

飞仙智能
Flying Fairy Intelligent

FI6991 可编程霍尔效应位置传感器芯片 (SENT 输出)

Rev. 1.3

2024-10-29

目录

0. 名词定义和缩略语说明	4
1. FI6991 简介	5
1.1. 特性和优势	5
1.2. 典型应用	6
2. 概述	7
2.1. 功能框图	7
2.2. 功能概述	7
3. 引脚定义和引脚说明	9
3.1. SOIC-8 封装的引脚定义和引脚说明	9
3.2. TSSOP-16 封装的引脚定义和引脚说明	10
4. 应用参考设计	11
4.1. SOIC-8 封装的应用	11
4.2. TSSOP-16 封装的应用	12
5. 技术规格	13
5.1. 绝对最大额定值	13
5.2. 一般性电气规格	13
5.3. 隔离规格	14
5.4. 时序规格	14
5.4.1. SENT 输出模式的时序图	15
5.4.2. 上升时间、下降时间测量的应用示例图	16
5.5. 精度规格	17
5.6. 磁铁规格	17
5.7. CPU、内存规格	18
6. FI6991 传感器芯片的编程	19
6.1. 编程器的连接	19
6.2. 可编程参数信息	19
6.2.1. 后端用户可编程参数	19
6.2.2. 后端用户可编程参数详述	21
6.3. 可追溯信息	35
7. 功能描述	36
7.1. 自诊断	36

8. 封装	39
8.1. SOIC-8 封装	39
8.1.1. SOIC-8 封装示意图及标识	39
8.1.2. SOIC-8 封装尺寸	39
8.1.3. SOIC-8 封装磁场感应点位置	40
8.2. TSSOP-16 封装	40
8.2.1. TSSOP-16 封装示意图及标识	40
8.2.2. TSSOP-16 封装尺寸	41
8.2.3. TSSOP-16 封装磁场感应点位置	41
9. 订货信息	42
10. ESD 预防	43

0. 名词定义和缩略语说明

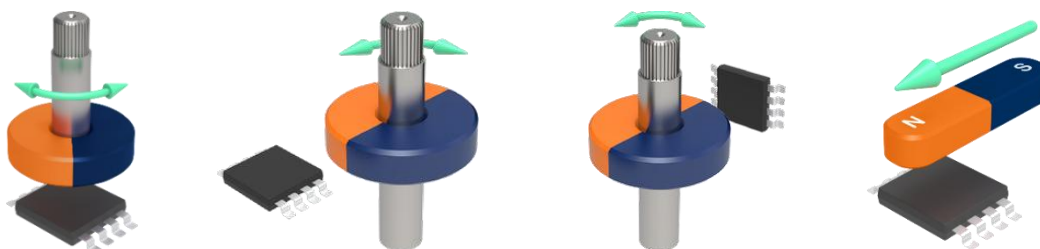
IC	集成电路
POR	上电复位
EOL	产线终端
EMC	电磁兼容
ESD	静电放电
ADC	模拟数字转换器
DAC	数字模拟转换器
LSB	最低有效位
MSB	最高有效位
DNL	微分非线性误差
INL	积分非线性误差
LSD	低边驱动
PP	推挽式
MT3V/LT3V	高于/低于 3V
MT4V/LT4V	高于/低于 4V
MT7V/LT7V	高于/低于 7V
MCP	磁集中片
SENT	单边半字传输协议
NC, N/C	不连接
TC	温度补偿
RISC	精简指令集计算机
DSP	数字信号处理器
HW, H/W	硬件
FW, F/W	固件
EEPROM	电可擦可编程只读存储器
ECC	纠错码
ROM	只读存储器
RAM	随机存储器
FIR	有限冲激响应滤波器
FPI	飞仙编程器
FPK	飞仙编程软件包
PGI	编程接口
PGM	编程模式
FI/FFI	飞仙智能

1. FI6991 简介

FI6991 是一款支持 SENT 协议的旋转位置、线性位置传感器芯片。该芯片可以感测作用于 IC 的磁场强度的 3 个分量（即 B_x 、 B_y 和 B_z ），配合上合适的磁路，可以用于感知任意移动磁体的绝对位置（例如，从 0 到 360 度的旋转角位置或线性位移、行程）。利用该芯片可以实现新一代非接触式位置传感器，以满足汽车和工业应用中日益增加的需求。

它的输出传输特性完全可编程（例如，偏移、增益、钳位电平、线性度、热漂移、滤波、范围...），从而可通过行尾校准满足任何指定要求。

FI6991 提供 SENT 输出方式。SENT 的帧格式定义有 Throttle Position Sensors 以及 Single Secure Sensors 可选，支持增强的串行信息，包括错误码、温度值、用户定义信息等。



1.1. 特性和优势

- 绝对旋转和线性位置传感器 IC
- 磁路设计简单
- 可编程测量范围（角度可达 360 度）
- 可编程线性传输特性（4 任意点或 17 点分段线性化）
- 温度偏移补偿
- 12 位分辨率 – 10 位精度（考虑温度影响）
- SENT 输出：SAE J2716 (2007-2008-2010-2016)
- 断线诊断（ V_{DD} 开路， V_{SS} 开路）
- 片上诊断
- 过电压保护
- 低电压检测
- 48 位 ID 编号
- 汽车温度范围，从 -40°C 到 $+150^{\circ}\text{C}$
- 符合 AEC-Q100 标准 Grade 0
- 满足 ISO 26262 SEooC ASIL B (单路), ASIL D (双路)
- 单芯片 SOIC-8 封装：无铅且符合 RoHS 规范
- 双芯片（全冗余）TSSOP-16 封装：无铅且符合 RoHS 规范

1.2. 典型应用

- 绝对旋转角度位置传感器
- 绝对线性位置传感器
- 踏板位置传感器
- 方向盘位置传感器
- 扭矩传感器
- 液位传感器
- 高度位置传感器
- 非接触式电位计

2. 概述

2.1. 功能框图

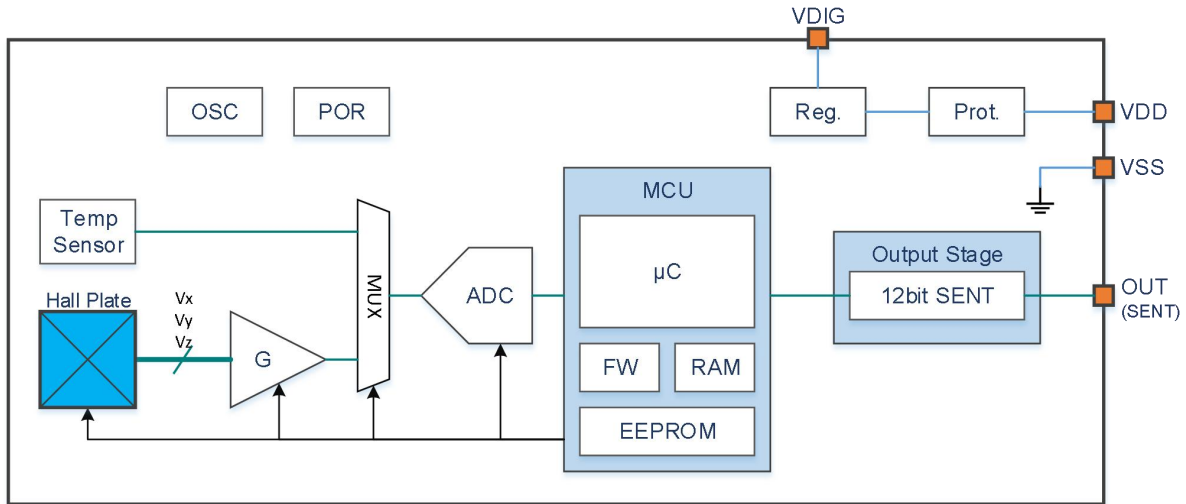


图 2-1 FI6991 框图

2.2. 功能概述

如图 2-1 的框图所示，施加到芯片上的磁场强度的三维分量（ B_x ， B_y 和 B_z ）可以被芯片前端检测到，各分量对应的霍尔信号（ V_x ， V_y 和 V_z ）在霍尔片产生并放大。

模拟信号处理是基于全差分模拟处理链，使用了经典的漂移电压消除技术（霍尔片两相位旋转和斩波放大器）。

模拟信号经过 15 位的 ADC 转换为数字信号，提供给 DSP 模块做进一步处理。该 DSP 是一个基于 16 位 RISC 内核的微处理器，其主要功能是将两个（从三个中选取）原始的霍尔信号（经过上述前端模拟补偿措施的处理）用以下公式计算出位置信息，具体函数如下：

$$\alpha = \angle(V_1, k \cdot V_2)$$

其中， α 是磁场角度 $\angle(B_1, B_2)$ ， $V_1 = V_x$ 或 V_y 或 V_z ， $V_2 = V_x$ 或 V_y 或 V_z ， k 是一个可编程因子，用来匹配 V_1 和 kV_2 的幅值。

通过存储在 ROM 中的微处理器代码（固件-F/W），DSP 的计算功能得以实现。除了实现磁体角度计算，固件（F/W）还控制了模拟信号处理链、输出传输特性曲线、输出协议、编程/校准以及自诊断模式。

磁体角度信息是根据 V_1/V_2 的比率值计算反正切（ATAN 函数）得到的，对同时影响两个分量的磁场强度变化（由于气隙变化、温度变化或老化效应导致的），它本质上是可以进行自我补偿。因此相对于基于传统线性霍尔传感器芯片的位置传感器，该芯片在温度变化的情况下精确度得到了很大的提升。

除了提高温度精确度以外，在考虑了典型制造加工误差（例如霍尔元件与磁体的相对位置）的情况下，实现的位置传感器仍具有极高的线性性能。

当计算出位置信息（角度或线性位移）后，它将根据目标传递特性做进一步修正，最终以数字 SENT 协议提供输出。

输出信号可以通过编程，进行偏置修正、增益放大和钳位等处理，满足任何旋转位置传感器输出传递特性：

$$\begin{aligned} V_{out}(\alpha) &= \text{ClampLo} && \text{for } \alpha \leq \alpha_{min} \\ V_{out}(\alpha) &= V_{offset} + \text{Gain} \times \alpha && \text{for } \alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max} \\ V_{out}(\alpha) &= \text{ClampHi} && \text{for } \alpha \geq \alpha_{max} \end{aligned}$$

其中，Voffset、Gain、ClampLo 和 ClampHi 都是用户可调节编程的主要参数。

传递曲线的线性部分可以通过多点校准来调整。

这个线性处理还包括下面两种后处理之一：

- 多达 4 个任意点（5 段+钳位）的校准或
- 分段线性化（PWL）输出传递特性 – 17 个等距点，它是通过可编程参数来定义的，该参数可以选择 65° 到 360° 的 16 种不同的输入角度范围。

校准参数都存储在带错误校验汉明码（ECC）的 EEPROM 中。

3. 引脚定义和引脚说明

3.1. SOIC-8 封装的引脚定义和引脚说明

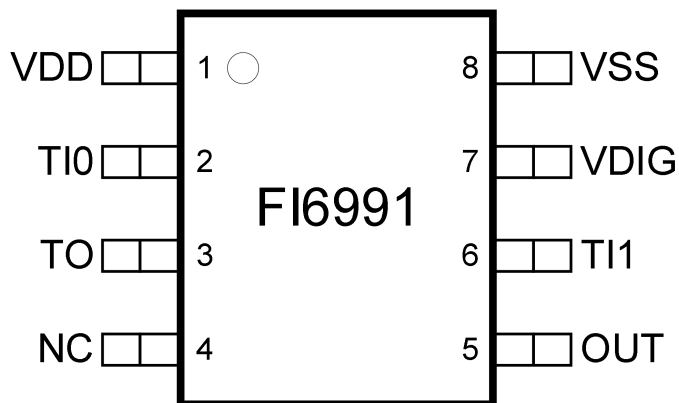


图 3-1 SOIC-8 封装引脚定义

表格 3-1 SOIC-8 封装引脚说明列表

序号	引脚名	类型	描述
1	VDD	Supply	电源输入
2	TI0	Test	测试引脚，正常应用时接地
3	TO	Test	测试引脚，正常应用时接地
4	N/C		悬空
5	OUT	Output/Comm.	输出，或编程通讯引脚
6	TI1	Test	测试引脚，正常应用时接地
7	VDIG	Supply	内部电源
8	VSS	Ground	系统地

