持开启状态，直至报文结束，忽略实际开启时间。通过曼彻斯特编码违规检测到报文结束。
4. 接收器分别在成功检测到同步模式、唤醒模式、可配置的接收数据字节数后以及曼彻斯特码违规时设置事件标志。

3.10.5 低频电报

该设备能够接收由四个阶段组成的调幅低频电报：

1. 前导码。它是一串曼彻斯特编码的"0"，最小长度由 $t_{\text{SETTLING_PRE}}$ 指定。前导码使接收器能够稳定其模拟电路，并正确检测有效的信号幅度。
2. 同步模式。它使接收器与接收到的比特流同步。
3. 唤醒模式。它紧随同步模式。它可以由 8 或 16 个曼彻斯特编码比特组成。
4. 数量可变的曼彻斯特编码数据字节，无缝跟随唤醒模式。

3 Functional Description

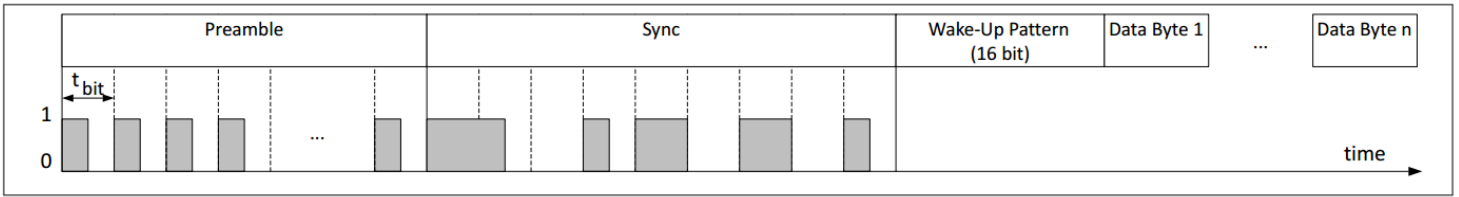


图 9 低频电报

图 9 中的阴影区域代表低频 125kHz 载波。

3.10.6 唤醒模式

该设备提供四种曼彻斯特编码唤醒模式，并有以下选项，应用软件可分别对每种模式进行配置：

- 启用/禁用模式
- 模式长度为 8 或 16 位
- 模式值

如果四种唤醒模式都被禁用，唤醒模式阶段将被跳过，基带处理器将在成功检测到同步模式后继续解码数据字节。

模式匹配时，每个模式都有一个单独的事件标志。如果未被应用代码屏蔽，每个事件标志都能触发唤醒/恢复。唤醒模式接收期间的解码错误不会产生设备唤醒/恢复。

3.10.7 数据解码和存储

解码唤醒模式后，接收器开始数据解码，直到检测到曼彻斯特违规。如果检测到曼彻斯特违规行为，就会设置一个专用事件标志。接收器自动将解码后的数据字节存储在一个 8 字节长的环形缓冲器中。可对接收器进行配置，使其在写入面向字节的环形缓冲区的指定位置时设置事件标志。该位置可由应用软件配置。

唤醒/恢复后，应用程序代码可以识别环形缓冲区的哪些位置已被加载，并读取数据。

对于面向字节的环形缓冲区的每个位置，都有一个软件可读标志，如果相应的字节位置在软件读取之前被接收器覆盖，该标志就会被设置。

3.10.8 接收低频数据位

接收器也能接收完整的半字节。如果低频报文以半字节结束，则将其存储到接收缓冲区，并设置标志 LFDRXINFO.TOM。

对于接收单个编码比特，用户应用程序可使用比特 LFDRXINFO.LFBP、.LFDATA、.LFOV 和 .DECERR。单个比特的接收必须由应用程序代码处理，例如在这种情况下不能使用接收缓冲区。

