

# TP130型水轮发电机失步保护的构成原理和特征

喻光明 广州蓄能水电厂 (510950)

**【摘要】** 介绍 GEC—ALSTHOM 公司专用 TP130 型失步保护继电器的构成原理、与常用的同名继电器根本不同的特征。

**【关键词】** 失步保护 功率角 有功功率

## 1 失步保护的判据

同步发电机组在电网或机组本身发生微小扰动后,为使机组能够自行恢复到原来稳定状态,达到静态稳定,一般要求其功率角不超过  $90^\circ$ 。但当受到较大扰动出现振荡时,机组是否能够进入到一个新的稳定平衡,不再取决于机组功率角是否越过静态稳定边界,因与振荡初始时的电磁功率  $P_{em}$ 、系统等效电动势  $E_N$ 、扰动因素性质等有着直接的制约关系,无法预先设定一功率角值来提前判别机组能否进入动态稳定而不失去同步。

不过,分析机组在振荡过程中功率角和电磁功率  $P_{em}$  的变化趋势,角一旦越过  $180^\circ$ ,  $P_{em}$  由正变负,电机进入电动机状态运行产生更大的加速度,角很快冲到  $360^\circ$  (0) 处,重新进入发电机状态,由于累积的加速度使转子的此时速度已高于同步速度,

角仍将继续增大并不断地在  $0 \sim 360^\circ$  内往复变化,电机的电磁功率  $P_{em}$  也因此正负交替改变,失去平衡而完全失步。因此,功率角越过  $180^\circ$ 、电磁功率  $P_{em}$  正负交替振荡,两者是同步电机已经失步的主要标志。以两者任一作为机组的失步判据,能够准确区别机组失步与稳态振荡、失步与短路故障。从而可以避免采用测量被保护机组与系统等效电动势之间相位差、测量振荡中心电压及其变化率等复杂方法。

测量旋转中的发电机励磁电势  $E_0$  与机端电压  $U$  间夹角即  $\delta$ ,按照凸极电机的特性,由反映  $E_0$  变化的空间失效率量  $F_f$  (励磁主磁场) 所对应的磁极方位的改变,得出的交变波形与机端电压波形作相位比较测得。

测量发电机的电磁功率  $P_{em}$ ,依据同步电机输出功率近似等于电磁功率的条件,由机端测得的有功电功率来取得。

## 2 TP130型失步保护继电器的构成原理和特点

1997-07-14 收稿

### DEVELOPMENT OF A MICROPROCESSOR-BASED AUTOMATIC DETECTING DEVICE FOR IC-BASED PROTECTION OF LARGE GENERATOR-TRANSFORMER SET

Liu Hailong, Yao Qinglin (Hefei Industrial University, 230009, China)

Wang Jing, Li Zheng (Shanghai Relay Research Institute, 200072, China)

**Abstract** Testing protective devices in large power generator-transformer unit is a demanding and time consuming task. XH-01 is an advanced microcomputer based tool for performing the related testing and analyses in a way that improves the relay engineer's productivity and offers him an overview of his protection system. This paper mainly deals with two parts: one is to introduce the hardware design of the devices, the another is to write the software design of the devices. The detail interpret about the device's principle fundamentals are also given in this paper.

**Keywords** generator-transformer unit testing devices protective relay single-chip computer

TP130 型失步继电器的设计，正是基于电机振荡过程中电磁功率  $P_{em}$  和功率角  $\delta$  的变化规律。原理构成上分为功率角  $\delta$  测量通道和电磁功率通道。

### 2.1 功率角 $\delta$ 通道

功率角  $\delta$  通道，由发电机主轴上与磁极位置对齐的燕尾齿盘（齿数与磁极对数相等）和一固定电磁传感器配合测得的励磁电势交变波形，在继电器内部与同时输入的系统电压波形进行相位比较，并输出信号。齿盘与感应器的工作方式采用长期加入一固定频率 62.5kHz（采用 kHz 级频率是为了提高输出波形测量精度和防止电机高次谐波的影响）恒压正弦波至感应器的输入绕组  $e_1$ ，当发电机组旋转时，非磁性齿头随之逐步进入感应器磁场，感应器输出端  $e_2$  测得载有齿盘方位变化波形的输出波，其导频自然仍然是输入频率 62.5kHz。机组振荡过程中，如不考虑谐波转矩分量的影响， $e_2$  测得的波形经过滤波、整形后能够准确反映齿盘（即磁极）位置的变化。