3.2. TSSOP-16 封装的引脚定义和引脚说明

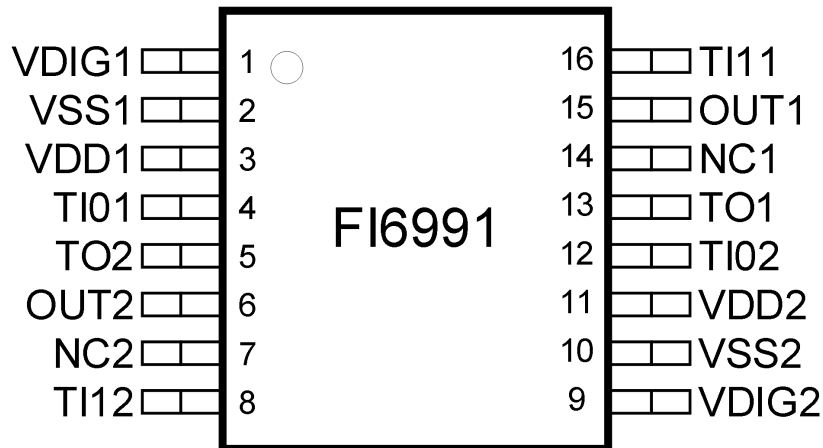


图 3-2 TSSOP-16 封装引脚定义

表格 3-2 TSSOP-16 封装引脚说明列表

序号	引脚名	类型	描述
1	VDIG1	Supply	内部电源
2	VSS1	Ground	系统地
3	VDD1	Supply	电源输入，编程引脚
4	TI01	Test	测试引脚，正常应用时接地
5	TO2	Test	测试引脚，正常应用时接地
6	OUT2	Output/Comm.	输出，或编程通讯引脚
7	NC2		悬空
8	TI12	Test	测试引脚，正常应用时接地
9	VDIG2	Supply	内部电源
10	VSS2	Ground	系统地
11	VDD2	Supply	电源输入，编程引脚
12	TI02	Test	测试引脚，正常应用时接地
13	TO1	Test	测试引脚，正常应用时接地
14	NC1		悬空
15	OUT1	Output/Comm.	输出，或编程通讯引脚
16	TI11	Test	测试引脚，正常应用时接地

4. 应用参考设计

4.1. SOIC-8 封装的应用

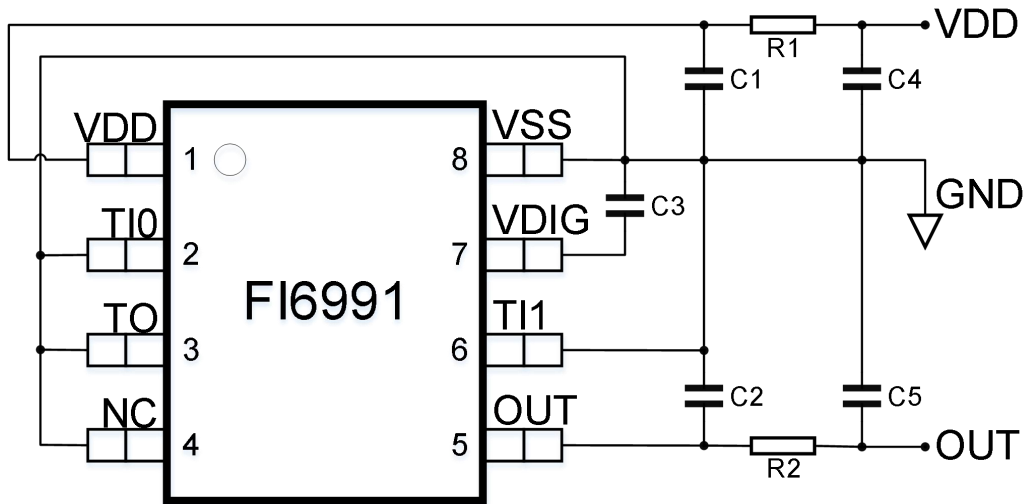


图 4-1 SOIC-8 封装的应用参考电路

表格 4-1 SOIC-8 封装 FI6991 应用的元器件表

元器件	紧凑 PCB			EMC 加强 PCB			备注
	最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
C1	100nF	100nF	1uF	47nF	100nF	1uF	靠近引脚
C2	2.2nF	4.7nF	22nF	2.2nF	4.7nF	22nF	靠近引脚
C3	47nF	100nF	220nF	47nF	100nF	220nF	靠近引脚
C4				500pF	1nF	10nF	靠近连接器
C5				500pF	1nF	2.2nF	靠近连接器
R1				0Ω	10Ω	33Ω	影响 VDD 引脚上的电压
R2				10Ω	50Ω	100Ω	

4.2. TSSOP-16 封装的应用

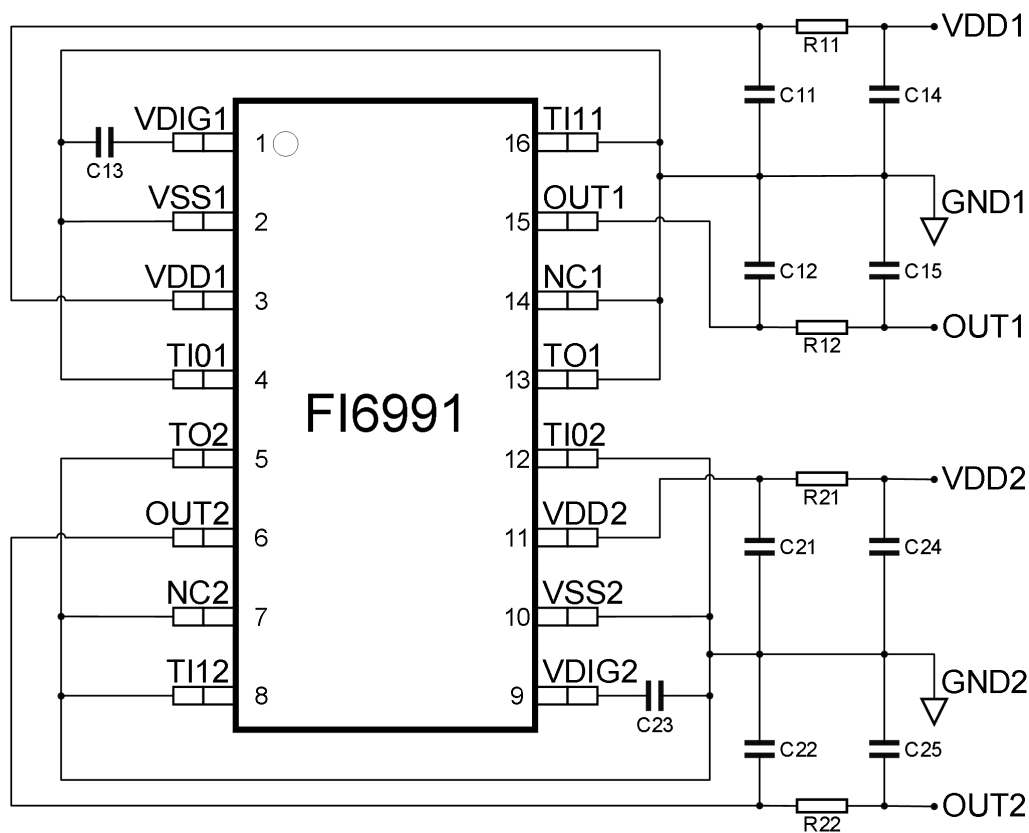


图 4-2 TSSOP-16 封装的应用参考电路

表格 4-2 TSSOP-16 封装 FI6991 应用的元器件表

元器件	紧凑 PCB			EMC 加强 PCB			备注
	最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
C11, C21	100nF	100nF	1uF	47nF	100nF	1uF	靠近引脚
C12, C22	2.2nF	4.7nF	22nF	2.2nF	4.7nF	22nF	靠近引脚
C13, C23	47nF	100nF	220nF	47nF	100nF	220nF	靠近引脚
C14, C24				500pF	1nF	10nF	靠近连接器
C15, C25				500pF	1nF	2.2nF	靠近连接器
R11, R21				0Ω	10Ω	33Ω	影响 VDD 引脚上的电压
R12, R22				10Ω	50Ω	100Ω	

5. 技术规格

5.1. 绝对最大额定值

表格 5-1 绝对最大额定值

参数	最大值
供电电压, V_{DD} (过压)	+24V (持续) +28V (24h, 25°C)
反向电压保护	-12V (持续) -14V (30min, 25°C) -15V (60s, 25°C)
正向输出电压	+18V
输出电流 (I_{OUT})	+30mA
反向输出电压	-0.3V
反向输出电流	-50mA
存储温度范围, T_S	-40°C to +150°C
工作温度范围, T_A	-40°C to +150°C
磁场强度	±1T

注意: 超出绝对最大额定值会导致永久损坏, 长时间工作在绝对最大额定值下可能会影响设备的可靠性。

5.2. 一般性电气规格

表格 5-2 一般性电气规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
额定电压	V_{DD}		4.5	5	5.5	V
供电电流 ⁽¹⁾	I_{DD}	开启省电模式 关闭省电模式		6.5 8.5	10 ⁽²⁾ 12	mA
浪涌电流 ⁽³⁾	I_{surge}				20	mA
复位启动电平(上升沿)	HPOR_LH	与片上数字电压 V_{DIG} 相关	2	2.25	2.5	V
复位启动电平滞回	HPOR_Hyst		50		200	mV
上电启动电平(上升沿)	MT4V_LH		3.8	4.0	4.2	V
上电启动电平滞回	MT4V_Hyst		50		200	mV
PGM 启动电平(上升沿)	MT7V_LH		5.7	6.0	6.5	V
PGM 启动电平滞回	MT7V_Hyst		50		200	mV
输出短路电流	I_{short}	$V_{out} = 0V$ $V_{out} = 5V$ $V_{out} = 18V (T_A=25°C)$		15 15 15	24 30 30	mA mA mA
输出负载	R_L	下拉到地 上拉到 5V	1 1			kΩ kΩ
主动诊断输出电平 数字饱和输出电平	V_{diag_lo}	上拉负载 $R_L \geq 10k\Omega$ 到 5V 上拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$ 到 18V		1 2	2 3	% V_{DD}

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
	V_{diag_hi}	下拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$ 下拉负载 $R_L \geq 10k\Omega$	95 97.5	96 98		$\%V_{DD}$
被动诊断输出电平（开路追踪诊断） ⁽⁴⁾	$BV_{SSPD}^{(5)}$	V_{SS} 开路 & 下拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$ 下拉负载 $R_L \geq 10k\Omega$	95 97.5			$\%V_{DD}$
	BV_{SSPU}	V_{SS} 开路 & 上拉负载 $R_L \geq 1k\Omega$	99.5	100		$\%V_{DD}$
	BV_{DDPD}	V_{DD} 开路 & 下拉负载 $R_L \geq 1k\Omega$		0	0.5	$\%V_{DD}$
	BV_{DDPU}	V_{DD} 开路 & 上拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$			2	$\%V_{DD}$

- (1) 平均供电电流。双芯片版本的供电电流要乘以 2。
- (2) 为减小到 10mA，需要开启省电模式。该模式开启时，会动态开启、关闭内部模块。关闭该模式，可以满足严格的 EMC 要求，但这也使最大供电电流的消耗增加到 12mA。
- (3) 该值仅在早期启动时有效，在启动阶段，电流可能会在短时间内动态地超过该值。
- (4) 这种情况下，不再有 SENT 信号输出信号。更多详细信息，请参见诊断相关章节。
- (5) 对双芯片版本， BV_{SSPD} 有变化。

5.3. 隔离规格

仅适用于 GQ 代码的封装（双芯片版本）。

表格 5-3 隔离规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
隔离阻值		两个芯片之间	4			MΩ

5.4. 时序规格

表格 5-4 SENT 输出模式的时序规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
主时钟频率	Ck	所有影响因素，包含温漂	12.6	13.3	14	MHz
主时钟频率温漂	ΔT_{Ck}				$\pm 3\%$	Ck_{NOM}
看门狗	T_{wd}			104.3		ms
Tick 时间 ⁽¹⁾		Ck=13.3MHz		3		μs
低电平脉冲 tick 数		Ck=13.3MHz	4	6		ticks
SENT 帧周期 ⁽²⁾	tframe	Ck=13.3MHz		882		μs
SENT 帧最大 tick 数 ⁽³⁾ (关闭 pause 脉冲)		Ck=13.3MHz		270		ticks
内部角度采样周期	tper	Ck=13.3MHz		441		μs
第一次角度采样到同步脉冲的时延	ta1	Ck=13.3MHz		1205		μs
第二次角度采样到同步脉冲的时延	ta2	Ck=13.3MHz		764		μs

