

采用有功转子判据为主判据的新型 发电机失磁保护

安徽电力试验研究所 汪秉侃 合肥工业大学 姚晴林
阿城继电器厂 李炳珠 赵忠慧

摘要: 本文简要分析了同步发电机失磁的两种静稳判据——定子判据和有功转子判据的工作特性,提出了采用有功转子判据为主判据的新型发电机失磁保护,它具有动作速度快、可靠性高、暂态特性好等优点,并已经动模试验和现场运行所证实。

关键词 失磁保护 转子判据 滑差跳闸

一 前 言

发电机失磁故障是电力系统常见故障之一,特别是大型发电机组,励磁系统的环节较多,使得低励和失磁的机会增多。据国内对1982年至1985年10万kW以上发电机组的故障统计资料表明,失磁故障约占发电机全部故障的70%。目前我国电力十分紧张,如果当发电机失磁时,立即动作于跳闸,一方面将影响系统的稳定性,另一方面将给主辅机造成程度不同的某些损伤。因此,当发电机失磁后,立即采取措施(如恢复励磁、压出力、转移负荷等),使机组不失去同步或在系统允许情况下继续异步运行一段时间有着现实的意义。这也就要求研制工作性能更好的发电机失磁保护,使其能在发电机失磁时能立即动作,并具备可靠性高、暂态特性好等优点。本文在研制的基础上,提出了一种以有功转子判据为主判据的新型发电机失磁保护,经动模试验和现场运行证明,可满足上述要求,现已通过专家鉴定。

二 两种静稳判据工作特性分析

目前失磁保护的主保护绝大部分为静稳判据。它包括定子判据和有功转子判据,其前提为:发电机失磁造成的失步是由静稳破坏所致。下面对两种判据的工作特性简要分析。

1. 定子判据的工作特性分析

同步发电机的定子判据实际上可用R—X座标上的阻抗圆表示,它是当发电机失磁

后,以不同的有功功率 P 临界失步时机端测量阻抗的轨迹(图1)。

发电机正常运行时,其机端定子判据的测量阻抗为负载阻抗,即在阻抗圆之外,判据不满足;当发电机失磁后,测量阻抗 Z 随时间的推移逐渐向动作圆移动,最终进入圆内,判据满足。

定子判据的主要特点:发电机失磁后,励磁电流减小,以电枢反应的效果反应到定子侧,故定子侧反应的失磁在本质上只是反应转子侧励磁电流的减小。而转子系统是一时间常数较大的回路,发生突然性失磁故障时,转子电压迅速降低或冲向负值并保持一段时间,但励磁电流的衰减却较缓慢。由于这种较缓慢的励磁电流变化,致使定子侧诸参量从失磁开始变化到 $\delta = 90^\circ$ 的阶段是渐变的,因而作为判断发电机是否失磁的定子判据在时间上有延迟,其时间的大小取决于发电机的参数、运行方式及与系统联系的紧密程度,一般为零点几秒至数秒。所以说,反应失磁故障的速度较慢。在实际应用中,考虑到定子判据在系统振荡及短路等情况下误动,需采取辅助判据(励磁电压、负序电压闭锁、延时)共同构成失磁保护,因而实际动作时间更慢。

由于定子判据是在失磁后一段时间才开始动作,则发电机的同步电抗 X_d 已有所变化。现场实验证明, X_d 与功角、定子电压和电流等因素有关,而且在 $\delta = 90^\circ$ 及失磁运行情况下,远小于设计的不饱和值。在失磁过程中,发电机的动态电抗 X_d' 还随滑差的增大而减小。

目前较大参数的固态电路定子判据采用相位比较方案,因此在实际应用中就会遇到系统频率发生变化时而产生误差。另外,定子判据是反应机端测量阻抗的变化,在系统发生短路、振荡、有同期、长期充电和发电机电压互感器回路断线时,都可能误动。

2. 有功转子判据的工作特性分析

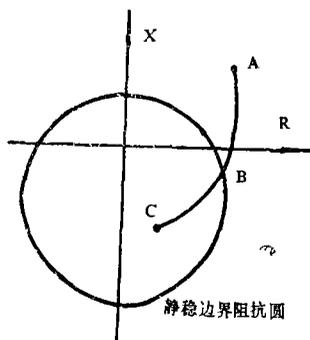


图1 定子判据的工作特性曲线

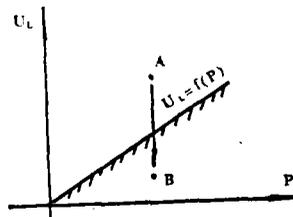


图2 有功转子判据的工作特性曲线

根据功率方程,有功功率 P 与静态极限同步电势 E_{d1} 成正比,汽轮发电机稳态运行时,如果令 U_{L1}/X_{d2} 为常数 K ,当用派克标么值系统表示时:

$$P = KE_{d1} = KU_{L1} \quad (1)$$

上式即为有功转子判据的表达式,其动作特性可用图2表示。

发电机正常运行时,对于某一输出有功功率来说,其同步电势 E_d 与静稳极限同步电势 E_{d1} 之间的关系可表示为:

$$\dot{E}_d = E_{d'} / \sin \delta \quad (2)$$

因功角 δ 远小于 90° ，故 $\sin \delta < 1$ ，即 $E_d > E_{d'}$ ，对应 $U_L > U_{L'}$ ，故运行点位于图中的A点，判据不满足。当发电机失磁时，有功功率P基本不变，而励磁电压突变，即失磁瞬间有 $U_L < U_{L'}$ ，运行点瞬间从A点降至B点，判据得到满足，虽然 E_d 随时间按指数规律衰减，但一段时间之后， E_d 必小于 $E_{d'}$ ；因此可以说，有功转子判据具有预测发电机是否失磁失步的功能。

不带延时动作的好处还在于，失磁瞬间的运行工况与失磁前相同，故同步电抗 X_d 没有发生变化，因而判据不受暂态的影响。但是，当发电机失磁后进入异步运行时，由于滑差的增大，使得输出的有功功率和励磁电压都在波动。如果这种波动较大，则有功转子判据有可能得不到满足，出现动作，返回、又动作的现象。为使有功转子判据动作可靠，可采用对失磁动作后的行为进行保持。另外，在系统发生振荡及短路时，有功转子判据也可能误动作。

表1列出了两种静稳判据的动作特性，可以看出，有功转子判据在动作速度、暂态影响、频率影响、定值整定及误动作方面都较定子判据为好，而唯一的缺点，即发电机失磁后动作可靠方面，可采用自保持进行解决。所以，采用有功转子判据作为检测发电机是否失磁的主判据，并辅之其他判据构成一套新型发电机失磁保护将极大程度上改善保护的工作性能。

表1 动作特性比较表

种 类	判 据	
	定 子 判 据	有 功 转 子 判 据
动作速度	较慢	快
暂态影响	受	不受
频率影响	受(相位比较方式)	不受
定值整定	复杂(对水轮发电机)	简单
发电机失磁后动作可靠	可靠	需自保持
短路及振荡	误动	误动
电压回路断线	误动	不误动
长线充电	误动	不误动
自同期	误动	误动可能性小

三 新型失磁保护的工作原理

失磁保护作为一个重要的电力系统安全自动装置，在其构成上必须考虑两个方面。首先，当发电机发生失磁故障后，应立即检测出，并采取相应措施，尽量使发电机不失去同步或安全过渡到稳态异步运行，这一点十分重要，它是提高电力系统和发电机在失磁故障下安全保障的重要步骤。其次，只有当采取措施后，电力系统和发电机的安全仍

受到威胁时，才将发电机切除。

从上面分析可知，有功转子判据反应发电机输出的有功功率和极限励磁电压之间的关系可以在发电机失磁瞬间动作，不带任何延时，实现了发电机失磁故障可立即检测出的要求，故可作为判断发电机是否失磁的主判据。

发电机失磁后，能否继续运行应考虑到系统的稳定性和发电机的安全。对于系统方面，采用监视系统电压的判据（即系统母线电压是否低于某一限值）。对于发电机方面，采用监视发电机失磁后的滑差判据。所以，在失磁故障被发现之后，通过减有功、切换励磁、转移负荷等措施之后，发电机和系统的安全仍受到威胁时，就可以用系统低压、滑差作为是否跳闸的判据。

为防止有功转子判据在振荡、短路时的误动，采用负序电压加功率速率构成的闭锁元件进行闭锁。

因此，以有功转子判据、系统低压和滑差作为辅助判据就可以构成一种新型发电机失磁保护，它的构成方框图见图3。下面简述它的工作原理。

如前所述，发电机正常运行时， $U_L > U_{Lj}$ ，有功转子判据不满足，表明发电机没有失磁。当发电机失磁时， $U_L < U_{Lj}$ ，有功转子判据立即得到满足，经0.1秒延时发出发电机失磁信号，并同时采取减有功、恢复励磁、投入灭磁电阻等措施。这里0.1秒延时是考虑有功转子判据在受到震动、自动励磁电压调整器偶然失调瞬间误动作，而设立的。

当发电机发生失磁故障的同时，系统中出现短路及振荡，0.1秒延时电路将被短路及振荡闭锁元件闭锁。此时，有功转子判据仍可经0.8秒延时电路发出发电机失磁信号并采取相应措施。（0.8秒的整定值是根据在较严重的振荡情况下有功转子判据的误动作时间均小于0.5秒考虑的）。故在上述复故障状况下，有功转子判据仍可动作，且动作速度仍较快。

