

**飞仙智能**  
Flying Fairy Intelligent

# FI6990 可编程霍尔效应位置传感器芯片

Rev. 1.6

2024-10-29

## 目录

<b>0. 名词定义和缩略语说明</b> .....	<b>4</b>
<b>1. FI6990 简介</b> .....	<b>5</b>
1.1. 特性和优势 .....	5
1.2. 典型应用 .....	5
<b>2. 概述</b> .....	<b>6</b>
2.1. 功能框图 .....	6
2.2. 功能概述 .....	6
<b>3. 引脚定义和引脚说明</b> .....	<b>8</b>
3.1. SOIC-8 封装的引脚定义和引脚说明 .....	8
3.2. TSSOP-16 封装的引脚定义和引脚说明 .....	9
<b>4. 应用参考设计</b> .....	<b>10</b>
4.1. SOIC-8 封装的应用 .....	10
4.2. TSSOP-16 封装的应用 .....	11
<b>5. 技术规格</b> .....	<b>12</b>
5.1. 绝对最大额定值 .....	12
5.2. 一般性电气规格 .....	12
5.3. 隔离规格 .....	14
5.4. 时序规格 .....	14
5.4.1. 一般性的时序规格 .....	14
5.4.2. 模拟输出模式的时序规格 .....	15
5.4.3. PWM 输出模式的时序规格 .....	15
5.5. 精度规格 .....	16
5.5.1. 模拟输出的精度规格 .....	16
5.5.2. PWM 输出的精度规格 .....	17
5.6. 磁铁规格 .....	18
5.7. CPU、内存规格 .....	18
<b>6. FI6990 传感器芯片的编程</b> .....	<b>19</b>
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 .....	30
<b>7. 功能描述 .....</b>	<b>31</b>
7.1. 自诊断 .....	31
<b>8. 封装 .....</b>	<b>34</b>
8.1. SOIC-8 封装 .....	34
8.1.1. SOIC-8 封装示意图及标识 .....	34
8.1.2. SOIC-8 封装尺寸 .....	34
8.1.3. SOIC-8 封装磁场感应点位置 .....	35
8.2. TSSOP-16 封装 .....	35
8.2.1. TSSOP-16 封装示意图及标识 .....	35
8.2.2. TSSOP-16 封装尺寸 .....	36
8.2.3. TSSOP-16 封装磁场感应点位置 .....	36
<b>9. 订货信息 .....</b>	<b>37</b>
<b>10. ESD 预防 .....</b>	<b>38</b>

## 0. 名词定义和缩略语说明

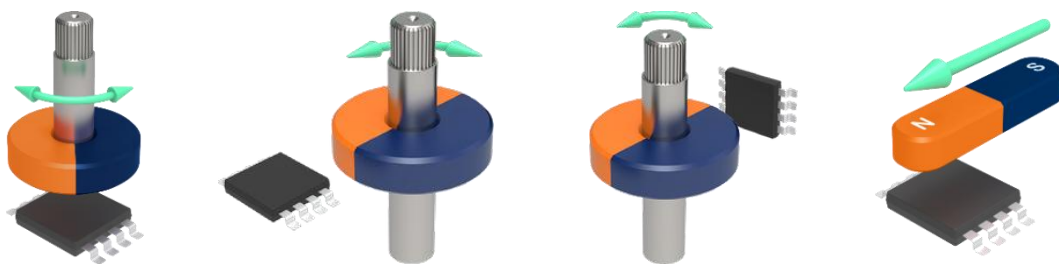
IC	集成电路
POR	上电复位
EOL	产线终端
EMC	电磁兼容
ESD	静电放电
ADC	模拟数字转换器
DAC	数字模拟转换器
LSB	最低有效位
MSB	最高有效位
DNL	微分非线性误差
INL	积分非线性误差
LSD	低边驱动
PP	推挽式
MT3V/LT3V	高于/低于 3V
MT4V/LT4V	高于/低于 4V
MT7V/LT7V	高于/低于 7V
MCP	磁集中片
PWM	脉冲宽度调制
%DC	脉宽占空比, $T_{ON}/T_{PWM}$
NC, N/C	不连接
TC	温度补偿
RISC	精简指令集计算机
DSP	数字信号处理器
HW, H/W	硬件
FW, F/W	固件
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. FI6990 简介

FI6990 是一个独立封装的传感器 IC，可敏感测量垂直和平行于 IC 表面的磁场强度。

FI6990 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，FI6990 可以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。

通过编程设置，FI6990 可以以一种与供电电压成比例输出的模拟信号进行输出，这种方式兼容任何电阻式电位器或者可编程线性霍尔传感器。通过编程，FI6990 也可以提供数字 PWM 输出方式。



### 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
- 三轴霍尔技术
- 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）
- 可选输出模式：模拟（按比例输出）、PWM
- 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  $-40^{\circ}\text{C}$  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 | ■ 扭矩传感器   |
| ■ 绝对线性位置传感器   | ■ 液位传感器   |
| ■ 踏板位置传感器     | ■ 高度位置传感器 |
| ■ 方向盘位置传感器    | ■ 非接触式电位计 |

## 2. 概述

### 2.1. 功能框图

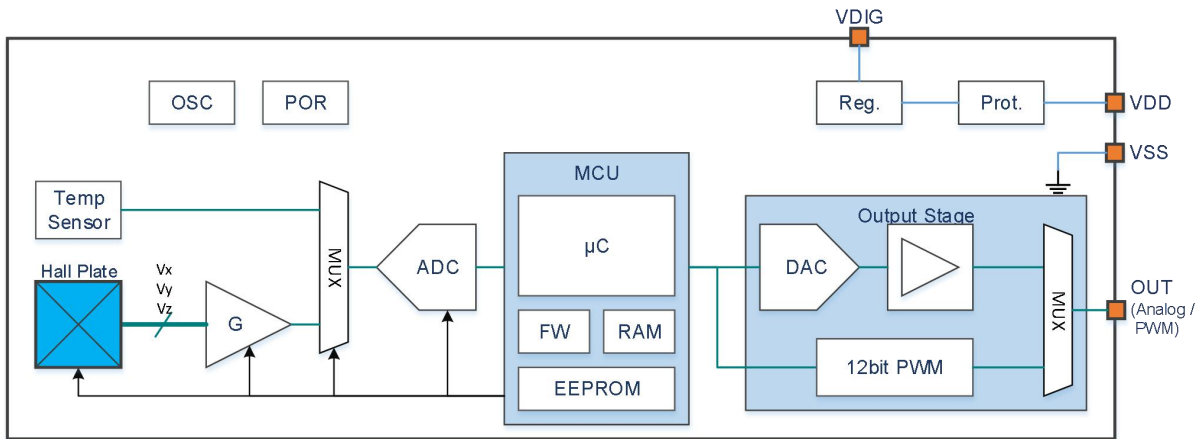


图 2-1 FI6990 框图

### 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， $\alpha$  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-FW），DSP 的计算功能得以实现。除了实现磁体角度计算，固件（FW）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。

