

倾转方案技术调研——旋转变压器（Resolver）

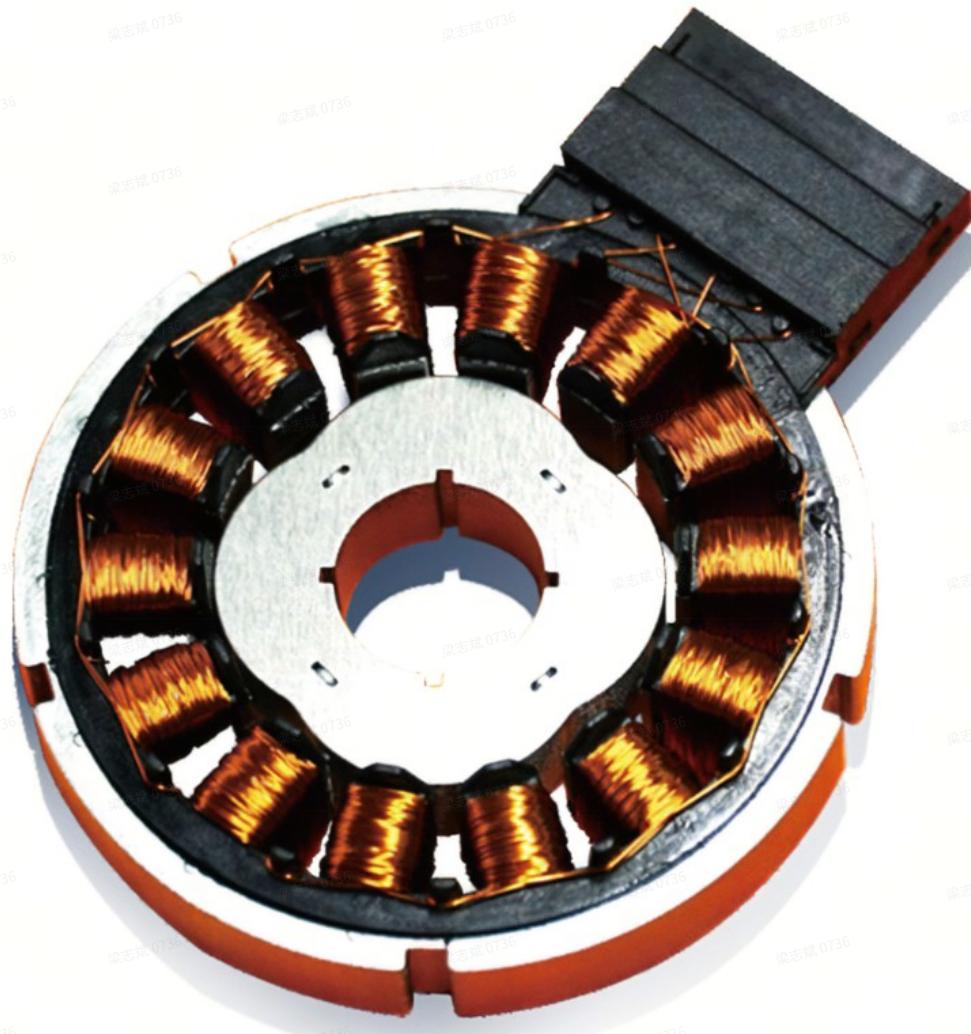
1. 概述：

- 本文档针对旋转变压器（Resolver）进行调研。

2. 旋转变压器工作原理

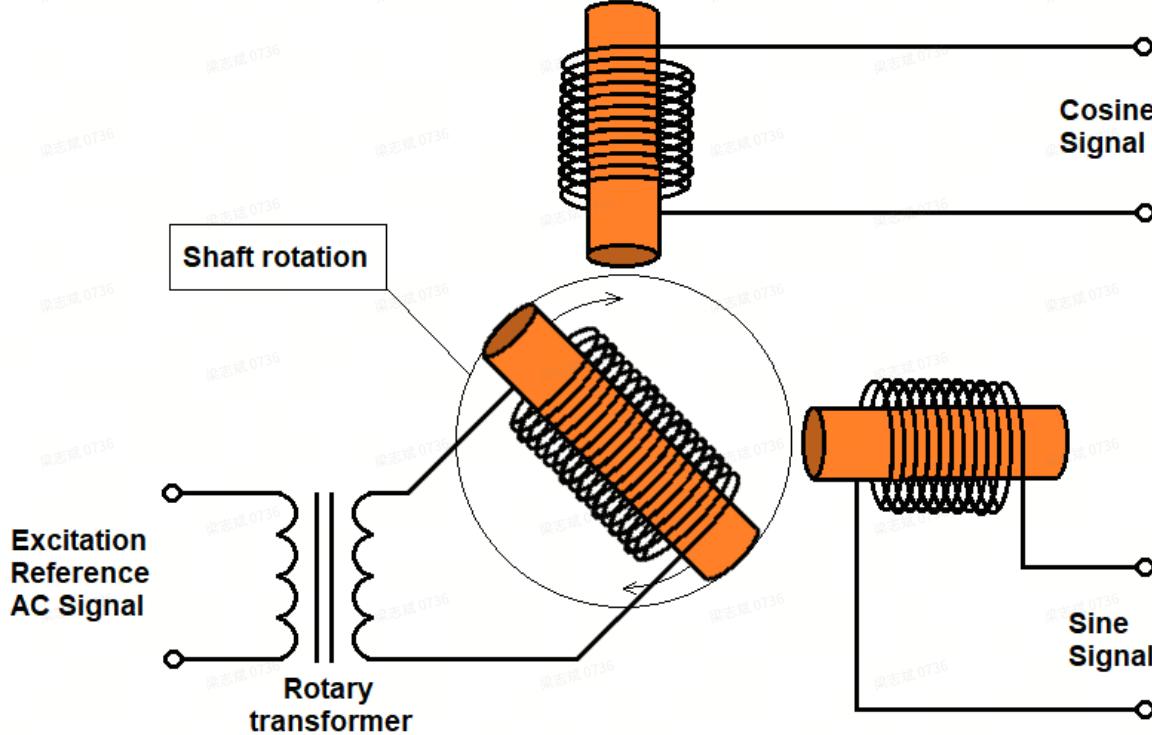
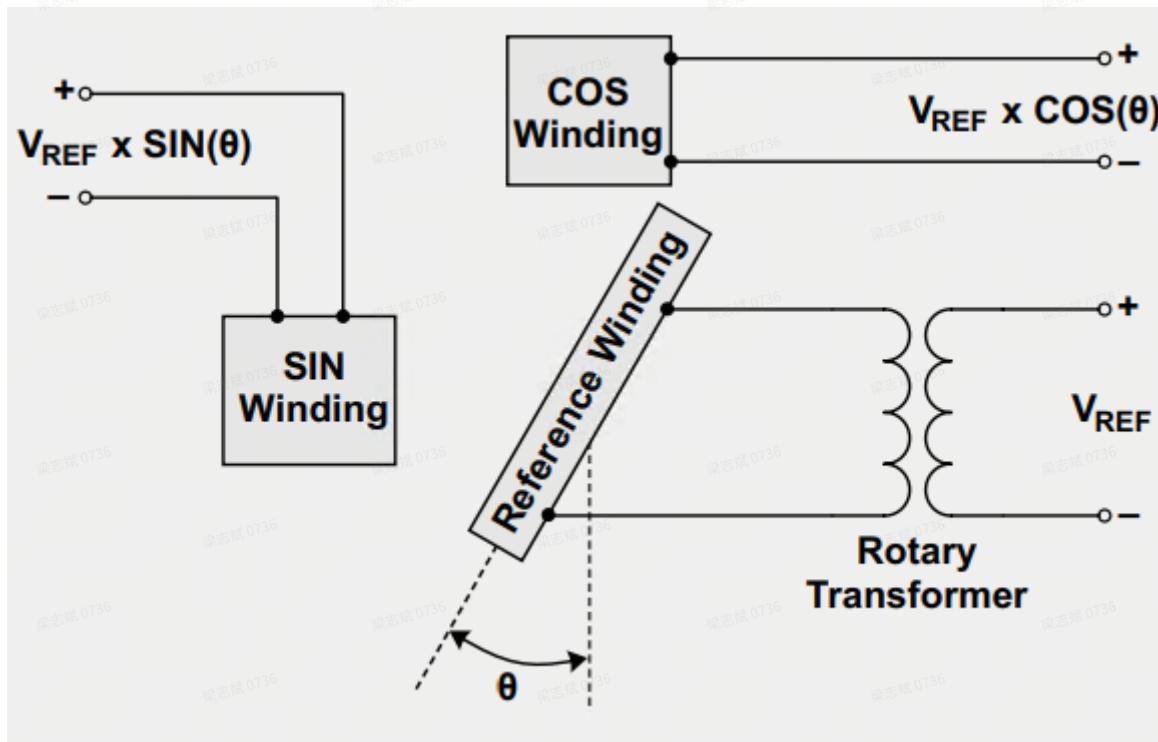
2.1 什么是旋转变压器

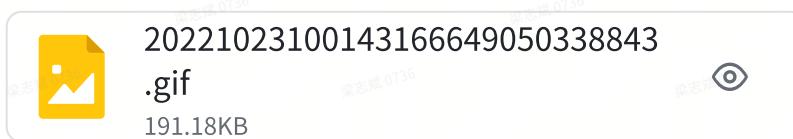
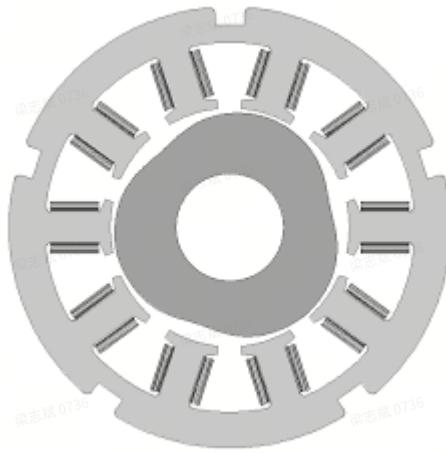
旋转变压器（Resolver）是一种用于测量旋转角度的电磁传感器，广泛应用于工业自动化、电机控制、航空航天、机器人等领域。它通过电磁感应原理，将机械旋转角度转换为电信号，从而实现高精度的角度测量和位置反馈。



无刷式旋转变压器

2.2 旋转变压器的工作原理





旋转变压器与RVDT的区别

	旋转变压器	RVDT
工作原理	电磁感应	
信号模式	输入正弦激励信号，输出一组正弦信号与一组余弦信号	输入交流电压，输出交流电压
测量原理	通过测量两组输出信号的相位来确定位置	通过测量输出交流电压的差值确定位置
精度	±400"~±20'	±0.1%~±2%
