

发电机失磁保护中转子低电压二判据的比较

郁涵

(姚孟发电有限责任公司,河南 平顶山 467031)

摘要:介绍了国产30万kW发电机失磁保护励磁电压判据的两种构成方式及其原理,并加以比较。姚电公司在2001—2002跨年度大修中对#1机发—变组保护进行了更新改造,在试验中发现其失磁保护励磁电压判据有缺陷,依据分析结果对其进行了改进。

关键词:失磁保护;励磁电压;失磁

中图分类号:TM77 文献标识码:A 文章编号:1003-4897(2003)09-0063-04

1 简介

对于失磁保护,以异步边界和静稳边界为判据的低励、失磁继电器,它们都能正确地鉴别正常运行和低励、失磁故障。但是不论采用哪种整定方式,当外部短路、系统振荡、长线充电、自同期及电压回路断线时,继电器都会误动。因此,必须利用其他特征量作为辅助判据,增设辅助元件,才能保证选择性。励磁电压下降,是造成低励、失磁故障的直接原因,因此可以把励磁电压的下降作为低励、失磁故障的主要判据。但是,励磁电压是一个多变的参数,由空载到强行励磁,变化的幅度可达空载励磁电压的6~8倍甚至更高。此外,在系统振荡、短路故障的过程中,励磁回路还会出现交变分量电压,与直流量相迭加,有时甚至过零。在失磁后异步运行过程中,在励磁回路中也会产生很大的感应电压。由于这些原因,现代失磁保护通常不再把励磁低电压的变化作为主要判据,而仅把它作为辅助判据之一加以运用。

对励磁电压下降的运用方法,目前有两种:一是用等励磁电压作为判据;一是用变励磁电压作为判据。下面是对这两种方法的分析和比较。

2 等励磁电压判据

等励磁电压判据,是以一个给定的电压值,作为鉴别失磁故障的依据。实现这一判据的检测元件为一低电压元件,当励磁电压下降到低于这一给定值时,低电压元件动作。上述励磁电压的给定值,一般按可能的各种正常运行状态下低电压元件不误动的条件确定。

2.1 励磁低电压元件的整定值

励磁低电压元件的动作电压不能整定得过高,否则在正常运行而励磁电压较低时,可能误动作,使保

护装置失去闭锁。但其动作电压又不能太低,否则在重负荷下低励时,可能使励磁低电压元件不能动作,导致低励、失磁保护装置拒动。因此,在确定励磁低电压元件的动作电压时,应综合考虑上述两方面的因素。其具体整定条件和计算方法,通常有两种。

(1)按低于发电机空载励磁电压整定:为了使励磁低电压元件在正常运行情况下不动作,低励、失磁后能够动作,以往取其动作电压 U_{dz} 小于空载励磁电压 U_{fd0} ,并且取:

$$U_{dz} = 0.8 U_{fd0} \quad (1)$$

式(1)中: U_{dz} 为动作电压, U_{fd0} 为发电机的空载励磁电压(发电机空载,端电压为额定值)。

当按式(1)整定时,若在重负荷下发生低励故障,而励磁电压还比较高,则有可能出现 $U_{fd} > U_{dz}$ 的情况。此时,励磁低电压元件可能误动作,保护装置将被误闭锁。

(2)按发电机可能的最低运行负荷整定:为了综合考虑在重负荷区出现误闭锁和在轻负荷区出现误解除闭锁两种情况,励磁低电压元件的动作电压,可按实际可能的最低负荷在静稳边界上所对应的励磁电压整定。

2.2 励磁低电压元件在失磁过程中的行为

任何原因造成的低励或失磁故障,励磁低电压元件都应当可靠动作。而在外部短路、振荡等情况下,都应当可靠不动作,以便可靠地实现闭锁。

如果低励、失磁继电器按静稳边界整定,当发电机的工作点越过静稳边界后,继电器就进入动作状态。但由于励磁低电压元件周期性地返回,有可能导致保护装置拒动,为此,必须采取防拒动的措施,方法之一就是使励磁低电压元件延时返回。

2.3 励磁低电压元件在发生短路过程中的行为

设系统发生三相短路故障后,发电机a相电流

为

$$i = I_z e^{-t/T_d} - \sqrt{2} [(I - I) e^{-t/T_d} + (I - I) e^{-t/T_d} + I] \cos(\omega t + \theta_0) \quad (2)$$

式(2)中: $I_z = \sqrt{2} E_0 \cos \theta_0 / X_{d\Sigma}$ 为直流分量电流;

$I = E_0 / X_{d\Sigma}$ 为超瞬变电流;

$I = E_0 / X_{d\Sigma}$ 为瞬变电流;

