

· 运行分析 ·

一种励磁变与离相封闭母线反相解决方案

熊良根¹, 郑 嵘², 陈晓明³

(1. 华东电力设计院有限公司, 上海 200063; 2. 博耳能源江苏有限公司, 江苏 无锡 214000;
3. 特变电工南京智能电气有限公司, 江苏 南京 211112)

摘要:励磁变压器是励磁系统中的一个重要元件,为了减少接地故障、避免相间短路以及消除钢构发热,发电机主回路以及厂用分支回路采用离相封闭母线进行连接。然而在某电厂建设施工中发生一起离相封闭母线相序与励磁变压器高压侧相序反相事故。文中对此所引起的励磁变高、低压侧的电流相位以及对励磁变差动保护、励磁调节器、发电机转子一点接地保护等方面的影响进行分析,提出了2种解决方案。考虑励磁系统以及保护定值整定方便,优先采用方案2,并进行相关仿真研究。仿真结果表明该方案完全满足励磁变差动保护、转子接地保护以及励磁调节器的要求,从而避免重新采购安装封闭母线或更换励磁变。

关键词:励磁变压器; 反相序; 离相封母

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 2096-3203(2017)02-0121-06

0 引言

励磁变压器通过整流器向同步发电机供给直流电源,一般选用 YD-11 接线,一方面励磁变的一次侧接成星型连接时,一次绕组的相电压仅为线电压的 $1/\sqrt{3}$,降低了绕组的耐压水平,二次绕组三角形连接,可以为三次谐波提供回路,用以抵消三次谐波磁通,改善电压波形^[1-3]。对于大多数静止励磁系统,则出于励磁变压器与发电机封闭母线连接上的方便以及防止相间短路的考虑^[4-6]。

然而,某电厂在对发电机厂用分支回路离相封闭母线与励磁变高压侧的接口进行安装时发现,励磁变高压侧厂家所标的 A 相、C 相与发电机厂用分支离相封闭相序搞反。该电厂采用的励磁变压器为 3 个树脂浇注干式变压器通过铜排连接成 YD-11 接线,由于发电机机端封闭母线已经全部安装到位,如果为了将封闭母线的相位纠正而与励磁变高压侧同相位,那么需要重新更换部分离箱封闭母线,并且增设材料以及施工费用,则必将影响工程的建设进度。

本文将对这一相序反相情况给励磁变压器差动保护、转子接地保护以及励磁调节器等影响进行仿真分析,从改变励磁变的绕组接线上提出 2 种解决方案,并针对第二种方案在 PSCAD/EMTDC 上进行了仿真,仿真分析表明,其对励磁变差动、转子接地、以及励磁调节器励磁电压等方面均没有影响,完全满足工程实际需要,并推荐方案 2 供现场选择参考。

1 现场问题描述

根据规程《高压配电装置设计技术规程》(DL 5352—2006)中 5.1.2 条^[7],配电装置各回路相序排列宜一致,一般按面对出线,从左到右,从远到近、从上到下的顺序,相序为 A, B, C, 安装布置如图 1 所示。

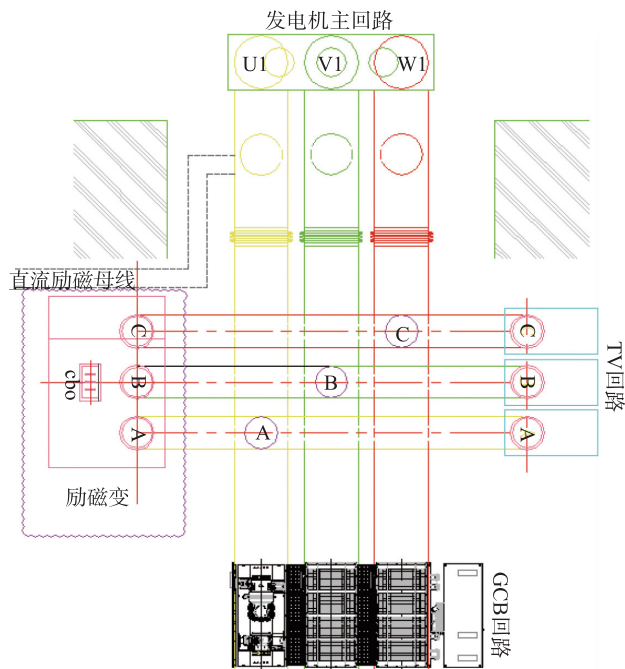


图 1 安装布置图

Fig.1 The installation drawing

从图 1 可知当面对励磁变时,其设计的布置图满足从左到右 A, B, C 原则。但是,实际到货励磁变压器高压侧在面对变压器时从右到左为 A, B, C, 这样导致离相封母与励磁变高压侧 A, C 相序反相,而

