

飞仙智能
Flying Fairy Intelligent

FI6910 可编程霍尔效应 3D 传感器芯片

Rev.1.4
2024-07-23

目录

0. 名词定义和缩略语说明	4
1. FI6910 简介	5
1.1. 特性和优势	5
1.2. 典型应用	5
2. 描述	6
2.1. 功能框图	6
2.2. 功能描述	6
3. 引脚定义和引脚说明	8
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
4. 应用参考设计	10
4.1. SOIC-8 封装应用	10
4.2. TSSOP-16 封装应用	11
5. 技术规格	12
5.1. 绝对最大额定值	12
5.2. 一般性电气特性	12
5.3. 隔离规格	13
5.4. 时序规格	13
5.4.1. 5V 应用的时序规格	13
5.4.2. 3.3V 应用的时序规格	13
5.5. 精度规格	14
5.6. 磁铁规格	15
5.7. CPU、内存规格	15
6. FI6910 传感器芯片的编程	16
6.1. 终端用户的可编程参数	16
6.1.1. 终端用户的可编程参数	16
6.1.2. 终端用户的可编程参数描述	16
6.2. EEPROM 耐用性	19
6.3. 可溯源信息	19
7. 功能描述	20
7.1. 自诊断	20
7.2. SPI 接口	20
7.2.1. 时序规格	21

7.2.2. 信息结构	22
7.2.3. 常规信息	23
7.2.4. 触发模式 (Get1, Get2, Get3)	24
7.2.5. 操作码	27
7.2.6. 非常规信息	28
7.2.7. 启动序列	34
7.2.8. 协议错误处理	34
7.3. 失效安全模式	35
7.4. 自动增益控制	35
8. 封装	36
8.1. SOIC-8 封装	36
8.1.1. SOIC-8 封装示意图及标识	36
8.1.2. SOIC-8 封装尺寸	36
8.1.3. SOIC-8 封装磁场感应点位置	37
8.2. TSSOP-16 封装	37
8.2.1. TSSOP-16 封装示意图及标识	37
8.2.2. TSSOP-16 封装尺寸	38
8.2.3. TSSOP-16 封装磁场感应点位置	38
9. 订货信息	39
10. ESD 预防	40

0. 名词定义和缩略语说明

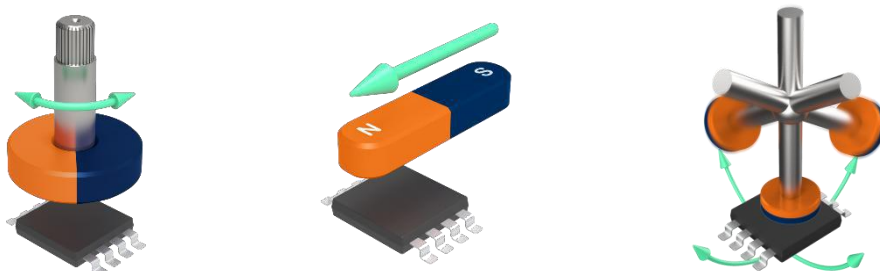
IC	集成电路
POR	上电复位
EOL	产线终端
EMC	电磁兼容
ESD	静电放电
ADC	模拟数字转换器
LSB	最低有效位
MSB	最高有效位
DNL	微分非线性误差
INL	积分非线性误差
MCP	磁集中片
NC	不连接
TC	温度补偿
RISC	精简指令集计算机
DSP	数字信号处理器
HW	硬件
FW	固件
EEPROM	电可擦可编程只读存储器
DED	双重误差检测
ECC	纠错码
ROM	只读存储器
RAM	随机存储器
FIR	有限冲激响应滤波器
FPK	飞仙编程软件包
PGI	编程接口
PGM	编程模式
FFI	飞仙智能

1. FI6910 简介

FI6910 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。

FI6910 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 ）。得益于磁集中片，FI6910 不仅可以感知移动磁体垂直方向分量，还可以感知其水平方向分量的变化（例如，从 0 到 360 度的旋转角位置或位移）。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。

FI6910 以数字串行接口 SPI 输出，ECU 可以通过发送 SPI 命令请求角度信息、配置 EEPROM 和请求诊断信息等。



1.1. 特性和优势

- 绝对旋转和线性位置传感器IC
- 全双工串行SPI接口
- 增强型自诊断特性
- 5V, 3V3应用兼容
- 温度偏移补偿
- 14位输出分辨率
- 过电压保护
- 低电压保护
- 32位用户ID编号
- 汽车温度范围，从-40°C到+150°C
- 符合AEC-Q100标准Grade 0
- 符合ISO26262 ASIL-B(SEooC)
- 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
- 3D游戏手柄/操纵杆位置传感器
- 方向盘位置传感器
- 电子换挡器
- 油门踏板

2. 描述

2.1. 功能框图

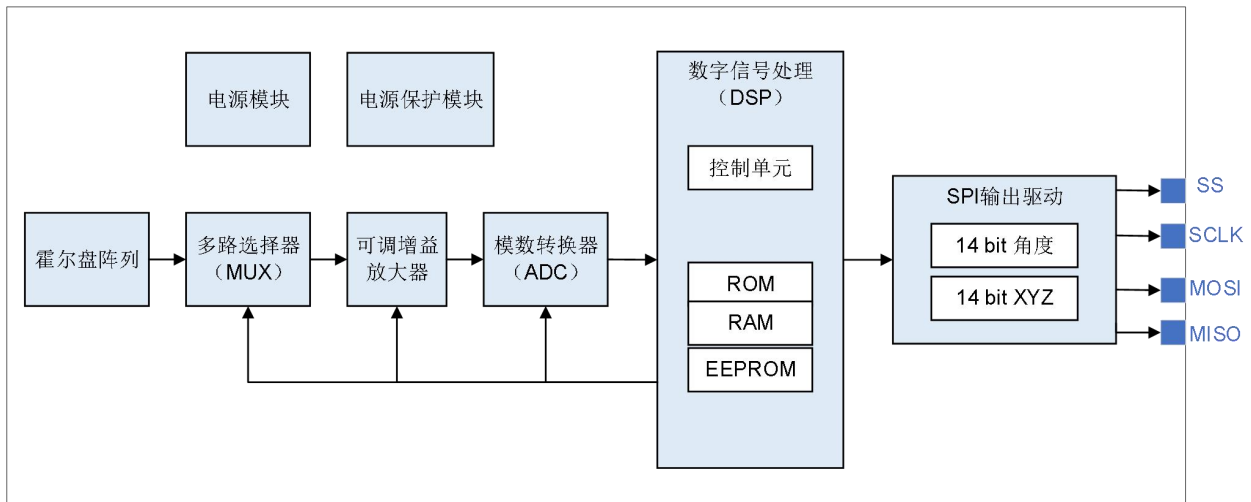


图 2-1 FI6910 框图

2.2. 功能描述

如 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 14 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，主要功能是控制模拟模块完成磁场角度信号三个分量的采样。

如果 SPI 请求的是 2D 角度，将两个霍尔信号用以下公式计算出角度位置信号：

$$\alpha = \arctan\left(\frac{B_2}{B_1}\right)$$

如果 SPI 请求的是 3D 角度，将三个霍尔信号用以下公式计算出角度位置信号：

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\sqrt{(k_\alpha \times B_3)^2 + (k_t \times B_2)^2}}{B_1}\right)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{\sqrt{(k_\beta \times B_3)^2 + (k_t \times B_1)^2}}{B_2}\right)$$

其中， B_1 ， B_2 ， B_3 是用户可配置选择的 $V_x/V_y/V_z$ 映射坐标轴分量。

通过存储在 ROM 中的微处理器代码(FW)，DSP 的计算功能得以实现。除了实现磁体角度计算，固件还控制了模拟信号处理链、SPI 接口响应、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。

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

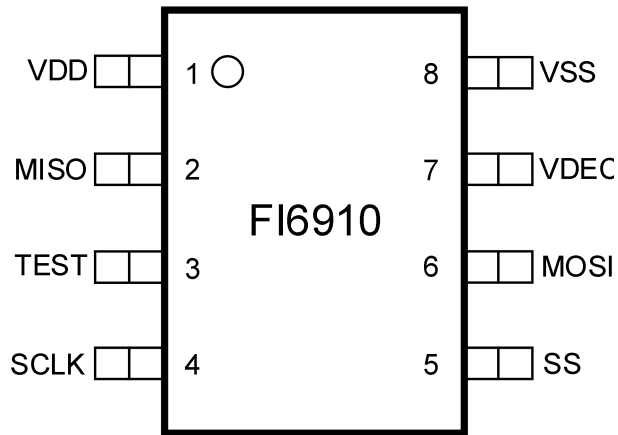


图 3-1 SOIC-8 封装引脚定义

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	MISO	OUT	SPI MISO
3	TEST	I/O	测试引脚
4	SCLK	IN	SPI 时钟
5	SS	IN	SPI 选择
6	MOSI	IN	SPI MOSI
7	VDEC	I/O	5V 应用：解耦引脚 3V3 应用：电源
8	VSS	Ground	系统地

3.2. TSSOP-16 封装的引脚定义和引脚说明

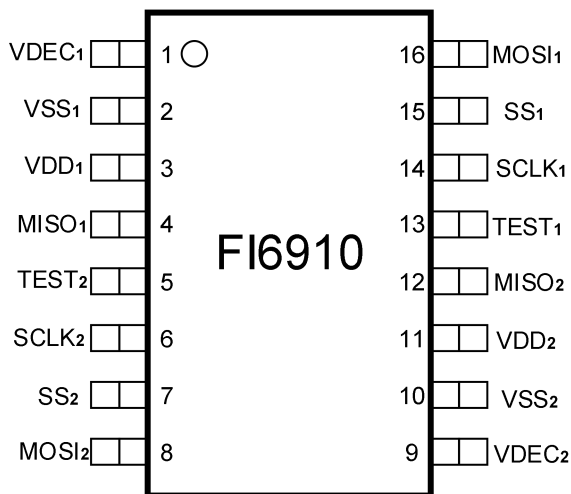


图 3-2 TSSOP-16 封装引脚定义

表格 3-2 TSSOP-16 封装引脚说明列表

序号	引脚名	类型	描述
1	VDEC ₁	I/O	5V 应用：解耦引脚 3V3 应用：电源
2	VSS ₁	Ground	系统地
3	VDD ₁	Supply	电源输入
4	MISO ₁	OUT	SPI MISO
5	TEST ₂	Test	测试引脚
6	SCLK ₂	IN	SPI 时钟
7	SS ₂	IN	SPI 选择
8	MOSI ₂	IN	SPI MOSI
9	VDEC ₂	I/O	5V 应用：解耦引脚 3V3 应用：电源
10	VSS ₂	Ground	Ground
11	VDD ₂	Supply	电源输入
12	MISO ₂	OUT	SPI MISO
13	TEST ₁	Test	测试引脚
14	SCLK ₁	IN	SPI 时钟
15	SS ₁	IN	SPI 选择
16	MOSI ₁	IN	SPI MOSI