$I = E_0 / X_{d\Sigma}$ 为稳态电流。

突然三相短路,定子回路中的电流变化,将引起转子回路中电流电压的暂态变化。此时,励磁绕组中的电流为:

$$I_{fd} = I_{fd}(0) + I_{fd} e^{-t/T_d} + I_{fd} e^{-t/T_d} - (I_{fd} + I_{fd}) e^{-t/T_d} \cos(\omega t) \quad (3)$$

式(3)中: $I_{fd}(0)$ 为对应于稳态电流 I 的励磁电流(假设短路过程中励磁电流没有调整); I_{fd} 为对应于 $(I - I)$ 的励磁电流; I_{fd} 为对应于 $(I - I)$ 的励磁电流; $I_{fd} + I_{fd}$ 为对应于 I_z 的励磁电流。

短路电流在纵轴方向产生去磁作用,因而在励磁绕组引起的直流分量产生反去磁作用的磁势。所以暂态过程中,励磁绕组中产生的直流分量电流 ($I_{fd} e^{-t/T_d} + I_{fd} e^{-t/T_d}$) 与初始电流 $I_{fd}(0)$ 同方向,即使励磁绕组中的电流增大。

因此,对于他励式发电机,当发生短路故障后,励磁电压将升高,励磁电压元件能可靠闭锁失磁保护装置。

对于自励式发电机,情况和他励式发电机不同。在发生三相短路故障时,低励、失磁继电器误动作,励磁低电压元件不能闭锁,导致整个保护装置误动作。

2.4 励磁低电压元件在振荡过程中的行为

当被研究的发电机与电力系统之间发生振荡时,若发电机电压 U 与等效发电机的电压幅值相等,则作用在系统中的电压为:

$$U - U_x = 2 U \sin[(\omega_f - \omega_x) t / 2] \cdot \cos[(\omega_f + \omega_x) t / 2] \quad (4)$$

流过发电机的电流,其角频为 $(\omega_f - \omega_x) / 2$,幅值是以角频为 $(\omega_f + \omega_x) / 2$ 调制的余弦函数。若 $\omega_x = 1$, $\omega_f = 1 - s$,则电流的角频为 $1 - 0.5 s$,幅值变化的角频为 $0.5 s$ 。当 s 在 $0 \sim$ 范围内变化时,发电机所呈现的电抗在 $X_d \sim X_d$ 范围内变化 (X_d 为发电机稳态电抗, X_d 为发电机次暂态电抗)。实际上,当转差 s 为 5% 左右时,同步发电机的电抗已接近 X_d 。因此,在振荡过程中,流过发电机的电流的最大值 $2U / X_d$,要远大于额定电流,甚至比出口

三相短路电流的幅值还要大。

在振荡过程中,定子绕组中流过的上述电流,在励磁绕组中产生感应电流,与励磁电源所建立的励磁电流 $I_{fd}(0)$ 相迭加,导致励磁绕组端电压 U_{fd} 发生波动。

在重负荷下发生振荡过程时,由于 $I_{fd}(0)$ 相当大,励磁绕组端电压 U_{fd} 的最小值不会下降到励磁低电压元件的动作电压 U_{dz} 以下。但是,当轻负荷运行时,由于 $I_{fd}(0)$ 比较小,有可能使 U_{fd} 小于 0,此时励磁低电压元件将抖动,甚至误动作。

因此,在重负荷下发生振荡时,励磁低电压元件能够有效地实现闭锁;而在轻负荷进相运行发生振荡时,励磁低电压元件可能抖动或误动。

2.5 其他异常情况下励磁低电压元件的行为

长线充电时,励磁电压将下降,励磁低电压元件可能误动作,不能可靠闭锁。在发生自励现象时,如无其他相应的闭锁措施,必将导致保护装置误动作。

电压回路断线时,励磁低电压元件显然能够有效地实现闭锁。

3 变励磁低电压判据

3.1 变励磁电压的检测

如上所述,等励磁低电压判据存在重负荷下低励时可能拒动,在轻负荷下进相运行时可能误动的缺点,虽然可以按最低运行负荷整定来减少拒动或误动,但并未从根本上消除上述缺点。

为了消除等励磁低电压判据的缺点,常采用变励磁电压判据,即鉴别失磁故障的励磁电压整定值是随负荷大小改变的。实现这一判据的方法,是把一个与励磁电压成比例的电压与一个与负荷大小有关的电压相比较,使检测元件的动作电压随负荷的大小而变化,当负荷增大时,其动作电压相应提高,其变化规律一般由静稳边界决定,即在给定的负荷下,励磁电压下降到等于或低于静稳边界所对应的励磁电压后,检测元件动作。引入检测元件表示负荷大小的量,理论上用有功功率 P 或者电流 I 或者视在功率 S 都可以,但由于 P 的静稳边界是与励磁电压有近似线性关系,所以一般都采用有功功率 P 。