磁体角度信息可以根据磁场强度变化进行自我补偿，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，并提供以下 2 种输出方式：1、经过 12 位 DAC 得到的与供电电压成比例的模拟输出；2、数字 PWM 输出。

模拟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

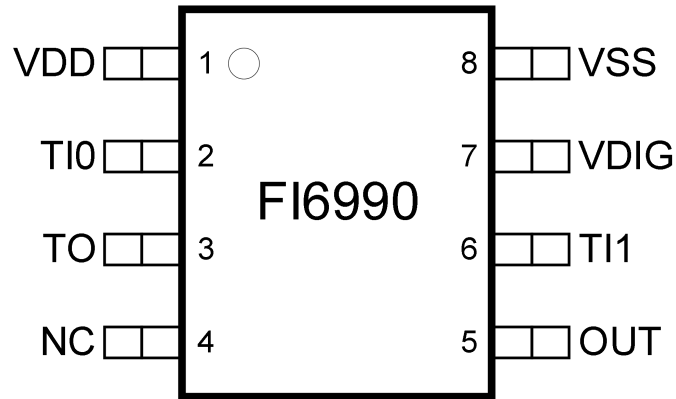


图 3-1 SOIC-8 封装引脚定义

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

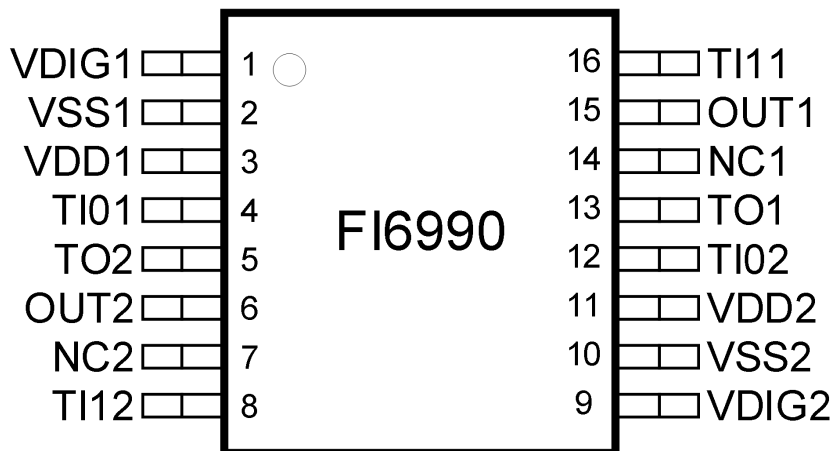


图 3-2 TSSOP-16 封装引脚定义

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 FI6990 应用的元器件表 (模拟输出)

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				47nF	100nF	330nF	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	10nF	靠近连接器
R1				0Ω	10Ω	33Ω	增加模拟输出比例误差, 模拟输出比例误差见 5.5.1 节
R2				10Ω	50Ω	100Ω	

表格 4-2 SOIC-8 封装 FI6990 应用的元器件表 (PWM 输出)

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

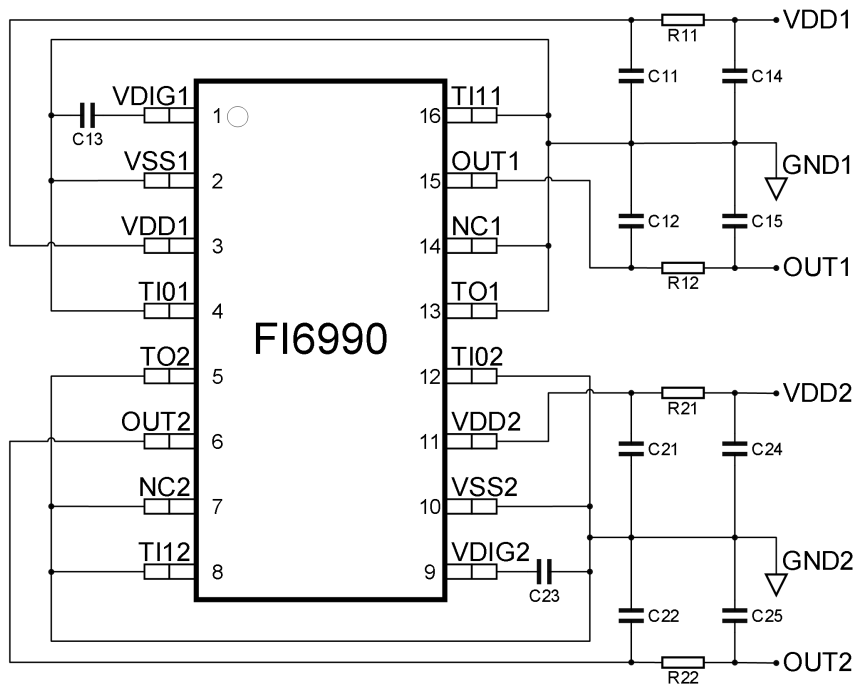


图 4-2 TSSOP-16 封装的应用参考电路

表格 4-3 TSSOP-16 封装 FI6990 应用的元器件表（模拟输出）

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	47nF	100nF	330nF	47nF	100nF	330nF	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	10nF	靠近连接器
R11, R21				0Ω	10Ω	33Ω	增加模拟输出比例误差, 模拟输出比例误差见 5.5.1 节
R12, R22				10Ω	50Ω	100Ω	

表格 4-4 TSSOP-16 封装 FI6990 应用的元器件表（PWM 输出）

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 <sup>(1)</sup>	$I_{DD}$	开启省电模式 关闭省电模式		6.5 8.5	10 <sup>(2)</sup> 12	mA
浪涌电流 <sup>(3)</sup>	$I_{surge}$				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
模拟输出负载	$R_L$	下拉到地 上拉到 5V	4.7 4.7	10 10		kΩ kΩ
PWM 输出负载	$R_{L\_PWM}$	下拉到地	1			kΩ

