

摘要：旋转变压器作为一种精密角度传感器，可应用在环境恶劣的军工及高端工业领域，目前旋转变压器测角系统未能输出与光栅编码器兼容的 A、B、Z 三相脉冲接口信号，这限制了其应用。本文提出一种新型解码装置，以 AD2S1210 芯片构建传感处理单元与旋转变压器匹配后实现激励及模数信号的转换，随后再通过基于 stm32 微处理器的主控单元对模数转换后的数字信号进行融合处理成角度值，最后再经由基于逻辑门电路以及 AM26LS31 芯片构成的脉冲转换单元将角度值转换为可与光栅编码器兼容的 A、B、Z 三相脉冲接口信号，从而大幅提升旋转变压器测角系统的市场竞争力。

关键词：角度传感器；旋转变压器；定子；转子；脉冲接口；解码装置

中图分类号：TM383.2 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2020)02-0012-05

收稿日期：2019-12-31

一种可输出 A、B、Z 三相脉冲信号的旋转变压器解码装置

娄敏^{1,2} 江铃¹

1. 九江职业技术学院，江西九江 332007；2. 九江产教融合发展中心，江西九江 332000

一、引言

旋转变压器是一种基于电磁感应的高精密角度传感器，它直接输出的是模拟信号，配备解码装置后得到数字化的角度信号，可应用在旋转设备内的伺服控制系统中做角度反馈元件^[1]。

光栅编码器是一种通用的角度传感器，它以玻璃为基体，通过在上面腐蚀出规则的绕组而得以实现。由于光栅编码器具有结构简单、精度高的特点，因而被广泛应用在军民领域的各行业内。虽然光栅编码器应用广泛，但在某些恶劣的环境下，其基体材质为玻璃的特点使得其难以承受剧烈的冲击、振动，从而使得产品失效，而旋转变压器的基体材质为金属，因此它能承受强烈的冲击、振动，相较玻璃材质的光栅编码器具有更高的可靠性。

由于光栅编码器工艺成熟，进入市场早，因而其市场占有率极大，光栅编码器的输出信号多为 A、B、Z 三相差分脉冲格式，目前市场上大量的数据采集卡

与控制器均与此接口相匹配，如机床的回转控制系统或转台的伺服系统等。而旋转变压器测角系统的输出信号多为串口，如 RS232、RS422、RS485 等，无法直接与这些控制系统兼容，这在很大程度上限制了旋转变压器的应用范围^[2]。

本文提出一种基于旋转变压器的解码装置，在对旋转变压器的模拟信号进行解码过程中还可同时实现 A、B、Z 三相差分脉冲接口，这种脉冲接口的开发将使得旋转变压器测角系统能与市场上通用的诸多控制系统相兼容，达到直接替换光栅编码器的效果，从而可大幅拓宽其市场应用领域。

二、总体方案

旋转变压器分为定子和转子两部分，通常定子安装在固定体上，转子安装在转轴上，对转子施加激励信号，定子将感应出两相的正、余弦信号。工作过程中，转轴带动转子转动，使得转子与定子产生相对旋转运

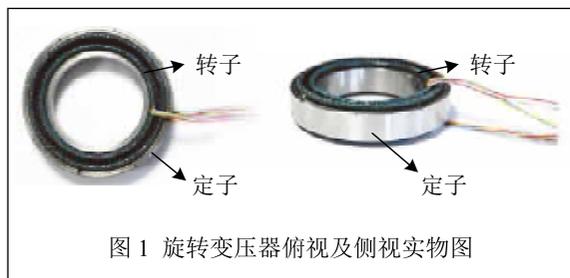


图1 旋转变压器俯视及侧视实物图

动，定子感应出的两相正、余弦信号也会随着转子的转动而发生有规律的变化，通过监测、解算这两路信号来实现角度测量的目的，旋转变压器的实物图如图1所示。

项目总体系统功能单元图如图2所示，其中包含主控单元、传感处理单元、键盘处理单元、显示单元、通信单元、A、B、Z脉冲转换单元、电源单元7个部分。电路系统要通过主控单元进行整体控制，传感处理单元发出一个标准的正弦波功率信号驱动旋转变压器转子进行工作，在旋转变压器定子上将感应出同频率的两相交流 SIN、COS 信号，该 SIN、COS 正弦信号再经传感处理单元对其进行模数转换，模数转换后的数据回到主控单元进行融合后经 A、B、Z 脉冲转换单元转换成标准的 A、B、Z 三相差分脉冲信号^[3]。