3.2 对于隐极机,以有功功率 P 表示负荷的大小

设被研究的发电机经联结电抗 X_s 接到电压为 $U_x = 1$ 的母线上,如图 1 所示。将发电机定子回路的电阻忽略不计,则通过机端的有功功率 P 等于通过 $U_x = 1$ 母线处的有功功率 P_x 。对于隐极机, $U_x = 1$ 母线处的静稳边界如图 2 所示。其中座标的原

点对应于 $U_X = 1$ 的母线处,静稳边界与纵轴的交点 K 在 $U_X^2 / X_{d\Sigma}$ 处,此时,静稳边界在 $P-Q$ 平面上为一条直线。

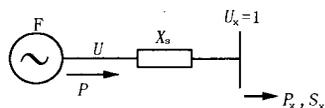


图1 系统图

Fig.1 System diagram

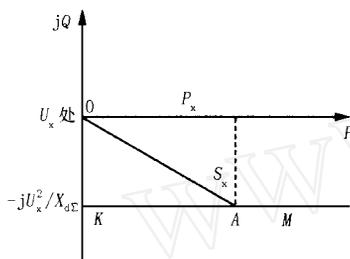


图2 P-Q 平面上的静稳边界

Fig.2 Static and stable margin of P-Q plane

静稳边界上的任意点 A , 有线段 $KA = P_X$, 并且线段 KA 与励磁电压 U_{fd} 成比例。对隐极同步发电机,通过电压为 U_X 处的有功功率为 P_X 时,励磁电压为:

$$U_{fd} = E_0 = P_X X_{d\Sigma} / (U_X \sin \delta) \quad (5)$$

由式(5)知道,对于给定的有功功率 P_X ,在静稳边界上对应的励磁电压:

$$U_{fd} = P_X X_{d\Sigma} / U_X \quad (6)$$

其中各量均为标么值。

若 U_{fd} 和 P_X 用实际值表示,则有:

$$U_{fd} = (P_X X_{d\Sigma} / U_X) \times U_{fd0} / S_e \quad (7)$$

式(7)中: U_{fd0} 为空载励磁电压; S_e 为额定视在功率,其单位为标么值。

$$\text{令 } K = X_{d\Sigma} U_{fd0} / (U_X S_e) \quad (8)$$

则当 $U_{fd} < K \cdot P_X$ 时,发电机将不能维持同步运行。因此,可将此作为变励磁电压判据检测元件的动作条件。

应当指出,上面所讨论的静稳边界,是按 $U_X = 1$ 母线处的功角特性确定的,所以只有在 $U_X = 1$ 母线处测量 P_X ,才有简明的线性关系 $U_{fd} = K \cdot P_X$ 。

3.3 变励磁电压元件在失磁过程中的行为

在各种原因引起的失磁过程中,最初阶段励磁电压 U_{fd} 的变化有三种情况:突然下降到0;突然下降到某一负值;在一定时间内逐步下降到0。同时,在最初阶段的一定时间内,有功功率 P 基本保持不变。因此,发电机失磁后,在 $U_{fd}-P$ 平面上的工作

点 A , 将沿 $P = P_0$ 的直线突然下降到0或某一负值,或者逐步下降到0,如图3所示。显然,除变励磁电压元件的装设点到发电机励磁绕组区域内发生开路引起的失磁外,其他各种失磁情况下,在失磁过程的最初阶段,变励磁电压元件都能可靠动作。

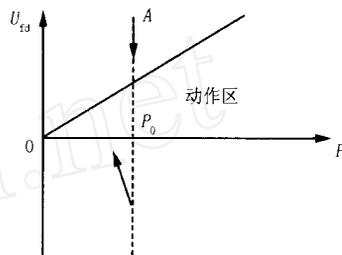


图3 变励磁电压元件在失磁过程中的行为

Fig.3 Action of varying exciting voltage unit during loss-of-field

3.4 变励磁电压元件在短路过程中的行为

当发生短路故障后,在暂态过程中励磁电压将上升。如果有功功率的测量元件是三相的,则在短路后所测得的有功功率 P 值总是下降的。因此,在发生短路故障后,工作点 A 将向左上方移动,因而变励磁电压不会误动作。如图4所示。

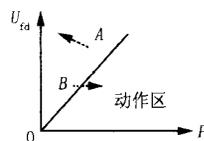


图4 变励磁电压元件在发生短路故障后的行为

Fig.4 Action of varying exciting voltage unit after short-circuit fault

但是,如果有功功率测量元件是测量单相功率的,则在发生非对称短路故障时,所测得的功率可能有所增加。假如发生短路故障前发电机工作于静稳边界附近,例如工作于图4中的 B 点,则在发生短路故障后, B 点将向右移动穿过动作边界,使变励磁电压元件误动作。

