

描述

IPS2550 是一款无磁铁的电感式位置传感器 IC，可用于汽车，工业，医疗和消费类应用中的高速绝对位置感应。IPS2550 利用涡流的物理原理来检测在一组线圈上方移动的金属靶的位置，该组线圈由一个发射机线圈和两个接收器线圈组成。

这三个线圈通常以铜走线的形式印刷在印刷电路板（PCB）上。它们被布置成使发射机线圈在两个接收器线圈中产生二级电压，电压值取决于线圈上方金属靶的位置。

通过解调和处理来自接收器线圈的二级电压，可获得目标在线圈上的位置信号。目标可以是任何种类的金属，例如铝，钢或带有印刷铜层的 PCB。

IPS2550 提供两个独立的输出接口：

- 高速模拟接口，输出解调后的正弦/余弦原始数据以提供位置信息
- 用于诊断和编程的 I2C 数字接口

IPS2550 的转速高达 600000 rpm（与线圈设计有关，每圈使用 1 个周期）。4 μ s 的超低传播延迟可为快速旋转的电机提供高动态控制。

IPS2550 根据 ISO26262 开发，可用于高达 ASIL-C 功能安全相关的系统中。根据 ASIL 分解规则（即 ISO 26262:2018，第 9 部，第 5 条）或系统集成商的适当风险分析，也可被用于 ASIL-D 要求的功能安全系统中。

IPS2550 采用 16 引脚 TSSOP 封装，适合用于汽车 -40°C 至 +160°C 的环境温度下。

可用支持

瑞萨提供用于演示 IPS2550 旋转位置传感应用的参考设计。

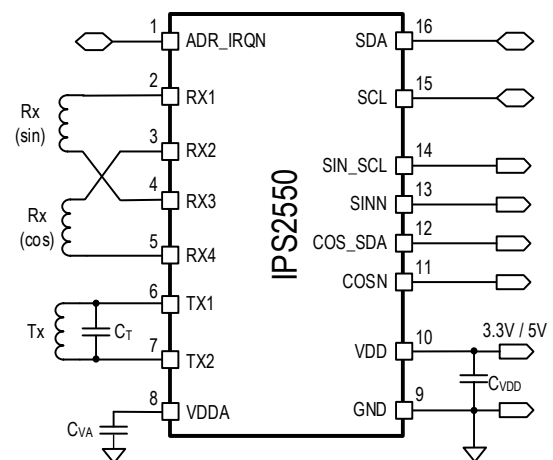
典型应用

- 无刷直流电动机的转子位置检测；适应任何极对数
- 替代解析器

特征

- 基于感应原理的位置感应
- 具有成本效益；无需磁铁
- 不受杂散磁场的影响；无需屏蔽
- 适用于恶劣环境和极端温度
- 差分 and 单端正弦和余弦输出
- 具有可编程限制的自动增益控制
- 非易失性用户可配置存储器，可通过 I2C 接口编程
- 通过模拟接口或数字接口可编程
- 单 IC 支持轴上和轴外旋转，线性运动和弧运动感测
- 通过线圈设计可适应满量程的任何角度范围
- 高精度： $\leq$ 满量程的 0.1%（理想线圈）
- 旋转感应高达 360° 角度范围
- 过压和反极性保护：电源和输出引脚均为 $\pm 18V$
- 符合冗余设计要求
- 适用于在符合 ISO26262 的安全相关系统，单个 IC 上最高达到 ASIL-C，双 IC 上最高达到 ASIL-D
- 通过中断引脚快速诊断报警
- 超宽工作温度：-40°C 至 +160°C
- 可编程的供电电压为 3.3V $\pm$ 0.3V 或 5.0V $\pm$ 0.5V
- 小型 16-TSSOP 封装（4.4mm $\times$ 5.0mm）

应用电路实例



内容

1. 引脚分配.....	6
2. 引脚说明.....	6
3. 接收器线圈连接选项.....	8
4. 绝对最大额定值.....	10
5. 运行条件.....	11
6. 环境温度范围.....	12
7. 电气特性.....	13
8. 电路说明.....	20
8.1 概述.....	21
9. 采样率，分辨率，输出数据率和传播延迟.....	23
10. 输出方式.....	24
11. 高速运转.....	25
12. 数字诊断和编程接口.....	26
13. 框图.....	26
14. 详细的模块描述.....	27
14.1 电源管理.....	27
14.2 LC 振荡器.....	27
14.3 模拟信号路径.....	27
14.3.1 Rx 线圈诊断.....	27
14.3.2 接收器信号低通滤波器.....	27
14.3.3 偏移和增益匹配.....	27
14.3.4 解调.....	28
14.3.5 自动增益控制（AGC）.....	28
14.4 信号通道交换.....	28
14.5 输出缓冲器.....	28
14.6 温度感应器.....	28
15. ECU 连接选项.....	29
15.1 嵌入式与远程连接.....	29
15.2 电源电压供应：3.3V 或 5V.....	30
15.3 I2C 接口.....	31
15.3.1 具有地址选择功能的 I2C（默认）.....	31
15.3.2 在 GND 或 VDD 断线时，避免通过 ADR_IRQN 引脚的寄生路径.....	32
15.3.3 用于中断功能的 I2C 接口（编程选项）.....	33
16. 过压保护.....	33
16.1 I/O 保护.....	33

17. 编程选项.....	34
17.1 编程电源电压选项.....	35
17.2 锁定功能（网络安全）	36
17.3 编程选项表.....	36
18. 功能安全与诊断.....	37
18.1 功能安全性 ASIL 和 ISO 合规性.....	37
18.2 通过模拟输出的诊断模式指示	37
18.2.1 短路和断线检测	38
18.3 诊断功能.....	41
18.4 内部寄存器和存储器错误.....	43
18.5 LC 振荡器频率超出范围.....	43
19. 冗余连接.....	44
20. 应用实例.....	44
21. 电磁兼容性（EMC）	46
22. 16-TSSOP 封装外形图.....	46
23. 标记图.....	46
23.1 产品标记.....	46
24. 订购信息.....	46
25. 修订记录.....	47

图表一览

图 1	16-TSSOP 封装的引脚分配-顶视图.....	6
图 2	ASIL-C 配置中的 LC 振荡器连接, 带 T_x 分体电容器.....	8
图 3	兼容模式配置中的 LC 振荡器连接, 带 T_x 分体电容器	9
图 4	铜接地层有无时, 最大电源电流与环境温度的关系	13
图 5	并联谐振电路.....	15
图 6	IPS2550 的响应例	21
图 7	直线运动传感器的线圈设计	22
图 8	360°旋转传感器的线圈设计	23
图 9	输出信号: 正弦余弦模拟差分模式.....	24
图 10	输出信号: 正弦余弦模拟单端模式.....	24
图 11	框图.....	26
图 12	AGC 振幅范围	28
图 13	嵌入式应用: 传感器和 MCU 在同一块 PCB 上.....	29
图 14	远程应用: 带上拉电阻以进行诊断.....	30
图 15	远程应用: 带下拉电阻以进行诊断.....	30
图 16	I2C 地址选择位	32
图 17	用于地址选择功能的 I2C 接口	32
图 18	I2C 接口用于地址选择时, ADR_IRQN 引脚的连接方式	32
图 19	单从中断的 I2C 接口配置	33
图 20	多从中断的 I2C 接口配置	33
图 21	通过 I2C 接口对 IPS2550 进行编程	34
图 22	通过模拟输出对 IPS2550 进行末端编程	35
图 23	工作范围和诊断范围	37
图 24	诊断范围的选择.....	38
图 25	VDD 断线或 GND 断线的寄生电流.....	40
图 26	通过 ADR_IRQN , SDA , SCL 引脚的寄生电流.....	41
图 27	应用图: 双冗余传感器, 双电源.....	44
图 28	360°旋转传感器的线圈设计和信号输出	44
图 29	2×180°旋转传感器的线圈设计和信号输出	45
图 30	3×120°旋转传感器的线圈设计和信号输出	45
图 31	4×90°旋转传感器的线圈设计和信号输出	45

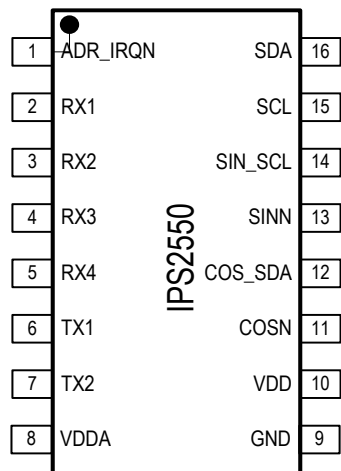
表格一览

表 1	引脚说明.....	6
表 2	输出配置.....	7
表 3	数字接口配置.....	8
表 4	绝对最大额定值.....	10
表 5	静电放电 (ESD)	10
表 6	运行条件.....	11
表 7	IPS2550 电气特性, 3.3V 模式.....	13
表 8	IPS2550 电气特性, 5.0V 模式.....	14
表 9	LC 振荡器规格.....	15
表 10	线圈接收器前端规格.....	16
表 11	自动增益控制 (AGC)	16
表 12	诊断检查.....	17
表 13	后端规范, 模拟输出 SIN_SCL, SINN, COS_SDA, COSN.....	18
表 14	数字 I2C 控制接口, 引脚 SDA 和 SCL.....	18
表 15	通过模拟输出的 I2C 接口	19
表 16	数字 I2C 控制接口, 引脚 ADR_IRQN.....	20
表 17	非易失性存储器.....	20
表 18	传播延迟.....	23
表 19	输出模式和最大速度.....	25
表 20	内部芯片温度传感器特性.....	28
表 21	NVM 中的 I2C 地址选择选项.....	31
表 22	编程选项概述.....	36
表 23	检测电线之间的短路.....	39
表 24	带上拉电阻的输出信号的诊断级别.....	40
表 25	带下拉电阻的输出信号的诊断级别.....	41
表 26	诊断功能.....	42

1. 引脚分配

IPS2550 采用 16-TSSOP 4.4mm x 5.0mm RoHS 封装，并带有 RoHS 裸露焊盘。适用于-40°C 至+ 160°C 的环境温度。

图 1 16-TSSOP 封装的引脚分配-顶视图



2. 引脚说明

表 1 引脚说明

编号	名称	类型	描述	
1	ADR_IRQN	数字 输入/输出	用于 I2C 接口数字输入地址选择；推/拉中断输出（可编程选项，请参见表 3）。 当用作 I2C 地址选择输入时，请使用一个上拉或下拉电阻 R_{ADR} （参见表 14）。	
2	RX1	模拟输入	ASIL-C 配置模式（默认）：接收器线圈 1 (SIN, 请参见图 2)	兼容模式：接收器线圈 1 (SIN, 请参见图 3)
3	RX2		ASIL-C 配置模式（默认）：接收器线圈 2 (COS, 请参见图 2)	兼容模式：接收器线圈 1 (SINN, 请参见图 3)
4	RX3		ASIL-C 配置模式（默认）：接收器线圈 1 (SINN, 请参见图 2)	兼容模式：接收器线圈 2 (COS, 请参见图 3)
5	RX4		ASIL-C 配置模式（默认）：接收器线圈 2 (COSN, 请参见图 2)	兼容模式：接收器线圈 2 (COSN, 请参见图 3)
6	TX1	模拟 输入/输出	将发射机线圈连接在 TX1 和 TX2 引脚之间。如图 2 和图 3 所示，可以使用 TX1 和 GND 之间的电容器 C_{TX1} 以及 TX2 和 GND 之间的电容器 C_{TX2} 来调节谐振频率。 C_{TX1} 与 C_{TX2} 的电容值应该相同。可通过公式 3 来计算。	
7	TX2			
8	VDDA	电源	内部生成模拟电源，值取决于 VDD 模式设定。用电容器 C_{VA} 连接至 GND 引脚(表 6)。对于 5V 操作，见表 8 的 $VDDA_5$ ，对于 3.3V 操作，见表 7 的 $VDDA_3$ 。	
9	GND	接地	公共接地连接。	
10	VDD	电源	外部电源电压。用两个并联电容器 C_{VD} （参见表 6）连接至 GND 引脚。	

编号	名称	类型	描述
11	COSN	模拟输出	缓冲模拟输出；参见表 2。
12	COS_SDA	模拟输出， 数字输入/ 输出	缓冲模拟输出；编程模式下的数字 I2C 数据输入/输出；参见表 2。
13	SINN	模拟输出	缓冲模拟输出；参见表 2。
14	SIN_SCL	模拟输出， 数字输入	缓冲模拟输出；编程模式下的数字 I2C 时钟输入；参见表 2。
15	SCL	数字输入	用于数字编程和 I2C 诊断接口的时钟输入。 连接一个上拉电阻 R_{SCL} ，参见表 14。
16	SDA	数字 输入/输出	Open-drain 双向数据 I/O 线，用于数字编程和诊断 I2C 接口。 连接一个上拉电阻 R_{SDA} ，参见表 14。
	裸露焊盘	散热器	散热用。可以直接连接到 GND（引脚 9），也可以不连接。参见图 4。 请勿将裸露焊盘连接到 GND 以外的任何其他电位。

表 2 输出配置

引脚（参见图 1）		不同模式下的输出信号			诊断状态，模式选项			
引脚编号	引脚名称	模拟差分	模拟单端	程式设计	禁用	模式 1	模式 2	模式 3
14	SIN_SCL	SIN	SIN	SCL	SIN	SIN	Hi-Z	Hi-Z
13	SINN	SINN	REF	Not used	SINN	Hi-Z	SINN	Hi-Z
12	COS_SDA	COS	COS	SDA	COS	COS	Hi-Z	Hi-Z
11	COSN	COSN	REF	Not used	COSN	Hi-Z	COSN	Hi-Z

[a] 表 2 中使用的缩写：

- SIN： 正弦通道输出，偏置电压 = $VDD / 2$
- SINN： 正弦通道反相输出，偏置电压 = $VDD / 2$
- COS： 余弦通道输出，偏置电压 = $VDD / 2$
- COSN： 余弦通道反相输出，偏置电压 = $VDD / 2$
- REF： 直流输出偏置电压 $VDD / 2$
- SCL： 用于 I2C 编程的串行时钟输入
- SDA： 用于 I2C 编程的串行双向数据 I/O 端口
- Hi-Z： 高阻抗输出；诊断由外部上拉或下拉电阻指示

表 3 数字接口配置

引脚（参见图 1）		不同接口模式下的输入/输出信号	
引脚编号	引脚名称	I2C 地址选择模式	I2C 中断模式
16	SDA	SDA	
15	SCL	SCL	
1	ADR_IRQN	ADR	IRQN

[a] 表 3 中使用的缩写：

ADR_IRQN：地址选择输入和中断输出的功能共用

ADR: I2C 模式的硬件地址选择输入 (两个地址选项, 取决于 ADR IRON 引脚输入值)

SDA：用于 I2C 模式的串行双向数据 I/O 端口

SCL : I2C 模式的串行时钟输入

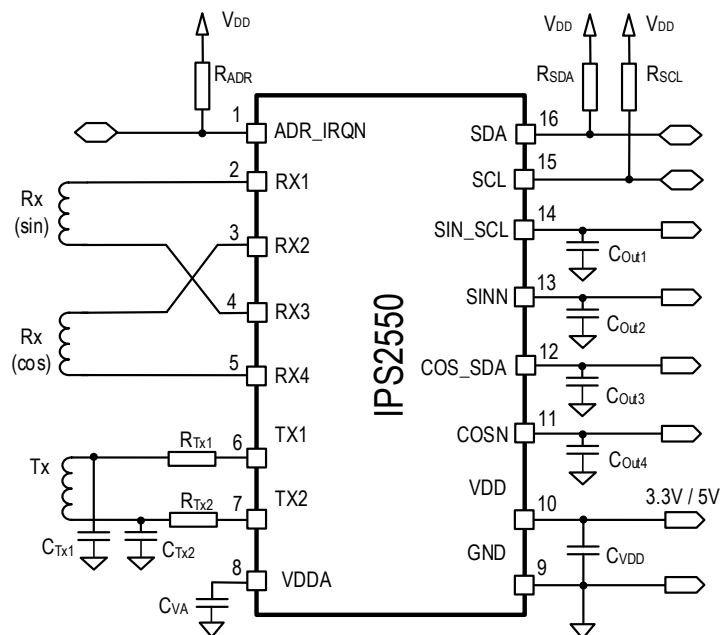
IRQN : 中断输出

3. 接收器线圈连接选项

根据接收器线圈的连接方式, IPS2550 有两种用户可编程配置模式:

- ASIL-C 配置模式（默认）提高了芯片的故障检出率，避免了由两个相邻引脚的短路而引发的接收器线圈短路。
- 兼容模式（编程选项）提供与 IPS2200 电感式传感器 IC 的引脚兼容性。

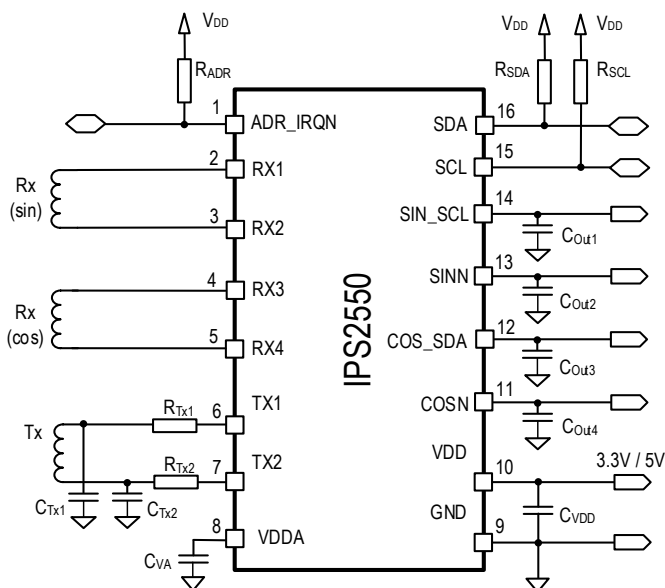
图 2 ASIL-C 配置中的 LC 振荡器连接, 带 T_x 分体电容器



ASIL-C 模式配置。

分立电容器 $C_{Tx1} = C_{Tx2}$ 和 T_x 线圈串联电阻 $R_{Tx1} = R_{Tx2}$, 输出电容器 $C_{Out1} = C_{Out2} = C_{Out3} = C_{Out4}$ 可提高 EMC 性能。