4.应用参考设计

4.1. SOIC-8 封装应用

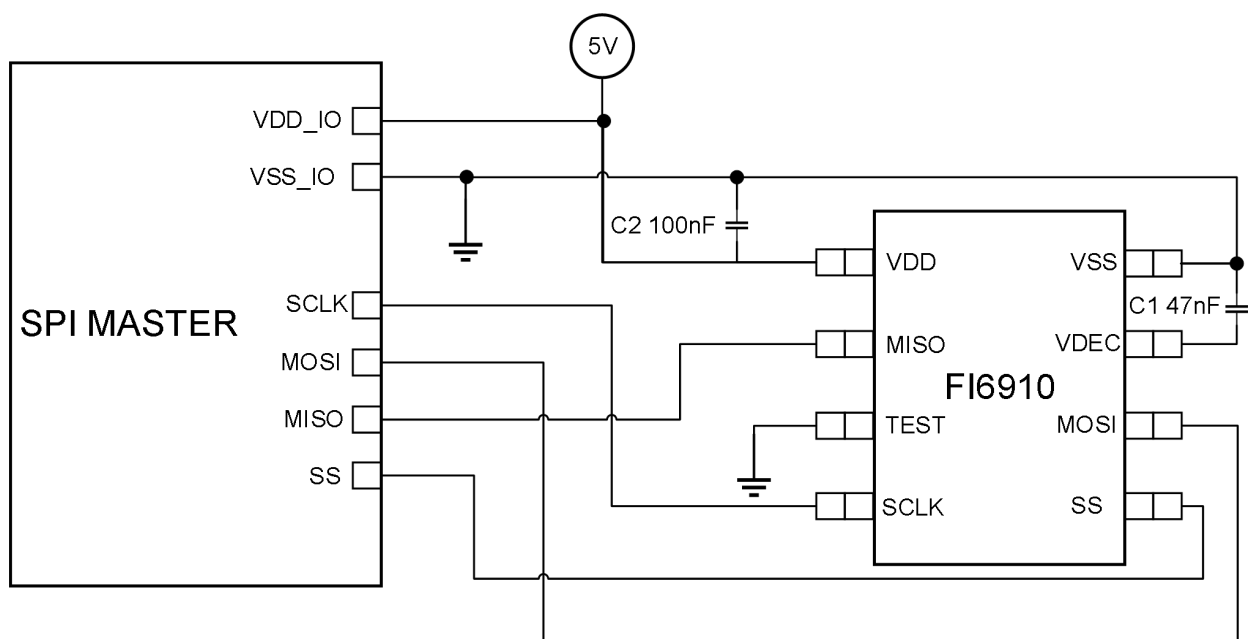


图 4-1 SOIC-8 封装的 5V 应用参考电路

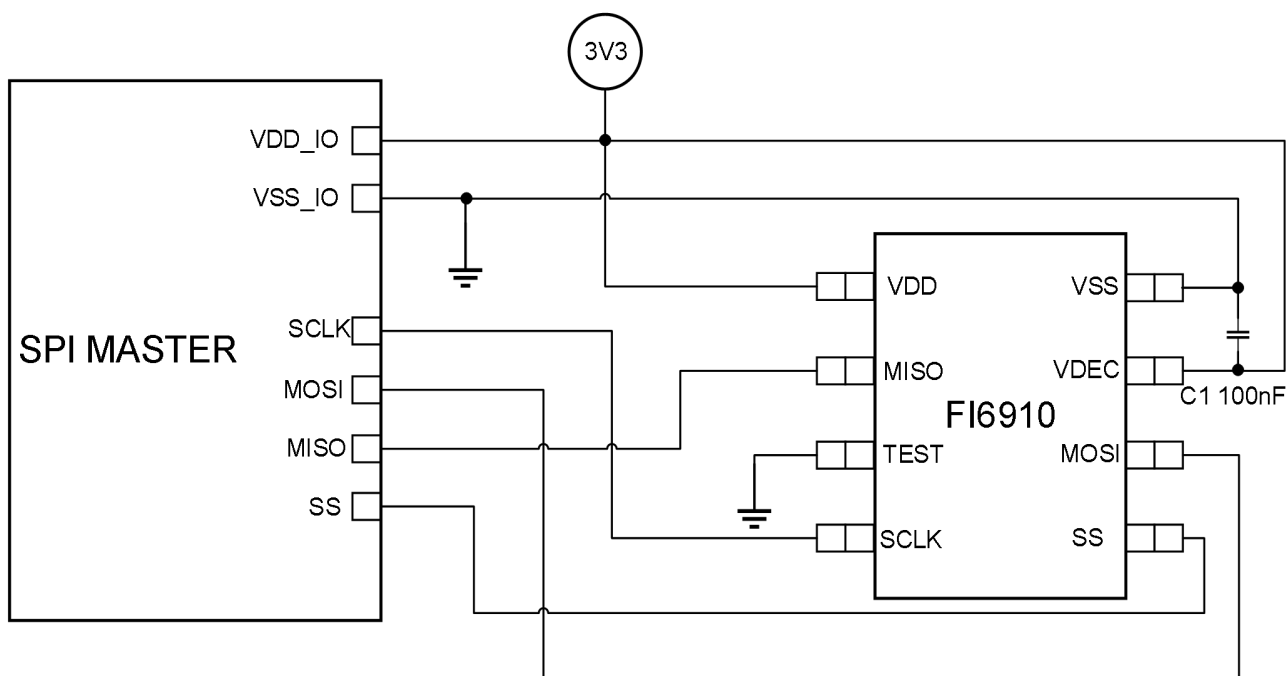


图 4-2 SOIC-8 封装的 3V3 应用参考电路

4.2. TSSOP-16 封装应用

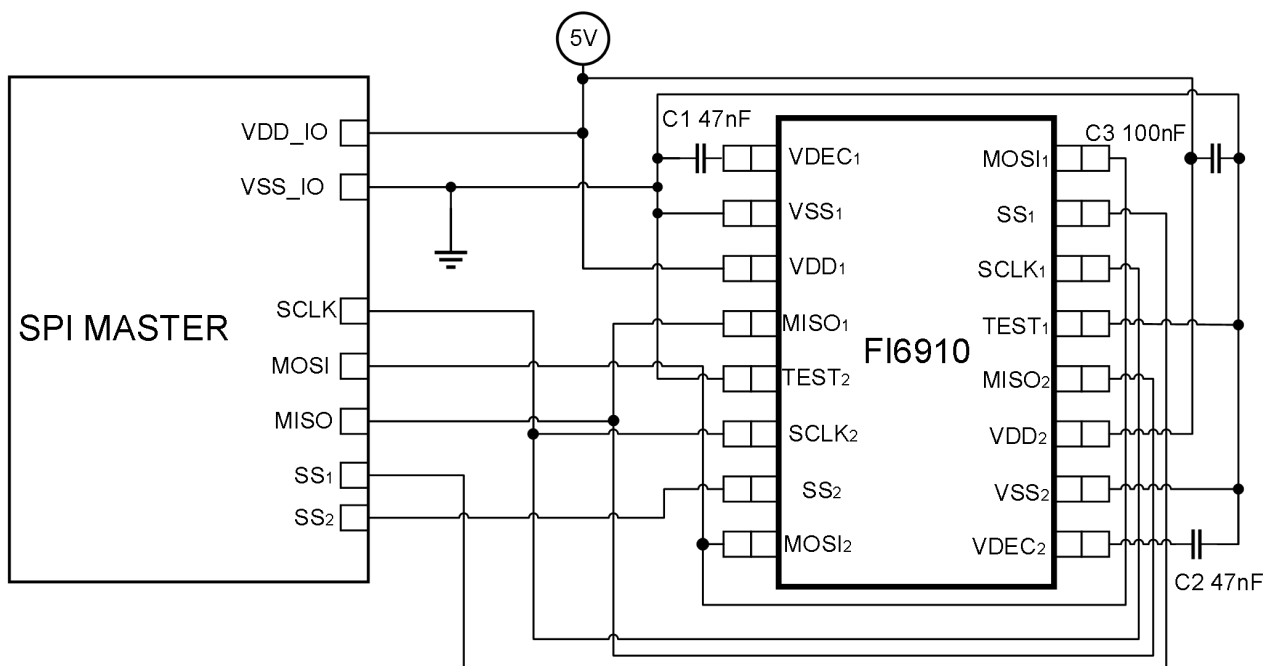


图 4-3 TSSOP-16 封装的 5V 应用参考电路

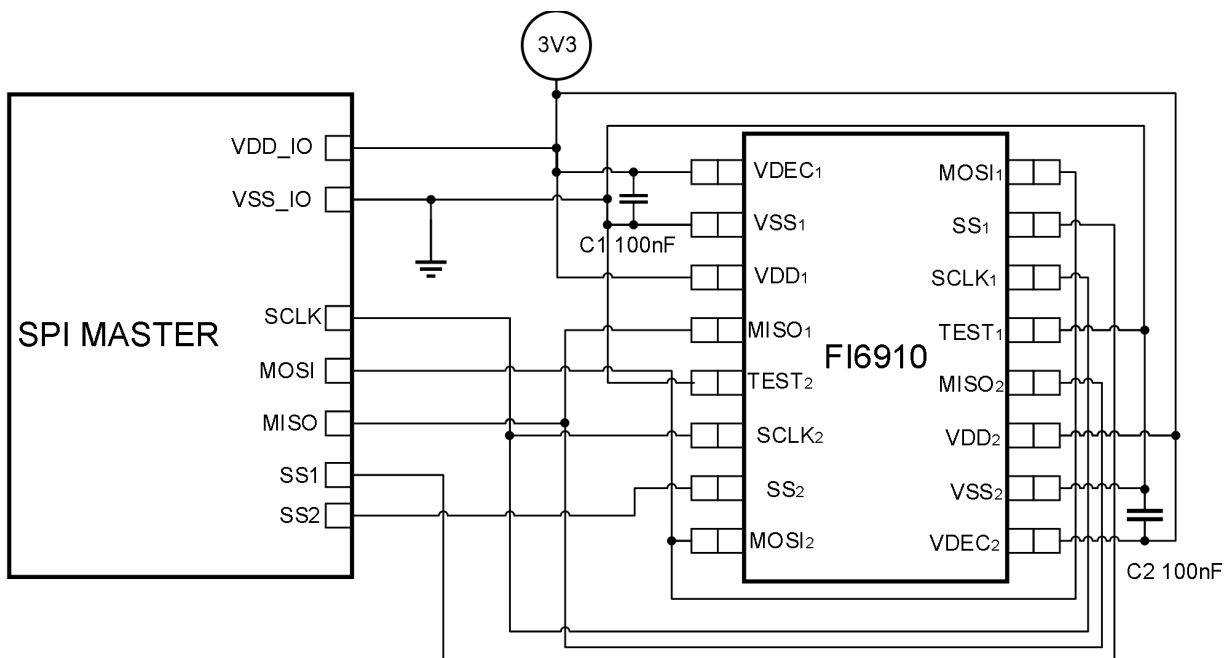


图 4-4 TSSOP-16 封装的 3V3 应用参考电路

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)	+18V
V_{DD} 反向电压	-0.3V
供电电压 V_{DEC}	+3.6V
V_{DEC} 反向电压	-0.3V
正向输入电压	+11V
反向输入电压	-11V
正向输出电压	$V_{DD}+0.3V$
反向输出电压	-0.3V
工作温度范围 T_A	-40°C to +150°C
存储温度范围 T_S	-40°C to +150°C
磁场强度	± 700 mT

