

自并励发电机组的短路保护配置

河南电力设计院 白忠敏

1 概述

由于自并励励磁系统响应快、结构简单、可靠性高、运行维护方便,近年来得到了国内外广泛的重视。水轮发电机和调相机绝大部分采用可控硅自并励励磁系统。直接接入高压电网的大型汽轮发电机,由于系统继电保护切除时间快,在短路故障时励磁电流以及静子电流的衰减仅百分之几,不影响继电保护的正确动作,国外越来越多地采用自并励励磁系统。例如加拿大新增的汽轮发电机几乎全部采用这一励磁方式,西班牙目前采用这一方式的大型发电机组接近1/3。我国水轮发电机组目前已普遍采用自并励励磁系统,但汽轮发电机组仍主要采用交流励磁机整流器励磁系统,仅少量引进机组采用自并励方式。

所谓自并励励磁系统是指发电机的励磁整流装置电源取自发电机端部的简单静止励磁系统,如图1所示。

由于发电机励磁电源取自发电机端部,从而在发电机端部或发电机——变压器组高压侧发生短路故障时,发电机定子电流将按指数规律衰减。本文根据这一基本特点,分析具有自并励励磁系统的发电机——变压器组继电保护的特点。

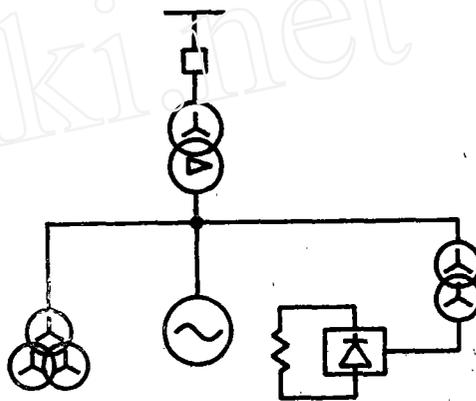


图 1

2 短路电流计算

当自并励发电机的端部(或升压变高压侧)发生三相短路时,其短路电流周期分量可由下式表示:

$$i_d = \left(\frac{1}{X'_d + X_s} - \frac{1}{X''_d + X_s} \right) e^{-t/\tau''_d} + \frac{1}{X'_d + X_s} e^{-t/\tau_d} \quad (1)$$

式中, X'_d ——发电机暂态电抗 X''_d ——发电机次暂态电抗
 τ''_d ——发电机次暂态时间常数 τ_d ——自并励系统定子电流衰减时间常数
 X_s ——发电机外接电抗

当不计及阻尼绕组引起的超瞬变分量时,式(1)简化如下:

$$i_d = \frac{1}{X'_d + X_s} e^{-t/T_s} \quad (2)$$

由于大型机组的端部引出线系经封闭母线接于升压变压器,所以在端部引出线上发生相间短路的可能性极小。最严重情况一般按升压变压器高压侧三相短路计算。

式(1)或(2)中,短路电流的数值取决于发电机暂态电抗、外接电抗、定子电流衰减时间常数和短路切除时间。大型发电机的暂态电抗通常为0.2~0.35,外接电抗可以取为升压变压器的短路电抗,约为0.15。短路切除时间取决于系统和机组的继电保护动作时间,通常主保护动作时间不超过0.1s,后备保护动作时间不超过1.0~1.5s,时间常数 T_s 由下式表示:

$$T_s = \left[\frac{X'_d + X_s}{X_d + X_s} \left(1 - K_a \frac{X_s}{X_d + X_s} \right) \right] T'_{d0} \quad (3)$$

或近似地用下式表示:

$$T_s \approx k T'_{d0} \left(1 - K_a \frac{X_s}{X_d + X_s} \right) \quad (4)$$

式(3)、(4)中,

T'_{d0} ——发电机定子绕组开路时间常数 T'_d ——发电机定子绕组短路时间常数

K_a ——以发电额定空载励磁电压为标么值的顶值励磁电压倍数,通常为6~9

k —— $k = \frac{R_{FD}}{R_{FD} + R_D} \approx 0.90 \sim 0.96$, R_{FD} 、 R_D 分别为发电机转子和定子绕组的电阻有名值。

