

中小型发电机失磁保护研究

梅成林,尹项根,张侃君

(华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 目前,中小型发电机失磁保护方案存在 2 类典型的缺陷,一种是保护方案的判据过于简单,造成保护容易不正确动作;另一种是保护方案的判据不合理,保护方案不灵活,不能专门针对中小型发电机失磁保护的特点。提出了一种综合微机型失磁保护方案,该方案以现有失磁保护判据为基础,其相关保护判据可以很灵活地投入和退出,保护方案能够对不同发电机因失磁故障可能出现的不同情况灵活地调整出口方式,适合于 100 MW 及其以下各种容量的汽轮发电机和水轮发电机。经动态模拟试验以及现场运行情况表明,该方案提高了保护装置的可靠性。

关键词: 中小型发电机; 微机保护; 失磁保护

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)11-0039-04

发电机励磁系统比较复杂,发生故障的频率相对较高。发电机失磁故障对系统和发电机本身都具有很大的危害。因此,发电机有必要设置失磁保护。目前,国内很多中小型发电机组的失磁保护方案并不完善,本文在对这些失磁保护方案的缺陷进行分析的基础上,提出了一种综合的中小型发电机失磁保护方案。

1 发电机失磁保护判据

发电机失磁后,转子出现转差,在转子回路中出现差频电流,定子电流增大,定子电压下降,有功功率下降,无功功率反向并增大(指非进相运行时),在一定条件下,发电机失磁故障将破坏电力系统的稳定性^[1-2]。现有的发电机失磁保护判据就是根据这些电气量变化而设立的,现对其进行简要说明。

1.1 定子侧阻抗判据

定子阻抗判据有静稳边界阻抗判据和异步边界阻抗判据 2 种。静稳边界阻抗判据是根据发电机失去静稳时机端阻抗的变化轨迹而设立的,异步边界阻抗判据是根据发电机失磁后转入稳定异步运行时机端阻抗的变化轨迹而设立的,动作时间比较晚^[1]。静稳边界阻抗判据和异步边界阻抗判据动作区域都为圆,如图 1 所示。

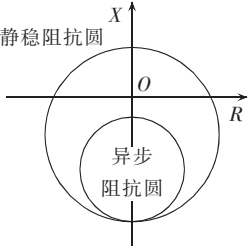


图 1 阻抗判据动作特性图
Fig.1 Action characteristics of impedance criterion

1.2 转子低电压判据

转子低电压判据也是根据发电机的静稳边界而

设计的,包括等励磁电压判据和变励磁电压判据。等励磁电压判据动作电压值为定值,一般为额定空载励磁电压的 80%。变励磁电压判据的动作电压值随发电机输出的有功功率变化而改变^[2]。

1.3 三相同步低压判据与过功率判据

三相同步低压判据分为主变高压侧三相低压判据和机端三相低压判据。主变高压侧三相低压判据防止发电机失磁故障造成高压母线电压的严重下降,导致系统稳定性破坏,动作电压取为母线额定电压的 80%~85%。机端三相防止发电机失磁故障造成电厂辅机不能正常工作,动作电压一般取为发电机额定电压的 80%。

过功率判据监视发电机输出的有功功率,若有功功率大于一定值,则降低发电机输出的有功功率。减小水轮发电机输出的有功功率可防止水轮发电机因失磁故障而失步,减小汽轮发电机输出的有功功率则有可能将异步运行的汽轮发电机拉入同步。

2 失磁保护方案存在问题及分析

不同的失磁保护方案有不同的缺陷,现对其中的几个主要缺陷进行分析。

a. 随着系统容量的不断增大和网络架构的不断增强,系统的无功备用容量的增加,中小型发电机的容量较小,因失磁故障导致系统电压崩溃的可能性比较小,对于中小型发电机失磁保护方案采用主变高压侧低电压判据作为保护的主判据拒动的可能性越来越大^[3]。

b. 机端定子阻抗判据是通过发电机机端感受阻抗判断发电机的失磁故障。由于静稳圆存在一、二象限的动作区,在进相运行较深时容易误动;水轮机组因凸极功率的存在而使异步运行时机组振动较大,不能在异步状态下运行,不宜选用异步边界阻抗判据;另外,系统容量比较小,发电机与系统联系薄弱,

