

## 豫新电厂 #2 机转子接地保护动作原因分析

张战生<sup>1</sup>, 黄新胜<sup>1</sup>, 郑祖学<sup>1</sup>, 吴笃贵<sup>2</sup>

(1. 河南新乡火电厂, 河南 新乡 453011; 2 许继电气保护及自动化事业部, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 介绍了河南豫新电厂 #2 发电机励磁系统故障的查找过程, 并分析了转子一点接地保护频繁动作的基本原因, 最后介绍了采取的补救措施, 使该问题得以解决。

**关键词:** 发电机转子一点接地保护; 动作原因; 措施

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1003-4897(2005)10-0085-04

### 0 引言

河南豫新火力发电厂 #2 发电机为循环硫化床的 135 MW 机组, 励磁方式为自并励, 励磁变压器的联接组别为 Y/ - 5, 励磁调节器为某电机厂配套的 UN IIROL 微机励磁调节器, 保护装置选用许继生产的 WFB-100 型微机发电机变压器组成套保护装置, 转子接地保护采用了比较成熟的乒乓开关原理。转子接地保护设计两段动作定值, 两段时间定值。高定值段接地电阻整定为 12 k $\Omega$ , 动作后延时 8 s 发告警信号; 低定值段接地电阻整定为 5 k $\Omega$ , 动作后延时 1 s 跳闸停机。2004 年 4 月 6 日, 机组在中修后的起机升压过程中转子一点接地保护低定值段动作, 断电后经静态试验检验, WFB-100 保护装置动作行为正常。最初, 继保人员怀疑动作原因是大轴碳刷接地点位置距大轴较远而引起, 因此将大轴碳刷接地点由调节器柜移至碳刷就地位。现场处理后, 再次起机、升压、并网, 转子接地保护低定值段再次动作, 检查后未发现问题只好再次停机。后经与保护厂家、中试所的保护专家对转子接地保护的输入信号进行波形分析, 发现励磁电压的波形与理论波形严重不符, 最终发现励磁变压器低压侧电缆因振动导致绝缘破坏而发生 C 相单相接地, 采取措施后机组和保护装置已正常运行至今。

### 1 事故查找

1) 第一次停机后, 用摇表测量转子绕组正负极的对地绝缘电阻, 测量结果合格; 起机后, 在合励磁开关之前, 测量转子绕组正负极的对地电阻, 测量结果仍然合格, 表明转子绕组绝缘没有问题。利用滑线变阻器和电阻箱对保护装置进行静态测试, 结果正常, 显示保护装置本身没有问题。

2) 合励磁开关后, 转子接地保护动作, 用万用

表测量保护装置外挂的转子接地保护附件板上取样电阻两端的电压, 测量结果显示取样电阻两端存在大约 4 V 的工频交流电压分量。

3) 用万用表测量转子大轴对地电压, 测量结果显示大轴存在 7 ~ 15 V 的工频交流电压, 因此怀疑可能轴电压过大而对转子接地保护产生干扰。为消除干扰, 将大轴接地点位置有励磁调节器移至就地, 并将励磁调节器和保护装置的接地引线分开。

4) 并网后, 当励磁电压低于 160 V 时, 转子接地保护测量的接地电阻大幅度摆动, 装置无法正常工作; 当励磁电压在升至 160 V 以上时, 励磁电压、电流、转子接地保护测量电阻值比较平稳, 励磁绕组的正、负极对地电压基本平衡, 差值在 2% 以内, 转子接地保护的测量结果在 50 ~ 655.36 k $\Omega$  之间摆动。随着励磁电压的上升, 摆动范围加大。当有功功率升至 131 MW, 无功功率到 80 Mvar 时, 励磁电压为 246 V, 励磁电流为 1 823.8 A, 接地保护的测量电阻值约为 24 k $\Omega$ , 证明故障点依然存在。

5) 运行中利用存储示波器录取 #2 机组的励磁电压波形和正、负极的对地电压波形, 分别如图 1 (a)、(b) 和 (c) 所示。

对录波结果进行分析, 可以看出: 励磁绕组正、负极对地电压波形为间断性连续波形, 因此可以排除励磁绕组出现永久性接地的可能性; 同时可以看出, 正、负极的对地电压波形都存在明显的“平台”区。由于励磁调节器正常工作时, 励磁绕组正、负极的对地电压即为交流侧某相的对地电压, 因此交流侧的某相肯定存在对地电位不变的情况, 即出现单相接地。

