

一种数字磁航向系统的设计及罗差校正新方法

刘华伟, 黄国荣, 张宗麟
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:设计并研制了一种高精度的数字磁航向系统。根据飞机罗差的性质和罗差方程,提出了一种校正该系统罗差及校验该系统磁感应传感器工具误差的新方法。实验结果表明:该系统精度较高、工作可靠、结构简单;罗差补偿极为方便;适合用于有交联的机载定向系统。

关键词:磁定向系统;罗差;磁感应传感器

中图分类号:V241.61 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)03-0008-04

航向是飞机飞行中的一个必不可少的重要参数。磁航向系统广泛应用于飞机的航向测量,它具有结构简单、体积小、重量轻、工作性能稳定,可靠性高的特点。但是,一般来说,磁航向系统测量精度不高,且受罗差和工具误差(一致性误差)影响较大。为了获得较高的测量精度,必需定期地对罗差进行校正。传统的罗差校正方法采用罗差修正器和波面带机构等进行机械补偿,精度低,人为误差大,且需要多人配合(推转飞机),费时费力。

本文设计研制的数字磁航向系统使用某型飞机的磁感应传感器,采用单片机进行计算和控制^[1~2],测量精度高。通过设计的罗差测量与补偿网络,一个人就可以完成罗差的校正工作,校正精度高,并可同时校验磁感应传感器。整套设备体积小,重量轻,可靠性高,具有很好的应用和推广价值。

1 磁感应传感器的测量原理

在磁感应传感器中有两个正交放置的差动铁磁调制器^[3],分别用来感受地磁场的水平分量 $H \sin \Psi$ 和 $H \cos \Psi$ (Ψ 为磁航向角)。差动铁磁调制器由两根相同且互相平行的坡莫合金铁心组成,铁心上绕有激磁绕组和信号绕组。分析可知,其信号绕组的输出电动势大小为

$$e = -N_2 S \left[\frac{dB_1(t)}{dt} + \frac{dB_2(t)}{dt} \right] = -2N_2 S B_0 \frac{d\mu_0(t)}{dt} \quad (1)$$

式中: N_2 为信号绕组的匝数; S 为铁芯的截面积; B_0 为被测磁场的磁感应强度; $\mu_0(t)$ 为视在磁导率。

信号绕组的输出为不对称的脉冲电压。对其进行谐波分析可知,其二次谐波电压幅值与被测的地磁场分量大小成正比,相位随磁场极性而改变,因而可以反应被测磁场的大小和方向。磁航向测量时采用二次谐波选择法,从磁感应传感器信号绕组的输出中选取二次谐波电压,对该信号进行分析和处理即可得到被测磁场的大小和方向。

2 数字磁航向系统的设计与实现

磁航向的测量可以采用开环法,也可以采用闭环法。但由于开环测量时,系统稳定性不好,精度也不高,而且经常需要校准。因此,系统实现时采用了闭环法测量原理,从而大大提高了测量的精度。系统实现的结

收稿日期:2001-07-10

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:刘华伟(1980-)男,江西南昌人,博士生,主要从事导航、制导与控制工程研究;

张宗麟(1940-)男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事惯导理论、组合导航理论及应用研究。

构框图如图 1 所示(注:该框图只画出了系统的一个通道,实际系统有两个通道,分别为正、余弦通道)。

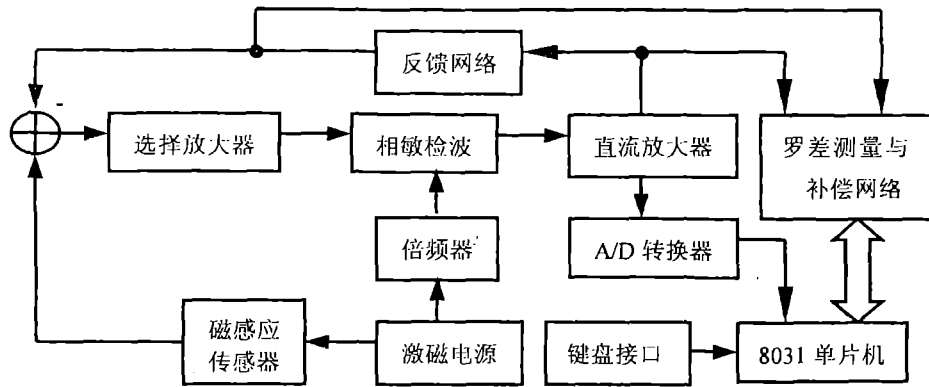


图 1 系统结构框图

激磁电源给磁感应传感器提供 2 250 Hz、6 V 的正弦激磁电压使传感器工作;传感器输出的电压经过选择放大器^[4]后转换成 4 500 Hz 的交流电压,信号通过相敏检波器后(参考信号为激磁电压的倍频,并经移相网络,加在参考端),成为直流电压信号,经直流放大器后一路送入 A/D 转换器,A/D 转换后数字量送入微处理器计算。另一路经反馈网络作负反馈。反馈电流在信号绕组中产生一个与地磁场大小相等,方向相反的直流磁场,通过负反馈网络的电流与被测磁场的磁感应强度成正比。信号调理电路的稳定输出电压为