解调方式	专用的旋变解调器	RVDT/LVDT共用解调器

3. 旋转变压器产品调研

3.1 调研结论

- 最优器件选型：选择无刷式旋变，轴承类型根据结构选择。**
- 最优供应商选择：Moog与Honeywell有航空专用的旋变型号，其余以工业用或者车用旋变为主，需要再进一步咨询供应商。**
- 疑虑：与电机集成在一起，能否降低对旋变的防水等级要求？**

旋转变压器分类

按照内部结构分类



旋转变压器厂商



3.1 旋转变压器选型型号参考

旋转变压器选型关键物理特征

选型特征	特征描述	需求
直径	15mm~100mm	控制器整体结构小于 120mm^3
测量范围 (冲程)	360°	
外壳材料	不锈钢、铝合金、阳极氧化铝等	

内部结构	有刷	早期部分产品可能存在有刷结构（例如采用滑环接触方式传递信号），但此类设计已因寿命和可靠性等原因逐渐被淘汰。
	无刷	当前主流的旋转变压器均采用无刷设计，即利用电磁感应方式在定子和转子之间传递信号，从而避免了机械接触带来的磨损和维护问题。
轴型	实心轴	结构相对简单可靠，良好的机械稳定性
	空心轴	可以内部走线
最大承载转速		一般在20000RPM左右
使用寿命		一般平均无故障工作时间（MBTF）大于100000h
重量		100~500g