6) 利用万用表测量励磁调节器的交流输入电压, C 相对地电压为零, A、B 相对地电压显示正常, 证实出现 C 相单相接地。

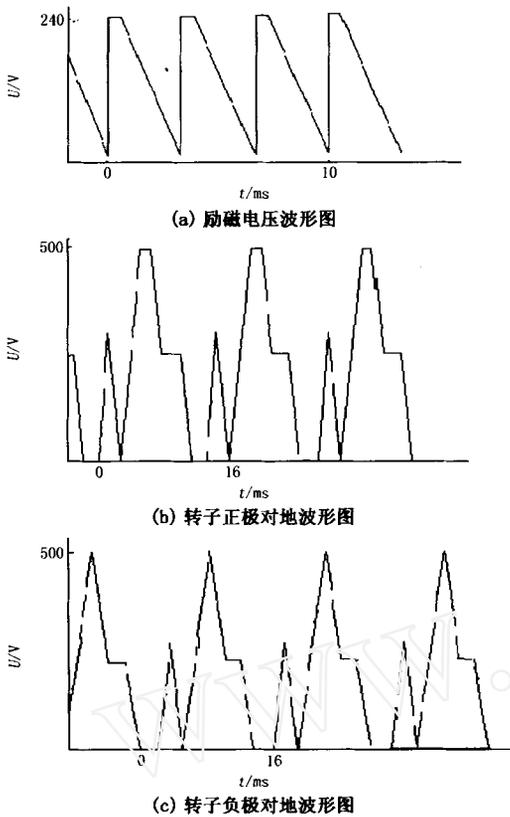


图 1 现场录波图

Fig 1 Recorded wave on the spot

于是利用 #2 机组调峰机会再次停机检查励磁系统交流侧的绝缘情况,发现励磁变低压侧 C 相电缆因长时间磨损而导致绝缘层破裂接地。

根据上述检查试验过程,我们可以得出引起发电机转子一点接地保护频繁动作及励磁电压无规律振动的直接原因有以下几方面:

1) 励磁变低压侧 C 相电缆其中一根与励磁变柜内固定接地扁铁处的螺丝接触,因振动逐渐磨损外皮(电缆无钢甲)直至磨破,电缆绝缘逐渐下降使 C 相由非金属接地发展到金属性接地,励磁电压中串入较大的交流干扰分量。

2) 原励磁系统通过调节器 x1 8 端子在柜内接地,由于碳刷通过长电缆接地并与大轴连接以及碳刷接触不良、转子绕组和大轴之间分布电容的存在,大轴上会感应出一定的轴电压。再加上静止励磁调节器输出电压中的交流分量较大,使得某些情况下轴电压甚至高达 15 V 左右。碳刷与大轴的接触不良使得分布电容不断地充放电,储存的电能不能时地通过碳刷与调节器的连接线释放过来,抬高了调节器的接地点位,使励磁电压串入轴电压交流分量。

## 2 事故原因分析

河南豫新电厂 #2 机选用的励磁装置为电机厂配套的 UN IIROL 微机励磁调节器柜,励磁主回路为六脉动全控整流桥式电路,触发方式为按等间隔触发方式。根据换流器的工作原理,在一个周期内,励磁变低压侧的三相电压依次与励磁绕组的正、负极相连接。故障系统的电气原理图如图 2 所示。

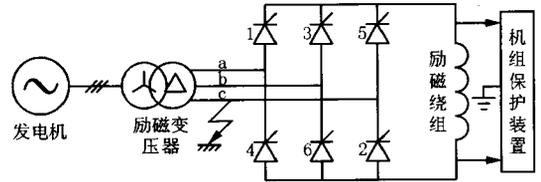


图 2 故障系统的电气原理图

Fig 2 Electrical principle of the fault system

根据故障相(C相)与励磁绕组的连接情况,励磁系统的原理电路可分解为如图 3(a)、(b)、(c)所示的 3 种情况。

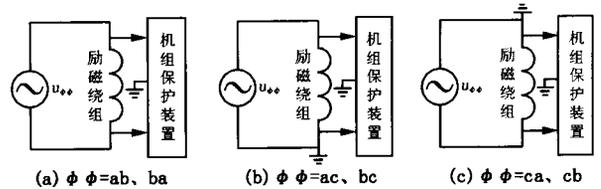


图 3 故障系统的等效电路图

Fig 3 Equivalent circuit diagram of the fault system

假设系统频率为 50 Hz,可控硅的导通顺序依次为  $\frac{1}{2} \rightarrow \frac{3}{2} \rightarrow \frac{3}{4} \rightarrow \frac{5}{4} \rightarrow \frac{5}{6} \rightarrow \frac{1}{6}$ 。当可控硅元件对  $\frac{1}{2}$  和  $\frac{3}{2}$  导通时,励磁系统的等效电路如图 3(b)所示,相当于励磁绕组负极接地;而当可控硅元件对  $\frac{5}{4}$  和  $\frac{5}{6}$  导通时,励磁系统的等效电路如图 3(c)所示,相当于励磁绕组正极接地;而当可控硅元件对  $\frac{3}{4}$  和  $\frac{1}{6}$  导通时,励磁系

