

自动增益控制技术在时栅位移传感器信号处理中的应用*

刘小康¹ 彭东林² 张兴红² 杨 伟²

¹(重庆大学机械传动国家重点实验室 重庆 400044) ²(重庆工学院电子信息与自动化学院 重庆 400050)

摘要 许多传感器都存在加工制造精度不足和安装误差问题,导致通过转换元件拾取的信号时强时弱,而信号幅值的波动又引起传感器的测量误差。针对这一问题,作者在“运用电子技术去弥补机械精度的不足”的思想指导下,提出了一种电子校正的方法,将无线电信号处理中的自动增益控制技术应用到传感器信号处理中,并设计了由乘除法器 AD534 构成的自动增益控制(AGC)电路。最后,以作者正在研制的时栅位移传感器为例,给出了采用自动增益控制技术前后的对比实验结果。

关键词 自动增益控制 传感器信号处理 电子校正 时栅

中图分类号 TH7 **文献标识码** A **国家标准学科分类与代码** 460 4030

An Application of the AGC Technology for Time-grating Displacement Sensor Signal Processing

Liu Xiaokang¹ Peng Donglin² Zhang Xinghong² Yang Wei²

¹(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

²(Dept. of Electronic Engineering, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract Machining precision deficiency and fixing error are often seen in many sensors, which may result in unstable amplitude of the signal picked by probes and further cause measurement error of the sensors. Guided by the concept of using electronic technology to offset machinery precision deficiency, a method of electronic deviation rectifying is proposed, which applies automatic gain control (AGC) technology used in the field of wireless communication to sensor signal processing and devises an AGC circuit consisting of a multiplier divider AD534. Lastly, an example of time-grating displacement sensor under research is given to provide a comparison of experimental results before and after adopting AGC technology.

Key words AGC Sensor signal processing Electronic rectifying Time-grating

1 引 言

许多传感器都存在由于加工制造精度的不足和安装误差引起转换元件拾取的信号幅值波动,最终导致测量误差的现象。如磁栅式传感器由于在磁模不均匀或录制过程不完善造成磁栅上信号幅值不相等,引起细分误差^[1];感应同步器由于制造、安装的误差,两相激励电压的不对称等引起感应电压的幅值变化而导致

相位测量的误差^[2];光栅由于光栅间隙等因素的影响,造成多路信号幅度不一致,要产生电子细分误差^[3]等。作者在研制时栅位移传感器^[4~5]的过程中,亦遇到了这样的问题。

2 时栅位移传感器工作原理

时栅位移传感器工作原理如图 1 所示,在空间对称的三相交流绕组中通以按时间 120°均分的三相交流

* 本文于 2003 年 9 月收到,系国家自然科学基金(50075091)资助项目。

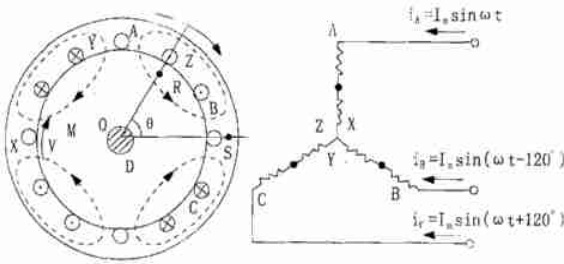


图 1 时栅位移传感器工作原理图

电流时,在三相绕组周围会产生旋转磁场 M 。在线圈骨架上埋一根导线 S 作为定测头,以线圈骨架中心 O 为基准,埋一根导线 R 作为动测头。根据法拉第定律,动、定测头上将产生感生电动势。根据交流电机理论^[6],感生电动势基波表达式为:

$$u_1 = U_{m1} \sin(\omega t - \alpha) \tag{1}$$

式中: U_{m1} 为基波信号幅值

ω 为三相交流电源频率

α 为与测头所处位置相对应的初始相位值

定测头位置固定,信号初始相位恒定,动测头在绕 O 点转动的过程中,初始相位随所处的位置不同而变化。因此,通过检测动、定测头两路信号的相位差,即可实现对空间角位移 θ 的测量。相位检测的原理是将两路正弦信号通过过零检测器(ZCD)整形成方波,然后送入数字比相器中,再通过时钟插补反映出来。