旋转变压器选型关键电气特征

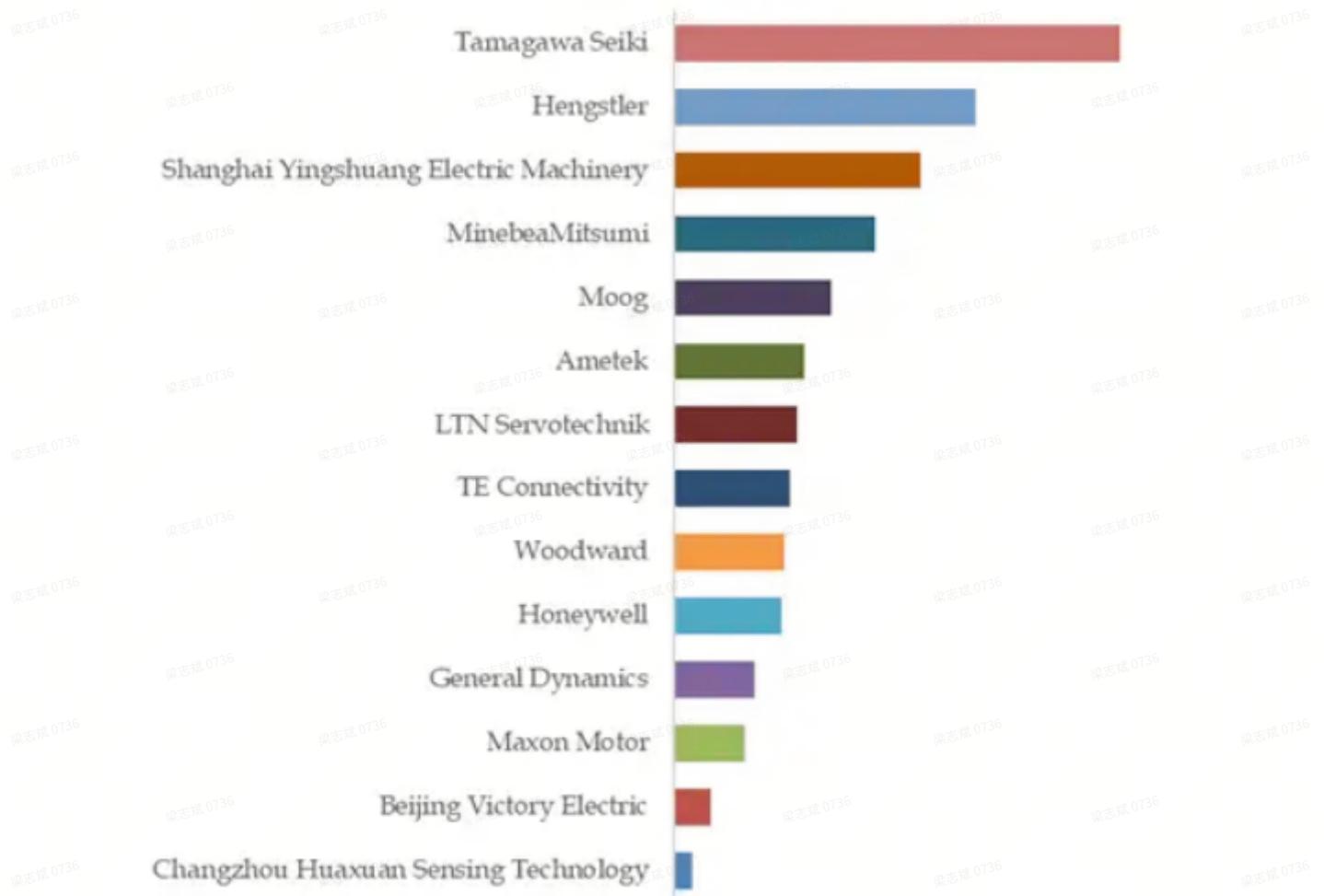
选型特征	特征描述	需求
误差	±400"~±20'	作动器行程采集误差小于0.6mm
输入信号类型	单相正弦交流电压	
输入电压	2V~15V	
输出信号类型	两个互为90°的次级绕组，一个输出正弦电压信号，一个输出余弦电压信号	
工作环境范围	承压、耐高温、耐辐射等	工作温度-40°~90°C
防护等级	IP61~IP68	防水防尘
电磁防护	旋转变压器一般使用不锈钢外壳，可提供电磁和静电干扰保护	

