

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221652

# 一种高可靠多信号冗余转速继电器应用研究

束炳芳<sup>1</sup>, 赵伟俊<sup>2</sup>, 劳鹏飞<sup>2</sup>, 甘倍荣<sup>1</sup>, 董承志<sup>1</sup>, 张刘桐<sup>1</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司紧水滩水力发电厂, 浙江 丽水 323000; 2. 武汉三联水电控制设备有限公司, 湖北 武汉 430200)

**摘要:** 市场现有转速继电器转速信号源采集单一, 抗干扰差, 容易因测量信号失真、测量通道故障导致转速节点输出错乱。为提高其精确度和可靠性, 引入双残压信号输入和双探头齿顺序测速法的多信号冗余采集方式, 通过三选一逻辑判断方式选出主用信号源; 并在转速节点信号输出过程中使用限幅平均滤波法和检索干扰输出闭锁方式, 消除信号输出过程中的失真。通过仿真试验台测试和在水电站发电机组上的应用验证, 该方法在信号采集回路抗干扰能力、信号测量精度及转速节点输出动作可靠性等方面均有显著提升。

**关键词:** 双探头; 信号冗余; 齿顺序测频; 三选一; 转速继电器

**中图分类号:** TM77      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-7709(2023)07-0218-03

## 1 引言

转速继电器将测量到的机组转速按照程序设定的转速区间, 换算成转速节点信号以离散量的形式送至机组监控系统, 机组监控系统根据接收到的转速节点信号确定发电机当前运行状态并完成自动开机、并网发电、超速保护、启动紧急停机、启动事故停机、自动停机、投刹车等流程。若转速继电器输出信号失真, 不能准确反映当前机组转速, 则会导致发电机控制及保护系统发出错误控制指令, 导致发电机出现非停等故障甚至更严重事故。分析总结现有转速继电器运行过程中出现的问题, 发现大部分故障是因测速探头安装不规范、残压信号采集回路出现干扰导致转速继电器所输出的节点信号失真引起。对此, 通过重新设计和深化改进信号测量、逻辑判断及输出执行环节, 以期提高信号测量的可靠性、增加设备运行的稳定性、消除干扰所引起错误输出的可能性; 从信号采集处理、三选一信号逻辑识别和输出信号滤波闭锁三方面对改进后的转速继电器进行论证, 可显著提升信号采集回路抗干扰能力、信号测量精度及转速节点输出动作可靠性等。

## 2 转速继电器的系统结构

高可靠多信号冗余转速继电器主要由转速信

号采集、转速信号逻辑辨识及预处理、转速信号智能逻辑判断及节点输出与人机交互界面四部分组成, 见图1。

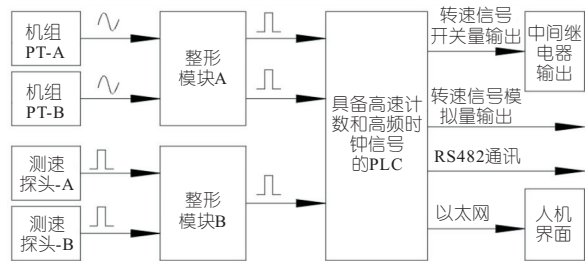


图1 多信号冗余转速继电器系统结构

Fig. 1 Multi-signal redundant speed relay system structure

发电机组转速信号采集系统由双测速探头组成的齿盘转速信号采集部分、机组两路PT回路组成的残压转速信号采集部分和A、B套整形模块组成的信号滤波整形和稳态触发元件构成。转速信号逻辑辨识及预处理系统由具有高速计数和高速时钟信号的PLC高速输入模块及编写好的逻辑程序完成。转速信号智能逻辑判断及接点输出由PLC的输出信号智能筛选识别程序和离散量、模拟量输出模块及外部中间继电器实现。人机交互界面选用工业级触摸屏。

## 3 转速信号采集处理

### 3.1 残压转速信号采集

信号采集包括了残压测速信号采集部分和齿

收稿日期: 2022-08-11, 修回日期: 2022-09-23

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究计划项目(B2018328)