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
		上拉到 5V	1			kΩ
模拟饱和输出电平	$V_{sat\_lo}$	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 <sub>DD</sub>
	$V_{sat\_hi}$	下拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$ 下拉负载 $R_L \geq 10k\Omega$	95 97.5	96 98		%V <sub>DD</sub>
数字饱和电平, 开漏输出 ( $R_{L\_PWM}$ to $V_{PU}^{(4)}$ )	$V_{o\_min}$	上拉负载 $R_{L\_PWM}=1 k\Omega$ 到 5V	98			%V <sub>PU</sub>
		上拉负载 $R_{L\_PWM}=1 k\Omega$ 到 14V	97			
		上拉负载 $R_{L\_PWM}=1 k\Omega$ 到 18V	96			
		上拉负载 $R_{L\_PWM}<5.6 k\Omega$ 到 5V	97			
		上拉负载 $R_{L\_PWM}<5.6 k\Omega$ 到 14V	95			
		上拉负载 $R_{L\_PWM}<5.6 k\Omega$ 到 18V	92			
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 <sub>DD</sub>
	$V_{diag\_hi}$	下拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$ 下拉负载 $R_L \geq 10k\Omega$	95 97.5	96 98		%V <sub>DD</sub>
被动诊断输出电平 (开路追踪诊断) <sup>(5)</sup>	$BV_{SSPD}^{(6)}$	$V_{SS}$ 开路 & 下拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$ 下拉负载 $R_L \geq 10k\Omega$	95 97.5			%V <sub>DD</sub>
	$BV_{SSPU}$	$V_{SS}$ 开路 & 上拉负载 $R_L \geq 1k\Omega$	99.5	100		%V <sub>DD</sub>
	$BV_{DDPD}$	$V_{DD}$ 开路 & 下拉负载 $R_L \geq 1k\Omega$		0	0.5	%V <sub>DD</sub>
	$BV_{DDPU}$	$V_{DD}$ 开路 & 上拉负载 $R_L \geq 5k\Omega$			2	%V <sub>DD</sub>
钳位输出电平	$V_{clamp\_lo}$	可编程	0		100	%V <sub>DD</sub> <sup>(7)</sup>
	$V_{clamp\_hi}$	可编程	0		100	%V <sub>DD</sub> <sup>(7)</sup>

- (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。在需要满足严格的 EMC 要求, 或者模拟输出下要求在供电或输出线上加一个电阻的情况下, 可以关闭该模式。
- (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)  $V_{PU}$  是通过外部上拉电阻连接到输出端的上拉电压。
- (5) 更多详细信息, 请参加诊断相关章节。
- (6) 对双芯片版本,  $BV_{SSPD}$  有变化。
- (7) 钳位电平需要与饱和输出电平综合考虑 (参见  $V_{sat\_lo}$  和  $V_{sat\_hi}$ )。

如上表所述，FI6990 可以满足图 5-1 所示的典型输出范围分类。

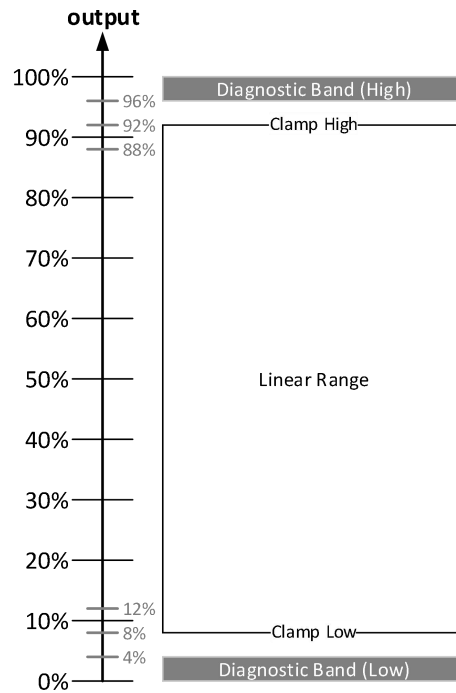


图 5-1 典型应用的输出范围分类示例

### 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

#### 5.4.1. 一般性的时序规格

不管选择何种通讯协议，下面时序规格都不受影响。

表格 5-4 一般性的时序规格

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	$\Delta T_{Ck}$				$\pm 3\%$	Ck <sub>NOM</sub>
看门狗	T <sub>wd</sub>			116.4		ms

### 5.4.2. 模拟输出模式的时序规格

表格 5-5 模拟输出模式的时序规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
输出刷新周期	$t_{per}$		282	297	312	$\mu s$
阶跃响应	$T_s$	不包含模拟输出转换时间 EE_FILTER=0 <sup>(1)</sup> EE_FILTER=1 EE_FILTER=2		510 <sup>(2)</sup> 810 1410	690 1100 1920	$\mu s$
启动周期	$T_{su}$	不包含模拟输出转换时间			5	ms
模拟输出转换速率		模式 1 从 $C_{OUT} = 47 \text{ nF}$ 到 $330 \text{ nF}$ 模式 2 直至 $C_{OUT} = 10 \text{ nF}$ 模式 3 直至 $C_{OUT} = 47 \text{ nF}$ 模式 4 直至 $C_{OUT} = 330 \text{ nF}$	25 230 14 1.8	37 250 16 2.5		V/ms

(1) 关于滤波参数的细节，请参见 6.2.2.6.2 节。

(2) 这里表示的是理论平均响应时间。

### 5.4.3. PWM 输出模式的时序规格

表格 5-6 PWM 输出模式的时序规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
PWM 时钟频率	$F_{PWM}$	可编程范围（开启 PWM 输出）	100		1000	Hz
		初始容差（25°C）			$\pm 2\%$	$F_{PWM}$
		EOL 精调后（25°C）			$\pm 1\%$	$F_{PWM}$
		温度、生命周期内的漂移			$\pm 3\%$	$F_{PWM}$
启动周期	$T_{su}$	不包含 PWM 输出转换时间 100Hz 250Hz 1000Hz		15.4 9.4 6.4	16 11 7	ms
数字输出上升时间		LSD – 模式 5 4.7nF, $R_L=1k\Omega$ PU		10	12	$\mu s$
		4.7nF, $R_L=10k\Omega$ PU		100	120	$\mu s$
		10nF, $R_L=1k\Omega$ PU		20	24	$\mu s$
		PP – 模式 7 4.7nF, $R_L=1k\Omega$ PU		3	5	$\mu s$
		4.7nF, $R_L=10k\Omega$ PU		3	5	$\mu s$
		10nF, $R_L=1k\Omega$ PU		4	7	$\mu s$
数字输出下降时间		LSD – 模式 5 4.7nF, $R_L=1k\Omega$ PU		2	3	$\mu s$

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
		4.7nF, $R_L=10k\Omega$ PU		2	3	$\mu s$
		10nF, $R_L=1k\Omega$ PU		4	7	$\mu s$
		PP – 模式 7				
		4.7nF, $R_L=1k\Omega$ PU		2	3	$\mu s$
		4.7nF, $R_L=10k\Omega$ PU		2	3	$\mu s$
		10nF, $R_L=1k\Omega$ PU		4	7	$\mu s$

