

# 冗余技术在增量式时栅位移传感器 信号处理电路中应用

王彦刚<sup>1</sup>, 彭东林<sup>2</sup>, 徐 君<sup>2</sup>, 李 岩<sup>2</sup>

(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:** 在分析增量式时栅可靠性问题的基础上, 介绍了冗余设计思想和冗余结构, 给出了增量式时栅位移传感器信号处理电路的硬件冗余设计方案; 增加动测头, 并将其产生的信号采用并联方式进行增量式时栅防失步硬件冗余结构设计; 在保证防失步可靠度的基础上, 并联几个相同结构的防失步电路模块, 可有效防止由于串扰引起的增步现象。对设计方案进行了仿真分析, 并给出了增量式时栅可靠性设计的参考数据。结果显示, 选取适当的动测头数, 可在提高实时性的同时提高增量式时栅位移传感器的可靠性。

**关键词:** 冗余技术; 时栅; 增量传感器; 可靠性

**中图分类号:** TP 212

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-6047(2006)03-0082-03

## 1 增量式时栅位移传感器测量信号

为了与数控系统中普遍使用的增量式接口相匹配, 一般采用增量式时栅位移传感器(以下简称增量传感器)。当测量信号产生失步或增步时, 测量结果将产生较大的误差, 使测量的可靠性严重降低。图 1 为增量式时栅位移传感器测量信号, 图中(a)为正确测量脉冲信号; (b)为含有由于失效产生的失步现象的测量脉冲信号; (c)为含有由于串扰产生的增步现象的测量脉冲信号。这种误差从原理上说一旦产生就无法消除, 因此只能从技术上防止它的产生。

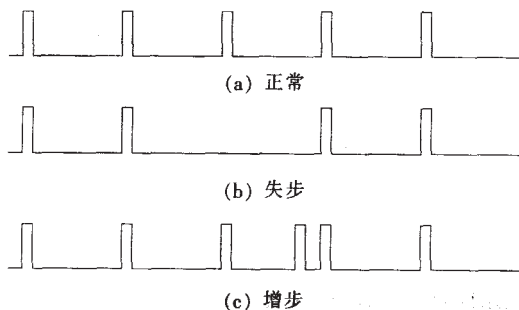


图 1 增量式时栅位移传感器测量信号

Fig.1 Signals measured by incremental time grating displacement sensor

## 2 硬件冗余技术的基本概念<sup>[1-3]</sup>

在增量式时栅位移传感器信号处理电路设计中, 主要采用硬件冗余技术提高传感器测量的可靠性。

### 2.1 硬件冗余基本原理

硬件冗余技术是在原部件(系统)的基础上并联一个或多个功能相同的备份部件(系统), 当原部件(系统)发生故障或失效时, 其功能可以由与它并联的备份部件(系统)完成, 从而不影响整个系统的正常工作。

### 2.2 硬件冗余基本结构

在系统的冗余技术设计中, 常采用 3 种冗余系统设计, 即: 并联系统、备用系统和表决系统。并联冗余系统是由几个结构相同、功能相同的装置组成的并联运行系统。

a. 并联系统如图 2(a)所示, 共有  $D_1, D_2, \dots, D_n$  个装置并联, 每个装置的可靠度分别为  $R_1, R_2, \dots, R_n$ , 则并联系统的可靠度为

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

备用冗余系统是由  $n$  个结构和功能相同的装置构成的互为备用的系统。

b. 备用系统如图 2(b)所示, 由  $n$  个结构和功能相同的装置构成的互为备用系统, 共有  $D_1, D_2, \dots, D_n$  个装置, 图中  $CH_1, CH_2, \dots, CH_n$  为失效检测器,  $S$  为转换器, 其功能是检测  $D_i$  是否出现故障, 以便由  $S$  进行自动切换, 切除故障装置而接入备用装置。

c. 表决冗余系统是由  $n$  个相同装置构成的多数表决系统。如图 2(c)所示, 共有  $D_1, D_2, \dots, D_n$  个装置,  $B$  为表决器, 每个装置的信息均输入到表决器中, 并将各输入信息相比较, 只有当运行正常的装置个数超过失败的装置个数时,  $B$  才判决输入正确。