$$U_0 = B_0 / A_s K_B \tag{2}$$

式中: A_s 为反馈网络电阻的倒数; K_B 为反馈线圈常数。

这种电路应用了深度负反馈,能够实现自动补偿被测磁场,测量精度很高。其反馈网络由一个电阻和磁感应传感器的信号绕组组成。

2 250 Hz、6 V 的电源由精密波形发生器 ICL8038 和功率放大器 TDA2030A 组成,幅值易于控制,频率稳定,结构简单,且有利于提高精度。由于激磁电压的频率较高(一般为 400 Hz),增大了系统的带宽。考虑到器件的下限指标和信号调理电路的最大输出信号幅值,A/D 转换器采用 12 位的 AD574(转换时间为 25 μs),可以保证精度和实时性。在不考虑罗差的情况下,测量精度优于 0.1°。

3 罗差校正

罗差的产生是由于存在飞机磁场^[5],飞机磁场一般由软铁磁场和硬铁磁场组成。罗差校正就是要补偿这些磁场。

该系统采用的补偿方法是电气式补偿,与以往的机械式的补偿方法相比,具有精度高,稳定性高,操作简单等特点。

罗差测量与校正网络先测量在有飞机磁场和无飞机磁场的情况下,反馈网络上通过电流的变化大小,然后通过罗差补偿网络产生一个补偿电流送入磁感应传感器的信号绕组;该电流在绕组中产生一个直流磁场用于抵消飞机磁场中的硬铁磁场的影响。对于飞机的软铁磁场一般比较小,可以通过改变两个通道的放大倍数来进行补偿。或者是按半量修正的办法,另行计算补偿公式。

由于补偿网络产生电流的方法是通过 D/A 转换器和精密 V/I 变换器组成,通过单片机计算出需要 D/A 转换器产生的补偿电压,经过 V/I 变换器变成电流送入信号线圈。正、余弦通道补偿电压 U_a 、 U_b 的计算公式为:

当象限罗差系数 $D、E < \pm 0.2^\circ$

$$U_a = 0.2(I_a' - I_a) \tag{3}$$

$$U_b = 0.2(I_b' - I_b) \tag{4}$$

当象限罗差系数 $D、E \geq \pm 0.2^\circ$

$$U_a = 0.2[I_a' - I_a - 0.05D \sin \Psi - 0.05E \cos \Psi] \tag{5}$$

$$U_b = 0.2[I_b' - I_b - 0.05D \cos \Psi + 0.05E \sin \Psi] \tag{6}$$

式中: I_a 为给定航向上 sin 通道有飞机磁场影响时的反馈电流; I_a' 为给定航向上 sin 通道无飞机磁场影响时的反馈电流; I_b 为给定航向上 cos 通道有飞机磁场影响时的反馈电流; I_b' 为给定航向上 cos 通道无飞机磁场影响时的反馈电流。

安装误差和圆周误差消除方法: 由于此时已将半圆罗差和象限罗差校正完毕, 安装传感器时, 使系统显示的航向值与测量所得飞机的真实磁航向相同, 即可消除这两项误差。

4 校验磁感应传感器

该系统也可以对磁感应传感器进行校验。原理是通过补偿网络将适当的补偿电流送入磁感应传感器的信号线圈, 该电流在磁感应传感器中产生一个已知方向的磁场, 然后看航向指示是否符合该磁场的方向。具体操作是: 在任一航向 Ψ 上通过罗差测量与校正网络先测量两个通道的反馈电流 I_a 、 I_b , 根据公式计算正余弦通道补偿电压为

$$U_a = 0.2(I_a - 200 \sin \Psi) \quad (7)$$

$$U_b = 0.2(I_b - 200 \cos \Psi) \quad (8)$$

将两个电压通过罗差补偿网络发送到磁感应传感器的信号绕组, 此时的航向指示应为 Ψ , 误差不超过 $\pm 0.5^\circ$; 否则传感器工具误差过大, 不可用。

5 系统的软件构成

整个系统的软件框图如图 2 所示。为保证精度, 软件采用了数字滤波和零位补偿算法^[6], 提高了数据的可靠性和可信度; 数据刷新时间为 20 ms, 采用更高档单片机还可提高刷新速度。

