

发电机励磁误强励原因探讨

龙俊平

(浙江建德新安江水电厂,浙江 建德 311608)

摘要: 结合新安江水力发电厂采用的 SAVR2000、HWLT型微机励磁系统探讨引起误强励的原因,并提出电流突变量闭锁双 PT断线、电子磁盘多重化等方法避免误强励,通过合理设计发电机励磁回路、正确选用调节电阻、利用励磁变过流等方法有效消除误强励的危害,保证发电机安全可靠运行。

关键词: 励磁系统; 电子磁盘; PT(电压互感器)

中图分类号: TM761 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2006)19-0071-04

0 引言

机端电压降低时发电机励磁正确动作强励将有益于系统稳定,改善、提高发电机的暂态稳定性,改善电力系统运行条件,提高继电保护装置工作的正确性。实际运行的发电机存在许多可能引起发电机的误强励的因素,这将严重危害发电机安全运行。

新安江水电厂5号机正常运行时,因为一套微机通道的电子磁盘损坏,导致可控硅的导通角完全打开,引起发电机误强励;8号机励磁系统因为IGBT的脉冲触发板损坏引起发电机误强励;7号机励磁系统因为IGBT功率管击穿引起发电机误强励。文章针对这些情况,结合SAVR2000、HWLT型微机励磁系统探讨引起误强励的原因,并给出解决方法。

1 微型励磁调节器电子磁盘损坏

HWLT型微机励磁调节器是由双微机通道和独立的模拟通道(A/FCR)构成,每个微机通道的调节参数均保存在一块电子磁盘中,励磁调节过程其实也是CPU不断地从电子磁盘读取参数的过程。一旦发生电子磁盘参数丢失或者电子磁盘损坏都将引起励磁调节器失控,严重危害发电机安全运行。

解决方法:

实现每个微机通道电子磁盘多重化,在励磁调节器调节过程中不断地比较多个电子磁盘的调节参数,已保证参数的正确性。

2 双PT断线故障

SAVR2000型微机励磁电压回路接线如图1所示:

以下简要阐述SAVR2000型微机励磁调节器的

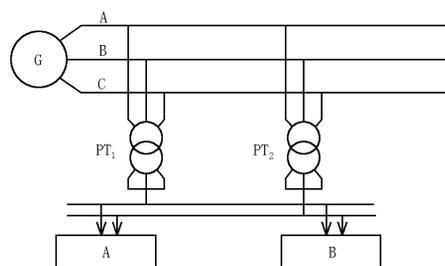


图1 SAVR2000型微机励磁电压回路接线示意图

Fig 1 SAVR2000 microcomputer excitation voltage circuit

工作原理、装置是如何判断PT断线和相应的处理方法。

SAVR2000型微机励磁调节器是由两套微机通道互为备用运行,当一套微机通道发生故障将自动切换为另外一套微机通道运行,每一套微机调节通道都有2种运行工况:a 发电机机端电压调节(以发电机机端电压为判据调节简称AVR);b 发电机转子电流调节(以发电机转子电流为判据调节简称FCR)。正常运行方式下调节器均处于AVR调节工况,电压PT₁、PT₂系统电压同时采样进入两套微机装置,A套微机装置采样的PT₁电压是用来AVR调节,采样的PT₂电压仅仅是用来判断PT₁电压是否发生断线故障,而不用来AVR调节,B套微机通道采样的PT₂电压是用来AVR调节,采样的PT₁电压仅仅是用来判断PT₂是否发生断线故障,而不用来AVR调节。装置正常运行时,两套微机通道均处于AVR调节工况,每套微机通道采样的PT₁、PT₂经过模拟量板的隔离整流,然后把PT₁、PT₂的整流值进行比较。当PT₁或PT₂发生一相或二相(三相)断线整流值将明显降低,装置会比较PT₁、PT₂整流值,然后判断出哪组PT断线,将对应PT断线的微机通道切换为转子电流调节工况而自动转为备用通道

(输出跟踪主用通道但被闭锁),没有发生断线的 PT 对应的微机通道自动切换为主用通道运行在 AVR 工况。这样发生 PT 断线的微机通道由于输出被闭锁将不会引起误强励。