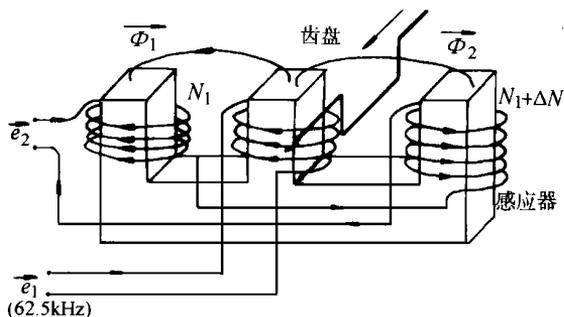


图 1 齿盘—感应器测量功率角工作原理

如图 1 所示，当齿盘齿头未进入感应器磁场时，磁通  $\Phi_1 = \Phi_2$ ， $e_2 = -k_2$  为负值；齿头完全进入磁场时，磁通  $\Phi_1 = \Phi_2$ ， $e_2 = k_1 N_1 - k_2 (N_1 + \Delta N)$ ，由于  $k_1 \gg k_2$ ， $e_2$  为正值。此处  $e_1$ 、 $e_2$  分别是输入输出绕组的电压电势， $k_1$ 、 $k_2$  分别是电磁感应系数， $N_1$ 、 $N_2$  则是输入输出绕组的匝数。 $e_2$  的正负交替变化，固定准确地对应发电机转子位置的变化。对于  $m$  对磁极的发电机而言，旋转一周  $e_2$  则正负交替变化  $m$  次。机组处于空载同步转速运行时，转子励磁磁势基波  $F_{f1}$  和由它产生的气隙

磁密基波  $B_{f1}$  在空间分布上，两者同相位，其正波幅均处在转子直轴正方向上，且与转子一起以同步电角转速  $\omega_1 = 2\pi f$  旋转，磁密波交链于定子任一相感应产生的该相电势  $E_0$ （时空矢量）一定滞后于磁通矢量  $\Phi_0$  90° 同时一起旋转， $m$  对磁极的转子旋转一周，相电势  $E_0$  时空上交变  $60f/m$ 。并网后的机组定子接有对称的感性负载，产生的电枢磁势与励磁磁势相互作用形成的气隙磁场，感应出的电势已不同于  $E_0$ ，但是电枢磁势与励磁磁势的转速一定相等，转向一致且空间上相对静止。两者合成产生的气隙磁势与转子主极磁势间空间夹角，按照同步电机的功角特性，可近似认为等于励磁电势  $E_0$  与端电压  $U$  的夹角（即功率角  $\delta$ ）。由此可知，功率角  $\delta$  的实际测定可以根据反映转子磁极空间位置的交变波（对应励磁电势  $E_0$ ）与端电压  $U$  正弦波之间的相位关系获得。而齿盘—感应器工作输出电势  $e_2$  正是能够真实反映励磁电势  $E_0$  的交变。

齿盘随着转子旋转。 $m$  对磁极旋转一周，励磁电势  $E_0$  交变  $m$  次，如果转子旋转与同步转速转差角位移空间上达到  $30^\circ$ ，主极电势  $E_0$  与合成电势  $E$ （并网的凸极机组， $E$  近似于  $U$ ）之间时空夹角则将错开  $m \times 30^\circ$ 。如  $m = 6$ ，则  $\delta$  为  $180^\circ$ 。因此机组的失步可由齿盘（ $m$  个齿头）在感应器内同一方向转差错开一个齿头以上来判定。

TP130 型失步保护功率角  $\delta$  通道的内部构成，如图 2 中所示。齿盘—感应器输出载有转子旋转过程的 62.5kHz 高频调幅波在单元  $L T_1$  与 62.5kHz 等幅输入正弦波比较、解调、整形得出仅反映转子旋转过程、也是齿盘齿头在感应器内的运动过程的低周正弦波，其频率为  $m$  倍转子旋转频率。此波形之后在单元  $L T_2$  内与另外输入的机端相电压正弦波比较相位，如果相位差从同一方向超过固化的阈值  $180^\circ$ ， $L T_2$  则输出一正脉冲经或门启动计时器  $t$ （ $t$  值可设定），另外同时输出脉冲至计数器  $CP_1$  计数。假如  $t$  时间内  $CP_1$  累计脉冲数已达

