

# 发电机失磁保护的動作分析和整定计算的研究

殷建刚, 彭 丰

(湖北电力调度通信局, 湖北 武汉 430077)

摘要: 就发电机失磁保护  $U_L - P$  判据部分发生误动作的原因进行分析, 对现行整定计算办法中所使用的发电机参数提出了自己的观点, 并提出实用的整定计算的修正办法。

关键词: 失磁保护; 整定计算; 同步电抗  $X_d$

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2000)07-0035-02

## 1 引言

WFB-100型发电机保护, 在滞相和进相运行两种工况时, 失磁保护  $U_L - P$  判据部分都发生过误动作, 发“失磁”信号并切换厂用电源。本文正是针对这一现象, 分析失磁保护误动作原因, 并提出整定计算的修正办法, 在实际运行中得到较好运用。

## 2 保护动作分析

2.1 该厂 WFB-100 微机发变组保护的失磁保护主要由随有功功率变化的励磁低电压判据  $U_{fd}(P)$  和静稳极限圆  $Z < \text{组成}$ 。本文主要讨论前一判据。励磁低电压判据  $U_{fd}(P)$  的  $K$  值整定计算过程如下:

$$\text{发电机输出功率 } P = E_0 U_s \sin \alpha / X_d \quad (1)$$

式中:  $E_0$  ——发电机空载电势;

$U_s$  ——无限大系统母线电压;

$X_d = X_d + X_t + X_s$ ;  $X_t$ : 变压器阻抗;

$X_s$ : 电厂母线至无限大系统的联系电抗

$$\text{得: } E_0 = PX_d / (U_s * \sin \alpha) \quad (2)$$

在静稳极限状态下,  $\alpha = 90^\circ, \sin \alpha = 1$

此时  $E_0 = PX_d / U_s$

对上式两边取标么值, 励磁电压以发电机空载励磁电压  $U_{fd0}$  为基准, 定子方以发电机额定容量  $S_n$  为基准,  $E_0$  的标么值与励磁电压  $U_{fd}$  的标么值相等, 取  $U_s = 1.0$  得

$$E_0 = U_{fd} = PX_d / P, P \text{ 和 } U_{fd} \text{ 用有名值表示为}$$

$$K = U_{fd} / P = U_{fd0} X_d / S_n \quad (3)$$

2.2 根据发电机、变压器厂提供参数

- 发电机同步电抗  $X_d = 1.997$
- 发电机容量  $S_N = 353\text{MVA}$
- 变压器电抗  $X_t = 0.144$
- 变压器容量  $S_T = 370\text{MVA}$
- 发电机空载励磁电压  $U_{fd0} = 159.7\text{V}$

$$\cdot \text{CT}: 15000/5 \quad \text{PT}: 20000/100$$

系统电抗  $X_s$  (大方式) 为:  $X_s = 0.0283$  (以 100MVA 为基准)

则整定计算过程如下:

以发电机容量 353MVA 为基准

$$X_{dsx} = X_d + X_t + X_s = 1.997 + 0.144 \times 353/370 + 0.0283 \times 353/100 = 2.234 \quad (4)$$

将  $S_N = 353\text{MVA}$  折算到二次值为:

$$S_N = 353 \times 10^6 \times 5/15000 \times 100/20000 = 588\text{VA}$$

将  $S_N, X_{ds}, U_{fd0}$  代入 (3) 式中

$$\text{得: } K = 2.234 \times 159.7/588 = 0.61$$

2.3 1999年2月28日, 襄樊电厂 300MW 的 2# 发电机失磁保护误动作, 发“2#机失磁”信号, 厂用电切至备用电源, 并减出力。保护动作前, 发电机有功 315MW, 无功 52Mvar, 转子(励磁)电压 305V。保护装置报告显示为:  $U_{fd}: 305.5\text{V}$ ,  $P = 519\text{W}$ , 对应  $K = U_{fd}/P = 305.5/519 = 0.589$  的确应该动作!

为何一个正常运行方式会导致失磁保护误动作, 发电机动作前的运行状态远未达到静稳极限  $\alpha = 90^\circ$ , 此时  $\alpha$  仅为  $45^\circ$ ! 我们怀疑是某些参数有误差。经电厂方实测, 2# 发电机空载励磁电压为 140V, 与原先电机厂提供的设计值 159.7V 有很大偏差。

重新计算  $K$  值, 得:

$K = 2.234 \times 140/588 = 0.53$  这样, 在前面的工况下失磁保护将不会误动。

2.4 2000年2月29日, 襄樊电厂将对 2# 机组进行进相实验, 为此, 重新对发电机失磁保护进行校验, 此时, 电厂出线已增加三回, 系统阻抗已变小, 大方式下, 系统阻抗  $X_s = 0.0122$

$$\text{代入式 (4) 中, 得: } X_d = X_d + X_t + X_s = 1.997 + 0.144 \times 353/370 + 0.0122 \times 353/100 = 2.18$$

$$\text{代入式 (3) 中, } K = 140 \times 2.18/588 = 0.52$$

凌晨 4 35, 在 2# 机进相实验中, 当发电机带有功 300MW, 无功 -51Mvar, 此时, 保护屏管理机上失磁保护  $U_{fd}(P)$  判据读数为  $U_{fd} = 270V$ ,  $P = 512W$ ,  $K = U_{fd}/P = 270/512 = 0.527$ , 已十分接近整定值 0.52, 如进相深度进一步增加, 势必误动。考虑  $X_d$  误差及 CT、PT 误差其他一些因素的影响, 对  $K$  值进行修正。将原  $K$  值除以 1.1, 即  $K = 0.52/1.1 = 0.47$ 。

继续实验, 进相深度增加, 当带有功 300MW, 无功 -75Mvar 时,  $K = 236/484 = 0.488$

### 3 $K$ 值整定计算分析

计算公式(3)  $K = U_{fd0} X_d / S_N$  是在  $\delta = 90^\circ$  的静稳极限情况下得出的, 对一般滞相运行和进相深度不太深的工况 ( $\delta < 65^\circ$ ), 是有 1.1 倍以上的可靠系数的。为何会造成进相运行时保护计算值落入动作区内呢?

影响因素主要有二:

1) 空载励磁电压  $U_{fd0}$  的实测值。实测值 (140V) 比设计值 (159.7V) 小 10% 以上, 从而造成  $K$  值整定得过大。

2)  $X_d$  的实际值

因  $X_{ds} = X_d + X_t + X_s$ , 对于较大的系统, 发电机同步电抗  $X_d$  远大于  $X_t + X_s$ , 因此  $X_d$  的准确性将对  $K$  值计算起很大影响。我们在计算中采用的是发电机厂家提供的  $X_d$  值, 这个  $X_d$  值, 通常是同一型号机组的设计值。而实际运行值, 会在两个方面与设计值存在误差: 一方面, 电机制造商提供的  $X_d$  值一般是不饱和值, 对于正常运行的发电机来说, 工作于额定电压下, 磁路将趋向饱和,  $X_d$  将比不饱和值下降, 此时饱和同步电抗的数值将比不饱和电抗的数值小 5%~8%; 另一方面, 各台发电机会存在一定的差别, 实际不饱和值也很难与设计值完全一致, 电机厂通过空载和短路试验测出的不饱和值  $X_d$  也只要求与设计值误差在 15% 以内, 一般误差都 10%~15%。用这个设计值  $X_d$  去计算  $K$  值, 势必将  $K$  值整定得过大。滞相运行时因  $\sin \delta$  较小, 可靠系数大, 尚不会发生误动, 当进相运行达到一定深度时, 误动将在所难免。

以襄樊电厂 2# 机为例, 当  $P = 301MW$ ,  $Q = -75Mvar$  时, 根据保护屏上显示的  $U_{fd}$  和  $P$  的二次值, 算出:  $K = U_{fd}/P = 236/484 = 0.488 = < 0.52$ ; 当  $P = 250MW$ ,  $Q = -93.4Mvar$  时,  $K = U_f/P = 200/405 = 0.494 < 0.52$ 。保护将动作!

我们根据襄樊电厂 4# 机进相实验中保护屏上读出的转子电压  $U_{fd}$  和有功  $P$  的二次值, 以及测出的功角  $\delta$ , 根据公式(2), 考虑  $\sin \delta$ , 得  $K = U_{fd}/P = U_{fd0} X_d / (S_n * \sin \delta)$ ,

反推  $X_d$ , 并用  $X_d = X_d - (X_t + X_s)$  算出  $X_d$ , 见下表 1:

			表 1		$P = 300MW$	
$Q(Mvar)$	$\delta$	$U_{ab}$ (机端电压 kV)	$K = U_{fd}/P$	$X_d$	$X_d = X_d - 0.18$	
62.9	44.2	20.1	294/498	1.82	1.64	
0	55.4	19.8	260/495	1.87	1.69	
-33	60.6	19.5	249/492	1.89	1.71	
-75	65	19.2	236/484	1.89	1.71	
					$P = 200MW$	
$Q(Mvar)$	$\delta$	$U_{ab}$ (机端电压 kV)	$K = U_{fd}/P$	$X_d$	$X_d = X_d - 0.18$	
37.5	39	20.7	230/345	1.854	1.674	
-10	46	20.2	201/340	1.855	1.675	
-46	52.3	19.7	182/335	1.865	1.685	
-73	59	19.4	166/318	1.93	1.75	
-99	65.6	19.1	158/319	1.93	1.75	