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. 一般性电气特性

表格 5-2 一般性电器特性

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
额定电压	V_{DD5}	5V 应用	4.5	5	5.5	V
额定电压	V_{DD33}	3V3 应用	3.15	3.3	3.45	V
供电电流 ⁽¹⁾	I_{DD}			10	13	mA
待机电流	$I_{STANDBY}$			4	5	mA
V_{DD} 最大时电流	I_{DDMAX}	$V_{DD} = 18V$			15	mA
POR 上升电平	POR LH	电压参考 V_{DEC}	2.6	2.8	3.1	V
POR 下降电平	POR HL	电压参考 V_{DEC}	2.5	2.7	2.9	V
POR 滞回	POR Hyst	电压参考 V_{DEC}		0.1		V
MISO 关断保护上升电平	MT8V LH	关断 MISO 的 V_{DD} 电平 ⁽²⁾	7.5		9.5	V
MISO 关断保护下降电平	MT8V HL	关断 MISO 的 V_{DD} 电平 ⁽²⁾	6		7.5	V
MISO 关断保护滞回	MT8V _{Hyst}	关断 MISO 的 V_{DD} 电平 ⁽²⁾	1		2	V
输入高电压	V_{IH}		$65\% * V_{DD}$	-	-	V
输入低电压	V_{IL}		-	-	$35\% * V_{DD}$	V
输入滞回	V_{Hyst}			$20\% * V_{DD}$		V
输入电容	C_{IN}			20		pF
输出高电压	V_{OH}	驱动电流 $I_{OH} = 0.5$ mA	$V_{DD} - 0.4$			V
输出低电压	V_{OL}	驱动电流 $I_{OH} = 0.5$ mA			0.4	V
输出高短路电流	I_{shortH}	$V_{OUT} = 0V$		25	30	mA
输出低短路电流	I_{shortL}	$V_{OUT} = V_{DD}$		15	25	mA

(1) 若是双芯片版本，供电电流乘以 2。

(2) 高于 MT8V 阈值，无 SPI 通信。

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

5.4.1.5V 应用的时序规格

表格 5-4 时序规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
主时钟频率	Clk		15.2		18.8	MHz
帧率	FR	触发模式 1, 标识 0&2, SPI 2MHz			1000	s ⁻¹
		其他模式, 标识和 SPI 频率			500	s ⁻¹
看门狗超时	Wd		15.3	18.8	20	ms
上电到第一次 SPI 信息	tStartUp		20			ms
SPI 片选上升沿到下降沿	tShort		120			μs
EEPROM 写时间	teewrite	OSC 校准后	32			ms
诊断循环时间	tDiag	触发模式 1, 标识 0&2			30	ms
		FR = 1000 s ⁻¹			18	ms
		FR = 200 s ⁻¹			10	ms
内部 1MHz 信号	t1us	CK = 19MHz		1		μs
MISO 上升时间		C _L = 30 pF, R _L = 10 kΩ		100	160	ns
MISO 下降时间		C _L = 30 pF, R _L = 10 kΩ		95	160	ns

5.4.2.3.3V 应用的时序规格

表格 5-5 时序规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
主时钟频率	Clk		13.1		18.8	MHz
帧率	FR	触发模式 1, 标识 0&2, SPI 2MHz			860	s ⁻¹
		其他模式, 标识和 SPI 频率			430	s ⁻¹
看门狗超时	Wd		15.3		23	ms
上电到第一次 SPI 信息	tStartUp		23			ms
SPI 片选上升沿到下降沿	tShort		140			μs
EEPROM 写时间	teewrite	OSC 校准后	37			ms
诊断循环时间	tDiag	触发模式 1, 标识 0&2			36	ms
		FR = 860 s ⁻¹			21	ms
		FR = 215 s ⁻¹			11	ms
内部 1MHz 信号	t1us	CK = 19MHz		1		μs
MISO 上升时间		C _L = 30 pF, R _L = 10 kΩ		100	160	ns
MISO 下降时间		C _L = 30 pF, R _L = 10 kΩ		95	160	ns

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	R _{ADC}			14		Bit
SPI 输出分辨率	R _{SI}	角度值 X, Y, Z 值		14 12		Bit Bit
信号 X, Y, Z 偏移	X0, Y0, Z0	T _A = 25 °C	-30		30	LSB
信号 X, Y, Z 失配	SMISM _{XY} SMISM _{XZ} SMISM _{YZ}	T _A = 25 °C X, Y 之间	-1		1	%
		X, Z 之间 ⁽³⁾	-20		20	%
		Y, Z 之间 ⁽³⁾	-20		20	%
磁角度相位误差	ORTH _{XY} ORTH _{XZ} ORTH _{YZ}	T _A = 25 °C X, Y 之间	-0.3		0.3	Deg.
		X, Z 之间 ⁽⁴⁾	-8		8	Deg.
		Y, Z 之间 ⁽⁴⁾	-8		8	Deg.
本征线性误差 ⁽⁵⁾	Le	T _A = 25 °C 磁角度 ∠XY	-1		1	Deg.
		磁角度 ∠XZ, ∠YZ ⁽⁶⁾	-10		10	Deg.
供电依赖		5V 应用 V _{DD} = 4.5 ... 5.5 V	-0.1		0.1	Deg.
		3V3 应用 V _{DD} = 3.20 ... 3.40 V				
磁角度热漂移		20 mT	-1		1	Deg.
		50 mT	-0.6		0.6	Deg.
磁角度噪声 ⁽⁷⁾		XY	-1		1	Deg.
		XZ, YZ	-1.2		1.2	Deg.
信号 X, Y, Z 噪声 ⁽⁷⁾		20mT, 无滤波 20mT, EE_FILTER = 1			0.3 0.24	Deg. Deg.
信号 X, Y, Z 噪声 ⁽⁷⁾		20mT, 无滤波			17	LSB ₁₄
		20mT, EE_FILTER = 1			12	LSB ₁₄

(3) 在终端应用, X,Y,Z 之间的失配可以通过 EE_SMISM 或 K 因子校准来降低。

(4) 在终端应用, X,Y,Z 之间的磁角度相位误差可以通过 EE_ORTH 校准来降低。

(5) 本征线性误差仅指在理想旋转磁铁下, 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。

(6) 磁角度 ∠XZ, ∠YZ 的本征线性误差可以通过编程 EE_SMISM (或 K) 或 EE_ORTH 来降低。

(7) 这里的噪声定义为连续 1000 个请求下的 $\pm 3\sigma$, 测试时使用了应用图例中的推荐连线方式。

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	$B_x, B_y^{(8)}$		20	50	70 ⁽⁹⁾	mT
磁场强度	B_z		30	80	120	mT
K 因子	K	X,Y 方向与 Z 方向灵敏度失配因子		1.16		
磁铁温度系数	TCm		-2400		0	ppm/°C

(8) B_x, B_y 磁场至少有一个要满足该条件。

(9) 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。

5.7. CPU、内存规格

DSP 是基于 16 位的微处理器。CPU 工作频率 17 MHz, 指令处理速度 4.25 MIPS。

表格 5-8 内存规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
ROM				14		KB
RAM				256		B
EEPROM				64		B

6. FI6910 传感器芯片的编程

6.1. 终端用户的可编程参数

6.1.1. 终端用户的可编程参数

表格 6-1 FI6910 终端用户的可编程参数

参数	描述	比特	默认值	地址(hex)
EE_FLD_XYZ_SEL	XYZ 磁场分量输出选择	3	0x0	102A[2:0]
EE_3D	3D 角度计算使能	1	0x0	102A[3]
EE_SMISM	磁角度方程参数	15	0x0	1032[14:0]
EE_SMISM_SEL	磁角度方程参数	1	0x0	1032[15]
EE_ORTH_SEL	磁角度方程参数	1	0x0	102C[8]
EE_ORTH	磁角度方程参数	8	0x0	1038[7:0]
EE_KALPHA	磁角度方程参数	16	0x947A	1022[15:0]
EE_KBETA	磁角度方程参数	16	0x947A	1024[15:0]
EE_KT	磁角度方程参数	16	0x8000	1030[15:0]
EE_FILTER	FIR 滤波器使能	2	0x0	102A[5:4]
EE_VGAIN_MIN	最小虚拟增益码	8	0x0	102E[7:0]
EE_VGAIN_MAX	最大虚拟增益码	8	0x29	102E[15:8]
EE_FHYST_PARAM	滞回滤波参数	8	0x0	1028[15:8]
EE_PIN_FILTER	SPI 输入脚电磁滤波器	2	0x1	1000[9:8]
EE_USRID	用户 ID	32	0x0	103A[15:0] 103C[15:0]
EE_MEM_LOCK	EEPROM 写保护	2	0x0	102C[15:14]
EE_ORTH_B1B2	磁角度方程参数	8	0x0	1026[7:0]
EE_FREE	用户可自由使用	16, 8	0x0	1018[15:0] 1028[7:0] 103E[7:0]

6.1.2. 终端用户的可编程参数描述

6.1.2.1. EE_FLD_XYZ_SEL

EE_FLD_XYZ_SEL 参数定义了用于计算输出角度的磁场分量(B1, B2, B3)与 X, Y, Z 坐标轴的映射关系。

表格 6-2 EE_FLD_XYZ_SEL 磁场分量选择

EE_FLD_XYZ_SEL	B1	B2	B3
0 – 000b	X	Y	Z
1 – 001b	X	Z	Y
2 – 010b	Y	Z	X
3 – 011b	Y	X	Z
4 – 100b	Z	X	Y
5 – 101b	Z	Y	X

6.1.2.2. EE_3D

表格 6-3 EE_3D 角度计算使能

EE_3D	角度计算
0	$\alpha = \arctan\left(\frac{B2}{B1}\right)$
1	$\alpha = \arctan\left(\frac{\sqrt{(k_\alpha \times B3)^2 + (k_t \times B2)^2}}{B1}\right)$ $\beta = \arctan\left(\frac{\sqrt{(k_\beta \times B3)^2 + (k_t \times B1)^2}}{B2}\right)$

6.1.2.3. EE_USRID

表格 6-4 EE_USR_IDx 用户 ID 定义

参数	取值范围
EE_USR_ID0	0...65535
EE_USR_ID1	0...65535

6.1.2.4. EE_MEM_LOCK

通过设置 EE_MEM_LOCK，可以把所有 EEPROM 参数保护起来。即如果 EE_MEM_LOCK[1:0] == 3，EEPROM 所有内容不能再被改写。

6.1.2.5. EE_SMISM, EE_SMISM_SEL

表格 6-5 EE_SMISM, EE_SMISM_SEL

EE_SMISM_SEL	选择条件	灵敏度失配补偿公式
0	B1 > B2	$B1 * EE_SMISM / 2^{15} == B2$
1	B1 < B2	$B2 * EE_SMISM / 2^{15} == B1$