发电机发生失磁后,机端阻抗曲线进入异步圆的时间较晚,其他后备保护可能会先期误动作,从而造成保护的混乱^[4]。

c. 对于水轮发电机,失磁后减小发电机输出的有功功率有可能防止水轮发电机失步^[5];而对于汽轮发电机,允许异步运行一段时间,在失磁异步运行期间,通过采取一定的措施有可能将异步运行的汽轮发电机拉入同步。而国内有些中小型发电机组根本就不投入失磁保护后的过功率判据,造成发电机没必要的停机。

d. 转子低电压判据以励磁电压为动作量。励磁电压变化的幅度较大,在系统振荡、短路故障的过程中,励磁电压的交流分量与直流分量的迭加而使励磁电压值很低,发电机在进相运行时励磁电压也很低,而且对于无刷励磁发电机转子电压不直接引出,因此对于转子低电压判据作为发电机失磁保护的主判据就会存在种种问题。而有些将转子低电压判据作为辅助判据的发电机失磁保护,采用的是等励磁电压判据,该判据可保证发电机在空载及轻载运行情况下失磁时保护能可靠动作,但在重负荷时可能拒动,在轻负荷下进相运行时可能误动^[6]。

图 2 为一种典型的发电机失磁保护方案的逻辑框图。这种保护方案虽然达到了简化的目的,但存在着不合理之处,如系统低电压判据容易导致发电机失磁保护的误动,不采用过功率判据则会造成发电机没必要的停机,对于外部短路和系统振荡等非低励失磁工况下失磁保护容易误动等。

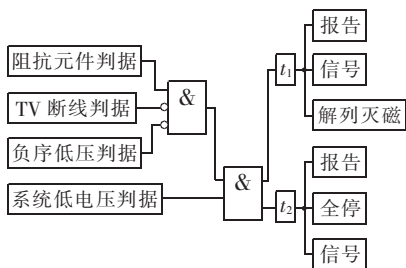


图 2 典型简化的中小型发电机失磁保护逻辑框图

Fig.2 Typically simplified logic block diagram of excitation-loss protection for medium and small generators

另一种目前典型的中小型发电机失磁保护方案逻辑框图如图 3 所示,这种失磁保护方案配置较合理,但也存在一些问题,例如,有些水轮发电机选择异步阻抗判据,将造成水轮发电机异步运行;转子低电压判据采用等励磁电压判据,将造成发电机失磁保护容易误动;外部短路、系统振荡以及发电机进相运行等非低励失磁工况下,机端测量阻抗有可能进入定子阻抗判据的动作区域而使失磁保护误动等。

3 微机失磁保护新方案

在对现有中小型发电机失磁保护方案不足之处进行分析的基础上,本文提出了一种中小型发电机

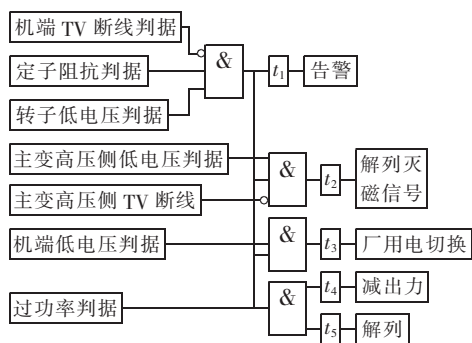


图 3 典型中小型发电机失磁保护逻辑框图

Fig.3 Typical logic block diagram of excitation-loss protection for medium and small generators

失磁保护方案,在对此保护方案进行介绍之前,首先对方案中的失磁保护判据进行说明。

3.1 定子侧阻抗判据

定子侧阻抗判据可根据不同情况选择静稳边界阻抗判据还是异步边界阻抗判据。如果选择静稳边界阻抗判据,可附加直线阻抗判据,直线阻抗判据可防止发电机进相运行或外部短路时误动作^[7]。图 4 为定子侧阻抗判据动作特性图,其中,静稳边界阻抗判据与直线阻抗判据组成的定子阻抗判据动作区为静稳圆内直线 1 和直线 2 下面的扇形区域,直线 1 与直线 2 与横轴的夹角为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