根据 T'_{d0} 、 T'_d 、 X_d 、 X'_d 、 X_s 、 K_a 和 k 的取值范围, T_s 的数值范围为 $T'_d < T_s < T'_{d0}$ 。例如, $X_d = 2.0$, $X'_d = 0.3$, $X_s = 0.15$, $K_a = 6.0$, $T'_{d0} = 6.0s$,则 $T_s = 2.17s$ 。一般情况下, T_s 为2~3s。

由此可见,自并励发电机组在升压变压器高压侧三相短路的开始阶段,短路电流的衰减比它励发电机衰减得慢,即在系统或机组主保护的動作范围内,不存在自并励发电机短路电流较它励发电机小的问题,而在稍长一段时间后(后备保护动作时间内),自并励发电机的短路电流继续衰减,它励发电机短路电流则几乎不再衰减并达到稳态值。下表列出了 $T_s = 1.5s$ 、 $2s$ 、 $3s$, $t = 0.05s$ 、 $0.1s$ 、 $0.5s$ 等时的 i_d 标么值

$T_s(S)$	$t(S)$						
	0.05	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1.5	0.967	0.936	0.717	0.513	0.368	0.264	0.189
2	0.975	0.951	0.607	0.607	0.472	0.368	0.287
3	0.983	0.987	0.513	0.717	0.607	0.513	0.435

由上表可知,当系统或机组主保护动作时间不超过0.05s时,短路电流衰减不超过4%,当后备保护动作时间不超过1.0~1.5s时,短路电流衰减不超过65%。

3 机组主保护的配置

同它励发电机一样，大型自并励发电机组通常是以发电机—变压器组形式接入系统的，按照“继电保护和安全自动装置技术规程”的规定，这类发电机—变压器组应在发电机、高压厂变上装设差动保护，并在发—变组上装设总差动保护，对于300MW以上的发化。为了电机组，为了提高其安全可靠，尚需装设单独的变压器差动保护，以实现快速保护双重尽快地切除发—变组内部故障，自并励发电机组采取双重快速保护更为必要。

与它励发电机不同，自并励发电机组的引出线端部除接有高压厂用变压器外，尚接有励磁变压器（图2），按照“火力发电厂、变电所二次接线设计技术规定”的规定，励磁变压器应处于发电机变压器组差动保护之内。但励磁变压器的容量与升压变、高压厂变相差悬殊，其保护整定值很难协调配合，分析如下：

目前大型变压器一般采用具有谐波制动和比率制动的差动继电器，其整定，应确定制动系数和最小动作电流。

3.1 制动系数计算：

为了确保在各种运行方式下保护装置都有选择性，制动系数 $K_{z.h}$ 应取实际可能出现的最大值。

$$K_{z.h} = K_K \frac{I_{d.z.h}}{I_{d.z.h}} = K_K (K_{f.z.q} \cdot K_{t.z} \cdot f_i + \Delta u_u + \Delta f) \quad (5)$$

式中， $I_{d.z.h}$ ——计算不平衡电流，

K_K ——可靠系数，1.3~1.4

$I_{d.z.h}$ ——所计算的外部短路时，起制动作用的短路电流周期分量。

$K_{f.z.q}$ ——非周分量系数，取1.0， $K_{t.z}$ ——电流互感器同型系数，取1.0。

f_i ——电流互感器最大相对误差，取0.1，

Δu_u ——变压器调压的最大百分值取0.005

Δf ——继电器调整误差，取0.05

$$\therefore K_{z.h} = (1.3 \sim 1.4) (1.0 \times 1.0 \times 0.1 + 0.005 + 0.05) = 0.26 \sim 0.28$$