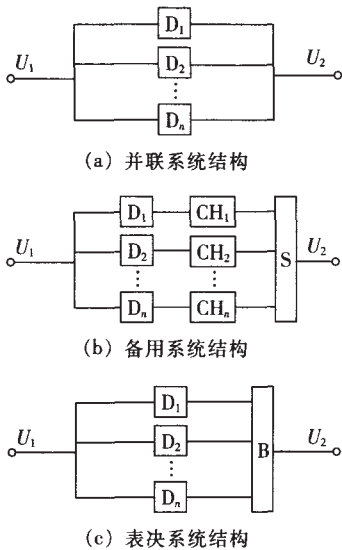


图 2 硬件冗余系统结构

Fig.2 Configuration of HW redundant system

### 3 增量传感器信号处理电路可靠性设计

#### 3.1 工作原理及信号输出<sup>[4-5]</sup>

增量传感器工作原理如图 3 所示。

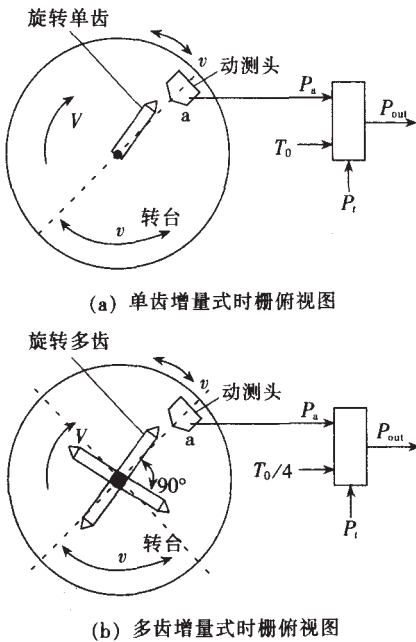


图 3 增量传感器工作原理

Fig.3 Working principle of incremental sensor

a. 图 3(a) 为单齿式增量传感器。动测头为运动质点 a。旋转电动机带动的角形单齿, 周期性地考查 a 点, 将动测头 a 的位移变成了时间之差。当被测物体静止不动时, 动测头 a 不动, 每当旋转单齿再次掠过动测头 a 的时间  $T_1$  为  $T_0$ , 当被测物体发生运动时, 每当旋转单齿再次掠过动测头的时间  $T_1$  将不是  $T_0$ 。这时, 位移增量为  $X_i = V(T_1 - T_0)$ 。总位移为  $X_i = \sum V(T_i - T_0)$ 。

b. 当将旋转单齿变为 n 个齿时, 如图 3(b) 所示,

测量周期将缩短为  $T_1/n$ 。

#### 3.2 可靠性分析<sup>[6]</sup>

从图 1 可见, 当时栅传感器受到干扰或失效时, 将影响传感器的测量可靠性。当产生失步现象时, 测量结果产生正向跳动, 使测量值正向远离实际值, 测量值将大于实际值; 当产生增步现象时, 测量结果将产生负向跳动, 测量值将负向远离实际值, 测量值将小于实际值。

#### 3.3 信号处理电路冗余设计

增量传感器产生失步的原因, 主要是发生在当旋转齿掠过动测头时, 没有产生触发脉冲信号。因此, 在设计时采用增加动测头的方法进行冗余电路设计。如图 4 所示, 当采用 N 个动测头时, 将其产生的信号采用并联(或门电路)的方式进行冗余设计, 只要 N 路信号中有一路信号正确, 输出的电路信号将不会产生失步现象, 其可靠度为  $R_{2S} = 1 - (1 - R_S)^2$ 。