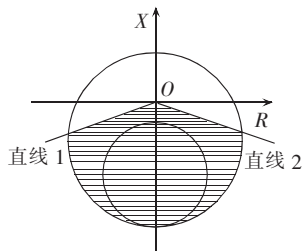


图 4 定子侧阻抗判据

Fig.4 Impedance criterion at stator side

定子阻抗判据的逻辑框图如图 5 所示。通过阻抗判据选择控制字选择静稳边界阻抗判据或异步边界阻抗判据,然后与直线阻抗判据进行逻辑与组成定子侧阻抗判据。

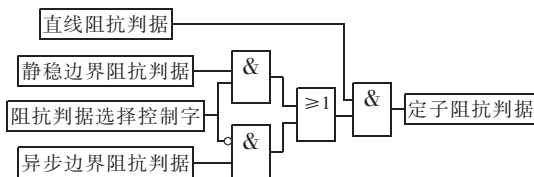


图 5 定子阻抗判据逻辑框图

Fig.5 Logic block diagram of impedance criterion at stator side

3.2 转子低电压判据

变励磁电压判据根据发电机输出有功功率的变化而改变动作电压的大小,能够克服等励磁电压判据误动的问题。变励磁电压动作判据为

$$U_i < K(P - P_i) \quad (1)$$

式中 U_i 为发电机励磁电压; P 为发电机有功功率; P_i 为发电机凸极功率; K 为变励磁电压判据系数。

为使 $P < P_i$ 等轻载或空载情况下保护能可靠动作,附加等励磁电压判据^[8]。图 6 为转子低电压判据动作特性图。

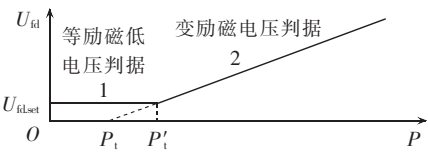


图 6 转子电压判据动作特性图

Fig.6 Action characteristics of rotor voltage criterion

3.3 负序电流闭锁判据

当外部发生不对称短路时,机端阻抗曲线有可能进入定子侧阻抗判据的动作区域,而且短路时,故障电流中的直流分量可在转子中感应出交流励磁电压,可能使转子低电压保护误动^[9]。

外部发生不对称故障时,机端电流会产生较大的负序分量,而失磁故障时,产生的负序分量较小,设置负序电流闭锁判据可防止外部发生不对称故障时失磁保护误动作^[10]。

负序电流闭锁判据为

$$I_2 > I_{2set} \tag{2}$$

式中 I_2 为负序电流; I_{2set} 为负序电流整定值。

3.4 基于中小型发电机失磁保护方案

依据以上改进后的失磁保护判据,本文提出一种中小型发电机失磁保护方案,其逻辑框图见图 7。

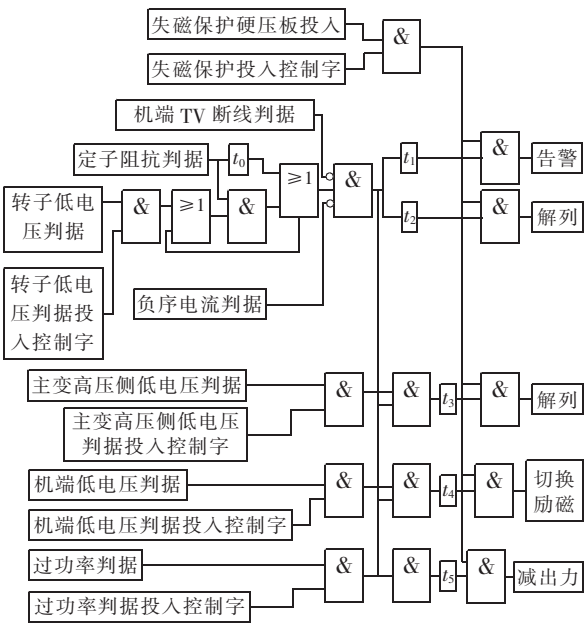


图 7 失磁保护综合判据逻辑框图

Fig.7 Logic block diagram of synthetical excitation-loss protection criterion

图中,当定子侧阻抗判据满足且延时 t_0 后或转子低电压判据和定子阻抗判据均满足时,表明发电机已失磁,经延时 t_1 发出报警信号,或经延时 t_2 后故障仍未切除,则机组解列($t_2 > t_1$);当发电机失磁且系统电压降低到不容许地步时,延时 t_3 后解列;当发电机失磁且机端低压判据均满足时,经过延时 t_4 切换励磁;当发电机失磁且过功率判据满足时,表明发电机平均异步功率较大,经过延时 t_5 后发减出力命令。

