

高速电感正余弦输出位置传感器芯片

1. 产品特性

- AEC-Q100 Grade0 汽车级认证
- 符合 ISO26262 功能安全 ASIL B
- 支持最高转速超过 600K rpm
- 精度 $\pm 0.36^\circ\text{el}$ 、最高 $\leq 0.05^\circ$
- 支持自动校准功能
- 通过电源端或编程引脚单线编程
- 诊断功能：断线、短路、过压、过温、过流、线圈输入断路
- 高可靠性设计：电源耐压 48V、输出耐压 24V
- 抗电磁干扰能力强
- 适合紧凑型穿轴安装结构
- 工作温度范围：-40°C到 150°C
- 封装形式：小型 TSSOP-16、QFN3*3-16

2. 产品应用

- 主驱电机
- 机器人关节控制
- EPS 电机
- 电子制动助力器
- 高速绝对旋转位置编码器

3. 产品描述

SC60410 是一款非接触式高速、高精度电感式位置传感器芯片系列，可用于汽车和工业应用中的高速绝对位置感应。该芯片基于涡流效应原理，通过检测金属目标物在一组线圈上方的位移引起的感应电压变化实现目标物位置的精准测量。

SC60410 支持用户通过编程引脚对输出信号在自校准后进行微调。支持单周期线圈设计下最高转速超过 600K rpm，并实现超低传输延时($<4\mu\text{s}$)，电机稳态运行条件下接近零延时特性。

SC60410 通过滤波、放大、解调、偏移补偿来处理捕获信息，并提供差分正弦和余弦输出。编码器传感器精度可以做到一个电周期 $\leq 0.36^\circ\text{el}$ 。

SC60410 采用 16 脚的 TSSOP-16、QFN3*3-16 封装，亚光镀锡，采用无卤绿料，满足环保要求。

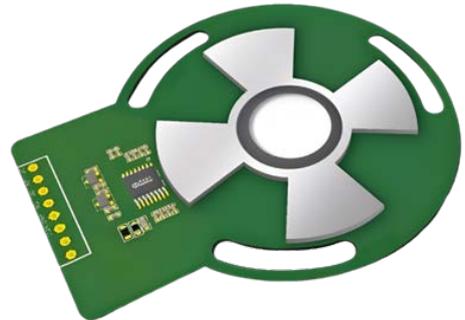


图 1 工作示意图

目录

1. 产品特性	1	11. EEPROM 说明.....	12
2. 产品应用	1	11.1. EEPROM 列表.....	12
3. 产品描述	1	11.2. 寄存器位说明.....	13
4. 引脚描述	4	12. SIN/COS 模拟量输出.....	15
5. 订购信息	6	13. 电源供电连接方式	16
6. 极限参数	7	14. 封装信息	18
7. 静电保护	7	14.1. TSSOP16 封装 (TG)	18
8. 工作参数	8	14.2. QFN3*3-16 封装 (QC)	19
9. 功能模块	10	15. 包装规范	20
10. 功能描述.....	11	15.1. TSSOP16 封装 (TG)	20
10.1. 自动校准.....	11	15.2. QFN3*3 封装 (QC)	21
10.2. 诊断功能.....	11	16. 历史版本	22

4. 引脚描述

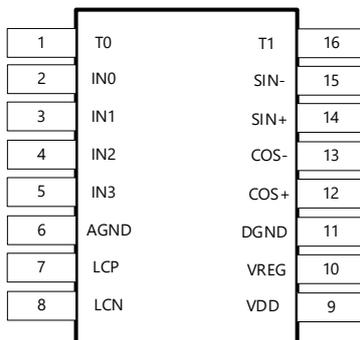


图 2 TSSOP16 引脚描述

引脚		类型	描述
名称	PIN		
T0	1	输出	测试引脚
IN0	2	输入	接收线圈输入 0
IN1	3	输入	接收线圈输入 1
IN2	4	输入	接收线圈输入 2
IN3	5	输入	接收线圈输入 3
AGND	6	地	模拟地
LCP	7	输入	激励线圈输出正极
LCN	8	输入	激励线圈输出负极
VDD	9	电源	供电电源
VREG	10	输出	芯片内部高压 LDO 输出端，外接 100nF 去耦电容
DGND	11	地	数字地
COS+	12	输入/输出	模拟量：余弦信号正端输出
COS-	13	输入/输出	模拟量：余弦信号负端输出
SIN+	14	输出/输入	模拟量：正弦信号正端输出
SIN-	15	输出	模拟量：正弦信号负端输出
T1	16	输出/输入	单线编程引脚

16-Pin QFN 3X3 封装
(俯视图)