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
磁场变化到 SENT 数据的平均时延 (同步通讯模式)	Latency	FILTER=1(推荐) 包含 SENT 传输时间		1841		μs
启动时间 (直至第一次同步脉冲)	tsu1			2.1		ms
启动时间 (直至第一次数据接收)	tsu2	不包含最后一次 pause 脉冲		6.1		ms
串行信息		扩展序列 (40 个串行信息帧) 短序列 (24 个串行信息帧)		635 381		ms
在连接线上的上升时间		电平阈值: 0.5V 和 4.5V	3.6		6.7	μs
在接收端的上升时间		电平阈值: 0.5V 和 4.5V	6.4		8.8	μs
在连接线上的下降时间		电平阈值: 0.5V 和 4.5V	2.0		3.6	μs
在接收端的下降时间		电平阈值: 0.5V 和 4.5V	4.5		7.2	μs

- (1) Tick 时间与主时钟频率为比例关系, 一个 IC 的 Tick 时间变化是由主时钟频率的热漂移决定的。
- (2) 这里的帧周期是指能满足同步通讯的包含 pause 脉冲的帧, 同步是指数据采样与 SENT 帧信号传输的时间差是固定值。
- (3) 帧长度取决于是否开启 pause 脉冲。如果关闭 pause 脉冲, 帧长度是变化的。一个典型的 SENT 帧包含: 一个 56 ticks 的同步脉冲, 8 个半字节的数据包 (其中每个半字节长度的在 12 到 27 ticks 间), 一个可选的 pause 脉冲 (最小为 12 个 ticks)。

5.4.1. SENT 输出模式的时序图

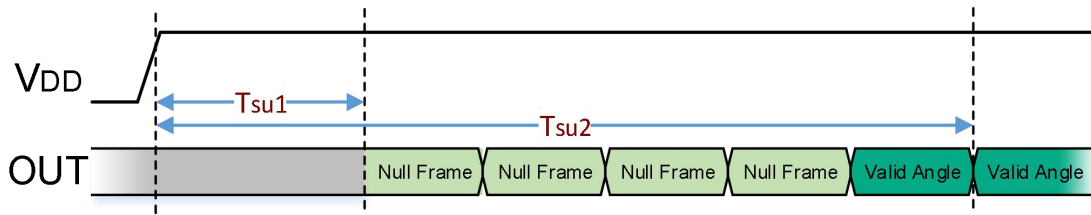


图 5-1 SENT 输出模式启动阶段的时序图

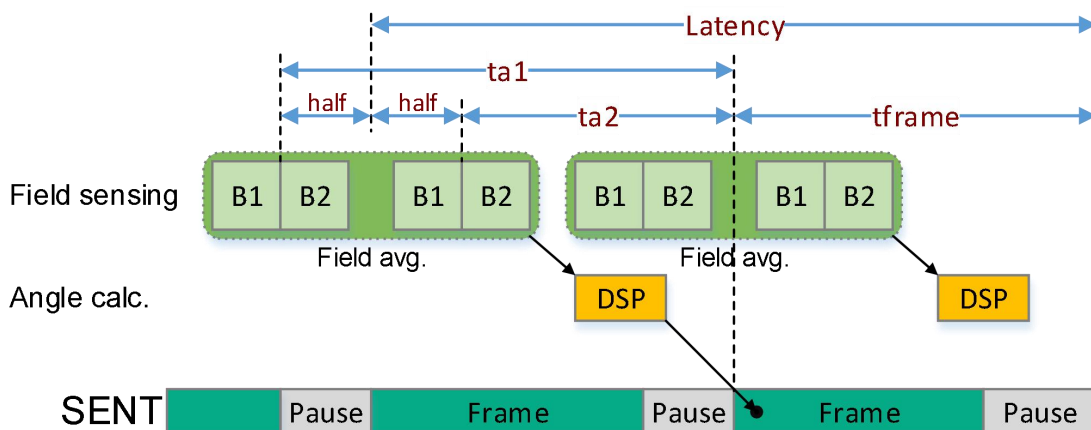


图 5-2 时延 (采样到输出的延迟) - FILTER=1(推荐) 两次读出数据被平均

注意: 一次磁场读出数据需要 B1 和 B2。

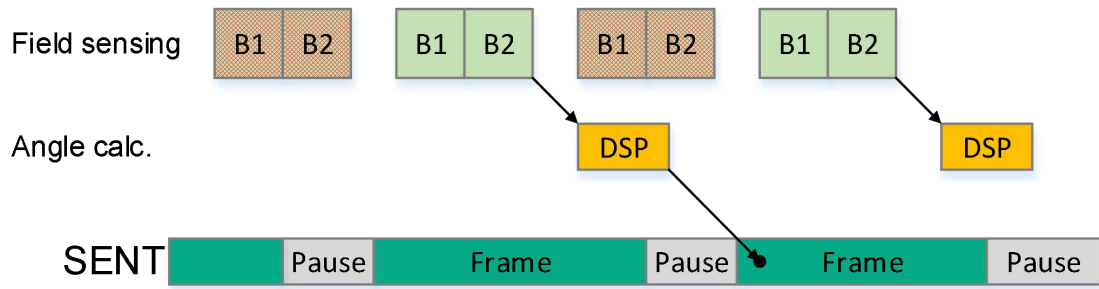


图 5-3 时延 - FILTER=0(不推荐)

FILTER=0 与 FILTER=1 的差异在于: FILTER=0 时会丢弃一次 B1/B2 的采样。

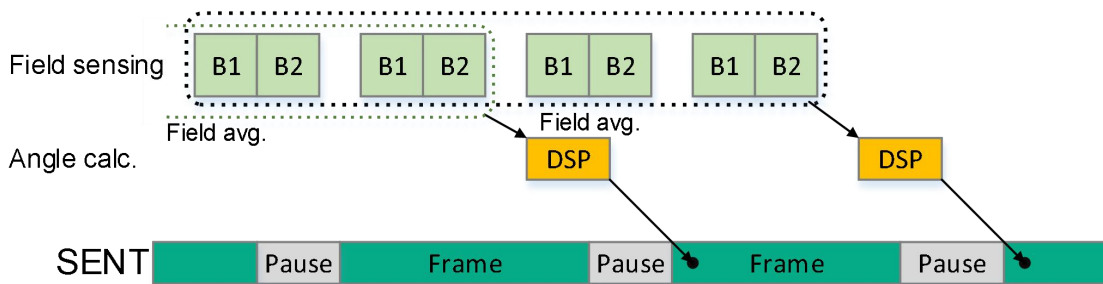


图 5-4 时延 - FILTER=2

5.4.2. 上升时间、下降时间测量的应用示例图

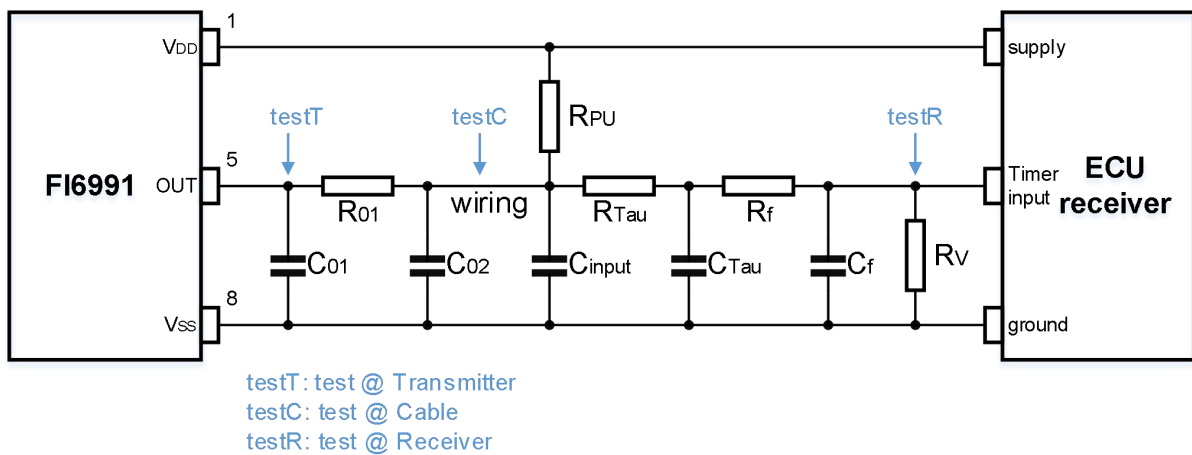


图 5-5 用于测量上升、下降时间的电路图

(参考: J2716 Rev Apr 2016 Fig. 6.3-1)

表格 5-5 用于测量上升、下降时间电路图的元器件列表

元器件	值	单位
C ₀₁	10 ± 25%	nF
C ₀₂	不安装	nF
R ₀₁	不安装	Ω
C _{input}	68	pF
C _{Tau}	2.2	nF
C _f	100	pF
R _{Tau}	568	Ω
R _f	10	kΩ
R _{PU}	14.7	kΩ
R _V	不安装	Ω

5.5. 精度规格

表格 5-6 精度规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
ADC 分辨率 ⁽¹⁾	R _{ADC}			15		bits
角度误差总热漂移		XY, @ 10mT XZ (YZ), @ 10mT (-40°C ~ +125°C)	-1.5 -1.8		1.5 1.8	度
XY – 本征线性误差 ⁽²⁾	Le	T _A = 25°C – 出厂校准 “EE_MSIM_XY”	-1.5		+1.5	度
XZ – 本征线性误差 ⁽²⁾	Le	T _A = 25°C – 对 XZ 做校准 “EE_MSIM_XYZ”	-3	±1.5	+3	度
YZ – 本征线性误差 ⁽²⁾	Le	T _A = 25°C – 对 YZ 做校准 “EE_MSIM_XYZ”	-3	±1.5	+3	度
噪声峰峰值 ⁽³⁾		EE_FILTER=0, 40mT EE_FILTER=1(推荐), 30mT EE_FILTER=2, 20mT		0.10 0.10 0.10	0.2 0.2 0.2	度

(1) 16 bits 包括 15 bits 数据和 1 bit 符号位，内部计算使用 16 bits。

(2) 本征线性误差仅指在理想旋转磁铁（B_x 和 B_y）下，芯片本身的误差（漂移、灵敏度失配、正交误差）。考虑到实际的磁铁结构及其对应的机械、磁铁误差，输出线性误差将会增加。然而，用户可以通过多点后端校准来提高线性度。

(3) 在这里，假设噪声峰峰值为的噪声标准差的 6 倍，测试时使用了应用图例中的推荐连线方式。详细信息请参见滤波器章节（第 6.2.2.6.2 节）。

5.6. 磁铁规格

表格 5-7 磁铁规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
磁场强度	B _x , B _y ⁽¹⁾	$\sqrt{B_x^2 + B_y^2}$			70 ⁽²⁾	mT
磁场强度	B _z				120	mT

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
归一化磁场强度	Norm	$\sqrt{[B_x^2 + B_y^2 + (B_z/1.2)^2]}$	20 ⁽³⁾			mT
XY 轴与 Z 轴 MCP 增益失配因子	SMismXZYZ	GainMCP _{XY} /GainMCP _Z		1.15		
磁铁温度系数	TCm		-2400		0	ppm/°C

- (1) B_x, B_y 磁场至少有一个要满足该条件。
- (2) 高于 70 mT, MCP 集磁片开始逐渐饱和, 导致输出线性误差的增大。
- (3) 低于 20 mT, 由于信噪比、信号偏移比的减小, 输出性能会略有下降。

5.7. CPU、内存规格

DSP 是基于 16 位 RISC 的微处理器。CPU 工作频率为 13.3MHz, 指令处理速度为 3.3Mips。

表格 5-8 CPU、内存规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
ROM				13		KB
RAM				448		B
EEPROM				256		B

6. FI6991 传感器芯片的编程

6.1. 编程器的连接

FI6991 编程时不需要任何专用的引脚，只需使用芯片的供电和输出引脚即可。FI6991 可以在工程实验室或者是产品线上，通过 FFI 编程工具 FPI 以及专门的 FI6991 子板、对应的软件工具（FPK 用户界面）来实现编程。