图3 兼容模式配置中的 LC 振荡器连接，带 T_x 分体电容器



兼容模式配置。

分立电容器 $C_{Tx1} = C_{Tx2}$ 和 T_x 线圈串联电阻 $R_{Tx1} = R_{Tx2}$ ，输出电容器 $C_{Out1} = C_{Out2} = C_{Out3} = C_{Out4}$ 可提高 EMC 性能。

振荡器频率由线圈 L 以及电容器 C_{Tx1} 和 C_{Tx2} 的值决定，如下：

$$\text{振荡器频率: } f_{TX} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L \cdot C_{Tx1} \cdot C_{Tx2}}{C_{Tx1} + C_{Tx2}}}} \quad \text{公式 1}$$

$$\rightarrow \text{对于 } C_{Tx1} = C_{Tx2}: f_{TX} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot \frac{C_{Tx1}}{2}}} \quad \text{公式 2}$$

$$\rightarrow C_{Tx1} = C_{Tx2} = \frac{2}{L(2\pi f_{TX})^2} \quad \text{公式 3}$$

其中：

f_{TX} = 振荡器频率，单位 MHz

L = 线圈阻抗，单位 μHenry

C_{Tx1} , C_{Tx2} = 电容，单位 μFarad

注意： $R_{Tx1} = R_{Tx2} = 22\Omega$ （标准值）

4. 绝对最大额定值

绝对最大额定值仅表示最大承压值，大于下面列表中的最大承压值可能会导致芯片永久损坏。也不表示 IPS2550 可以在绝对最大额定值下运行，在绝对最大额定值条件下可能会影响芯片的可靠性。

所有电压均以 GND 为基准。

表 4 绝对最大额定值

符号	内容	条件	最小值	最大值	单位
V_{DDmax}	外部电源电压	连续	-18	18	V
V_{OUT}	SIN_SCL, SINN, COS_SDA 和 COSN 输出电压	连续	-18	18	V
V_{RX1}	接收线圈针脚：RX1		-12	12	V
V_{RX2}	接收线圈针脚：RX2				
V_{RX3}	接收线圈针脚：RX3				
V_{RX4}	接收线圈针脚：RX4				
$V_{DIGITAL}$	数字 IO 引脚: SCL, SDA, ADR_IRQN		-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
V_{Tx1_2}	发射机引脚：TX1, TX2		-0.3	5.6	V
$V_{VDDAmax}$	VDDA 内部 LDO 输出	VDDA 由内部生成，电容外接 GND。无需连接外部电压。	对于 5V 操作，见表 8 的 VDDA ₅ ，对于 3.3V 操作， 见表 7 的 VDDA ₃ 。		V

表 5 静电放电 (ESD)

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
V_{ESD}	所有引脚的 ESD 等级： 人体模型 (HBM) 100pF /1.5kΩ	AEC-Q100-002 classification H2	±2			kV
$V_{ESD,OUT}$	具有潜在外部连接的引脚的 ESD 等级： SIN_SCL, COS_SDA, SINN, COSN, ADR_IRQN, VDD (HBM 100pF/1.5kΩ)	AEC-Q100-002 classification H3A	±4			kV
V_{CDM}	所有引脚的 ESD 等级： 设备放电模型 (CDM)	AEC-Q100-011 classification C3B	±500			V
$V_{CDM,C}$	角引脚 ADR_IRQN, SDA, VDDA, GND 的 ESD 等级 (CDM)	AEC-Q100-011 classification C3B	±750			V

5. 运行条件

条件：除非另有说明，否则 $VDD = 3.3V \pm 0.3V$ 或者 $5.0V \pm 0.5V$ ， $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ 至 $+160^{\circ}C$ 。

表 6 运行条件

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
T_{AMB_TSSOP}	环境温度	16-TSSOP 封装，带裸露焊盘	-40		160 ¹	$^{\circ}C$
T_J	芯片内部结温		-40		165	$^{\circ}C$
T_{STOR}	储存温度	温度高于 $125^{\circ}C$ 时，未安装的芯片不能超过 10 小时	-55		160	$^{\circ}C$
R_{THJA_TSSOP}	周围环境到内部结点的热阻：16-TSSOP 封装，带裸露焊盘。 速度 = 0 m/s, JEDEC MO-153。	4 层 PCB 上裸露焊盘下方的铜接地层，各层之间有 3x3 热过孔。		35.48		K/W
		2 层 PCB 上裸露焊盘下方的铜接地层，两层之间有 3x3 热过孔。		39.96		
		裸露焊盘下方无 PCB 接地层。		61.26		
R_{THJC_TSSOP}	表壳到内部结点的热阻	内部结点到封装底部		6.42		K/W
t_{pup}	启动时间	上电复位（POR）到有效输出的时间			5	ms
V_{EL}	输入转速，电角速度；正弦或余弦周期	每分钟电转数			600000	rpm
		输入频率			10	kHz
$V_{VDDA_TH_H}$	上电复位（POR），高阈值	当 $VDDA$ 增加到该阈值以上时，IC 被激活			2.49	V
$V_{VDDA_TH_L}$	上电复位（POR），低阈值	当 $VDDA$ 降低到此阈值以下时，IC 被停用	2.08			V
$VDDA_{POR_HYST}$	上电复位迟滞	在 $VDDA$ 引脚上		110		mV
I_{VDDA}	$VDDA$ 短路电流限制	$VDDA$ 必须连接到电容器 C_{VA} 。该引脚不允许其他外部负载。	40		85	mA
I_{CC}	电流消费	无线圈，无负载	5		12	mA
		可编程的发射机线圈驱动电流（取决于发射机线圈的电感）	有关值，请参阅表 9。			mA
C_{VA}	$VDDA$ 引脚至 GND 的电容			100		nF
C_{VDD}	VDD 引脚至 GND 的电容	标准值	70			nF
INL_{uv3V}	精度，3.3V 模式， $VDD =$ 欠压报警电压至 3.0V	理想的正弦输入信号，150mVpk-pk			± 0.2	% FS _[a]
INL_{3V}	精度，3.3V 模式 $VDD = 3.0$ 至 $3.6V$	差分输出模式 发射机频率 = 3.5MHz			± 0.1	% FS

¹超过 $155^{\circ}C$ 的环境温度在整个使用寿命内限制为 120 小时。

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
INL_{ov3V}	精度, 3.3V 模式, $VDD = 3.6V$ 至过压警报电压	AGC = 开 通道交换 = off			± 0.2	% FS
INL_{uv5V}	精度, 5V 模式, $VDD =$ 欠压报警电压至 4.5V				± 0.2	% FS
INL_{5V}	精度, 5.0V 模式, $VDD = 4.5$ 至 5.5V				± 0.1	% FS
INL_{ov5V}	精度, 5.0V 模式, $VDD = 5.5V$ 至过压警报电压				± 0.2	% FS

[a] % FS = 满量程的百分比 = 每个周期以 % 为单位的精度, 其中 100% 是一个电角周期的角度范围。
对于旋转多周期设计, 一个电角周期 = 360° (一整圈) 除以每匝的周期数, 请参阅第 20 节中的示例。

6. 环境温度范围

IPS2550 的最低环境温度为 -40°C 。

最高环境温度取决于以下因素：

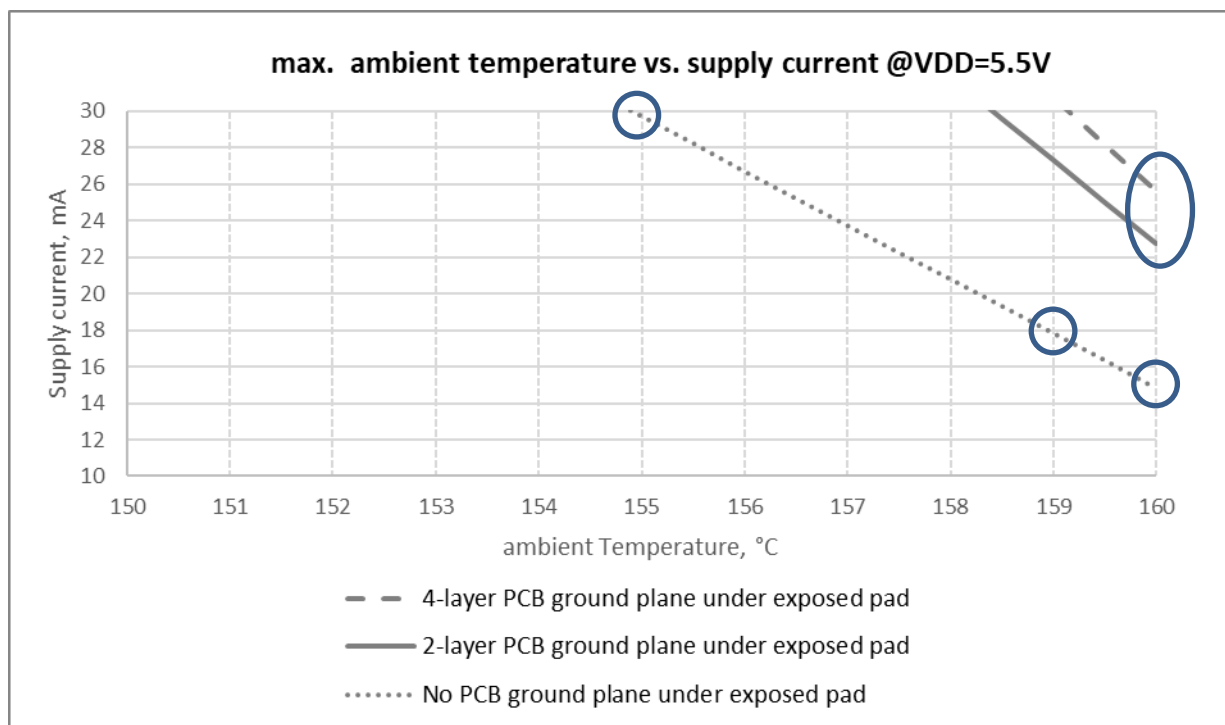
- 最高结温, 有关详细信息, 请参见表 6。
- 电源电流。芯片的总功耗取决于电源电压, 内部电源电流和用户可编程的发射机线圈电流。可编程发射机线圈电流如表 9 所示, 内部电路电流消耗如表 6 所示。
- 给定应用中的最小可用线圈电流。通常, 较小的线圈需要更多的发射机线圈电流, 而较大的线圈可以在较小的线圈电流下工作。线圈直径在 25mm 至 30mm 范围内的典型线圈设计可能需要大约 3mA 至 5mA 的线圈电流, 分别需要大约 12mA 至 14mA 的电源电流。IPS2550 可以驱动高达 20mA 的发射机线圈电流。
- 其他供应器件的温度保障范围。IPS2550 适用于 -40°C 至 $+160^\circ\text{C}$ 的环境温度。
- 与 PCB 上的铜接地平面结合在一起的封装的热阻。

在不同 PCB 层数及无风状态下, $VDD = 5.5V$ 时的最大电源电流与环境温度的关系如图 4 所示。例如, 对于裸露焊盘连接到铜接地层的 PCB, 假定接地层的面积与裸露焊盘的面积相同, 并通过每层之间的 3x3 互连过孔阵列复制到所有层, $T_{\text{ambient}} = 160^\circ\text{C}$ 时的最大电源电流 (内部电流 + 发射机线圈电流) 4 层 PCB 为 25.6mA, 2 层 PCB 为 22.8mA。

补充, 参见文末封装图: 在裸露焊盘的每个短边上延伸的小半圆可以忽略, 它们不需要被复制到 PCB 接地层上。

当裸露焊盘下方没有铜接地层, 环境温度为 160°C 时的最高电流消耗为 14.8mA。同样, 如果最高环境温度低于 155°C , 最大电流消耗低于 29.7mA, 可不需要 PCB 接地层。或者, 如果最大供应电流低于 18mA, 在环境温度低于 159°C 时, 可不需要 PCB 接地层。

图 4 铜接地层有无时，最大电源电流与环境温度的关系



7. 电气特性

以下电气特性对表 6 中规定的运行条件有效：（ T_{AMB} 为 -40°C 至 160°C ）。

表 7 IPS2550 电气特性，3.3V 模式

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
VDD ₃	电源电压		3.0	3.3	3.6	V
V3 _{OV} R	过压检测，VDD 上升	如果 VDD 高于此阈值， 则会产生过压警报	3.7	3.86	4.1	V
V3 _{OV} F	过压检测解除，VDD 下降	如果 VDD 低于此阈值， 则解除过压警报	3.65	3.79	4.0	V
V3 _{OV} H	过电压检测迟滞			70		mV
V3 _{UV} R	欠压检测，VDD 下降	如果 VDD 低于此阈值， 则会产生欠压警报	2.65	2.75	2.90	V
V3 _{UV} F	欠压检测解除，VDD 上升	如果 VDD 高于此阈值， 则解除欠压警报	2.70	2.85	3.00	V
V3 _{UV} H	欠压检测迟滞			100		mV

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
VDDA ₃	模拟电源电压	内部生成。 在 VDDA 和 GND 之间连接电 容器 C _{VA} = 100nF (参见表 6)	2.85	3.0	3.1	V
V3VDDA _{UVF}	VDDA 欠压检测	如果 VDDA 低于此阈值, 则会产生欠压警报	2.59		2.80	V
V3VDDA _{UVRr}	VDDA 欠压检测解除	如果 VDDA 高于此阈值, 则会解除欠压警报	2.63		2.85	V
V3VDDA _{UVH}	VDDA 欠压检测迟滞			45		mV

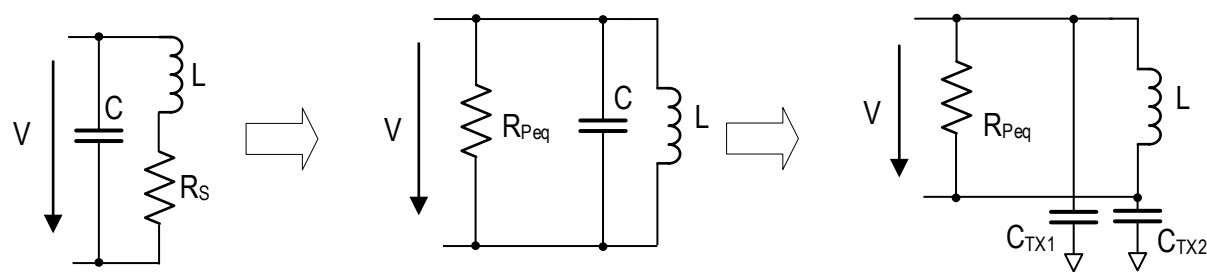
表 8 IPS2550 电气特性, 5.0V 模式

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
VDD ₅	电源电压		4.5	5.0	5.5	V
V5 _{OVR}	过压检测, VDD 上升	如果 VDD 高于此阈值, 则会产生过压警报	5.60	5.84	6.10	V
V5 _{OVF}	过压检测解除, VDD 下降	如果 VDD 低于此阈值, 则解除过压警报	5.55	5.76	6.05	V
V5 _{OVH}	过电压检测迟滞			80		mV
V5 _{UVR}	欠压检测, VDD 下降	如果 VDD 低于此阈值, 则会产生欠压警报	4.10	4.33	4.45	V
V5 _{UVF}	欠压检测解除, VDD 上升	如果 VDD 高于此阈值, 则解除欠压警报	4.20	4.40	4.49	V
V5 _{UVH}	欠压检测迟滞			70		mV
VDDA ₅	模拟电源电压	内部生成。 在 VDDA 和 GND 之间连接电 容器 C _{VA} = 100nF (参见表 6)	3.9	4.0	4.1	V
V5VDDA _{UVF}	VDDA 欠压检测	如果 VDDA 低于此阈值, 则会产生欠压警报	3.50		3.79	V
V5VDDA _{UVRr}	VDDA 欠压检测解除	如果 VDDA 高于此阈值, 则会解除欠压警报	3.60		3.87	V
V5VDDA _{UVH}	VDDA 欠压检测迟滞			65		mV

表 9 LC 振荡器规格

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
R_{Peq}	LC 谐振电路的等效并联电阻	参见公式 4	250			Ω
f_{LC}	励磁频率	LC 振荡器频率由外部元件 L 和 C 确定	2.0		5.6	MHz
V_{TX_P}	LC 振荡器振幅	峰峰电压；引脚 TX1 对 TX2；所有模式。可通过线圈电流调节		6	11	Vpp
I_{LC}	可编程发射机线圈驱动电流	等效直流电流。可编程，取决于发射机线圈的电感	0	3	20	mA
R_{Tx1}, R_{Tx2}	TX 系列电阻	减少 EMC 辐射		22		Ω