## 5.5. 精度规格

### 5.5.1. 模拟输出的精度规格

表格 5-7 模拟输出的精度规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
ADC 分辨率 <sup>(1)</sup>	$R_{ADC}$			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
热漂移 (DAC 和输出级)		(-40°C ~ +125°C)	-0.5		+0.5	% $V_{DD}$
XY – 本征线性误差 <sup>(2)</sup>	$Le$	$T_A = 25^\circ C$ – 出厂校准 “EE_MSIM_XY”	-1.5		+1.5	度
XZ – 本征线性误差 <sup>(2)</sup>	$Le$	$T_A = 25^\circ C$ – 对 XZ 做校准 “EE_MSIM_XYZ”	-3	$\pm 1.5$	+3	度
YZ – 本征线性误差 <sup>(2)</sup>	$Le$	$T_A = 25^\circ C$ – 对 YZ 做校准 “EE_MSIM_XYZ”	-3	$\pm 1.5$	+3	度
模拟输出分辨率	$R_{DAC}$	12 bits DAC(理想情况, 无噪声)		0.025		% $V_{DD}$ / LSB <sub>12</sub>
		INL (EOL 校准前)	-4		+4	LSB <sub>12</sub>
		DNL	-0.5	1	3	LSB <sub>12</sub>
输出级噪声		钳位输出		0.05	0.075	% $V_{DD}$
噪声峰峰值 <sup>(3)</sup>		EE_FILTER=0, 40mT		0.10	0.2	度
		EE_FILTER=1(推荐), 30mT		0.10	0.2	
		EE_FILTER=2, 20mT		0.10	0.2	
模拟输出比例误差		$4.75V \leq V_{DD} \leq 5.5V$	-0.05		+0.05	% $V_{DD}$
		$LT4V \leq V_{DD} \leq MT7V$	-0.1		+0.1	

(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)。当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。不过, 用户也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)。

### 5.5.2. PWM 输出的精度规格

表格 5-8 PWM 输出的精度规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
PWM 输出分辨率	R <sub>PWM</sub>	12 bits	0.025			%DC/ LSB
PWM %DC 抖动 <sup>(1)</sup>	J <sub>DC</sub>	LSD – 模式 5 100-1000Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU			±0.5	LSB <sub>12</sub>
		PP – 模式 7 100-1000Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU			±0.5	
PWM 频率抖动 <sup>(1)</sup>	J <sub>PWM</sub>	LSD – 模式 5				Hz
		100Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU		±0.02	±0.03	
		200Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU		±0.03	±0.04	
		1000Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU		±0.20	±0.23	
		PP – 模式 7				
		100Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU		±0.02	±0.03	
200Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU		±0.03	±0.04			
1000Hz, 4.7nF, R <sub>L</sub> =1 kΩ PU		±0.17	±0.23			

(1) 小批量样品特性，非测试项。

抖动定义为连续 1000 次采样钳位输出的  $3\sigma$ ，见下图。

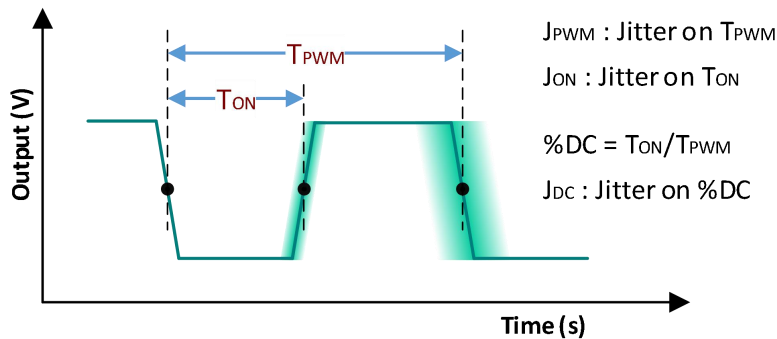


图 5-2 PWM 精度测试条件

表格 5-9 PWM 精度测试参数

参数	符号	测试条件
PWM $T_{ON}$ , $T_{PWM}$	$T_{ON}$ $T_{PWM}$	触发电平=50%V <sub>PP</sub>
上升时间, 下降时间		满幅的 10%和 90%
抖动	$J_{ON}$ $J_{PWM}$	连续 1000 次采样的 $\pm 3\sigma$
占空比	$\%DC$	$T_{ON}/T_{PWM}$

## 5.6. 磁铁规格

表格 5-10 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 <sup>(2)</sup>	mT
磁场强度	$B_z$				120	mT
归一化磁场强度	Norm	$\sqrt{[B_x^2 + B_y^2 + (B_z/1.2)^2]}$	20 <sup>(3)</sup>			mT
XY 轴与 Z 轴 MCP 增益失配因子	SMismXZYZ	GainMCP <sub>XY</sub> /GainMCP <sub>Z</sub>		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 5-11 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. FI6990 传感器芯片的编程

### 6.1. 编程器的连接

FI6990 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。FI6990 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 FI6990 子板、对应的软件工具（FPK 用户界面）来实现编程。

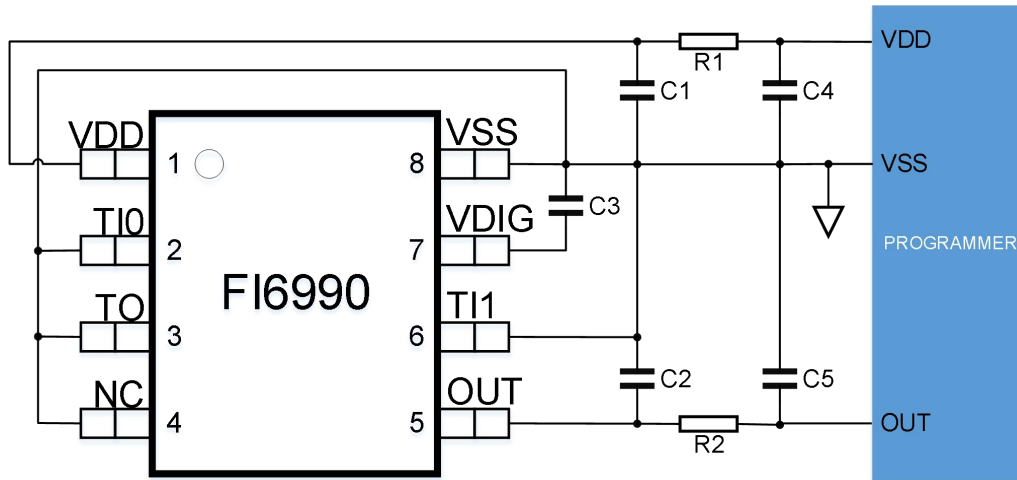


图 6-1 编程器的连接电路

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 FI6990 后端用户可编程参数

参数	描述	比特	默认值	备注
EE_OUT_MODE	输出模式	3	1	
EE_DIAG_MODE	诊断模式	3	7	
EE_ADIAG_OUT_HI	模拟诊断报错的输出电平 (Lo/Hiz or Hiz/Hi)	1	0	
EE_FLD_XYZ_SEL	输出角度的磁场分量选择	2	0	
EE_CLAMP_HI	输出钳位高电平	16	50%	
EE_CLAMP_LO	输出钳位低电平	16	50%	
EE_FILTER	滤波模式选择	2	1	
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	0	