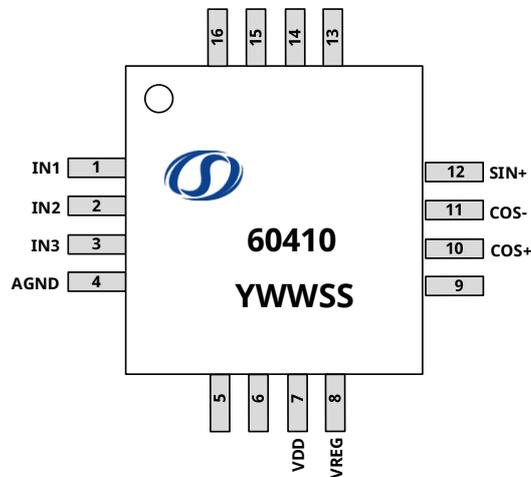


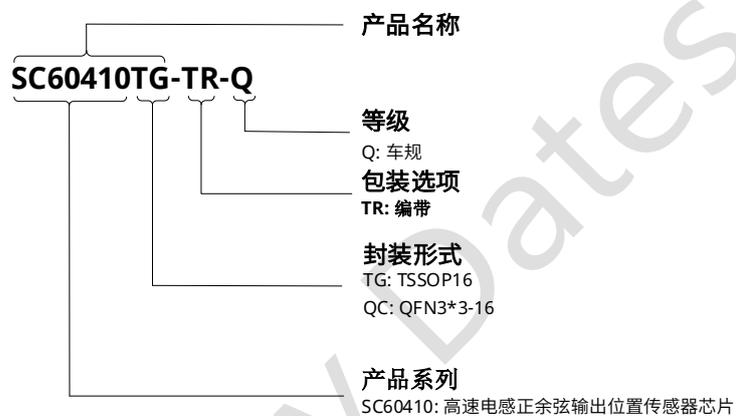
图 3 QFN3*3-16 引脚描述

引脚		类型	描述
名称	PIN		
IN1	1	输入	接收线圈输入 1
IN2	2	输入	接收线圈输入 2
IN3	3	输入	接收线圈输入 3
AGND	4	地	模拟地
LCP	5	输入	激励线圈输出正极
LCN	6	输入	激励线圈输出负极
VDD	7	电源	供电电源
VREG	8	输出	芯片内部高压 LDO 输出端, 外接 100nF 去耦电容
DGND	9	地	数字地
COS+	10	输出	模拟量: 余弦信号正端输出
COS-	11	输出	模拟量: 余弦信号负端输出
SIN+	12	输出	模拟量: 正弦信号正端输出
SIN-	13	输出	模拟量: 正弦信号负端输出
T1	14	输入/输出	单线编程引脚
T0	15	输入/输出	测试引脚
IN0	16	输入	接收线圈输入 0

5. 订购信息

产品代码	丝印	输出形式	温度范围(°C)	封装外形	包装方式	数量
SC60410TG-TR-Q	60410	±SIN/COS	-40~150	TSSOP16	编带	3000 颗/盘
SC60410QC-TR-Q	60410	±SIN/COS	-40~150	QFN3*3-16	编带	5000 颗/盘

订购信息格式说明



6. 极限参数

全工作温度范围(除非另有说明)⁽¹⁾

符号	参数	测试条件	最小值	最大值	单位
V _{DD}	电源端耐压	t<60s	-5.5	48	V
V _{REG}	稳压端耐压	t<60s	-0.3	5.5	V
V _{IO}	输出端耐压		-12	24	V
V _{LCP/LCN}	激励线圈输入		-0.5	5.5	V
V _{INX}	接受线圈输入		-0.5	5.5	V
SDA	数字输出/输入		-0.5	5.5	V
SCL	数字时钟输入		-0.5	5.5	V
T _A	工作温度		-40	150	°C
T _J	最大结温		-55	165	°C
T _{STG}	储藏温度		-65	175	°C

备注:

(1)高于此处列出的压力可能会导致器件永久损坏, 长时间暴露在绝对最大额定值条件下可能会影响器件的可靠性

7. 静电保护

符号	参数	测试条件	最小值	最大值	单位
V _{ESD_HBM}	静电防护(HBM)	人体模型(HBM)测试按照 AEC-Q100-002 标准	-4	4	kV
V _{ESD_CDM}	静电防护(CDM)	充电器件模型(CDM) 测试按照 AEC-Q100-011 标准	-750	750	V

8. 工作参数

条件：除非另有说明，否则 $V_{DD}=5V \pm 10\%$ ， T_A 为 -40°C 至 150°C

符号	参数说明	测试条件	最小值	典型值 ⁽¹⁾	最大值	单位
电源端特性						
V_{DD_5V}	5V 应用工作电压	参考 5V 应用电路连接	4.5	5.0	5.5	V
$V_{DD_3.3V}$	3.3V 应用工作电压	参考 3.3V 应用电路连接	3.0	3.3	3.6	V
I_{DD_5V}	5V 应用工作电流	$V_{DD}=5.0V$	-	8.0	12	mA
$I_{DD_3.3V}$	3.3V 应用工作电流	$V_{DD}=3.3V$	-	7.0	11	mA
V_{VREG}	5V 工作, VREG 引脚电压	$V_{DD}=5.0V$	4.5	4.8	-	V
C_{VREG}	VREG 引脚去耦电容		47	100	470	nF
V_{OVP}	过压诊断开启电压	当电源电压高过此电压, 输出关闭	6.5	7.0	7.5	V
V_{OVP_HYS}	过压诊断迟滞电压		0.2	0.5	0.8	V
V_{UVR}	欠压诊断开启电压	当电源电压低于此电压, 输出关闭	3.4	3.7	4.3	V
V_{UVR_HYS}	欠压诊断迟滞电压		0.1	0.3	0.5	V
LC 振荡器参数						
I_{OSC}	LC 振荡器驱动电流	$L=3\mu\text{H}$, $C=1\text{nF}$, $R_s=2\Omega$	2.0	-	10	mA
V_{OSC}	LC 振荡器振荡幅度	$L=3\mu\text{H}$, $C=1\text{nF}$, $R_s=2\Omega$	3.0	3.5	4.0	Vpp
F_{OSC}	LC 振荡器振荡频率	$L=3\mu\text{H}$, $C=1\text{nF}$, $R_s=2\Omega$	2	4	5	MHz
L_{OSC}	激励线圈电感值		2	-	10	μH
线圈输入信号						
V_{PPIN}	IN_x 输入信号幅度		5	-	100	mV
SIN/COS 模拟量输出						
V_{PP5V}	5V 应用正余弦输出幅度	$V_{DD}=5.0V$	1	2	3.8	Vpp
$V_{PP3.3V}$	3.3V 应用正余弦输出幅度	$V_{DD}=3.3V$	1	1.25	2.64	Vpp
V_{DC}	正余弦直流电平		-	2.5	-	V
OFF_{VPP}	正余弦输出幅度偏差		-8	0.0	8	mV
OFF_{VDC}	正余弦直流电平偏差		-5	0.0	5	mV
R_{LOAD}	正余弦输出上下拉电阻		4.7	47	100	k Ω
C_{LOAD}	正余弦输出负载电容	输出端口电容负载	4.7	10	47	nF
T_{DELAY}	正余弦输出信号延时	1000 转/分钟匀速转动	-	-	4	μs
Noise	输出噪声	最大增益, 无输出滤波, 线圈输入短路	-	2	5	mV
Rpm	转速	单周期线圈	-	-	600000	rpm