图 5 并联谐振电路



可以使用公式 4 计算 LC 振荡器的等效并联电阻 R_{Peq} 。它定义了振荡器可以驱动安全运行的最小损耗电阻。

注意：为了提高 EMC 性能，建议将电容 C 分为两个相等的双倍电容，连接到 GND： $C_{TX1} = C_{TX2} = 2C$ 。更多细节参见图 2 和图 3。

$$R_{Peq} = \frac{1}{R_S} \times \frac{L}{C}$$

公式 4

其中

- R_{Peq} LC 振荡器的等效并联电阻。
- R_S 发射机线圈在发射机频率处的串联电阻。
- L 谐振频率下的线圈电抗。
- C 并联电容器的电容值。

请注意，电容器损耗不包括在公式中，因为在使用 C0G 或 NP0 陶瓷电容的情况下，可以忽略不计。

表 10 线圈接收器前端规格

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
V_{RX}	接收器线圈幅度	输入信号全范围保持 AGC 目标电压：3.0V pp，增益提升禁用	25		1500	mV _{pp}
		输入信号全范围保持 AGC 目标电压：3.0V pp，增益提升使用	13		780	
		输入信号全范围保持 AGC 目标电压：1.8V pp，增益提升禁用	15		920	
		输入信号全范围保持 AGC 目标电压：1.8V pp，增益提升使用	8		470	
A_{IN_mm}	幅度失配校正最大值	接收器线圈信号（SIN 和 COS）的可编程个体增益失配校正	13		20	%
	幅度失配步长		0.1		0.15	%
$A_{IN_OFFSET_POS\%}$	最大正极输入偏移校正	正弦或余弦信号的差分输入偏移，发射机线圈幅度的百分比	+0.17		+0.23	%
$A_{IN_OFFSET_NEG\%}$	最大负极输入偏移校正		-0.25		-0.17	%
$A_{IN_OFFSET_mV}$	标准振荡幅度下的输入偏移校正范围（见表 9）		-7.5		7.5	mV
OFF_{CORR_RES}	输入偏移校正步长			0.0015		%
R_{Rx}	线圈接收器直流输入电阻	共振模式对 GND		20		k Ω
		差分模式		100		k Ω
C_{RX1}	接收器输入滤波电容器	增强 EMC 抵抗力		100		pF
C_{RX2}						
C_{RX3}						
C_{RX4}						

表 11 自动增益控制（AGC）

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
$VOUT_{AGC1}$	输出信号幅度，单端，AGC 使用	模式选项 1，用于 3.3V 模式和 5V 模式（默认）	1.4	1.8	2.2	V _{PP}
VM_{AGC1W}	AGC1，无切换窗口	AGC1信号幅值窗口，增益设置不变	200	207	218	mV
$VOUT_{AGC2}$	输出信号幅度，单端，AGC 使用	模式选项 2，用于 5V 模式	2.6	3.0	3.4	V _{PP}
VM_{AGC2W}	AGC2，无切换窗口	AGC2信号幅值窗口，增益设置不变	195	201	208	mV
$GAIN_{AFE}$	总增益调整范围，正弦和余弦信号通道	默认设定	2		120	V/V
		设置增益提升	4		240	

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
AGCAAttack	AGC 变动时间, 沿相同方向增加/减少			10		μs
AGCDDecay	AGC 衰减时间	AGC 反转方向, 可编程衰减时间		0 30 100 300		ms
t_{swap}	通道交换时间	启用通道交换安全功能, 可编程步调时间		10 50 100 200		μs

表 12 诊断检查

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
t_{fail}	故障反映时间 (在 ADR_IRQN 引脚上标记错误情况的时间)	芯片内部诊断检查			500	μs
$t_{\text{oc_assert}}$	在过流情况下关闭模拟输出放大器的去抖时间	任何模拟输出的负载电流超过限制(IovL) ; 所有四个模拟输出在此时间后被关闭 ^[a]	135		t_{fail}	μs
$t_{\text{cm_assert}}$	在输出共模故障时关闭模拟输出放大器的退避时间	任何模拟输出的共模电压超过 V_{CM} 限制 (DCOFF_AL) ; 所有四个模拟输出在此时间后被关闭 ^[b]	40		t_{fail}	μs
$t_{\text{oc_deassert}}$	过流后用于临时释放模拟输出的去抖时间	在过流关断条件下, 所有输出在此时间后再次打开	4.61	4.68	4.75	ms
$t_{\text{cm_deassert}}$	输出共模故障后用于临时释放模拟输出的去抖时间	在输出共模关断条件下, 所有输出在此时间后再次打开	同 $t_{\text{oc_deassert}}$			ms
$R_{\text{open_th}}$	Rx 线圈的电阻, 开路线圈检测	接收线圈错误标志已激活	91		154	$\text{k}\Omega$
$R_{\text{short_GND}}$	从任何线圈输入到 GND 的外部电阻, 对地短路检测	接收线圈错误标志已激活	68		117	$\text{k}\Omega$
$R_{\text{short_VDD}}$	从任何线圈输入到 VDD 的外部电阻, 短路至 VDD 检测	Rx 线圈错误标志已激活 ; $\text{VDD} = 3.0$ 至 5.5V	14		233	$\text{k}\Omega$
$R_{\text{short_th}}$	接收线圈错误标志已解除	接收线圈错误标志已解除	50		130	$\text{k}\Omega$
DCOFF_AL	直流共振模式输出偏移报警极限	相对于 $\text{VDD} / 2$ 的绝对值。输出偏移警报标志已激活	75		195	mV

[a] 短于持续时间限制的过电流将被忽略。

[b] 短于持续时间限制的共模故障将被忽略。

表 13 后端规范, 模拟输出 SIN_SCL, SINN, COS_SDA, COSN

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
V3OUT	模拟输出范围, 3.3V 设定	$-1.5\text{mA} \leq I_{\text{OUT}} \leq 1.5\text{mA}$	GND + 0.4		VDD - 0.4	V
V5OUT	模拟输出范围, 5V 设定	$-2.5\text{mA} \leq I_{\text{OUT}} \leq 2.5\text{mA}$				
VDDOUT_CM	输出直流偏移电压, 共振模式电压	所有模式与 VDD / 2 的偏差	-35	0	35	mV
DCOFFDRIFT	直流偏移电压变动	全温度范围	-50		50	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
IOUT3	输出电流, 3.3V 设定	相对于空载时的电压变动 $< \pm 6\text{mV}$	-3		+3	mA
IOUT5	输出电流, 5V 设定	相对于空载时的电压变动 $< \pm 10\text{mV}$	-5		+5	mA
I _{OV} L	输出过载电流	短路电流限制	15		30	mA
Noise	设备输出噪声	最大增益, 无输出滤波, 线圈输入短路		2	5	mV _{rms}
C _{OUT1}	输出滤波电容器	为增强 EMC 抵抗力, 靠近 IC 输出放置			47	nF
C _{OUT2}						
C _{OUT3}						
C _{OUT4}						

表 14 数字 I2C 控制接口, 引脚 SDA 和 SCL

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
V _{IH}	高电压输入值, 所有模式	IRQN 地址选择输入, SCL 时钟输入 SDA 数据输入	0.7VDD		VDD + 0.3	V
V _{IL}	低电压输入值, 所有模式		-0.3		0.3VDD	V
I _{LEAK}	输入漏电流	VDD = 0V 至 5.5V	-8		1.5	μA
V _{LSTR_hyst}	施密特触发器的输入迟滞	SCL 时钟输入	0.1			V
V _{OL_SDA}	SDA 低电压输出值, open-drain	3mA 灌电流	0		0.4	V
I _{OL_SDA}	SDA 低电压输出电流	V _{OL} = 0.4V, VDD = 5.5V, R _P = 2k Ω	3			mA
C _{IN}	SDA / SCL 引脚的电容	Pad 和 ESD 保护			10	pF
f _{SCL}	SCL 时钟频率		0		100	kHz
t _{LOW}	SCL 时钟为低电压时长		4.7			μs
t _{HIGH}	SCL 时钟的高电压时长		4.0			μs
t _R	上升时间 SDA / SCL	V _{IHmin} 至 V _{ILmax}			1	μs
t _F	下降时间 SDA / SCL	V _{IHmax} 至 V _{ILmin}			0.3	μs
C _B	每条总线的外部电容负载				400	pF

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
R _{SDA} , R _{SCL}	SDA 和 SCL 引脚上的外部上拉电阻	引脚上的电阻值和电容负载, 决定了最大时钟频率	1.8	4.7		kΩ
R _{ADR}	ADR_IRQN 引脚上的外接电阻, 用于 I2C 地址选择	上拉或者下拉, 取决于 I2C 地址设定	1.8	4.7		kΩ

表 15 通过模拟输出的 I2C 接口

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
V _{IH}	SIN_SCL / COS_SDA 高电压输入值		0.7VDD		VDD + 0.3	V
V _{IL}	SIN_SCL / COS_SDA 低电压输入值		-0.3		0.3VDD	V
V _{I_STR_hyst}	施密特触发器输入, SIN_SCL 和 COS_SDA 的迟滞		0.1			V
V _{OL_COS_SDA}	COS_SDA 低电压输出值, open-drain	3mA 灌电流	0		0.4	V
I _{OL_COS_SDA}	COS_SDA 低电压输出电流	V _{OL} = 0.4V, VDD = 5.5V, R _P = 1.8kΩ	3			mA
I _{IN}	SIN_SCL / COS_SDA 输入漏电流	VDD = 0V 至 5.5V	-1.5		8	μA
C _{IN}	SCL 和 SDA 引脚的电容	Pad 和 ESD 保护			10	pF
f _{SCL}	SCL 时钟频率		4		25	kHz
t _{LOW}	SCL 时钟的低电压时长		20		125	μs
t _{HIGH}	SCL 时钟的高电压时长		20		125	μs
t _F	SIN_SCL / COS_SDA 的下降时间	V _{IHmin} 至 V _{ILmax}		0.8	1.2	μs
C _B	SIN_SCL / COS_SDA 的外部电容负载				47	nF
t _{PEU}	POR 后的写入时间窗口 (解锁)	第一次开始发送解锁命令的窗口	1.5		5	ms
t _{PW}	解锁后的写入时间窗口	第二时间窗口以完成第一条编程命令			75	ms
R _{PU}	外部上拉电阻	可选;用于诊断指示	见表 24			kΩ
		可选;在引脚 SIN_SCL 和 COS_SDA 上编程期间	1.8			kΩ
R _{PD}	外部下拉电阻	可选;用于诊断指示	见表 25			kΩ

表 16 数字 I2C 控制接口, 引脚 ADR_IRQN

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
V _{IH}	ADR_IRQN 高电压输入值		0.7VDD		VDD + 0.3	V
V _{IL}	ADR_IRQN 低电压输入值		-0.3		0.3VDD	V
V _{I_STR_hyst}	施密特触发器输入迟滞		0.1			V
I _{LEAK}	输入漏电流		-8		1.5	μA
V _{OH}	ADR_IRQN 高电压输出值	ADR_IRQN 配置为中断引脚	0.8VDD		VDD + 0.3	V
V _{OL}	ADR_IRQN 低电压输出值		-0.3		0.2VDD	V

表 17 非易失性存储器

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
DR _{NVM}	数据保留	根据 AEC Q100		> 100 在 25°C 时 > 15 在 100°C 时		Years
t _{Wr_NVM}	写入温度	允许读写访问的环境温度范围	-40		135	°C
t _{Rd_NVM}	读取温度		-40		160	°C
C _{Wr_NVM}	写入周期 ⁰	产品寿命内			1000	NVM Write Cycles
C _{Rd_NVM}	读取周期		5x 10 ¹¹	1x 10 ¹²		NVM Read events

[a] 经验证的写入/擦除周期数。寿命试验通过 2000 个周期。

8. 电路说明

IPS2550 传感器电路由一个发射机线圈和两个接收器线圈组成，它们通常设计为印刷电路板上的走线。两个接收器线圈呈正弦形状，并且彼此偏移 90°。有关典型的线圈形状，请参见图 7 和图 8。金属靶放置在线圈上方。

电路信号流：

1. IPS2550 将交流电流输入到发射机线圈中并产生交变磁场。
2. 磁场在接收器线圈中感应出电压。在没有金属靶的情况下，由于线段之间的抗串行连接及平衡，对感应电压补偿后在每对端口上实现零输出。
3. 如果将金属靶放置在线圈上方：
 - a. 磁场在金属靶材的表面感应出涡流。
 - b. 涡流产生反磁场，从而降低了下方的总磁通密度。
 - c. 降低目标下方接收器线圈区域中感应的电压，从而在反串行线圈中产生电压不平衡
 - d. 输出电压信号，其幅度和极性随目标位置而改变。
4. IPS2550 IC 对接收到的信号进行同步解调，然后对其进行滤波和输出以进行外部信号处理。

由于两个接收器线圈的 90°相移，输出信号相对于目标位置也具有 90°相移，从而生成比例正弦和余弦信号。例如通过应用 V_{sin} 和 V_{cos} 的反正切运算，可以将信号转换为金属靶的绝对位置。

$$Position = \arctan\left(\frac{V_{sin}}{V_{cos}}\right)$$

公式 5

8.1 概述

图 6 IPS2550 的响应例

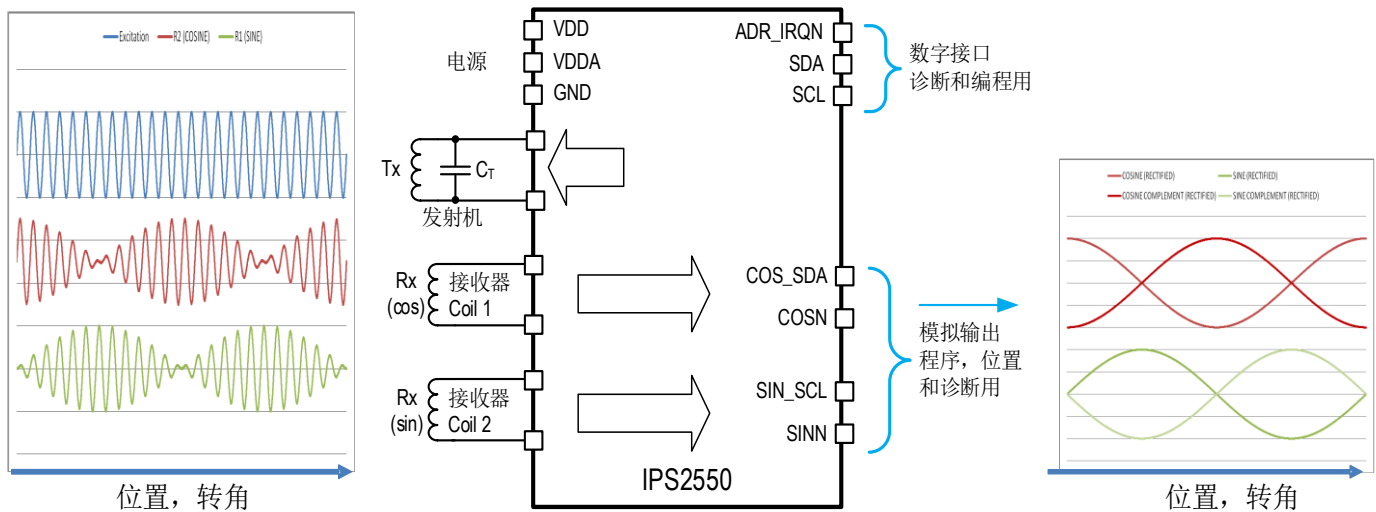


图 7 显示了一个线性运动传感器的例子，由一个发射机线圈和两个接收器线圈组成。

1. Sine Loop = Sin Loop 1 + Sin Loop 2
2. Cosine Loop = Cos Loop 1 + Cos Loop 2

注：余弦环路相对于正弦环路是移位的，所以余弦环路 1 被分成了两半。Cos Loop1 = Cos Loop 1a + Cos Loop 1b

由于环路中各段的顺时针和逆时针绕组方向交替（例如 $RxCos = \text{顺时针 Cos loop 1} + \text{逆时针 Cos loop 2}$ ），各段的感应电压具有交替反极性。

$$V_{Sin Loop1} = -V_{Sin Loop2}$$

公式 6

$$V_{Cos Loop1} = -V_{Cos Loop2}$$

公式 7

如果线圈上方没有目标，次级电压会相互抵消。

$$V_{Sin} = V_{Sin Loop1} + V_{Sin Loop2} = 0V$$

公式 8

$$V_{Cos} = V_{Cos Loop1} + V_{Cos Loop2} = 0V$$

公式 9

如果线圈上方放置有目标，目标覆盖区域中感应的次级电压要低于在其上方没有目标覆盖的次级电压。

$$V_{Sin Loop1} \neq -V_{Sin Loop2} \quad \text{公式 10}$$

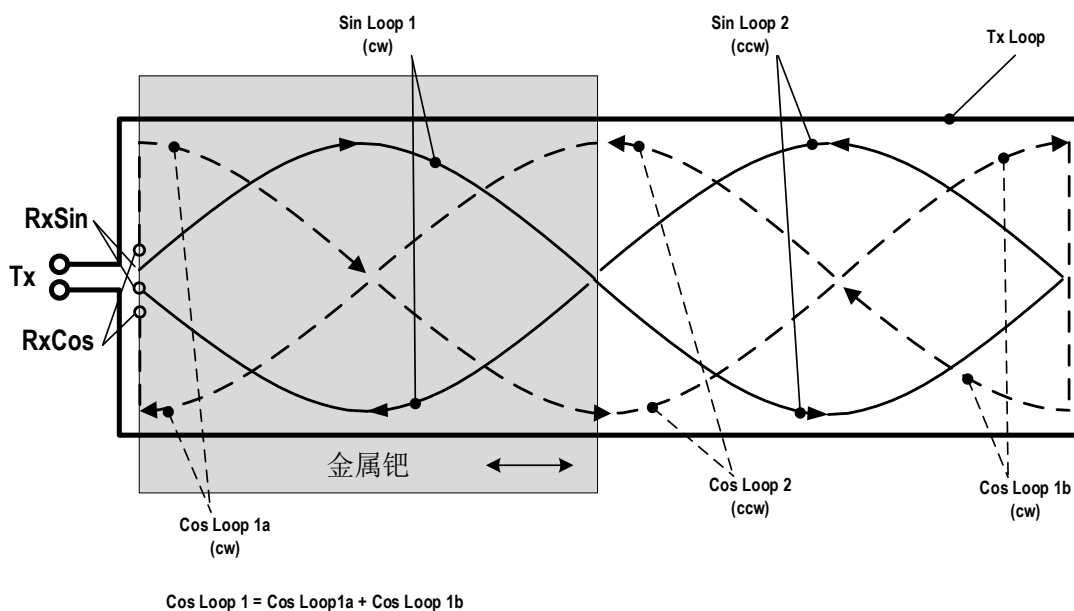
$$V_{Cos Loop1} \neq -V_{Cos Loop2} \quad \text{公式 11}$$