3.10.9 切换模式

在切换模式下，接收器在 DRM 和 CDM 之间从 ON 相切换到 ON 相。

应用软件可决定在启用接收器后的第一个导通周期使用哪种模式。

如果低频接收器持续开启，它仍然可以在切换模式下运行。在这种情况下，切换间隔由接通时间设置决定。

3.11 射频发射器

3.11.1 功率放大器

RF-TX 功率放大器的晶体管级数可配置（1 至 16 级）。此外，还提供用于射频输出级供电的稳压可调节电压。这样就可以通过应用软件调节射频输出功率。

3.11.2 射频调制方案

该设备允许用户选择以下一种调制方案：

- ASK
- OOK
- FSK
- GFSK

该设备允许在连续帧之间改变调制方案，帧与帧之间由帧间间隔隔开。在 ASK/OOK 和 FSK/GFSK 之间切换时，ASK/OOK 载波频率与 FSK/GFSK 中心频率相同，反之亦然。

3.11.3 射频脉冲串和帧间时序

射频数据通常以若干帧为单位进行传输。在这些脉冲串之间，设备处于待机状态。采样定时器用于为这些帧间间隔计时。

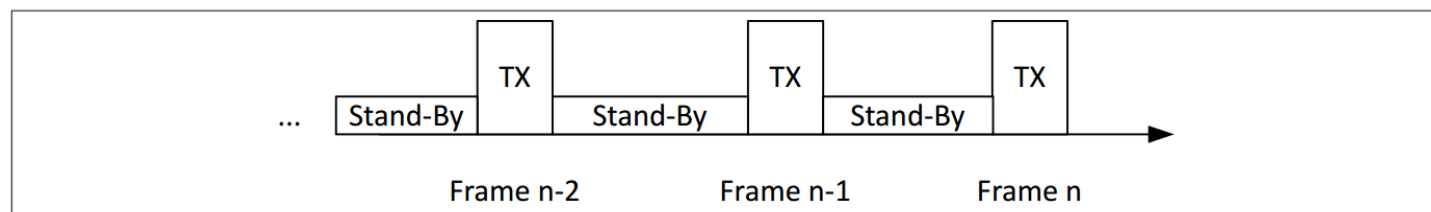


图 10 射频脉冲串和帧间时序

3.11.4 射频帧

在单个帧内，射频发射器支持 8 至 256 比特的有效载荷，有效载荷重复次数最多可达 15 次。有效载荷可根据以下方案进行编码：

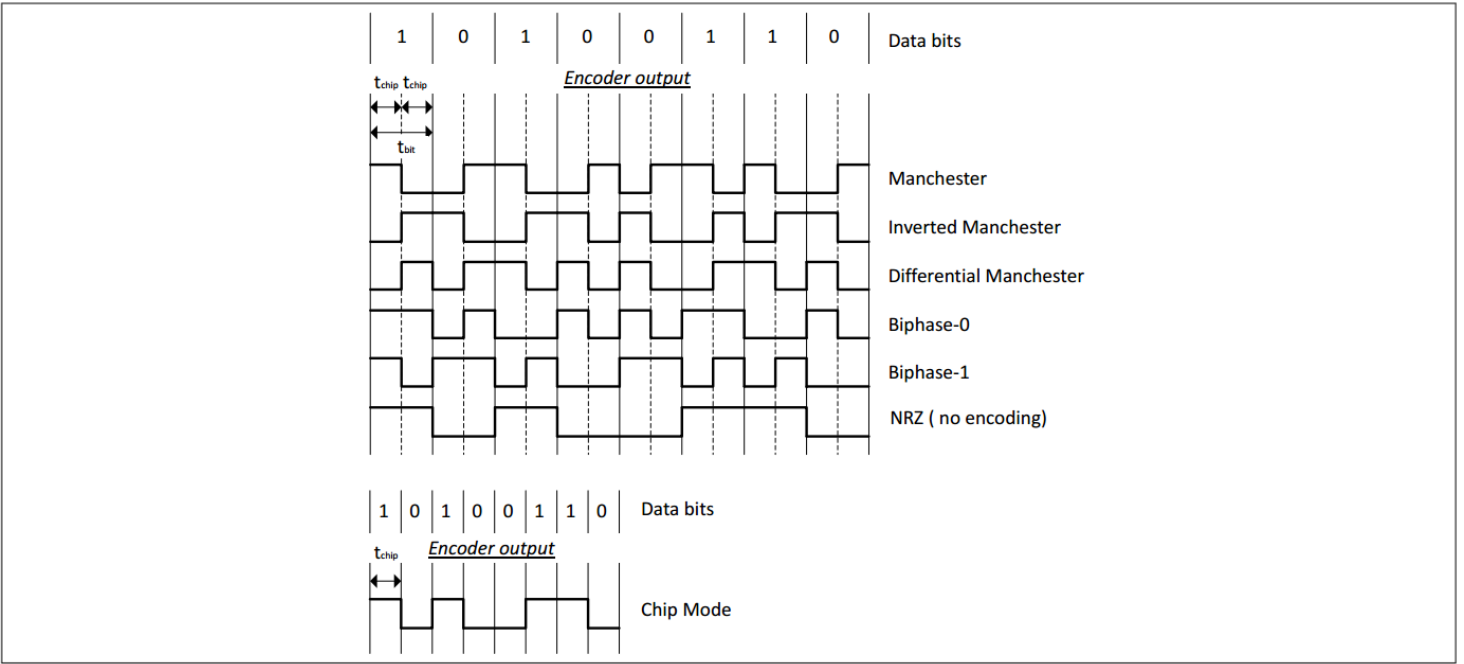


图 11 射频帧的可能编码方案