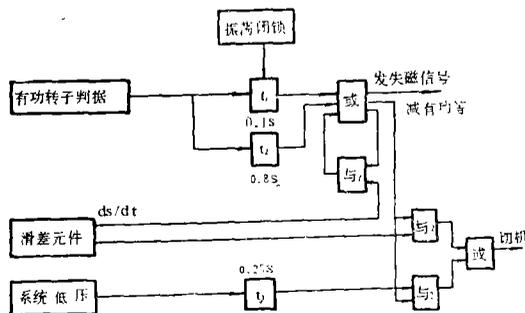


图3 新型失磁保护构成方框图

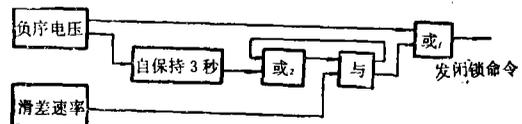


图4 短路及振荡闭锁元件构成方框图

在有功转子判据动作，并采取相应措施之后，如可恢复励磁，则发电机不会失去同步，继续稳定运行。或者经一段时间减输出有功功率后，系统电压及滑差均在所允许范围内，则发电机进入稳态异步运行，运行值班人员可在这段时间内，采取转移负荷等措施，从而保证系统和发电机的安全运行。

当进入异步运行时，如果原动机的输入功率没有及时减到一定限值时，滑差较大，

当其达到发电机所允许的极限滑差值时，滑差元件立即动作，与有功转子判据构成与门出口切除发电机；又如果在异步运行中，失磁发电机从系统中吸取的无功功率较大，引起系统电压下降较大，影响到系统运行的稳定性时，系统低压元件经0.25秒时间动作，与有功转子判据构成与门出口切除发电机。时间0.25秒的作用是：当发电机部分失磁失步时，由于有功功率波动较大，将引起系统电压（即发电机相联系的主变压器高压侧电压）波动的振幅大，出现系统电压波动到低谷附近时，系统低压元件满足，显然这种状态并不表示系统电压已抵达崩溃电压（危及系统稳定的临界电压），故不应该跳闸。为避免这种误动作，加装短时间延时元件，并取时间为0.25秒。经试验证明是行之有效的。

为使有功转子判据在异步运行中动作可靠采用了如图3所示的自保持电路，即当发电机失磁后进入异步运行时，滑差变化较大，相应的滑差速率也变化较大，就可利用滑差速率与已动作的有功转子判据构成与门，起自保持作用，使得保护动作可靠。

短路及振荡闭锁元件采用了负序电压加功率速率共同构成的闭锁元件，构成方框图见图4。当发电机失磁、系统正常运行时，没有负序电压，或 1 门没有输出，不闭锁失磁保护，当系统中发生各种不对称短路时，均有持续性负序电压出现，或 1 门有输出，闭锁0.1秒时间元件。当短路被切除后，闭锁解除。如果系统发生由三相短路，不对称短路引起的振荡及正常操作等引起振荡时，均有瞬间负序电压出现，故负序电压元件满足且自保持3秒钟。如在这段时间内，由于系统振荡引起功角 δ 拉开，这时有功功率将波动较大，滑差速率元件动作，满足与门条件，经或 1 门输出闭锁信号；另一方面考虑到负序电压可能很快消失，而振荡时间有可能很长，故经或 2 门自保持，直到振荡结束，系统与发电机恢复同步运行时，功率速率为零后，整个电路才返回，复归到正常运行状态。所以，该短路及振荡闭锁元件可以可靠防止上述各种状况下有功转子判据的误动作。

四 动模试验及结果

为检验该失磁保护的工作性能，1988年5月在阿城继电器厂进行了动模试验，即在不同的运行工况下，人为地失去励磁或造成各种短路及振荡，观察有关电量的变化规律及失磁保护的动作情况。