图 7 所示的保护方案具有 5 个特点。

a. 定子阻抗判据作为发电机失磁保护的主判据,可通过选择控制字来选择异步边界阻抗判据还是静稳边界阻抗判据,附加直线阻抗判据可防止进相运行或外部短路时保护的误动。

b. 转子侧判据设置记忆功能,当发电机定子侧阻抗判据动作后,如果转子侧判据满足,则将此状况记忆下来,只有在发电机定子侧阻抗判据返回或失磁保护可靠动作后,记忆才撤除。此记忆功能可防止发电机失磁故障的同时系统振荡,导致转子侧低电压判据连续的返回,造成保护拒动;与定子侧阻抗判据相配合,此记忆功能还可防止系统振荡而发电机未发生失磁故障时保护误动。

c. 设置负序电流闭锁判据,可防止外部短路而造成发电机失磁保护误动。

d. 保护配合合理,能够以不同的延时出口不同的信号。

e. 主变高压侧低压判据、机端低压判据、过功率判据能够根据不同的情况投入或者退出。

图 7 中所示的失磁保护方案对于传统的继电器很难做到,但对于微机型继电保护装置,只需输入机端电压、机端电流、主变高压侧电压和转子电压即可实现本文中的失磁保护方案,而且通过软件控制字对不同类型的发电机投入或退出不同的保护判据,能满足不同类型的中小型发电机失磁保护的要求。

4 动模试验记录

本文方案已经应用在实际的发电机保护装置中,并在华中科技大学动模实验室通过动模试验。

图 8 为动模试验接线图,发电机原型为葛洲坝二江电厂机组。

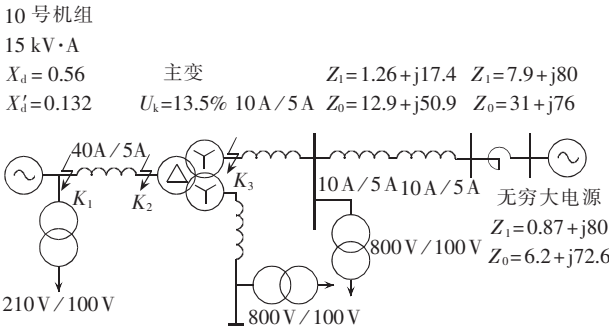


图 8 动模试验接线图

Fig.8 Wiring diagram of dynamic simulation experiment

试验结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 失磁故障情况下装置动作情况

Tab.1 Action states under excitation-loss condition

失磁故障	动作情况	失磁故障	动作情况
满载全失磁	正确动作	轻载全失磁	正确动作
满载部分失磁	正确动作	轻载部分失磁	正确动作

表 2 非失磁工况下装置动作情况
Tab.2 Action states under non
-excitation-loss condition

故障点	故障类型	动作情况
发电 机端	三相短路	未误动
	两相短路	未误动
主变高压侧	单相接地	未误动
	两相短路(机组发生振荡)	未误动
	两相短路(机组未发生振荡)	未误动
	三相短路(机组发生振荡)	未误动
	三相短路(机组未发生振荡)	未误动

5 结论

本文在分析现有的中小型发电机失磁保护方案的基础上,提出了一种较为合理的中小型发电机失磁保护方案。采用本文失磁保护方案的发电机保护装置已经通过动模试验并投入现场使用,动模试验以及运行情况表明,该保护方案提高了可靠性,能够满足不同类型不同场合的中小型发电机失磁的需要。

参考文献:

[1] 姚晴林. 同步发电机失磁及其保护[M]. 北京:机械工业出版社, 1981.