实际施工过程中一般先敷设安装好封闭母线,最后再与励磁变高压侧端子进行连接,现场工程建设紧张,从新拆除再安装封闭母线方案基本不可行。因此首先对现场该相序反相引起的其他相关影响,如励磁变差动、转子接地、励磁电压等进行分析。再在分析的基础上提出其他解决方案。

2 励磁变高压侧相序反相影响分析

2.1 正常情况 YD-11 励磁变相位分析

正常情况下 YD-11 变压器相位如图 2 所示。

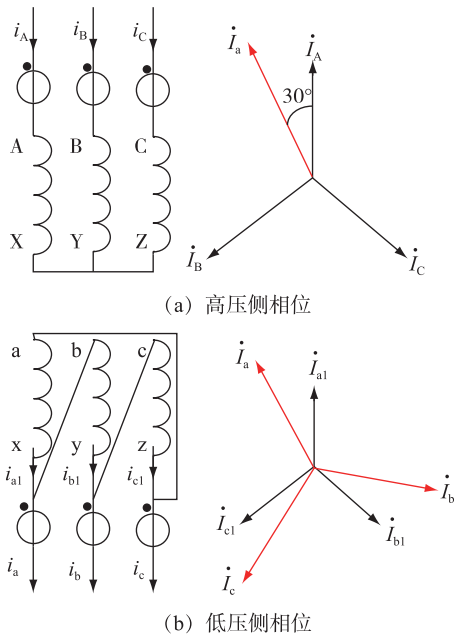


图 2 正常下 Y-D11 变压器相位

Fig.2 The phase of Y-D11 transformer in normal

从图 2 可以看出,当励磁变压器采用 YD-11 接线时,正常情况下,二次相电流在相位上滞后一次相 30°,其中高、低压都是正相序^[8-10]。

2.2 A,C 反相时励磁变相位分析

由于系统电源是 A,B,C 正序,励磁变高压侧绕组 A,C 反相,因此 C 相绕组流系统 A 相电流,A 相绕组流入系统 C 相电流,高压侧 A,C 相绕组与低压侧 A,C 相之间分别耦合。如图 3 所示。

图 3 中,高、低压侧 C 相绕组绿色标注部分,以及高、低侧 A 相绕组红色标注部分。这样导致低压侧绕组 c 实际流过电流相位与系统 A 相一致,而低压绕组 a 则实际流过的电流相位与系统 C 相相同。高压侧 B 相绕组实际流入 B 相为系统电流,故此低压侧 b 相绕组相位与系统 B 相一样,低压侧 a,b,c 绕组所流过的三相电流 $\dot{I}_{a1}, \dot{I}_{b1}, \dot{I}_{c1}$ 相位在图 3(b) 中可以看出满足负序关系,由于低压侧为 Δ 型接线,即流出励磁变的电流 $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ 满足下列关系:

$$\begin{cases} \dot{I}_a = \dot{I}_{a1} - \dot{I}_{b1} = k(\dot{I}_C - \dot{I}_B) \\ \dot{I}_b = \dot{I}_{b1} - \dot{I}_{c1} = k(\dot{I}_B - \dot{I}_A) \\ \dot{I}_c = \dot{I}_{c1} - \dot{I}_{a1} = k(\dot{I}_A - \dot{I}_C) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中:k 为比例系数。