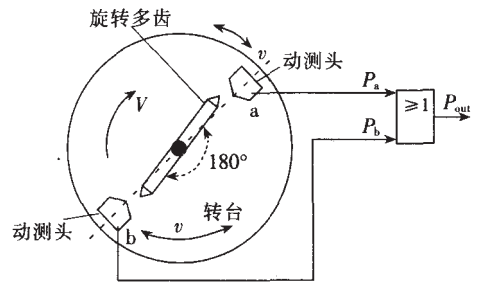


图 4 增量式时栅防失步硬件冗余结构

Fig.4 HW redundant configuration of incremental time grating displacement sensor against loss-of-step

增量传感器产生增步现象是由于干扰信号产生干扰脉冲信号引起的。当采用图 4 所示的防失步信号处理电路时, 增步现象发生的几率将变为  $1 - R^2$ , 即增步现象发生的几率变大了。根据硬件冗余提高可靠度的方法, 在保证防失步可靠度的基础上, 可以将防失步电路模块增加为 M 个相同结构的电路模块, 然后将这 M 路防失步电路模块并联(与门电路)。如图 5 所示。其可靠度为  $R_{3z} = 1 - (1 - R_z^2)^3$ 。这样就可以有效地防止由于串扰引起的增步现象的发生。

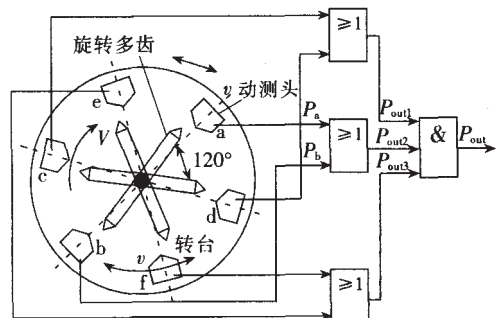


图 5 增量式时栅防失步、增步硬件冗余结构

Fig.5 HW redundant configuration of incremental time grating displacement sensor against loss-of-step and gain-of-step

3.4 冗余信号处理电路综合评价

如图 5 所示,在增加(NM- 1)个动测头和采用冗余电路后,增量传感器的测量可靠性将大幅度提高,可有效地避免失效引起的失步现象和串扰引起的增步现象。假定原电路考虑由失效引起的失步后其可靠度为  $\eta = 90\%$ ,考虑由串扰引起的增步后其可靠度  $\eta = 90\%$ 。采用冗余度设计后,其综合性能指标如表 1 所示。

表 1 增量式时栅综合性能指标

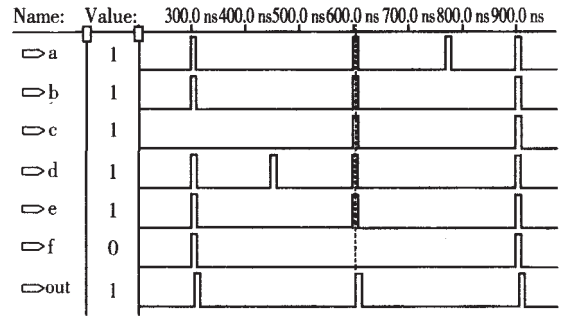
Tab.1 Synthetic performance indices of incremental time grating displacement sensor