但是,三相激励电压的不对称和幅值变化会引起感应信号的幅值波动。线圈骨架上用于嵌放交流绕组的槽由于受机械加工精度限制在空间分布不均匀;绕制的交流线圈也不可避免地存在不均匀性问题;在动测头按图 1 所示方向,由 Z 位置转向 B 位置的过程中, Z 处导线产生的磁场对动测头 R 上的感应信号影响逐渐减弱, B 处导线产生的磁场对其影响逐渐加大。这些因素都会引起感应电信号的相应谐波分量,因此,就动测头在绕 O 点转动一周来看,动测头 R 上感应的信号为幅值不等的非正弦周期信号。实验观察也验证了这一点。从傅氏级数的观点看,感应信号中除了有用的基波外,还包含了其它的谐波分量,其数学表达式为:

$$u = \sum_{n=1}^k U_{mn} \sin(n\omega t - \alpha_n) \tag{2}$$

$$= U_{m1} \sin(\omega t - \alpha) + \sum_{n=2}^k U_{mn} \sin(n\omega t - \alpha_n)$$

式中: U_{mn} 为 n 次谐波信号幅值

α_n 为 n 次谐波初相

第一项为有用的基波分量,第二项为众谐波分量之和,可理解为噪声。

另外,由于机械加工和安装偏心的存在, O 点可能

处于区域 D 内的某一位置,使动测头 R 与时栅内圆面的气隙在一周内忽大忽小。当 R 与时栅内圆面较近时, R 上的感应信号幅值较大,反之,则幅值较小,其效果相当于偏心信号对原始信号进行了调幅调制。从数学的观点,就是原始信号乘上了一个低频正弦信号。这样,动测头感应信号的数学表达式就变为:

$$u = K (1 + M_a \sin \omega t) \sum_{n=1}^k U_{mn} \sin(n\omega t - \alpha_n) \tag{3}$$

$$= K (1 + M_a \sin \omega t) U_{m1} \sin(\omega t - \alpha) +$$

$$K (1 + M_a \sin \omega t) \sum_{n=2}^k U_{mn} \sin(n\omega t - \alpha_n)$$

式中: K 为与偏心有关的偏心系数

M_a 为调幅系数,与偏心有关

ω 为偏心角频率

3 电子校正方法

动测头感应信号从式(3)可看出,由于包含了偏心调制信号和许多谐波分量,导致信号正弦性变差和幅值波动。过零检测器由于输入漂移电压的存在,过零检测并非绝对过零,而是有一个偏移电压。这样信号幅值波动必然引起相位测量的误差,使时栅位移传感器工作在线性状态。因此,为提高传感器测量精度,改善其性能,应确保送入过零检测器的两路信号尽量为正弦基波信号,需针对性地设计信号提纯电路。式(3)中谐波分量可通过窄带带通滤波器滤掉,则剩下的信号为:

$$u = K (1 + M_a \sin \omega t) U_{m1} \sin(\omega t - \alpha) \tag{4}$$

该信号并非完全的基波分量,而是偏心信号对基波信号的调制信号。对于这种调制信号,要对其进行分解和滤波,比对一般叠加信号的分解和滤波要困难得多。对叠加信号只要分别采用高通、低通或带通滤波器即可获得所需频率成分的信号,而对调制信号则做不到这一点。调制在数学上是两信号相乘的关系,不能简单地靠普通的滤波方法将偏心信号去掉。为解决这一类问题,作者将无线电信号处理中的自动增益控制技术运用到传感器信号的解调处理中,运用电子技术来弥补机械制造精度的不足和安装偏心。

自动增益控制电路主要用于无线电通信接收机中,以维持整机输出恒定,几乎不随外来信号的强弱而变化。目前,用于无线电信号处理的AGC电路,增益的控制是靠改变晶体管放大器工作点电流来实现的^[7-9]。这必然会引起输入、输出阻抗的变化,影响放大器的调谐与匹配,导致放大器频率特性曲线变形、通频带变化、失真增大及稳定性变差等^[9]。这些因素限制