三、结构设计

本文提出的旋转变压器角度解码装置如图3所示，外观为一机箱的构造模式，其前面板上有键盘、数码显示区以及插座1、插座2，在机箱内部有解码板，

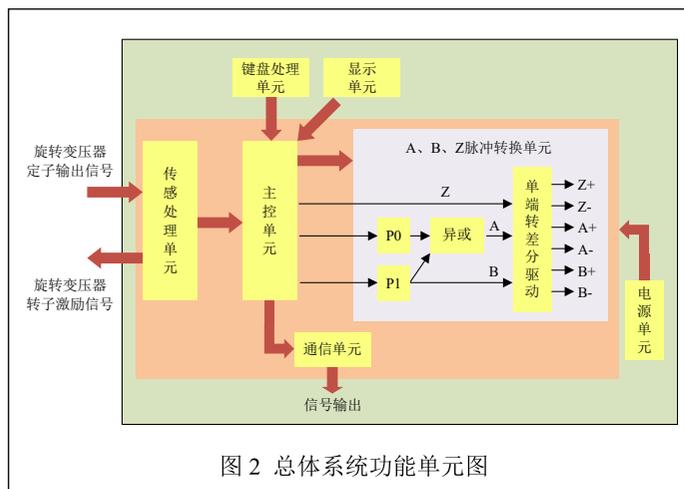


图2 总体系统功能单元图

插座1引出导线接旋转变压器，插座2将角度数据以RS422串口或A、B、Z三相脉冲接口发送给后续控制系统。

机箱内部的解码板上电后将通过插座1引出交流激励信号去驱动旋转变压器的转子工作，定子感应出同频率的两路感应信号经插座1回送到解码板，解码板对其进行解码，得到与机械转角值成比例的原始电角度信号。此原始电角度信号通过解码板转换成A、B、Z三相脉冲信号发送给后续控制设备进行接收。

四、电气设计

1、硬件实现

解码装置的硬件单元包括主控单元、传感处理单元、键盘处理单元、显示单元、通信单元、A、B、Z脉冲转换单元、电源单元7个部分，在此重点介绍传感处理单元、A、B、Z脉冲转换单元以及主控单元。

(1) 传感处理单元

传感处理单元可施加激励信号驱动旋转变压器转子工作，同时能接收旋转变压器定子输出的感应信号并对其解码成数字信号后再发送给主控单元。

本项目传感处理单元如图4所示，是以美国ADI公司的AD2S1210芯片进行构建^[4]，AD2S1210通过芯片内部的振荡器可输出正弦信号经功率放大后驱动旋转变压器转子工作，随后旋转变压器定子输出的感应信号(SIN、COS两相)可输入到AD2S1210中去进行解码，实现A/D转换，转换后的数据由主控单元