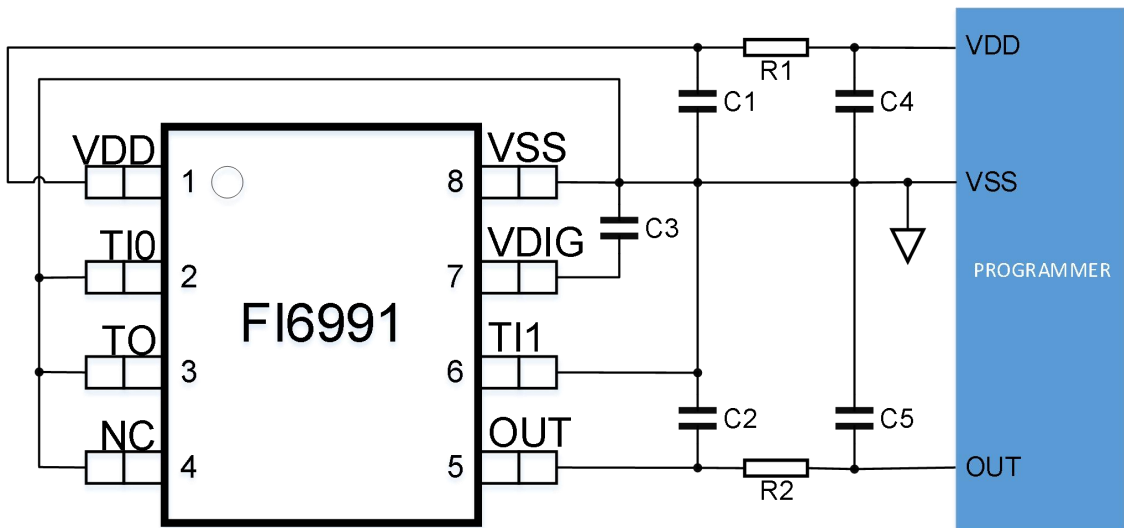


图 6-1 编程器的连接电路

为保证编程模式正常工作，编程限于 0~85℃，引脚 OUT 上的电容不大于 100nF。

6.2. 可编程参数信息

6.2.1. 后端用户可编程参数

表格 6-1 FI6991 后端用户可编程参数

参数	描述	比特	默认值	备注
EE_FLD_XYZ_SEL	输出角度的磁场分量选择	2	0h	
EE_CLAMP_HI	输出钳位高电平	16	100%	
EE_CLAMP_LO	输出钳位低电平	16	0%	
EE_FILTER	滤波模式选择	2	1h	
EE_SMISM_XY	灵敏度失配因子 (X,Y)	15	FFI	
EE_SMISM_XYZ	灵敏度失配因子 (X,Z or Y,Z)	15	FFI	
EE_SMISM_COMP_SEL	灵敏度失配因子作用分量选择: B1 or B2 (结合 EE_FLD_XYZ_SEL)	1	0h	
EE_GAINMIN	虚拟增益的最小阈值	8	00h	
EE_GAINMAX	虚拟增益的最大阈值	8	28h	

参数	描述	比特	默认值	备注
EE_GAIN_SATU_EN	虚拟增益饱和和钳位使能	1	0h	
EE_FLD_THRES_LO	磁场过低诊断的阈值磁场强度	8	10mT	
EE_FLD_THRES_HI	磁场过高诊断的阈值磁场强度	8	FFh	
EE_ZERO_POINT	角度零点	15	0000h	
EE_CW	角度逆时针或顺时针方向选择	1	0h	
EE_FHYST_PARAM	滞回滤波器的磁滞参数	8	00h	
EE_LNR_4POINT	选择 4 点或者 17 点线性修正	1	1h	
EE_LNR_Y0	17 点 LNR - 0/16 点 Y 坐标	16	4001h	
EE_LNR_Y1	17 点 LNR - 1/16 点 Y 坐标	16	4801h	
EE_LNR_Y2	17 点 LNR - 2/16 点 Y 坐标	16	5001h	
EE_LNR_Y3	17 点 LNR - 3/16 点 Y 坐标	16	5801h	
EE_LNR_Y4	17 点 LNR - 4/16 点 Y 坐标	16	6001h	
EE_LNR_Y5	17 点 LNR - 5/16 点 Y 坐标	16	6801h	
EE_LNR_Y6	17 点 LNR - 6/16 点 Y 坐标	16	7001h	
EE_LNR_Y7	17 点 LNR - 7/16 点 Y 坐标	16	7801h	
EE_LNR_Y8	17 点 LNR - 8/16 点 Y 坐标	16	8001h	
EE_LNR_Y9	17 点 LNR - 9/16 点 Y 坐标	16	8801h	
EE_LNR_Y10	17 点 LNR - 10/16 点 Y 坐标	16	9001h	
EE_LNR_Y11	17 点 LNR - 11/16 点 Y 坐标	16	9801h	
EE_LNR_Y12	17 点 LNR - 12/16 点 Y 坐标	16	A001h	
EE_LNR_Y13	17 点 LNR - 13/16 点 Y 坐标	16	A801h	
EE_LNR_Y14	17 点 LNR - 14/16 点 Y 坐标	16	B001h	
EE_LNR_Y15	17 点 LNR - 15/16 点 Y 坐标	16	B801h	
EE_LNR_Y16	17 点 LNR - 16/16 点 Y 坐标	16	C001h	
EE_LNR_RANGE_SEL	17 点 LNR 输入角度范围选择	4	0h	
EE_DIAG_SETTING	诊断使能控制	16	4080h	
EE_CRC_DISABLE	EEPROM CRC 检测使能 3131h: 关闭 CRC 检测	16	0000h	
EE_MEM_LOCK	EEPROM 锁定	2	0h	
EE_OUTOFS_SLOPE_COLD	低温下的温度漂移斜率	8	00h	
EE_OUTOFS_SLOPE_HOT	高温下的温度漂移斜率	8	00h	
EE_USR_ID0	用户标识 0	16	0000h	
EE_USR_ID1	用户标识 1	16	0000h	
EE_USR_ID2	用户标识 2	16	0000h	
EE_SENT_STD_SS	SENT 标准传感器 Single Secure Sensor A.3 使能	1	1h	
EE_SENT_ERPT	诊断信息 SENT 报告码	3	0h	
EE_SENT_PAUSE_EN	SENT pause 脉冲开关	1	1h	
EE_SENT_TFRAME	SENT 帧周期	12	126h	
EE_SENT_SLOW_CFG	SENT 串行信息配置开关	2	3h	
EE_SENT_CRC2007	SENT CRC 标准选择	1	0h	
EE_SENT_3DN	SENT 数据 nibble 个数选择	1	0h	
EE_SENT_CH2_SEL	SENT 通道 2 数据选择	2	0h	

参数	描述	比特	默认值	备注
EE_SENT_INIT_SEL	SENT 初始帧数据选择	1	0h	
EE_SENT_INIT_OEM	SENT OEM 初始帧数据	3	0h	
EE_SENT_FIXED_HI	SENT 脉冲固定时间电平选择	1	0h	
EE_SMSG_SEQEXT	SENT 串行信息序列扩展开关	1	1h	
EE_SMSG_BFIELD	SENT 串行信息序列附加 bfield 信息开关	1	0h	
EE_SMSG_SENTREV	串行信息 SENT 标准版本号	4	3h	
EE_SMSG_MC	串行信息制造商代码	12	000h	
EE_SMSG_STYPE	串行信息通道 1/2 的传感器类型	12	000h	
EE_SMSG_CH1_X1	串行信息快速通道 1-X1	12	000h	
EE_SMSG_CH1_X2	串行信息快速通道 1-X2	12	000h	
EE_SMSG_CH1_Y1	串行信息快速通道 1-Y1	12	000h	
EE_SMSG_CH1_Y2	串行信息快速通道 1-Y2	12	000h	
EE_SMSG_PROBE_MODE	串行信息 ID=23h 的 RAMPROBE 信息选择	2	0h	
EE_SMSG_SENSOR_ID1	串行信息传感器 ID1	12	000h	
EE_SMSG_SENSOR_ID2	串行信息传感器 ID2	12	000h	
EE_SMSG_SENSOR_ID3	串行信息传感器 ID3	12	000h	
EE_SMSG_SENSOR_ID4	串行信息传感器 ID4	12	000h	
EE_SMSG_OEM1	串行信息 OEM 代码 1	12	000h	
EE_SMSG_OEM2	串行信息 OEM 代码 2	12	000h	
EE_SMSG_OEM3	串行信息 OEM 代码 3	12	000h	
EE_SMSG_OEM4	串行信息 OEM 代码 4	12	000h	
EE_SMSG_OEM5	串行信息 OEM 代码 5	12	000h	
EE_SMSG_OEM6	串行信息 OEM 代码 6	12	000h	
EE_SMSG_OEM7	串行信息 OEM 代码 7	12	000h	
EE_SMSG_OEM8	串行信息 OEM 代码 8	12	000h	

6.2.2. 后端用户可编程参数详述

6.2.2.1. 输出传递特性

以下定义了两种可选的不同类型的传递函数（LNR）：

- 可以定义 4 个任意点（通过定义其 X 和 Y 坐标值）和 5 个斜率来实现。
- 可以定义 17 个等距点来实现，这样只需定义其 Y 坐标值。

表格 6-2 输出传输特性参数

参数	LNR 类型	值	单位
EE_CW	所有模式	0: 逆时针 1: 顺时针	LSB
EE_ZERO_POINT	所有模式	0...359.9999	deg
EE_LNR_A_X EE_LNR_B_X EE_LNR_C_X EE_LNR_D_X	4 点模式	0...359.9999	deg

参数	LNR 类型	值	单位
EE_LNR_A_Y EE_LNR_B_Y EE_LNR_C_Y EE_LNR_D_Y	4 点模式	0 ... 100 -50 ... +150	%
EE_LNR_S0 EE_LNR_A_S EE_LNR_B_S EE_LNR_C_S EE_LNR_D_S	4 点模式	-17 ... 0 ... 17	%/deg
EE_LNR_Y0 EE_LNR_Y1 ... EE_LNR_Y16	17 点模式	0 ... 100 -50 ... +150	%
EE_LNR_RANGE_SEL	17 点模式	65.5 ... 360	deg
EE_CLAMP_LO	所有模式	0 ... 100	%
EE_CLAMP_HI	所有模式	0 ... 100	%
EE_OUTOFS_SLOPE_COLD	所有模式	0 ... 255	LSB
EE_OUTOFS_SLOPE_HOT	所有模式	0 ... 255	LSB

6.2.2.1.1. 比例调整使能参数

EE_LNR_SCALE_EN 可以使能将 4 点 LNR 参数 EE_LNR_x_Y，或 17 点 LNR 参数 EE_LNR_Yn 按比例调整为-50%~150%，具体公式如下：

$$(\text{Scaled Out})\%VDD = 2 \times \text{Out}\% VDD - 50\%$$

表格 6-3 EE_LNR_SCALE_EN 参数设置 LNR_Y 参数的范围

EE_LNR_SCALE_EN	LNR_Y 最小值	LNR_Y 最大值
0	0%	100%
1	-50%	150%

6.2.2.1.2. 时钟方向参数

EE_CW 参数定义了磁体旋转方向。

- CCW 定义按 1-4-5-8 引脚顺序（SOIC8 封装）或 1-8-9-16 引脚顺序（TSSOP16 封装）旋转。
- CW 定义为相反的旋转方向，即按 8-5-4-1 引脚顺序（SOIC8 封装）或 16-9-8-1 引脚顺序（TSSOP16 封装）旋转。

参考第 8.1.3，8.2.3 节的集磁片位置图。

6.2.2.1.3. 不连续点 (0°点)

不连续点定义了圆周的 0°点。不连续点可以放在圆周的任何位置，EE_ZERO_POINT 参数用来作为所有角度测量的参考值。

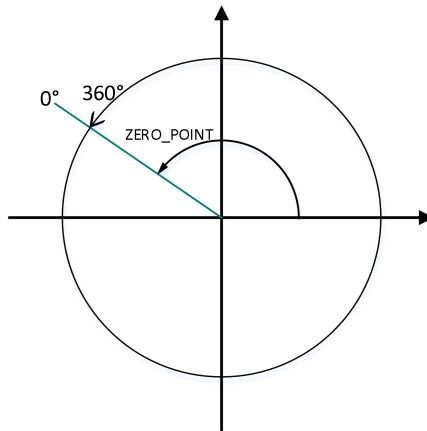


图 6-2 不连续点 (0°点) 位置

6.2.2.1.4. 4 点 LNR 参数

通过 LNR 参数和钳位电平参数，完整定义了数字角度值与输出信号之间的关系（传递函数）。

FI6991 从数字角度值到输出电压的传递函数如下图所示，可实现七段斜率的编程，但是两段钳位电平必须是常数。

我们可以使用 2 点、3 点，甚至 6 点校准，这样每次可以将芯片的整体非线性误差降低接近一个数量级。当客户追求更佳的非线性输出时，推荐使用 3 个到 6 个点校准。当客户追求较低的校准成本和较短的校准时间时，推荐采用 2 点校准。