除了"芯片模式"之外，所有其他编码方案的编码器都会从每个数据位生成两个芯片。因此，比特率是芯片速率的一半（或波特率的一半），即 $t_{bit} = 2t_{chip}$ 。在"芯片模式"中，比特率等于芯片速率。

3.11.4.1 SOM 和 EOM

射频发射器支持最大长度分别为 255 位的信息开始（SOM）和信息结束（EOM）模式。

SOM 在每个射频帧开始时传输一次。第一个有效载荷位紧随其后，没有任何延迟。EOM 在每个射频帧结束时传输一次。它跟随最后一个有效载荷比特，没有任何延迟。

对于 SOM 和 EOM，可采用与有效载荷相同的编码方案。编码可独立于有效载荷编码进行配置。

SOM、有效载荷和 EOM 的芯片速率始终相同，在一个帧内不能改变。

用于传输 SOM 和 EOM 模式的调制类型（即 ASK 或 FSK）与有效载荷相同。

3.11.5 射频传输中止

以下错误会导致正在进行的射频传输立即中止：

- PLL 未锁定
- 晶体振荡器不稳定或停止
- 电池电压低于 V_{TX_MON} （可选）

在上述任何一种情况下，PA 输出都会立即关闭，然后设备返回到应用程序代码执行状态。专用状态标志向应用程序说明中止的原因。

3.11.6 射频电压警告和监控

在射频传输过程中，设备可选择监控电池电压，并将其与两个固定阈值进行比较。如果电压低于第一个阈值 V_{TX_MIN} ，则会设置警告标志。在完成射频传输后，可在应用代码中读取该标志。如果电池电压低于第二个阈值 V_{TX_MON} ，射频功率放大器将立即关闭，以避免设备重置，因为 V_{TX_MON} 高于欠压重置阈值 V_{UVR_AO} 。