统又等效为图 3(a)所示的正常状态。显然,当励磁变压器低压侧出现单相接地时,励磁绕组在一个周期内交替出现“负极接地”“正常”“正极接地”

“正常”的循环状态。从理论上分析,转子接地继电器此时将为出现“动作”“复归”“再动作”

“再复归”的情况,实际的动作情况与转子接地继电器的响应速度和复归时间有关。至此,我们不难理解 WFB-100 转子接地保护测量电阻大幅度变化的根本原因。

根据叠加原理,将图 2 所示的故障系统分解为

正常运行系统和故障分量系统两部分,并考虑 WFB-100 转子接地保护附件板的电气元件,则可得到图 4(a)和(b)的等效电路。

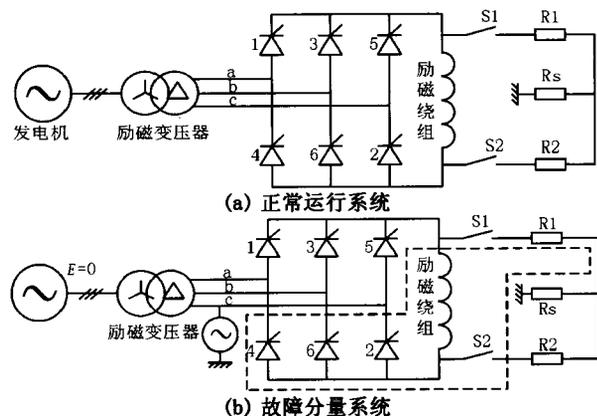


图 4 故障系统分解图

Fig 4 Discomposition diagram of the fault system

对图 4(a)系统来说,由于励磁调节器交流侧没有接地点,转子绕组对地绝缘电阻又为无穷大,因此不可能在转子接地保护附件板的电阻  $R_s$  上产生工频电流分量。对图 4(b)所示的故障分量系统来说,尽管转子对地绝缘电阻仍为无穷大,但故障增量电源提供了一个接地点,因此会产生如图中虚线所示的交流电流回路,导致取样电阻两端出现大约 4 V 的工频交流分量。

### 3 措施与建议

1) 受工程造价和安装空间的限制,励磁变压器低压侧没有安装电压互感器,无法实现零序电压保护或绝缘监视功能,这是长期不能确定故障源的根本原因。

2) 目前消除故障的唯一手段只能从强化励磁变低压侧的绝缘水平入手,将励磁变低压电缆绝缘包好并与励磁变柜内固定接地扁铁处螺丝间增加绝缘板,防止再次故障。

3) 为了降低轴电压,对 #1 机励磁变低压电缆也进行了检查。将大轴接地碳刷移至就地接地,将调节器端子 x1 8 的本柜接地线解除,并将 x1 8 接至碳刷接地端。调整碳刷使其与大轴良好接触。为了消除轴电压对转子接地保护的影响,防止轴电压中的交流分量串入励磁调节器,使励磁调节器触发脉冲发生变化,引起转子电压异常剧烈波动;并将励磁、保护引线分开,如图 5 所示。

4) WFB-100 变组保护对励磁变压器仅设计有电流速断保护、定时限过流保护和励磁绕组过负

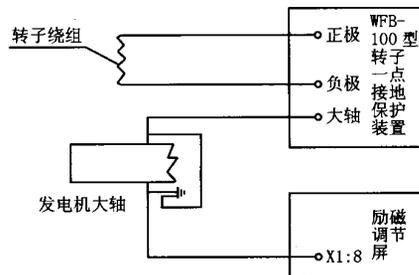


图 5 改造后的励磁系统接地方式图

Fig 5 Diagram of the improved grounding mode in excitation system

荷保护,对励磁变压器低压侧单相接地故障不能实现保护。在目前条件下,建议在转子接地保护中增加针对励磁电压波形特征的监视功能,及时掌握一次系统的异常现象。

5) 经各级技术管理部门批准后,将 #1、#2 机的 WFB-100 型发电机转子一点接地保护低定值延时由 1 s 改为 2 s,以提高其抗干扰能力,保证其正确动作。