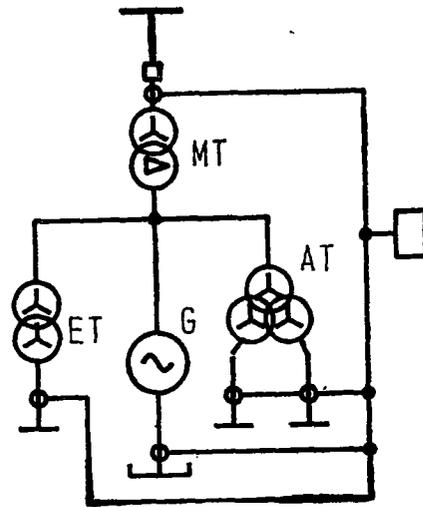
各种外部短路情况下的制动系数大致相同。

3.2 最小动作电流计算

由于现代差动继电器具有良好的外部短路制动特性，所以继电器的动作电流可以不必按外部短路电流来整定，而只需按继电器尚未制动条件下，流入继电器的不平衡电流来整定。目前不产生制动作用的外部短路电流通常为 $(1.0 \sim 1.2) I_e$ ，所以，继电器的最小动作电流可用下式求得：

$$I_{d.z.o} = K_K i_{b.p.o} = K_K (K_{f.z.q} K_{t.z} f_i + \Delta u_u + \Delta f) (1.0 \sim 1.2) I_e \quad (6)$$

近似地， $I_{d.z.o} = (0.26 \sim 0.34) I_e$ ，通常取



2 图

$$I_{dz} = (0.4 \sim 0.5) I_e。$$

由上述分析可知，作为后备快速保护的总差动保护整定值，制动系数 K_{zd} 可取0.4，最小动作电流可取 $(0.4 \sim 0.5) I_e$ 。但是由于励磁变压器容量很小，一般仅为发电机容量的 $(1 \sim 1.5)\%$ ，其低压侧短路电流很小，从而在其低压侧内部短路时，无法保证动作的灵敏度。即使对于容量大于励磁变10多倍的高压厂用变压器，总差动保护对其绕组的保护范围也仅为其阻抗的20~30%，所以没有必要将励磁变压器差接入发一变组总差动保护内。另外尚应根据励磁变压器接至发电机端部的引线长短决定是否将其高压引线接入总差保护内，般情况，引线很短，不必接入，以减少接线的复杂性。

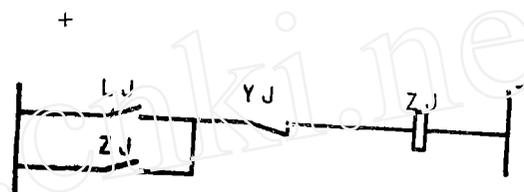
为了尽快地切除励磁变压器的内部故障，应视其容量大小，装设本身的差动保护或电流速断保护。

4 后备短路保护配置

根据前述，在机组后备保护的动作时间范围内，自并励发电机组的短路电流将持续衰减，当动作时间在1.0~1.5s以内时，其短路电流可保持在额定电流的60%以上，当动作时间更长时，短路电流将衰减到50%以下。为了保证后备保护在其动作整定时间时可靠动作，其接线和定值应采取如下措施：

对于由电流元件构成的后备保护，应增加电压（或复合电压）元件和记忆接线。如图3所示。

对于采用低阻抗元件构成的后备保护，其阻抗继电器的精工电流应足够小，如小于1.0A，以保证在短路电流较小时能够可靠动作。



图中，LJ、YJ分别为电流电压（或复合电压）继电器

图3

5 结论

5.1 自并励发电机组由于其定子电流衰减时间常数较大，在主保护动作时间内，短路电流的衰减并不显著，不影响保护装置的正确动作。

5.2 由于励磁变压器容量很小，所以自并励发电机组的总差动保护不必接入励磁变压器，其内部短路故障由自身的电流或差动保护切除。

5.3 为了保证机组后备保护的可靠动作，应采取防止保护返回或拒动的措施。

总之，采取适当措施后，自并励发电机组的短路保护完全能够适应其短路电流衰减的条件。短路保护或后备短路保护不应成为限制自并励励磁系统推广采用的障碍。