

· 电路与控制 ·

## 双通道旋转变压器解码系统设计

陈 亮, 王秋瑶

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

**摘 要:**根据双通道旋转变压器的工作原理,设计了一种双通道旋转变压器的解码系统。该系统以AD公司生产的AD2S80A作为基础,利用其高精度模数转换功能将旋转变压器的正余弦模拟信号转换成二进制数字信号输出,并使用CPLD对AD2S80A解码后输出的并行数据进行整合、运算与误差补偿。文中给出了双通道旋转变压器解码系统的解码原理,并根据解码原理设计了硬件构成并给出了误差补偿软件流程图,为双通道旋转变压器高精度解码系统的实现提供了一种可行方法。

**关键词:**双通道旋转变压器;AD2S80A;解码系统;误差补偿

中图分类号:TN702

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-03-0050-04

## Decoder System Design of Double Entry Revolving Transformer

CHEN Liang, WANG Qiu-yao

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

**Abstract:** A decoder system with double entry revolving transformer is designed based on the principle of double entry revolving transformer. The system converts revolving transformer input sine and cosine signals into a parallel natural binary digital word using the high accuracy analog digit conversion function of AD2S80A convert which is produced by the AD Company. And the parallel data from decoded AD2S80A is performed combination, calculation and error compensation using CPLD. The decoding principle of the double entry revolving transformer decoder system is introduced. The hardware combination and error compensation software flowchart are designed based on decoder principle to provide a feasible method to high accuracy decoder system of double entry revolving transformer.

**Key words:** double entry revolving transformer; AD2S80A; decoder system; error compensation

旋转变压器是一种测量旋转物体转轴角位移和角速度的高精度电磁感应式传感器。它由定子和转子组成。其中定子(或转子)绕组作为变压器的原边,转子(或者定子)绕组作为变压器的副边,在变压器的原边绕组施加励磁电压,通过电磁耦合,变压器的副边绕组即产生包含角度位置信息的感应电动势<sup>[1]</sup>。

为了进一步提高测量精度,通常采用双通道旋转变压器。双通道旋转变压器是采用粗机和精机两个匝数成一定比例的单通道旋转变压器组成。由于旋转变压器输出的是包含角度位置信息的模

拟电压信号,因此需要将其转化为数字信号才能直接输入到控制系统中进行处理。

AD2S80A是AD公司生产的一种轴角数字转换芯片,它可以将旋转变压器的转角位置转化为并行的16位二进制输出。它采用BiMOS II制造工艺,具有精度高、性能稳定及可靠性高等特点<sup>[2]</sup>。解码器的设计正是基于AD2S80A,避开了求反正切等复杂的算法,提高了运行速度,并通过CPLD对解码组件进行误差补偿,提高了噪声抑制能力,具有很强的工程实用价值。

## 1 双通道旋转变压器工作原理

图1为双通道旋转变压器的电气原理图。

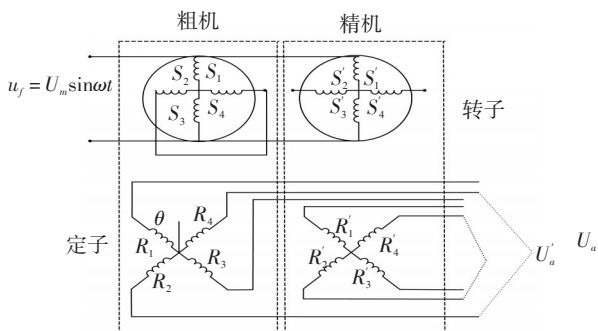


图1 双通道旋转变压器的电气原理图

从图中可以看出,双通道旋转变压器的转子为激磁,定子为输出。转子中的粗机为一相激磁,另一相短接,精机只有一相激磁。

在转子的粗、精机绕组  $S_1S_3$ 、 $S'_1S'_3$  两端施加一个正弦激磁信号  $u_f = U_m \sin \omega t$ , 则定子的粗、精机绕组  $R_2R_4$ 、 $R'_2R'_4$  会感应出正弦电动势  $U_a$ 、 $U'_a$ ,  $R_1R_3$ 、 $R'_1R'_3$  会感应出余弦电动势  $U_b$ 、 $U'_b$ 。设转子相对定子的转动角度为  $\theta$ , 变压器粗机、精机的变比为  $k$ 、 $k'$ , 精机、粗机的极对数比为  $p$ , 则有下式