到  $n_1$  次 ( $n_1$  值由面板整定), 则引发  $RS_1$  触发器翻转进而动作出口继电器, 同时停止另一通道, 即有功功率  $P$  通道计数器  $CP_2$  的脉冲累计; 脉冲数目如  $t$  时间最后未达到  $n_1$  次,  $CP_1$  计数器则自行复归回零, 重新计数。为防止机组启动/停止过程中低频等因素引起的非工频使继电器误动作, 其内部设计有  $20\%U_n$  限制器接入相应环节实现闭锁。当然, 另外还有机组控制回路及程序流程的逻辑闭锁。

器, 同时停止另一通道, 即功率角通道计数器  $CP_1$  的脉冲累计; 穿越产生的脉冲数目如  $t$  时间最后未达到  $n_2$  脉冲数目次,  $CP_2$  计数器同样自行复归。为方便试验和检查,  $P$  两通道功能, 继电器内部设计有一  $55\text{Hz}$  的信号源供模仿转子高出同步转速使用。

TP130 型失步继电器的功率角通道和有功功率  $P$  通道, 从测量、比较、判断到出口, 两者基本上完全分开。其中任一个通道出

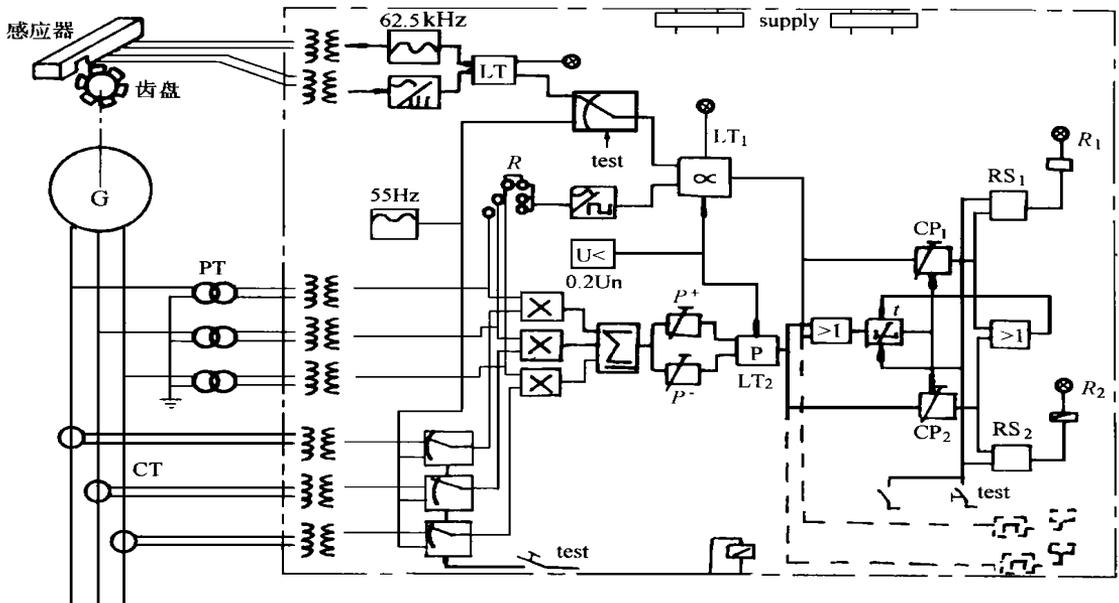


图2 TP130型失步保护继电器原理构成示意图

## 2.2 有功功率 $P$ 通道

有功功率  $P$  通道, 由机端 PT、CT 提供机组出口的电电压  $U$ 、电流  $I$  量, 经继电器内部各自输入变换器, 分相按同名相  $0^\circ$  接线方式接入乘法器, 附加处理、滤波后求取三相平均值  $P_m$ , 之后分两路进入正负设定环节  $+P\%$  和  $-P\%$  比较。  $\pm P\%$  值的设定, 在  $P-t$  坐标平面规定出一带状动作区,  $\pm P\%$  阈值决定动作带的宽窄, 其大小由继电器面板整定。机组发生振荡时, 如果在  $t$  时间内,  $P_m$  值同一方向摆动变化穿越  $\pm P\%$  动作区次数达到  $n_2$  次 ( $n_2$  值由面板整定), 则被视为较为严重的非稳定振荡, 极有可能使发电机失去同步, 从设备安全角度出发, 认为是机组失步的开始。因而引发  $RS_2$  触发器翻转进而动作出口继电器