6.1.2.6. EE_ORTH, EE_ORTH_B1B2, EE_ORTH_SEL

表格 6-6 EE_ORTH, EE_ORTH_B1B2, EE_ORTH_SEL

EE_ORTH_SEL	选择条件	正交补偿公式
0	校准 XY 平面	$B_y = B_y - B_x * EE_ORTH / 1024$
1	校准 B1B2 平面	$B_2 = B_2 - B_1 * EE_ORTH_B1B2 / 1024$

EE_SMISM, EE_ORTH 在出厂前就已经被校准。为了达到最优性能，FFI 强烈建议用户不要修改这些参数。如果要读取 ∠XZ 或 ∠YZ 的磁角度信息，FFI 建议校准这些前端参数（参考精度规格章节），以达到降低精度误差的目的。例如读取 ∠XZ 角度，需要配置 EE_FLD_XYZ_SEL = 1, EE_ORTH_SEL = 1，对 EE_SMISM, EE_ORTH_B1B2 进行前端校准。

6.1.2.7. EE_KALPHA, EE_KBETA, EE_KT

通过原始信号归一化和在 ATAN 函数计算前校正的方法，KAPLHA, KBETA 和 KT 可以在 3D 角度计算公式里有效降低线性误差。

表格 6-7 3D 角度公式修剪参数

参数	值	范围	典型值
EE_KALPHA	0...65535	[0...2]	1.16
EE_KBETA	0...65535	[0...2]	1.16
EE_KT	0...65535	[0...2]	1

6.1.2.8. EE_VGAIN_MIN, EE_VGAIN_MAX

固件程序的自动增益控制(AGC) 会在用户设定的 EE_VGAIN_MIN, EE_VGAIN_MAX 范围内选择虚拟增益码。如果设定 EE_VGAIN_MIN = EE_VGAIN_MAX, 意味着选择固定的增益码。最小和最大的增益码直接影响“磁场过强”和“磁场过低”两个灵敏度的诊断项。

6.1.2.9. EE_FHYST_PARAM 滞回滤波器

EE_FHYST_PARAM 是滞回滤波器的一个参数。角度的每步变化绝对值如果小于 EE_FHYST_PARAM, 输出角度将不会更新; 如果大于 EE_FHYST_PARAM, 输出角度将会被修改。滞回滤波器将分辨率降低到非常接近芯片内部噪声的水平。EE_FHYST_PARAM 必须编程为接近噪声水平的一个值(1LSB = 0.044 Deg)。

6.1.2.10. EE_FILTER FIR 滤波器

FI6910 提供了 3 种 FIR 滤波模式, 可通过设定 EE_FILTER = 1...3 来控制。当 EE_FILTER = 0, 滤波器关闭。滤波器传递函数可用下面公式表示:

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

表格 6-8 FIR 滤波器参数

EE_FILTER	0	1	2	3
类型	无滤波	特轻	轻	中
a _i 系数	N/A	110000	111100	122210
99%响应时间	1	2	4	5
Efficiency RMS (dB)	0	3.0	6.0	6.6

6.1.2.11. SPI 引脚的 EE_PIN_FILTER EMC 滤波器

表格 6-9 EE_PIN_FILTER

SPI 时钟频率	引脚滤波
2 MHz	1
1 MHz	2
500 kHz	3

EE_PIN_FILTER 决定了 SPI 输入引脚的滤波级别。推荐设置更大的值以获得更好的电磁抗扰度。

6.3. EEPROM 耐用性

EEPROM 是用来存储校准数据的，FI6910 的嵌入式 EEPROM 可以保证在 125°C 下至少写入 1000 次（仅限于工程或校准目的）。

6.4. 可溯源信息

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溯源性。这些 ID 标识在 EOL 编程中时不允许被修改的。

表格 6-10 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

FI6910 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	诊断位	类型
March C-11N 增强 RAM 测试	进入失效安全模式	D0	数字
看门狗 BIST	进入失效安全模式	D1	数字
ROM 16 位校验和	进入失效安全模式	D2	数字
RAM 测试	进入失效安全模式	D3	数字
CPU 寄存器功能测试	进入失效安全模式	D4	数字
EEPROM 校准参数(8 位 CRC)	进入失效安全模式	D5	数字
EEPROM 汉明码DED	进入失效安全模式	D6	数字
EEPROM RAM 缓存错误	报告	D7	数字
ADC 监控	报告	D8	模拟
B _z 灵敏度监控	报告	D12	模拟 & 数字
B _x 灵敏度监控	报告	D13	模拟 & 数字
B _y 灵敏度监控	报告	D14	模拟 & 数字
温度传感器监控（基于冗余）	报告，温度值设为 EE_T35	D15	模拟 & 数字
温度 > 190 °C (± 20 °C) 温度 < -80 °C (± 20 °C)	报告，温度值饱和	D16	模拟 & 数字 & 环境
磁场过强	报告	D17	模拟 & 数字 & 环境
磁场过弱	报告	D18	模拟 & 数字 & 环境
ADC 溢出	报告	D19	模拟
V _{DD} , V _{DEC} 监控	报告	D20	模拟
固件流程监控	进入失效安全模式	N/A	数字
读写访问超出物理存储	进入失效安全模式	N/A	数字
堆栈溢出	进入失效安全模式	N/A	数字
写保护区	进入失效安全模式	N/A	数字
非授权进入系统模式	进入失效安全模式	N/A	数字
SPI 协议错误	NTT 信息	N/A	数字
看门狗超时	重启	N/A	数字
振荡器频率（专有 SPI 命令）	N/A	N/A	模拟 & 数字
V _{DD} > MT8V	MISO 高阻态	N/A	模拟

7.2. SPI 接口

FI6910 SPI 接口支持主机操作位置传感器。FI6910 接口支持多从机应用，主机可以同步触发多个从机的数据采样。接口协议最高支持全双工的 2 Mbps 数据速率。接口只接受 64 位宽的信息，使接口更具鲁棒性。在本文档中，信息、命令、帧、包为同一个概念。

7.2.2. 时序规格

FI6910 支持的 SPI 信息传输在 SS 下降沿开始，在 SS 上升沿结束。FI6910 支持的 SPI 传输类型是 MOSI, MISO 上升沿变化，下降沿采样。主机需要遵循下述 FI6910 的 SPI 时序要求。

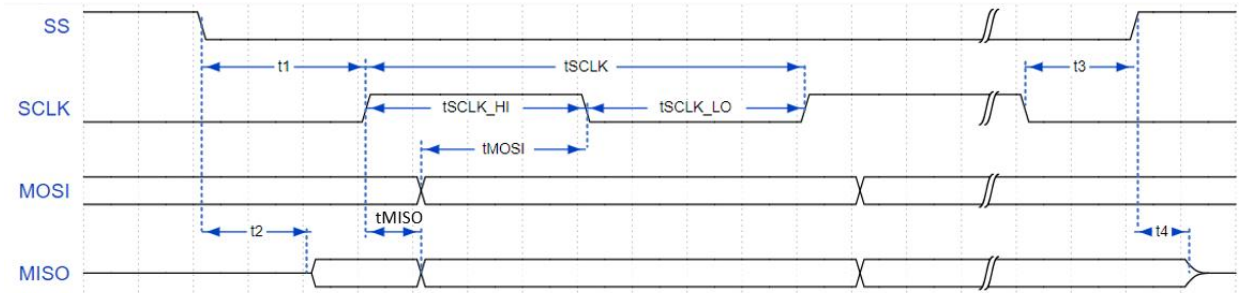


图 7-1 SPI 时序图

在触发模式 2，SS 的同步脉冲如下图所示，其它信号保持静止。

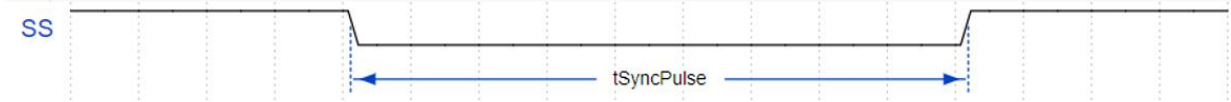


图 7-2 同步脉冲时序图

表格 7-2 SPI 时序规格

参数	符号	备注	最小	典型	最大	单位
时钟周期	tSCLK	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3	450 900 1800	500 1000 2000		ns
时钟高电平	tSCLK_HI	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3	225 450 900			ns
时钟低电平	tSCLK_LO	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3	225 450 900			ns
时钟到数据延迟	tMISO	EE_PIN_FILTER = 1, C _L = 30pF EE_PIN_FILTER = 2, C _L = 30pF EE_PIN_FILTER = 3, C _L = 30pF			210 300 510	ns
数据采样建立时间	tMOSI		30			ns
SS 下降沿到 SCLK 上升沿	t1	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3	225 450 900			ns
SS 下降沿到 MISO 低阻抗	t2	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3		90 180 370	120 210 420	ns
SCLK 下降沿到 SS 上升沿	t3		225			ns
SS 上升沿到 MISO 高阻抗	t4	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3		130 200 350	160 230 400	ns
同步脉冲宽度	tSyncPulse	EE_PIN_FILTER = 1 EE_PIN_FILTER = 2 EE_PIN_FILTER = 3	520 610 820		10000 10000 10000	ns

7.2.4.信息结构

信息的一般结构由 8 个字节组成（字节#0 先传输，字节#7 最后传输）。字节#7 保存一个 8 位的 CRC。字节#6 由一个 2 位的标识码(Marker)和 6 位的操作码(Opcode)或滚动计数器(Roll Counter)组成。

表格 7-3 SPI 信息结构

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC								6	标识		操作码或滚动计数器					

在字节内，MSB 先传输，例如字节#0[7]先传输，字节#0[0]最后传输。参数 CRC[7:0]是字节#7[7:0]，参数标识[1:0]是字节#6[7:6]，参数操作码[5:0]（或滚动计数器[5:0]）是字节#6[5:0]。

CRC 按照以下算法进行编码和解码（C 语言，其中查找表基于 CRC8 多项式）。

```

crc = 0xFF;
crc = CRC8_256_TAB[ Byte0 ^ crc ];
crc = CRC8_256_TAB[ Byte1 ^ crc ];
crc = CRC8_256_TAB[ Byte2 ^ crc ];
crc = CRC8_256_TAB[ Byte3 ^ crc ];
crc = CRC8_256_TAB[ Byte4 ^ crc ];
crc = CRC8_256_TAB[ Byte5 ^ crc ];
crc = CRC8_256_TAB[ Byte6 ^ crc ];
crc = ~crc;
    
```