虽然上述三个阈值很接近，但 $V_{TX_MIN} > V_{TX_MON} > V_{UVR_A}$ 的关系是设计给出的。警告和监控功能只能同时启用。

4 应用电路

SP49 的规格在外部电路符合下表规定的限制条件下有效。

典型值是基于参考设计的建议值，模块集成商必须根据应用要求和所选模块组件（例如晶体、天线等）进行调整。外部电路的调整由模块集成商负责。

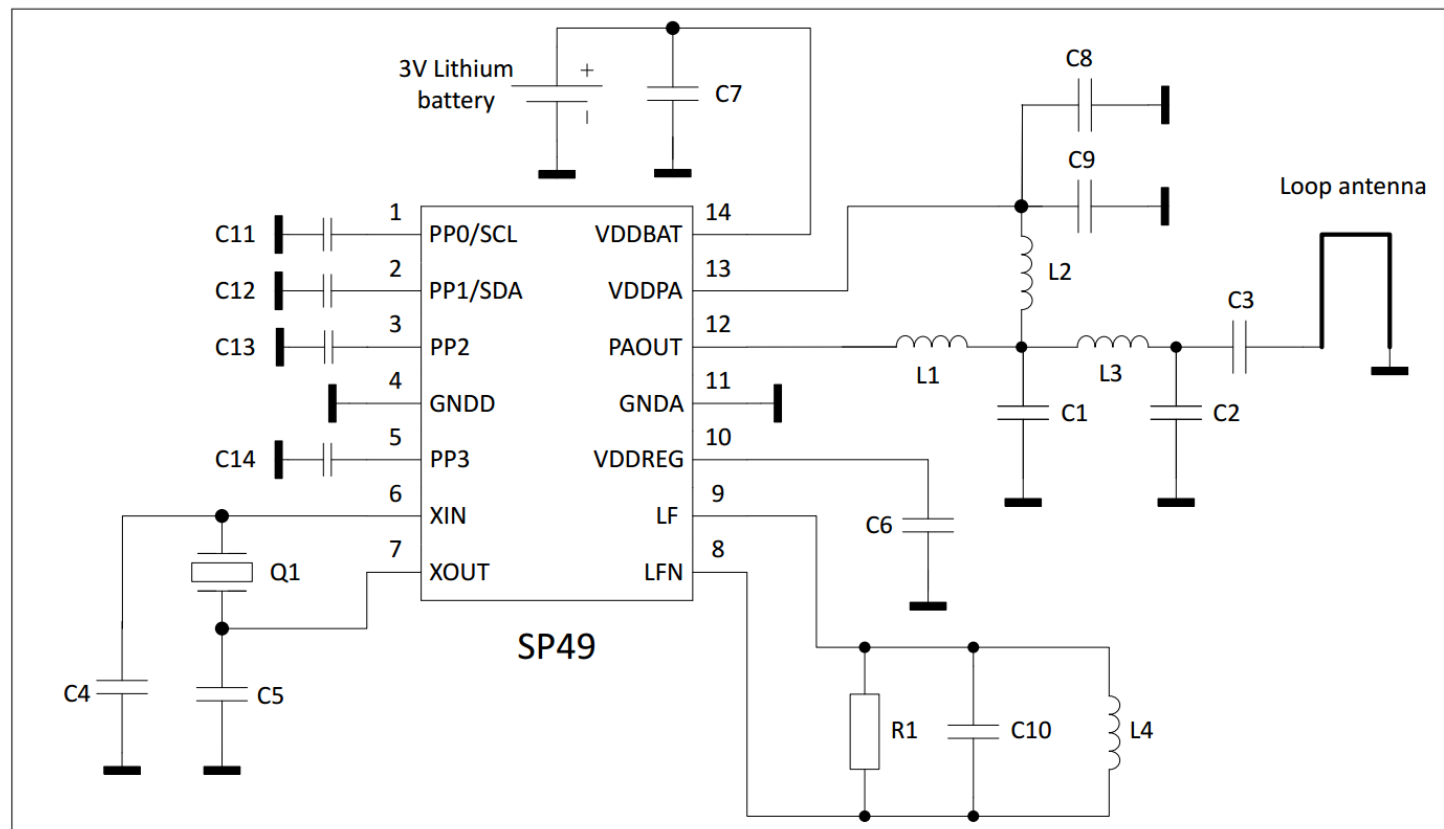


图 12 应用电路

表 25 应用电路元件

Unit	Min	Nom	Max	Unit	Comment
C1, C2, C3, L1, L2, L3	-	-	-	-	These components are forming the matching network. The values depend on antenna impedance and required RF power
C4		16		pF	These values are taking pin capacitances into account and are valid for a crystal that requires 10 pF load capacitance.
C5		16		pF	
C6	7	10	13	nF	Place as close as possible to the pin
C7		10		nF	
C8	7	10	13	nF	
C9		100		pF	A capacitor with a minimum impedance at RF center frequency should be chosen. The value for this optimal capacitor depends on capacitor material, size etc. Please refer to manufacturer documentation.
C10		1.5		nF	Value depends on L4

(表格续下页.....)

