

## 一种基于增量式编码器的冲击发电机转速与相位测量方案

汪海波, 万德春, 洪深

(南瑞集团公司/国网电力科学研究院, 江苏南京 211106)

**摘要:**大容量试验中需要采集冲击发电机的电压信号, 以满足高压断路器试验过程中对合闸相角的控制要求。采用交直流控制发电机测量方式容易受到环境温度的影响而发生温漂, 且精度低、体积大, 逐渐被全数字测速方式替代。与控制发电机方案相比, 基于编码器的全数字测速方法有着明显的优势。文中设计了一种基于增量式编码器的冲击发电机转速与相位测量方案, 并介绍了该方案的原理、结构、优点及信号的抗干扰问题, 该方案可提高冲击发电机转速和相位同步信号的准确度与精度, 为大容量试验过程控制合闸相角提供了科学的依据。

**关键词:**冲击发电机; 控制发电机; 同步信号; 磁电式编码器; 光电转换

中图分类号: TM31

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)06-0070-03

在高压电器产品的大容量试验过程中, 需利用合闸开关在不同电压相位下进行短路合闸, 以满足试验过程中不同产品对直流分量的要求(例如高压断路器试验中方式 T100a; 开断 100% 额定短路电流非对称分量的试验)、动热稳定试验中对峰值耐受电流的要求<sup>[1]</sup>、熔断器试验中对合闸相位角的控制要求<sup>[2]</sup>等。

## 1 大容量试验回路

大容量试验回路如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

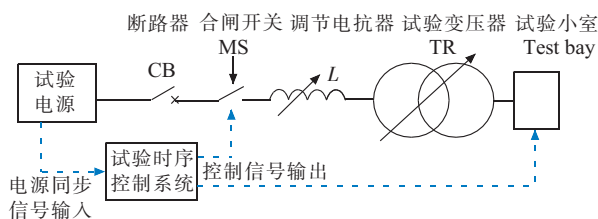


图 1 大容量试验回路示意图

时序控制系统采用专门为大容量试验开发的一种控制器, 试验过程中时序控制系统需采集试验电源的电压同步信号, 来实现试验过程中的选相合闸功能。

大容量试验的电源可以由电力系统网络引线或专用冲击发电机提供。当采用电力系统网络引线作为试验电源时, 可通过电压互感器采集网络电源的电压信号作为时序控制系统的同步信号输入; 当采用冲击发电机作为试验电源时, 由于冲击发电机不允许长期空载带电运行<sup>[4]</sup>, 在试验开始前冲击发电机机端电压为零, 这就需要有一个装置为时序控制系统提供一个相位同步参考信号。

以往冲击发电机相位参考信号的采集方法是通过联轴器与冲击发电机转子上安装一个同轴控制电机, 由于同步控制电机与短路发电机转子同轴, 所以其送出电压与短路发电机电压保持固定的相位差, 同步变化, 利用控制电机电压作为与冲击发电机组的同

步信号。交直流控制发电机测速方式容易受到环境温度的影响而发生温漂, 同时有精度低、体积大的问题, 已逐渐被全数字测速方式所代替<sup>[5]</sup>。文献[6]采用了测速齿盘与磁电式电涡流传感器的方式实现冲击发电机转速与相位参考信号的输出, 但存在测速齿盘的齿数少、加工精度低、控制器运行速度慢的问题; 文献[7]采用光电传感器进行相位参考信号的采集: 在冲击发电机的转子上同轴安装一个圆形光电感应盘, 在感应盘外侧安装一个光电传感器。当光电感应盘转进 U 型光电传感器时, 光电传感器输出 5 V 直流电, 当光电感应条转出 U 型光电传感器时, 光电传感器输出 0 V 直流电, 以此获得与冲击发电机输出电压同步的 0~5 V 脉冲电压序列信号, 作为同步信号输入时序控制系统。

文献[6,7]所述方案均是通过在外部安装旋转元件、传感元件等方式获取相应的转速及相位同步信号源, 在可靠性、稳定性、可维护性方面有待提高。编码器是集测速盘与传感器元件等功能于一体的传感装置, 具有体积小、分辨率高、性能稳定等特性。本文设计了一种采用增量式编码器的转速与相位测量方案, 无需重新布线与机械改造, 具有连接方便、可靠性高、测量精度高等优点。