表格 7-4 CRC8_256_TAB 查找表

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0x00	0x2f	0x5e	0x71	0xbc	0x93	0xe2	0xcd
1	0x57	0x78	0x09	0x26	0xeb	0xc4	0xb5	0x9a
2	0xae	0x81	0xf0	0xdf	0x12	0x3d	0x4c	0x63
3	0xf9	0xd6	0xa7	0x88	0x45	0x6a	0x1b	0x34
4	0x73	0x5c	0x2d	0x02	0xcf	0xe0	0x91	0xbe
5	0x24	0x0b	0x7a	0x55	0x98	0xb7	0xc6	0xe9
6	0xdd	0xf2	0x83	0xac	0x61	0x4e	0x3f	0x10
7	0x8a	0xa5	0xd4	0xfb	0x36	0x19	0x68	0x47
8	0xe6	0xc9	0xb8	0x97	0x5a	0x75	0x04	0x2b
9	0xb1	0x9e	0xef	0xc0	0x0d	0x22	0x53	0x7c
10	0x48	0x67	0x16	0x39	0xf4	0xdb	0xaa	0x85
11	0x1f	0x30	0x41	0x6e	0xa3	0x8c	0xfd	0xd2
12	0x95	0xba	0xcb	0xe4	0x29	0x06	0x77	0x58
13	0xc2	0xed	0x9c	0xb3	0x7e	0x51	0x20	0x0f
14	0x3b	0x14	0x65	0x4a	0x87	0xa8	0xd9	0xf6
15	0x6c	0x43	0x32	0x1d	0xd0	0xff	0x8e	0xa1
16	0xe3	0xcc	0xbd	0x92	0x5f	0x70	0x01	0x2e
17	0xb4	0x9b	0xea	0xc5	0x08	0x27	0x56	0x79

18	0x4d	0x62	0x13	0x3c	0xf1	0xde	0xaf	0x80
19	0x1a	0x35	0x44	0x6b	0xa6	0x89	0xf8	0xd7
20	0x90	0xbf	0xce	0xe1	0x2c	0x03	0x72	0x5d
21	0xc7	0xe8	0x99	0xb6	0x7b	0x54	0x25	0x0a
22	0x3e	0x11	0x60	0x4f	0x82	0xad	0xdc	0xf3
23	0x69	0x46	0x37	0x18	0xd5	0xfa	0x8b	0xa4
24	0x05	0x2a	0x5b	0x74	0xb9	0x96	0xe7	0xc8
25	0x52	0x7d	0x0c	0x23	0xee	0xc1	0xb0	0x9f
26	0xab	0x84	0xf5	0xda	0x17	0x38	0x49	0x66
27	0xfc	0xd3	0xa2	0x8d	0x40	0x6f	0x1e	0x31
28	0x76	0x59	0x28	0x07	0xca	0xe5	0x94	0xbb
29	0x21	0x0e	0x7f	0x50	0x9d	0xb2	0xc3	0xec
30	0xd8	0xf7	0x86	0xa9	0x64	0x4b	0x3a	0x15
31	0x8f	0xa0	0xd1	0xfe	0x33	0x1c	0x6d	0x42

7.2.5. 常规信息

FI6910 提供三种类型的常规信息：

- “α” & 诊断
- “α-β” & 诊断
- X-Y-Z & 诊断

表格 7-5 “α”信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	E1	E0	Alpha[13:8]						0	Alpha[7:0]							
3	0						2	0									
5	0						4	增益码									
7	CRC						6	0	0	滚动计数器							

表格 7-6 “α-β”信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	E1	E0	Alpha[13:8]						0	Alpha[7:0]							
3	Beta[13:8]						2	Beta[7:0]									
5	0						4	增益码									
7	CRC						6	0	1	滚动计数器							

表格 7-7 X-Y-Z 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	E1	E0	X[13:8]						0	X[7:0]							
3	Y[13:8]						2	Y[7:0]									
5	Z[13:8]						4	Z[7:0]									
7	CRC						6	1	0	滚动计数器							

比特位#6[7]和#6[6]为标识码。它使主从机可以识别出常规信息的类型(00b, 01b, 10b)。标识存在于所有的信息里，包括 MOSI, MISO。任何非常规信息的标识都等于 11b。

如果标识码为 10b，表示从机送出仅经过 offset 补偿和 FIR 滤波处理的 X-Y-Z 信息。X-Y-Z 的强度与增

益相关（参考自动增益控制章节）。X-Y-Z 信息位宽为 14bit，建议用户将其左移 2bit，与芯片内部原始 16bit 有符号值对齐。由于 MCP 增益 K 因子的影响，X-Y 方向的灵敏度总是高于 Z 方向，建议在 3D 磁强计应用时主机将 Z 值乘以 K 因子使用。

比特位 E1 和 E0 标识 4 种类型的诊断状态。建议用户在每次获取常规信息都解析此标识，一旦发现诊断失败，立即发送 DiagnosticsDetails 命令读取详细诊断位。

表格 7-8 常规信息诊断状态位

E1	E0	描述
0	0	首次诊断序列未完成
0	1	诊断失败
1	0	诊断通过（上周期）
1	1	诊断通过（新周期）

7.2.6. 触发模式 (Get1, Get2, Get3)

7.2.6.1. Get1

主机发送一个 GET1 命令，启动磁场信息采集和后处理。然后发起下一个 GET1 或 NOP 命令，同时接收由上一个 GET1 命令产生的常规信息。

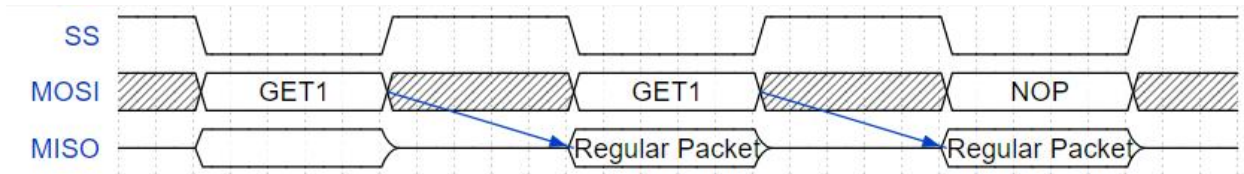


图 7-3 触发模式 1 信息序列

表格 7-9 Get1 MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1								Rst	0								
3	TimeOutValue[15:8]							2	TimeOutValue[7:0]								
5									4								
7	CRC							6	Marker	0x13							

参数 RST (Byte1[0])设置后，将复位常规信息包上的滚动计数器。

参数 TimeOutValue 决定了常规信息包的最大有效时间。时间步长为 t1us，最大超时时间为 65535 * t1us。计时器在常规信息准备就绪时启动，在下一信息信息的 SS 上升沿停止。若发生超时，主机将会接收到非预期的 NTT 信息。

参数 Marker 指示了主机希望获得的数据信息类型：

- Marker = 0 参考帧类型 “α” & 诊断
- Marker = 1 参考帧类型 “α-β” & 诊断
- Marker = 2 参考帧类型 X-Y-Z & 诊断

7.2.6.2. Get2

当两个或更多的从机需要被同时触发时，需要使用同步脉冲，这便是触发模式 2 的意义。

主机首先通过发出 GET2 命令来启用触发模式 2。然后在适当的时间发送一个同步脉冲，启动磁场信息采集和后处理。

最后，主机使用 NOP 或 GET2 读取响应信息。GET2 命令重新启动同步脉冲触发的采集，而 NOP 命令只允许主机接收最新的数据包。

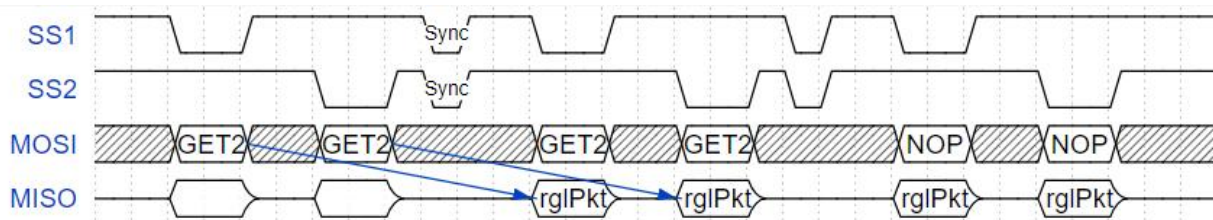


图 7-4 触发模式 2 信息序列

表格 7-10 Get2 MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1								Rst	0								
3	TimeOutValue[15:8]								2	TimeOutValue[7:0]							
5									4								
7	CRC								6	Marker	0x14						

7.2.6.3. Get3

模式 3 实现了与模式 1 一样高的帧率，如果主机只能使用更慢的 SCLK 频率。当时钟频率有限(400kbps 以下)，并且需要达到一定的帧率时，优先选择模式 3 而不是模式 1。

信息序列由 GET3 信息开始，但与模式 1 不同的是，结果信息（磁场角度）是缓存的。MISO 信息包含前一个 GET 信息的缓存数据，而不是与当前 GET MOSI 请求对应的新计算值。缓存机制缓解了对 SPI 时钟频率的限制。

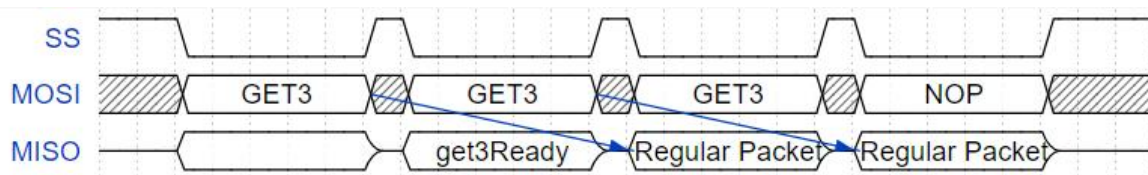


图 7-5 触发模式 3 信息序列

表格 7-11 Get3 MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1								Rst	0								
3	TimeOutValue[15:8]								2	TimeOutValue[7:0]							
5									4								
7	CRC								6	Marker	0x15						

表格 7-12 Get3Ready MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC								6	3	0x2D						