旋转变压器主要生产商参考

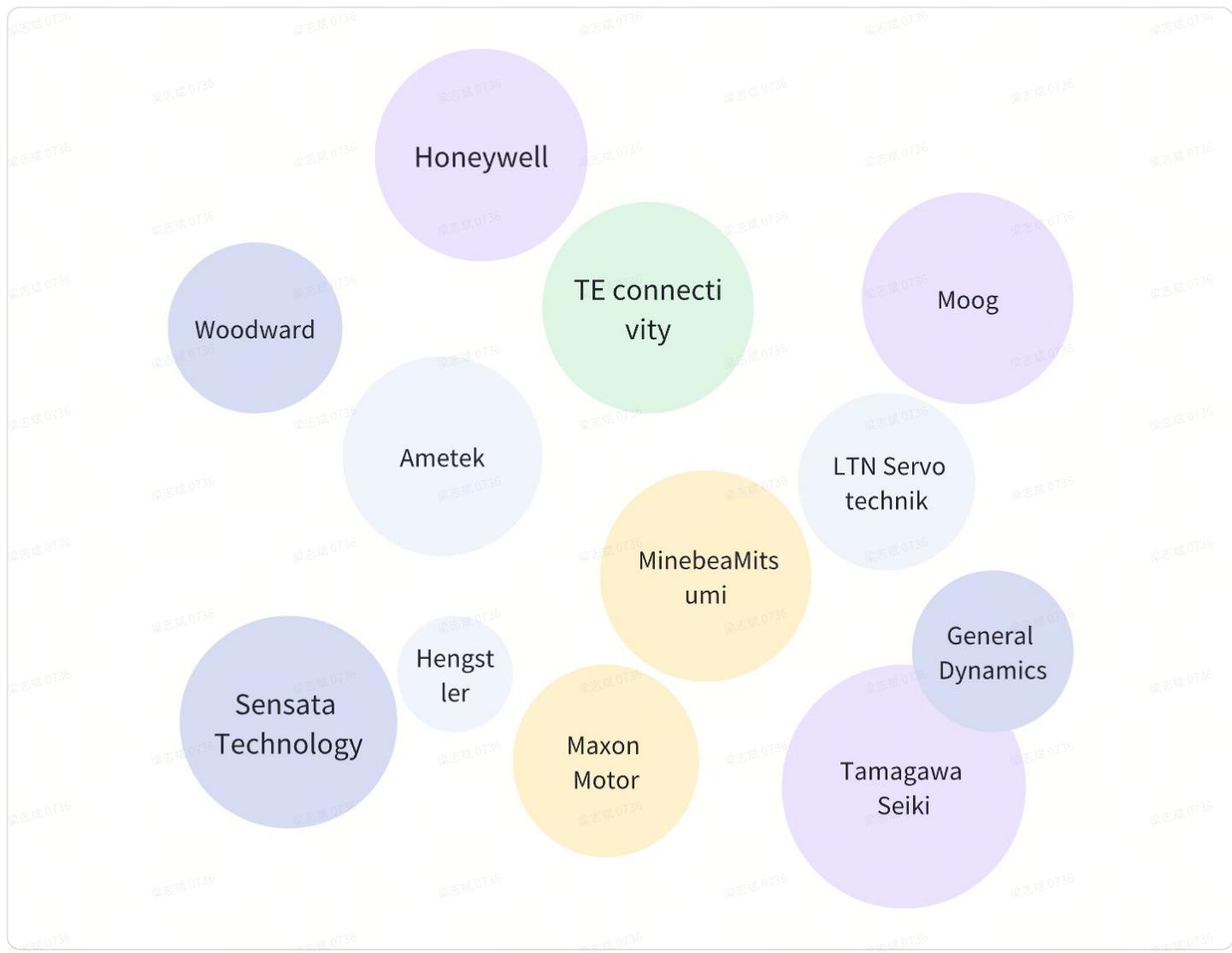
2025-2031中国旋转变压器市场现状研究分析与发展前景预测报告

High Accuracy Resolver Market, Report Size, Worth, Revenue, Growth, Industry Value, Share 2024

全球市场主要企业排名



如上图表/数据，摘自QYResearch报告“全球旋转变压器市场研究报告2023-2029，排名基于2022数据。



主要生产商有：

Tamagawa Seiki, MinebeaMitsumi, Hengstler, Moog, Ametek, LTN Servotechnik, TE Connectivity, Woodward, Honeywell, General Dynamics, Maxon Motor

3.1.1 各厂商不同型号旋转变压器参考

参数	产品系列				
	Honeywell 1inch	Honeywell 3inch	TE 15mm/21mm	Tamagawa Seiki 多摩川 TSY	Moog 航空系列
测量范围 (°)	360	360	360	360	360
直径 (mm)	25.4	76.2	15/21	59.5~167	11~50mm
线性误差 (全量程)	±420"	±420"/±25"	±10 '	±60 '	1~60'
工作温度				-40 to +150°C	

	-50.8 °C to 93.3 °C	-50.8 °C to 93.3 °C	-55 °C to +150 °C		-55 °C to +150 °C
IP等级	IP64	IP64	IP60	IP60	IP60
外壳材料	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢	不锈钢
内部结构	无刷	无刷	无刷	无刷	无刷/有刷
轴承类型	实心轴	空心轴/实心轴	空心轴	空心轴	空心轴
最大转速 (rpm)	20000	20000	20000	20000/10000	20000
参考价格	暂无现货报价 需咨询经销商	暂无现货报价 需咨询经销商	\$200~500 (来源: digikey)	¥1200 (来源: 1688)	暂无现货报价 需咨询经销商