$$U_a = kU_m \sin \omega t \sin \theta \quad (1)$$

$$U'_a = k'U_m \sin \omega t \sin p\theta \quad (2)$$

$$U_b = kU_m \sin \omega t \cos \theta \quad (3)$$

$$U'_b = k'U_m \sin \omega t \cos p\theta \quad (4)$$

由式(1)~式(4)可知,双通道旋转变压器粗机绕组  $R_2R_4$ 、 $R_1R_3$  的输出是与转动角度  $\theta$  成正余弦规律变化的模拟电压信号,精机绕组  $R'_2R'_4$ 、 $R'_1R'_3$  的输出是与  $p\theta$  成正余弦规律变化的模拟电压信号,它们的频率都与激磁频率相同。对式(1)~式(4)进行变换、整合,即可得到精确的转动角度  $\theta$ <sup>[3]</sup>。

## 2 解码系统设计

### 2.1 硬件电路设计

双通道旋转变压器解码系统设计如图2所示。它主要由励磁电路和解码处理电路组成<sup>[3-6]</sup>。

由图2可以看出,励磁电路产生的信号不仅作为激磁信号,还为解码芯片提供参考输入。因此选用集成芯片 MAX0388CPP, 产生正弦波。MAX0388CPP单片 20 MHz 波形发生器,可产生正弦

波、锯齿波、三角波。频率从 0.1 Hz 到 20 MHz 可调, 占空比 15%~85% 可调。由于该芯片产生的正弦波电流很小,不能直接驱动旋转变压器,因此使用集成芯片 OPA541AM 对其进行功率放大。

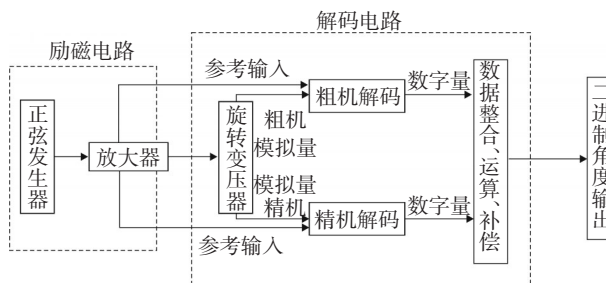


图2 双通道旋转变压器解码系统

把励磁电路产生的正弦波作为双通道旋转变压器的激磁加到转子粗、精机绕组两侧,则定子粗、精机绕组会感应出正弦信号和余弦信号。采用两片 AD 公司生产的 AD2S80A 作为旋转变压器粗、精机输出信号的解码芯片,通过片选端口,可以选择芯片的分辨率。由于 AD2S80A 是将旋转变压器输出的正余弦信号转换成二进制码,芯片的输出只与输入正余弦信号的比值有关,而与正余弦信号的绝对值无关,因此具有较高的噪音抑制能力。这里设置 AD2S80A 为 16 位输出,则其对应的最高跟踪速度为 65 536 b/r (16 r/s)。

双通道旋转变压器的粗、精机输出信号经 AD2S80A 各自处理后,输出的是两组 16 位的二进制码,因此采用可编程逻辑芯片 (CPLD) EMP1270T144I 对粗精机输出的二进制码进行处理,得到一组与转角成比例关系的二进制角度信息。EMP1270T144I 是 ALTERA 公司生产的一种可编程逻辑器件,可以对数据进行整合运算、实时控制。

AD2S80A 在运算过程中会在 BUSY 端口产生繁忙信号,当 CPLD 检测到任何一个芯片的 BUSY 端口为 1 时,表明该芯片正在运算,CPLD 发出一个禁止信号 INH,送入各自 AD2S80A 的 INH 端口,禁止这时读取两芯片的转换数据。这样两芯片即可以同工作,又能防止误读转换结果<sup>[4]</sup>。