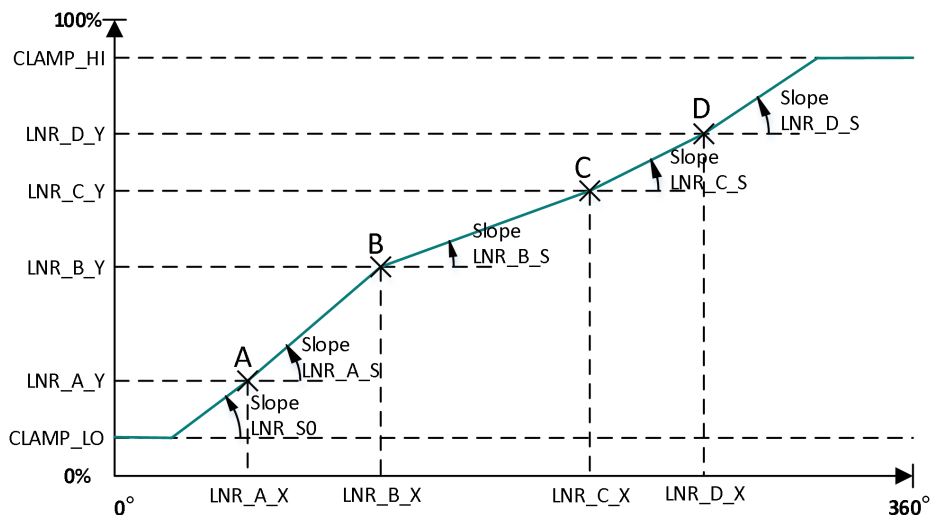


图 6-3 4 点 LNR 参数

6.2.2.1.5. 17 点 LNR 参数

通过 LNR 参数和钳位电平，完整定义了数字角度值和输出信号之间的关系（传递函数）。

FI6991 从数字角度值到输出电压的传递函数如下图所示，在 17 点模式下，传递特性是分段线性的（Piece-Wise-Linear, PWL）。

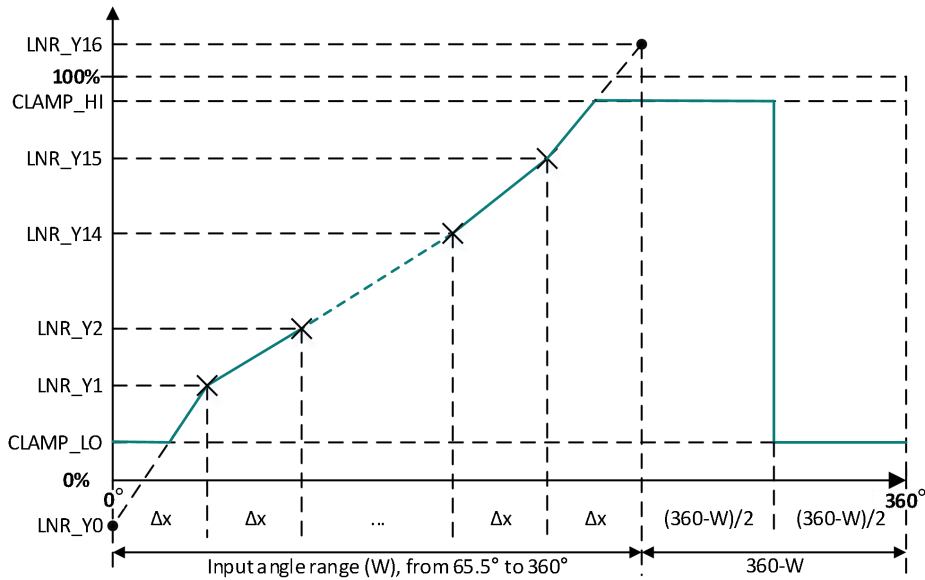


图 6-4 17 点 LNR 参数

可通过编程使所有的 Y 坐标值在 [0%, 100%) 或 [-50%, +150%) 之间，这样钳位电平在其中一段的中间（如上图所示），但是输出值依然是在 EE_CLAMP_LO 和 EE_CLAMP_HI 之间。

连续两个点的输出特性是通过内插值得到的。

参数 EE_LNR_RANGE_SEL 值决定了输入角度的范围，在此范围中 17 个点（16 段）是平均分布的：

表格 6-4 LNR_RANG_SEL 参数设置输入角度范围

LNR_RANGE_SEL	范围 W	Δ x	LNR_RANGE_SEL	范围 W	Δ x
0	360.0°	22.5°	8	180.0°	11.3°
1	320.0°	20.0°	9	144.0°	9.0°
2	288.0°	18.0°	10	120.0°	7.5°
3	261.8°	16.4°	11	102.9°	6.4°
4	240.0°	15.0°	12	90.0°	5.6°
5	221.5°	13.8°	13	80.0°	5.0°
6	205.7°	12.9°	14	70.0°	4.5°
7	192.0°	12.0°	15	65.5°	4.1°

超出了设置输入角度范围，输出将会保持在相应的钳位电平上。

6.2.2.1.6. 钳位参数

钳位电平参数是用两个独立的值来限制输出电平的范围。EE_CLAMP_LO 参数设置了输出电平的最小值，EE_CLAMP_HI 参数设置了输出电平的最大值。两个参数都是 16 比特的设置分辨率，可以用在两种 LNR 模式下。

6.2.2.1.7. 输出热漂移校正

参数 EE_OUTOFS_SLOPE_HOT 和 EE_OUTOFS_SLOPE_COLD 被定义来根据测量的温度给输出加上一个偏移量，如图 6-5 所示。

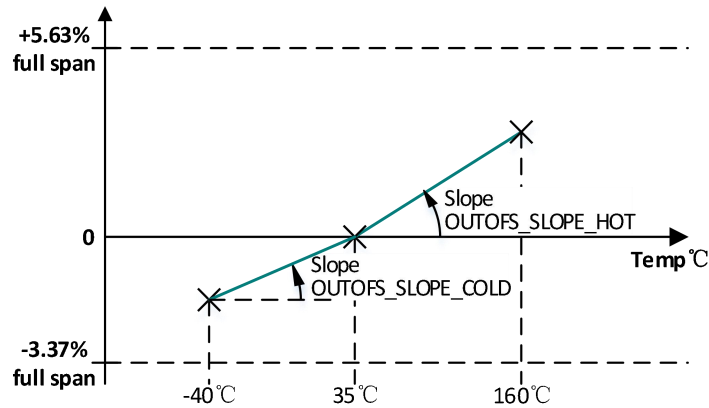


图 6-5 输出热漂移校正

热偏移是在进行钳位（见 6.2.2.1.6 节）之前加到输出的，该偏移量的幅度为全输出范围的+5.98/-3.89%。增加的热偏移随温度的变化见下式，其中分别定义了 35°C 以下（EE_OUTOFS_SLOPE_COLD）以及 35°C 以上（EE_OUTOFS_SLOPE_HOT）的热系数。

如果温度高于 35°C，则：

$$\text{output} \leq \text{output} - \Delta T * \text{EE_OUTOFS_SLOPE_HOT}$$

如果温度低于 35°C，则：

$$\text{output} \leq \text{output} - \Delta T * \text{EE_OUTOFS_SLOPE_COLD}$$

在这里 output 被用热偏移校正 $\Delta T * \text{EE_OUTOFS_SLOPE_COLD}$ 来进行调整，其中 ΔT 为当前温度与参考温度 35°C 的差。下表给出了在热室及温室下（极端温度，以及最大的 EE_OUTOFS_SLOPE_HOT 和 EE_OUTOFS_SLOPE_COLD 值）的输出校正能力。

表格 6-5 热偏移校正的输出校正能力

参数	最小值	典型值	最大值	单位
160°C 下的输出校正能力	5.34%	5.98%		全输出范围
-40°C 下的输出校正能力	-3.56%	-3.89%		全输出范围

6.2.2.2. SENT 输出协议

6.2.2.2.1. 概述

FI6991 提供的数字 SENT 输出协议符合标准 J2716 Revised APR2016 定义的“A.1 Dual Throttle Position Sensors”以及“A.3 Single Secure Sensors”子集。

6.2.2.2.2. SENT 信息定义

FI6991 的数字 SENT 输出会不断发送一系列的脉冲，对应于一序列的 nibble（4 bits）信息，这个脉冲序列包含如下内容：

- 校准/同步脉冲，56 ticks 长度，用于确定 SENT 帧的基础时序信息。
- 一个 4 bits 的状态及串行通讯 nibble 脉冲。
- 一个包含最多 6 个 4 bits 数据 nibble 脉冲的序列来传输数据信号。Nibble 的个数对于特定应用的编码格式是固定的（例如 A.3 的 single secure sensors 格式，A.1 的 throttle position sensors 格式。nibble 个数可为 3 或 6，可通过编程修改）。
- 一个 4 bits 校验 nibble 脉冲。
- 一个可选的 pause 脉冲。

更多关于 SENT 规格的一般性信息可以参考 SAE J2716 APR2016。

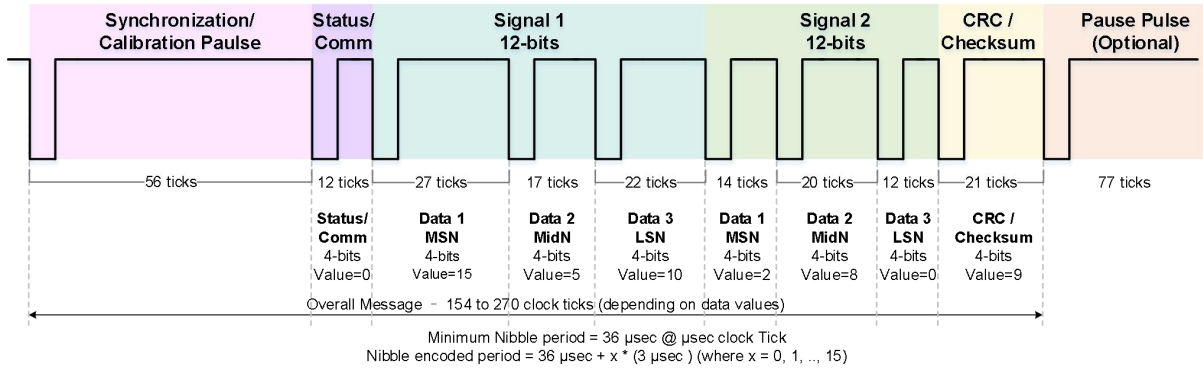


图 6-6 SENT 信息的格式编码示例（2 个 12 bits 信息）

6.2.2.2.3. SENT 的帧配置信息

FI6991 的数字 SENT 输出是根据以下配置来发送 nibble 序列的。

表格 6-6 SENT 的帧配置信息

信息	符号	最小值	典型值	最大值	单位	描述
SENT 版本	SENTrev		2010	2016		SENT 版本，支持增强型串行通道信息（2016）
tick 时间	tickTime	3	3	12	μs	主要应用例： 常速 SENT, 3μs tick 时间 慢速 SENT, 6μs tick 时间
数据 Nibble 个数	Xdn	3	6			
帧长度（无 pause 脉冲）	npp	154		270	ticks	6 个数据 nibble
帧长度（有 pause 脉冲）	ppc	282	320	922	ticks	只对 3μs tick 时间有效
传感器类型	A.1 A.3					Dual Throttle Position Sensors Single Secure Sensors

6.2.2.2.4. Single Secure Sensor A.3

FI6991 的数字 SENT 输出可以根据 SAE J2716 A.3 标准定义的 single secure sensor 格式来发送数据 nibble 系列。一帧包含 12 bits 的角度值，8 bits 的滚动序号以及角度值最高 nibble 的取反。

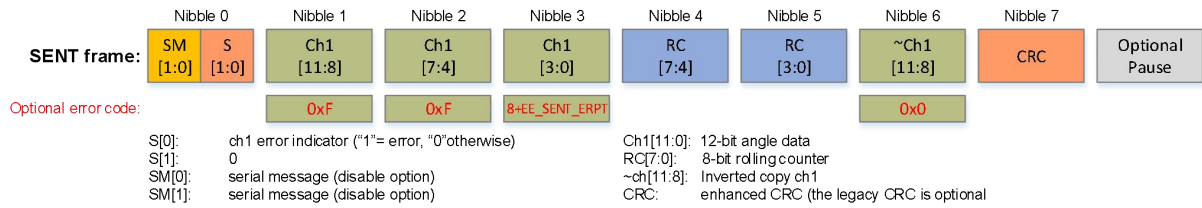


图 6-7 A.3 single secure sensor 的帧格式

表格 6-7 A.3 single secure sensor 的 SENT 配置缩写例子

配置缩写	Tick 时间	数据 nibble 个数	Pause 脉冲	串行信息	数据格式
SENT2016-03.0us-6dn-ppc(366.0)-esp-A.3	3μs	6	Y	Enhanced	A.3
SENT2016-03.0us-6dn-ppc(366.0)-esp-A.3	3μs	6	Y	None	A.3
SENT2016-03.0us-6dn-npp-nsp-A.3	3μs	6	N	None	A.3
SENT2016-##-#us-#dn-###()-###-A.3	3~12μs	6	Y/N	En/None	A.3