## 2 编码器的原理与应用

### 2.1 增量式编码器

编码器是把角位移或直线位移转换成电信号的一种装置, 按照脉冲与对应角度关系, 编码器通常分为增量式编码器和绝对式编码器两类。

增量式编码器的工作原理如下, 以光电式为例: 随转轴一起转动的脉冲码盘上有均匀刻制的光栅, 在码盘上均匀地分布着若干个透光区段和遮光区段, 增量式编码器没有固定的起始零点, 输出的是与转角的增量成正比的脉冲, 需要用计数器来计脉冲数。每转过一个透光区时, 就发出一个脉冲信号, 计数器当前值加 1,

计数结果对应于转角的增量。增量式光电编码器一般为三通道输出,输出的方波脉冲信号<sup>[8,9]</sup>如图2所示。其中A通道、B通道输出电角度相差90°的脉冲序列,正转和反转时两路脉冲的超前、滞后关系刚好相反从而可方便地判断出旋转方向。编码器每转一圈输出A脉冲、B脉冲的数量固定且由编码器本身的光栅线数决定。Z通道为零位脉冲,可用作系统清零或坐标原点信号,以减少测量的积累误差。编码器每转一圈发出一个Z脉冲信号,编码器一旦安装完成,产生Z脉冲信号的相对位置也固定不变。

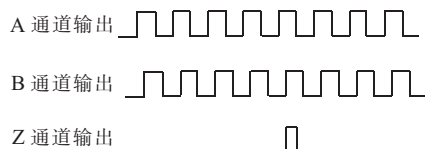


图2 增量式编码器通道输出波形信号

## 2.2 编码器的选型

编码器可采用不同的传感技术产生信号:光电式、光栅式和磁电式。其中磁电式编码器是一种新型的角度或位移测量装置,其原理是采用磁阻或者霍尔元件对变化的磁性材料的角度或者位移值进行测量,磁性材料角度或者位移的变化会引起一定电阻或者电压的变化,通过处理输出的信号达到测量的目的。因磁力线可穿透污染,磁电式编码器的内部不受灰尘、油污和水汽的影响,同传统的光电式或光栅式编码器相比,其具有机构简单、耐高温、抗油污、抗冲击和体积小等优点,近年来在工业控制、机械制造、船舶、印刷、航空、航天、雷达、通讯、军工等众多领域的应用不断增加<sup>[10]</sup>。

大容量试验站的冲击发电机的转子大轴采用座式轴承支撑,在50 Hz/60 Hz频率下进行大容量试验时,高速旋转的转子大轴存在轴向窜动与径向位移,因此需要选用耐冲击、抗振动的编码器。本设计方案采用美国埃福创(Avtron)HS45重载型磁电式编码器。

- (1) 输出信号: $A \bar{A}, B \bar{B}, Z \bar{Z}$ ;
- (2) 每转脉冲输出:8~5000(设计方案选1024);
- (3) 外壳:防护等级IP65;
- (4) 转速:最大转速5000 r/min;
- (5) 电子部件:完全封装,防护等级IP67;
- (6) 抗振动:18 GS;
- (7) 抗冲击:100 GS。

## 3 转速与相位测量方案

### 3.1 编码器与发电机转子连接

编码器与发电机转子的连接如图3所示,编码器通过延伸轴与发电机大轴同步转动。为缓解发电机转子大轴在高速旋转过程中轴向窜动与径向位移对编码器的影响:在编码器与固定支架之间采用带弹簧收紧

机构的螺栓,有效缓解轴向窜动对编码器的影响,同时提高螺栓在抖动环境下的牢固稳定性;编码器与延伸轴采用弹性联轴器连接,具有不同程度的轴向、径向、角向补偿性能,同时有一定程度的减振、缓冲作用,改善系统的工作性能。同时考虑安装过程中编码器与发电机转子的对中性要求,编码器的固定支架采取U型开孔方式。