这造成了次级电压段的不平衡（次级电压 $\neq 0V$ ），由次级电压可以计算出目标的位置。

$$V_{Sin} = V_{Sin Loop1} + V_{Sin Loop2} \neq 0V \quad \text{公式 12}$$

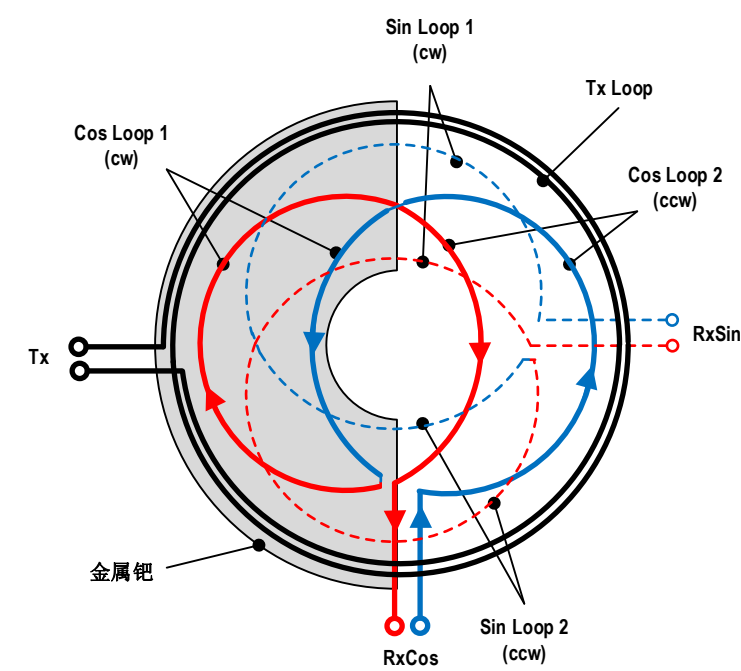
$$V_{Cos} = V_{Cos Loop1} + V_{Cos Loop2} \neq 0V \quad \text{公式 13}$$

图 7 直线运动传感器的线圈设计



可以将图 7 中所示的线性运动传感器的原理应用于图 8 所示的电弧或旋转传感器。

图 8 360°旋转传感器的线圈设计



9. 采样率，分辨率，输出数据率和传播延迟

由于 IPS2550 使用模拟信号处理（无 ADC），因此没有采样率，分辨率几乎是无限的。

由于内部的滤波和解调过程，模拟输入和输出信号之间有短暂的信号传播延迟。该延迟在出厂时已被设定为固定值，与发射机的振荡频率无关。

线圈接收器电路自动锁定到发射机线圈振荡器频率。它会自动校正由于目标温度变化或气隙变化引起的 LC 振荡器频率变动。

表 18 传播延迟

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
t _{PD_trim}	接收器输入信号 1 和 2 在正弦和余弦输出处的传播延迟。	出厂设定；在室温和规定的电源电压范围内	3.8	4	4.2	μs
t _{PD_tc}	传播延迟的温度漂移。	在规定的工作温度范围内	1.8	2.2	2.65	ns/°C

10. 输出方式

图 9 输出信号：正弦余弦模拟差分模式

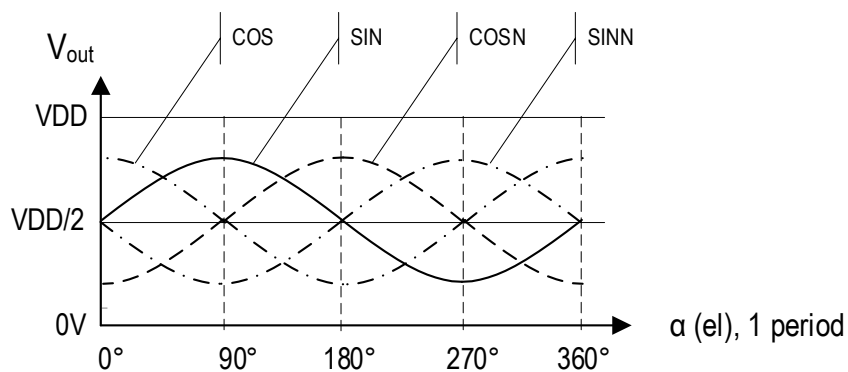
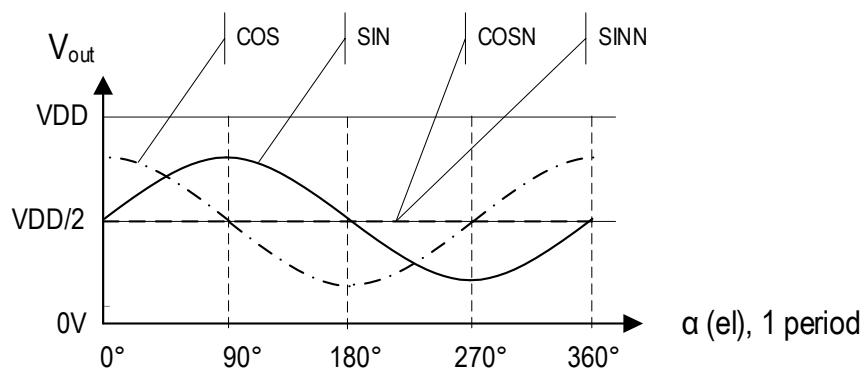


图 10 输出信号：正弦余弦模拟单端模式



11. 高速运转

IPS2550 使用模拟信号处理，因此可以高速处理输入信号。输入信号可以具有高达 10kHz 的频率，相当于 600000 rpm（每分钟的电角周期）。甚至更高的频率或更高的速度也是可能的，但是会降低性能和信号幅度。

可以使用公式 14 计算机械转子的转速：

$$rpm(mech) = \frac{rpm(el)}{coil\ periods} \quad \text{公式 14}$$

其中

$rpm(mech)$ 转子（和目标）的转速，以每分钟转数为单位

$rpm(el)$ 传感器的最大电角输入频率，以 rpm 为单位（电角）
= 每分钟 600000 个电角周期（rpm）
= 10000 个电角周期/秒= 10 kHz

$Coil\ periods$ 每转的电角周期数
= 每 360°圈的线圈周期数
= 金属靶段的数量

图 30 显示了使用 3 周期线圈设计的 6 极电机（具有 3 极对）的设计例。

根据公式 15 计算出该电机的最大机械转速：

$$\frac{600krpm(el)}{3} = 200krpm(mech) \quad \text{公式 15}$$

表 19 输出模式和最大速度

	SIN / COS 输出模式	最高转子转速
目标设计（金属/非金属）	每转正弦，余弦周期	机械转速
1 × (180° / 180°)	1 × 360°	600krpm
2 × (90° / 90°)	2 × 180°	300krpm
3 × (60° / 60°)	3 × 120°	200krpm
4 × (45° / 45°)	4 × 90°	150krpm
6 × (30° / 30°)	6 × 60°	100krpm
8 × (22.5° / 22.5°)	8 × 45°	75krpm
10 × (18° / 18°)	10 × 36°	60krpm
...	1 cycle per target	600krpm / targets per wheel

12. 数字诊断和编程接口

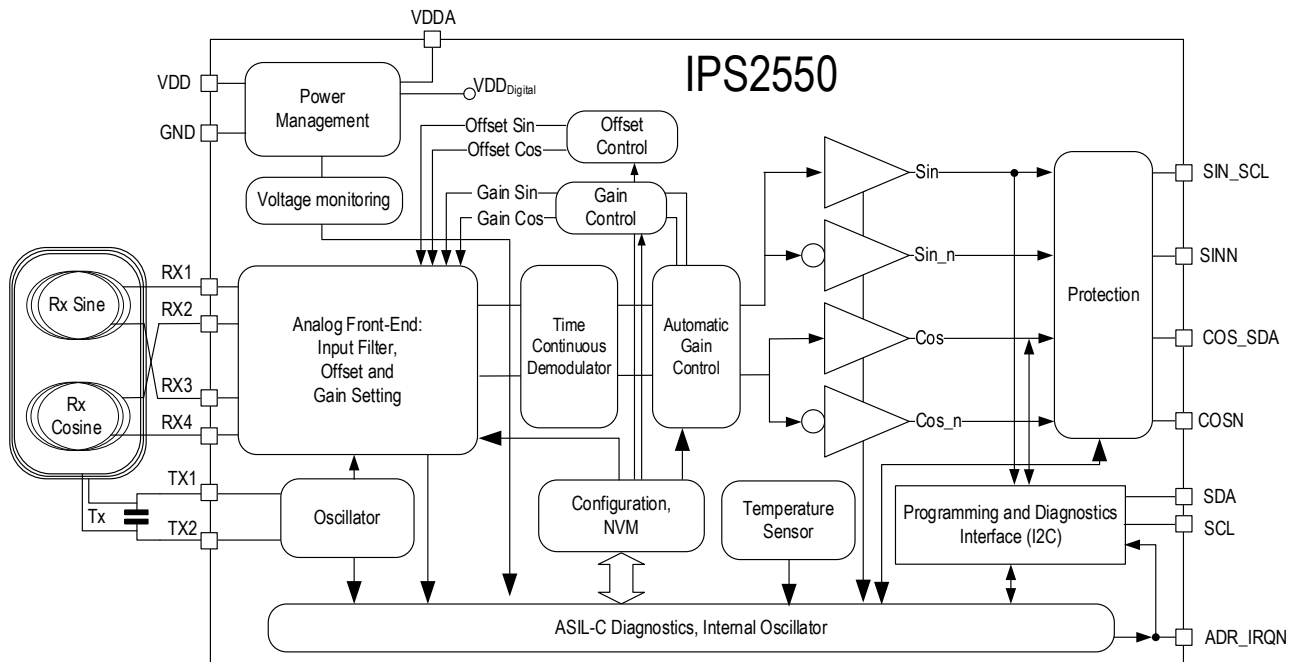
为了对 IPS2550 进行编程并在不中断模拟高速信号路径的情况下实现快速诊断，可以使用附加的 I2C 数字串行接口。

I2C 接口可以在两种模式下运行：

- 具有地址选择功能的 I2C 接口（默认）
- 具有中断功能的 I2C 接口（编程选项）

13. 框图

图 11 框图



主要构建块包括以下内容：

- 电源管理：上电复位（POR）电路；用于模拟和数字电源的低压降（LDO）稳压器。
 - 监控 VDD，VDDA 和内部电压 VDDDigital 的过压和欠压
- 振荡器：发射机线圈信号的生成。
- 模拟前端：用于接收信号的输入滤波器，偏移和增益控制。
 - 偏移控制：校正接收器线圈输入 RX1-RX2 和 RX3-RX4 处的偏移。
 - 增益设置：校正接收器线圈输入信号 RX1-RX2 和 RX3-RX4 之间的幅度失配。
- 时间连续解调器：将 RF 幅度调制的位置信号转换为 LF 解调的位置信号。
- 增益控制：校正来自 RX1 / RX2 和 RX3 / RX4 输入信号的幅度不匹配。
- 自动增益控制：全面自动调整正弦和余弦通道增益。
- 配置，NVM：出厂和用户可编程设置的非易失性存储。
- 编程和诊断接口：可通过 SIN 和 COS 模拟输出接口以及单独的 I2C 接口使用。
- 温度传感器：监控芯片温度。

- ASIL-C 诊断，内部振荡器：关键块的内部诊断，以确保功能安全。出厂时已调整的内部振荡器用于芯片内部时序，并用作发射机频率测量的时基
- 4 个带过电压和反极性保护的缓冲模拟/数字输出。
- SIN_SCL, SIN_N, COS_SDA 和 COS_N 引脚具有三个接口选项（请参见表 2）：
 - 差分模拟输出
 - 带参照的单端模拟输出
 - 程式设计

14. 详细的模块描述

请参考图 11 中的框图，各模块的简单描述如下。

14.1 电源管理

IPS2550 可以在 $VDD = 3.3V \pm 0.3V$ 或 $VDD = 5.0V \pm 0.5V$ 的电源下工作。内部 LDO 产生用于模拟和数字电路的电源电压。模拟电源 (VDDA) 由外部电容器 C_{VA} 缓冲。数字电源仅在内部连接。

VDD 具有过压和反极性保护，并会持续监控过压或欠压。

14.2 LC 振荡器

LC 振荡器为传感器生成 RF 磁场。它可在大约 2MHz 至 5MHz 的频带中工作。频率由外部组件 L（发射机线圈）和 C（外部电容器）调节。有关更多详细信息，请参见表 9。

IPS2550 接受大范围的线圈电感，并且线圈驱动电流是用户可编程的。

连续检查 LC 振荡器的正确频率或故障，例如开路/短路或振荡器故障。

14.3 模拟信号路径

为了获得最高速度，IPS2550 使用两个并行模拟信号通道：一个用于正弦，一个用于余弦和全模拟信号处理。

14.3.1 Rx 线圈诊断

连续检查接收器线圈 Rx Sine 和 Rx Cosine 是否对地开路/短路，对 VDD 短路以及对向线圈短路。如图 2 和图 3 所示，接收器线圈可以通过以下两种方式连接：

- ASIL-C 连接：防止由于两个相邻引脚短路而导致接收器线圈短路。
- 兼容性连接：提供与工业级 IPS2200 的引脚到引脚兼容性。

14.3.2 接收器信号低通滤波器

接收信号是调幅信号，其中载波频率是 LC 振荡器的频率，信号幅度代表目标位置。在旋转系统中，LF 信号为正弦和余弦形，其中 LF 信号的一个周期等于线圈形状的一个周期。线圈设计及其相应的低频信号示例，请参见第 20 节。

首先对调幅信号进行低通滤波，以抑制可能的 RF 电磁干扰。

14.3.3 偏移和增益匹配

在对信号进行滤波之后，对射频信号进行校正，以消除可能由于不完善的线圈设计而引起的偏移和幅度失配。偏移量和精细增益校正量可以在 NVM 中用户编程为固定值，也可以在嵌入式应用中即时校正。有关更多详细信息，请参见 15.1 节。

14.3.4 解调

时间连续解调器从输入信号中去除载波，从而生成解调的 LF 信号。

14.3.5 自动增益控制 (AGC)

解调信号 $M = \sqrt{V_{sin}^2 + V_{cos}^2}$ 的信号幅度强度被永久监测，并与标称范围进行比较。标称范围有两种可编程选项（见表 11）。AGC 将自动调整接收器的增益，使输出信号的幅度进入“无切换区”。

AGC 也可以用来生成警报，用于检测接收器增益是否超出可编程范围，例如，在接收器输入信号过强或过弱时。

图 12 AGC 振幅范围

详细水准请参见表 11



14.4 信号通道交换

信号通道交换功能是一种改善内部增益误差检测的有效方法（瑞萨电子公司正在申请专利），可作为配置选项使用。启用后，芯片会在两个模拟信号通道之间定期交换正弦和余弦信号。通过应用此方法，即使在静态（非旋转）操作中，也可以在模拟信号输出端立即检测到正弦和余弦信号通道之间的任何增益失配。

14.5 输出缓冲器

四个模拟信号（正弦，反正弦，余弦和反余弦）分别在相应的引脚处缓冲输出。

缓冲器输出具有过压和反极性保护，并检查对地短路，与 VDD 短路或共振模式的电压中断。启用时，在诊断状态下，缓冲输出将关闭，从而允许外部 MCU 通过外部上拉或下拉电阻器进行诊断指示。

14.6 温度感应器

IPS2550 具有内部芯片温度传感器，在温度过热时会发出警报。温度传感器具有两个警报级别：

1. 结温超过警告阈值：生成诊断警报，SIN_SCL，COS_SDA，SINN，COSN 的输出缓冲器被关闭以降低功耗。
2. 结温超过严重警报水平：上述 1 之外，作为编程选项，LC 振荡器也可以关闭以进一步降低功耗。

表 20 内部芯片温度传感器特性

符号	内容	条件	最小值	标准值	最大值	单位
T _{OVT_WARN}	过热警告阈值		175	180	185	°C
T _{OVT_ERR}	过热严重警告阈值		180	185	190	°C
ACC _{TS}	温度传感器绝对精度		-10		+10	°C
T _{HYST}	温度迟滞		8	10	12	°C

15. ECU 连接选项

图 13, 图 14 和图 15, 显示了 IPS2550 和电气控制单元 (ECU) 之间的各种连接选项。

IPS2550 必须正确编程以匹配正确的 VDD 电源电压 (3.3V 或 5.0V)。

15.1 嵌入式与远程连接

在嵌入式连接中，传感器和微控制器（MCU）均安装在同一印刷电路板（PCB）上。在这种应用中，两个芯片之间的连接数量基本不受限。MCU 可以利用单独的 I2C 接口来持续监视诊断寄存器，而不会中断模拟信号流或实时更改偏移或增益。