6.2.2.2.5. Dual Throttle Position Sensor A.1

FI6991 的 SENT 输出可以根据 SAE J2716 A.1 标准定义的 dual throttle position sensor 格式来发送数据 nibble 系列。一帧包含两个 12 bits 的角度值。

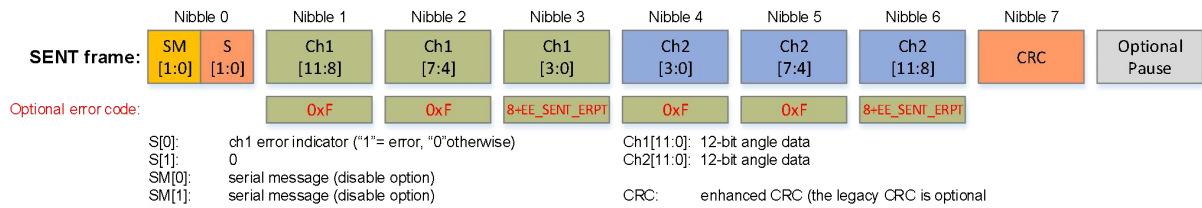


图 6-8 A.1 dual throttle position sensor 的帧格式

其中，第二个快速通道的信息可根据下面配置进行选择：

表格 6-8 EE_SENT_CH2_SEL 配置

EE_SENT_CH2_SEL	CH2 信息
0	温度传感器值
1	0xFF9 – CH1
2	EE_RAMPROBE_PTR 地址的 RAM 数据
3	0xFFF – CH1

表格 6-9 A.1 dual throttle position sensor 的 SENT 配置缩写例子

配置缩写	Tick 时间	数据 nibble 个数	Pause 脉冲	串行信息	数据格式
SENT2016-03.0us-6dn-ppc(366.0)-esp-A.1	3μs	6	Y	Enhanced	A.1
SENT2016-03.0us-6dn-ppc(366.0)-esp-A.1	3μs	6	Y	None	A.1
SENT2016-03.0us-6dn-npp-nsp-A.1	3μs	6	N	None	A.1
SENT2016-##-#us-#dn-###()-###-A.1	3~12μs	6	Y/N	En/None	A.1

6.2.2.2.6. 快速通道的诊断信息报告

6.2.2.2.6.1. 诊断报告比特 S[0]

当满足下面三个条件，状态比特 S[0]会置 1，报告错误状态：

1. （模拟或环境）诊断发现错误。-- 数字诊断错误会进入失效安全模式。
2. 与错误对应的诊断错误报告使能（EE_DIAG_SETTING）是开启的。
3. 错误超过了防误动作时间。

6.2.2.2.6.2. 通道 1 的诊断报告

除了通过状态比特 S[0]报告诊断信息，也可以通过 12-bits 的通道 1 来报告。EE_SENT_ERPT 参数是 SENT 错误报告码，它可以控制诊断信息通过通道 1 来报告：

如果 EE_SENT_ERPT=0，通道 1 被用作发送角度信息，不会发送诊断信息，就跟没有诊断一样，这种情况下，诊断错误只能通过状态比特 S[0]来报告。

如果 EE_SENT_ERPT>0，当发生错误时，通道 1 会被用来发送诊断报告值(4088+EE_SENT_ERPT)。

6.2.2.2.7. 快速通道的 CRC

FI6991 提供的是 CRC 新的推荐实现，为了满足兼容旧设备的需求，也提供了旧版本的 CRC 实现，可以通过 EE_SENT_CRC2007 来选择。

6.2.2.2.8. Pause 脉冲

标准里定义的 pause 脉冲会出现在每一个帧的末尾，pause 脉冲模式可以通过 EE_SENT_PAUSE_EN 来开关。Pause 脉冲的长度是可变的，它被用来实现帧周期为固定时间长度（EE_SENT_TFRAME）。

固定帧周期可以帮助实现磁场采样与帧同步脉冲之间的同步。

6.2.2.2.9. 启动阶段的传输

在芯片启动过程中，当数字部分启动完成，即使角度采样的初始化流程未完成，芯片都会开始发送初始帧。这些初始帧的内容可以根据用户配置来选择：

表格 6-10 初始帧的数据选择

EE_SENT_INIT_SEL	初始化帧数据	备注
0	0x000	SAE 兼容
1	0xFF9 + EE_SENT_INIT_OEM	OEM 要求EE_SENT_INIT_OEM: 0~7

6.2.2.2.10. 磁场采样与帧同步脉冲的同步

在默认时钟周期配置和 EE_FILTER=1 的情况下，快速通道的数字角度信息是由两个角度值平均得到的，而这两个角度值都是根据 4 次 ADC 输出值计算得到的。ADC 采样与帧同步脉冲的时间间隔为常量。因此，从磁场角度采样到正同步脉冲之间的时延为常量，这允许在 ECU 端做滤波处理。

6.2.2.2.11. SENT 输出的时序配置

表格 6-11 EE_SENT_TICK_TIME 配置

EE_SENT_TICK_TIME	tick 时间	备注
0	3μs	标准 SENT
Others		Reserved

表格 6-12 EE_SENT_FIXED_HI 配置

EE_SENT_FIXED_HI	半字节脉冲高电平/低电平时间固定配置
0	半字节低电平时间固定
1	半字节高电平时间固定

6.2.2.2.12. 串行信息通道（慢速通道）

FI6991 对慢速通道的编码符合 SENT 标准 SAE J2716 APR2016 5.2.4.2 定义的增强型串行信息格式，除了以下约束：

配置比特不可选，只能为 0，即只支持包含 12-bits 数据和 8-bits 信息 ID 的数据格式。

串行信息数据是通过状态与通信 nibble 的第 3 和第 2 比特来串行传输的。一个串行信息帧会跨度到发送端的 18 个连续 SENT 数据帧，所有的 18 帧必须被成功接收到（没有错误，没有校正脉冲的变化，没有数据 nibble 的 CRC 校验错，等等），一个串行信息才是被成功接收。

增强型串行信息格式包含 12-bits 数据和 8-bits 信息 ID（SAE J2716 APR2016 5.2.4.2, fig. 5.2.4.2-2）。根据标准，SM[0]包含 6 bits 的 CRC，接着是 12 bits 的数据，信息的内容由 SM[1]通道传输的 8-bits 信息 ID 来定义，ID 与串行信息内容的定义关系在后面的表格中给出（表格 6-13，表格 6-14，表格 6-15）。

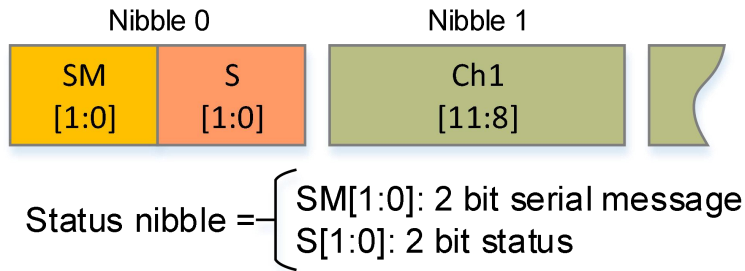


图 6-9 SENT 状态 nibble 与串行信息

默认情况下，一个短的包含 24 个数据的序列会被发送（表格 6-13），也可以通过配置 EE_SMSG_SEQEXT 来扩展这个数据序列（表格 6-14）。另外，也可以通过配置 EE_SMSG_BFIELD 来在序列的后面附加传输一个传感器检测得到的归一化场强 B 的值（表格 6-15）。

表格 6-13 SENT 输出慢速通道的标准数据序列

序号	8bit ID	数据	备注
1	0x01	诊断错误码	参考 6.2.2.2.14 节描述
2	0x06	SENT 标准版本号	EE_SMSG_SENTREV
3	0x01	诊断错误码	
4	0x05	制造商代码	EE_SMSG_MC

序号	8bit ID	数据	备注
5	0x01	诊断错误码	
6	0x03	通道 1/2 的传感器类型	EE_SMSG_STYPE
7	0x01	诊断错误码	
8	0x07	快速通道 1-X1	EE_SMSG_CH1_X1
9	0x01	诊断错误码	
10	0x08	快速通道 1-X2	EE_SMSG_CH1_X2
11	0x01	诊断错误码	
12	0x09	快速通道 1-Y1	EE_SMSG_CH1_Y1
13	0x01	诊断错误码	
14	0x0A	快速通道 1-Y2	EE_SMSG_CH1_Y2
15	0x01	诊断错误码	
16	0x23	温度值或用户定义的 RAM 信息	当前温度传感器的温度值，或者用户定义的 RAM 信息：例如 Gain, FieldStrength 等，详细见后面描述
17	0x01	诊断错误码	
18	0x29	传感器 ID#1	EE_SMSG_SENSOR_ID1
19	0x01	诊断错误码	
20	0x2A	传感器 ID#2	EE_SMSG_SENSOR_ID2
21	0x01	诊断错误码	
22	0x2B	传感器 ID#3	EE_SMSG_SENSOR_ID3
23	0x01	诊断错误码	
24	0x2C	传感器 ID#4	EE_SMSG_SENSOR_ID4

表格 6-14 SENT 输出慢速通道的扩展数据序列

序号	8bit ID	数据	备注
25	0x01	诊断错误码	
26	0x90	OEM 代码#1	EE_SMSG_OEM1
27	0x01	诊断错误码	
28	0x91	OEM 代码#2	EE_SMSG_OEM2
29	0x01	诊断错误码	
30	0x92	OEM 代码#3	EE_SMSG_OEM3
31	0x01	诊断错误码	
32	0x93	OEM 代码#4	EE_SMSG_OEM4
33	0x01	诊断错误码	
34	0x94	OEM 代码#5	EE_SMSG_OEM5
35	0x01	诊断错误码	
36	0x95	OEM 代码#6	EE_SMSG_OEM6
37	0x01	诊断错误码	
38	0x96	OEM 代码#7	EE_SMSG_OEM7
39	0x01	诊断错误码	
40	0x97	OEM 代码#8	EE_SMSG_OEM8

表格 6-15 SENT 输出慢速通道的附加数据 -- 归一化磁场强度

序号	8bit ID	数据	备注
25	0x80	归一化磁场强度	RAM_BFIELD_NORM (标准序列)
41	0x80	归一化磁场强度	RAM_BFIELD_NORM (扩展序列)

6.2.2.2.13. 用户定义的 RAM 信息

EE_SMSG_PROBE_MODE 定义了序号 16 的慢速通道数据信息，有三种选择：

- 0: 温度值 (RAM_SMSG_TEMP)。
- 1: 用户定义 (EE_RAMPROBE_PTR) 的 RAM 数据低 12 比特。
- 2: 用户定义 (EE_RAMPROBE_PTR) 的 RAM 数据高 12 比特。

其中，温度值由下式计算得到：

$$\text{RAM_SMSG_TEMP} = 8 * (\text{TEMP} - 35) + 865$$

实际的温度精度为±10℃。

6.2.2.2.14. 串行信息中的错误码

表格 6-16 给出了当串行信息 8-bits ID 为 0x01 时发送的 12-bits 的错误和状态信息。这里的错误码是独立编码的，每一个 bit 代表一个或多个监测器结果。

表格 6-16 SENT 串行信息中错误码的定义

Bit	12 bit 数据(hex)	诊断错误信息	备注
-	0x000	无错误	
0	0x801	虚拟增益溢出	虚拟增益超出范围[EE_GAINMIN, EE_GAINMAX]
1	0x802	场强过低	场强低于最低阈值 EE_FLD_THRES_LO
2	0x804	场强过高	场强高于最高阈值 EE_FLD_THRES_HI
3	0x808	ADC 溢出	ADC 饱和和溢出，下溢出或上溢出
4	0x810	ADC 自诊断出错	ADC 自诊断发现错误
5	0x820	模拟电压监测错误	模拟电压过低
6	0x840	数字电压监测错误	数字电压过高
7	0x880	RoughOffset 溢出	霍尔器件的偏移饱和溢出，下溢出或上溢出
8	0x900	温度超界	温度超出范围，高温越界或低温越界

6.2.2.2.15. SENT 配置缩写定义

表格 6-17 SENT 配置缩写定义

缩写描述	格式	要求	FI6991 可编程配置
SENT SAE J2716 REV	SENTxxxx	2007 2008 2010 2016	EE_SENT_CRC2007 0: >2007 1: 2007
时钟 Tick 时间[μs]	xx.x μs	xx.x = 03.0	EE_SENT_TICK_TIME