了其根本无法应用于高精密测量领域的信号处理当中。并且该类AGC电路均是针对高频信号设计,不适用于对低频传感器信号进行处理。但是,这种反馈控制电路的设计思想值得借鉴,正是在这一思想的指导下,作者研制出一种电子校正的方法。电子校正方法原理如图2所示。

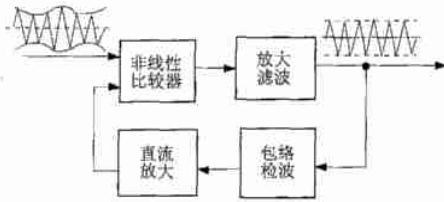


图2 电子校正原理图

信号经包络检波后,解调出来的信号与输入的振幅调制信号的包络变化规律相同,其直流成分与包络检波器输入信号的振幅成正比,经直流放大后得到一个直流电压,将该电压作为一个反馈信号输入到非线性比较器中。当输入信号幅值较大时,反馈信号就强,在非线性比较器中,反馈信号对输入信号幅值进行衰减;当输入信号幅值较小时,反馈信号就弱,在非线性比较器中,对输入信号幅值进行放大。并且,输入信号幅值越大衰减越强,幅值越小放大倍数越大,这样输出信号幅值维持基本不变,进入过零检测器的信号就具有较为稳定的信号幅值。

4 AGC 电路原理

根据上面介绍的电子校正原理,采用乘除法器AD534设计的自动增益控制(AGC)电路如图3所示。

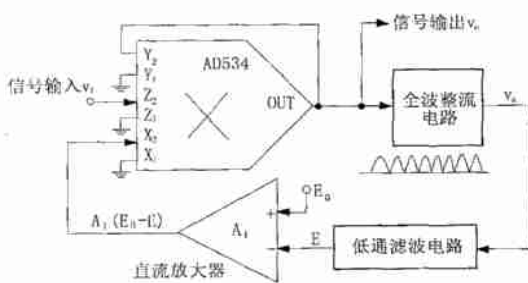


图3 AGC 电路原理图

AD534是单片集成高精度四象限乘除法器,\$X\$、\$Y\$和\$Z\$三个输入端均具有高阻抗,并可采用差分输入方式。信号 \$v_1\$ 从 \$Z_2\$ 端输入,\$X_2\$ 输入端加输出信号 \$v_o\$ 经包络检波后得到的直流电压信号,同时输出信号从 \$Y_2\$ 端反馈给AD534。\$v_o\$ 经全波整流电路后,其输出信号 \$v_2\$ 电压

等于 \$v_o\$ 的绝对值,即:

$$v_2 = |v_o| \quad (5)$$

\$v_2\$ 经低通滤波后得到其直流分量 \$E\$, \$E\$ 的大小与输出电压 \$v_o\$ 的幅值成正比。\$E\$ 与固定电压 \$E_0\$ (其决定小信号增益) 在直流放大器中相减,得到的直流信号输入到AD534的 \$X_2\$ 脚,因此:

$$X_2 = A_1(E - E_0) \quad (6)$$

\$X_2\$ 变化率与输入信号 \$v_1\$ 振幅变化率相反。图3所示电路连接下,AD534将以除法器方式工作,其输出与输入的函数关系为:

$$v_o = \frac{10(Z_2 - Z_1)}{X_1 - X_2} + Y_1 \quad (7)$$

式中:10是一个可以预置的比例因子。\$X_1\$、\$Y_1\$ 和 \$Z_1\$ 引脚均接地,电压值为0。再结合式(6)得到:

$$v_o = \frac{10Z_2}{X_2} = \frac{10v_1}{A_1(E_0 - E)} \quad (8)$$

当 \$v_1\$ 的振幅变化时,\$A_1(E_0 - E)\$ 作相同方向的变化,\$A_1(E_0 - E)\$ 变化规律跟踪 \$v_1\$ 振幅变化规律,随 \$v_1\$ 振幅的增大而增大,减小而减小,两者作除法运算后,维持输出电压 \$v_o\$ 幅度基本不变。