CPLD 的另一个作用是对系统的固有误差进行补偿<sup>[5]</sup>。双通道旋转变压器在转动时,粗机和精机之间会存在各种误差导致粗精通道对应位不同时变化。这种误差无法用电气或者机械环节解决,只能在 CPLD 中靠软件补偿。

双通道旋转变压器解码系统硬件电路组成如图3所示。

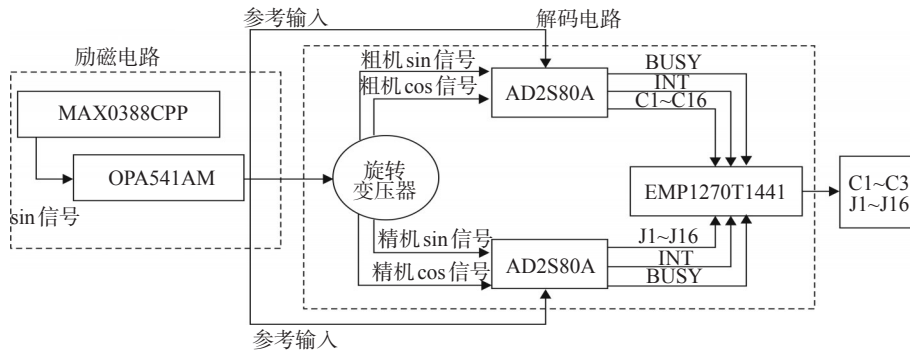


图3 双通道旋转变压器解码系统硬件电路

### 2.2 解码过程

设计的双通道旋转变压器的粗机的极对数为1,精机的极对数为8。当旋转变压器转动一圈,粗

机相当于转动一圈,精机相当于转动8圈。即粗机旋转一圈相当于转过360°,精机旋转一圈相当于转过45°。粗机和精机输出的16位二进制码对应的位的权值归纳如表1和表2所示。

表1 旋转变压器粗机输出二进制码对应位权值

二进制位	1	2	3	4	5	6	7	8
粗机	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
权值	$180^0/2^0$	$180^0/2^1$	$180^0/2^2$	$180^0/2^3$	$180^0/2^4$	$180^0/2^5$	$180^0/2^6$	$180^0/2^7$
二进制位	9	10	11	12	13	14	15	16
粗机	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
权值	$180^0/2^8$	$180^0/2^9$	$180^0/2^{10}$	$180^0/2^{11}$	$180^0/2^{12}$	$180^0/2^{13}$	$180^0/2^{14}$	$180^0/2^{15}$

表2 旋转变压器精机输出二进制码对应位权值

二进制位	1	2	3	4	5	6	7	8
精机	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8
权值	$180^0/2^3$	$180^0/2^4$	$180^0/2^5$	$180^0/2^6$	$180^0/2^7$	$180^0/2^8$	$180^0/2^9$	$180^0/2^{10}$
二进制位	9	10	11	12	13	14	15	16
精机	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16
权值	$180^0/2^{11}$	$180^0/2^{12}$	$180^0/2^{13}$	$180^0/2^{14}$	$180^0/2^{15}$	$180^0/2^{16}$	$180^0/2^{17}$	$180^0/2^{18}$

从表1和表2可以看出,精机输出的J1位权值和粗机输出的C4位权值相对应,则粗机的C4~C16位权值与精机的J1~J13位权值完全重合。由于粗机输出的后几位肯定没有放大8倍之后的精机输出的数值准确,所以粗机和精机输出二进制码的整合原则为:在粗机输出的16位二进制码中,只取高3位,即C1~C3,与精机输出的16位二进制码的全部组成新的19位二进制码。整合后的二进制权值最