但是我们仔细分析一下处理 PT 断线的方法,就能得出其中的不足之处。假设发电机正常运行在 A 套微机通道的 AVR 调节工况, B 套微机通道备用在 AVR 调节工况, PT_1 电压回路发生断线故障, A 套微机通道根据 PT_1 、 PT_2 的整流值进行比较,发出 PT 断线报警信号,由于 PT_1 发生断线, A 套微机通道将自动由 AVR 工况转成 FCR 工况,同时 A 套微机通道自动转为备用, B 套微机通道切换为主用仍工作在 AVR 调节工况,此时 PT_2 用于 B 套微机通道作为电压调节的判据。由于 PT_1 已经发生断线故障,若此时 PT_2 再发生断线故障而使 PT_2 的整流值降低,此时 PT_1 、 PT_2 的整流值均降低,将引起励磁装置判断是因为系统短路故障而引起的电压下降,调节器将增大励磁输出造成误强励。同理当 PT_1 、 PT_2 同时发生断线故障也将引起励磁装置误强励,严重危害发电机安全运行。

解决方法:

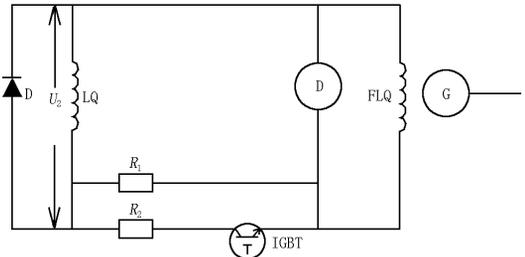
方案一: A 微机通道将调节用的 PT_1 整流值同时和采样的 PT_2 整流值和采样的系统电压的整流值进行比较。当 PT_1 、 PT_2 同时断线、系统电压正常则可以将 2 套微机通道切换为电流调节工况这样将不会引起误强励。但是该方法增加了运算的复杂性,当 PT_1 、 PT_2 、系统电压同时发生断线时还是可能发生误强励。只是概率小于 PT_1 、 PT_2 同时发生断线的概率。

方案二:由于双 PT 的断线和系统发生短路故障都将引起双 PT 的整流值严重下降,但是系统发生短路故障将有很大的短路电流和电流突变量的情况发生,双 PT 断线可以用过电流或电流突变量闭锁的方法防止误强励。

3 IGBT 功率管脉冲触发板损坏或 IGBT 击穿

开关式 IGBT 功率管作为第三代电力电子器件在发电机励磁控制领域得到广泛的应用。用 IGBT 来控制励磁的主要优点是控制简单,当利用可控硅来控制励磁时需要控制六个桥臂上的可控硅。为此需要六套同步、移相、脉冲形成及脉冲功放电路,而利用 IGBT 来控制励磁时只用控制一只 IGBT 就可以了,从而使控制电路大为简化。发电机正常运行

时, IGBT 的导通与关闭来控制发电机的励磁电流。下面结合新安江水电厂 SAVR2000 型微机励磁,讨论开关式励磁系统的工作原理及如何选用合适的调节电阻保护发电机安全运行。新安江水电厂 SAVR2000 型励磁回路简化电路如图 2 所示:



LQ:励磁绕组 D:续流二极管 FLQ:发电机转子绕组

图 2 励磁回路简化电路

Fig 2 Simplified circuit of SAVR2000 excitation loop

IGBT 功率管可视为一个电子开关 K, K 闭合时,电源电压加于励磁绕组上;而当 K 断开时,励磁绕组通过快速二极管续流,其二端电压为 0。由此可见,若加大开关 K 的闭合时间 t_{ON} ,缩短 K 的断开时间 t_{OFF} ,励磁绕组上的电压 U_2 将上升即发电机励磁电流增大,发电机电压上升;反之,缩短开关 K 闭合时间 t_{ON} ,加大开关 K 断开时间 t_{OFF} , U_2 将下降即发电机的电压亦将降低。当 IGBT 导通占空比 ($D = t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF})$) 越大,则励磁绕组上的电压 U_2 越大,因此可以通过调节 IGBT 导通占空比来调节发电机电压。

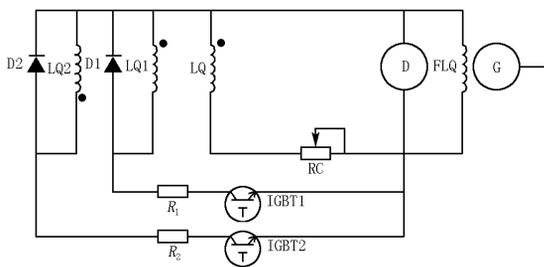
因为 IGBT 元件的不可靠和 IGBT 脉冲触发板损坏都会引起 IGBT 击穿即 IGBT 导通占空比 $D = 100\%$,相当于电子开关 K 始终闭合,造成发电机误强励。

解决方法:

方案一: 选用可靠的 IGBT 元件和 IGBT 脉冲触发板。在实际选用调节电阻 R_2 时, R_2 的容量不宜选取过大, R_2 的容量应保证发电机强励流过 R_2 的电流但应该小于 IGBT 功率管全开(占空比为 100%)时,流过 R_2 的电流。如果 R_2 选择适当的容量, R_2 会在误强励产生大电流情况下烧断,引起发电机失磁保护动作,让发电机不造成太大损害。

方案二:我厂 7、8 号机励磁机有正、反辅助绕组(即增磁、减磁绕组),对励磁机主回路做以下改造,如图 3 所示。用两组 IGBT 功率管分别控制正、反组的励磁电流。

发电机可以通过调节磁场变阻器 RC 电阻的大小或增、减磁绕组 LQ1、LQ2 的电流来调节发电机转



LQ:励磁主绕组 RC:磁场变阻器

LQ1:励磁增磁绕组 LQ2:励磁减磁绕组

图 3 改造后励磁回路简化电路

Fig 3 Simplified circuit of excitation loop after transforming

子 (FLQ) 电流。当发生 IGBT1 击穿时,励磁增磁绕组 LQ1 电流增大引起励磁机输出电压升高,造成发电机转子电流增大,调节器根据 PD 的输出会将减磁绕组的 IGBT2 的占空比放大或者增大磁场变阻器 RC 的电阻使发电机转子电流减小,有效地消除了误强励对发电机造成的危害。

4 自并激励磁的可控硅失控

发电机正常运行时若发生触发脉冲板损坏或调节器调节参数丢失,可控硅导通角完全打开,也将严重损坏发电机。以下结合新安江水电厂 HWLT 型调节器通过利用励磁变过流的方法有效消除误强励的危害。HWLT 型微机励磁调节器的主系统接线图如图 4 所示。

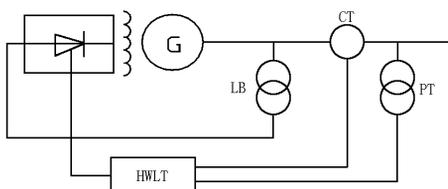


图 4 HWLT 自并激励磁主系统接线图

Fig 4 Main connection of HWLT self-excitation system

在 LB (励磁变) 的高压侧装设 CT, CT 变比为 200/5。LB (励磁变) 过流整定的高定值用来保护励磁变,低定值用来保护励磁装置。

5 号机励磁变参数如表 1 所示。

表 1 5 号机励磁变参数

Tab 1 The parameters of 5# generator excitation transformer

项目	额定容量 /kVA	电压变比 /kV	电流比 /A	接线方式	短路阻抗 / (%)
5 号机励磁变	1 000	13.8/0.49	41.8/1225	D/Y11	6.08

励磁变过流保护整定方案: 1、保护励磁变; 2、延

伸保护到励磁装置。

1) 高值: 按励磁变低压侧二相短路有 1.2 倍灵敏度整定

短路容量: 6.08% , $X_d = 0.0608$

基准容量: $S_j = 100 \text{ MVA}$

$$X_j = X_{dx} = X_d \cdot \frac{S_j}{S_c} =$$

$$0.0608 \times \frac{100}{1} = 6.08$$

$$I_k^{(3)} = \frac{1}{6.08} = 0.164$$

$$I_k^{(3)} = I_k^{(3)} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 13.8} = 0.164 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 13.8} =$$

$$0.686 \text{ kA} = 686 \text{ A}$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} = 594 \text{ A}$$

$$I_{op} = \frac{I_k^{(2)}}{K_{rel}} \cdot \frac{N_a}{n_a} = \frac{594}{1.2 \times 200/5} = 12.38 \text{ A} \quad 12.4 \text{ A}$$

其中: K_{rel} 为可靠系数, 取 1.2; n_a 为励磁变流变比; 定值取 12.4 A; 动作时限 0.1 s, 跳发电机开关、停机、灭磁。

2) 低值

根据发电机励磁装置反时限电流曲线特性和转子绕组反时限过电流保护特性, 分别在大于强励电流、1.6 倍励磁额定电流和 1.2 倍励磁额定电流处设置励磁回路过电流和过负荷保护, 以实现多点阶梯保护。用于大功率整流装置及整流变的过电流保护, 根据《水电站机电设计手册》电气二次部分设计要求整定。(水力水电出版社 1984 年 12 月) 励磁额定电流 (实测值) 取 1200 A。