表 25 (续) 应用电路元件

Unit	Min	Nom	Max	Unit	Comment
C11		10		pF	Optional capacitors, only used if EMC performance, which depends on PCB layout, needs to be improved. Typically not needed if PPx pins are not connected. If used, place as close as possible to the pins.
C12		10		pF	
C13		10		pF	
C14		10		pF	
L4		1.1		mH	Value depends on coil type
R1		41		kOhm	With the herein stated values for R1, C10 and L4 the Q-factor of the LF- antenna circuit is 6.2. However, application may require another Q-factor. Hence the LF antenna circuit is understood as example.
Q1		26.000		MHz	

5 自诊断检查

该设备集成了许多可由用户触发的自诊断功能。

1. 加速度计断线检查（所谓的 RD 检查）。
2. 键合线检查用于测试 MEMS 芯片和电子芯片之间的接线。
3. 信号路径检查。在这里，模拟信号路径和 ADC 通过施加测试电压而不是实际传感器信号进行测试。
4. RC 振荡器检查，将 2.2 kHz、90 kHz 和 12 MHz 时钟与晶体时钟进行比较。所有检查均由固件库函数执行，应用程序代码可调用这些函数。

6 封装信息

封装类型为 PG-DSOSP-14-84，是专为 TPMS 应用开发的。绿色封装符合无铅组装的焊接条件。湿度灵敏度为 MSL 1，焊接曲线符合 JEDEC-J-STD-020D，峰值温度为 250°C。