高位为180°,最低位0.000 686 6°。故双通道旋转变压器的精度远远高于单通道旋转变压器的精度<sup>[6-9]</sup>。

实际情况下,由于各种误差的存在,精机和粗机的权位无法完全对齐。当J1位和C4位变化不同步时,就要进行误差补偿设计。

### 2.3 误差补偿设计

由于粗机输出的数据没有精机输出的数据准

确,所以误差补偿的原则是以精机数据为准,对粗机数据进行误差补偿<sup>[10]</sup>。

当精机的J1位为0,粗机的C4位为0时,不需要对粗机数据进行误差补偿,输出数据为C1~C3、J1~J16的组合。

当精机的J1位为0,粗机的C4位为1时,粗机数据进行“加1”操作,即 $C1C2C3=C1C2C3+1$ 。

当精机的J1位为1,粗机的C4位0时,粗机数据进行“减1”操作,即 $C1C2C3=C1C2C3-1$ 。

当精机的J1位为1,粗机的C4位为1时,不需要对粗机数据进行误差补偿,输出数据为C1~C3、J1~J16的组合。

误差补偿的程序流程如图4所示。

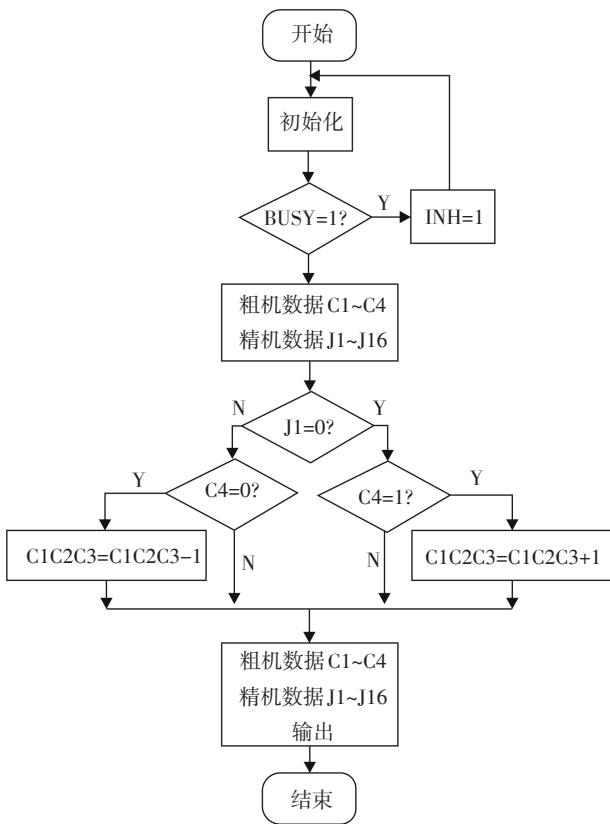


图4 误差补偿程序流程图

### 3 结 论

设计了一种高精度双通道旋转变压器的解码系统,该系统利用了AD2S80A芯片的高精度、高速模数转换功能,结合CPLD软件平台,编写数据整合与误差补偿算法,将双通道旋转变压器粗精机输出的交流模拟信号解码为包含角度位置信息的二进制码。这种软硬件结合的方法不但提高了解码系统的可靠性和抗干扰性,同时也具有容易实现、移植和智能化等特点,为伺服系统的高精度测角系统提供了一种可行的工程实现方法。

### 参考文献

- [1] 魏海涛,赵来定.一种新型的旋转变压器式轴角编码器[J].国外电子测量技术,2006,25(4):57-60.
- [2] Analog Devices Inc. AD2S80A Data Sheet 2006 [D]. AD公司,2000.
- [3] 周起华,朱骏,翁孚达.基于双通道旋转变压器的解码器设计[J].制导与引信,2011,32(3):24-28.
- [4] 何俊,李文华.基于FPGA和AD2S80A的数字测角系统[J].仪表技术与传感器,2008(7):68-69.
- [5] 姜博,梁雁冰.基于FPGA的双通道旋转变压器测角系统[J].现代电子技术,2010,15:141-143.
- [6] 叶辉.高平稳低速率转台测角系统的设计和研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006:36-37.
- [7] 徐大林,高文政.基于FPGA的多极旋转变压器粗精数据组合:双速处理器的设计与实现[J].测控技术,2006,25(5):42-45.
- [8] 庄文许,马大为,翟小晶,等.基于AD2S83的双通道旋转变压器位置检测模块设计[J].微特电机,2012,40(5):27-28,33.
- [9] 袁保伦,陆煜明,饶谷音.基于AD2S82A的多通道测角系统及与DSP接口设计[J].微电机,2007,40(7):47-49.
- [10] Robert K Dueck.数字系统设计-CPLD应用与VHDL编程[M].张春译.北京:清华大学出版社,2005.