由此可见, 计算出的  $X_d$  值均比电机厂提供的设计值  $X_d = 1.997$  小。表 1 两种工况下, 机端电压为额定时,  $X_d = 1.68$ , 比设计值 1.997 偏小。

$$X/X_d = (1.997 - 1.68)/1.997 = 15.9\%$$

故在  $\delta < 60^\circ$  时,  $\sin \delta > 0.86$ , 此时用电机厂提供的  $X_d$  值依公式(3) 计算出的  $K$  值, 保护将会发生误动。

### 4 整定计算改进方法

在  $K$  值计算中, 应采用实测的空载励磁电压。若不考虑机组进相运行方式, 可直接采用电机制造商提供的  $X_d$  值, 若机组要进相运行, 应采用饱和同步电抗值。

最好实测饱和同步电抗值  $X_d$ , 但测量要测定功率因素曲线, 这需要给发电机供一个数值等于额定值的纯电感电流, 在实际操作上有一定困难。

如不能实测饱和同步电抗值, 在整定计算时, 采用近似的方法, 将不饱和同步电机除以一个计算系数, 建议采用 15% 左右, 即用:

$$X_{d \text{ 计算}} = X_{d \text{ 不饱和}} / 1.15$$

对于襄樊电厂 2#、4# 机, 我们将上式代入(3) 中计算, 得  $K = 0.456$ 。在滞相运行 (下转第 61 页)

程中发生外部短路故障、外部故障切除、丢失励磁脉冲、投切线路等进行考核,保护动作行为正确。

$P_2$  保护从 1996 年至今,已成功应用到许多大、中型电厂(如:宝珠寺 175MW 水电站、襄樊 300MW 火电厂、杨树浦 125MW 发电厂、白山 300MW 水电站、凯里 200MW 火电厂等),经历了多次外部故障,保护未出现误动现象,经历一次发电机内部故障,保护正确动作。

#### 4 结论

对各分支中性点没有抽头引出及各分支不能安装 TA 的机组。选用故障分量负序方向保护(纵向零序电压保护)作为发电机内部短路主保护,反映发电机内部的相间、匝间和定子绕组开焊等故障,动模

试验及现场运行证明保护性能良好。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 沈全荣等. 发电机定子绕组内部故障保护方案的动模实验比较. 电力系统自动化, 1999, (11).
- [3] 张旭东等. 负序方向型发电机匝间保护误动分析及改进. 电力系统自动化, 1999, (11).

收稿日期: 2000-03-01

作者简介: 张学深(1964-),男,高级工程师,硕士,从事微机主设备保护装置研究与开发; 杨智德(1968-),男,高级工程师,从事微机主设备保护装置研究与开发; 金全仁(1968-),男,高级工程师,从事微机主设备保护装置研究与开发。

### Study on negative sequence directional protection against fault component

ZHANG Xue-shen, YANG Zhi-de, JIN Quan-ren  
(Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** The principle and application of negative sequence directional relay against fault component are presented in this paper. And design on the auxiliary criteria, setting value set, engineering design and how to prevent the directional relay from miss-discrimination during transient of the protection are also discussed. For the unit which there is no tap output from branch neutral point and CT is not allowed to be installed on each branch, the protection can be used as main protection against internal asymmetrical short-circuit fault of generator.

**Keywords:** main protection against generation short-circuit fault; fault component; negative sequence direction

(上接第 36 页) 以及进相运行不超过低励限制的情况下( $< 65\%$ ),保护不误动。而励磁低电压判据  $U_{fd}(P)$  的灵敏度很高,在失磁故障发生时,保护能快速灵敏地动作。如:2#机由于励磁调节器工作不稳定,在进相运行带有功 200MW,无功 - 82Mvar 时,励磁电压突然从 178V 骤减至 141V,保护动作。此时  $K = 141/318 = 0.44$ 。另一次,当 2#机带有功 300MW,无功 - 50Mvar,并继续增大吸收的无功时,励磁调节器失稳,无功突然从 - 50Mvar 降至 - 80Mvar,保护动作。此时  $K = 214/491 = 0.436$ 。都能可靠动作,在静稳破坏前即快速反映,防止静稳破

坏发生。

#### 参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京:中国电力出版社, 1996.
- [2] 许实章. 电机学(第一版)[M]. 北京:机械工业出版社, 1981.

收稿日期: 2000-03-21

作者简介: 殷建刚(1971-),男,本科,主要从事电力系统继电保护整定计算工作。

### research on the setting of generator loss of field protection

YIN Jian-gang, PENG Feng  
(Hubei Electric Power Dispatch & Communication Bureau, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** This paper analyzes the operation of generator loss of field protection. The viewpoint about the generator parameter used in setting method is proposed, and a modification for the setting is also presented.

**Keywords:** lose of field protection; setting; synchronous reactance