参数	描述	比特	默认值	备注
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	
EE_GAIN_SATU_EN	虚拟增益饱和和钳位使能	1	0	
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_PWM_EN	PWM 模式使能	1	0	
EE_PWM_POL	PWM 极性	1	0	
EE_PWM_TCYC	PWM 周期计数	16	FFI	
EE_DC_FAULT	报告错误时的 PWM 占空比	8	1h	
EE_DC_FTL	报告场强太小错误时的 PWM 占空比	8	1h	
EE_DC_WEAK	报告弱磁场错误时的 PWM 占空比	8	1h	
EE_WEAK_MAG_TH	弱磁场诊断的阈值	8	0h	
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	0	
EE_FHYST_PARAM	滞回滤波器的磁滞参数	8	0h	
EE_LNR_4POINT	选择 4 点或者 17 点线性修正	1	1h	
EE_LNR_S0	4 点 LNR – 初始斜率	16	0%/deg	
EE_LNR_A_X	4 点 LNR – A 点 X 坐标	16	0deg	
EE_LNR_A_Y	4 点 LNR – A 点 Y 坐标	16	10%	
EE_LNR_A_S	4 点 LNR – A 点斜率	16	0.22%/deg	
EE_LNR_B_X	4 点 LNR – B 点 X 坐标	16	360deg	
EE_LNR_B_Y	4 点 LNR – B 点 Y 坐标	16	100%	
EE_LNR_B_S	4 点 LNR – B 点斜率	16	0%/deg	
EE_LNR_C_X	4 点 LNR – C 点 X 坐标	16	360deg	
EE_LNR_C_Y	4 点 LNR – C 点 Y 坐标	16	100%	
EE_LNR_C_S	4 点 LNR – C 点斜率	16	0%/deg	
EE_LNR_D_X	4 点 LNR – D 点 X 坐标	16	360deg	
EE_LNR_D_Y	4 点 LNR – D 点 Y 坐标	16	100%	
EE_LNR_D_S	4 点 LNR – D 点斜率	16	0%/deg	
EE_LNR_RANGE_SEL	17 点 LNR 输入角度范围选择	4	0h	
EE_LNR_Yn	17 点 LNR – 第 n 点 Y 坐标 (n = 0, 1, 2 ... 16)	16	N/A	
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	0h	
EE_MEM_LOCK	EEPROM 锁定	2	0h	
EE_OUTOFS_SLOPE_COLD	低温下的温度漂移斜率	8	0h	
EE_OUTOFS_SLOPE_HOT	高温下的温度漂移斜率	8	0h	
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	

## 6.2.2. 后端用户可编程参数详述

### 6.2.2.1. 输出模式

#### 6.2.2.1.1. 输出模式参数

通过设定输出模式参数 EE\_OS\_MODE，明确定义了正常工作、启动阶段、报错时的输出模式。

表格 6-2 EE\_OS\_MODE 描述

参数	比特	默认值	描述
EE_OUT_MODE	[2:0]	1	正常工作下的输出模式，即除了启动阶段或报错时的输出模式
Not used	[3]	0	保留
EE_DIAG_MODE	[6:4]	7	启动阶段或报错时的输出模式
EE_ADIAG_OUT_HI	[7]	0	模拟模式诊断错误时输出为高/低电平

EE\_OUT\_MODE 定义了 FI6990 在应用中的输出模式（高阻、模拟、数字 PWM）。

表格 6-3 输出模式的定义

EE_OUT_MODE[2:0]	类型	描述	备注
0	Disable	输出高阻	
1	模拟	模拟轨到轨, coutmin=47nF	模拟输出（默认）
2	模拟	模拟轨到轨, coutmax=10nF	模拟输出
3	模拟	模拟轨到轨, coutmax=68nF	模拟输出
4	模拟	模拟轨到轨, coutmax=330nF	模拟输出
5	数字	开漏(NMOS)	PWM
6	数字	开漏(PMOS)	PWM
7	数字	推挽式	PWM

#### 6.2.2.1.2. PWM 输出模式

如果选择了 PWM 输出模式，输出信号是一个经过脉宽调制（Pulse Width Modulation，即 PWM）的数字信号。

PWM 的极性可以通过设置 EE\_PWM\_POL 参数来实现：

- EE\_PWM\_POL = 0，100%输出全为高电平。
- EE\_PWM\_POL = 1，100%输出全为低电平。

PWM 频率可以通过 EE\_PWM\_TCYC 参数来选择。下表提供了不同目标 PWM 频率值所对应的 EE\_PWM\_TCYC 典型配置。

表格 6-4 不同 PWM 频率的 EE\_PWM\_TCYC 配置

PWM 频率 (Hz)	EE_PWM_TCYC(LSB) @13.3MHz	PWM 精度 ( $\mu$ s)	PWM 精度 (%)	PWM 精度 (bit)
100	44333	0.240	0.0024	15
250	17733	0.240	0.006	14
500	8866	0.240	0.012	13
1000	4433	0.240	0.024	12

注:

- 考虑到主时钟的初始容差，需要进行更精确的微调。
- PWM 频率与主时钟的公差相同（见 $\Delta T_{CK}$ ）。

### 6.2.2.2. 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 6-5 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
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