作者简介: 束炳芳(1982-), 男, 硕士, 研究方向为水电厂设备技术管理和检修管理, E-mail: edguy@163.com

盘测速信号采集部分。残压测速信号采集部分将传统的单路信号采集设计为双路信号采集,即分别从发电机出口的两个电压互感器引出两路残压信号送至转速继电器内部的残压信号整形模块(整形模块 A),两路残压测速信号输入到整形模块后,经过耦合、限幅、滤波、整形然后输出两路幅值 24 V 的方波信号。随后将两路方波信号同时送至具有高速计数和高速时钟信号的 PLC 高速计数模块的两个通道。由此在残压测速信号输入回路形成转速信号源的冗余备用。

### 3.2 齿盘转速信号采集

齿盘转速信号采集部分摒弃了传统单测速探头测量转速的方式,改进引入了双探头齿顺序测速法采集齿盘转速信号,双探头齿顺序测速法在探头的安装和双路信号处理回路均做了更新设计。

双探头齿顺序测速法就是先通过安装在发电机主轴上的齿盘触发两个测速探头输出两路幅值为 24 V 的脉冲信号;再将两路脉冲信号输入至齿盘整形模块(整形模块 B),两路脉冲信号经过整形模块内的单稳态触发器后,整合为一路幅值为 24 V 的方波信号;最后将该信号送至 PLC 高速计数模块,通过 PLC 测速程序计算出机组转速。

#### 3.2.1 单、双测速探头测速法比较

单测速探头测量发电机转速的原理为安装在发电机主轴上齿盘的齿在跟随发电机旋转过程中触发安装在固定位置的测速探头,然后通过测速探头输出的脉冲宽度计算得机组转速;因此单测速探头测速法对齿盘的加工精度要求很高,若齿盘的齿加工不均匀,则在恒定转速下不同齿距触发测速探头所输出的脉冲宽度会存在差异,使脉冲周期出现波动;为得到更为精确的测量值,在转速继电器中均采用测周法测量转速,脉冲周期的波动最终使测到的发电机转速出现波动。

双探头齿顺序测速法的测速探头安装方式要求测速探头 A、B 的安装间距大于齿牙 K 的齿宽,齿牙 K、K+1 的齿距大于测速探头 A、B 的外径,否则无法触发出有效的脉冲信号。安装方式见图 2。其测量原理是利用测周法测量齿盘的同一个齿旋转过程中顺序通过两个探头之间的时间历程从而得机组转速。

#### 3.2.2 双探头齿顺序法信号处理

当安装在发电机主轴上的齿盘跟随发电机按照顺时针方向旋转时,安装在发电机机架上的测速探头的位置固定不动,且测速探头 A、B 之间的距离亦固定。发电机带动齿盘旋转,齿盘的每个齿牙经过测速探头 A、B 均会产生幅值为 24 V 的

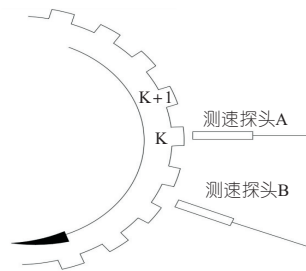


图 2 测速探头安装示意图

Fig. 2 Speed probe installation diagram

脉冲波信号;测速探头 A、B 所产生的脉冲信号  $f_{T1}$ 、 $f_{T2}$  分别送至单稳态触发器 A、B,利用单稳态触发器产生两个固定脉宽的脉冲  $f_{DW1}$ 、 $f_{DW2}$ ,再将  $f_{DW1}$ 、 $f_{DW2}$  送至 RS 触发器。由于测速探头的安装规则,两个脉冲信号  $f_{DW1}$ 、 $f_{DW2}$  存在时间间隔,所以 RS 触发器 C 就会输出脉宽为  $f_{DW1}$ 、 $f_{DW2}$  时间间隔的脉冲信号  $f_4$ ,见图 3。