缩写描述	格式	要求	FI6991 可编程配置
			0: 3.0μs Others, reserved
数据 nibble 个数	X dn	X = 3 或 6	EE_SENT_3DN 0: 6 个数据 nibble 1: 3 个数据 nibble
Pause 脉冲	npp ppc (xxx.0) xxx	无 pause 脉冲, 或开启 pause 脉冲(固定帧长度) 帧长度 282<xxx<922	EE_SENT_PAUSE_EN 0: npp, 无 pause 脉冲 1: ppc, 开启 pause 脉冲 EE_SENT_TFRAME bit[11:0]: SENT 固定帧长度
串行信息协议	nsp ssp esp	不使用串行信息 短的串行信息 增强型串行信息	EE_SENT_SERIAL_CFG 1: nsp, 不使用串行信息 2: reserved, 3: esp, 使用增强型串行信息
传感器类型	A.1 A.3	Dual throttle position sensor Single secure sensor	EE_SENT_STD_SS 0: A.1, dual throttle position sensor 1: A.3, single secure sensor

6.2.2.3. 用户标识

表格 6-18 EE_USR_IDx 定义

参数	值
EE_USR_ID0	0...65535
EE_USR_ID1	0...65535
EE_USR_ID2	0...65535

标识码：48 位（3 个字）可自由使用的参数，用户可用于芯片的追溯。

6.2.2.4. EEPROM 锁定

通过设置 EE_MEM_LOCK 参数，可以对 FFI 及用户设置的全部 EEPROM 参数进行写保护。一旦锁定功能被启用，EEPROM 的值将不再能被更改。

注意：EE_MEM_LOCK 参数可以通过 solver 函数“MemLock”进行设置。

6.2.2.5. 传感器芯片前端

表格 6-19 传感器芯片前端参数

参数	值
EE_FLD_XYZ_SEL	0 ... 3
EE_SMISM_XY	0 ... 32768
EE_SMISM_XYZ	0 ... 32768

参数	值
EE_SMISM_COMP_SEL	0 / 1
EE_GAINMIN	0 ... 41
EE_GAINMAX	0 ... 41
EE_GAIN_SATU_EN	0 / 1

6.2.2.5.1. 磁场分量选择 EE_FLD_XYZ_SEL

EE_FLD_XYZ_SEL 参数定义了用来计算角度的磁场选择，下表描述了不同的 EE_FLD_XYZ_SEL 对应的角度定义。

根据下表，这个 2-bits 的参数用来选择 B1 和 B2 的磁场分量。

表格 6-20 EE_FLD_XYZ_SEL 磁场分量选择

EE_FLD_XYZ_SEL	B1	B2	角度
0 – 00b	X	Y	XY 模式
1 – 01b	Zx	X	XZx 模式
2 – 10b	Y	Zx	YZx 模式

注意：不推荐 EE_FLD_XYZ_SEL=3 的模式。

6.2.2.5.2. 灵敏度失配补偿参数 EE_SMISM_XY、EE_SMISM_XYZ 和 EE_SMISM_COMP_SEL

6.2.2.5.2.1. EE_SMISM_XY

当磁场选择 XY 模式（B1=X, B2=Y）时，EE_SMISM_XY 参数被用作修正磁场 B1 和 B2 之间的灵敏度失配因子。当选用其他磁场模式时，这个参数被“忽略”。

在出厂时，EE_SMISM_XY 参数已经被校准，为了获得最佳的性能，强烈建议**不要修改**此参数。

6.2.2.5.2.2. EE_SMISM_XYZ

当磁场选择非 XY 模式（B1=X, B2=Y）时，EE_SMISM_XYZ 参数被用作修正磁场 B1 和 B2 之间的灵敏度失配因子（根据 EE_SMISM_COMP_SEL，参见下节）。而当磁场模式选择 XY 模式时，这个参数被“忽略”。

出厂时，EE_SMISM_XYZ 参数已经被校准为 XZx 模式（B1=Z, B2=X）模式的灵敏度失配因子。建议客户在选择非 XY 模式（B1=X, B2=Y）的其他模式时，可以对该参数进一步精调，以满足更小线性误差（Le）的需求。

6.2.2.5.2.3. EE_SMISM_COMP_SEL

当磁场选择非 XY 模式（B1=X, B2=Y）时，EE_SMISM_COMP_SEL 定义了施加灵敏度失配因子（见上节）的磁场分量：

当 EE_SMISM_COMP_SEL=0 时，灵敏度失配因子将作用于磁场 B1 上，即 B1 -> EE_SMISM_XYZ*B1；

当 EE_SMISM_COMP_SEL=1 时，灵敏度失配因子将作用于磁场 B2 上，即 B2 -> EE_SMISM_XYZ*B2。

6.2.2.5.2.4. 虚拟增益阈值 EE_GAINMIN 和 EE_GAINMAX 参数

EE_GAINMIN 和 EE_GAINMAX 定义了虚拟增益允许变化的范围，超出该范围，输出将报告诊断错误。

如果 EE_GAIN_SATU_EN 被开启，虚拟增益会被钳位在 EE_GAINMIN 和 EE_GAINMAX 之间。这种情况下，虚拟增益的诊断错误不再会被报告，因为虚拟增益钳位会先于诊断检查前被执行。

6.2.2.6. 数字滤波

表格 6-21 数字滤波参数

参数	值
EE_FILTER	0 ... 2
EE_FHYST_PARAM	0 ... 255

FI6991 包括 2 种滤波器：

- 滞回滤波器：可通过 EE_FHYST_PARAM 编程。
- 低通 FIR 滤波器：通过 EE_FILTER 参数编程控制。

6.2.2.6.1. 滞回滤波器

EE_FHYST_PARAM 是滞回滤波器的参数。当数字信号变化小于 EE_FHYST_PARAM 参数值时，芯片的输出值不会被更新；只有变化值超过滞回值时，输出值才会改变。因此，滞回滤波器可以将分辨率减小到与芯片内部噪声相当的水平。滞回值必须编程到一个与噪声水平接近的值（1LSB = ±0.012%）。

6.2.2.6.2. 低通 FIR 滤波器

FI6991 提供 2 种 FIR 滤波模式，由通过 EE_FILTER = 1...2 来控制。当 EE_FILTER = 0 时，对应无 FIR 滤波器。其传递函数可以表示为：

$$y_n = \frac{1}{\sum_{i=0}^j a_i} \sum_{i=0}^j a_i x_{n-i}$$

其中的滤波参数由下表给出：

表格 6-22 低通 FIR 滤波参数

EE_FILTER	0	1	2
滤波类型（名称）	关闭（无滤波）	FIR（Extra Light）	FIR（Light）
j	0	1	3
a _i 系数	1	11	1111
99% 响应时间	1	2	4
Efficiency RMS (dB)	0	3.0	6.0

6.2.2.7. 可编程诊断参数

6.2.2.7.1. 场强诊断

6.2.2.7.1.1. 场强过低诊断阈值参数 EE_FLD_THRES_LO

EE_FLD_THRES_LO 参数定义了用于诊断磁场强度过低的阈值。在正常工作中，估算的场强 (FieldStrength) 会与 $EE_FLD_THRES_LO * 2^8$ 比较，如果低于该值，将报告磁场强度过低的故障。

EE_FLD_THRES_LO 的敏感度一般为 1mT/LSB。默认情况下 EE_FLD_THRES_LO 被编程设置为 10mT。

6.2.2.7.1.2. 场强过高诊断阈值参数 EE_FLD_THRES_HI

EE_FLD_THRES_HI 参数定义了用于诊断磁场强度过高的阈值。其含义可参考上面关于 EE_FLD_THRES_LO 的定义。

6.2.2.7.2. 诊断功能

对于安全需求高的应用，建议开启诊断功能。

关于 EE_CRC_DISABLE 的功能描述以及用户可开启的诊断功能，详细可参考《应用指南_FI6991 诊断功能》。

6.2.2.8. EEPROM 耐用性

EEPROM 是用来存储校准数据的（与 OTPROM 类似），FI6991 的嵌入式 EEPROM 可以保证在 125°C 下至少写入 1000 次（仅限于工程或校正目的）。

6.3. 可追溯信息

出厂时，FFI 会在每个芯片 EEPROM 编程写入唯一的 ID 标识。FFI 强烈建议在 EOL 编程中存储此值，以确保最终产品的完全可追溯性。

这些 ID 标识在 EOL 编程中是不允许被修改的。

表格 6-23 EE_FFI_IDx 定义

参数	值
EE_FFI_ID0	0...65535
EE_FFI_ID1	0...65535
EE_FFI_ID2	0...65535

7. 功能描述

7.1. 自诊断

FI6991 提供大量自诊断功能。这些功能大大提高了芯片运行的鲁棒性，并防止芯片在发生内部或外部错误时输出错误的信号（失效安全）。

表格 7-1 自诊断

诊断项	处理措施	对输出的影响	类型	监控频率	报告频率
启动阶段的诊断					
RAM 测试	进入失效安全模式， 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高报告 (可选)	数字硬件	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
看门狗 BIST	进入失效安全模式， 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高报告 (可选)	数字硬件	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
场强过低诊断（通过可编程阈值）	诊断（无防误动作）	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
场强过高诊断（通过可编程阈值）	诊断（无防误动作）	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
弱磁场诊断	诊断（无防误动作）	诊断低/高报告 (可选)	环境	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
低电压监测 SUPPLYMONI = (LT3V) or (LT4V)	停留在启动阶段， 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高报告	环境&模拟	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
过电压监控 MT7V	进入 PGM 编程模式	输出高阻态	环境	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
温度监控 TEMPMONI ⁽¹⁾	防误动作（可编程）	诊断低/高报告	模拟	n/a, 仅在启动阶段	n/a, 仅在启动阶段
后台循环诊断					
ROM 16bit 校验和 (连续)	进入失效安全模式， 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高报告 (可选)	数字硬件	106·DTI _{DIG}	106·DTI _{DIG}
RAM 测试(连续)	进入失效安全模式， 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高报告 (可选)	数字硬件	20·DTI _{DIG}	20·DTI _{DIG}
EEPROM 8bit CRC 检查(连续)	进入失效安全模式， 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高报告 (可选)	数字硬件	11·DTI _{DIG}	11·DTI _{DIG}
看门狗(连续)	CPU 重启	--	数字硬件	110ms	n/a
DSP 循环诊断					
ADC 溢出 ADCCLIP	防误动作（可编程）	SENT status bit0 = 1 (可选)	环境&模拟	5/DSP	DTI _{ANA} × $\frac{\text{Diag_Debounce_Tresh}}{\text{Diag_Debounce_Stepup}}$
场强过低诊断（通过可编程阈值）	防误动作（可编程）	SENT status bit0 = 1 (可选)	环境&模拟	2/20·DTI _{ANA}	DTI _{ANA} × $\frac{\text{Diag_Debounce_Tresh}}{\text{Diag_Debounce_Stepup}}$

诊断项	处理措施	对输出的影响	类型	监控频率	报告频率
场强过高诊断 (通过可编程阈值)	防误动作 (可编程)	SENT status bit0 = 1 (可选)	环境&模拟	2/20·DTI _{ANA}	DTI _{ANA} × <u>Diag_Debounce_Tresh</u> Diag_Debounce_Stepup
弱磁场诊断	防误动作 (可编程)	SENT status bit0 = 1 (可选)	环境&模拟	1/20·DTI _{ANA}	1/20·DTI _{ANA}
虚拟增益溢出 GAINOOS	防误动作 (可编程)	SENT status bit0 = 1 (可选)	环境&模拟	2/20·DTI _{ANA}	DTI _{ANA} × <u>Diag_Debounce_Tresh</u> Diag_Debounce_Stepup
虚拟增益饱和和钳位 [EE_GAINMIN ... EE_GAINMAX]	饱和和钳位 (可选)	增益饱和和钳位在 [EE_GAINMIN ... EE_GAINMAX]	环境&模拟	n/a, 不是诊断	n/a, 不是诊断
ADC 检测 (模数转换) ADCMONI	防误动作 (可编程)	SENT status bit0 = 1 (可选)	模拟硬件	1·DTI _{ANA}	DTI _{ANA} × <u>Diag_Debounce_Tresh</u> Diag_Debounce_Stepup
低电压监测 SUPPLYMONI = (LT3V) or (LT4V)	电源防误动作 (可编程)	SENT status bit0 = 1 (可选)	环境&模拟	1·DTI _{ANA}	DTI _{ANA} × <u>Diag_Debounce_Tresh</u> Diag_Debounce_Stepup
过电压监控 MT7V	PGM 防误动作后进入 PGM 编程模式	输出高阻	环境	1/DSP	1/20·DTI _{ANA}
温度监控 TEMPMONI	防误动作 (可编程)	SENT status bit0 = 1 (可选)	模拟	1·DTI _{ANA}	DTI _{ANA} × <u>Diag_Debounce_Tresh</u> Diag_Debounce_Stepup
温度>170°C (±20) 温度< -60°C (±20)	用于温度补偿计算的 温度值, 被相应地饱和 和钳位到-40°C 和 150°C	无影响	环境&模拟	n/a, 不是诊断	n/a, 不是诊断
硬件诊断 (由专用数字逻辑进行连续的检查)					
读写访问超出存储器地址	进入失效安全模式, 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高	数字硬件	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断
对保护区域进行写访问 (IO 和 RAM 区域)	进入失效安全模式, 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高	数字硬件	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断
进入未授权模式	进入失效安全模式, 110ms 后 CPU 重启	诊断低/高	数字硬件	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断
EEPROM 纠错码 (Hamming 纠错)	(透明的) 纠错	无影响	数字硬件	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断
硬件诊断 (由专用模拟电路进行连续的检查)					
V _{SS} 断路	恢复后 CPU 重启	下拉负载 => 诊断高 上拉负载 => 诊断高	环境	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断
V _{DD} 断路	恢复后 CPU 重启	下拉负载 =>	环境	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断