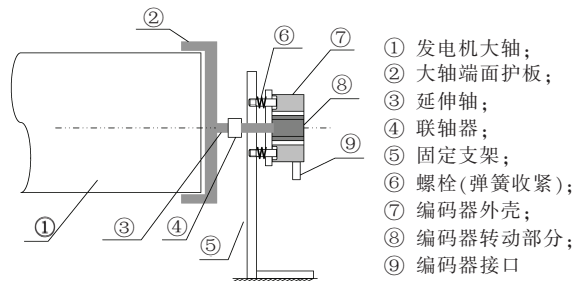


图3 编码器与发电机转子的连接示意图

### 3.2 转速与相位信号的处理

采用编码器的数字测速方法一般有M法、T法、M/T法。M法的测速原理如图4所示。

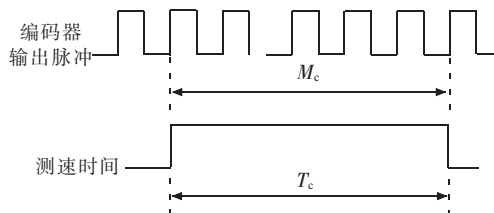


图4 M法测速原理

M法测速是指在一定的时间 $T_c$ 内测取旋转编码器输出的脉冲个数 $M_c$ ,用于计算这段时间内的平均转速。把 $M_c$ 除以 $T_c$ 就可以得到旋转编码器输出脉冲的频率 $f_c = M_c / T_c$ 。假设N为选用增量式编码器每转一圈产生的固定脉冲数,由于编码器与发电机同轴,发电机每转一圈也产生N个脉冲,把 $f_c$ 除以N就得到电机的转速,这样就有转速:

$$n = \frac{600M_c}{N \times T_c} \quad (1)$$

式(1)中: $N, T_c$ 为常值, $T_c$ 单位为s, $n$ 的单位为r/min。

从式(1)中可以看出转速正比于 $M_c$ ,高速时 $M_c$ 大,量化误差小。由于大容量试验对应的频率基本上在50~60 Hz,对应的冲击发电机组转速在高转速3000~3600 r/min,因此适合采用M法进行转速测量。

相位参考信号的生成原理如下:以1对极冲击发电机为例,每转输出一个360°电角度的电压波形,对应周期 $T$ ,同样编码器每一转输出1个Z脉冲信号和固定的N个A(或B)脉冲序列,对应周期 $T$ 。当控制器检测到编码器的Z信号的上升沿时,控制对相位参考信号置1,同时装置对A或B信号进行脉冲计数,当脉冲计数到 $N/2$ 时,相位参考信号置0,在检测到下一个

Z信号的上升沿时,又使相位参考信号置1。由于编码器与发电机大轴固定一起,两者周期、转速一致,因此相位参考信号周期也为 $T$ ,高低电平占空比各为50%。根据上述相位参考信号的生产原理可知,相位参考信号与发电机相电压波形存在固定相位差,且此偏差只需在第一次调试过程中识别即可,在试验控制室的时序主机对该固定偏差进行保存,实现发电机相位同步参考信号的获取。相位参考信号实现原理如图5所示。