6.1 封装图

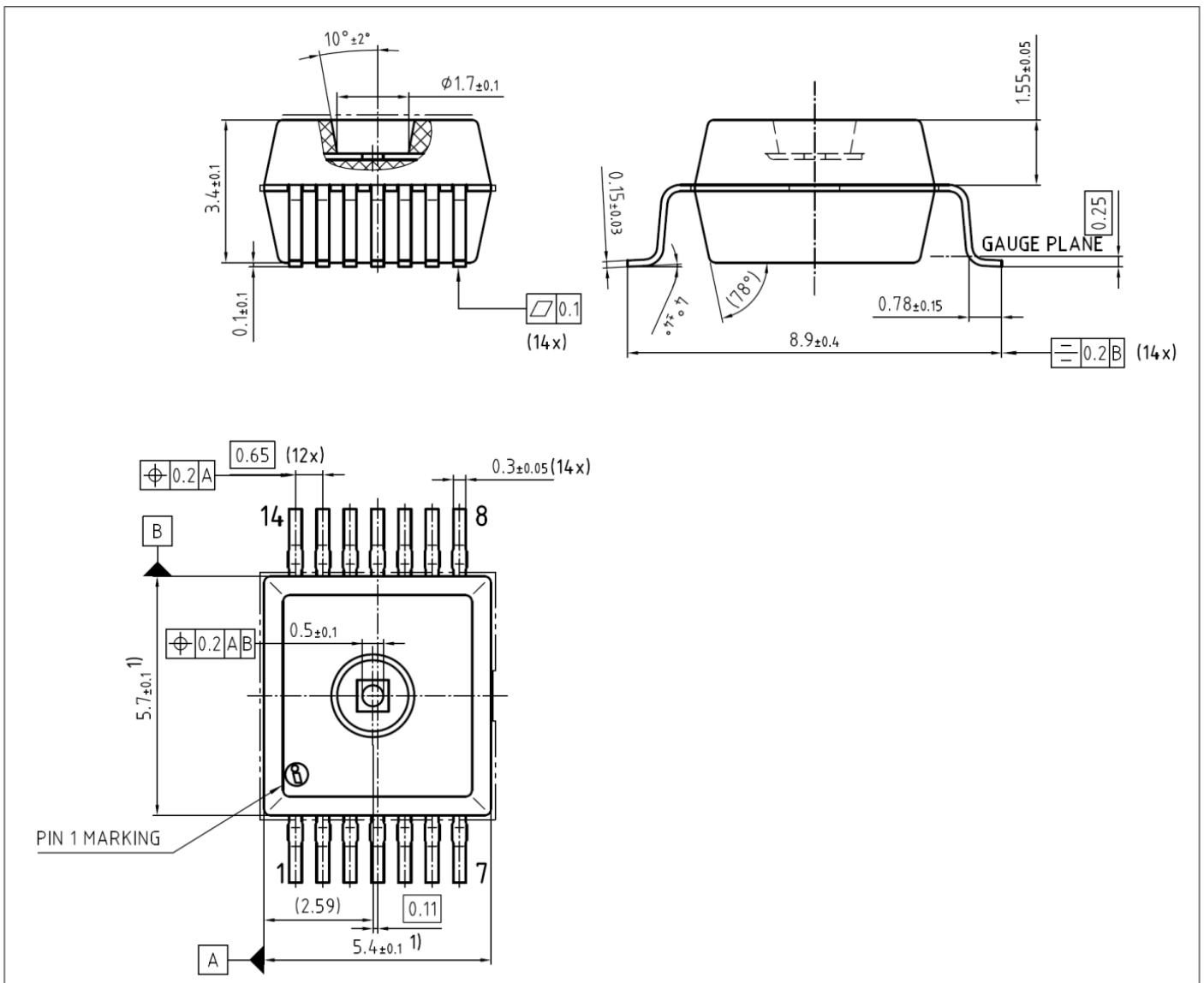


图 13

6.2 封装标记

激光标记由四个字段组成：

- 11 位批号代码
- 5 位日期代码，总是以 G 开头，然后是 2 位数字年份代码和 2 位数字星期代码，其中 YY 是生产年份减去 2000，WW 是日历星期。
- 5 位产品标记符，其中 x 取决于产品变体。
- 引脚 1 标记

