

寻北仪系统的挠性陀螺伺服电路设计

徐 健, 王德君

(大连理工大学 电信学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 分析了挠性陀螺及其寻北原理, 针对使用挠性陀螺作为敏感器件的寻北仪系统, 提出了一种结构简单的陀螺伺服电路; 对应给出的伺服电路原理图, 分析了各个组成模块的功能; 同时根据系统精度的要求及测试中发现的实际问题, 通过采用补偿系统零位、选择合适采样电阻、增加延时电路等方法, 可以实现减少放大器零偏对测量信号的干扰、较好地解决寻北精度与陀螺进动角速度之间的矛盾、提高系统的可靠性和稳定性等目的; 实验证明在样机上改善效果显著。

关键词: 挠性陀螺; 寻北仪; 伺服电路

Design of Flexible Gyroscope Servo Circuit For North - seeking System

Xu Jian, Wang De Jun

(School of Information, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The principle of a flexible gyroscope and its north - seeking theory are introduced. And then this paper proposes a simple - structured servo circuit for north - seeking system which uses flexible gyroscope as its sensing device and analyses the function of the components. The servo circuit principle picture is shown. This servo circuit adopts appropriate sampling resistance and compensating system neutral position to improve the north - seeking precision and increase the gyroscope precession angular velocity as well as to reduce the signal disturb, which are all required in practice. Experiments prove that it makes marked progress on preproduction model.

Key words: flexible gyroscope; north - seeker; servo circuit

0 引言

陀螺寻北仪是一种精密惯性测量仪器, 通常用于为火炮、地地导弹和地面雷达等机动武器系统提供方位参考。该设备仅适用于在静态工况条件下全天候正常工作, 除受高纬度限制之外, 它的寻北测量不受天气、昼夜时间、地磁场和场地通视条件的影响, 无需外部信息输入, 是利用陀螺原理测定地球自转角速率在当地水平面投影方向(即真北方位)的一种惯性测量系统。所使用的陀螺可为挠性陀螺、光纤陀螺等。对于利用两自由度挠性陀螺仪敏感地球自转角速度水平分量, 通过精确的伺服跟踪和线性阻尼控制, 完成真北方位的快速自动测量, 除受陀螺自身性能参数的影响外, 陀螺伺服电路的性能直接关系到寻北仪的寻北精度。因此, 针对挠性陀螺寻北仪有必要设计电路结构较简单, 性能稳定, 同时精度较高的陀螺伺服电路。

1 挠性陀螺简介

挠性陀螺仪是指采用“挠性支承”方式将高速旋转的陀螺转子支承起来的一种陀螺仪^[1]。这种无摩擦的弹性支承, 最简单的结构是如图1所示的细颈轴挠性接头, 转子通过挠性接头与驱动轴相连, 从而驱动电机带动驱动轴, 经由挠性接头使转子高速旋转, 同时, 由于该挠性接头在垂直于自转轴的方向上很容易弯曲, 因而, 转子可获得绕垂直于自转轴方向上的两个正交轴的转动自由度, 因此, 它是二自由度陀螺。由于他采用了弹性支承, 因而大大简化了陀螺仪的结构, 也消除了框架式陀螺中的摩擦力矩。高速转动的转子在理想情况下, 将不受任何干扰力矩的作用, 使角动量 H 稳定在惯性空间而不改变方

向, 即力图保持其自转轴相对惯性空间方位稳定^[2]。转子相当于一个自由转子, 如果基座有偏转, 所形成的角动量 H 和驱动轴之间的夹角可分别通过装在两个正交进动轴上的角度传感器来测量。根据所得角度对陀螺转子施加力矩, 产生修正和补偿效应, 并间接用以测量陀螺仪的输入角速度^[3]。对转子施加控制力矩, 是通过在正交的进动轴上所装的力矩器来实现。

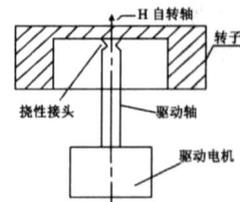


图1 挠性陀螺示意图

2 寻北原理

在地球表面的任意一点, 可以将地球自转角速度量 ω_e 分解为沿地球经线指向真北的 $\omega_e \cos \phi$ 水平分量和沿地球垂线指向天顶方向的 $\omega_e \sin \phi$ 垂直分量, 如图2所示。