备注：带*号表示该系列有产品能够满足需求

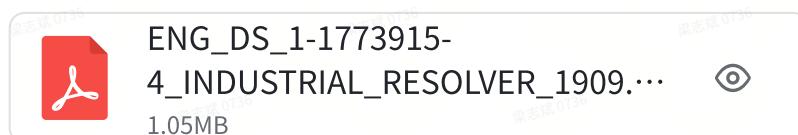
3.2 参考资料 - 旋变产品手册

TE connectivity泰科电子

列表 角度位置传感器 - 空心轴旋转变压器 型号和产品

15/21mm系列

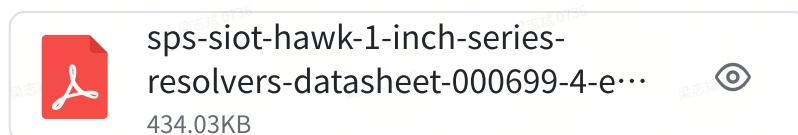
参考价格：100~200/件（来源：digikey）



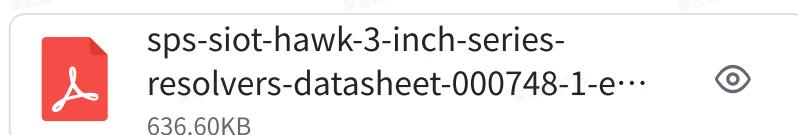
Honeywell霍尼韦尔

Resolvers | Motion and Position Sensors | Honeywell

1inch系列（宽度25.4mm）

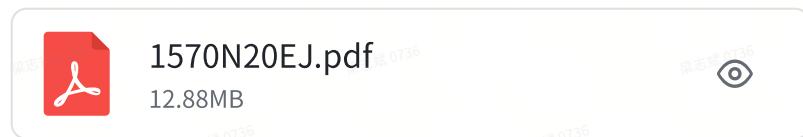


3inch系列（宽度76.2mm）



日本多摩川Tamagawa旋转变压器选型说明书

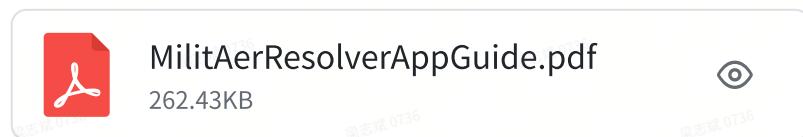
TSY系列



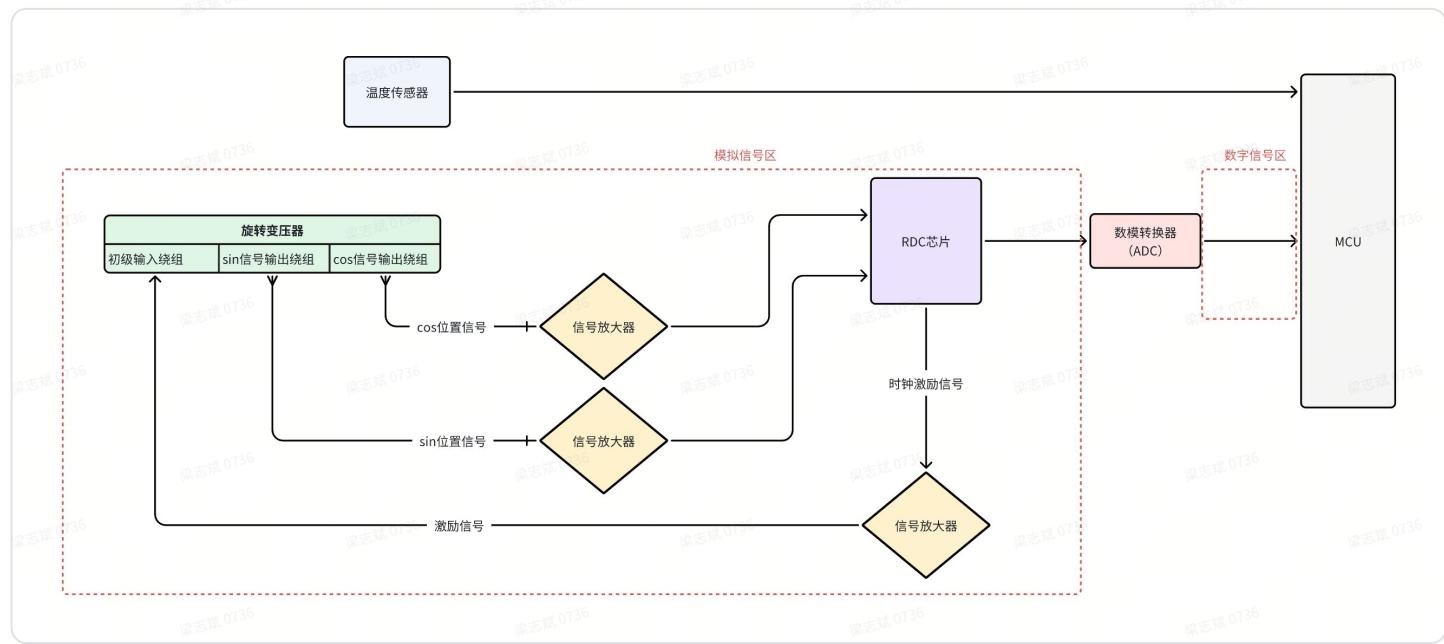
Moog摩格

www.moog.com

Aerospace/Military航空军用系列



4. 旋转变压器信号反馈回路方案参考



典型的RDC信号反馈回路示意图

4.1 旋变-数字转换芯片 (Resolver-to-Digital Converter, 简称RDC) 简介

旋变-数字转换芯片 (Resolver-to-Digital Converter, 简称RDC)，又称轴角-数字转换器，是一类专为旋转变压器而设计的模数转换芯片。它可以将旋转变压器输出的正比于旋转轴角度正弦值和（或）余弦值的电信号转换成对应于旋转角度和(或)角速度的数字输出。

4.1.1 RDC的核心功能

- 激励信号生成：RDC芯片内集成了激励信号发生电路，以产生正弦或余弦激励信号，驱动旋变的激励绕组。
- 模拟信号调理与同步解调：对解析器产生的正、余弦反馈信号进行前端放大、滤波和同步检测（解调），以提取出与角度相关的幅值和相位信息，同时排除共模干扰和噪声。
- 模数转换（ADC）：将调理后的模拟信号转换为数字信号，提供足够分辨率以保证角度转换的精度。
- 数字信号处理：内部集成数字处理模块（如DSP或MCU）对采集到的数据进行校正、补偿（例如温度补偿、幅值匹配补偿）和数学运算（如利用反正切函数计算角度），最终输出数字化的角度信息，有时还会提供角速度、加速度信息。
- 通讯与接口：将处理后的数字数据通过SPI、UART、CAN等标准接口传输到上层控制系统，保证数据快速、准确地传递。