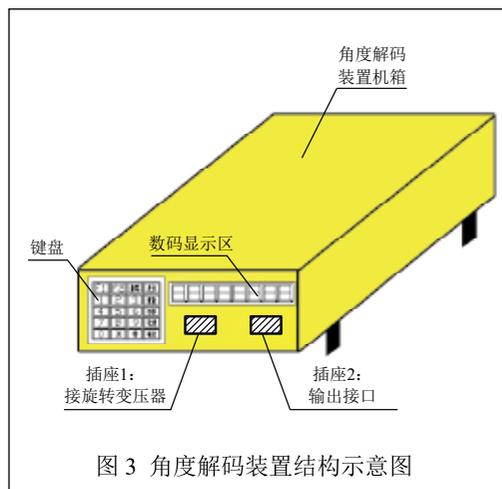


图3 角度解码装置结构示意图

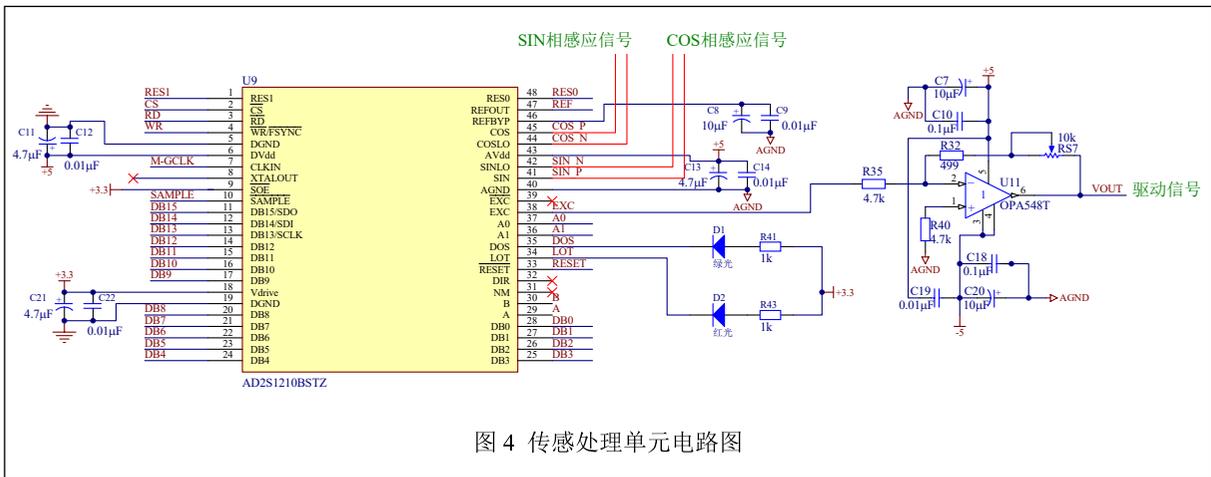


图4 传感处理单元电路图

得到并进行解码成数字化的角度值^[5]。

(2) A、B、Z 脉冲转换单元

A、B、Z 脉冲转换单元如图5所示。A、B、Z 脉冲转换单元中针对主控单元发送过来的数字化角度值进行处理，得到可与光栅编码器兼容的A、B、Z三相脉冲信号，主控单元输出的二进制角度数据的最低位P0和次低位P1信号采取如下的处理方式：P0和P1信号经过一个异或门进行输出，将此输出信号作为脉

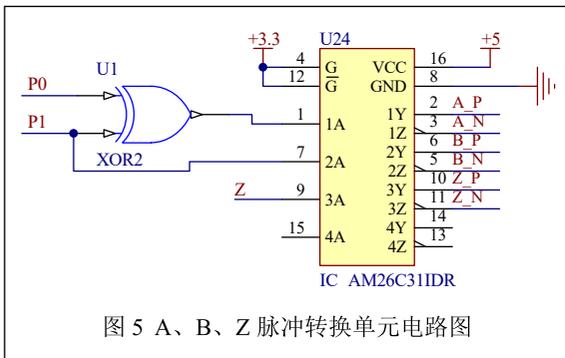


图5 A、B、Z 脉冲转换单元电路图

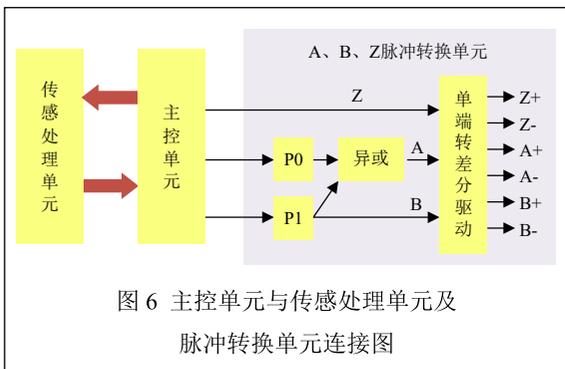


图6 主控单元与传感处理单元及脉冲转换单元连接图

冲A信号送入单端转差分驱动芯片AM26LS31的输入端1，经转换后的输出信号为A+、A-，再将P1信号作为脉冲B信号送入单端转差分驱动芯片AM26LS31的输入端2，经转换后的输出信号为B+、B-，主控单元发送过来的Z信号即为零位信号，送入到单端转差分驱动芯片AM26LS31的输入端3，经转换后的输出信号为Z+、Z-，这种经AM26LS31芯片转换后输出的A+、A-、B+、B-、Z+、Z-三相差分脉冲输出信号可与光栅编码器兼容。

(3) 主控单元

主控单元的主控芯片为STM32单片机^[6]，其与传感单元以及脉冲转换单元的连接引线如图6所示。

2、软件实现

如图7所示，主控系统的软件部分共5个子程序，分别是数据处理子程序、键盘子程序、显示子程序、通信子程序以及A、B、Z脉冲转换子程序，其中数据处理子程序用于接受传感处理单元输出的数据并对其进行解码，键盘子程序用于对当前按键输入的操作进行响应，A、B、Z脉冲转换子程序用于将当前角度数据转换为可与光栅编码器兼容的A、B、Z脉冲信号，显示子程序用于驱动数码管显示处理后的角度输出值，通信子程序用于将角度输出值以一定的通信协议及格式发送给用户系统。