| N | R <sub>ns</sub> | M | R <sub>n-mz</sub> | NM | T                  |
|---|-----------------|---|-------------------|----|--------------------|
| 2 | 0.9900          | 1 | 0.8100            | 2  | T <sub>0</sub> /2  |
|   |                 | 2 | 0.9639            | 4  | T <sub>0</sub> /4  |
|   |                 | 3 | 0.9932            | 6  | T <sub>0</sub> /6  |
|   |                 | 4 | 0.9987            | 8  | T <sub>0</sub> /8  |
| 3 | 0.9990          | 1 | 0.7290            | 3  | T <sub>0</sub> /3  |
|   |                 | 2 | 0.9266            | 6  | T <sub>0</sub> /6  |
|   |                 | 3 | 0.9801            | 9  | T <sub>0</sub> /9  |
|   |                 | 4 | 0.9946            | 12 | T <sub>0</sub> /12 |
|   |                 | 5 | 0.9985            | 15 | T <sub>0</sub> /15 |
| 4 | 0.9999          | 1 | 0.6561            | 4  | T <sub>0</sub> /4  |
|   |                 | 2 | 0.8817            | 8  | T <sub>0</sub> /8  |
|   |                 | 3 | 0.9594            | 12 | T <sub>0</sub> /12 |
|   |                 | 4 | 0.9860            | 16 | T <sub>0</sub> /16 |
|   |                 | 5 | 0.9952            | 20 | T <sub>0</sub> /20 |

由表 1 可见,当动测头数与旋转齿数相同时,在增量式时栅位移传感器提高实时性的同时(采样周期由 T<sub>0</sub> 变为 T<sub>0</sub>/(MN)),由于采用了冗余度设计,增量式时栅位移传感器测量的可靠度也大幅度提高。同时,表 1 也可作为增量传感器动测头与旋转齿数设计时的参考数据。

4 仿真结果<sup>[7]</sup>

图 6 为采用冗余技术设计的增量传感器的防失步增步信号处理电路及仿真结果。如图所示,当电路中的 c, f 路信号发生失效, a, d 路信号发生串扰时,信号处理电路可以有效地将误差信号屏蔽掉,其测量信号不会由某几路测量信号的错误信号而影响测量的精度,从而能够提高增量式时栅位移传感器测量的可靠性,满足工程中的测量需要。



(b) 仿真结果

图 6 防失步、增步冗余电路及仿真结果

Fig.6 Redundant circuits against loss-of-step and gain-of-step and its simulative results

5 结语

在增量传感器信号处理电路的可靠性设计中,主要采用了冗余技术,其可靠度与冗余度是紧密相关的,一般情况下,冗余度越高,即备用的相同部件越多,可靠性越高,同时信号处理电路的复杂度也会加大。可根据实际需要,参考表 1 数据,选取适当的动测头数,在提高实时性的同时提高增量式时栅位移传感器的可靠性,从而使增量式位移传感器的性价比达到最高。

参考文献:

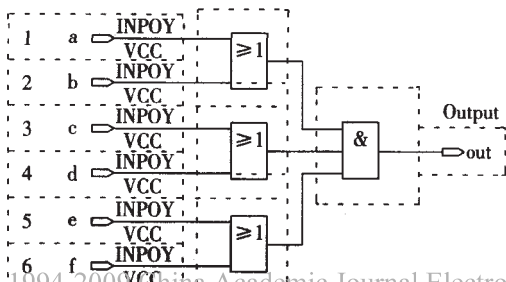
[1] 李永田,刁立峰. 冗余技术与机载火控测量控制系统的可靠性[J]. 计量与测试技术,2003(2): 36-37.  
LI Yong-tian, DIAO Li-feng. The redundancy and the reliability of the airborne fire control & measurement control system[J]. Metrology & Measurement Technique, 2003(2): 36-37.

[2] 汤卫东. 硬件冗余技术及可靠性评价[J]. 广西民族学院学报:自然科学版,2003(4): 63-67.  
TANG Wei-dong. On the hardware redundancy techniques and the evaluation of their reliability[J]. Journal of Guangxi University for Nationalities: Natural Science Edition, 2003(4): 63-67.

[3] 王彦刚,彭东林,石永福,等. 时栅传感器在数控系统中的应用[J]. 制造业自动化,2005(9): 51-53.  
WANG Yan-gang, PENG Dong-lin, SHI Yong-fu, et al. The applications of time-grating displacement sensor in numerical control system[J]. Manufacturing Automation, 2005(9): 51-53.