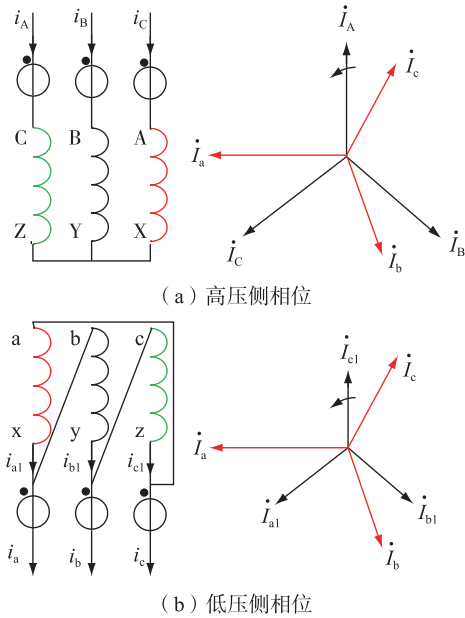


图 3 A,C 反相时变压器相位分析

Fig.3 Transformer phase analysis for A and C in opposite

2.3 A,C 反相时造成影响分析

在 PSCAD/EMTDC 上建立励磁变压器仿真模型,如图 4 所示。图 4 中励磁变参数如下:励磁变额定容量为 6.6 MV·A,励磁变一次变比 20 kV/1.02 kV,接线方式为 YD-11,高压侧 TA 变比 300/1,低压侧 TA 变比 5000/1,励磁变低压侧经三相可控硅整流桥整流后向发电机转子绕组提供励磁电源,励磁绕组采用三峡左岸电厂 ALSTOM 机组 4 段 π 型等效电路^[9]。本文通过仿真分析其对差动保护、励磁电压、转子接地等影响。

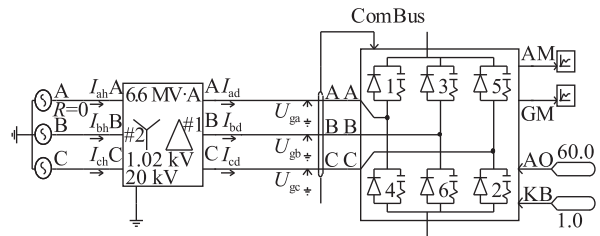


图 4 仿真模型

Fig.4 The simulation model

(1) 对励磁变压器差动保护造成影响。励磁变压器的电气特征与一般变压器有较大差别,其所接负载为三相整流桥,导致变压器两侧电流含有丰富的谐波电流。尽管在规程《继电保护和安全自动

装置技术规程》(GB/T 14285—2006)4.2.23 中描述“自并励发电机的励磁变压器宜采用电流速断保护作为主保护^[11-14];过电流保护作为后备保护”,与励磁变电流速断保护相比,励磁变差动保护在内部故障检测的灵敏度以及保护动作的快速性方面有明显优势,文献[14]建议现场有条件宜装设励磁变差动保护,从文献[1]分析中可知,在励磁变低压侧发生故障时,机组差动保护不能保证可靠动作,因此也需要装设励磁变专用保护。然而在当前的微机型变压器差动保护中,大都采用相位校正和幅值校正,同时还扣除进入差动回路的零序电流分量来实现^[8-10]。无论是以d侧电流为相位基准,使得Y侧电流进行移相还是以Y侧电流相位为基准,用d侧电流进行移相。由于高压侧A,C反相,尽管高压侧电流是正序,但是导致低压侧进入TA电流为负序,因此正常情况下也将会使得有较大差流存在,差动保护此时将失效。

当高压侧A,C两相接反后,励磁变两侧电流及按照YD-11整定计算的励磁变差流如图5所示。图5中, $I_{ah2}, I_{bh2}, I_{ch2}$ 为励磁变高压侧二次电流采样值; $I_{ad2}, I_{bd2}, I_{cd2}$ 为励磁变低压侧二次电流采样值, $I_{acd}, I_{bcd}, I_{ccd}$ 为Y侧向d侧做转角后计算的励磁变差流。在A,C两相接反情况下,出现较大差流,将导致励磁变差动保护误动的可能。