#### 6.2.2.2.1.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:

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

#### 6.2.2.2.2.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。

#### 6.2.2.2.3.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。

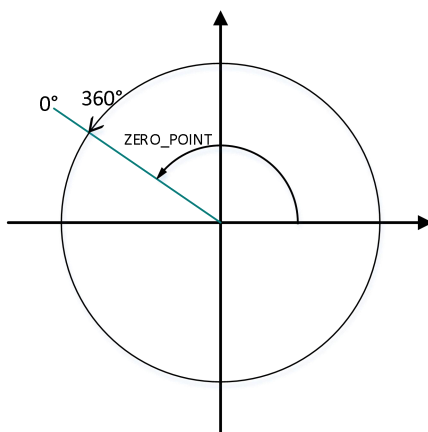


图 6-2 不连续点 (0°点) 位置

#### 6.2.2.2.4.4 点 LNR 参数

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)。

FI6990 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。

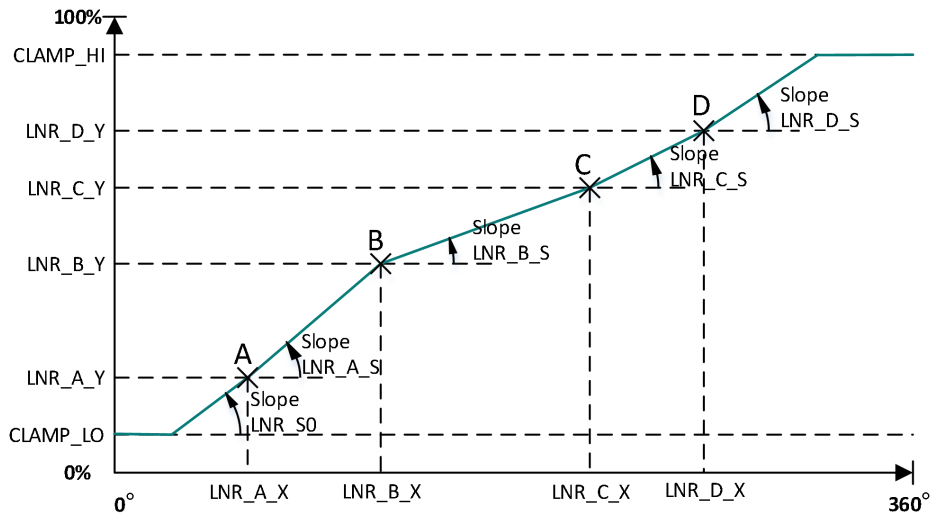


图 6-3 4 点 LNR 参数

#### 6.2.2.2.5.17 点 LNR 参数

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

FI6990 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）。

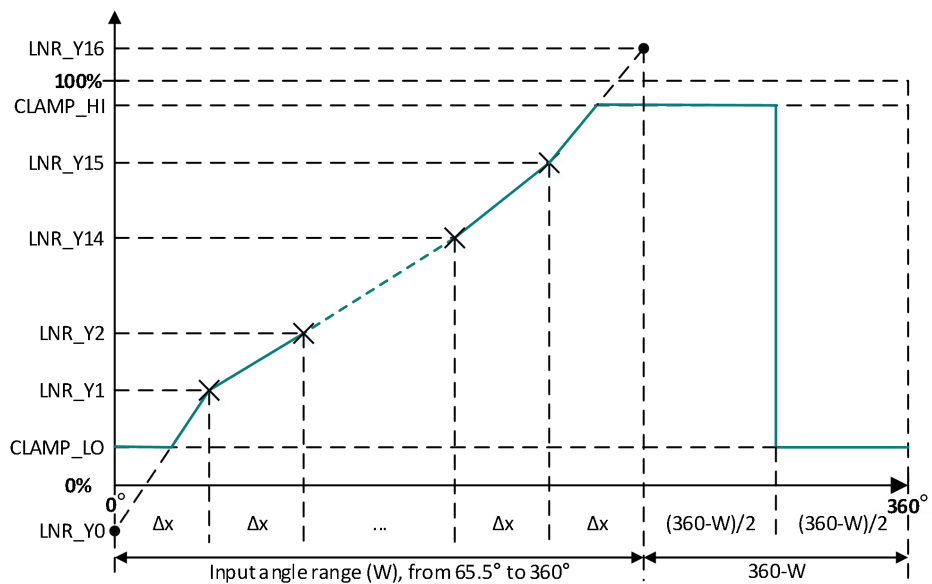


图 6-4 17 点 LNR 参数

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 6-6 LNR\_RANGE\_SEL 参数设置输入角度范围

LNR_RANGE_SEL	范围 W	Δx	LNR_RANGE_SEL	范围 W	Δx
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。

#### 6.2.2.2.6. 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。在模拟输出模式下，由于 12 位 DAC 的限制，分辨率被限制在 0.024%VDD；在 PWM 输出模式下，分辨率可以达到 0.024%DC。

#### 6.2.2.2.7. 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。

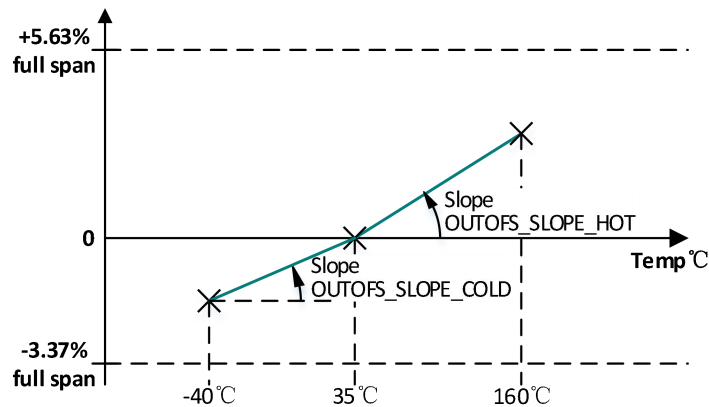


图 6-5 输出热漂移校正

热偏移是在进行钳位（见 6.2.2.2.6 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  $\Delta T$  为当前温度与参考温度  $35^{\circ}\text{C}$  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 6-7 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

### 6.2.2.3. 用户标识

表格 6-8 `EE_USR_IDx` 定义

参数	值
<code>EE_USR_ID0</code>	0...65535
<code>EE_USR_ID1</code>	0...65535
<code>EE_USR_ID2</code>	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 6-9 传感器芯片前端参数

参数	值
<code>EE_FLD_XYZ_SEL</code>	0 ... 3
<code>EE_SMISM_XY</code>	0 ... 32768
<code>EE_SMISM_XYZ</code>	0 ... 32768
<code>EE_SMISM_COMP_SEL</code>	0 / 1
<code>EE_GAINMIN</code>	0 ... 41
<code>EE_GAINMAX</code>	0 ... 41
<code>EE_GAIN_SATU_EN</code>	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 6-10 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。

### 6.2.2.5.3. 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 6-11 数字滤波参数

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

FI6990 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

FI6990 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 6-12 低通 FIR 滤波参数

EE_FILTER	0	1	2
滤波类型 (名称)	关闭 (无滤波)	FIR (ExtraLight)	FIR (Light)
j	0	1	3
a <sub>i</sub> 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. 诊断输出模式 EE\_DIAG\_MODE

EE\_DIAG\_MODE 定义了诊断模式下输出级的模式。

表格 6-13 诊断输出模式定义

EE_DIAG_MODE [2:0]	类型	描述	备注
0	Disable	输出高阻	
5	数字	开漏(NMOS)	PWM
6	数字	开漏(PMOS)	PWM

EE_DIAG_MODE [2:0]	类型	描述	备注
7	数字	推挽式	PWM

### 6.2.2.7.2. 诊断输出电平 EE\_ADIAG\_OUT\_HI

在启动阶段（包括模拟输出模式和 PWM 输出模式），或者诊断错误报告时（仅模拟输出模式），EE\_ADIAG\_OUT\_HI 参数定义了诊断的输出电平（输出诊断高或输出诊断低）。