口, 机组皆认为是处于失步。为区别短路故障与非稳定振荡、稳定振荡与非稳定振荡, 功率角通道的脉冲数目  $n_1$  应视齿盘齿头数是否与转子磁极对数相等来整定, 使得角阈值在继电器内部表现为  $180^\circ$ ; 将有功功率  $P$  通道的脉冲数目  $n_2$  整定为 2,  $\pm P\%$  阈值则视机组容量占系统的百分比和负荷中心位置而定, 以广州蓄能水电厂的四台机组为例, 取  $P\%$  为  $\pm 4\%$ 。

## 3 失步保护继电器的特点比较和应用

目前国内外采用失步保护大致有测量振荡中心电压及其变化率、反应阻抗变化的遮挡器和双透镜方案等几种, 但都不同程度地存在一些问题、不足之处。以下分别就各自继电器测

量原理比较,分析它们之间的性能特征和问题所在:

(1) 测量振荡中心电压及变化率的失步保护,是根据发电机与系统振荡时两者电势的相位差 可通过振荡中心电压  $U_Z$  的模值为  $E|\cos \alpha/2|$  (机组与系统电势假设都为  $E$ ) 来检测,并以其变化率  $dU_Z/dt$  来预测失步。虽然振荡中心电压  $U_Z$ ,可以由机端  $U$ 、 $I$  和测量保护安装点到振荡中心的阻抗  $Z_Z$  阻抗补偿法,或者后来采用相位比较法取得。但由于实际系统运行方式经常变化,振荡中心位置改变使得测得的  $U_Z$  不符合实际值,不能确切反映相角差 的大小。另外,动作判据的建立、动作整定值的确定比较困难,近似拟出的动作方程不能在失步之前某时刻准确判定系统将失步,以及  $Z_Z$ 、(阻抗角)值不易取得等等,都是此类继电器的缺点。

(2) 遮挡器和双透镜等方案阻抗类继电器,是依据失步振荡时,相角差 在  $0 \sim 360^\circ$  范围内变化,阻抗轨迹是一个圆或直线,轨迹变化比短路时慢很多,稳定振荡时只在阻抗平面的第一或第四象限变化,短路故障则突然跃变趋向坐标原点等特征,在阻抗平面人为划出遮挡线或双透镜动作区。继电器即是利用这些动作边界和时间整定,来鉴别短路和振荡、稳定振荡和非稳定振荡(即失步振荡)。这些反应阻抗变化的失步保护继电器,原理结构上比较简单,容易实现。目前是应用最多的一种失步保护。但是,初始功率的不同,扰动后电磁功率恢复水平的不同,动稳极限角自然有不同的数值,而阻抗元件只能设定一个固定的角度,故不能确切地

判断是否失步。

(3) 利用计算方法预测相角差、振荡中心电压及其变化率、视在电阻及其变化率等方式的失步预测保护,虽然设计思想上先进可行,但在实际继电器动作特性的实现上比较困难、不能完全避免误判,在具体某台机组的整定值的选择方面麻烦复杂。

TP130 型失步保护,正如前面所介绍的,测量发电机励磁电势与机端电压之间的相角差、测量机组出口的电功率来识别失步振荡。测量量可以直接取得,判据直观明了。因而继电器的原理构成上容易实现,结构简单、环节非常少,这些无疑将该保护的可靠性大大提高。TP130 型失步保护虽然也存在一些缺点,比如该保护的出口跳闸不在断路器较为合理的时刻;其有功功率通道的判据不够理想;还不具备失步预测能力等。但是,无论保护原理的设计思想、测量量的获得、还是继电器的结构特点和保护整定、保护的可靠性,远比其他类型的同名继电器有着更多的优点,是一种较为理想的失步保护。值得国内保护装置制造厂家参考、借鉴仿制,在电力系统具有重要的推广价值。

#### 参考文献

- 1 GEC - ALSTHOM. Generators Protection Tropic Protective Relays Manual. 1991
- 2 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 第一版. 中国电力出版社, 1996
- 3 王维俭、侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础. 第2版. 水利电力出版社, 1989
- 4 许实章. 电机学. 第1版. 机械工业出版社, 1981
- 5 史世文. 大机组继电保护. 第1版. 水利电力出版社, 1987

## PRINCIPLE AND FEATURES OF TP130 HYDRO-GENERATOR OUT-OF-STEP PROTECTION

Yu Guangming (Guangzhou Pumped - Storage Power Plant, 510950, Conghua, China)

**Abstract** The principle of TP130 out - of - step protective relay of GEC - ALSTHOM company and its features completely differing from other similar relays are described.

**Key words** out - of - step protection power angle active power