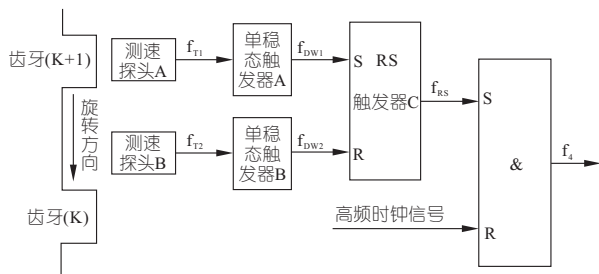


图 3 双探头齿顺序测速过程

Fig. 3 Double probe tooth sequential speed measurement process

由此可见,  $f_4$  的脉宽和发电机转速成反比。因此通过测量  $f_4$  脉冲宽度,就可计算出发电机的实时转速。双探头齿顺序测速法是测量两个测速探头之间的脉冲宽度而不是测量齿盘的齿之间的宽度,因此齿盘的加工精度不影响转速测量精度<sup>[1]</sup>。双探头脉冲波形见图 4。

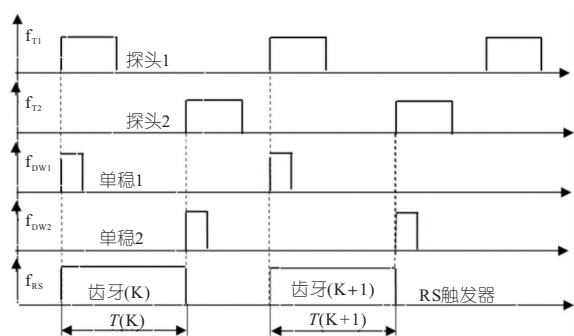


图 4 双探头齿顺序测速波形示意

Fig. 4 Dual-probe velocimetry wave form diagram

## 4 三选一信号逻辑识别及测量

在转速信号采集系统中,通过对原始信号的采集和处理,最终将  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_4$  三路转速的方波信

号送至 PLC, 然后通过三选一的逻辑识别方式选出其中一路作为主用信号。主用信号三选一的逻辑判断见图 5, 当输入到 PLC 的  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_4$  均无故障时, 利用相互比较的方式选择三路转速(频率)信号的中间一路转速值为最主用信号, 其他两路为备用信号且实时监控比较。若  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_4$  其中一路转速信号有故障, 则进入故障判断和选择逻辑程序中。当  $f_1$  故障、 $f_2$  无故障时, 调用  $f_2$  作为主用信号, 当  $f_2$  故障、 $f_1$  无故障时, 调用  $f_1$  作为主用信号; 当  $f_1$ 、 $f_2$  同时故障时, 调用  $f_4$  作为主用信号。任意一路转速信号故障时均会通过人机界面输出报警信号, 且通过通讯方式将故障信号传送到机组监控系统。当  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_4$  三路转速(频率)信号均故障后, 程序逻辑立刻锁定故障前的输出状态, 防止误动作, 并输出严重故障信号至机组监控系统<sup>[2,3]</sup>。

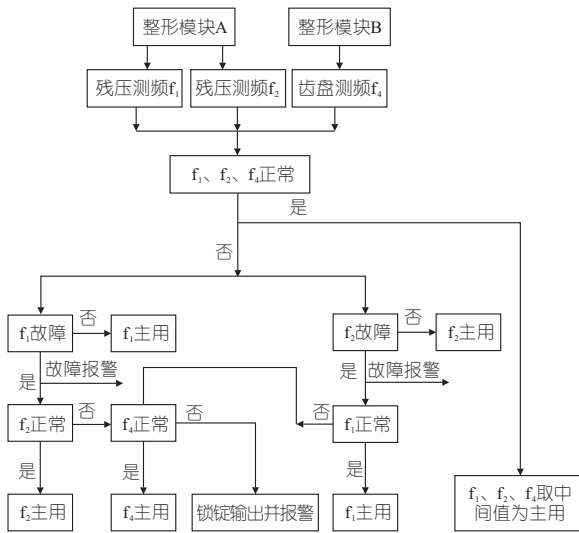


图 5 三选一逻辑判断

Fig. 5 Three-choice-one logical judgment

通过测试和对比, 选用西门子 S7-1200 系列的 1214C PLC 为最核心控制器。该型 PLC 集成有开关量输入输出通道、6 个可组态或 SB 输入的高速计数器, 可同时输入测量处理 6 路机组转速信号。CPU1214C 内置 8MHz 晶振, 其时基为 125 ns, 通过计算可得出测速分辨率达到 0.000 312 5 Hz。