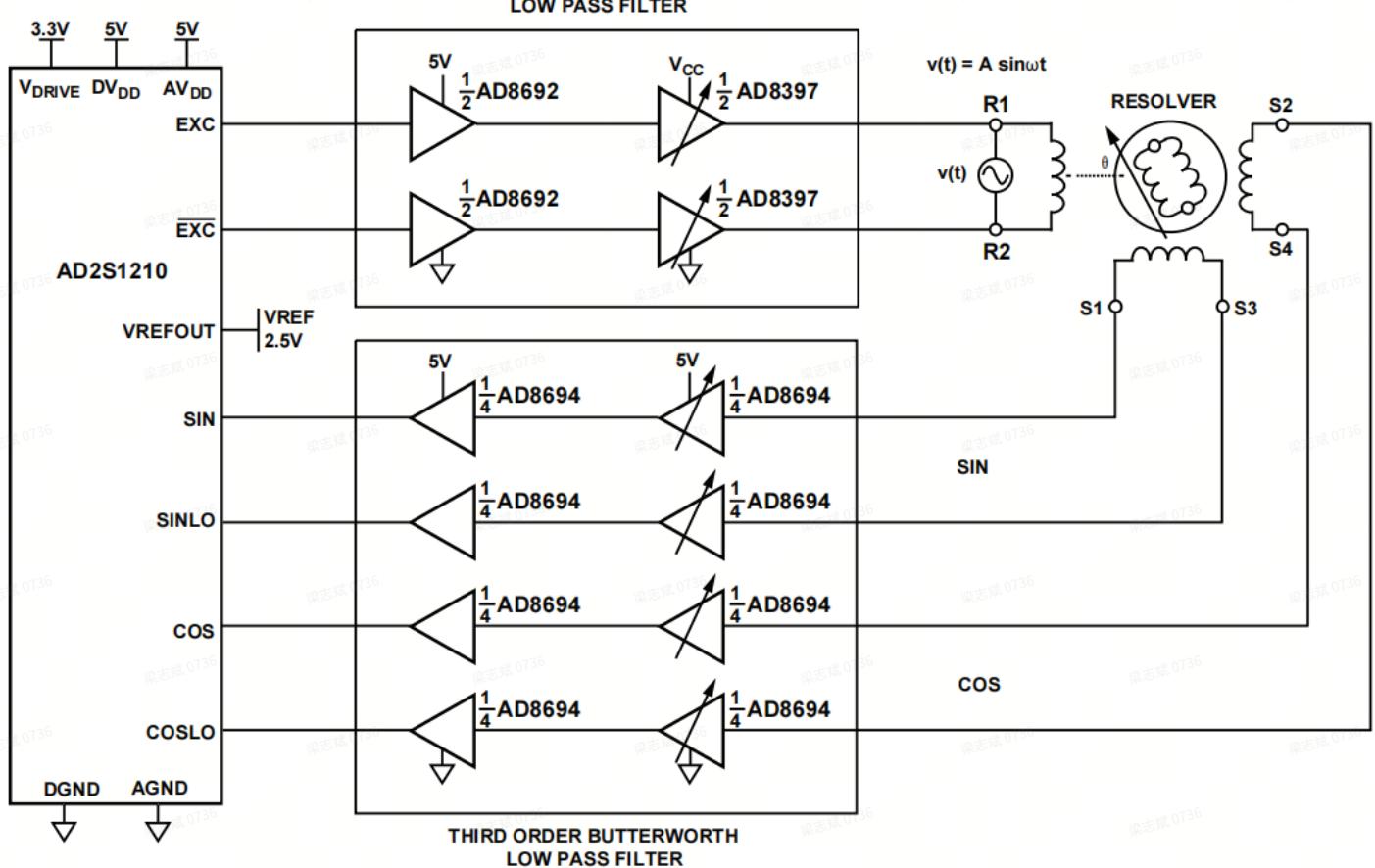
4.1.2 典型组成模块

- 振荡器：生成旋变所需的激励信号。
- 信号放大器：放大初级绕组与次级线圈的差动信号，并降低噪声。
- 解调电路（如相敏检波器）：将交流信号转换为直流。
- 低通滤波器：去除解调后的残余高频成分。
- 输出电路：提供标准化的电压（如0-10 V）或电流（如4-20 mA）输出。

