

[发电机]

热电一公司发电机内电动势测量装置的应用

文/中国石油集团电能有限公司热电一公司 张家良

热电一公司在黑龙江省广域动态网监测系统PMU子站工程的建设过程中，分别在3台200 MW机组的汽轮机低压转子前端加装了发电机内电动势测量装置转速探头，为监测系统提供键相脉冲信号，介绍了CSFU-107型发电机内电动势测量装置在热电一公司的安装使用情况以及运行过程中出现的问题和解决方法。

按照黑龙江省电力公司的统一部署，热电一公司完成了黑龙江省广域动态网监测系统PMU子站工程的建设，根据系统数据采集的要求，热电一公司在3台200 MW机组本体增加了发电机内电动势测量装置，本文详细介绍了该装置的原理、方法、运行及使用情况。

发电机内电势测量的原理及方法

内电动势测量装置的基本原理：测量发电机键相脉冲上升沿和机端A相电压正向过零点的相位差，换算出发电机内电动势的角度。数据中心站可据此实时构造出GPS坐标下的发电机内电动势相量（仅表征角度信息）。

发电机内电动势测量，主要通过两种方法实现，一是电量估计法；二是机械直接测量法。

1) 电量估计法。利用稳态发电机内电动势与机端电压阻抗关系和暂态机组转子运动方程，估算发电机内电动势。该方法要输入机组的三相电压、三相电流，需要机组参数 X_d 、 X_q 、 H 和 $S_{\max}$ 等。该方法的特点是适合稳态和动态过程中机组内电动势测量，测量结果受机组参数影响，无须现场从机组内接线，随PMU柜的布置自动实现，不受机组类型限制（水电厂和火电厂均可使用）。

2) 机械直接测量法。利用CSFU-107型内电动势测量装置，从机组内引出键相信号，通过与GPS秒脉冲信号比对，得到内电动势相量绝对角。需要输入机组A相电压、键相信号、GPS时钟和PPS信号。输出包括100 M以太网（内容是转子绝对角度和内电动势与机端电压的夹角，与CSS-200/1P连接上送主站）、4~20 mA电流信号（反映内电动势与机端电压的夹角，可接入电厂的DCS，方便现场监视）、串口信号（反映内电动势与机端电压的夹角，可连接数字显示表头，方便现场模拟盘上显示）。该方法要求现场机组具备键相信号引出节点，因实施受机组条件限制，校准需要机组起停，优点是不受机组参数和暂态过程影响。此外，由于不同机组的键相信号差别较大，实施前必须根据键相信号的实测波形调整CSFU-107的输入环节。

热电一公司3台机组均采用了直接测量发电机内电动势法，利用机组停机检修时间，分别在1~3号汽轮机低压转子前端加装了固定托架，转速传感器利用外套的螺纹安装在固定支架上，其径向与转子大轴垂直，经过校准，测量结果误差在 3° 以内，满足要求。

发电机内电动势测量技术方案

1) 热电一公司PMU子站工程测量发电机内电动势相角的功能通过接入的发电机键相脉冲信号, 由CSFU-107型内电动势测量装置实现。键相脉冲信号由发电机转速传感器输出, 其频率与发电机转子转速相同, 即转子每转动一周发出一个脉冲信号。键相脉冲上升沿与内电动势相量(转子角)存在恒定的角度偏差, 在机组启动时进行校零操作, 可对此角度偏差进行精确的补偿。CSFU-107利用键相脉冲与GPS秒脉冲、发电机机端电压比对, 即可测得发电机内电动势相量的绝对角和发电机功角。由于内电动势相量绝对角是键相信号与GPS脉冲比较的结果, 不涉及机端电压和电流, 因而不受短路过程中电气突变的影响, 可真实反映发电机组轴系的惯性作用。

2) 根据霍尔型发电机转速传感器的工作原理, 转速传感器为圆柱型, 长度150 mm, 直径在14 mm左右, 利用外套的螺纹安装在固定托架上, 要求探头径向与发电机转子大轴垂直, 探头与转子轴的距离不大于1.5 mm, 如图1所示。