## 5 输出信号滤波闭锁

通过三选一逻辑判断识别主用信号并计算出机组转速。PLC 按照编写好的逻辑程序, 根据当前所测转值输出对应转速节点信号。为提高输出节点信号的可靠性, 重新设计信号输出的逻辑程序。

首先在转速信号比较程序中编写回差缓冲

区, 即整定值和返回值之间添加缓冲区, 例如 J1 的整定值为 5%, 返回值为 4.5%, 当转速大于 5% 时 J1 动作输出、小于 4.5% 时 J1 复位, 由于动作节点判断程序中添加了回差复位方式, 消除了机组转速在整定值附近运行时输出接点频繁动作/复归的问题。每个节点的整定值和返回值及每个动作节点的 NC/NO 动作方式可以单独设置。通过人机界面可轻松实现参数修改和监视及调用历史参数<sup>[4]</sup>。

其次对输出信号添加滤波闭锁功能。根据发电机转速上升、下降连续性的规律, 在 PLC 程序中编写了输出信号互锁功能——当测量到的转速(频率)出现瞬时驱动两个以上动作点的情况时, 例如当机组在运行过程中 PLC 检测到所测量的信号能同时或在 1 s 内满足 >95% 和 >115% 两个点的动作条件, 则判定该信号为虚假信号, 调用延时确认程序, 对该转速信号重新确认。除此之外对每个节点的输出做延时确认处理, 当测量到的转速(频率)满足某一动作点且保持 500 ms, 方可输出该转速(频率)节点。通过对测量到的信号滤波及输出节点抗干扰闭锁, 可有效降低因干扰、系统故障及硬件损坏等因素造成的误动概率, 保证每个信号节点输出的精确性。

## 6 结论

- a. 通过介绍高可靠性多信号冗余转速继电器系统结构, 并从信号采集处理、三选一信号逻辑识别和输出信号滤波闭锁三个部分全面阐述分析。在信号采集中实现了多信号冗余热备用、解决了齿盘测速测量精度低的问题、降低了故障率。
- b. 该转速继电器已应用于数十台发电机组上, 运行可靠稳定且测量精度高、反应灵敏。

### 参考文献:

- [1] 李晃. 水轮机控制系统频率测量误差分析[J]. 水电站机电技术, 2012, 35(6): 34-35, 39, 95.
- [2] 李辉, 范进喜, 许丹丹. 冗余技术在水轮机调速器导叶开度测量中的应用[J]. 水力发电, 2013, 39(9): 69-72.
- [3] 严玉明, 郝辉, 邓友汉. 冗余测量技术在巨型水轮机调速器中的应用[J]. 水电站机电技术, 2019, 42(12): 75-77, 94.
- [4] 莫布林, 柳长海, 余小敏. 基于概率分析的连锁保护“三选一”逻辑算法可靠性分析[J]. 浙江电力, 2020, 39(9): 81-88.