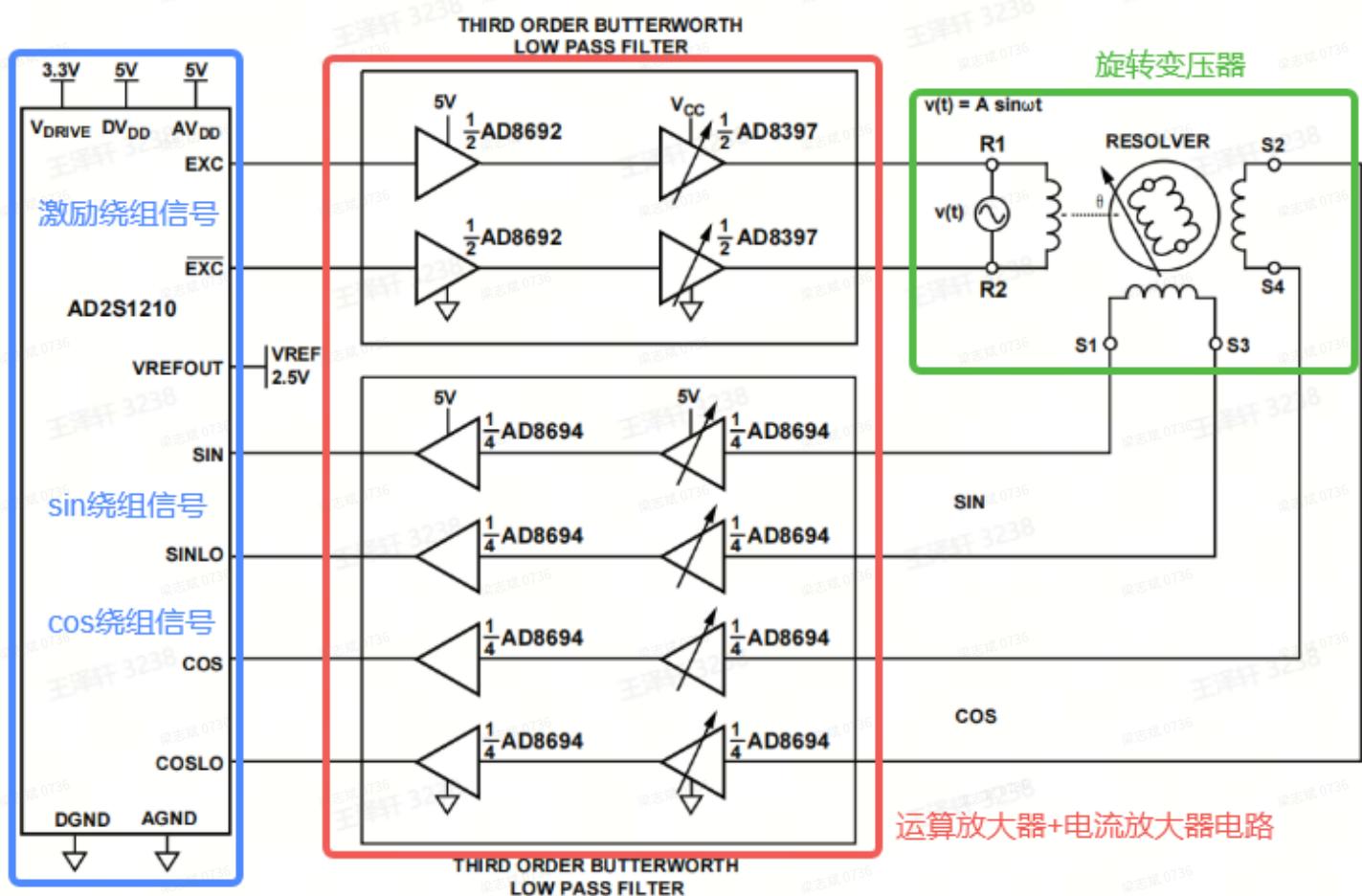
4.1.3 选型关键参数

- 分辨率与精度：需与旋变规格匹配，往往需要高于旋变的精度。
- 输入范围：适配旋变的输出电压范围（通常为毫伏级）。
- 环境适应性：温度范围、抗电磁干扰（EMI）能力。
- 输出频率：满足旋变的信号输入频率。

4.2 使用AD2S1210(ADI) RDC的信号调理电路



使用AD2S1210(ADI) RDC的信号调理电路示意图



4.2.1 电路特点

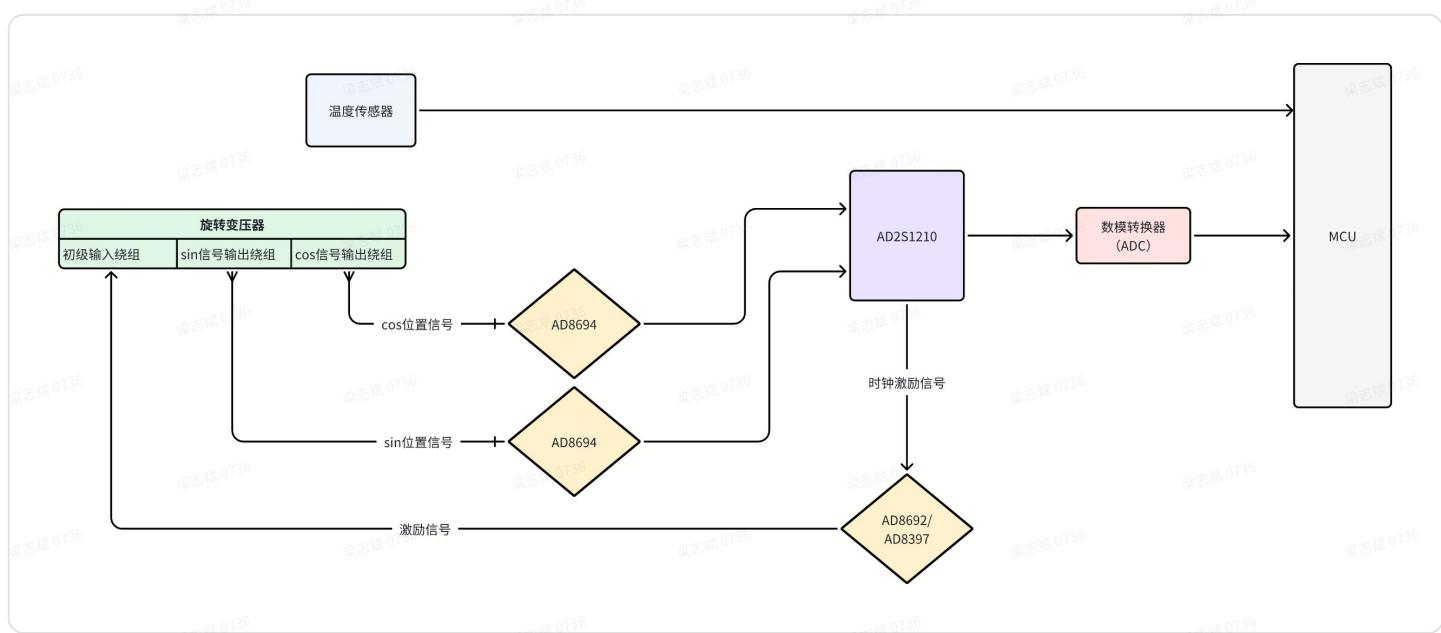
- 集成度高
- 通过调整电路设计，可以更低成本处理多个LVDT传感器的信息
- 通过电路设计达成一定的温漂补偿

4.2.2 电路基本组成

- AD2S1210：分辨率可变、10位至16位R/D转换器，内置参考振荡器
- AD8397：轨到轨、高输出电流放大器
- AD8692/AD8694：低成本、低噪声、双通道/四通道 CMOS RRO运算放大器
- 旋转变压器