### 4 运行中的检测

开机时将 #2 机转子正极、负极分别通过跨接电阻 (0.6 Ω 电阻,过 300 A 电流) 做转子一点接地试验, #2 机转子正极、负极对地电压明显变化, WFB-100 保护装置能正确反映接地情况,显示结果正常。

### 5 改造后的效果

采取大轴就地接地,励磁、保护引线分开等措施,并处理励磁变低压侧电缆绝缘后,自 4 月 24 日凌晨开机并网,转子一点接地保护为正常显示 655.36 kV,至今未再发生转子接地保护误动现象。

### 参考文献:

[1] 国调中心. 电力系统继电保护实用技术问答 (第二版) [M]. 北京:中国电力出版社,2000.  
National Power Dispatch Center Practical Technique of Power System Relaying Protection, Second Edition [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

[2] 吴笃贵. 静止励磁系统保护配置方案的讨论 [A]. 2004 全国电力主设备保护技术研讨会论文集. 2004.  
WU Du-gui Discussion of Static Excitation System Protection Configuration [A]. Proceedings of the 2004 National Electric Power Main Equipment Protection Technology 2004.

[3] 欧阳强,李强. UN IROL UNS3020a 型转子接地故障

继电器故障处理 [J]. 东北电力技术, 1998, 19(7): 41-42

OUYANG Qiang, LI Qiang The Trouble Shooting for UNIIROL UNS3020a Type Ground Relay of the Rotor [J]. Northeastern Electric Power, 1998, 19(7): 41-42

[4] 罗清华, 莫妃炳, 李廷堂. 自并励发电机励磁系统接地问题分析 [J]. 电力科学与工程, 2003, (4): 74-76

LUO Qing-hua, MO Fei-bing, LI Ting-tang Analysis of Grounding Problems in Excitation Systems for Self-excited Generators [J]. Electric Power Science and Engineering, 2003, (4): 74-76

收稿日期: 2005-01-13; 修回日期: 2005-01-24

作者简介:

张战生 (1967 - ), 男, 高级工程师, 从事电气专业管理工作;

黄新胜 (1971 - ), 男, 工程师, 从事电气专业管理工作;

郑祖学 (1967 - ), 男, 高级工程师, 从事发电设备电气检修管理工作;

吴笃贵 (1969 - ), 男, 博士, 从事继电保护研发工作。

E-mail: duguiv@xjgc.com

### Action reason analysis of rotor grounding protection of the #2 generator in Yuxin power plant

ZHANG Zhan-sheng<sup>1</sup>, HUANG Xin-sheng<sup>1</sup>, ZHENG Zu-xue<sup>1</sup>, WU Du-gui<sup>2</sup>

(1. Xinxiang Thermal Power Plant, Xinxiang 453011, China; 2. XJ Electric Protection & Automation Business Department, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper illustrates the process to search the fault of the #2 generator excitation system in Yuxin electric power plant Henan province. And the basic reason of frequent actions in rotor one-point grounding protection is analyzed. In the end, the measures to solve this problem are presented.

**Key words:** generator rotor one-point grounding protection; action reason; measures

(上接第 84 页 continued from page 84)

[3] 高厚磊, 江世芳, 贺家李. GPS 时间同步技术及其在数字电流差动保护中应用的研究 [J]. 电力系统及其自动化学报, 1996, 8(3): 37-43.

GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang, HE Jia-li Study on GPS Time Synchronization Technique and Application in Digital Current Differential Protection [J]. Proceedings of the EP-SA, 1996, 8(3): 37-43.

收稿日期: 2004-09-06; 修回日期: 2004-09-30

作者简介:

路光辉 (1969 - ), 男, 工程师, 主要从事高压线路保护方面的研发工作; E-mail: luguanghui@xjgc.com

倪伟东 (1971 - ), 男, 在职硕士生, 主要从事继电保护维护工作;

熊章学 (1970 - ), 男, 工程师, 主要从事高压线路保护方面的研发工作。

### Automatic confirmation method for synchronous sampling reference terminal of current differential protection

LU Guang-hui<sup>1</sup>, NI Wei-dong<sup>2</sup>, XIONG Zhang-xue<sup>1</sup>, SANG Zhong-qing<sup>1</sup>, HU Ye-bin<sup>1</sup>, WANG Er-han<sup>1</sup>

(1. XJ Electric Protection and Automation Business Department, Xuchang 461000, China; 2. College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** After introducing two confirming sampling reference methods, manual setting and automatic confirmation, a new automatic confirmation method based on data channel is put forward, and a realizing approach is detailed. This method has been utilized in digital optical fiber current differential protection, and has proved to be simple, practical and reliable.

**Key words:** current differential protection; synchronous sampling regulation; sampling reference terminal