## 参考文献:

- [1] YAN GAO, SHUYUE DONG, CHUANG WANG, et al. Effect of thermal intensity and initial moisture content on heat and moisture transfer in unsaturated soil[J]. *Sustainable cities and society*, 2020, 55: 102069.
- [2] 刘雨, 谢艳萍, 余晓平, 等. 基于运行数据的地源热泵系统性能分析[J]. *制冷与空调(四川)*, 2021, 35(4): 503-508.
- [3] 朱林, 张贺, 杨金刚. 严寒地区土壤源热泵系统土壤温度变化分析研究[J]. *吉林师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(1): 89-92.
- [4] ABBAS ZULKARNAIN, YONG LI, ABBAS SAQLAIN. Performance analysis of seasonal soil heat storage system based on numerical simulation and experimental investigation[J]. *Renewable energy*, 2021, 178: 66-78.
- [5] 齐承英, 王华军. 土壤高温储热技术研究现状与进展[J]. *河北工业大学学报*, 2013, 42(1): 94-99.
- [6] 王华军, 齐承英, 杜红普, 等. 土壤高温储热过程中的温/湿度峰值现象[J]. *太阳能学报*, 2011, 32(4): 490-495.
- [7] 王恩宇, 韩永, 冀海燕, 等. 初始含水率对土壤储/取热特性影响的试验研究[J]. *河北工业大学学报*, 2012, 41(5): 38-43.
- [8] 陈红兵, 丁翰婉, 刘松雨, 等. 不同土质条件下土壤高温蓄热中热湿传递的实验研究[J]. *太阳能学报*, 2015, 36(9): 2314-2318.
- [9] 王华军, 齐承英. 土壤高温储热热湿迁移过程的初步研究[J]. *太阳能学报*, 2009, 30(12): 1683-1687.
- [10] 郭毅, 晋华, 桂金鹏. 不同初始含水率砂土水-汽-热耦合迁移数值模拟[J]. *节水灌溉*, 2019(8): 102-107.
- [11] HIROTAKA SAITO, JIRI ŠIMNEK, BINAYAK P MOHANTY. Numerical analysis of coupled water, vapor, and heat transport in the vadose zone[J]. *Vadose zone journal*, 2006, 5(2): 784-800.
- [12] IVAN V NIKOLAEV, WEY H LEONG, MARC A ROSEN. Experimental investigation of soil thermal conductivity over a wide temperature range[J]. *International journal of thermophysics*, 2013, 34(6): 1110-1129.

## Numerical Simulation of the Effect of Water Vapour on Soil Heat and Moisture Migration at Different Heat Source Temperatures

GUO Lei, JIN Hua, ZHANG Yu-lu, CHEN Si-qing, GUO Huan-fang

(College of Water Resources Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** The study of the effect of water vapour on soil heat and moisture migration patterns at different heat source temperatures is of great significance for the application of soil heat storage and ground source heat pump technology. In this paper, a numerical model of one-dimensional unsaturated soil water-vapour-thermal coupling migration was constructed by Hydrus-1D software, and the numerical simulation study of sandy soils with and without water vapour migration at different heat source temperatures was carried out. The results show that for soil heat migration, taking into account water vapour migration increases the radius of influence of the heat source from 60 cm to 78 cm, an increase of 30%; For soil moisture migration, the radius of influence of the heat source increases from 78 cm to 100 cm, an increase of 28.21%. Compared with not considering water vapor migration, considering water vapor migration can reduce the temperature loss during soil heat storage, and the decrease of temperature loss increases with the increase of heat source temperature. When the temperature of the heat source is above 70 °C, the temperature and moisture fields of the soil change unsteadily and dryness may occur in the vicinity of the heat source.

**Key words:** water-vapor-thermal coupling migration; heat source temperature; water vapour; hydrus-1D; numerical simulation

(上接第 220 页)

## Application Research of a High Reliability Multi-signal Redundant Speed Relay

SHU Bing-fang<sup>1</sup>, ZHAO Wei-jun<sup>2</sup>, LAO Peng-fei<sup>2</sup>, GAN Bei-rong<sup>1</sup>, DONG Cheng-zhi<sup>1</sup>, ZHANG Liu-tong<sup>1</sup>

(1. Jinshuitan Hydropower Plant, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Lishui 323000, China;

2. Wuhan Sanlian Hydropower Control Equipment Co., Ltd., Wuhan 430200, China)

**Abstract:** At present, the existing speed relays on the market only collect single signal source, poor anti-interference. It is easy to disorder the signal of the speed node output caused by measurement signal distortion and measuring channel fault. In order to improve the reliability and accuracy of the speed relay, two channels of residual voltage signals and two channels of sprocket speed measurement signals were respectively connected. Then the dual-probe tooth sequential speed measurement method was combined with the logic of selecting one out of three speed signals. The judgment method selected one speed signal as the main signal. In the signal output process of the rotational speed node, the limiting average filtering method and the method of retrieval interference output blocking were applied to eliminate the distortion in the signal output process. Through the simulation test bench test and the application in the actual generator set, the anti-interference ability of the acquisition signal loop, the signal measurement accuracy, and the reliability of the output action of the speed node have been significantly improved.

**Key words:** double probe; signal redundancy; tooth sequence frequency measurement; choose one from three; speed relay