A、B、Z脉冲转换子程序实现思想如下：主控单元将代表角度值的数字信号转换为二进制格式，随后将二进制格式的角度数据的最低位P0和次低位P1通

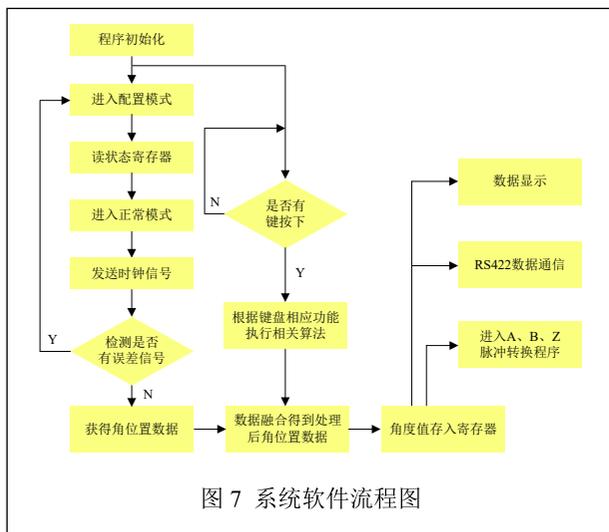


图7 系统软件流程图

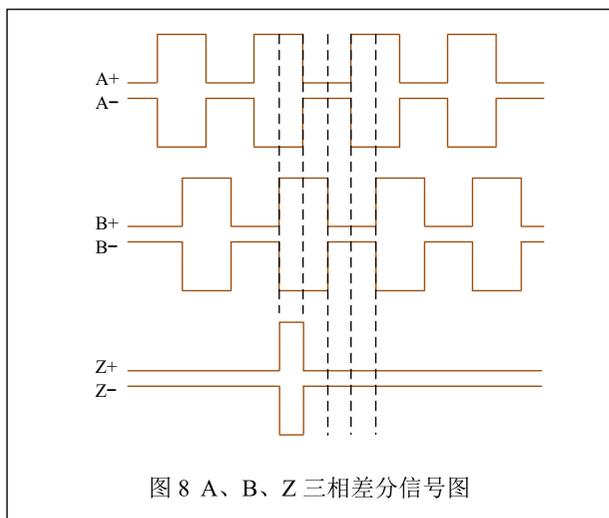


图8 A、B、Z三相差分信号图

过主控单元 STM32 的 2 个引脚 PA0、PA1 发出，在程序当中捕捉角度值为 0 的瞬间，则通过引脚 PA2 发出一个高电平，角度值为非 0 则发出一个低电平。

PA0、PA1 经过一个异或门电路进行输出，此输出信号作为脉冲 A 信号，再将 PA1 信号作为脉冲 B 信号，PA2 信号作为 Z 相信号，上述 A、B、Z 脉冲信号再经由单端转差分芯片 AM26LS31 芯片转换后即可输出 A+、A-、B+、B-、Z+、Z- 三相差分脉冲输出信号，如图 8 所示。

本项目选用 8 对极旋转变压器，A/D 转换的分辨率为 14 位，即 360°

范围内的脉冲数计算公式如下：

$$1 \text{ 对极对应的机械角度 } \theta = 360^\circ / 8 = 45^\circ \quad (1)$$

当 AD 转换器的分辨率设置为 14 位时，1 对极所代表的 45° 角度内的脉冲数 $n = 16484$ (2)

$$360^\circ \text{ 范围内的总脉冲数 } N = n \times 8 = 131072 \quad (3)$$

每个脉冲数对应的角度当量 $\psi = 360^\circ / 131072 \approx 0.0027^\circ$ (4)

五、实验验证

在此通过实验来验证可实现 A、B、Z 三相差分脉冲的旋转编码器解码装置的转换精度及稳定性。

测试过程中所用的硬件设备如下：8 对极旋转变压器（含定子、转子两部件）、高精密光学分度头、旋转变压器解码装置、光栅信号显示仪。实验装置如图 9 所示。

将旋转变压器转子安装在转轴上，定子固定在分度头台体上，当转轴带动转子相对定子旋转时，定子感应出信号，此信号可输入到后续的解码电路中进行解算出角度值进行数码显示，按照每个脉冲对应 0.0027° 的计算公式可算得理论光栅脉冲值，同时解码电路输出 A、B、Z 相脉冲信号进入光栅信号显示仪进行显示，将理论光栅脉冲值与实际光栅脉冲值进行比较，观测其一致性。