工作参数表续

符号	参数说明	测试条件	最小值	典型值 ⁽¹⁾	最大值	单位
A/D 转换特性						
$R_{ES(SD)}$	ADC 分辨率		-	14	-	Bit
$T_{(ON)}$	启动时间		-	-	5	ms
诊断功能						
D_{sat_lo}	主动诊断输出电平	下拉电阻 $R \geq 4.7k\Omega$	-	0.5	1	%VDD
		上拉电阻 $R \geq 4.7k\Omega$	99	99.5	-	%VDD
BV_{SSPD}	被动诊断输出电平(开路)	VSS 开路, 下拉电阻, $4.7k\Omega \leq R \leq 47k\Omega$	-	0	3	%VDD
BV_{SSPU}		VSS 开路, 上拉电阻, $4.7k\Omega \leq R \leq 47k\Omega$	97	98	-	%VDD
BV_{DDPD}		VDD 开路, 下拉电阻, $4.7k\Omega \leq R \leq 47k\Omega$	-	0	1	%VDD
BV_{DDPU}		VDD 开路, 上拉电阻, $4.7k\Omega \leq R \leq 47k\Omega$	96.5	98	-	%VDD
OTP	过温保护		-	175	-	°C
I_{OCP}	过流保护		-		30	mA

备注:

(1) 环境温度+25°C, $V_{DD}=5V$ 条件下的测试值为典型值

9. 功能模块

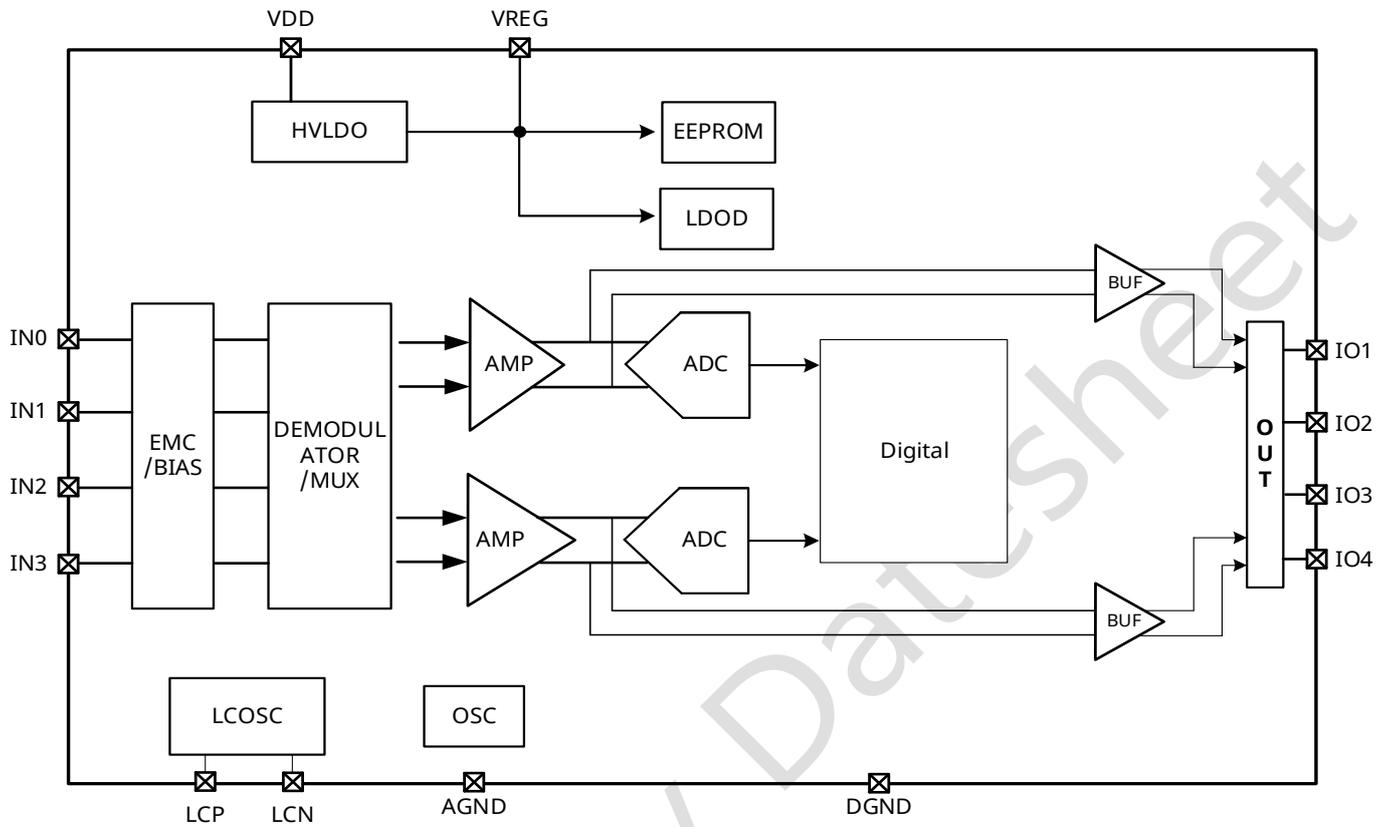


图 4 功能框图

10. 功能描述

10.1. 自动校准

外部触发：

- 1、外部转子匀速转动，转速 $\leq 600\text{K rpm}$ （转速不同影响自动校准完成时间，1kHz 对应完成时间 2s）；
- 2、芯片上电后，500us 内芯片内部对输出引脚电压进行检测，当输出引脚电压 OUT1~OUT4 对应状态位'1001'时（SIN+ 和 COS-接 47k Ω 接电源、SIN-和 COS+接 47k Ω 到地），触发自校准模式；
- 3、内部对接收信号进行处理，通过 ADC 后识别到信号峰峰值和共模偏差；
- 4、通过与目标值比较，内部反馈控制信号的放大倍数和 vos 补偿值，将接收信号调整到目标阈值内；
- 5、两路信号均在目标阈值内时，自校准完成，自动将当前增益与 vos 补偿值烧写入 EEPROM，并发送完成标志信号，使得芯片功耗额外增加 10mA；
- 6、若内部放大倍数或 vos 补偿值达到极限，接收信号还未调整到目标阈值内，则将最优值烧写入 EEPROM，并发送完成标志信号，使得芯片功耗额外增加 10mA（重新上电后额外电流会关闭，不影响正常输出。10mA 表示自校准完成，判定自校准是否成功仅在通讯时查询内部规定寄存器状态）。