[4] 彭东林,刘成康,谭为民. 时空坐标转换理论与时栅位移传感器研究[J]. 仪器仪表学报,2000(4): 338-342.  
PENG Dong-lin, LIU Cheng-kang, TAN Wei-min. Study on the theory of time-space coordinate transformation and the time grating displacement sensor[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2000(4): 338-342.

[5] KRISHNA C M, SHIN K G. 实时系统[M]. 戴琼海,译. 北京:清华大学出版社,2004.



(a) 处理电路

GUO Zhan-wei, YUAN Ai-fang, ZHANG Chang-yan, et al. Protection and control of breaker operating circuit [J]. Relay, 2004, 32( 19) : 67- 70.

(责任编辑: 李 玲)



杨 灿

从事电力系统继电保护工作 (E - mail: csysc1976@yahoo.com.cn);

周有庆(1944-), 男, 河北故城人, 教授, 博士研究生导师, 从事电力系统继电保护、变电站综合自动化等方面的教学与研究;

彭红海(1972-), 男, 湖南会同人, 讲师, 博士研究生, 从事电力系统继电保护和变电站综合自动化方面的教学与研究。

作者简介:

杨 灿(1976-), 男, 湖南长沙人, 工程师, 硕士研究生,

Analysis of WXH- 800 series line protective devices 'reclose misoperation

YANG Can<sup>1</sup>, ZHOU You-qing<sup>2</sup>, PENG Hong-hai<sup>2</sup>

(1. Hunan Electric Power Transmission and Substation Construction Company, Changsha 410015, China; 2. College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The incorrect reclose of line protective devices in electric power system will result in personal injuries and system accidents. The principle and electrical design of WXH- 800 series line protective device are analyzed combined with tests. Causes of incorrect reclose are concluded. Three countermeasures are brought forward: discharge the recloser when the control loop appears broken line or the handle SPT is set local, make KTP reflect the actual state of circuit breaker. The advantages and disadvantages are compared.

Key words: reclose; broken line; trip position

(上接第 84 页 continued from page 84)

[6] 李谋. 位置杆测与数显技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.

[7] 强锡富. 几何量电测量仪[M]. 北京: 北京机械工业出版社, 1981.

[8] 王建坤. MAX+PLUS 入门与提高[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[9] 杨小冈, 缪栋, 宋光明. 导弹控制系统的冗余技术研究[J]. 上海海运学院学报, 2001(3): 175- 178.

YANG Xiao-gang, MIAO Dong, SONG Guang-ming. On redundancy technology of missile control system[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2001(3): 175- 178.

[10] 赵树忠. 冗余技术在几何量测量中的应用[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2003( 1) : 21- 24.

ZHAO Shu-zhong. Applications of redundancy technique in geometry parameter measurements[J]. Journal of Chengde Petroleum College, 2003( 1) : 21- 24.

(责任编辑: 柏英武)



作者简介:

王彦刚(1976-), 男, 河北鹿泉人, 硕士研究生, 研究方向为计算机辅助测量理论及技术, 主要从事测控系统和传感器的研究(E-mail: cqdxyangang@163.com)。

Applications of redundancy technique in signal processing circuit for incremental time grating displacement sensor

WANG Yan-gang<sup>1</sup>, PENG Dong-lin<sup>2</sup>, XU Jun<sup>2</sup>, LI Yan<sup>2</sup>

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: The reliability of incremental time grating displacement sensor is analyzed, and the idea and configuration of redundancy are introduced. HW redundancy schemes are presented for its signal processing circuit. By adding moving probe unit and paralleling the signals produced, loss-of-step fault can be prevented. Configuring several circuit modules mentioned above in parallel can further prevent gain-of-step fault. The designed scheme is simulated and the reference data are provided for its reliability design. Results show that both the reliability and the real-time performance of incremental time grating displacement sensor can be improved with appropriate number of moving probe units.

This project is supported by the National Natural Science and Technology Foundation of China (50075091).

Key words: redundancy technique; time grating; incremental sensor; reliability