5 实验结果

按图3设计的AGC电路性能指标为:输入信号幅值变化20dB时,输出电压的变化不超过1dB。为了验证电子校正方法的实验效果,作者开展了采用AGC电路前后的对比实验。时栅光栅对比实验装置如图4所示,时栅固定在一块金属平板上,通过四根支柱在平板上安装一台国产回转工作转台,在转台上方装有HEIDENHAIN圆光栅ROD880(栅线数为36000,电子细分及数显箱型号为ND281B,最小分辨率1)。实测时,以光栅测量值为对比实验基准,按10为间隔,一周采样36点,光栅测量值为横坐标,时栅测量值与光栅值之差作纵坐标,各测试点连接之折线图即为测量值误差曲线图。时栅动,定测头两路信号经智能信号处理电路后得到的角位移值通过USB接口送入计算机,光栅测量值由编制的计算机软件通过RS-232接口直接读取,由计算机软件自动完成误差曲线的绘制。

图5为采用AGC电路前后测量值误差曲线图,其中曲线1是未采用AGC电路时测得的误差曲线,时栅综合误差值即误差曲线峰峰值为51,曲线2是将AGC电路接入时栅信号处理电路后测得的误差曲线,时栅综合误差值为29。



图4 时栅光栅对比实验装置

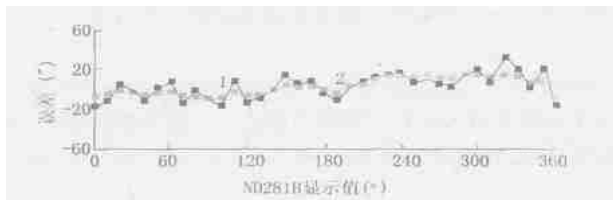


图5 采用AGC电路前后测量值误差曲线图

6 结 论

从图5可看出,运用电子校正方法,不仅提高了时栅位移传感器测量精度,而且改善了时栅的线性度。另外一个角度,经过滤波网络之后的动测头信号尽管已经去掉大部分噪声,信号变得较为平整,但一些幅度较大和带外噪声还是不能彻底滤掉,经过AGC电路,一方面可以将幅度过大的噪声衰减下来;另一方面还可以把幅度较小的信号提升起来,从而提高了测头的灵

敏度。电子校正思想可推广应用于对信号幅值有要求的测量领域,以降低对原始信号的要求,并提高测量精度。

参考文献

- 1 单成祥 传感器的理论与设计基础及其应用 北京:国防工业出版社,1999
- 2 张承瑞 机床传动链误差实时建模与补偿控制研究:[博士学位论文] 济南:山东工业大学,1995
- 3 费业泰,卢荣胜 动态测量误差修正原理与技术 北京:中国计量出版社,2001
- 4 彭东林,张兴红,刘小康,等 场式时栅位移传感器研究 仪器仪表学报,2003,24(3):329~331
- 5 D. Peng, W. Tan, X. Liu, X. Zhang Time-space coordinate transformation and time grating displacement sensor. Proc of ISIST'2002, 2002, 3: 440~444
- 6 李发海,朱东起 电机学 北京:科学出版社,2001
- 7 王树本 高频电子线路原理 第2版 大连:大连理工大学出版社,1999
- 8 谢嘉奎 电子线路 北京:高等教育出版社,2000
- 9 吴运昌 模拟集成电路原理与应用 广州:华南理工大学出版社,1995

作者简介

刘小康 1978年生 男 博士 研究方向为智能仪器、网络化测控理论与技术
E-mail: lxx@cqit.edu.cn

(上接第524页)

- 19980005393 USA:NASA, 1996
- 3 Hua Lee, Carlos Ricci Modification of the scanning laser acoustic microscope for holographic and tomographic imaging Appl Phys Lett, November 1986, 17: 1336~1338
 - 4 周鹰,王亚非 激光扫描声学显微镜中透镜效应的研究 压电与声光 2000, 22(3): 42~44
 - 5 R. K. Mueller, R. L. Rylander: New demodulation scheme for laser scanned-acoustic imaging systems J.

Opt Soc Amer, 1979, 69: 407~412

- 6 Kenneth R. Castleman 著 数字图像处理 朱志刚,等译 北京:电子工业出版社,1998
- 7 张贤达 现代信号处理 北京:清华大学出版社,1995

作者简介

周鹰 1971年生 男 讲师 研究方向为物理电子技术及微波声学
E-mail: yzhou@uestc.edu.cn