本文在 360° 内间隔性地取了几个测试点，测试结果见表 1。通过实测发现，解码装置显示输出对应的理论光栅脉冲值与光栅信号显示仪实际显示的脉冲值几乎一致，脉冲波动值在 1 个码以内，说明此解码装置输出的 A、B、Z 相脉冲信号精度是满足要求的。

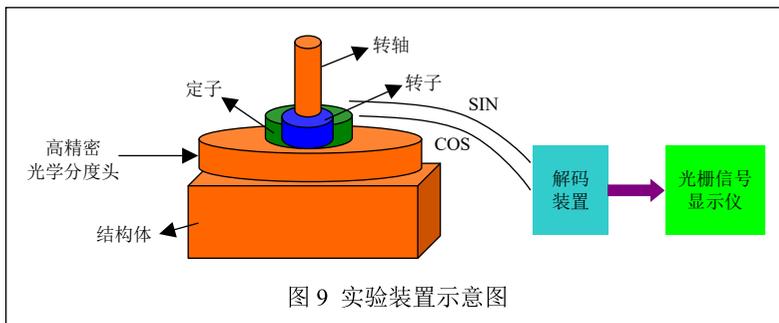


图9 实验装置示意图

表 1 旋转变压器解码装置误差测试表

序号	数码管显示角度 (°)	理论光栅 脉冲值	实际光栅 脉冲值	脉冲波动值 (")
1	0	0	-	0
2	46.9565	17096	17096	0
3	109.5652 7	39891	39892	1
4	156.5217 10	56988	56988	0
5	187.8261 12	68385	68384	-1
6	297.3913 19	108277	108276	-1
7	0 131072	0	0	0
综合波动范围				-1~1

六、结论

本文提出了一种可输出 A、B、Z 相脉冲信号的旋转变压器角度解码装置，这种解码装置为机箱的构造模式，具备交互式数显功能，工作时可对旋转变压器进行激励，同时接收旋转变压器感应出的差分信号并将其处理成数字化的角度值，进一步转换为可与光栅编码器兼容的三相脉冲信号，使得基于旋转变压器测角系统能直接替换光栅编码器，从而大幅提升旋转变压器测角系统的市场竞争力。

参考文献

[1] 胡肖璐, 樊丁, 彭凯. 航空发动机位移信号测量系统设计与实现 [J]. 测控技术, 2013, 32(2): 122-125.
 [2] 刘学军, 刘昌权, 肖福勤, 等. 双通道多级旋转变压器误差补偿的研究分析 [J]. 工业控制计算机, 2010(11): 99-100.
 [3] 杨琪, 施志勇. 一种双旋转变压器测角系统设计 [J]. 现代雷达, 2015, 37(1): 59-62.
 [4] 季辉, 陈小刚, 杨甘霖. 轴角编码器码值跳变纠错方法研究 [J]. 中国科技信息, 2015(8): 90-91.
 [5] 安书董, 李明, 马小博, 李亚锋, 索晓杰. 基于高精度数字解码 RDC 芯片的旋转变压器解调方法 [J]. 航空计算技术, 2019(5): 117-120.
 [6] 刘江义, 孙书鹰, 李伟. 基于 STM32 的多通道旋转变压器—数字转换 [J]. 信息技术, 2014(5): 168-170.

A Resolver Decoding Device Which can Output A, B and Z Three-phase Pulse Signals

LOU Min^{1,2}, JIANG Ling¹

(1. Jiujiang Vocational and Technical College, Jiujiang 332007, China; 2. Jiujiang Industry Education Integration Development Center, Jiujiang 332000, China)

Abstract: As a kind of precision angle sensor, resolver can be used in the military industry and high-end industry field with bad environment. At present, the resolver angle measuring system fails to output the ABZ phase pulse interface signal compatible with optical encoder, which limits its application. This paper proposes a new decoding device, using ad2s1210 chip to build sensor processing unit to match with resolver to realize excitation and analog-to-digital signal conversion, then using STM32 microprocessor-based master control unit to convert the digital signal after analog-to-digital conversion into angle value, and finally through the pulse conversion unit based on logic gate circuit and am26ls31 chip to convert the angle value into ABZ three-phase pulse interface signal compatible with the circular optical grating device. The market competitiveness of resolver angle measuring system is improved greatly.

Key words: Angle sensor; Resolver; Stator; Rotor; ABZ phase pulse interface; Decoding device

作者简介

姜敏: 九江职业技术学院, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事角度传感器的技术研究。
 通信地址: 江西省九江市十里大道 1188 号九江职业技术学院
 邮编: 332007
 邮箱: xylm28@126.com
 江铃, 九江职业技术学院, 讲师, 主要从事精密机电技术研究。