3.5 变励磁电压元件在振荡过程中的行为

在被保护发电机与电力系统之间发生振荡时,发电机的有功功率将在一定的正值和负值之间摆动;与此同时,在励磁回路中产生一交变分量叠加到外加直流励磁电压上,从而使励磁电压 U_{fd} 在一定的范围内波动。由于有功功率和励磁电压同时摆动,所以在 $U_{fd}-P$ 平面上,工作点 A 将在一定的区域内移动。在重负荷下发生振荡时,外加的直流励磁电压较高,振荡过程中工作点 A 移动的区域如图5中的 M 所示,此时,区域 M 位于制动区域内,

变励磁电压元件不会误动作。如果正常是进相运行,且运行的工作点 B 在静稳边界附近,则由于外加直流电压较低,叠加上交流分量后,将使工作点 B 穿过动作边界,使变励磁电压元件误动作,如图 5 中的区域 N 所示。

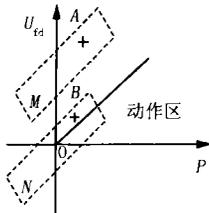


图 5 变励磁电压元件在振荡过程中的行为

Fig. 5 Action of varying exciting voltage unit during oscillation

3.6 变励磁电压元件在其他异常情况下的行为

长线充电时,虽然励磁电压可能降低,但由于此时有功功率 $P > 0$,所以只要 $U_{fd} > 0$,则变励磁电压元件就不会误动作。此外,当电压回路断线时,将使有功功率测量元件所测得的功率下降,甚至变为 0。此时,在 $U_{fd}-P$ 平面上的动作边界降低,在失磁时,要增加变励磁电压元件拒动的机会,甚至使之完全不能动作。但另一方面,也起到了在电压回路断线时,防止失磁保护装置误动作的作用。

通过以上分析可以清楚地得出结论,即变励磁电压判据明显地优于等励磁电压判据。

4 姚电公司 #1 发电机失磁保护的改进

图 6 中实线所示是 #1 发电机失磁保护逻辑原理改进前的框图。

该逻辑回路采用了励磁低电压作为失磁保护的判据,励磁低电压判据即为前面所讲的等励磁电压判据。在试验中分析发现,构成判据的励磁低电压元件动作电压不能整定得过高,否则在正常运行而励磁电压较低时,失磁保护可能误动作,使保护装置失去闭锁。但其动作电压又不能太低,否则

在重负荷下低励时,可能使励磁低电压元件不能动作,导致低励、失磁保护装置拒动。另外,励磁低电压判据在失磁、短路、振荡及长线充电等情况下,容易产生误动、拒动,而这对于 30 万 kW 机组来说,是一个严重的不安全因素。因此,我们和继电器制造厂的设计人员一起依据上述结果对失磁保护的原理进行了改进,将励磁低电压判据更换成变励磁电压判据,使之功能更加完善。将图 6 中的“励磁低电压”判据改为“ $U_{fd}(P)$ ”即为改进后的失磁保护逻辑框图。

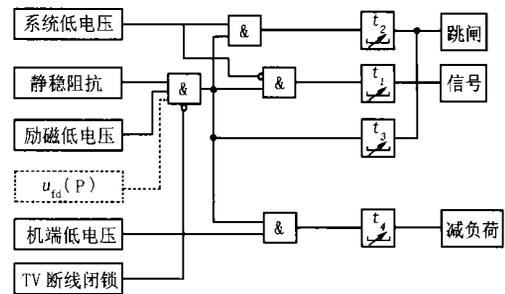


图 6 失磁保护逻辑框图

Fig. 6 Logical of loss-of-field protection

5 结论

通过以上对失磁保护励磁电压判据的分析可知,变励磁电压判据优于等励磁电压判据。据此,我们将失磁保护的逻辑构成进行了改进,使之功能更合理,更接近于反映实际故障及异常情况。当然,新的失磁保护还有待于实践的检验。

参考文献:

- [1] 王维俭,侯炳蕴.大型机组继电保护理论基础(第二版)[M].北京:水利电力出版社,1989.

收稿日期:2002-12-19

作者简介:

郁涵(1969-),男,工程师,从事继电保护及自动装置检修工作。

Comparison of the two criteria of rotor low voltage in the generator loss-of-field protection

YU Han

(Yaomeng Power Plant Company Ltd., Pingdingshan 467031, China)

Abstract: This paper presents two kinds of forming modes and principle of exciting voltage criterion in china-made 300MW generator loss-of-field protection, which were compared. The protection system of the generator-transformer set was renovated and rebuilt in the overhaul of the No. 1 unit of Yaomeng Power Co. Ltd. in the 2001-2002 during which the defects in the exciting voltage criterion of loss-of-field protection were found in experiments, and were improved according to results of analysis.

Key words: loss-of-field protection; exciting voltage; loss-of-field