7.2.6.5. 触发模式时序规格

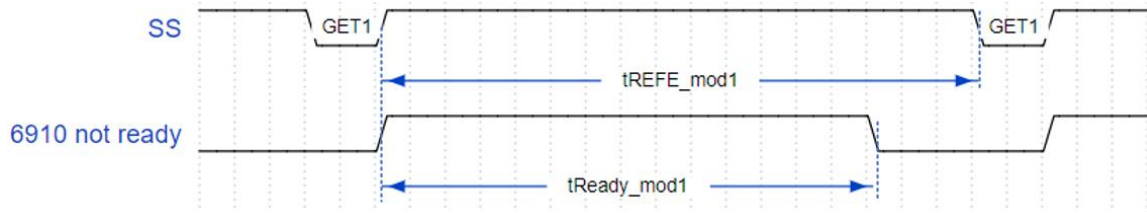


图 7-6 触发模式 1 时序图

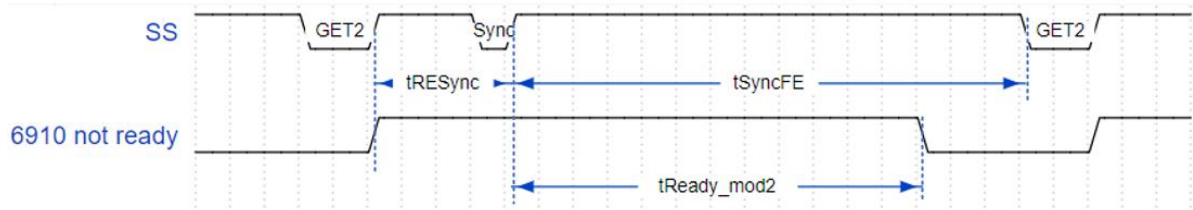


图 7-7 触发模式 2 时序图

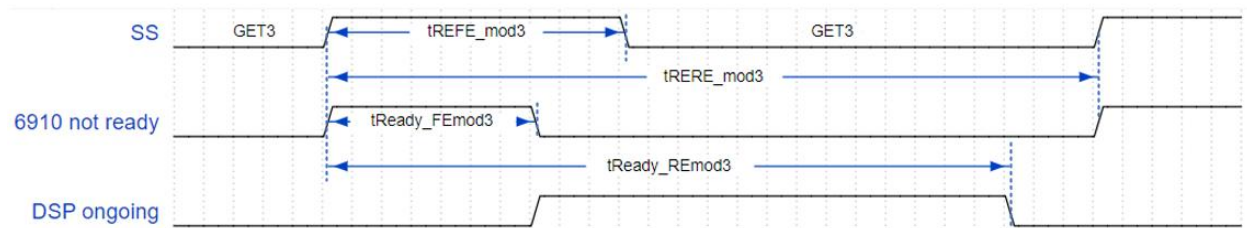


图 7-8 触发模式 3 时序图

表格 7-13 5V 应用的触发模式 1,2,3 时序规格

参数	定义	标识	最小	典型	最大	单位
tREFE_mod1	Get1 SS 上升沿到下次 Get1 SS 下降沿	0	900			μs
		1	1000			μs
		2	900			μs
tReady_mod1	Get1 SS 上升沿到 MISO 指示准备就绪	0			900	μs
		1			1000	μs
		2			900	μs
tSyncFE	同步脉冲 SS 上升沿到 Get2 SS 下降沿	0	900			μs
		1	1000			μs
		2	900			μs
tReady_mod2	同步脉冲 SS 上升沿到 MISO 指示准备就绪	0			900	μs
		1			1000	μs
		2			900	μs
tRESync	Get2 SS 上升沿到同步脉冲 SS 上升沿		80			μs
tRERE_mod3	Get3 SS 上升沿到下次 Get3 SS 上升沿	0	900			μs
		1	1000			μs
		2	900			μs
tReadyRE_mod3	Get3 SS 上升沿到 DSP 完成	0			900	μs
		1			1000	μs
		2			900	μs
tREFE_mod3	Get3 SS 上升沿到下次 Get3 SS 下降沿		90			μs
tReadyFE_mod3	Get3 SS 上升沿到 MISO 指示准备就绪				90	μs

表格 7-14 3.3V 应用的触发模式 1,2,3 时序规格

参数	定义	标识	最小	典型	最大	单位
tREFE_mod1	Get1 SS 上升沿到下次 Get1 SS 下降沿	0	1050			μs
		1	1200			μs
		2	1050			μs
tReady_mod1	Get1 SS 上升沿到 MISO 指示准备就绪	0			1050	μs
		1			1200	μs
		2			1050	μs
tSyncFE	同步脉冲 SS 上升沿到 Get2 SS 下降沿	0	1000			μs
		1	1150			μs
		2	1000			μs
tReady_mod2	同步脉冲 SS 上升沿到 MISO 指示准备就绪	0			1000	μs
		1			1150	μs
		2			1000	μs
tRESync	Get2 SS 上升沿到同步脉冲 SS 上升沿		90			μs
tRERE_mod3	Get3 SS 上升沿到下次 Get3 SS 上升沿	0	1100			μs
		1	1250			μs
		2	1100			μs
tReadyRE_mod3	Get3 SS 上升沿到 DSP 完成	0			1100	μs
		1			1250	μs
		2			1100	μs
tREFE_mod3	Get3 SS 上升沿到下次 Get3 SS 下降沿		105			μs
tReadyFE_mod3	Get3 SS 上升沿到 MISO 指示准备就绪				105	μs

7.2.7.操作码

7.2.7.1. 操作码表格

表格 7-15 操作码表格

操作码	MOSI 信息	操作码	MISO 信息
0x13	GET1	N/A	Regular Data Packet
0x14	GET2		
0x15	GET3	0x2D	Get3Ready
0x01	MemoryRead	0x02	MemoryRead Answer
0x03	EEWrite	0x04	EEWrite Challenge
0x05	EEChallengeAns	0x28	EEReadAnswer
0x0F	EEReadChallenge	0x0E	EEWrite Status
0x10	NOP / Challenge	0x11	Challenge / NOP MISO Packet
0x16	DiagnosticsDetails	0x17	Diagnostics Answer
0x18	OscCounterStart	0x19	OscCounterStart Acknowledge
0x1A	OscCounterStop	0x1B	OscCounterStopAck
0x2F	Reboot		
0x31	Standby	0x32	StandbyAck
		0x3D	Error Frame
		0x3E	Nothing To Transmit (NTT)

7.2.7.3. MOSI 命令间隔时间与允许的下一命令

表格 7-16 MOSI 命令间隔时间与允许的下一命令

操作码	MOSI 信息	tREFE	允许的下一 MOSI 信息
0x13	GET1	tREFE_mod1	GET1, MemoryRead, DiagnosticsDetails, NOP
0x14	GET2 & Sync	tSyncFE	GET2, MemoryRead, DiagnosticsDetails, NOP
0x15	GET3	tREFE_mod3	GET3, MemoryRead, DiagnosticsDetails, NOP
0x01	MemoryRead	tShort	MemoryRead, DiagnosticsDetails, NOP
0x03	EEWrite	teewrite	EEReadChallenge
0x05	EEChallengeAns	tShort	NOP
0x0F	EEReadChallenge	tShort	EEChallengeAns
0x10	NOP / Challenge	tShort	所有命令
0x16	DiagnosticsDetails	tShort	所有命令
0x18	OscCounterStart	tShort	OscCounterStop
0x1A	OscCounterStop	tShort	NOP
0x2F	Reboot	tStartup	参考启动序列
0x31	Standby	tShort	所有命令

7.2.8. 非常规信息

7.2.8.1. NOP 命令与应答

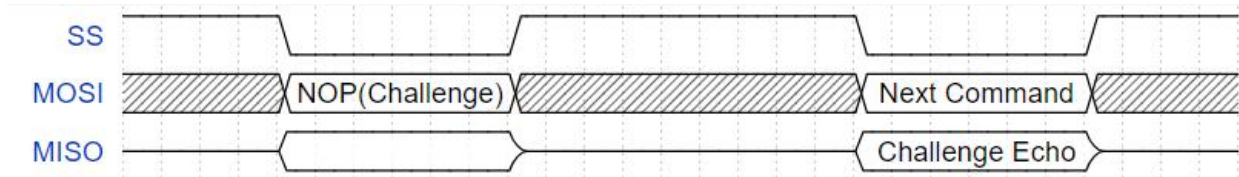


图 7-9 NOP 时序图

表格 7-17 NOP MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3	KEY[15:8]								2	KEY[7:0]							
5									4								
7	CRC								6	3	0x10						

表格 7-18 Challenge MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3	KEY_ECHO[15:8]								2	KEY_ECHO[7:0]							
5	INVERTED KEY_ECHO[15:8]								4	INVERTED KEY_ECHO[7:0]							
7	CRC								6	3	0x11						

其中参数 KEY_ECHO = KEY, 参数 INVERTED KEY_ECHO = 65535 - KEY (比特翻转)。

7.2.8.2. OscCounterStart 和 OscCounterStop 命令

7.2.8.3.

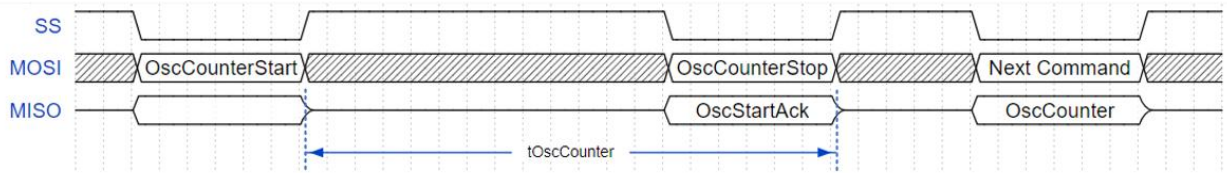


图 7-10 OSC 频率诊断时序图

主机可以通过 OscCounterStart 和 OscCounterStop 命令来评估从机的 OSC 时钟频率。时序图中的“下一次命令”推荐使用 NOP。OscCounterStart 开启 FI6910 内部的计数器，OscCounterStop 停止计数器并重置为初始值。OscCounter 信息的 CounterValue 表示两个命令 SS 上升沿的时间，单位为 μs ，并且振荡器频率恰好等于 19MHz。OSC 时钟频率可以使用下式计算：

$$Ck = 19 \text{ [MHz]} * (\text{CounterValue} - 40) \text{ [lsb]} / t\text{OscCounter} \text{ [\mu s]}$$

tOscCounter 建议主机控制在 500 μs 到 30000 μs 之间。

表格 7-19 OscCounterStart MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC							6	3	0x18							

表格 7-20 OscCounterStart Acknowledge MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC							6	3	0x19							

表格 7-21 OscCounterStop MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC							6	3	0x1A							

表格 7-22 OscCounter MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3	CounterValue[15:8]							2	CounterValue[7:0]								
5									4								
7	CRC							6	3	0x1B							

7.2.8.4. Ready, Error, NTT 信息

在复位上电后，第一个 MISO 信息是 Ready 信息。

表格 7-23 Ready MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC								6	3	0x2C						

表格 7-24 Error MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0	Error Code							
3									2								
5									4								
7	CRC								6	3	0x3D						

当主机发送 SPI 命令不遵循 FI6910 的规则时，可能会接收到 Error 信息，其中 Error Code 描述如下。

Error Code = 1：不正确的 Bit 计数，即一帧 SPI 信息的 bit 计数不是 64；

Error Code = 2：不正确的 CRC；

Error Code = 3：时序超时或 FI6910 未准备就绪；

Error Code = 4：操作码无效，即主机未遵循操作码规则。

对于大部分的 SPI 时序违例，从机会以 NTT 信息应答。比如，FW 正常处理上一次的 SPI 命令；或者 GET 命令超时等。在正常的操作中，主机不应该接收到 NTT 信息。主机应该遵循 FI6910 的 SPI 时序规格定义。

表格 7-25 NTT MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	0x22								0	0x11							
3	0x44								2	0x33							
5	0x66								4	0x55							
7	CRC								6	3	0x3E						