[2] 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,2002.

[3] 殷建刚,彭丰. 发电机失磁保护中系统低电压判据的探讨[J]. 电力自动化设备,2003,23(12):28-31.

YIN Jian-gang,PENG Feng. Discuss on low voltage criterion in field-loss protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003,23(12):28-31.

[4] 张旭东. 不同原理的发电机失磁保护误动分析与改进[J]. 电力系统自动化,2001,25(6):63-65.

ZHANG Xu-dong. Analysis of misoperation of protection for loss of excitation and its improvement[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(6):63-65.

[5] 周茜,苏鹏声,王祥珩. 水轮发电机失磁的动态过程分析[J]. 电力自动化设备,2002,22(6):9-11.

ZHOU Qian,SU Peng - sheng,WANG Xiang - heng. Analysis of dynamic processes for hydro generator under low excitation and field loss[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(6): 9-11.

[6] 郁涵. 发电机失磁保护中转子低电压二判据的比较 [J]. 继电器, 2003,31(9):63-66.

YU Han. Comparison of the two criteria of rotor low voltage in the generator loss - of - field protection[J]. Relay,2003,31(9): 63-66.

[7] 赵民,叶绍仪. 失磁保护在发电机出现逆功率时的动作分析[J]. 继电器,2003,31(11):30-35.

ZHAO Min,YE Shao - yi. Operation analysis of field-loss protec- tion when reverse-power starts in the generator[J]. Relay,2003, 31(11):30-35.

[8] 柳焕章. 发电机失磁保护的原理及整定计算[J]. 电力系统自动 化,2004,28(14):72-75.

LIU Huan-zhang. Principle of generator loss of excitation protection and its setting calculation[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(14):72-75.

[9] 薛伊琴. 发电机失磁保护原理的比较和分析[J]. 继电器,2005, 33(20):33-35.

XUE Yi - qin. Comparison and analysis of theory of generator loss of field protections[J]. Relay,2005,33(20):33-35.

[10] 魏燕,高有权. 发电机失磁保护及其出口方式研究[J]. 继电 器,2003,31(2):54-56.

WEI Yan,GAO You - quan. Research on loss of excitation protection and its trip way[J]. Relay,2003,31(2):54-56.

[11] 王维俭,桂林,王祥珩. 主设备保护若干问题的商榷[J]. 电力 系统自动化,2001,25(23):58-61.

WANG Wei - jian,GUI Lin,WANG Xiang - heng. Discussion on some problems existing in the main equipment protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(23):58-61.

[12] 王栋一,刘建飞,肖仕武. 微机发电机失磁保护新方案的研究 [J]. 电力设备,2005,6(4):35-37.

WANG Dong - yi,LIU Jian - fei,XIAO Shi - wu. Study on new scheme of microcomputer - based field loss protection for generator[J]. Electrical Equipment,2005,6(4):35-37.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

梅成林(1981-),男,湖北麻城人,硕士研究生,从事中小型发电机微机保护装置的研究(E - mail:clmeihappy@sohu.com);

尹项根(1954-),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,从事电力系统继电保护、变电站自动化及电力系统控制的研究与教学工作;

张侃君(1977-),男,湖北孝感人,博士研究生,主要从事电力系统继电保护装置的研究工作。

Research of excitation - loss protection for medium and small generators

MEI Cheng - lin,YIN Xiang - gen,ZHANG Kan - jun

(Huazhong University of Science and Technology,Wuhan 430074,China)

Abstract: There are two typical defects in the excitation - loss protection for medium and small generators;the criterion is so simple that the protection will not act correctly;the scheme is not specially for the excitation - loss protection of medium and small generators with its criteria unreasonable and inflexible. A synthetical microprocessor-based excitation - loss protec- tion scheme is presented. Its protection criteria,which are based on the existing criteria,can be flexibly enabled and disabled,and its output modes can be adjusted according to different conditions of excitation - loss faults. The scheme is suitable for 100 MW generators and below. The dynamic simulation and site operation show that the scheme improves protection reliability.

Key words: medium and small generators; microprocessor-based protection; excitation-loss protection