图中:

$$\omega_1 = \omega_e \cos \phi \text{ (水平分量);}$$

$$\omega_2 = \omega_e \sin \phi \text{ (垂直分量);}$$

ω_e 为地球自转角速度; ϕ 为地球表面的任意一点的纬度角。

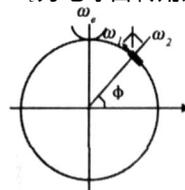


图2 分解示意图

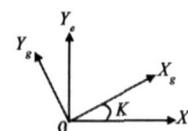


图3 夹角示意图

收稿日期:2006 - 10 - 30; 修回日期:2006 - 12 - 02。

作者简介:徐 健(1981 -)男,吉林长春人,硕士研究生,主要从事惯性导航系统及 DSP 应用技术方向的研究。

由此，可以利用惯性技术进行测量或者敏感地球自转角速度的水平分量获得地球某位置的北向信息，这就是寻北的基本原理。

挠性陀螺寻北仪是利用将工作于速率状态下的挠性陀螺安装在绕垂直轴转动的平台上，测量再平衡回路加到陀螺力矩器上的电流来完成寻北的。

挠性陀螺为双自由度陀螺，它有两个正交的输入 X 、 Y 和对应的两个输出轴，转子轴为 Z 轴。为了消除垂直分量的影响，总是希望陀螺工作的 X 、 Y 轴处于水平面内（或尽可能接近水平状态）。设一个理想的二自由度陀螺放在当地水平面上，主轴指天，陀螺坐标系记为 $X_g Y_g Z_g$ 。在这种理想情况下， $X_g O Y_g$ 平面与 XOY 平面（ $OXYZ$ 为地理坐标系， OX 指向东， OY 指向北， OZ 垂直向上构成右手坐标系）重合。如果 X_g （ Y_g ）与 X （ Y ）间错开了 K 角。此时，两轴所敏感到的地速水平分量与其与真北向夹角即 K 有关，也就是与这个夹角必有关，则这个夹角可以如图 3 所示。

由挠性陀螺寻北原理示意图 4 可以看到：

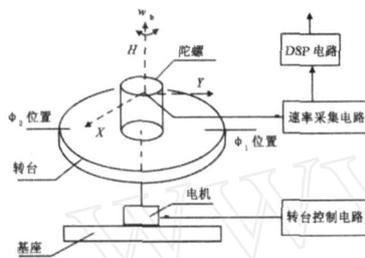


图 4 挠性陀螺寻北原理示意图

当转台在位置 1 测得的电流为：

$$I_{x1} = \mu_x e \cdot \cos \phi \cdot \sin K + 0 \quad (1)$$

$$I_{y1} = \mu_y e \cdot \cos \phi \cdot \cos K + 0 \quad (2)$$

将转台转过 180° 在位置 2 测得的电流为：

$$I_{x2} = -\mu_x e \cdot \cos \phi \cdot \sin K + 0 \quad (3)$$

$$I_{y2} = -\mu_y e \cdot \cos \phi \cdot \cos K + 0 \quad (4)$$

(1)、(3) 两式相减，(2)、(4) 两式相减，同时假定 $\mu_x = \mu_y$ 即陀螺两因数相同，由此可算出：

$$K = \tan^{-1} \left(\frac{I_{x1} - I_{x2}}{I_{y1} - I_{y2}} \right)$$

式中， e_0 为陀螺的常值漂移。

3 陀螺伺服电路结构及功能

本电路为适用于以抗性陀螺为核心器件的电子再平衡回路。它包括再平衡控制电路、电路所需的直流电源以及陀螺所需的交流电源，系统只需向电路提供 $\pm 15V$ (2A) 直流电源。系统中的主要功能模块使用某厂生产的厚膜混合集成电路，大大简化了电路结构。

3.1 工作原理

本系统中的陀螺是一种具有两个测量轴的动力调谐式抗性陀螺，所以每个陀螺应配备两条再平衡电路，由再平衡电路和陀螺组成的再平衡回路能使陀螺主轴跟随载体运动。再平衡回路工作原理框图如

图 5 所示。

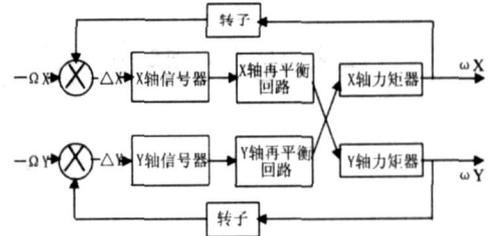


图 5 再平衡回路工作原理框图

当陀螺工作在捷联状态时，陀螺转子相对壳体产生一偏移角，通过陀螺信号器检测，经再平衡电路转换成与陀螺壳体绕其测量轴的输入角速度成正比的电流信号，经陀螺力矩器，产生力矩，从而消除这一偏移角。同时，这一电流经采样电阻转换成电压值，并经换算获得角速度的量值。当 $\omega = 0$ 时，输出的角速度与输入角速度相等，即 $\omega = \Omega$ 。