7.2.8.5. DiagnosticsDetails 命令

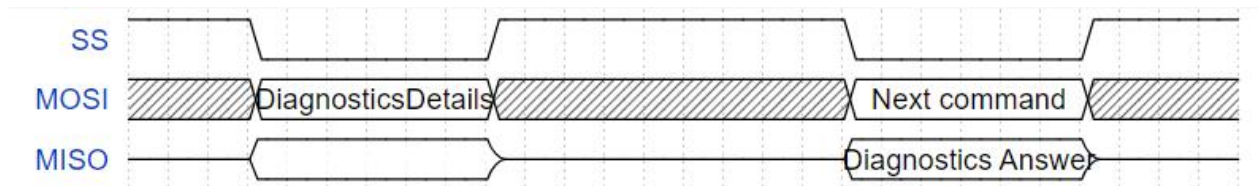


图 7-11 诊断命令时序图

表格 7-26 DiagnosticsDetails MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC								6	3	0x16						

表格 7-27 Diagnostics Answer MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
3	FSMERC								2				D20	D19	D18	D17	D16
5									4								
7	CRC								6	3	0x17						

使用 DiagnosticDetails 可获得诊断的细节信息，诊断位信息可参考章节 7.1 自诊断表格。

参数 FSMERC 表示进入失效安全模式的起因。

FSMERC = 0：芯片不处于失效安全模式

FSMERC = 1：BIST 错误发生，芯片处于失效安全模式

FSMERC = 2：数字诊断错误发生，芯片处于失效安全模式

FSMERC = 3：其它诊断错误发生，芯片处于失效安全模式

7.2.8.6. MemoryRead 命令

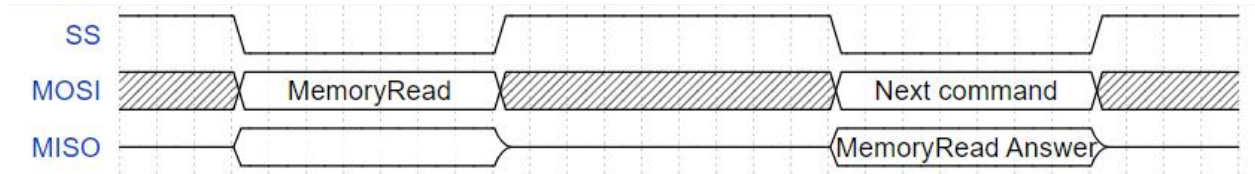


图 7-12 MemoryRead 时序图

表格 7-28 MemoryRead MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Address0[15:8]								0	Address0[7:0]							
3	Address1[15:8]								2	Address1[7:0]							
5									4								
7	CRC								6	3	0x01						

表格 7-29 MemoryRead MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Address0 Data[15:8]								0	Address0 Data[7:0]							
3	Address1 Data[15:8]								2	Address1 Data[7:0]							
5									4								
7	CRC								6	3	0x02						

MemoryRead 可同时指定两个不同的地址，分别获取到对应的 16bit 数据。

芯片内部有两个地址空间可以被访问到：

RAM : 0x0000 ~ 0x00FE

EEPROM : 0x1000 ~ 0x103E

7.2.8.7. EEWrite 命令

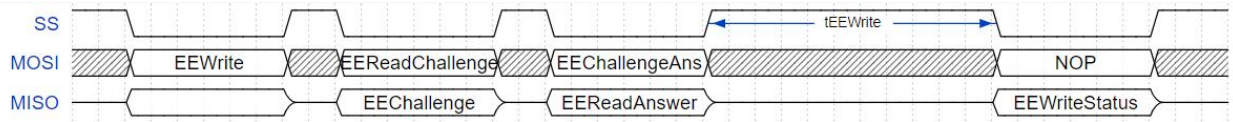


图 7-13 EEWrite 时序图

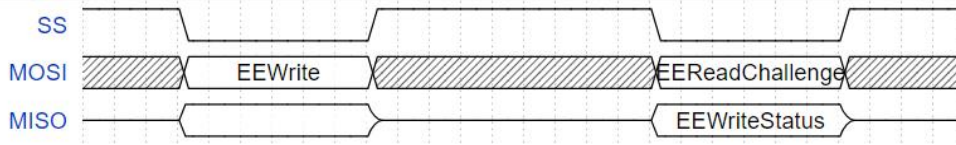


图 7-14 EEWrite 时序图 (Public Key 错误)

通过两个保护机制 A 和 B，EEPROM 写数据一致性得以保证。

机制 A: 主机的 EEWrite 命令带有与地址相关的参数 Public Key，若错误，从机直接返回 EEWriteStatus 指示失败。

机制 B: 从机产生 Challenge Key 并返回到主机，期待主机应答 Key ^ 0x1234。

表格 7-30 EEWrite Public Key

Address[5:4]	Address[3:1]							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	17485	31053	57190	57724	7899	53543	26763	12528
1	38105	51302	16209	24847	13134	52339	14530	18350
2	55636	64477	40905	45498	24411	36677	4213	48843
3	6368	5907	31384	63325	3562	19816	6995	3147

表格 7-31 EEWrite MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0	
1	0	0	Address[5:0]						0									
3	Key[15:8]							2	Key[7:0]									
5	Data[15:8]							4	Data[7:0]									
7	CRC							6	3	0x03								

表格 7-32 EEWrite ReadChallenge MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC							6	3	0x0F							

表格 7-33 EEWrite EEChallenge MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3	Challenge Key [15:8]							2	Challenge Key [7:0]								
5									4								
7	CRC							6	3	0x04							

表格 7-34 EEWrtie ChallengeAns MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0	
1									0									
3	Key Echo [15:8]								2	Key Echo [7:0]								
5	Inverted Key Echo [15:8]								4	Inverted Key Echo [7:0]								
7	CRC								6	3	0x05							

参数 Key Echo 需要与 Challenge Key ^ 0x1234 匹配；

参数 Inverted Key Echo 需要与翻转的 Key Echo 匹配。

表格 7-35 EEReadAnswer MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0	
1									0									
3									2									
5									4									
7	CRC								6	3	0x28							

表格 7-36 EEWrtieStatus MISO 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0	
1									0					CODE				
3									2									
5									4									
7	CRC								6	3	0x0E							

参数 CODE 指示了 EEPROM 写失败的原因：

CODE = 1：成功

CODE = 2：擦除或写失败

CODE = 4：EEPROM CRC 擦除或写失败

CODE = 6：Key 无效

CODE = 7：挑战失败

CODE = 8：奇地址

为了使新的 EEPROM 参数生效，在一系列写 EEPROM 操作后，必须发送 Reboot 命令。

7.2.8.8. Reboot 命令

以下三种情况下，Reboot 是一个有效的命令。

- 写 EEPROM 后
- 处于失效安全模式
- 处于待机模式

Reboot 导致的系统复位和真实的上电复位相同的，因此其时序也是一样的。

在一系列写 EEPROM 后，发送 Reboot 可以强制 FW 刷新 EEPROM 缓存和 IO 空间，它强制 FW 考虑所有的变化（模式启用，禁用等）。

表格 7-37 Reboot MOSI 信息

#	7	6	5	4	3	2	1	0	#	7	6	5	4	3	2	1	0
1									0								
3									2								
5									4								
7	CRC								6	3	0x2F						

7.2.8.9. Standby 命令

Standby 命令使芯片进入待机模式：数字时钟停止，部分模拟模块关闭，只有 SPI 时钟保持激活，允许芯片接收和响应 SPI 信息。Standby 仅在 NOP 或 DiagnosticsDetails 后有效。

在待机状态下收到的第一个 SPI 信息将唤醒传感器。待机模式在其 SS 上升沿精确退出，它可以是 NOP、GET 或其他任何信息。

Standby 的应答命令是 StandbyAck。恢复后，忽略前 6 个 GET 信息的诊断状态位(E1:E0)。

7.2.9. 启动序列

在 FI6910 完成启动初始化和首次诊断后，SPI 接口被使能。

推荐的 SPI 启动序列如下图所示。它通常以 NOP MOSI 信息开始，Ready 是第一个 MISO 信息。若主机发送第一个 MOSI 信息不满足 tStartup，将会接收到 NTT 信息。

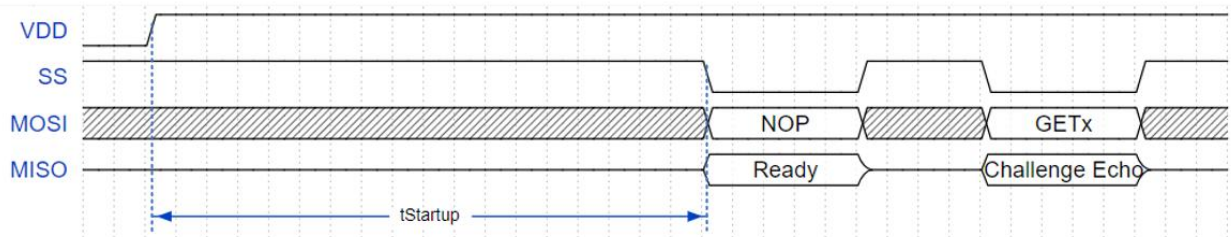


图 7-15 启动序列时序图

7.2.10. 协议错误处理

当接收到 NTT 或者 Error 信息，主机应该意识到从机忽略了最后一个命令。因此，主机需要重新发送命令，或者更常规地重新初始化 SPI 协议。协议初始化后，主机可以发送一个 NOP 命令进行通信诊断。

表格 7-38 协议错误处理（从机角度）

错误项	错误定义	条件	检测	从机行动	MISO 信息
Bit 计数错误	MOSI 信息 bit 计数不等于 64	所有模式	FW 检查 HW bit 计数	忽略信息，初始化协议	Error 信息(Error Code = 1)
CRC 错误	MOSI 信息 CRC 错误	所有模式	FW 计算 CRC	忽略信息，初始化协议	Error 信息(Error Code = 2)
操作码错误	无效的 MOSI 信息	所有模式	FW	忽略信息，初始化协议	Error 信息(Error Code = 3)
tREFE < tReady_mod1	常规信息读取过早	触发模式 1	通信中断发生过早，FW 检查 HW 状态位	忽略信息，初始化协议	NTT 信息
tSyncFE < tReady_mod2	常规信息读取过早	触发模式 2	通信中断发生过早，FW 检查 HW 状态位	忽略信息，初始化协议	NTT 信息

tRERE_mod3 < tReady_mod3	常规信息读取过早	触发模式 3	保护中断	重新初始化协议	NTT 信息
tREFE_mod3 < tReady_FE_mod3	常规信息读取过早	触发模式 3	保护中断	重新初始化协议	NTT 信息
超时	常规信息读取过迟	所有模式	计时器中断	重新初始化协议	NTT 信息

7.3. 失效安全模式

失效安全模式的目的是通过在检测到数字类型错误（看门狗错误、ROM 校验和固件流错误等）时阻止角度位置计算和报告来增加安全完整性。在失效安全模式中：

- 模拟电路不工作
- 传感器等待主机启动复位
- 看门狗在 100ms 后自动复位，即看门狗运行不被响应
- 只有 SPI 驱动和通信处理程序是激活的，唯一支持的 MOSI 命令是 Reboot。所有其它 SPI MOSI 命令，都会发送 MISO 消息 DiagDetailAnswer
- 诊断(模拟和数字)和后台程序没有运行