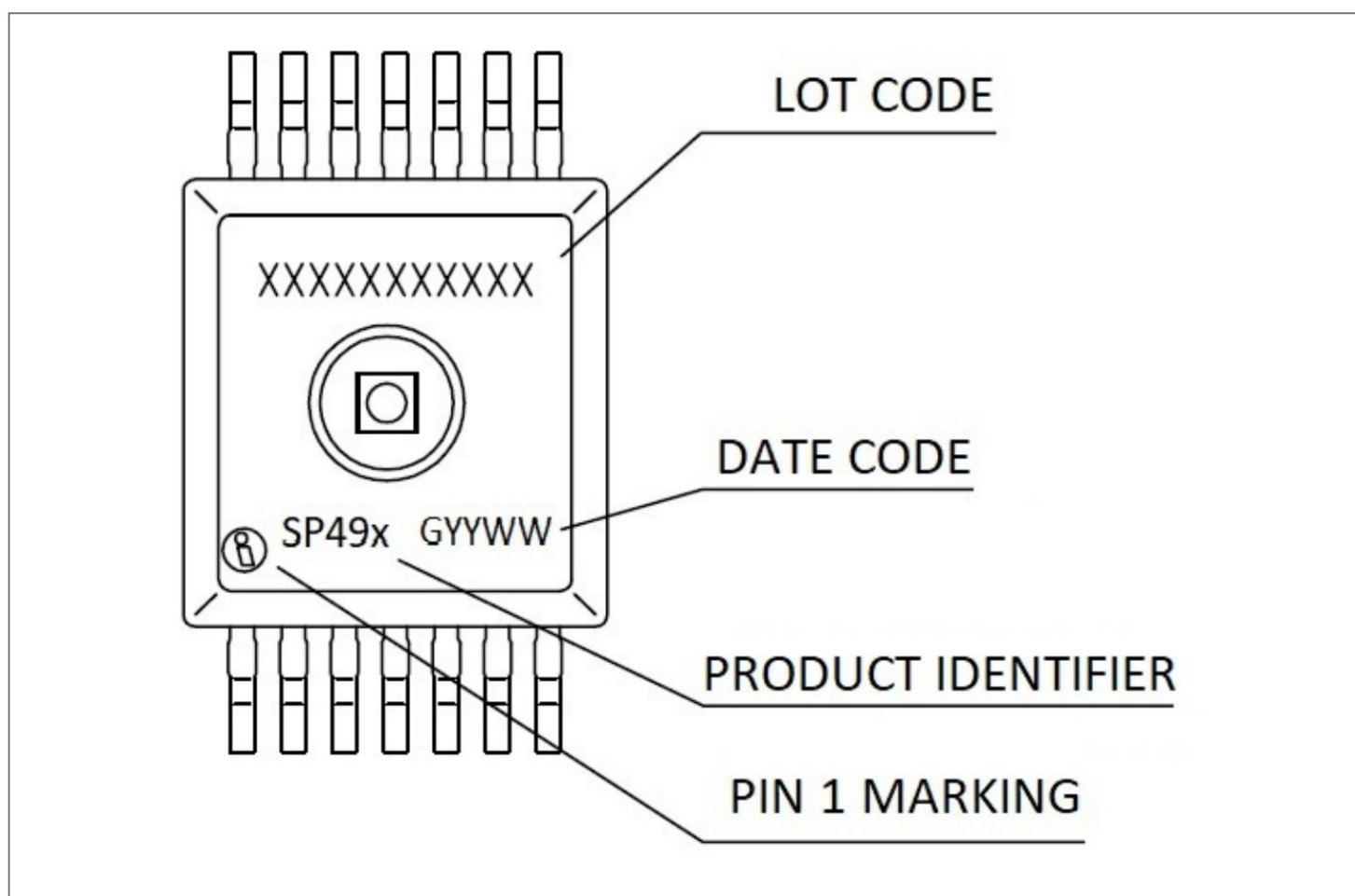


图 14 封装标记

7 器件标识

设备有一个电子可读的 4 字节序列号。此序列号将在达到最大可能数后重新开始。请注意，并非所有可能的序列号都会出现。

附加的客户可读电子产品代码使英飞凌能够明确识别产品和规格变体。

8 修订记录

表 26 修订记录

Document version	Date of release	Description of changes
1.0	2021-12-08	Initial version
1.1	2023-01-26	<ul style="list-style-type: none"> • Titlepage: Table "Ordering Information" updated • Table "General Purpose Digital I/O Pins: Footnote for "I2C High Datarate": "pull-up capacitors" corrected to "pull-up resistors" • Table "Supply currents": Footnote added for inrush current • Table "LF Receiver": <ul style="list-style-type: none"> - Symbol for "LF Carrier Detect Level 2, LT & HT" changed from $S_{DET_CDM_2_HT\&LT}$ to $S_{DET_CDM_2_LT\&HT}$ - Symbol for "LF Data Reception No Detect Level 0, LT & HT" added - Symbol for "LF Data Reception Detect Level 0, LT & HT" added • Section "Package Information": <ul style="list-style-type: none"> - Package name updated - Figure "Package outline" updated
1.2	2023-11-09	<ul style="list-style-type: none"> • Section "Pressure Sensor": Removed parameter "Pressure crosssensitivity to zacceleration"



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 2026-06-24

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。

如果本文件包含或引用软件：

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>。