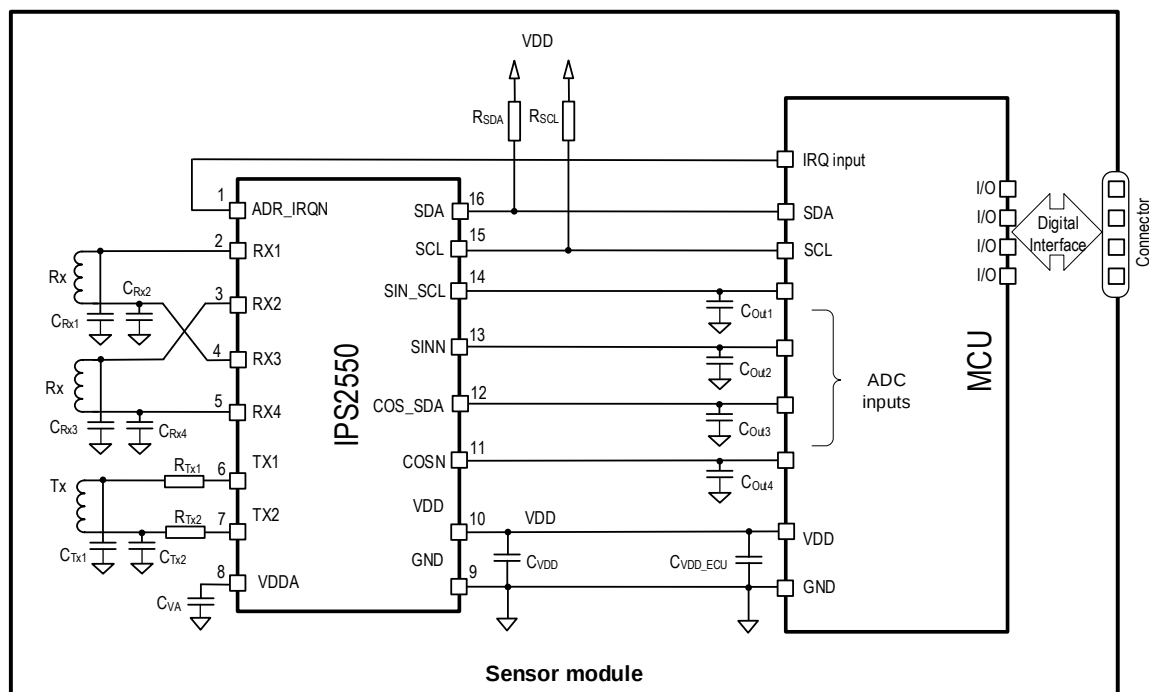
ADR_IRQ 引脚在 IRQ 模式下用于诊断。

使用数字接口引脚时，SDA 和 SCL，IPS2550 和 ECU 必须共用 VDD 电源电压，以匹配数字高电压和低电压信号。

图 13 所示的电路图包括嵌入式操作中提高 EMC 性能所需的外部组件。

注意：电容器 C_{Out1} 至 C_{Out4} 取决于所连接 MCU 的 ADC 输入规格。

图 13 嵌入式应用：传感器和 MCU 在同一块 PCB 上



在远程应用中，传感器模块与 ECU 分开，通过电缆连接。为了节省成本，电缆上的线数和连接器引脚的数量应尽可能少，通常应使用四根线（VDD，GND，正弦，余弦）用于单端配置，六根线（VDD，GND，正弦，反相正弦，余弦，反相余弦）用于差分配置。

在错误情况下，模拟输出切换到三态模式；通过使用上拉电阻（如图 14 所示）将输出电压推至 VDD 或使用下拉电阻（如图 15 所示）将输出电压拉至接地，可以指示诊断状态。

有关诊断指示的更多详细信息，请参见 18.2。

图 14 和图 15 所示的电路图包括在远程操作中改善 EMC 性能所需的外部组件。

The diagram illustrates the system architecture, showing the Sensor module, the Electric Control Unit (ECU), and the connecting Cable. The Sensor module (left) features an IPS2550 sensor with pins 1-8 and 16-17. It includes an I2C interface (SDA, SCL) and an I2S interface (SIN_SCL, SIN_N). The ECU (right) contains an MCU with I/O pins and an ADC. The Cable connects the sensor pins to the MCU pins. The ECU also has a Digital Interface and a Connector.

可以将 IPS2550 编程为在 $3.3V \pm 0.3V$ 或 $5.0V \pm 0.5V$ 的电源电压下运行，默认值为 5V。有关更改默认电源电压，请参阅第 17.1 节。

15.3 I2C 接口

IPS2550 包含一个标准的 I2C 接口。I2C 地址是可编程的。此外，使用 I2C 接口时，可以将 ADR_IRQN 引脚设置为 I2C 地址选择 (ADR) 引脚或中断输出 (IRQN) 引脚 (见表 3)。IPS2550 被配置为 I2C 从机设备。多个从机可以在 I2C 总线上并行连接。IPS2550 用户编程手册中提供了有关编程功能的详细说明。

两条数据线是串行数据 (SDA, 引脚 16) 和串行时钟 (SCL, 引脚 15)，它们连接到总线以传递信息。SDA 和 SCL 都通过外部上拉电阻连接到电源电压 VDD。总线空闲时，两条线都出于高状态。连接到总线的设备的输出级必须具有 open-drain 或 open-collector 才能执行 AND 功能。

外部主机 (主机控制器) 启动传输，生成时钟信号并终止传输。该芯片支持 I2C 由主机控制的从机功能，符合 I2C 总线规范版本 2.1。

由于模拟输出可能包含无源滤波器或 EMC 电容器，因此与数字 I2C 接口相比，上升和下降时间可能更长。因此，必须对 IPS2550 在模拟输出上进行编程期间的 I2C 时钟速率进行相应调整。

15.3.1 具有地址选择功能的 I2C (默认)

当将 IPS2550 编程为使用具有地址选择功能的 I2C 接口时，ADR_IRQN 引脚用于通过硬件选择 I2C 从机地址。

默认情况下，ADR_IRQN 引脚 1 通过硬件引脚捆绑来定义 IPS2550 的 I2C 从属地址。

该引脚的状态被镜像到 7 位 I2C 地址的 A3 位，其反转状态被镜像到 I2C 地址的 A0 位 (见图 16)。

I2C 地址位的默认设置是 A4=1。

如果 ADR_IRQN 连接到地，IPS2550 的默认从属地址是 0010001 (二进制) = 0x11 (十六进制)。而如果这个引脚连接到 VDD，I2C 地址被设置为 0011000 (二进制) = 0x18 (十六进制)。

通过硬件引脚捆绑的 I2C 地址选择可以被禁用，固定的 I2C 地址可以在 NVM 地址位 A6...A3 中定义。详见《IPS2550 编程指南》。

表 21 显示了通过引脚状态和 NVM 地址寄存器设置组合来选择 I2C 地址的不同选项。

I2C 地址位 A3 至 A6 可以在 NVM 中配置为一个单独的 I2C 地址，允许多达 14 个设备被并行寻址。详见《IPS2550 编程指南》。

表 21 NVM 中的 I2C 地址选择选项

I2C 地址选择模式	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
默认设定	0	0	1	1 号引脚	0	0	1 号引脚反转
用户可编程范围，通过 1 号引脚选择 I2C 地址	001 到 110 (二进制)			1 号引脚	0	0	1 号引脚反转
用户可编程范围，I2C 地址固定	0001 到 1110 (二进制)				0	0	0

图 16 I2C 地址选择位

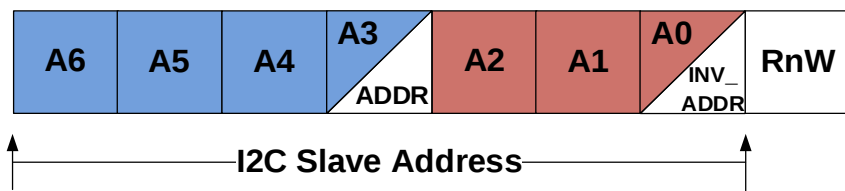
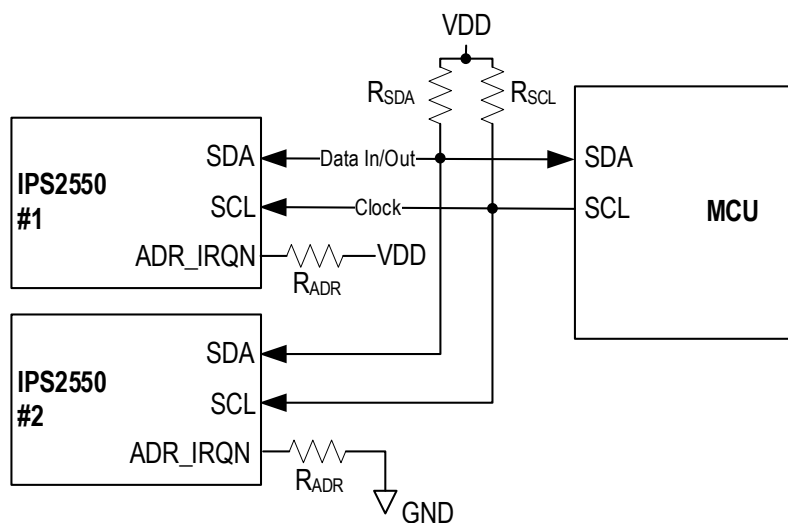


图 17 用于地址选择功能的 I2C 接口

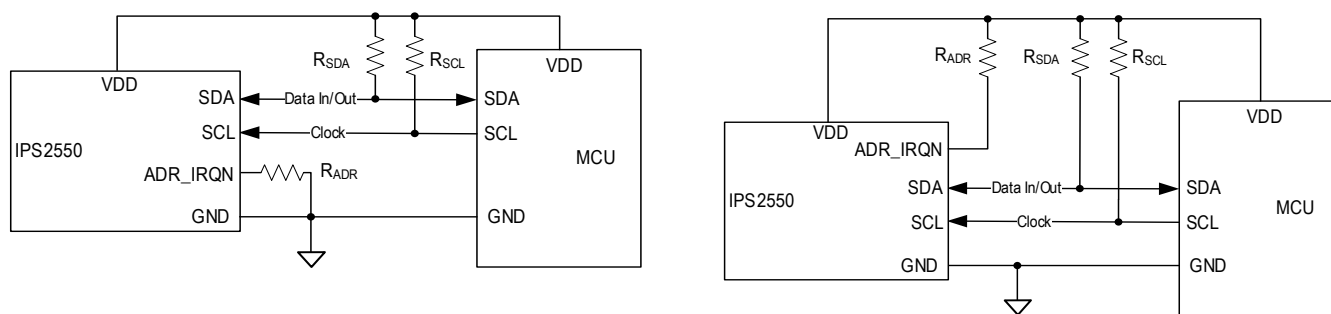


15.3.2 在 GND 或 VDD 断线时，避免通过 ADR_IRQN 引脚的寄生路径

在安全关键型应用中，必须监视 GND 或 VDD 的损耗，并在发生故障时做出反应。图 25 显示了在远程应用中 GND 或 VDD 断线情况下的正确诊断配置。

当 I2C 用于地址选择功能时，请不要直接将 ADR_IRQN 引脚接到 VDD 或 GND 线上，应通过电阻 R_{ADR} 来连接（图 18 和表 14）。这样可以避免接地或 VDD 断线时的寄生电流通过 ADR_IRQN 引脚而引发芯片处于不定状态。

图 18 I2C 接口用于地址选择时，ADR_IRQN 引脚的连接方式



15.3.3 用于中断功能的 I2C 接口（编程选项）

将 IPS2550 编程为使用中断功能的 I2C 接口时，它将作为标准的 I2C 接口运行。I2C 地址是可编程的。另外，ADR_IRQN 引脚用作中断输出，用于快速发送诊断事件信号。

图 19 单从中断的 I2C 接口配置

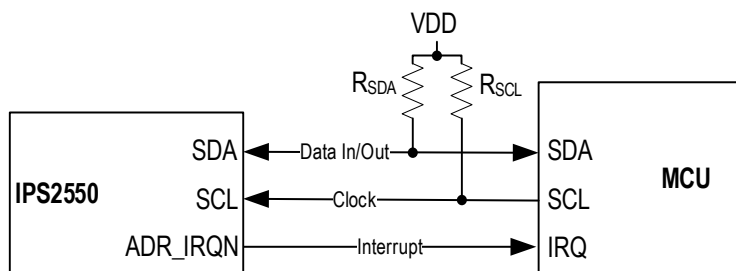
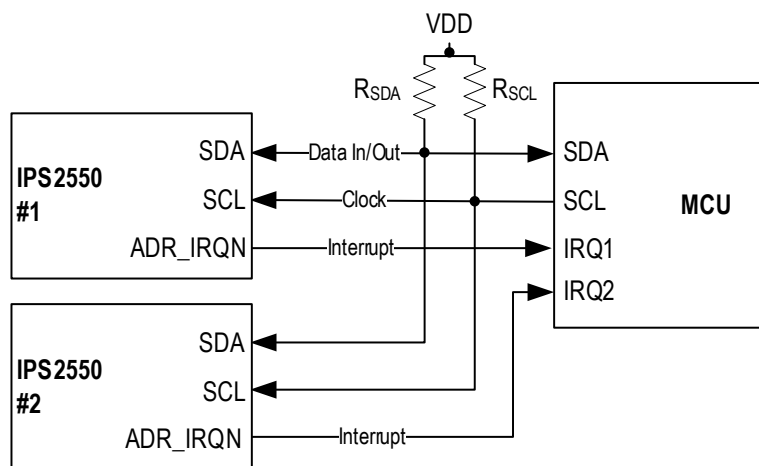


图 20 多从中断的 I2C 接口配置

注意：在此模式下，多个 I2C 从机设备并行连接。请注意，每个 I2C 从机设备必须具有一个单独的 I2C 地址。



有关 I2C 接口的详细说明，请参阅《IPS2550 编程指南》。

16. 过压保护

16.1 I/O 保护

为了满足汽车对输出和电源引脚上的过电压和反极性保护的要求，IPS2550 包括以下几种保护和诊断功能：

1. 防止输出引脚 SIN, SINN, COS 和 COSN 与 GND 或 VDD 短路的保护
2. 过电压和反极性保护：
 - a. 电源引脚 VDD 到 GND 之间
 - b. 模拟输出引脚 SIN, SINN, COS 和 COSN 到 GND 之间

17. 编程选项

IPS2550 系列提供了多种编程选项。表 22 中描述了主要的编程功能。

可以通过以下两种方式之一来访问和编程 IPS2550：

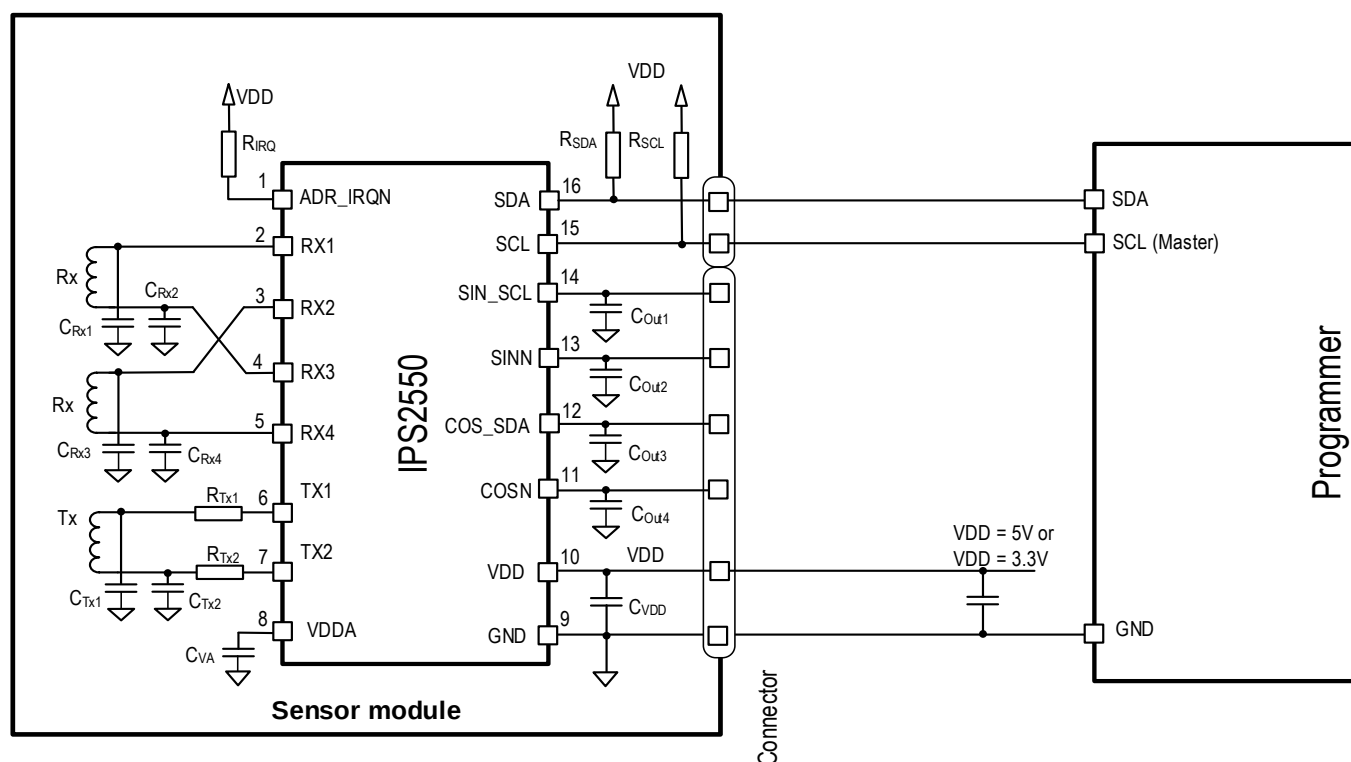
- 通过 I2C 接口引脚 SDA 和 SCL
- 通过模拟输出引脚 SIN_SCL 和 COS_SDA