图中所示电路是一款完整的高性能旋变数字(RDC)电路，该电路可在汽车、航空电子和关键工业应用等要求宽温度范围内具有高稳定性应用的场合精确测量角度位置和速度。

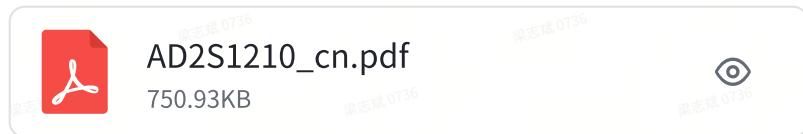
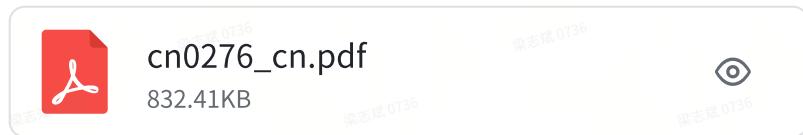
4.2.3 电路工作基本逻辑顺序



1. AD2S1210产生激励时钟信号。
2. AD2S1210的激励输出信号来自内部DAC，该DAC会产生一定的量化噪声和失真。由于这个原因，双通道运算放大器AD8692配置为三阶有源巴特沃兹滤波器，以便减少驱动信号噪声。
3. sin与cos次级绕组输出差动信号，SIN和COS接收器电路使用两个四通道运算放大器AD8694作为有源噪声滤波器。
4. AD2S1210测量收到的耦合电路信号，并将包含位置信息的模拟信号发送至ADC，数字化位置输出信息供MCU。

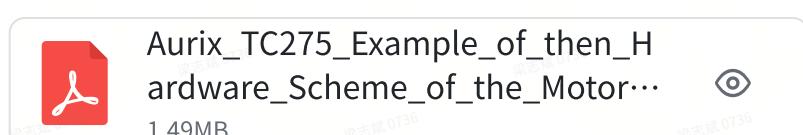
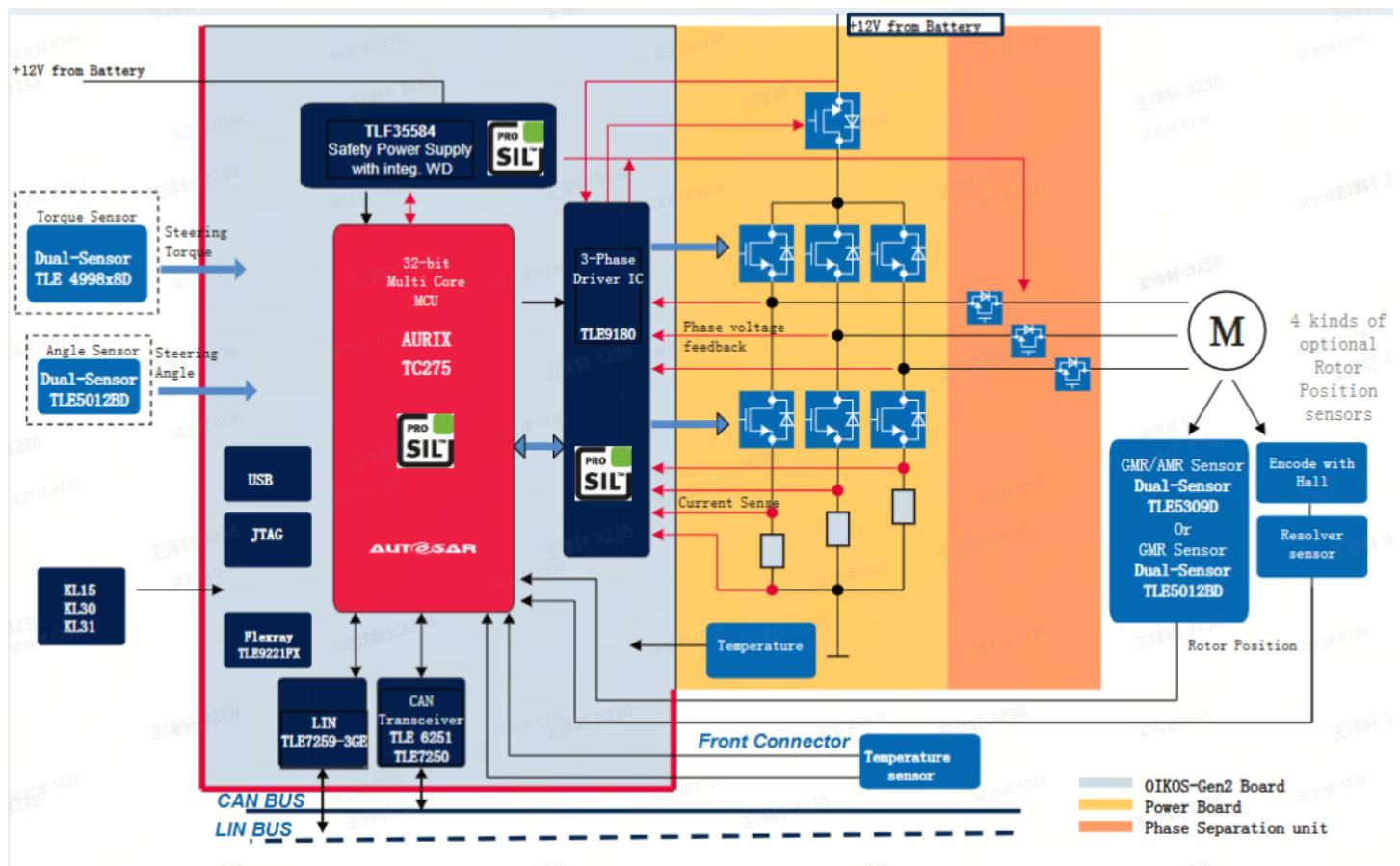
4.3 参考资料

AD2S1210



4.4 旋转变压器硬件应用方案参考

英飞凌基于TC275进行RDC解码的电机控制板



ST官方对旋变的应用说明