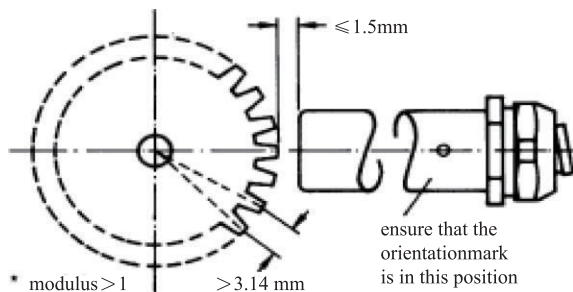


图2 转速传感器安装示意图

传感器电源为DCY 10~30 V, 电源及输出信号线共3芯, 外有金属铠装, 长度3~5 m。转速的测量采用霍尔原理。要求转子轴上开有测量齿槽, 齿槽为凹陷, 热电一公司汽轮机转子出厂前已经由厂家完成齿槽, 具备安装的条件, 传感器之前每转过一次测量齿槽即输出一个脉冲。

如果转子轴一周只开有一个测量齿槽, 则发电机转子每转动一周输出一个脉冲, 脉冲频率与发电机转速相同, 此脉冲包含了内电动势相量的相位信息, 通常称作键相脉冲。CSFU-107接入键相脉冲后, 即使发电机重新启动也无须二次校零。内电动势测量装置回路联系图如图2所示。

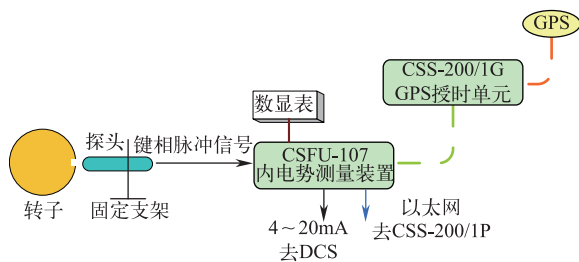


图2 内电动势测量装置回路联系图

CSFU-107型内电动势测量装置的说明

(1) 装置简介

该内电动势测量装置的基本原理为: 测量发电机键相脉冲上升沿和机端A相电压正向过零点的相位差, 由此换算出发电机内电动势的角度。键相脉冲由原先已经安装在发电机转子上的键相器输出, 通常脉宽为几百微秒的负脉冲。键相脉冲上升沿与A相电压正向过零点的相角差和实际的内电动势角度存在一个固定的相位偏差, 通过调节角度补偿值, 可使装置输出的测量角度与实际的内电动势角度一致。内电动势测量装置支持GPS对时功能, 上传的内电动势角度测量值和键相脉冲上升沿到来时刻均带有GPS时标, 时标准确度高达0.1度, 上传频率为50 Hz, 数据中心站可以据此实时构造出GPS坐标下的发电机内电动势相量(仅表征角度信息)。内电动势测量装置作为CSS-200/1系列分布式同步相量测量系统的一个采集单元, 与数据集中处理器CSS-200/1P通信, 支持光/电以太网接口。

(2) 装置指示灯及含义

装置前面板各指示灯定义见下表。

表 装置前面板各指示灯

指示灯	状态	含义
POWER	常亮	电源正常
PULSE	闪烁一次	采集键相脉冲正常
Uin	闪烁一次	采集机端电压正常
CLOCK	闪烁一次	GPS时间接收正常
PPS	闪烁一次	GPS秒脉冲同步正常
ETHERNET	闪烁一次	以太网数据发送正常
	常亮	以太网物理连接正常, 但是数据发送失败
	熄灭	以太网物理连接中断
ALERT1	点亮时表示CPU1有告警信息输出	键相脉冲异常、机端电压异常、GPS时钟或秒脉冲异常、4~20 mA回路开路, 出现任何一种情况时这个指示灯均点亮
ALERT2	点亮时表示CPU2有告警信息输出	以太网物理连接中断、以太网数据发送失败、与CPU1通信中断时这个指示灯均点亮

(3) 装置输出接口

装置的后面板说明:

1) PROGRAM为装置编程口, UP、DOWN为键相脉冲补偿值调节按钮。ETHERNET为10/100M自适应以太网口,支持光/电两种通信方式,可以根据通信距离选择其中之一。