主动编程触发：

- 1、芯片上电后，主动编程，发送规定 code，进入自校准模式；
- 2~6 步骤与外部触发一致；

10.2. 诊断功能

SC60410 提供了众多自我诊断功能（安全机制）。这些功能通过防止可能导致错误输出信号的 SC60410 连接的感应传感器的随机硬件故障，从而提高整个传感器系统的安全性。在下表中，仅列出了与传感器事件相关的监控项。有关安全机制和监控的完整概述，请参考安全手册。

序号	类别和安全机制名称	输出状态 (SIN+、SIN-、COS+、COS-)
1	供电电压过压保护	高阻态
2	供电电压欠压保护	高阻态
3	过流保护	限流
4	电源引脚或 GND 引脚断线检测	高阻态
5	电感线圈的开路检测	高阻态
6	过温保护	高阻态
7	输出短路到电源/地	限流

11. EEPROM 说明

11.1. EEPROM 列表

Page	Row	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	
0	0	EE_CODE<3>	PWMMS	CAL_LSEL<3:0>			EE_CODE<2>	CalibMASK		
	1	PID_FILTER_SEL<1:0>		DP<13:8>						
	2	DP<7:0>								
	3	TRIMBG<2:0>			TRIMOSC<4:0>					
	4	GAIN_TH<1:0>		VOS_TH<1:0>		VOSEN	LC_AMSEL	LC_IREF	G1	
	5	EE_CODE<1>	CRCMASK	OTPMASK	OVPMASK	UVLOMASK	RXDMASK	LCFREMASK	LCVPPMASK	
	6	ABZEDG<1:0>		ABZ_HYS<1:0>		ABZWID<1:0>		ABZLINE<2:1>		
	7	ABZLINE<0>	PWMCTRL	PWMPOL	PWMT	EE_CODE<0>	DIR	OUTMOD<1:0>		
	8	VOS3_SIN<3:0>				VOS3_COS<3:0>				
	9	G2<3:0>				G3<3:0>				
	A	V3P3EN	G2F_SIN<2:0>			CLK_SLOW	G2F_COS<2:0>			
	B	VOS_SIN_G<7:0>								
	C	VOS_COS_G<7:0>								
	D	VOS_SIN_F<7:0>								
	E	VOS_COS_F<7:0>								
	F	CRC								

11.2. 寄存器位说明

符号	位数	读/写	位地址	描述
EE_CODE[3:0]	4	R/W	0x00[7]+0x00[1]+0x05[7]+0x07[3]	EE_CODE=4'b1100 时可以擦写 EEPROM
CalibMASK	1	R/W	0x00[0]	自校准与自动调零功能屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
CAL_LSEL[3:0]	4	R/W	0x00[5:2]	自校准 max/min 计数时长 6: 适用频率 60Hz (自校准完成时间 10S)
PID_FILTER_SEL<1:0>	2	R/W	0x01[7:6]	转速选择 00: 60 万转; 11: 6 万转;
GAIN_TH<1:0>	2	R/W	0x04[7]+0x04[6]	芯片自校准 VPP 阈值 0x04[7]=0: 粗调 $\pm 15\%$ 0x04[7]=1: 粗调 $\pm 10\%$ 0x04[6]=0: 细调 $\leq 1.5\%$ 0x04[6]=1: 细调 $\leq 1\%$
VOS_TH<1:0>	2	R/W	0x04[5]+0x04[4]	芯片自校准 VOS 阈值 0x04[5]=0: 粗调 $\pm 2\%$ 0x04[5]=1: 粗调 $\pm 1\%$ 0x04[4]=0: 细调 $\leq 2\%$ 0x04[4]=1: 细调 $\leq 1\%$
VOSEN	1	R/W	0x04[3]	内部 VOS 使能, 0: VOS 无效 1: VOS 有效
LC_AMSEL	1	R/W	0x04[2]	LC 输出 VPP 选择 0: 2.8V 1: 3.8V
G1	1	R/W	0x04[0]	第一级增益选择 0:x2 1: x4
CRCMASK	1	R/W	0x05[6]	CRC 诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
OTPMASK	1	R/W	0x05[5]	OTP 诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
OVPMASK	1	R/W	0x05[4]	OVP 诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
UVLOMASK	1	R/W	0x05[3]	UVLO 诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
RXDMASK	1	R/W	0x05[2]	RX_OPEN 诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
LCFREEMASK	1	R/W	0x05[1]	LC 频率诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
LCVPPMASK	1	R/W	0x05[0]	LC 幅值诊断屏蔽, 0: 有效 1: 屏蔽
OUTMOD	2	R/W	0x07[1:0]	输出模式配置: 2: 模拟正余弦输出模式;
VOS3_SIN<3:0>	4	R/W	0x08[7:4]	SIN 支路第三级 VOS 补偿
VOS3_COS<3:0>	4	R/W	0x08[3:0]	COS 支路第三级 VOS 补偿
G2<3:0>	4	R/W	0x09[7:4]	第二级增益调节: 8~123 x1.2
G3<3:0>	4	R/W	0x09[3:0]	第三级增益调节: 1~4 x1.1
V3P3EN	1	R/W	0x0A[7]	3.3V 应用标志位
G2F_SIN<2:0>	3	R/W	0x0A[6:4]	SIN 支路增益细调