在以下情况会进入失效安全模式：

- 初始化时严重错误(RAM BIST、WD BIST、ROM Checksum、EEPROM CRC)
- 在后台/数字诊断(RAM 连续测试、ROM 测试、EEPROM CRC)期间发生严重错误
- 系统级中断（堆栈溢出、无效地址、保护错误、程序错误）
- 固件流错误

7.4. 自动增益控制

虚拟增益代码在每个 GET 信息中更新。新的代码值是基于每个方向(X、Y、Z)的场强。

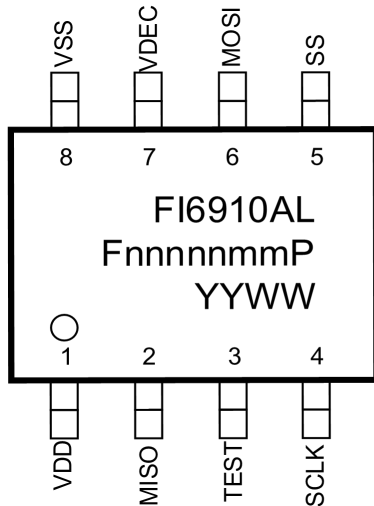
自动增益控制(AGC)在增益代码(EE_VGAIN_MIN, EE_VGAIN_MAX)范围内自动调整增益系数，确保场强输出在合理值。

不建议中断 GET 消息序列，因为 AGC 的迭代是由 GET 消息触发的。如果不能避免，则忽略中断后的 6 个 GET 信息的(E1:E0)错误位。

8. 封装

8.1. SOIC-8 封装

8.1.1. SOIC-8 封装示意图及标识



Marking:

Line1: FI6910 - Part number

A - Die version

L - Temperature code

Line2: F - Fab identifier (optional)

nnnnn - Last 5 digits of lot number

mm - Wafer number

P - Package version

Line3: YY - Year

WW - Week

图 8-1 SOIC-8 封装示意图及标识

8.1.2. SOIC-8 封装尺寸

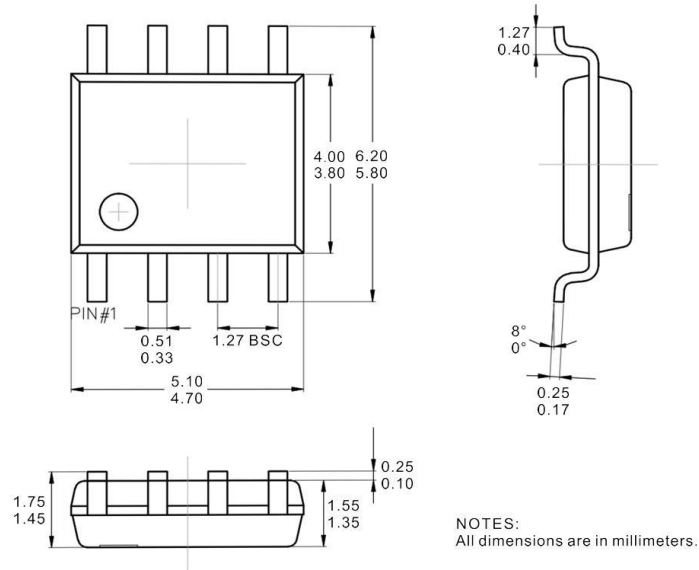


图 8-2 SOIC-8 封装尺寸

8.1.3. SOIC-8 封装磁场感应点位置

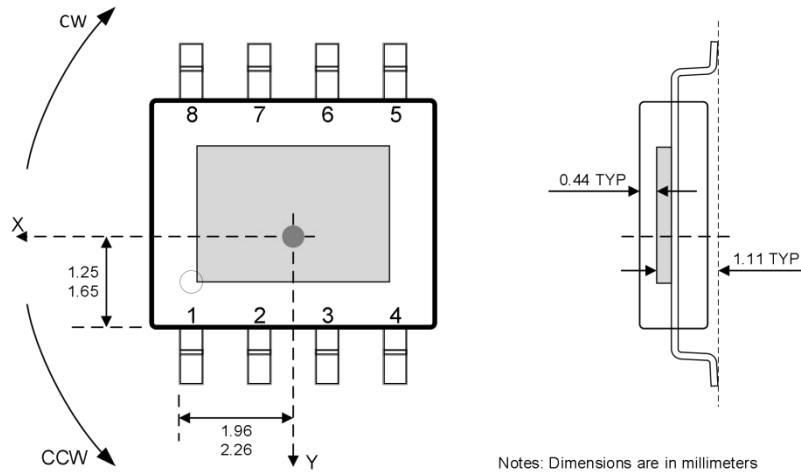


图 8-3 SOIC-8 封装的磁场感应点

8.2. TSSOP-16 封装

8.2.1. TSSOP-16 封装示意图及标识

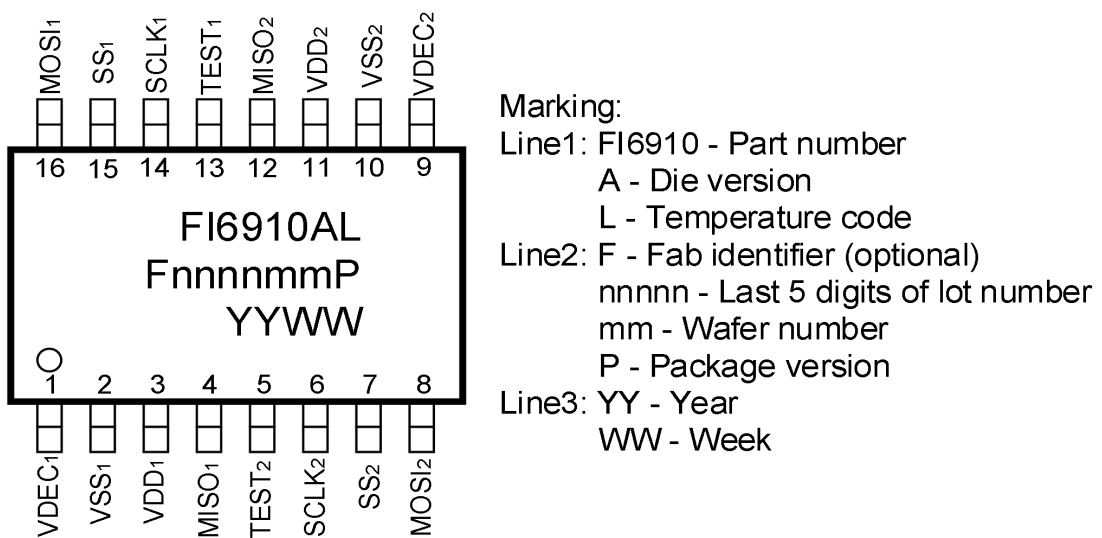


图 8-4 TSSOP-16 封装示意图及标识

8.2.2.TSSOP-16 封装尺寸

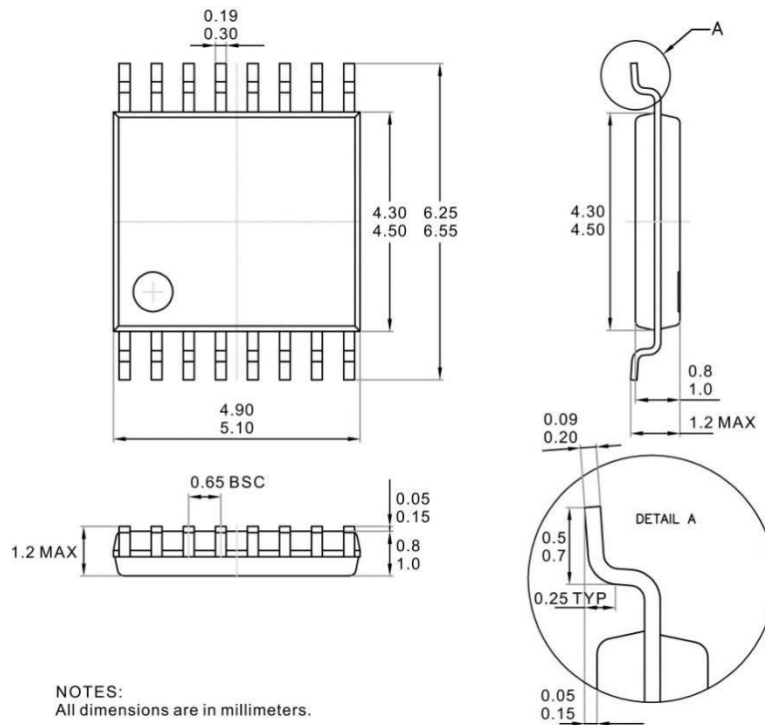


图 8-5 TSSOP-16 封装尺寸

8.2.3.TSSOP-16 封装磁场感应点位置

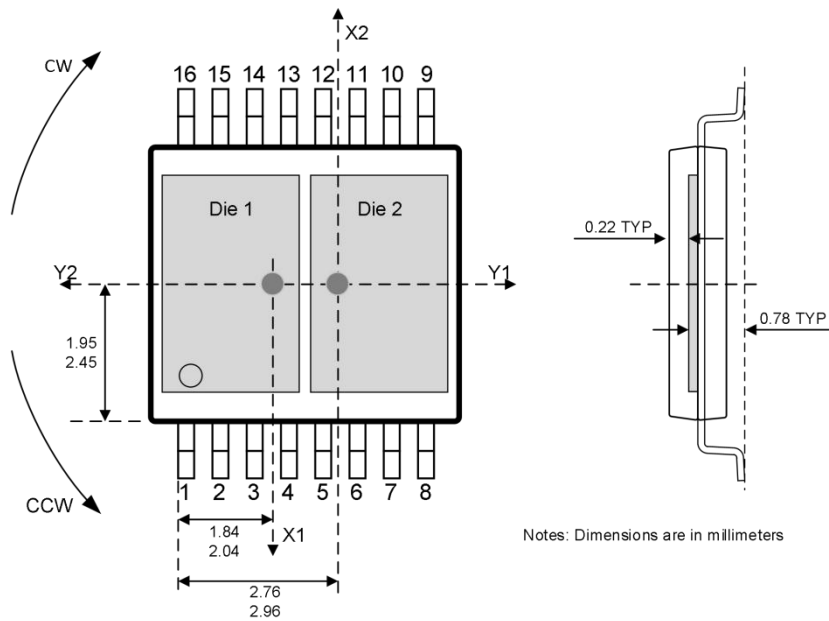


图 8-6 TSSOP-16 封装的磁场感应点

9. 订货信息

FI6910 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 FI6910 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
FI6910	A	L	DI	N	000	RA	
FI6910	A	L	GQ	N	000	RA	

其中：

温度代码：

L: -40°C to +150°C

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： FI6910ALDI-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。

修订历史

版本	日期	版本描述
V1.4	2024-07-23	增加功能安全等级信息。
V1.3	2024-04-28	更新部分参数，更新 3.3V 应用参数，更新 CRC，Marker=2，EE 参数地址、协议错误处理等功能描述。
V1.2	2024-02-05	更新了功能描述等相关信息。
V1.1	2024-01-09	更新了 6910 简介、典型应用、封装应用、信息结构等相关信息。
V1.0	2023-12-02	初始版本。

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。