注意：有关编程的详细信息，请参阅《IPS2550 编程指南》。

I2C 接口位于引脚 SDA 和 SCL 上，可在不中断模拟输出信号的情况下，同时访问内部寄存器并实时修改增益和偏移设置。也可以使用标准 I2C 协议，以相同的方式通过此接口对 IPS2550 进行编程。参见图 21。

请注意，SDA 和 SCL 引脚内部不包含上拉电阻。如果使用此接口，则需要在传感器模块上或外部安装外部上拉电阻。

图 21 通过 I2C 接口对 IPS2550 进行编程



在某些情况下，特别是在远程应用中，连接器引脚和电线的数量保持最少，并且不需要永久访问内部寄存器时，在两个模拟输出（SIN_SCL 和 COS_SDA）上对 IPS2550 进行编程也是可能的。请参阅图 22。

该方法通常用于最终组装的传感器模块的末端编程，尤其在不能访问数字接口引脚 SDA 和 SCL 的情况下。

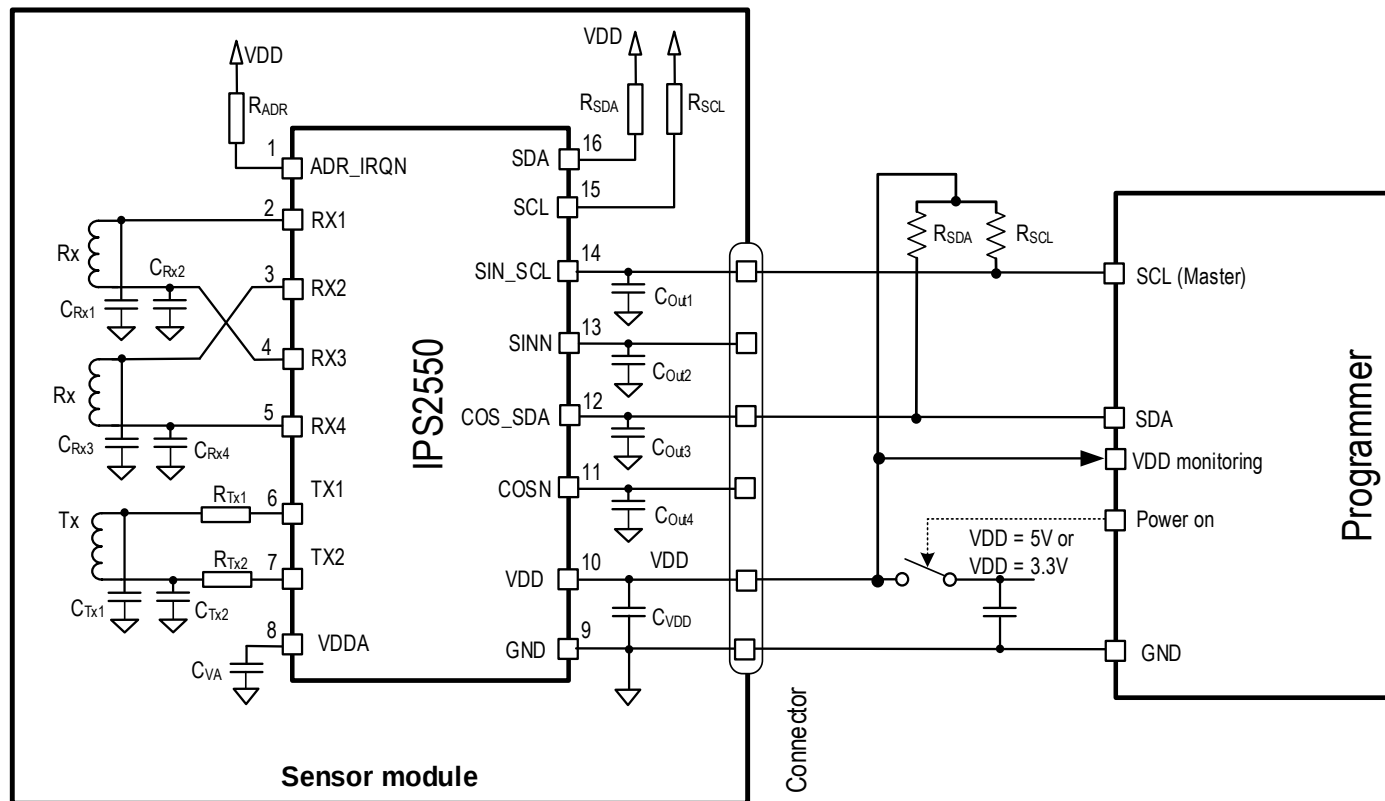
为了避免对 IPS2550 的意外编程，安装了下述安全锁功能：

- 上电后，编程启用窗口将打开几毫秒。如果在此时间段内未发送任何外部启用命令，则 IPS2550 将恢复正常加电。
- 在开启编程模式的第一个级别之后，必须在第二个稍长时间窗口内发送另一个密码才能解锁编程模式。
- 编程后，可以锁定芯片禁止进一步写入，也可以锁定芯片以禁止读取。锁定中的芯片无法解锁（网络安全功能）。

由于模拟输出可能包含外部无源 EMC 滤波器，这会降低数据速率，因此编程器还必须能够以较低的速度运行。

为了在加电后达到编程时间窗口，编程器必须能够检测到 IPS2550 的 VDD 斜坡上升。程序员也可以主动多次重启 IPS2550 的电源来控制，如图 22 所示。

图 22 通过模拟输出对 IPS2550 进行末端编程



注意：出于 EMC 和 ESD 的考虑，请勿使未使用的 I2C 接口引脚悬空。请将 SCL 和 SDA 引脚通过电阻 R_{SCL} 和 R_{SDA} 连接到 VDD。电阻值请参考表 14。

17.1 编程电源电压选项

IPS2550 电源电压可以编程为两种状态： $3.3V \pm 0.3V$ 或 $5.0V \pm 0.5V$ 。

如果将编程为 5V 电源电压的 IPS2550 连接到 3.3V 电源，它将保持在 (5V) 欠压状态，并且不会启动。但是，在此状态下，可以启用编程模式，因此可以将芯片重新编程为 3.3V 电源电压。上电复位后，IPS2550 将重新启动为 3.3V 设备并在 3.3V 环境中正常运行。

如果将编程为 3.3V 电源电压的 IPS2550 连接到 5V 电源，它将启动，标记 (3.3V) 过压警报，并进入诊断状态。但是，尽管发出警报，仍然可以启用“编程模式”，因此可以将 IPS2550 重新编程为 5V 电源电压。上电复位后，IPS2550 将作为 5V 设备重新启动并在 5V 环境中正常运行。

17.2 锁定功能（网络安全）

IPS2550 包含一个锁定位选项，可由用户设置。用户可将锁定功能设为仅用于写锁定或读+写锁定。一旦设置了写锁定或写+读锁定，就无法再对 IPS2550 进行写操作。锁定的 IPS2550 无法解锁。

注意：详细请参考《IPS2550 编程指南》。

17.3 编程选项表

表 22 编程选项概述

功能	编程选项
电源电压范围	3.3V±0.3V 或 5.0V±0.5V，警报级别
高速接口	正弦/余弦差分或单端
数字诊断和编程接口	具有地址选择功能的 I2C 或具有中断功能的 I2C
I2C 接口	从机地址，具有地址选择或中断功能的 I2C
高速模拟接口上的诊断信号	在诊断状态下，模拟输出引脚为高阻抗。 (SIN, COS) 和 (SINN, COSN) 可以分别启用/禁用。
安全锁功能	可以将对设备内部寄存器的访问权限设置为只读或读/写锁定
接收器整体增益	总增益粗调
正弦，余弦通道增益	幅度失配校正，微调
正弦，余弦偏移	输入偏移量的预调整
发射振荡器	偏置电流，优化线圈性能
时基计数器	测量发射机振荡器频率，以及上/下频率警报
中断	启用/禁用/解除中断事件
自动增益控制	增益上限/下限

18. 功能安全与诊断

18.1 功能安全性 ASIL 和 ISO 合规性

IPS2550 是根据 ISO26262 要求开发的可用于功能安全系统中的产品（SEooC）。在内部和外部安全机制下，可实现单个 IC 的 ASIL-C 和双冗余 IC 的 ASIL-D 标准。

要将 IPS2550 产品集成到与功能安全相关的应用中，需要用户进行安全分析。

内部安全机制包括但不限于以下内容：

- 检测接收线圈或发送线圈损坏或短路
- 欠压和过压检测
- 芯片损坏检测
- 数据完整性检测（ECC 纠错和奇偶校验）
- 硅芯片过热检测
- 输出缓冲区故障检测

有关其他 IPS2550 安全功能，请参阅表 26。

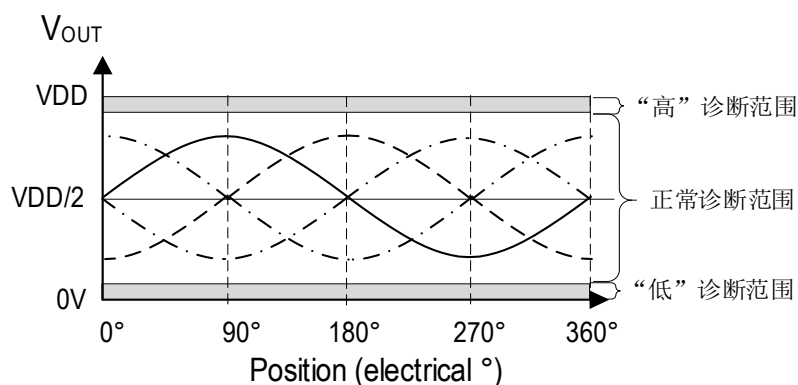
外部安全机制必须由接收微控制器单元（MCU）执行，包括但不限于以下内容：

- 线束检查（断开，对 GND 短路，对 VDD 短路）
- 正弦和余弦信号的合理性和故障检查（偏移，幅度，相位）
- 位置输出同步（用于使用双 IC 的系统）

18.2 通过模拟输出的诊断模式指示

除了通过 I2C 接口和中断输出引脚显示诊断标志之外，IPS2550 还可以通过将模拟输出引脚置于诊断模式来提供诊断，此诊断模式表示为超出正常工作范围的输出电压，请参见图 23。

图 23 工作范围和诊断范围



启用 AGC 时，正常工作范围是：

- 在 5V 模式下， $V_{DD}/2 \pm 1.5V = 1.0$ 至 $4.0V$
- 在 3.3V 模式或 5V 模式下， $V_{DD}/2 \pm 900mV = 0.75$ 至 $2.55V$ （默认）

当禁用 AGC 时，工作输出电压范围不受限制，而是由输入电压乘以信号路径中的总增益来定义。请注意，必须正确设置增益，否则输出电压会进入诊断范围。

诊断范围可由用户定义。典型的诊断范围是：

- 低诊断 ≤ 3 至 $5\%VDD$
- 高诊断 ≥ 95 至 $97\%VDD$

IPS2550 诊断模式下的输出电压取决于错误状态和外部上拉或下拉电阻的值，参考 18.2.1.2 章节。

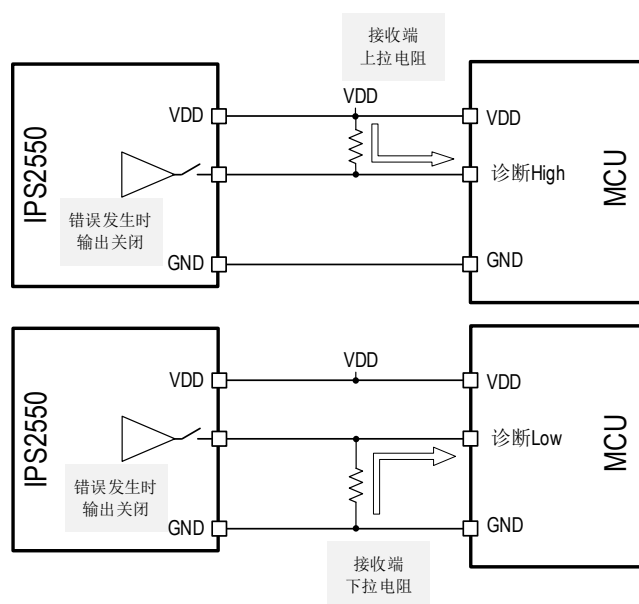
IPS2550 通过模拟输出提供以下用于诊断指示的选项：

- 禁用输出引脚上的诊断指示
- 仅在 SIN_SCL 和 COS_SDA 引脚上进行诊断
- 仅在 SINN 和 COSN 引脚上进行诊断
- 启用所有四个模拟输出引脚上的诊断

每个单独诊断的错误指示标记都可以被启用或禁用。

如果启用诊断并且发生错误，则所选输出将关闭。通过连接外部上拉或下拉电阻，输出电压将被拉至 VDD 进入诊断高范围，或被拉至 GND 进入诊断低范围，见图 24。

图 24 诊断范围的选择



注意在通过使用 I2C 接口的模拟输出进行编程的过程中，需要将 SIN_SCL 和 COS_SDA 引脚连接至外部上拉电阻。如果传感器模块板上有下拉电阻，则必须正确选择用于编程的外部上拉电阻，以提供足够的高电压，且该电压不能超过输出引脚的负载电流。因此，如果要在模块级别对 IPS2550 进行编程（例如，用于线路末端校准），建议使用上拉电阻器进行诊断指示。

18.2.1 短路和断线检测

发生断线或短路故障的传感器通过电缆连接到控制单元（MCU，ECU）时，故障会被检出。

18.2.1.1 线短路

可以安全地检测到接地线，信号线和电源线之间的短路，如表 23 所示：

表 23 检测电线之间的短路

连接	电源	输出	接地
电源	两个供给电源之间短路。 仅适用于隔离的冗余传感器 IC 电源。必须由提供传感器的外部电源设备进行监视和控制。	电源和输出之间短路。 当输出电流超过过电流阈值时，输出关闭。诊断状态取决于在接收器侧是否安装了上拉或下拉电阻。	电源和接地之间短路。 电源线中有过电流。必须由为传感器提供电源的外部电源进行监视和控制。
输出	输出和电源之间短路。 当输出电流超过过电流阈值时，输出关闭。诊断状态取决于在接收器侧是否安装了上拉或下拉电阻。	两个不同输出之间的短路。 当输出电流超过过流阈值时，输出将关闭。诊断状态取决于在接收器侧是否安装了上拉或下拉电阻。	输出与接地之间短路。 当输出电流超过过电流阈值时，输出关闭。诊断状态取决于在接收器侧是否安装了上拉或下拉电阻。
接地	接地和电源之间短路。 电源线中有过电流。必须由为传感器提供电源的外部电源进行监视和控制。	接地和输出之间短路。 当输出电流超过过电流阈值时，输出关闭。诊断状态取决于在接收器侧是否安装了上拉或下拉电阻。	两根地线之间短路。 仅适用于隔离的冗余传感器 IC 电源。必须由为传感器提供电源的外部电源进行监视和控制。

18.2.1.2 断线

大部分的电源，GND 或信号线的断线问题都可以通过监测模拟输出引脚的电压而检测出，参见图 25 上的非致命错误案例（“OUT” = SIN_SCL, SINN, COS_SDA 或 COSN）。在诊断错误或信号线断裂的情况下，受影响引脚的电压水平通过外部上拉或下拉电阻被拉入诊断范围（高电压或低电压诊断）。

在以下情况下，传感器 IC 内部的寄生电流会导致上拉或下拉电阻两端产生不必要的过高电压，并且无法正确指示错误状态：

- 电源断线，电源与接收端之间带有外部上拉电阻器时（图 25 右上）：
寄生电流从接收器端电源 VDD→外部上拉电阻→传感器 IC 的输出引脚→传感器 IC 内部寄生路径→GND
- GND 线断，GND 与接收端之间带有外部下拉电阻器时（图 25 右下）：
寄生电流从传感器 IC 的 VDD→传感器 IC 内部寄生路径流到输出引脚→外部下拉电阻→GND