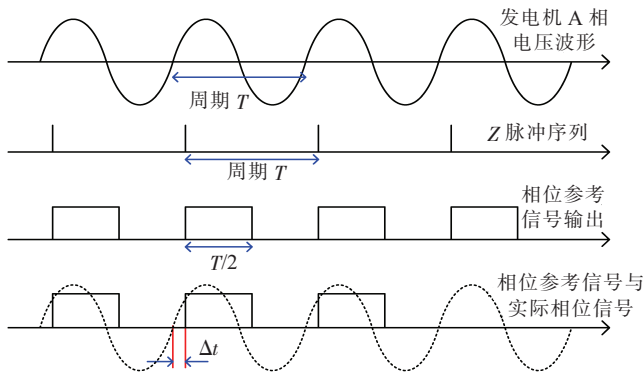


图5 相位参考信号实现原理

### 3.3 转速与相位测量方案

转速与相位测量方案框图如图6所示。

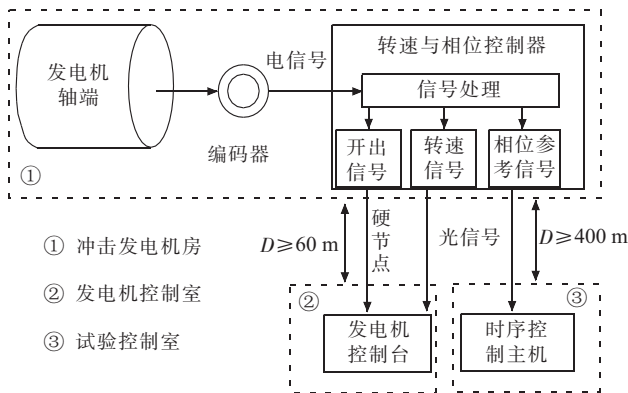


图6 转速与相位测量方案框图

转速与相位装置放置在编码器的固定支架边上,控制器就地将编码器的信号进行处理。本方案主要涉及编码器脉冲数量的统计以及M法测速计算、相位参考脉冲信号生成等简单逻辑处理,因此主控制采用处理速度快、可靠性高、编程可通过硬件电路实现的FPGA作为主控制器。通过外部电路可为FPGA提供高达几百MHz的工作频率,针对本方案选用每转输出脉冲为1024的磁电式编码器,能够满足0.01Hz的精度要求。同时整个控制装置还配置有编码器故障信号、装置掉电、系统超速等一系列开关量输出信号。

由于整个装置工作在强电磁干扰环的高电压、强电流运行条件下,且距离发电机控制室与试验控制室较远,信号易受到干扰,导致传输信号失真或者畸变,为保证传输信号能够可靠稳定,采取以下措施来克服

干扰对测试结果的影响:

(1) 转速与相位装置固定在屏蔽的箱体中,箱体采用不锈钢材质;

(2) 转速信号、相位参考信号就地转为光信号,通过光纤传输到控制室;

(3) 二次硬节点电缆与光纤通讯电缆放置在屏蔽管中。

## 4 结束语

通过选用重载磁电式型编码器作为传感元件,可有效地解决轴向窜动与径向位移对转速与相位测控装置的影响;采用高速处理器FPGA作为主控制单元,从而使该测量方案在测量精度、可靠性、稳定性等方面均优于采用控制电机或测速齿盘的方式;在信号传输上,采用将信号就地转为光纤信号输出,可有效地抑制干扰信号的影响,保证系统可靠稳定的运行。采用磁电式编码器的转速与相位参考信号装置为采集冲击发电机相位参考信号提供了一种新的方法,可有效提高高采转速和相位参考信号的准确度,为大容量试验的过程控制提供更加科学的依据。

### 参考文献:

- [1] GB 1984—2009 高压交流断路器[S].
- [2] GB/T 15166.2—2008 高压交流熔断器第二部分:限流熔断器[S].
- [3] 汪海波,万德春,洪深.大容量冲击发电机短路电流衰减特性研究[J].江苏电机工程,2013,32(5):26-29.
- [4] 臧尔诚.冲击发电机选型初探[J].大电机技术,1986(5):10-15.
- [5] 单秀文,单锦华.三种全数字测速方法的比较研究[J].福建农机,2013(4):51-52.
- [6] 房庆辉,张长发,赵金海,等.6500 MV·A冲击发电机转子平衡特点[J].大电机技术,2001(3):21-23.
- [7] 史宏伟,张海峰,孙海波,等.大容量短路发电机同步信号采集装置的设计[J].高压电器,2010(6):83-85.
- [8] 舒志兵.交流伺服运动控制系统[M].北京:清华大学出版社,2006:33-34.
- [9] 郭庆鼎,孙宜标,王丽梅.现代永磁同步电动机交流伺服系统[M].北京:中国电力出版社,2006:32-33.
- [10] 王剑桥.组合式磁电式编码器的研制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学硕士学位论文,2015.