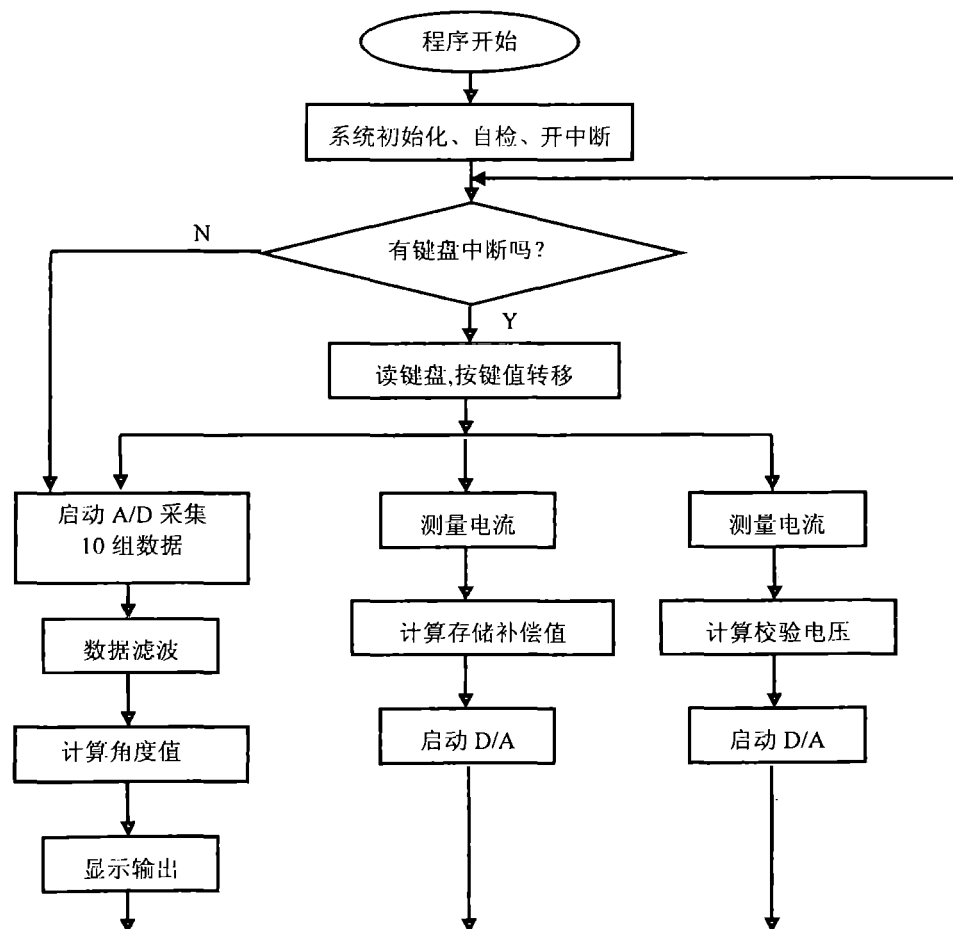


图 2 软件框图

6 实验数据与结论

该系统已经调试成功,并进行了多次实验;在某型飞机综合实验室的设备台架实验得出的部分实验数据见表1(罗差系数: $A=0.00^\circ$; $B=0.33^\circ$; $C=0.42^\circ$; $D=0.15^\circ$; $E=0.18^\circ$;在 210° 处进行罗差校正)。

表1 实验数据

(°)

基准航向	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
测量值(未校正罗差)	0.32	30.50	60.52	90.38	120.16	149.93	179.72	209.58	239.53	269.59	299.77	330.08
测量值(已校正罗差)	0.18	30.20	60.03	89.87	119.88	150.02	180.22	210.01	240.16	269.85	299.85	330.06

实验表明,整个系统工作可靠,体积小,罗差补偿方便,仅需一人就可完成整个的校正工作;经罗差校正后,精度优于 $\pm 0.3^\circ$ 。由于系统可以直接给出经过校正的模拟量,特别适合于用模拟量进行交联的现有飞机航向系统,且成本较低,具有较高的应用价值。

参考文献:

- [1] 徐爱钧. 智能化测量控制仪表原理与设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1995.
- [2] 李华,孙晓民,李红青,等. MCS-51系列单版机实用接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1993.
- [3] 李光明. 磁场的测量[M]. 北京:机械工业出版社,1986.
- [4] 蔡理. 模拟集成滤波器发展综述[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(2):91-94.
- [5] R Pietila, W R Dunm Jr. Vector Magnetometers As Attitude Determining Instrument[R]. NASA-CR-142024,1972.
- [6] 王幸之,王雷,翟成,等. 单片机应用系统抗干扰技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.

(编辑:姚树峰)

A Design of Digital Magnetic Heading System and a New Method of Compass Compensation

LIU Hua-wei, HUANG Guo-rong, ZHANG Zong-lin

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: This paper presents the design principle of a kind of high accuracy digital magnetic heading measure system. Also it advances a new method of compass compensation of this system and verifying the quality of the magnetic sensor. Experiments show that this design is better in accuracy, reliable in operation, simple in structure, convenient for compensating compass deviation and applicable to the airborne heading system of interconnection.

Keywords: magnetic heading system; compass deviation; magnetic sensor