对于这些特殊情况，必须根据所需的诊断范围选择这些电阻的最大电阻值，请参见表 24 和表 25。

图 25 VDD 断线或 GND 断线的寄生电流

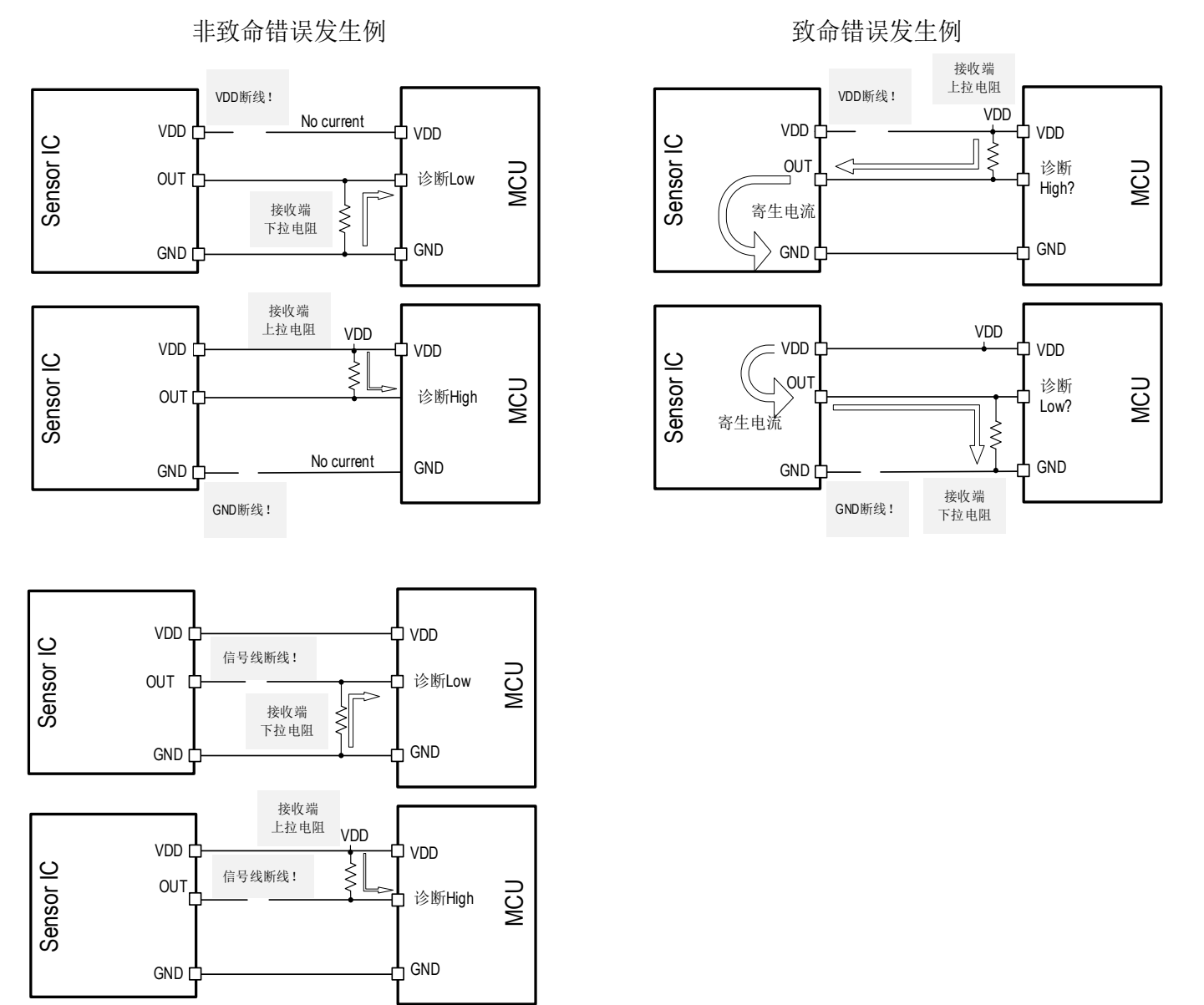
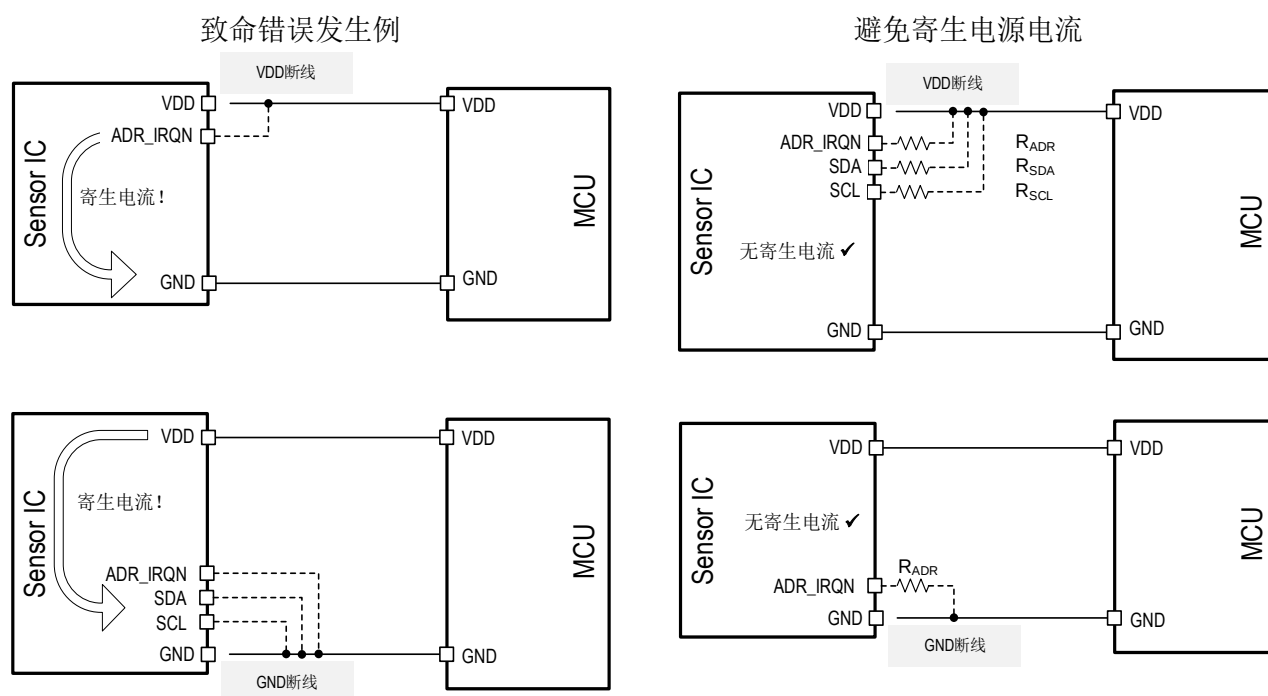


表 25 带下拉电阻的输出信号的诊断级别

诊断级别	<3%VDD	<4%VDD	<5%VDD	单位
正常运行期间的错误指示	≤ 10			k Ω
VDD 线断线	非致命，请参见图 25 左列			k Ω
接地线断线，5V 模式	≤ 1.48	≤ 2.0	≤ 2.56	k Ω
接地线断线，3.3V 模式	≤ 1.65	≤ 2.23	≤ 2.85	k Ω

当 ADR_IRQN、SDA 或 SCL 引脚直接连接到 VDD 或 GND 时，可能会出现另一个由断开的 GND 引脚或断开的 VDD 引脚导致的潜在寄生电源电流路径，见图 26 的致命错误发生例。为了避免这种寄生电源电流，将这些引脚通过电阻连接到 VDD 或 GND。电阻 R_{ADR} 、 R_{SDA} 和 R_{SCL} 的指定值见表 14。

图 26 通过 ADR_IRQN，SDA，SCL 引脚的寄生电流



18.3 诊断功能

表 26 中描述的诊断是在芯片端执行的，如果发生故障检测，则会在相应的寄存器中进行标记。可以启用或禁用任何一个诊断功能，以在 ADR_IRQN 输出上生成中断事件。此外，还可以通过将高速接口引脚（SIN，SINN，COS，COSN；请参见表 2）置于诊断状态，通过高速接口引脚来发出中断事件信号。

标记为“静态”的诊断标志将保持警报状态，解除只能通过上电复位（POR）；标记为“一时”的诊断标志将在错误源消除后解除警报状态。

标记为“连续”的诊断标志进行实时检查；标记为“启动”的诊断标志仅在启动时检查。

表 26 诊断功能

诊断标志	类型	诊断	描述
VDD 过电压	一时	连续	外部电源电压超过最大限制时，将设置此标志。为避免标志翻转，内部设有比较器迟滞。有关 3.3V 模式下的警报级别，请参见表 7；有关 5V 模式下的警报级别，请参见表 8。
VDD 欠压	一时	连续	外部电源电压低于最小限制时，将设置此标志。为避免标志翻转，内部设有比较器迟滞。有关 3.3V 模式下的警报级别，请参见表 7；有关 5V 模式下的警报级别，请参见表 8。
VDDA 欠压	一时	连续	VDDA 处于欠压状态。有关 3.3V 模式下的警报级别，请参见表 7；有关 5V 模式下的警报级别，请参见表 8。
数据访问失败	一时	连续	芯片内部故障。
协议完整性故障	一时	连续	I2C 数据传输失败。
影子寄存器 DED	静态	连续	影子寄存器组 double-bit 错误检测 (DED)。
影子寄存器 SED	一时	连续	影子寄存器组 single-bit 错误检测 (SED)。每个 single-bit 错误检出都会触发寄存器输出的 single-bit 错误校正 (SEC)。
非易失性存储器 DED	静态	启动	NVM double-bit 错误检测。检查每个地址，并标记是否存在误码。
非易失性存储器 SED	一时	启动	NVM single-bit 错误检测。检查每个地址，并标记是否存在误码。每次 single-bit 错误检出都会自动触发 NVM 输出的 single-bit 错误校正 (SEC)。
LC 振荡器故障	一时	连续	当 LC 振荡器频率超出范围时，将设置此标志。频率范围可编程。
LC 振荡器故障	一时	连续	当 LC 振荡器停止运行时，将设置此标志。
内部振荡器故障	静态	连续	芯片内部振荡器故障。
内部总线故障	一时	连续	芯片内部故障。
IRQN 看门狗故障	静态	连续	可以通过启动看门狗计数器来启动循环中断请求。一旦计时器到期，中断标志就会激活，计时器将重新启动。可以通过将看门狗值重置为零来停止计时器。
机械损伤	静态	连续	检查芯片的机械损伤（硅裂纹）。
输出缓冲区故障	一时	连续	当模拟输出 (SIN + SINN) 或 (COS + COSN) 的平均值与 (VDD/2) 的差异大于指定限制时，将设置此标志。限制值参见表 12 中的 DC _{OFF_AL} 。无论模拟输出诊断模式如何，此错误将始终关闭模拟输出。
	静态		如果经过 8 次临时缓冲器故障检查后，输出缓冲器故障状态仍然存在，所有四个模拟输出将被永久关闭，以避免芯片过热，并且静态输出缓冲器故障标志被设置。 这种状态可以通过上电复位或通过 I2C 接口清除静态输出缓冲器故障标志来清除。

诊断标志	类型	诊断	描述
输出缓冲区过载	一时	连续	当一个或多个模拟输出缓冲器的负载电流超过指定限制 (I_{OVL}) 时, 将设置此标志。在去抖时间 t_{OC_assert} 之后, 所有四个输出被关闭。 在去抖时间 $t_{OC_deassert}$ 之后, 会进行临时的输出过载检查: 输出被打开, 如遇过流条件再次被关闭。见表 12 和表 13 的参数。
	静态		如果在 8 次临时输出过载检查后, 输出过载情况仍存在, 所有四个模拟输出将被永久关闭, 以避免芯片过热, 并设置静态输出缓冲器过载标志。此状态可以通过上电复位或通过 I2C 接口清除静态输出缓冲器过载标志来清除。
接收线圈故障	一时	连续	如果接收器线圈发生以下故障之一, 则设置此标志: 线圈之间短路, 对 GND 短路, 对 VDD 短路, 线圈断开。
发射机线圈故障	一时	连续	如果发射机线圈发生故障, 则设置此标志。
结温警告/故障	一时	连续	过热警告或芯片内部温度传感器故障。
内部电源故障	静态	连续	芯片内部电源电压故障。
AGC 错误	一时	连续	当 AGC 的增益达到用户设定的极限时, 则设置该标志。
内部数字错误	静态	连续	内部数字电路故障。
BIST 诊断错误	静态	启动	自检机制失败。

18.4 内部寄存器和存储器错误

对于所有寄存器, 易失性和非易失性存储器, 均设有纠错码 (ECC), 允许进行 2-bit 错误检测和 1-bit 错误校正。发生 ECC 错误时将设置警报标志。

18.5 LC 振荡器频率超出范围

发射机 LC 振荡器的典型频率范围是大约 2MHz 至 5MHz, 这在中波无线电频段 (0.52MHz 至 1.73MHz) 和短波无线电频段 (5.8MHz 至 6.3MHz) 之间。由于使用外部元件 (印刷电感器和分立电容器), 发射机的振荡频率将随温度而变化, 这主要取决于分立电容器的温度系数 (请参见第 1 页上的应用电路中的 C_T , 图 2 和图 3 中的 C_{Tx1} 和 C_{Tx2})。

建议: 使用低温度系数的电容器。

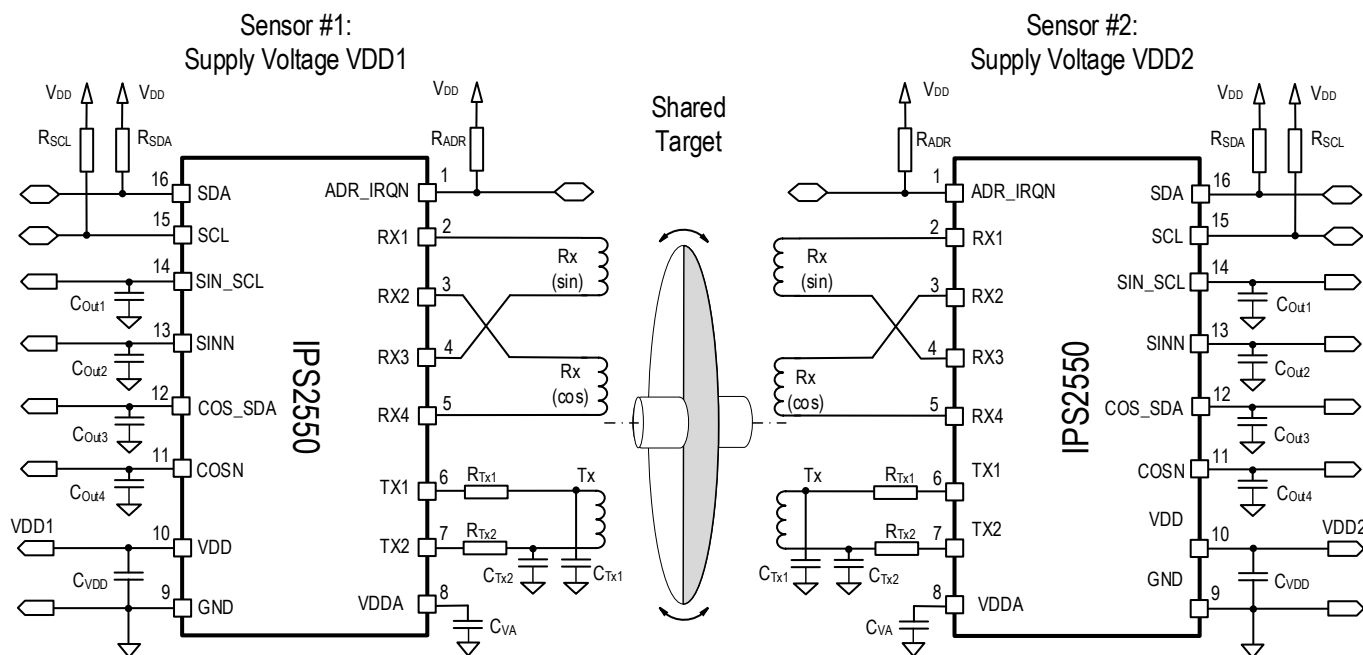
为了确保振荡频率在给定应用的范围内, 在内部测量发射机振荡器的振荡频率并将其作为比例值存储在寄存器中。用户可以为这些寄存器值选择上限和下限, 当振荡频率超出这些可编程范围时, 将设置警报标志。

19. 冗余连接

在要求扩展可靠性的应用中，可以通过使用两个独立的 IPS2550 进行冗余设置，如图 27 所示。两个系统共享相同的目标和线圈面积，但是通过把线圈放在不同的 PCB 层以实现发射机和接收器间的电气隔离。