在 PWM 模式下，为了能正确检测到启动后的第一个 PWM 周期，当 PWM 周期的前沿为上升沿时，原则上应该将诊断的错误报告电平设为 0；相应地，当 PWM 周期的前沿为下降沿时，应该设为 1。FFI 建议设成 EE\_ADIAG\_OUT\_HI = EE\_PWM\_POL。

### 6.2.2.7.3. 场强诊断

#### 6.2.2.7.3.1. 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。

#### 6.2.2.7.3.2. 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。

### 6.2.2.7.4. PWM 诊断输出

#### 6.2.2.7.4.1. EE\_DC\_FAULT

EE\_DC\_FAULT 参数定义了一般诊断错误报告，PWM 输出的占空比。

#### 6.2.2.7.4.2. EE\_DC\_FTL

EE\_DC\_FTL 参数定义了磁场过低故障的诊断报告，PWM 输出的占空比。磁场过低诊断的场强要大于弱磁场诊断（见下节）的场强。EE\_DC\_FTL 的值范围从 0% 到 100%，以 1/256 为步进。

#### 6.2.2.7.4.3. EE\_WEAK\_MAG\_TH

EE\_WEAK\_MAG\_TH 参数定义了判断弱磁场状态的磁场强度。当 EE\_WEAK\_MAG\_TH=0 时，弱磁场诊断被关闭，不会报告弱磁场状态。

#### 6.2.2.7.4.4. EE\_DC\_WEAK

EE\_DC\_WEAK 参数定义了弱磁场状态下的诊断报告，PWM 输出的占空比，其值从 0%到 100%，以 (100/256)%为步进。

#### 6.2.2.7.5. 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\_FI6990 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），FI6990 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 6-14 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

FI6990 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 <sup>(1)</sup>	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 <sub>DIG</sub>	106·DTI <sub>DIG</sub>
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 <sub>DIG</sub>	20·DTI <sub>DIG</sub>
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 <sub>DIG</sub>	11·DTI <sub>DIG</sub>

诊断项	处理措施	对输出的影响	类型	监控频率	报告频率
看门狗(连续)	CPU 重启	--	数字硬件	110ms	n/a
<b>DSP 循环诊断</b>					
ADC 溢出 ADCCLIP	防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	5/DSP	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
场强过低诊断 (通过可编程阈值)	防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	$2/20 \cdot DTI_{ANA}$	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
场强过高诊断 (通过可编程阈值)	防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	$2/20 \cdot DTI_{ANA}$	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
弱磁场诊断	防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	$1/20 \cdot DTI_{ANA}$	$1/20 \cdot DTI_{ANA}$
虚拟增益溢出 GAINOOS	防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	$2/20 \cdot DTI_{ANA}$	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
虚拟增益饱和钳位 [EE_GAINMIN ... EE_GAINMAX]	饱和钳位 (可选)	增益饱和钳位在 [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)	诊断低/高报告 (可选)	模拟硬件	$1 \cdot DTI_{ANA}$	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
低电压监测 SUPPLYMONI = (LT3V) or (LT4V)	电源防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	环境&模拟	$1 \cdot DTI_{ANA}$	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
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	$1/20 \cdot DTI_{ANA}$
温度监控 TEMPMONI	防误动作 (可编程)	诊断低/高报告 (可选)	模拟	$1 \cdot DTI_{ANA}$	$DTI_{ANA} \times \frac{Diag\_Debounce\_Tresh}{Diag\_Debounce\_Stepup}$
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
<b>硬件诊断 (由专用数字逻辑进行连续的检查)</b>					
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

诊断项	处理措施	对输出的影响	类型	监控频率	报告频率
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 <sub>SS</sub> 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 <sub>DD</sub> 断路	恢复后 CPU 重启	下拉负载 => 诊断低 上拉负载 => 诊断低	环境	n/a, 即时诊断	n/a, 即时诊断

(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 <sub>ANA</sub>	6	6	6	ms
DTI <sub>DIG</sub>	4	6	10 <sup>(1)</sup>	ms