诊断项	处理措施	对输出的影响	类型	监控频率	报告频率
		诊断低 上拉负载 => 诊断低			

(1) 对于较慢的上升时间，只有当电源转换速率大于 0.5V/ms 时才可以开启温度检测。

表格 7-2 诊断频率参数（主时钟频率@13.3MHz）

参数	最小	典型	最大	单位
DTI _{ANA}	6	6	6	ms
DTI _{DIG}	4	6	10 ⁽¹⁾	ms

(1) DTI_{DIG} (例如最差情况下为 10ms) 对应 20 个输出刷新时间(例如 500μs)。

8. 封装

8.1. SOIC-8 封装

8.1.1. SOIC-8 封装示意图及标识

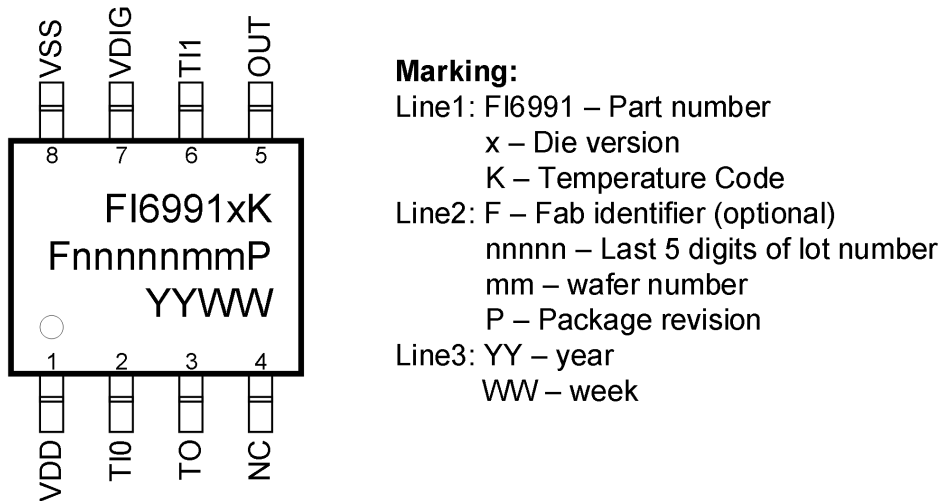


图 8-1 SOIC-8 封装示意图及标识

8.1.2. SOIC-8 封装尺寸

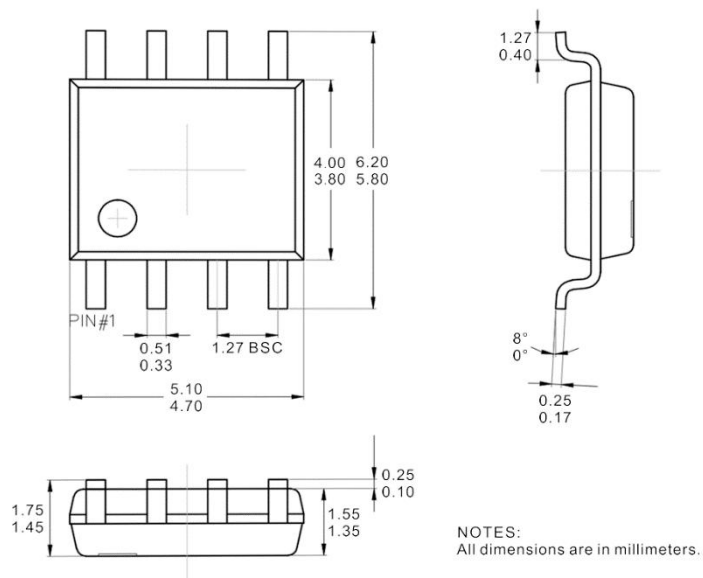


图 8-2 SOIC-8 封装尺寸

8.1.3. SOIC-8 封装磁场感应点位置

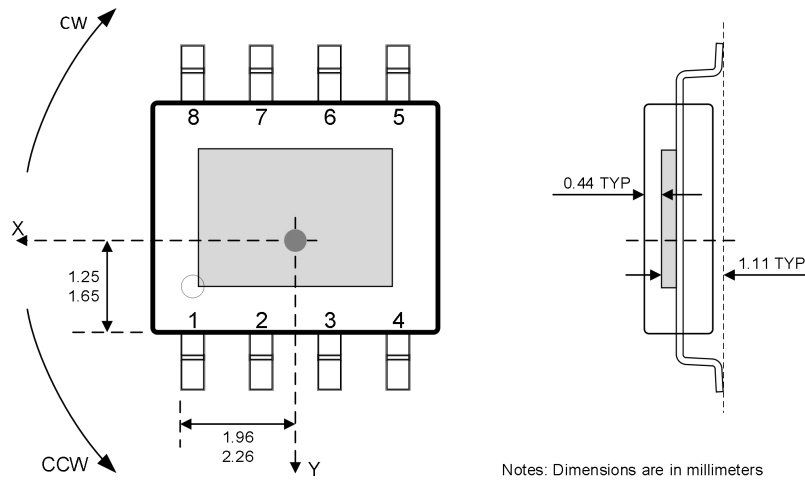
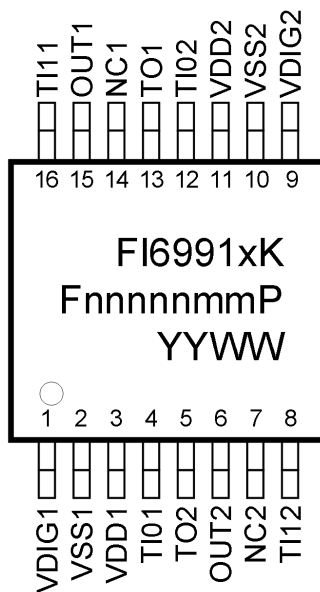


图 8-3 SOIC-8 封装的磁场感应点

8.2. TSSOP-16 封装

8.2.1. TSSOP-16 封装示意图及标识



Marking:

- Line1: FI6991 – Part number
- x – Die version
- K – Temperature Code
- Line2: F – Fab identifier (optional)
- nnnnn – Last 5 digits of lot number
- mm – wafer number
- P – Package revision
- Line3: YY – year
- WW – week

图 8-4 TSSOP-16 封装示意图及标识

8.2.2. TSSOP-16 封装尺寸

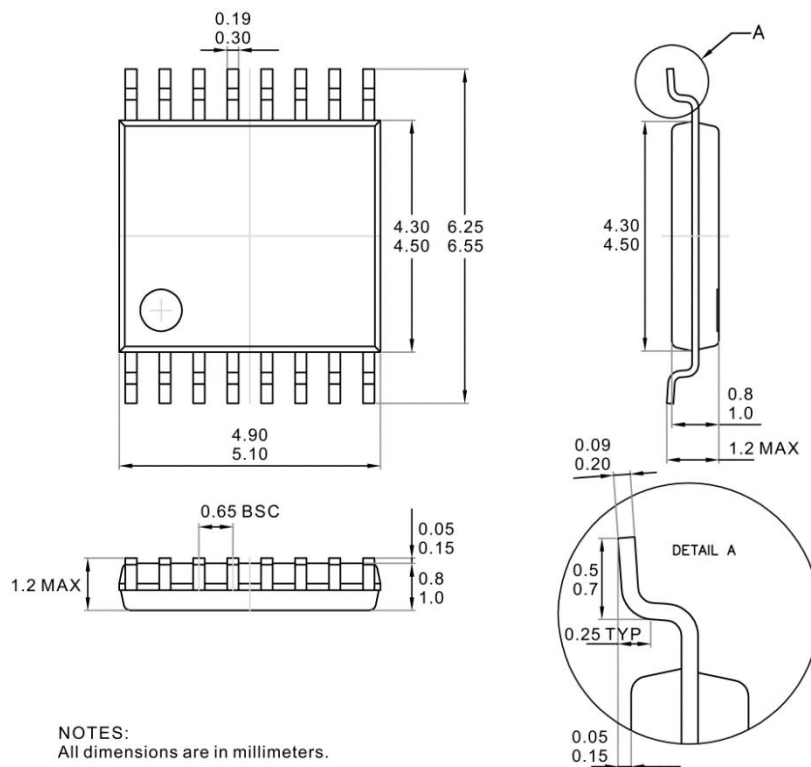


图 8-5 TSSOP-16 封装尺寸

8.2.3. TSSOP-16 封装磁场感应点位置

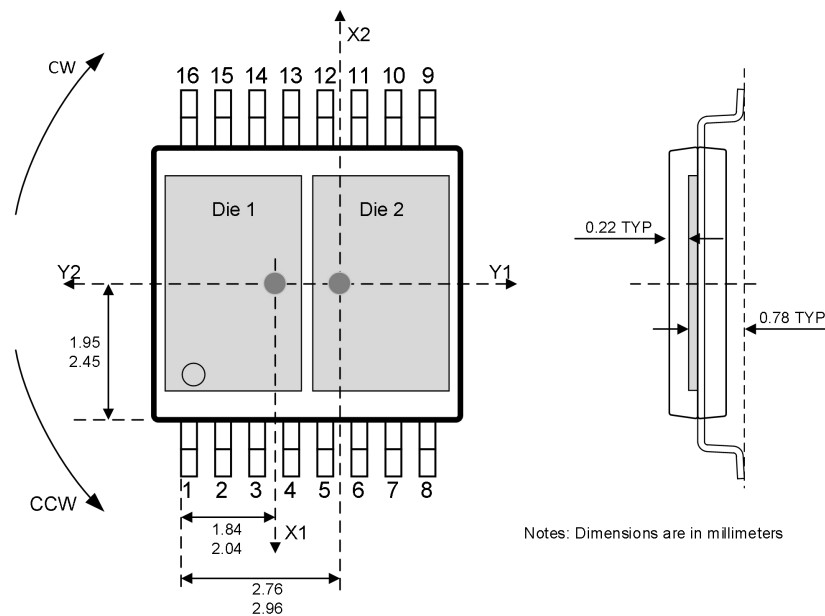


图 8-6 TSSOP-16 封装的磁场感应点

9. 订货信息

FI6991 可以订货的信息如下。最新的订货信息请联系供应商。

表格 9-1 FI6991 可订货信息

芯片代码	版本代码	温度代码	封装代码	电容封装代码	可选代码	包装代码	备注
FI6991	A	K	DI	N	000	RA	
FI6991	A	K	GQ	N	000	RA	

其中：

温度代码： K: -40°C to +125°C

E: -40°C to +85°C

封装代码： DI: SOIC-8

GQ: TSSOP-16

包装代码： RA: Reel 包装

订货信息示例： FI6991AKDI-N-000-RA

10. ESD 预防

电子半导体产品对静电放电（ESD）很敏感。处理半导体产品时，都要遵守静电放电控制程序。一个好的 PCB 版图设计（电容接近引脚，低阻抗的接线版图）会帮助提高 ESD 鲁棒性。

修订记录

版本	日期	版本描述
V1.3	2024-10-29	更新特性和优势。
V1.2	2024-08-14	更新特性和优势。
V1.1	2024-05-14	刷新特性、最大额定值、精度规格等的信息。
V1.0	2023-12-04	初始发布版本

版权所有 © 深圳市飞仙智能科技有限公司 2024。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

重要通知 – 请仔细阅读

深圳市飞仙智能科技有限公司（“飞仙智能”）保留随时对飞仙智能产品，文档和规格进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。因此，用户应在订货之前获取关于飞仙智能产品的最新信息，和飞仙智能核对信息的正确性是必要的。

除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。飞仙智能不对其使用承担任何责任，也不承担因其使用导致的任何对专利或第三方其它权利的侵犯的责任。

飞仙智能不对任何知识产权进行任何明示或默许的授权或许可。