取决于线圈的设计，两个发射机线圈可以彼此磁耦合。对于功能安全系统，两个发射机线圈之间的理想耦合需要单独评估。

图 27 应用图：双冗余传感器，双电源



20. 应用实例

图 28 360°旋转传感器的线圈设计和信号输出

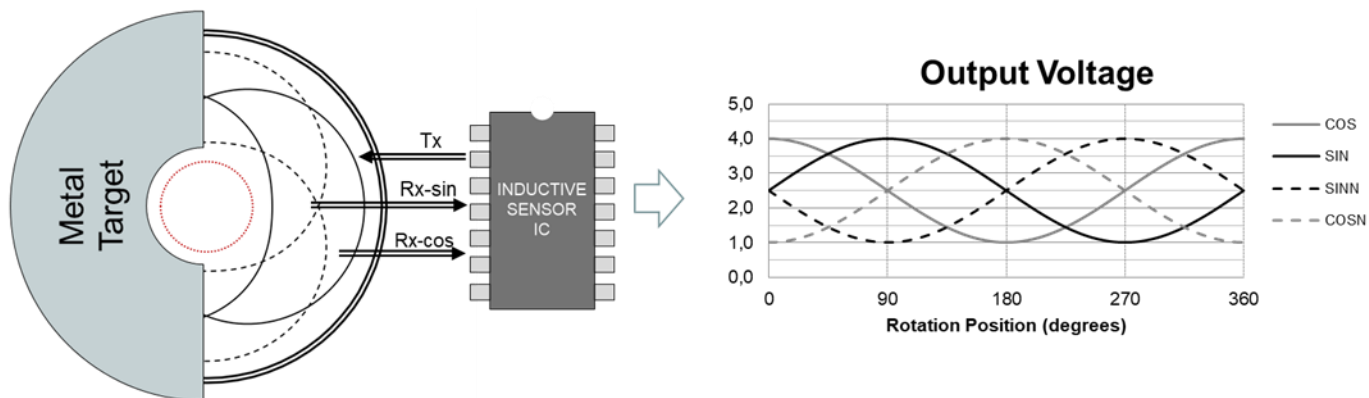


图 29 2×180°旋转传感器的线圈设计和信号输出

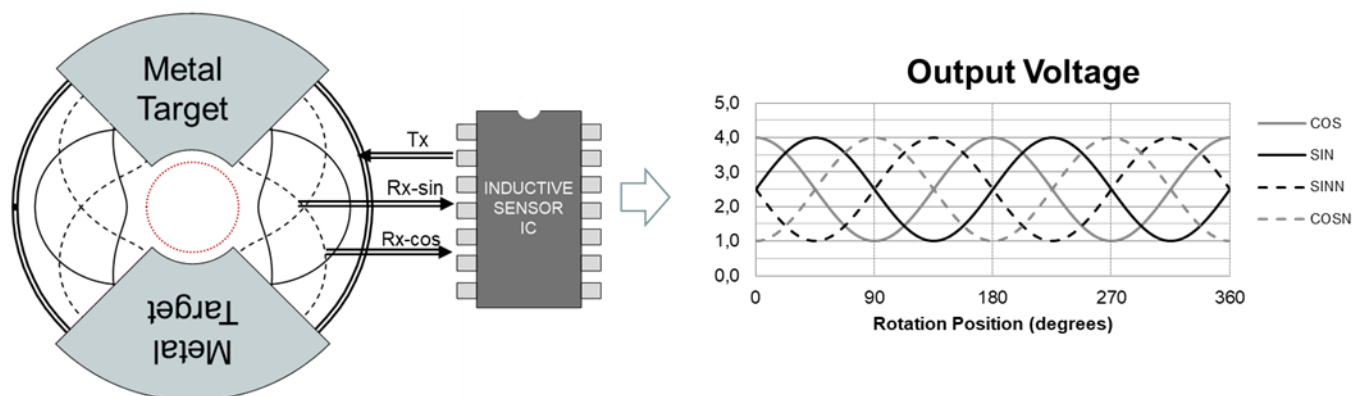


图 30 3×120°旋转传感器的线圈设计和信号输出

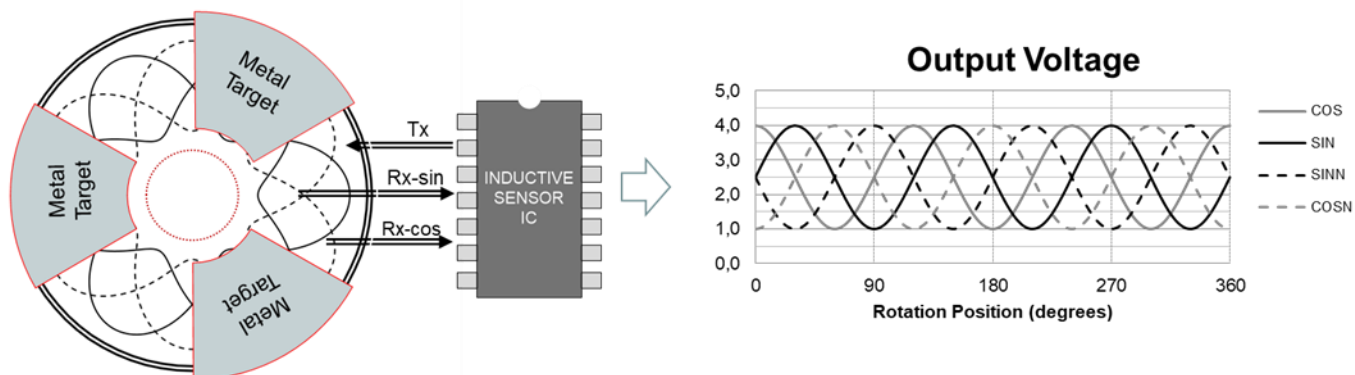
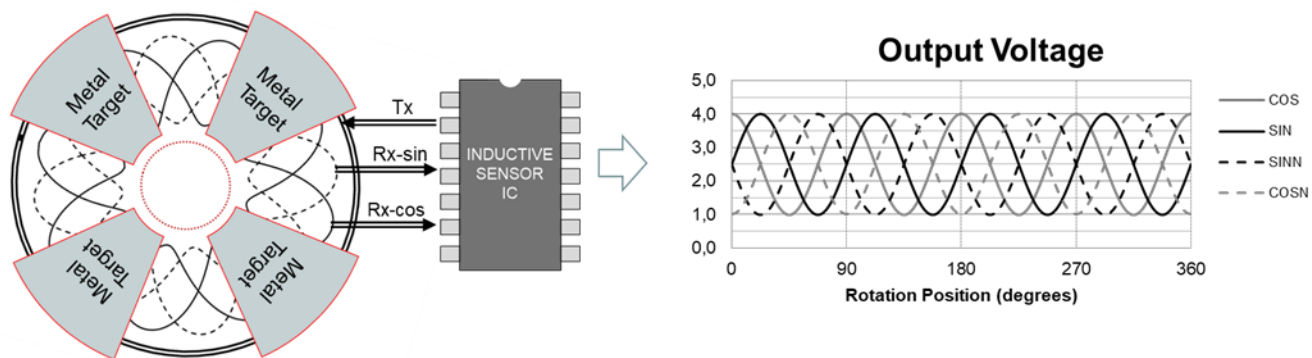


图 31 4×90°旋转传感器的线圈设计和信号输出



21. 电磁兼容性 (EMC)

EMC 相关的电路设计指南文档“IPS2550 EMC recommendations”可应需求提供。

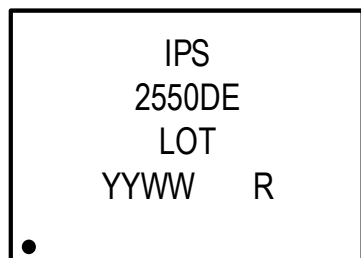
22. 16-TSSOP 封装外形图

封装外形图附在本文档的末尾，也可访问下面链接以获得最新信息。

<https://www.renesas.com/sg/en/document/psc/16-tssop-package-outline-drawing-50-x-44-mm-body-epad-27-x-33-mm-065mm-pitch-eng16p3>

23. 标记图

23.1 产品标记



第 1 行：产品代码的首字符（IPS）；添加“ES”为工程样品

第 2 行：产品代码的后四个字符（2550），后续

D = 设计修订

E = 工作温度范围，扩展汽车级

第 3 行：“LOT”=批号

第 4 行：“YYWW”=制造日期：

YY = 制造年份的后两位数字

WW = 制造周

R = 符合 RoHS 的声明

24. 订购信息

产品代码	说明和包装	MSL 等级	载具类型	温度
IPS2550DE1R	带裸露焊盘的 16-TSSOP，4.4×5.0 毫米	1	13" 卷轴，4000 个/卷盘	-40°至+160°C
IPS2550STKIT	IPS 2550 入门套件，包括 USB 通信板，IPS 2550 传感器模块和连接线缆			

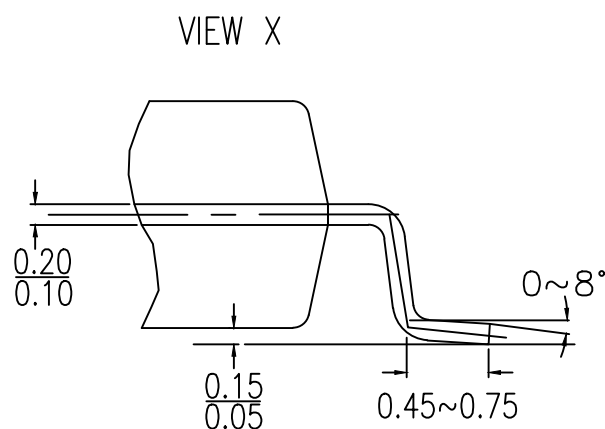
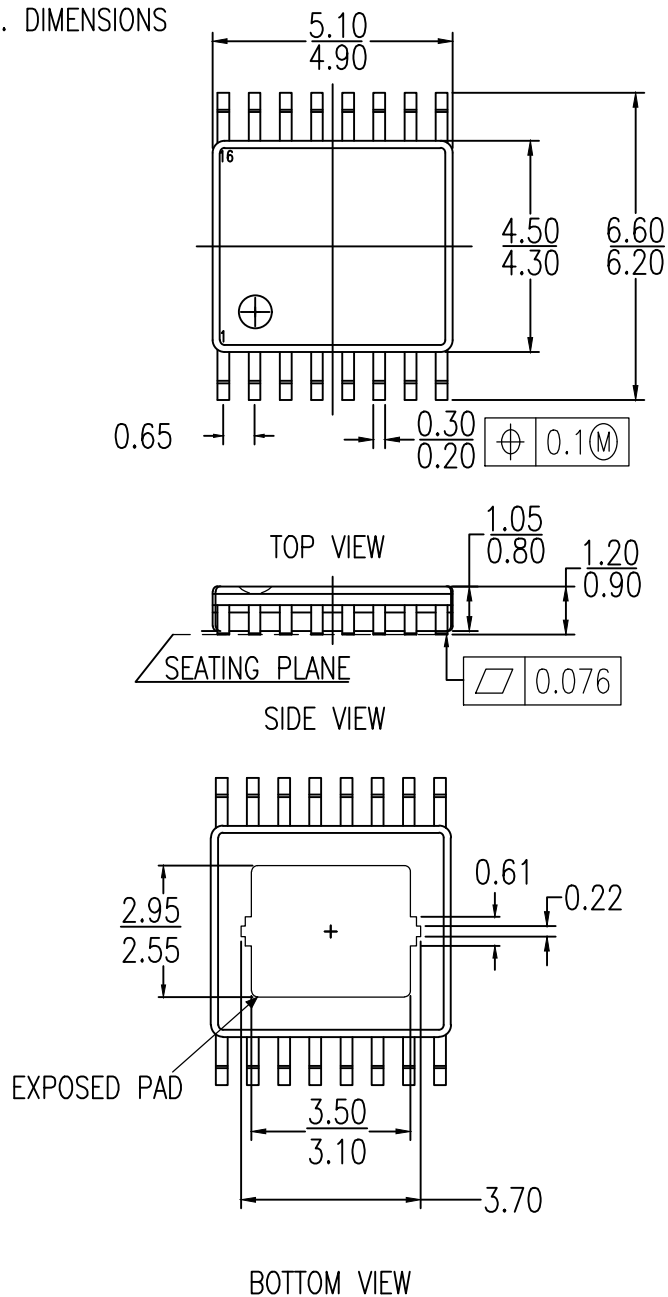
25. 修订记录

请注意：本数据表是 2022 年 06 月 20 日发行的英文数据表的中文译本。详情请参照英文原版。

修订日期	变更说明
2022 年 6 月 20 日	- 第一页的功能安全表述更新 3.3V 电源范围定义：3.3V±0.3V - I2C 默认接口连接更新 - 输出共模故障描述更新 - 第 18.2.1.2 节：断线 - 表 18，传播延迟的更详细说明追加 - 第 14.3.5 章 AGC 更新：新增图 12，更新表 11 - 图 7 至图 10，图 14，图 15，图 17 至图 20，图 22，图 25，图 26，表 12，表 14，表 17，表 21，表 26 更新
2022 年 1 月 11 日	表 15 和表 16 中的 VIH, VIL 的描述更新；图 28～图 31 中的 COS 信号标记修正。
2021 年 9 月 14 日	编程选项章节的参考更新
2021 年 9 月 8 日	在表 12 和表 26 中增加了对输出缓冲器过载保护的描述
2021 年 6 月 24 日	整个文件的小幅修正
2021 年 6 月 2 日	更新了第 15.3.2 节的硬件连接信息
2021 年 1 月 26 日	初版

BASED ON JEDEC JEP95: MO-153

1. DIMENSIONS



2. WEIGHT ≤ 0.05 g
3. BODY MATERIAL LOW STRESS EPOXY
4. LEAD MATERIAL Cu-ALLOY
5. LEAD FINISH SOLDER PLATING
6. LEAD FORM Z-BENDS

* WITHOUT MOLD FLASH
DIMENSIONS IN MILLIMETERS

Notice

1. Descriptions of circuits, software and other related information in this document are provided only to illustrate the operation of semiconductor products and application examples. You are fully responsible for the incorporation or any other use of the circuits, software, and information in the design of your product or system. Renesas Electronics disclaims any and all liability for any losses and damages incurred by you or third parties arising from the use of these circuits, software, or information.
2. Renesas Electronics hereby expressly disclaims any warranties against and liability for infringement or any other claims involving patents, copyrights, or other intellectual property rights of third parties, by or arising from the use of Renesas Electronics products or technical information described in this document, including but not limited to, the product data, drawings, charts, programs, algorithms, and application examples.
3. No license, express, implied or otherwise, is granted hereby under any patents, copyrights or other intellectual property rights of Renesas Electronics or others.
4. You shall be responsible for determining what licenses are required from any third parties, and obtaining such licenses for the lawful import, export, manufacture, sales, utilization, distribution or other disposal of any products incorporating Renesas Electronics products, if required.
5. You shall not alter, modify, copy, or reverse engineer any Renesas Electronics product, whether in whole or in part. Renesas Electronics disclaims any and all liability for any losses or damages incurred by you or third parties arising from such alteration, modification, copying or reverse engineering.
6. Renesas Electronics products are classified according to the following two quality grades: "Standard" and "High Quality". The intended applications for each Renesas Electronics product depends on the product's quality grade, as indicated below.

"Standard": Computers; office equipment; communications equipment; test and measurement equipment; audio and visual equipment; home electronic appliances; machine tools; personal electronic equipment; industrial robots; etc.

"High Quality": Transportation equipment (automobiles, trains, ships, etc.); traffic control (traffic lights); large-scale communication equipment; key financial terminal systems; safety control equipment; etc.

Unless expressly designated as a high reliability product or a product for harsh environments in a Renesas Electronics data sheet or other Renesas Electronics document, Renesas Electronics products are not intended or authorized for use in products or systems that may pose a direct threat to human life or bodily injury (artificial life support devices or systems; surgical implantations; etc.), or may cause serious property damage (space system; undersea repeaters; nuclear power control systems; aircraft control systems; key plant systems; military equipment; etc.). Renesas Electronics disclaims any and all liability for any damages or losses incurred by you or any third parties arising from the use of any Renesas Electronics product that is inconsistent with any Renesas Electronics data sheet, user's manual or other Renesas Electronics document.

7. No semiconductor product is absolutely secure. Notwithstanding any security measures or features that may be implemented in Renesas Electronics hardware or software products, Renesas Electronics shall have absolutely no liability arising out of any vulnerability or security breach, including but not limited to any unauthorized access to or use of a Renesas Electronics product or a system that uses a Renesas Electronics product. RENESAS ELECTRONICS DOES NOT WARRANT OR GUARANTEE THAT RENESAS ELECTRONICS PRODUCTS, OR ANY SYSTEMS CREATED USING RENESAS ELECTRONICS PRODUCTS WILL BE INVULNERABLE OR FREE FROM CORRUPTION, ATTACK, VIRUSES, INTERFERENCE, HACKING, DATA LOSS OR THEFT, OR OTHER SECURITY INTRUSION ("Vulnerability Issues"). RENESAS ELECTRONICS DISCLAIMS ANY AND ALL RESPONSIBILITY OR LIABILITY ARISING FROM OR RELATED TO ANY VULNERABILITY ISSUES. FURTHERMORE, TO THE EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW, RENESAS ELECTRONICS DISCLAIMS ANY AND ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, WITH RESPECT TO THIS DOCUMENT AND ANY RELATED OR ACCOMPANYING SOFTWARE OR HARDWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
8. When using Renesas Electronics products, refer to the latest product information (data sheets, user's manuals, application notes, "General Notes for Handling and Using Semiconductor Devices" in the reliability handbook, etc.), and ensure that usage conditions are within the ranges specified by Renesas Electronics with respect to maximum ratings, operating power supply voltage range, heat dissipation characteristics, installation, etc. Renesas Electronics disclaims any and all liability for any malfunctions, failure or accident arising out of the use of Renesas Electronics products outside of such specified ranges.

9. Although Renesas Electronics endeavors to improve the quality and reliability of Renesas Electronics products, semiconductor products have specific characteristics, such as the occurrence of failure at a certain rate and malfunctions under certain use conditions. Unless designated as a high reliability product or a product for harsh environments in a Renesas Electronics data sheet or other Renesas Electronics document, Renesas Electronics products are not subject to radiation resistance design. You are responsible for implementing safety measures to guard against the possibility of bodily injury, injury or damage caused by fire, and/or danger to the public in the event of a failure or malfunction of Renesas Electronics products, such as safety design for hardware and software, including but not limited to redundancy, fire control and malfunction prevention, appropriate treatment for aging degradation or any other appropriate measures. Because the evaluation of microcomputer software alone is very difficult and impractical, you are responsible for evaluating the safety of the final products or systems manufactured by you.
10. Please contact a Renesas Electronics sales office for details as to environmental matters such as the environmental compatibility of each Renesas Electronics product. You are responsible for carefully and sufficiently investigating applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances, including without limitation, the EU RoHS Directive, and using Renesas Electronics products in compliance with all these applicable laws and regulations. Renesas Electronics disclaims any and all liability for damages or losses occurring as a result of your noncompliance with applicable laws and regulations.
11. Renesas Electronics products and technologies shall not be used for or incorporated into any products or systems whose manufacture, use, or sale is prohibited under any applicable domestic or foreign laws or regulations. You shall comply with any applicable export control laws and regulations promulgated and administered by the governments of any countries asserting jurisdiction over the parties or transactions.
12. It is the responsibility of the buyer or distributor of Renesas Electronics products, or any other party who distributes, disposes of, or otherwise sells or transfers the product to a third party, to notify such third party in advance of the contents and conditions set forth in this document.
13. This document shall not be reprinted, reproduced or duplicated in any form, in whole or in part, without prior written consent of Renesas Electronics.
14. Please contact a Renesas Electronics sales office if you have any questions regarding the information contained in this document or Renesas Electronics products.

(Note 1) "Renesas Electronics" as used in this document means Renesas Electronics Corporation and also includes its directly or indirectly controlled subsidiaries.

(Note 2) "Renesas Electronics product(s)" means any product developed or manufactured by or for Renesas Electronics.

(Rev. 4.0-2 April 2020)

Corporate Headquarters

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan
www.renesas.com

Contact Information

For further information on a product, technology, the most up-to-date version of a document, or your nearest sales office, please visit:
www.renesas.com/contact/

Trademarks

Renesas and the Renesas logo are trademarks of Renesas Electronics Corporation. All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.