2) PPS为GPS秒脉冲光纤输入口, CLOCK为GPS时钟信号光纤输入口。TXD、RXD为异步串行光纤通信口,是内电动势测量装置的备用通信接口。

3) RS 232和RS 422均用于驱动外置的数码表以显示内电动势角度测量值,一般使用RS 232接口,RS 422接口仅在通信距离较远时使用。

4) SW1、SW2为拨码开关,用于设定装置参数。PULSE为键相脉冲接入端子,其中脉冲公共地连接PULSE-,脉冲信号端连接PULSE+。

5) I_{OUT} 为内电动势测量装置的电流输出端子,输出范围为4~20 mA,用于接入电厂DCS,4 mA对应内电动势角度为 -90° ,20 mA对应内电动势角度为 $+270^\circ$,角度值和电流输出呈线形对应关系。

6) U_a 、 U_n 为机端电压输入端子,通常要求接入发电机出口A相机端电压,额定值为57.7 V;根据现场实际情况,也可接入发电机出口AB线电压,额定值为100 V。POWER为电源端子,从左至右依次为正负电源输入、屏蔽地和失电告警输出。

(4) 键相脉冲补偿值的整定方法

键相脉冲的上升沿与实际的发电机内电动势相量存在一个固定的角度偏差,实际使用中需要整定一个补偿角度,内电动势测量装置后面板上的两个调节按钮就是为此设计。

常规整定方法:将内电动势角度(发电机功率)测量结果输出到数显表,当发电机输出有功为0时,内电动势角度的理论值应等于0,利用调节按钮将数显表输出结果整定到 0° ,等待3 s后,装置内部的CPU会自动将补偿值写入FLASH,即使装置断电,补偿角度也不会丢失。

调节按钮的使用方法如下:两个按钮分别标识UP、DOWN,每按下一次UP,测量角度增加 0.1° ;持续按下UP,测量角度每隔1 s自动增加 1° ;每按下一次DOWN,测量角度减小 0.1° ;持续按下DOWN,测量角度每隔1 s自动减小 1° ;同时按下UP、DOWN,补偿角度清零。

(5) 键相脉冲比较阈值的设定方法

内电动势测量装置利用比较器原理将键相脉冲整形为CPU可以直接利用的TTL电平,应将比较器阈值设定在键相脉冲的高低电平中间。阈值设定部分的电路原理如图3所示,S2即为拨码开关SW2,右侧的1~8与拨码开关上的印字相对应(1在左侧),某路开关处于ON档位时,左右两侧导通,处于OFF档位时,左右两侧断开,实际的拨码开关设置方式可以根据现场的情况进行灵活调整,CompVolt为实际的比较器阈值。

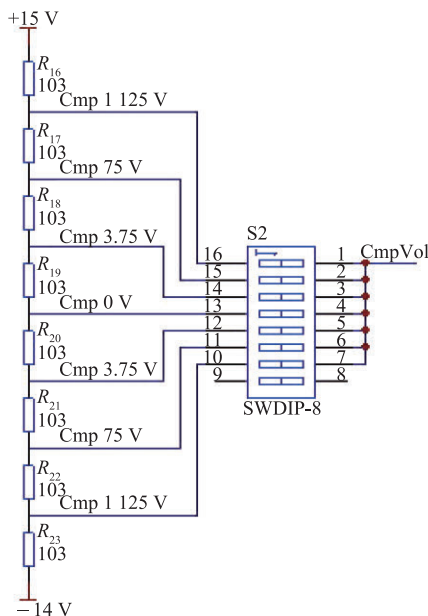


图3 键相脉冲比较阈值原理图

热电一公司3[#]发电机的内电动势测量装置投入使用后,曾出现过异常现象,技术人员通过现场调整拨码开关的设置,改变比较器阈值,使装置恢复正常,利用示波器检查键相脉冲的输出波形,显示正确,运行状况良好。

结束语

在PMU子站建设过程中,热电一公司将包括发电机内电动势信号在内的3台机组运行工况下的实时数据,通过省调自动化通信数据端口,顺利地上传到黑龙江省电力调度控制中心WAMS主站,为调度人员及时了解热电一公司的机组运行工况、提高黑龙江省主网架构的安全稳定运行起到了极为重要的作用。EA

(收稿日期:2021.08.19)