EEPROM说明表序

G2F_COS<2:0>	3	R/W	0x0A[2:0]	COS 支路增益细调
VOS_SIN_G<7:0>	8	R/W	0x0B[7:0]	SIN 支路 VOS 补偿, 粗调
VOS_COS_G<7:0>	8	R/W	0x0C[7:0]	COS 支路 VOS 补偿, 粗调
VOS_SIN_F<7:0>	8	R/W	0x0D[7:0]	SIN 支路 VOS 补偿, 细调
VOS_COS_F<7:0>	8	R/W	0x0E[7:0]	COS 支路 VOS 补偿, 细调
CRC	8	R	0x0F[7:0]	CRC

12. SIN/COS 模拟量输出

典型应用图

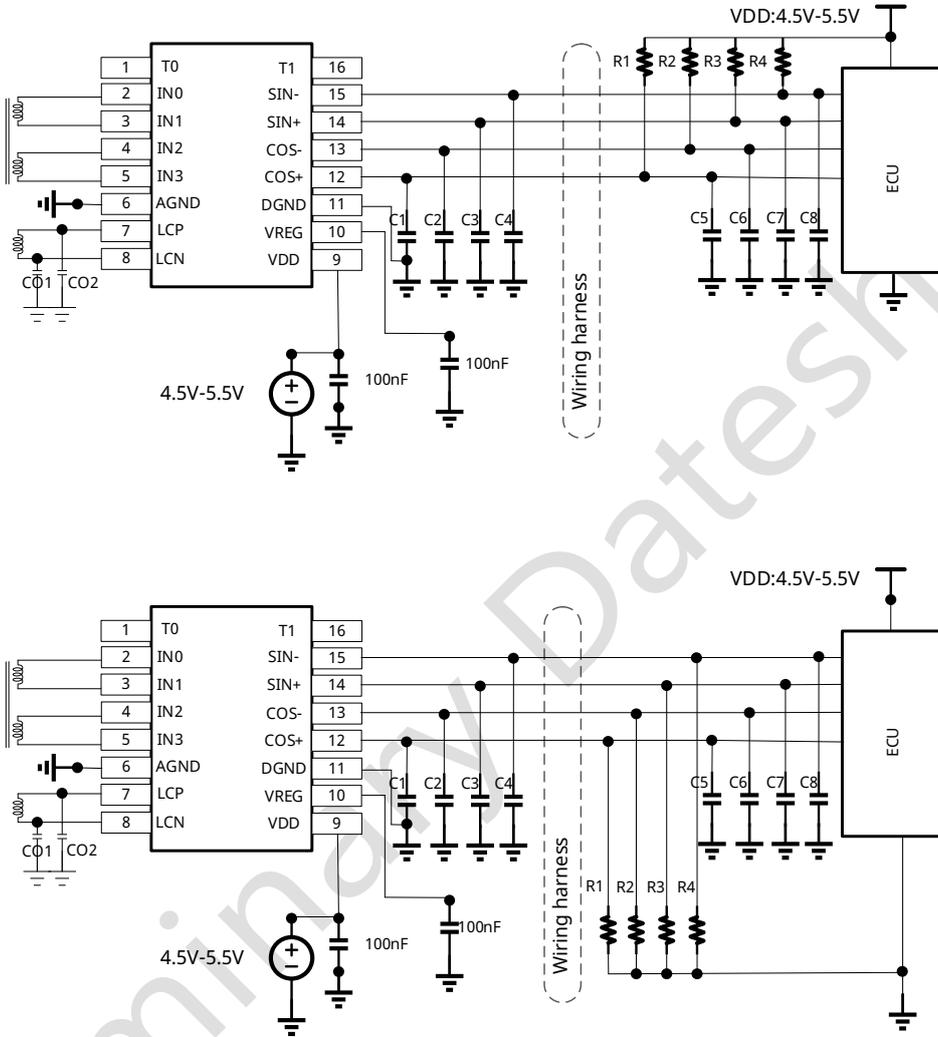


图5 模拟输出应用图(虚线前为传感器部分电路，虚线后为 ECU 端电路)

备注:

- (1) 输出端电容取值范围 4.7-47nF
- (2) 激励电容计算公式如下:

$$F_{osc} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{C01 \cdot C02 \cdot L_{osc}}{C01 + C02}}}$$

F_{osc} 可接受范围在 1.5MHz-5MHz, 根据 PCB 激励线圈的电感值 L_{osc} , 选取合适的电容值。一般范围在 300pF-2nF 之间。