动模试验的原型电网是模拟一台10万kW的大型汽轮发电机变压器组经200km长度的220kV输电线路与无穷大电力系统相联，电气主接线见图5。

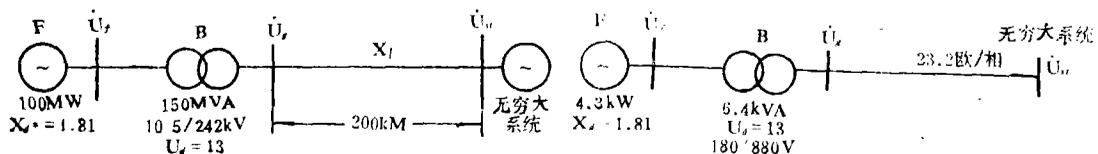


图5 原型电网接线图

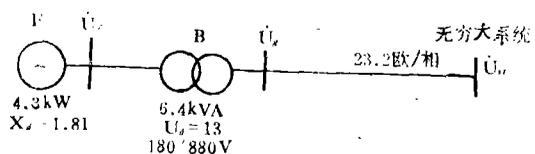


图6 模型电网接线图

根据图5所给参数进行建模计算，得到的模型电网如图6所示，采用SC—14/10型

示波器自动拍摄发电机失磁及其他运行工况下的有功功率P、无功功率Q、机端电压 U_1 、定子电流 I_1 、主变高压侧电压 U_2 、励磁电压 U_L 随时间的变化曲线,还自动拍摄失磁保护的各部分电路的动作情况。

对失磁保护的各部分电路整定请参考文献^[9],表1示出了各种失磁状况下失磁保护的各部分电路的动作情况,表2示出了各种短路及振荡状况下失磁保护的各部分电路的动作情况。

可以看出,新型失磁保护具有下列特点:

1. 无论是发电机全失磁还是部分失磁,有功转子判据都迅速动作,达到了快速检测失磁的要求。采用滑差速率与有功转子判据构成自保持,保证了保护的各部分电路动作的可靠性。

表1 各种失磁状况下失磁保护动作情况

失磁种类	有功转子判据		滑差判据	系统低压判据
	0.1秒电路	0.8秒电路		
50%负荷运行全失磁	动作	动作	动作	动作
50%负荷运行50%部分失磁	动作	动作	动作	动作
满负荷运行50%部分失磁	动作	动作	动作	动作
满负荷运行全失磁	动作	动作	动作	动作
BC两相短路切除重合后引起振荡加全失磁	动作	动作	动作	动作
满负荷运行50%部分失磁(没有自保持)	动作 又返回	动作 又返回	动作	动作

表2 各种短路及振荡状况下失磁保护动作状况

短路及振荡种类	有功转子判据		滑差判据	负序电压加滑差速率闭锁判据	
	0.1秒电路	0.8秒电路			
主变高压侧	A相接地	不动	动作	动作	
	C相接地	动作	动作	动作	
	AB两相短路	不动	不动	动作	动作
	BC两相短路	瞬动	不动	动作	动作
	ABC三相短路	不动	不动	动作	不动
	AB两相短路后振荡	不动	不动	动作	动作
	BC两相短路后振荡	动作	不动	动作	动作
发电机端	AB两相短路	不动	不动	动作	动作
	BC两相短路	不动	不动	动作	动作
	CA两相短路	不动	不动	动作	动作
	ABC三相短路	不动	不动	动作	动作

2. 滑差元件在各种失磁后,滑差值达到整定值时,都可靠动作,表明动作灵敏度高,故可作为发电机失磁后是否异步运行的判据。

隔离开关投切空载旁路母线干扰高频保护的实例分析与对策

四川乐山供电局 袁翔亮 刘北营

摘要: 本文介绍了某变电站用隔离开关投切220kV旁路母线烧毁高频保护装置元件的实例,并进行了理论分析及现场试验,在运行状况下成功地录取了二次干扰电压的暂态波形,提出了行之有效的抗干扰措施。

关键词 抗干扰 地电位 接地 过电压

一 引 言

220kV及以上系统用隔离开关投切旁路母线造成对二次系统的干扰而发生的事故,国内外均有所报道。随着电压等级的提高,母线结构的改进,一次参数相应改变,以及

3. 在各种不对称短路及振荡时,振荡闭锁元件均动作可靠,防止了有功转子判据的误动作,表明设计合理。

五 结 论

该失磁保护在进行了动模试验后,又在哈尔滨第三发电厂和刘家峡水电站进行了现场试运行,并于1990年4月份通过了专家鉴定,其结论是:该保护装置采用有功转子判据的突出优点是动作快、灵敏度高、有预测失磁失步的功能,在发生能导致失步的失磁初始,就立即动作,提早发出减有功指令,有利于降压滑差,提高减有功的效果。该装置除采用失磁后系统低电压跳闸判据外,还采用滑差跳闸判据,设计更为合理。该保护经过动模、现场试验和现场运行的考验,证明其性能优良,达到国内领先水平,可以在大型发电机组中推广使用。

参 考 文 献

- [1] 王维俭、侯炳蕴.《大型机组继电保护理论基础》.水利电力出版社.1982.
- [2] 汪象侃.新型集成电路式的发电机失磁保护的研制.合肥工业大学研究生学位论文.1988.6月.
- [3] BS B—2型低励磁失步保护装置使用说明书.阿城继电器厂,