A. 低定值 1:

强励时直流电流: $2 \times 1200 \text{ A} = 2400 \text{ A}$

折算到交流侧 $I = 2400 \times 0.816 = 1958 \text{ A}$

折算到 13.8 kV 侧电流

$$I = 1958 \times \frac{0.49}{13.8} = 69.5 \text{ A}$$

$$I_{op} = \frac{K_{rel} I}{N_a}$$

其中: K_{rel} 为可靠系数 1.1 ~ 1.2; N_a 为 CT 变比 200/5;

$$I_{op} = \frac{K_{rel} I}{N_a} = \frac{1.2 \times 69.5}{200/5} = 2.09 \text{ A} \quad 2.1 \text{ A}$$

定值取 2.1 A, 时间 10 s, 跳发电机开关、停机、灭磁。

B. 低定值 2: 在 1.6 倍额定励磁电流下动作

1.6倍额定励磁电流: $1.6 \times 1 200 \text{ A} = 1 920 \text{ A}$
 折算到交流侧 $I = 1 920 \times 0.816 = 1 566 \text{ A}$
 折算到 13.8 kV 侧电流

$$I = 1 566 \times \frac{0.49}{13.8} = 55.6 \text{ A}$$

$$I_{\text{op}} = \frac{55.6}{200/5} = 1.39 \text{ A} \quad 1.4 \text{ A}$$

定值取 1.4 A, 时间大于 1.6倍励磁额定电流反时限值取 25 s, 跳发电机开关、停机、灭磁。

C 低定值 3: 在 1.2倍额定励磁电流下动作

1.2倍额定励磁电流: $1.2 \times 1 200 \text{ A} = 1 440 \text{ A}$
 折算到交流侧 $I = 1 440 \times 0.816 = 1 175 \text{ A}$
 折算到 13.8 kV 侧电流

$$I = 1 175 \times \frac{0.49}{13.8} = 41.7 \text{ A}$$

$$I_{\text{op}} = \frac{41.7}{200/5} = 1.04 \text{ A} \quad 1 \text{ A}$$

定值取 1 A; 时间大于 1.2倍励磁额定电流反时限值取 35 s, 动作于信号; 多点阶梯过流保护通过时间和励磁装置整定的转子电流反时限曲线配合, 达到防止可控硅失控引起的误强励。

5 结束语

发电机励磁强励对电力系统稳定性起着重要作

用, 各种励磁系统都存在可能引起误强励的因素, 本文仅从电子磁盘损坏、双 PT断线、IGBT脉冲触发板损坏、自并激可控硅失控四个方面探讨误强励的原因, 实际励磁系统还存在多种可能引起误强励的因素, 有必要对这些问题进行深入的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 楼永仁, 黄声先, 等. 水电站自动化 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
LOU Yong-ren, HUANG Sheng-xian, et al Automation of Hydropower Station [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.
- [2] SAVR2000发电机励磁调节器技术说明书 (V2.0) [Z]. 国电自动化研究院南瑞电气控制公司, 2003.
Engineering Instructions of SAVR2000 Excitation Regulator (V2.0) [Z]. Nanjing Electric Automation Co., Ltd, 2003.

收稿日期: 2006-02-22; 修回日期: 2006-03-18

作者简介:

龙俊平 (1976 -), 男, 学士, 工程师, 从事发电厂自动化、继电保护工作。E-mail: lp0736@126.com

Discussion on the causes of the faulty forced excitation of the generator

LONG Jun-ping

(Xin anjiang Hydroelectric Power Plant, Jiande 311608, China)

Abstract: Exemplified by SAVR-2000 and the HWLT microcomputer-controlled excitation system adopted by Xin anjiang Hydroelectric Power Plant, this paper concerns the cause of the faulty forced excitation and proposes several ways to avoid faulty forced excitation including the confinement of the sudden variable of electric current to double PT broken line, electronic disk multiplication and so on and so forth. Designing the excitation circuit of the generator reasonably, selecting the adjusting resistance correctly and employing the high electricity of the excitation transformer are effective ways to eliminate the harm caused by faulty forced excitation as well as to ensure the sound operation of the generator.

Key words: excitation system; electronic disk; PT (voltage transformer)

(上接第 60 页 continued from page 60)

the model proposed. Extensive numerical simulations on the test systems that range in size from 4 to 118 buses show that the prime-dual interior point method (PDIPM) for solving the reactive power price has excellent robustness.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50467001) and Science Foundation of Guangxi Province (No. 024009).

Key words: reactive power price; PDIPM; SVC; spot pricing decomposition; optimal power flow (OPF)