SIN/COS 输出波形

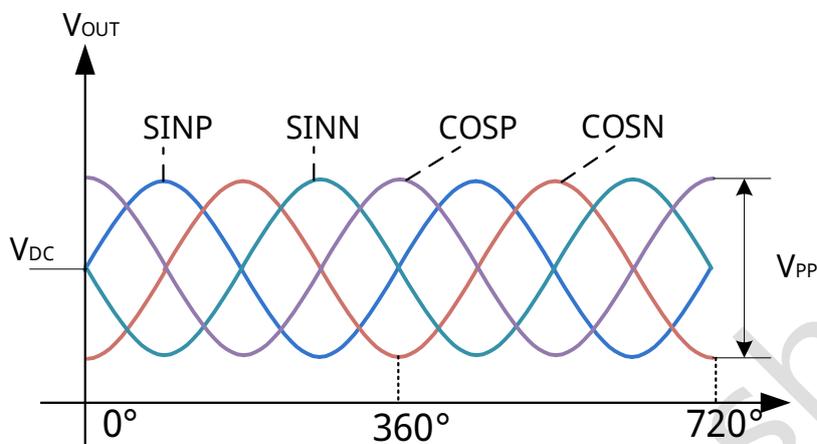


图 6 模拟输出波形图

13. 电源供电连接方式

5V 应用电路连接

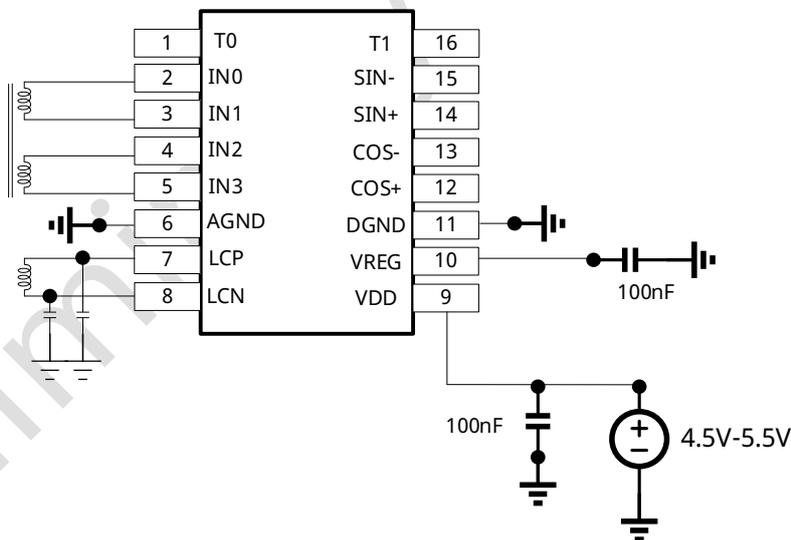


图 7 5V 供电电路图

3.3V 应用电路连接

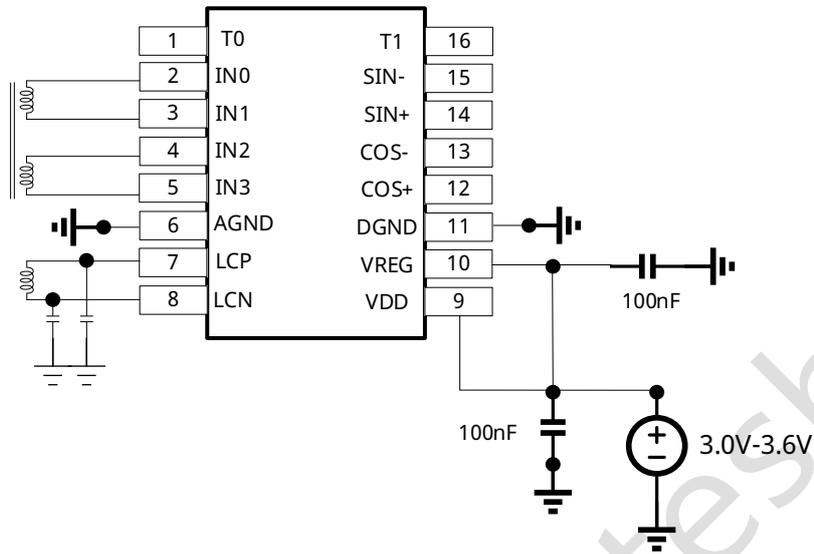
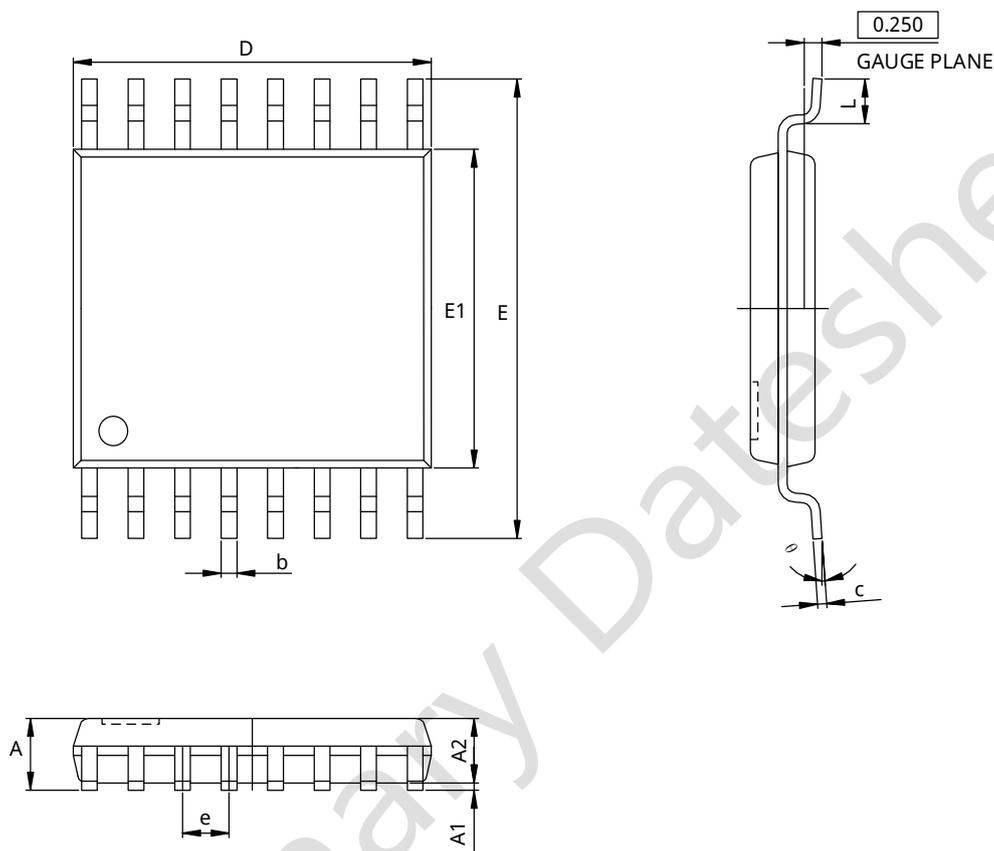