(1) DTI<sub>DIG</sub> (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

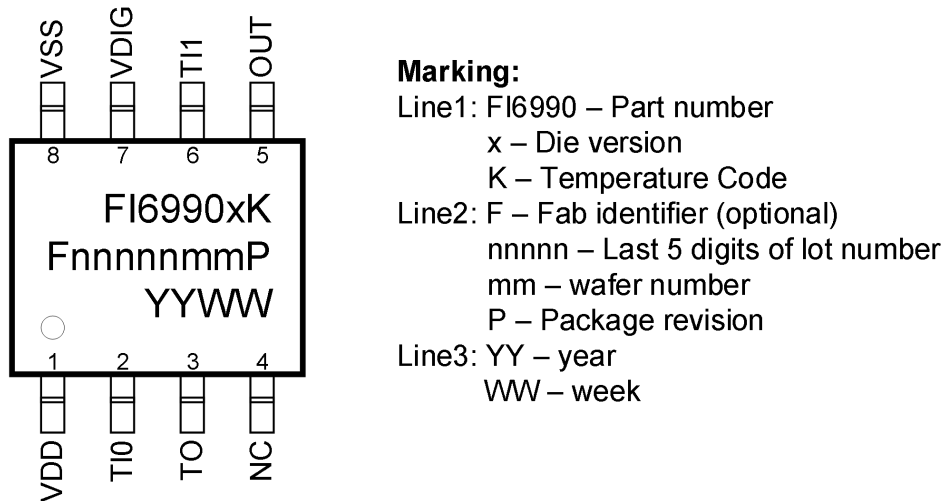


图 8-1 SOIC-8 封装示意图及标识

#### 8.1.2. SOIC-8 封装尺寸

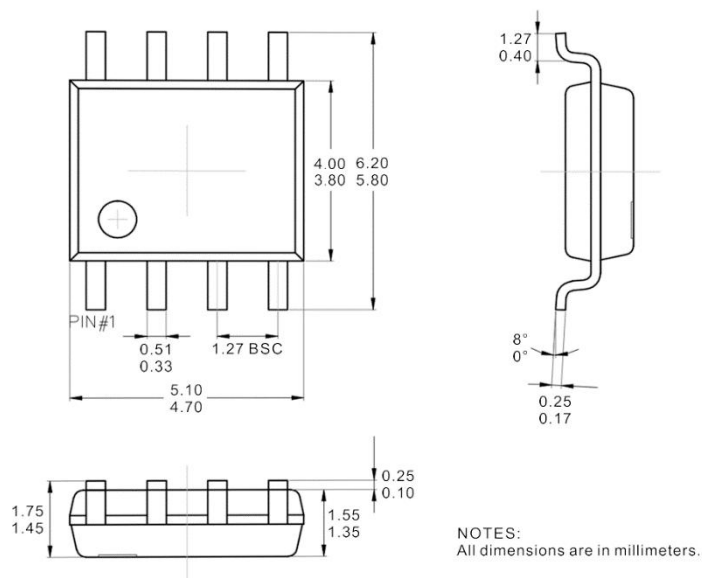


图 8-2 SOIC-8 封装尺寸

### 8.1.3. SOIC-8 封装磁场感应点位置

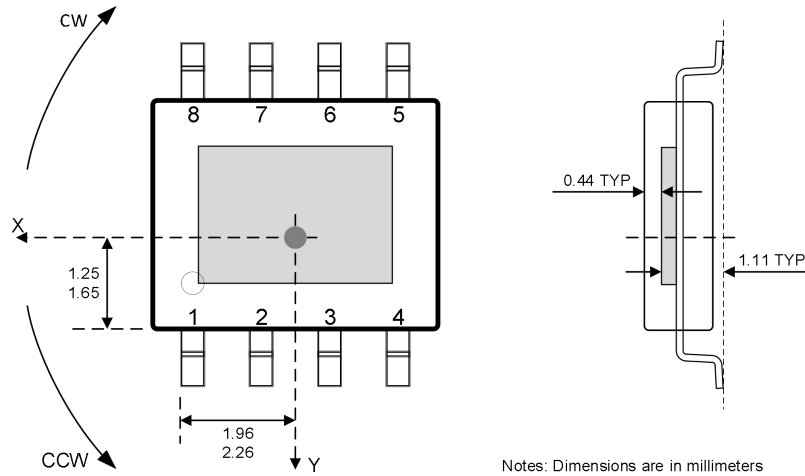
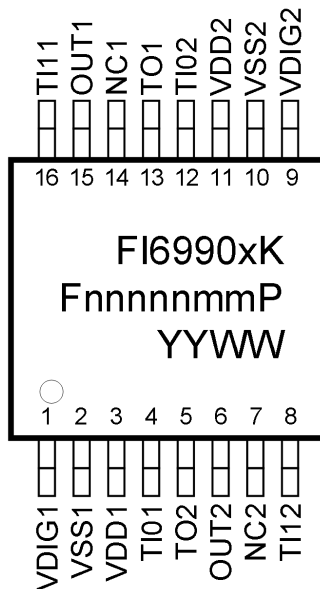


图 8-3 SOIC-8 封装的磁场感应点

## 8.2. TSSOP-16 封装

### 8.2.1. TSSOP-16 封装示意图及标识



#### Marking:

Line1: FI6990 – 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

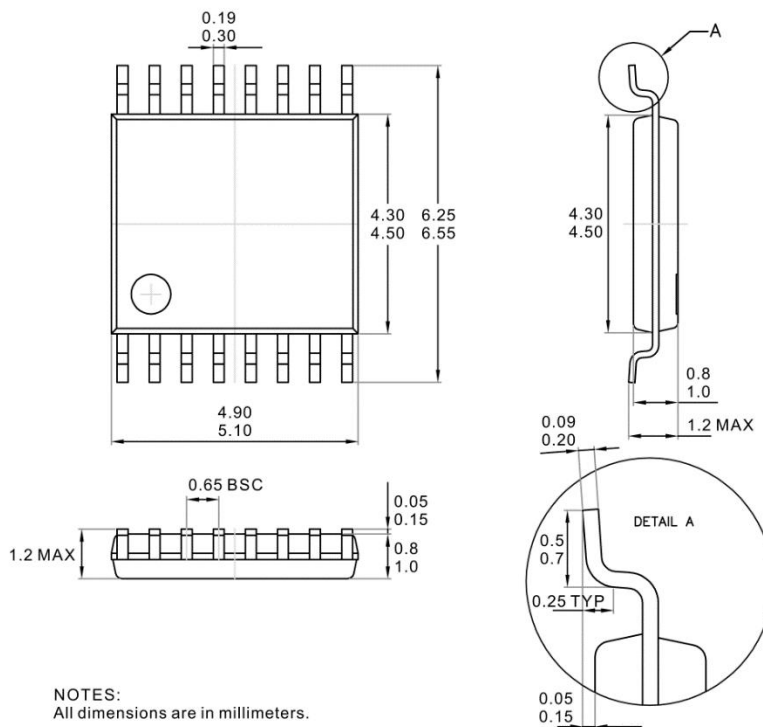


图 8-5 TSSOP-16 封装尺寸

### 8.2.3. TSSOP-16 封装磁场感应点位置

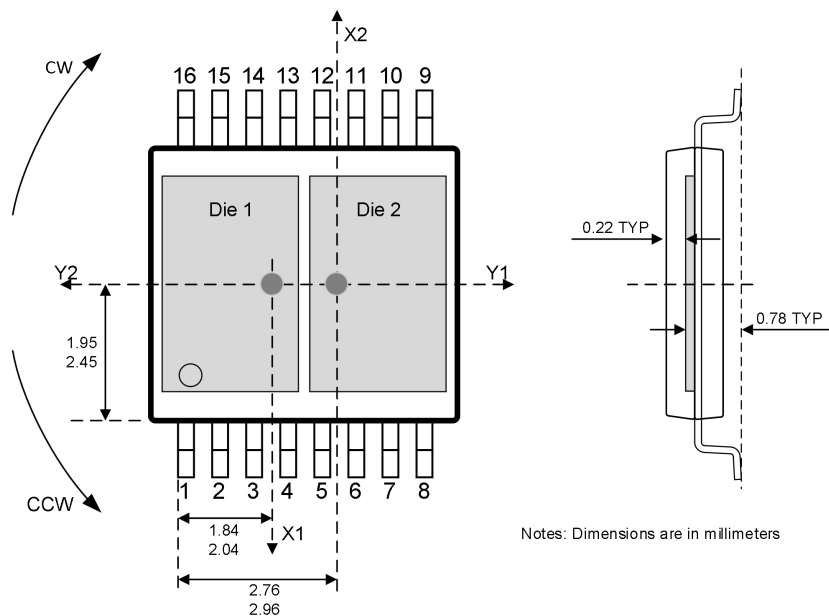


图 8-6 TSSOP-16 封装的磁场感应点

## 9. 订货信息

FI6990 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 FI6990 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
FI6990	A	K	DI	N	000	RA	
FI6990	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： FI6990AKDI-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
V1.6	2024-10-29	更新特性和优势。
V1.5	2024-09-12	更新 EE_PWM_POL 信息。
V1.4	2024-08-14	更新特性和优势。
V1.3	2024-05-20	更新特性、最大额定值、精度规格等信息。
V1.2	2023-12-06	更新一般性电气规格、模拟输出精度、图示等信息。
V1.1	2023-06-13	更新输出一般性电气规格、模拟输出精度、磁铁规格、钳位电压默认值、热漂移校正能力信息。
V1.0	2020-08-21	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。