3.2 电路设计

电路包括伺服控制电路、电源电路（直流电源电路、信号激磁电源电路和陀螺电机电源电路）。

3.2.1 伺服控制电路

由伺服电路、功率放大电路和低通滤波电路等组成。

伺服电路如图 6 中伺服电路部分所示，伺服电路使用一种高可靠伺服控制集成电路，它是由交流放大、相敏解调、低通滤波、带通滤波和校正电路组成。通过它的外围器件，可以进行滤波和校正参数的调整。

功率放大电路如图 6 功率放大电路部分所示，通过选用功率放大集成电路、电阻器及电容器组成的电压和电流放大环节，以便在力矩器上产生相对应的陀螺进动力矩。

低通滤波电路如图 6 低通滤波电路部分所示，该电路是为抑制各次高频谐波分量的干扰，使检测到的数据达到一定的平滑性而专门设置的有源低通滤波电路，同时能对信号进行一定的放大。它是由低失调电压的运算放大器、电阻器及电容器组成。其输入信号直接在力矩器的末端到地的电阻 $RL1$ 、 $RL2$ 两端上采样获得。

3.2.2 电源电路

本电路除了系统提供 $\pm 15V$ (2A) 电源外，还需设置信号激磁电源和陀螺电机电源才能使电路正常工作。

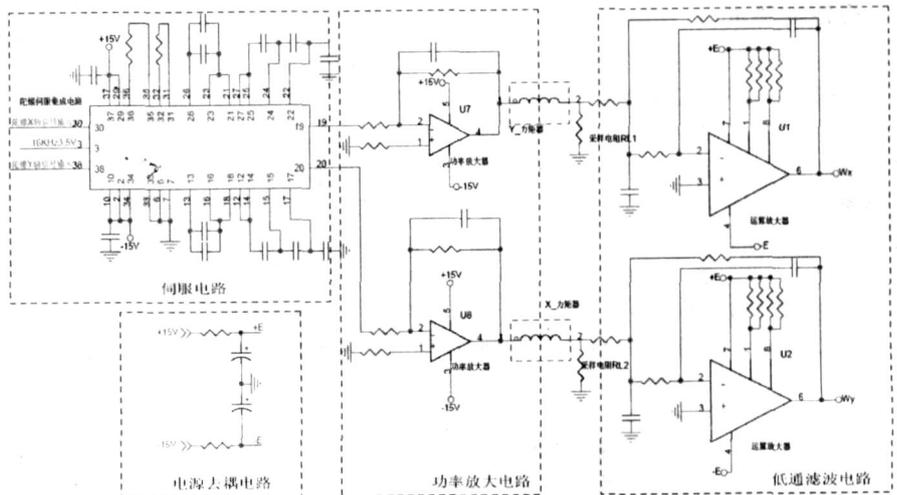


图 6 电路原理图

直流电源如图 6 电源去耦电路部分所示, 它是将系统提供的 $\pm 15V$ 电源经过去耦电路滤波处理后供低失调电压运算放大器使用, 由电阻器和电容器组成。其它电路可直接使用系统提供的 $\pm 15V$ 电源。

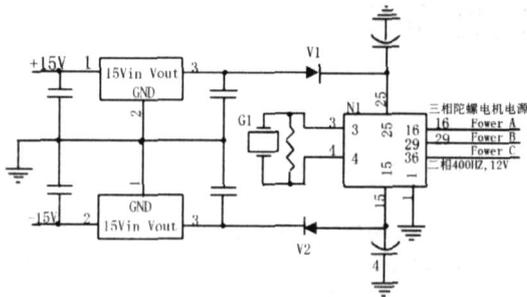


图 7 陀螺电机电源电路原理图

陀螺电机电源电路如图 7 所示, 它主要是由晶体振荡器 G1 和陀螺电机电源集成电路组成, 产生三相 400Hz12V 交流电源, 供启动陀螺电机使用。根据三相电源幅值大小, 选择其电源为 $\pm 8V$, 它由三端稳压器和电容器转换产生, 二极管 V1、V2 是为保护陀螺电机电源集成电路而设置的。



图 8 励磁电源电路原理图

信号激励电源电路如图 8 所示, 它是由晶体振荡器 G2、信号源集成电路以及电阻器、电容器组成, 产生 16 kHz/3.5 V 交流电源, 并经两串联电阻进行分压, 产生 16 kHz/3.5 V 交流电源分别作为陀螺信号传感器和伺服控制集成电路的激励参考源。