图 8 3.3V 供电电路图

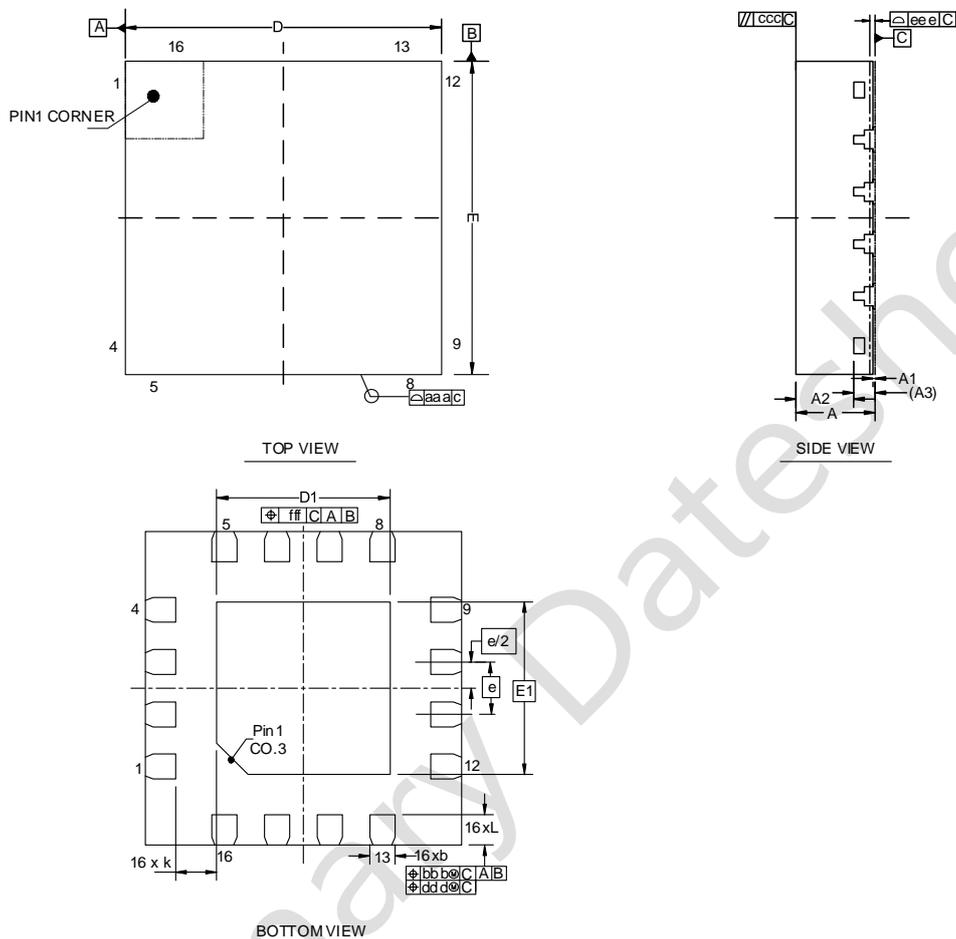
14. 封装信息

14.1. TSSOP16 封装 (TG)



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	-	1.200	-	0.047
A1	0.050	0.150	0.002	0.006
A2	0.800	1.000	0.031	0.039
b	0.190	0.300	0.007	0.012
c	0.090	0.200	0.004	0.008
D	4.900	5.100	0.193	0.201
E	6.250	6.550	0.252(BSC)	
E1	4.300	4.500	0.169	0.177
e	0.650(BSC)		0.026(BSC)	
L	0.500	0.700	0.020	0.028
θ	1°	7°	1°	7°

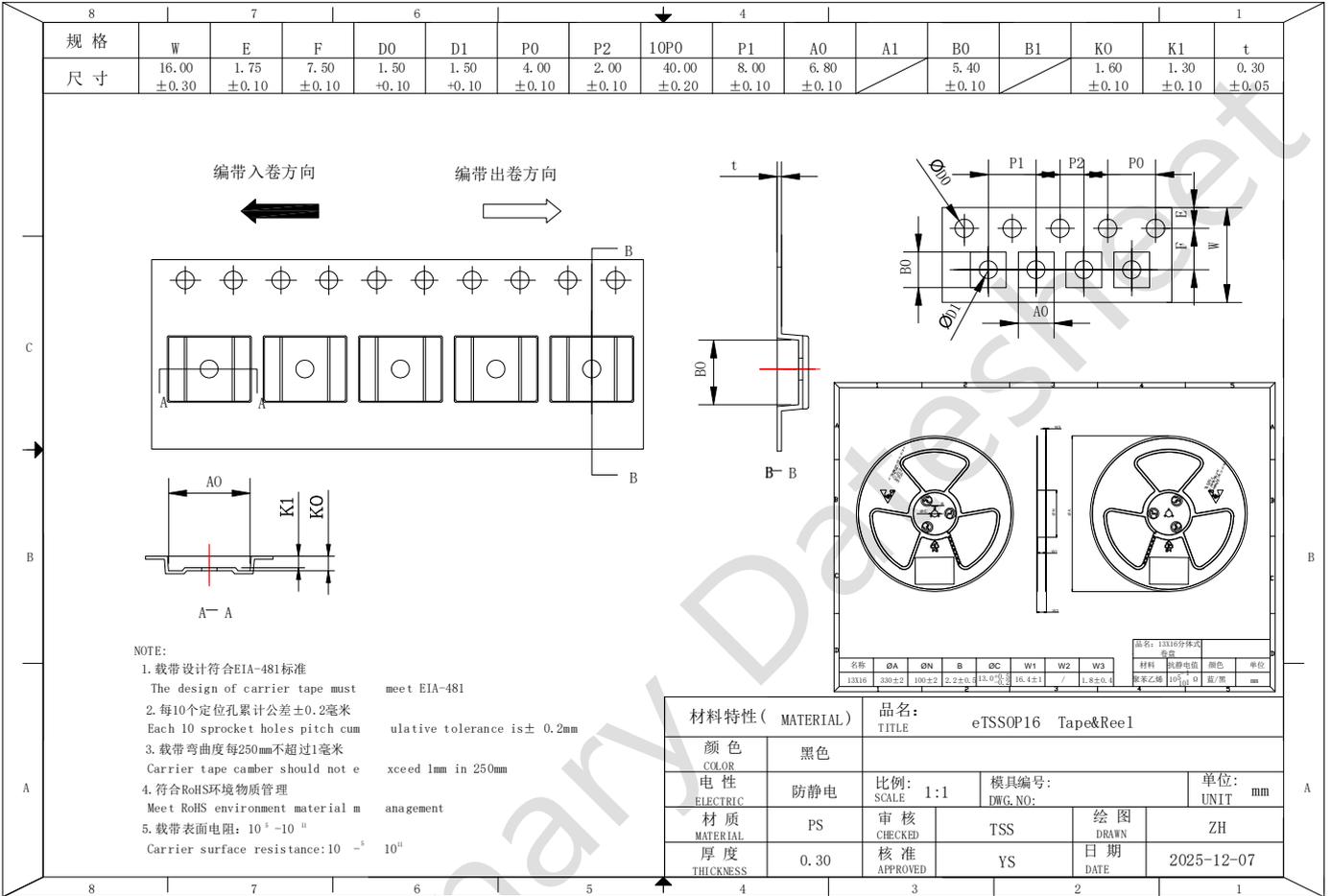
14.2. QFN3*3-16 封装 (QC)