### 作者简介:

汪海波(1983),男,浙江台州人,工程师,从事输配电设备试验与大容量试验室研究工作;

万德春(1974),男,湖北麻城人,高级工程师,从事电力系统自动化与电力设备试验方面的研究工作;

洪深(1962),男,安徽六安人,高级工程师,从事从事输配电设备试验、高压电器产品的大容量试验研究工作。

(下转第76页)

## 参考文献:

- [1] KHODADADI M, SHAHRTASH S M. A New Noncommunication-Based Protection Scheme for Three-Terminal Transmission Lines Employing Mathematical Morphology-Based Filters. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 2013, 28(1):347-356.
- [2] LIU C W, LIN T C, YU C S, et al. A Fault Location Technique for Two-Terminal Multisection Compound Transmission Lines Using Synchronized Phasor Measurements[J]. *IEEE Transactions On Smart Grid*, 2012, 03(4):113-121.
- [3] 王 涛, 李 澄. 一种混合输电线路故障测距新方法[J]. *江苏电机工程*, 2015, 34(5):17-20, 24.
- [4] AHSAAE M G, SADEH J. A Novel Fault-Location Algorithm for Long Transmission Lines Compensated by Series FACTS Devices [J]. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 2011, 26(4):2299-2308.
- [5] KORKALI M, ABUR A. Optimal Deployment of Wide-Area Synchronized Measurements for Fault-Location Observability[J]. *IEEE Transactions On Power Systems*, 2013, 28(1):482-489.
- [6] 林富洪, 王增平. 采用同向正序基频分量的双回线故障测距原理[J]. *中国电机工程学报*, 2011, 31(4):93-98.
- [7] 施世鸿, 何奔腾. 基于分布参数模型的双端非同步故障测距算法[J]. *电网技术*, 2008, 32(9):84-88.
- [8] YU C S, CHANG L R, CHO J R. New Fault Impedance Computations for Unsynchronized Two-Terminal Fault-Location Computations [J]. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 2011, 26(4):2879-2881.
- [9] DOUGLAS A G V, DIOGO B O, ADRIANO C L. A Closed-Form Solution for Transmission-Line Fault Location Without the Need of Terminal Synchronization or Line Parameters [J]. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 2013, 28(2):1238-1239.
- [10] 苏进喜, 罗承沐, 解子凤, 等. 利用双端电气量的高压长线故障测距算法[J]. *清华大学学报*, 2000, 40(7):27-30.
- [11] 李 澄, 王 锴. 双端测量不同步的非对称故障测距新方法[J]. *电测与仪表*, 2014, 51(13):55-59.

## 作者简介:

吴浩然(1964), 男, 江苏镇江人, 高级工程师, 从事电力系统管理专业工作;

李 澄(1987), 男, 江苏江阴人, 工程师, 从事电网调度运行、继电保护与故障测距方面的工作。

## Research on Novel Fault Location Principle with Asynchronous Data

WU Haoran, LI Cheng

(State Grid Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China)

**Abstract:** A novel fault location principle with asynchronous data is proposed to solve the asynchronous problem of fault location at both ends which can't be ignored. The primary dual-terminal synchronous fault location equation is asynchronized in the principle by taking conjugate complex number at both sides of the equation simultaneously, which transforms the equation into a set of equations with two unknown variables of fault location and asynchronous angle. The set of equations can be transformed into a quadratic equation with one variable which can be solved to reach the goal of asynchronous fault location. Simulations show that the proposed asynchronous fault location method can eliminate the asynchronous angle and has high precision which is hardly affected by transition resistance, so it is adequate for all short circuit faults.

**Key words:** conjugate complex number; quadratic equation with one variable; asynchronous; fault location

(上接第 72 页)

## A New Speed and Phase Measurement Scheme of Short Circuit Generator Based on Incremental Encoder

WANG Haibo, WAN Dechun, HONG Shen

(NARI Group Corporation/ State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211106)

**Abstract:** Synchronous voltage signal of short circuit generator needs to be gathered in the high power testing, in order to meet the closing phase angle control requirements in high voltage circuit breaker test process. Affected by environmental temperature, the measuring way controlled by AC/DC generator is prone to temperature drift, low accuracy and big volume, so it is gradually replaced by digital measurement way. Compared with the control generator scheme, the full digital control method based on the encoder has obvious advantages. A new speed and phase measurement scheme of short circuit generator based on the incremental encoder is designed in this paper. And the principle, structure, advantages of the scheme and the signal anti-interference problem are introduced. With this method, the speed and reference phase signal accuracy and precision of the short circuit generator are improved, which gives the foundation for closing phase angle control of large capacity test process.

**Key words:** short circuit generator; control generator; synchronous signal; incremental encoder; photoelectric conversion