4 挠性陀螺电路调试中的主要问题及解决手段

4.1 伺服集成电路的零位补偿

由于高可靠伺服控制集成电路具有一定的输出零位, 该输出零位为毫伏级电压量, 而使用挠性陀螺敏感地球自转角速度水平分量后经该集成电路解调的输出也为毫伏级的电压量, 二者叠加经功率放大电路放大后为陀螺力矩器提供陀螺进动所需的电流, 最后将通过电阻采样的电压值作为陀螺敏感地球自转的输出量。所以伺服控制集成电路的输出零位会对陀螺敏感地球自转的输出产生影响, 可能会湮没输出真值, 影响寻北精度, 因此需要进行零位补偿。可以采用调整功放的零位的办法进行补偿。具体方法为将伺服控制集成电路的两敏感轴信号输入端接地后调整功放的输出为接近零电压, 使用这种手段可以控制经功放放大后的零位在 5mV 以内。

4.2 采样电阻的选择

本系统通过测量电流流过采样电阻后在电阻上的压降来确定陀螺进动力矩器上的电流值, 将该电压值进行一定的滤波、放大和 AD 变换后送交处理器解算。因此在采样电阻阻值的选择上为了能够获得较高的分辨率需要阻值尽可能大, 同时为了保证陀螺的进动速度要求通过陀螺力矩器上电流尽可能的大即采样电阻阻值尽可能小, 这是一种矛盾的关系。陀螺寻北系统

敏感的是地球自转角速度水平分量, 敏感量很小, 但为保证系统在产生突发转动时, 不会对挠性陀螺造成损害, 采用将寻北系统放置在转台上以 15°/s 转动时不会撞击直档的力矩器串联电阻值为该采样电阻取值, 这样可以对这种矛盾关系进行折衷。取得合适的采样电阻可获得相对较高的分辨率, 同时保证较高的陀螺进动速度。有时, 为取得合适的采样电阻也可以适当提高功率放大器的放大倍数。

4.3 AD 变换方法的选择

传统的 AD 变换将电压信号变为数字信号, 电压值与电流值通过采样电阻进行联系, 这就对电阻的精度要求较高。同时如上所述, 采样电阻阻值的大小与陀螺进动速度及其与分辨率之间为矛盾的关系。所以较好的 AD 变换手段为直接采样电流的 I/F 变换方法, 将力矩器上的电流值直接变为频率信号, 用计数器对频率脉冲进行计数, 同时这样也可提高系统的抗干扰能力。

4.4 挠性陀螺的保护

如果陀螺的三相电、 $\pm 15V$ 电源及力矩器同时上电, 由于电路中会有一段时间的冲击电压, 从而产生电流流入陀螺力矩器, 使陀螺撞击直档。由于挠性陀螺的结构特点而使其在耐冲击能力上相对较差, 经常在开机时发生撞击直档现象的状态下使用会引起挠性陀螺的损坏, 所以有必要对挠性陀螺进行保护。可以在电路中添加延时电路, 使系统开机一段时间 (通常仅仅是几秒钟即可) 后再将陀螺力矩器引入系统中。根据实际情况, 建议采用为系统添加与陀螺力矩器串联的延时继电器或使用可编程处理器 (可为 CPLD 或 DSP 等) 控制与陀螺力矩器串联的继电器的方法。经过试验表明这两种手段都可以消除开机时陀螺撞击直档的现象。

5 总结

本文说明挠性陀螺伺服电路的基本结构, 同时分析实际调试过程中遇到的寻北精度及陀螺进动角速度不足等问题的原因, 提出合适的解决方法和改进意见。通过在寻北仪样机中进行实际测试, 表明本伺服电路具有体积小, 精度高, 信号稳定等特点, 可以满足挠性陀螺寻北仪系统的要求。

参考文献:

- [1] 许江宁, 等. 陀螺原理 (第一版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 郭秀中, 等. 陀螺仪理论及应用 (第一版) [M]. 北京: 航空工业出版社, 1987.
- [3] 周百令. 动力调谐陀螺仪设计与制造 (第一版) [M]. 南京: 东南大学出版社, 2002.

(上接第 1334 页)

参考文献:

- [1] 彭启琮, 管庆. DSP 集成开发环境 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 李刚, 林凌. 与 8051 兼容的高性能、高速单片机 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002, 22 - 37.
- [3] 梁双港. 基于相位干涉仪测向算法的定位技术研究 [D]. 西北工业大学硕士论文, 23 - 29.
- [4] TMS320C6000 DSP Interrupt Selector Reference Guide [Z]. Texas Instruments, 2004.
- [5] TMS320C6000 DSP/BIOS API Ref Guide [Z]. Texas Instruments, 2004.