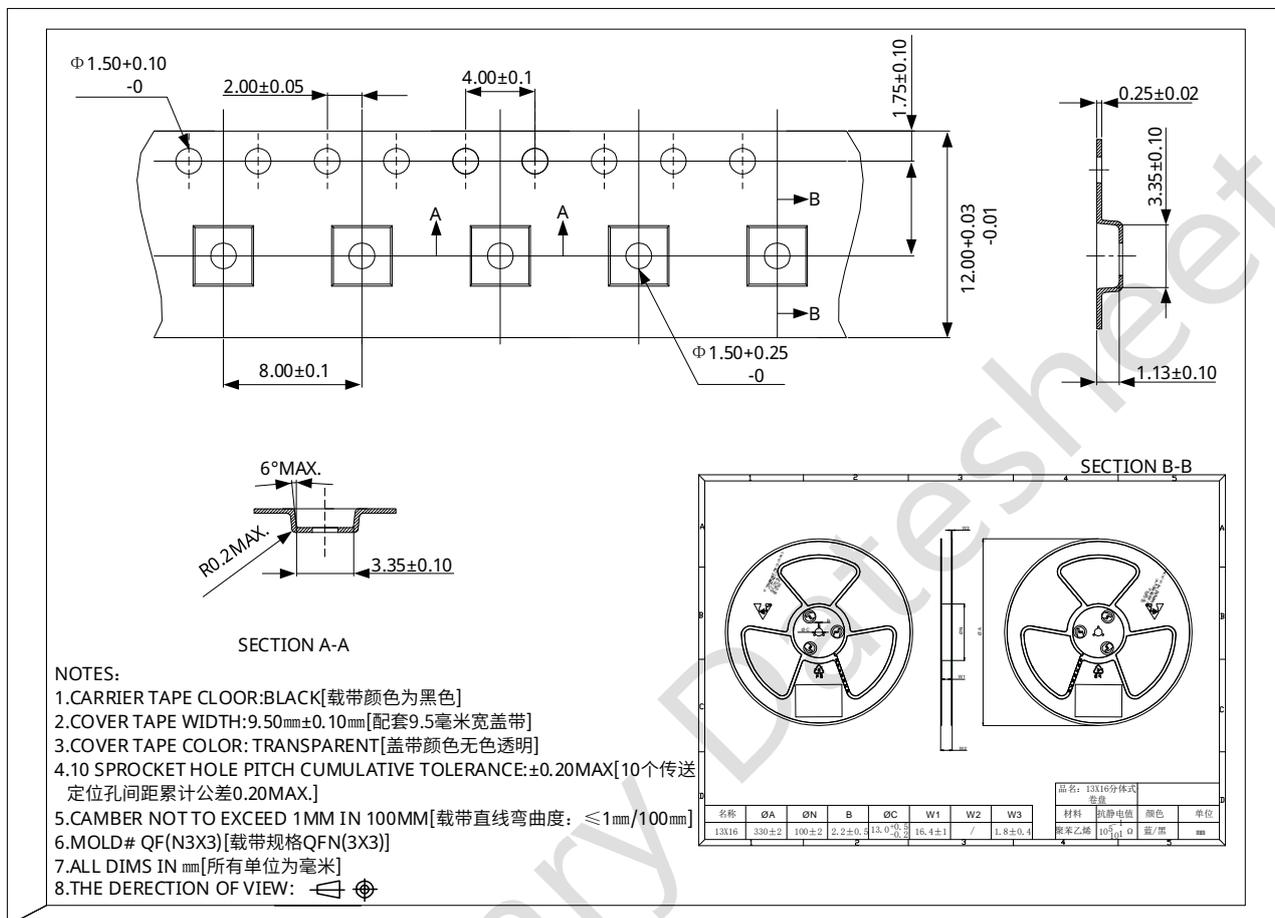
		SYMBOL	MIN	NOM	MAX
TOTAL THICKNESS		A	0.70	0.75	0.80
STAND OFF		A1	0.00	0.02	0.05
MOLD THICKNESS		A2	---	0.55	---
L/F THICKNESS		A3	0.203 REF		
BODY SIZE	X	D	3.00 BSC		
	Y	E	3.00 BSC		
EP SIZE	X	D1	1.50	1.65	1.80
	Y	E1	1.50	1.65	1.80
LEAD WIDTH		b	0.18	0.24	0.30
LEAD PITCH		e	0.500 BSC		
LEAD TIP TO EXPOSED PAD EDGE		k	0.385 BSC		
LEAD LENGTH		L	0.19	0.29	0.39
PACKAGE EDGE TOLERANCE		aaa	0.1000		
MOLD FLATNESS		ccc	0.1000		
COPLANARITY		eee	0.0800		
LEAD OFFSET		bbb	0.1000		
		ddd	0.0500		
EXPOSED PAD OFFSET		fff	0.1000		

15. 包装规范

15.1. TSSOP16 封装 (TG)



15.2. QFN3*3 封装 (QC)



16. 历史版本

版本号	日期	描述
Rev.V0.1	2025-12-10	初始版本
Rev.V0.2	2026-01-11	增加包装信息
Rev.V0.3	2026-01-28	更新输出引脚定义