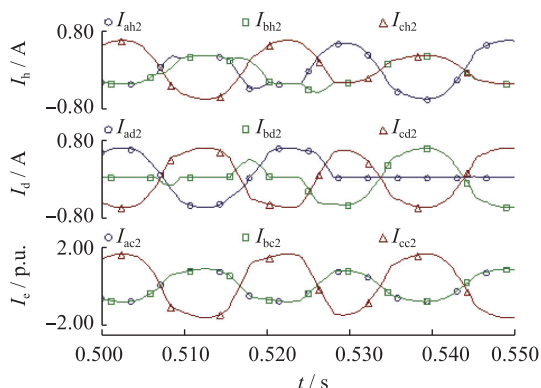


图5 A,C接反时励磁变两侧电流及差流

Fig.5 The two-side current and differential current of A and C reversed

(2) 对励磁调节器造成影响。正常情况下励磁电压如图6所示,其中 E_a 为励磁电压瞬时值, E_{a1} 为有效值。

而当A,C两相接反后,励磁电压波形见图7。此时参考电压为负序,同步脉冲与实际要求的正序不一致,导致最终输出波形混乱,国内一些励磁调节器将会闭锁输出脉冲^[15]。

(3) 对发电机转子接地影响。发电机转子接地保护的计算的前提是基于励磁电压在一个切换

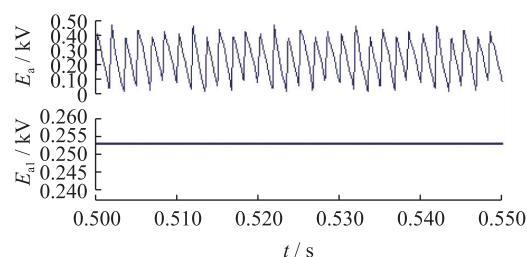


图6 正常情况下励磁电压波形

Fig.6 The excitation voltage waveform in normal

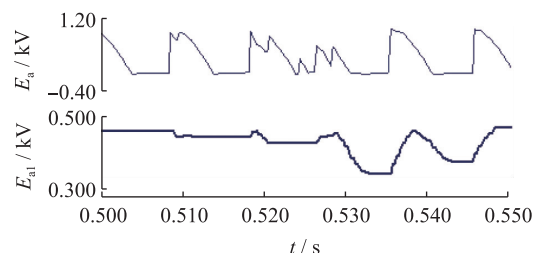


图7 A,C两相接反情况下励磁电压波形

Fig.7 The excitation voltage waveform of A and C reversed 周期内基本不变^[3,16,17],而根据前文中励磁电压波形的分析,A,C两相接反后,励磁电压变化较大,在转子一点接地后,其接地电阻及接地位置与实际将会出现偏差。图8与图9分别为乒乓式转子接地在正常接线情况下,A,C两相接反情况下,在转子绕组40%位置,经10 kΩ接地时所测的数据。图中 R_{g1} 为一点接地电阻测量值,“A”为一点接地位置测量值。

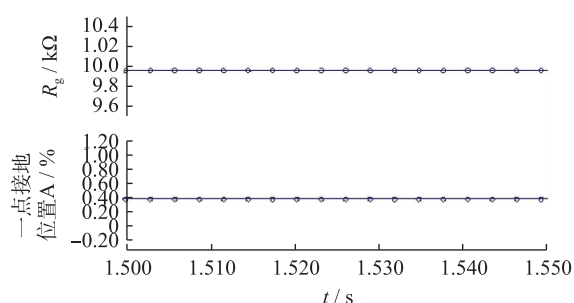


图8 正常接线情况下乒乓式转子一点接地

Fig.8 The ping-pong rotor one point earth in normal

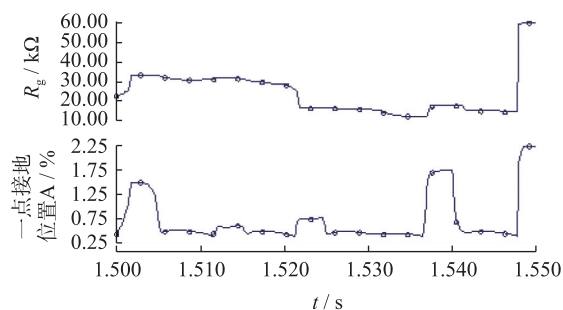


图9 A,C接反情况下转子一点接地

Fig.9 The rotor one point earth of A and C reversed

从图 8 和图 9 可见,乒乓式原理的转子接地保护对于接地电阻和接地位置的判断将完全失真,乒乓式转子接地保护失效。

对于双端注入式原理,2 种情况下的仿真波形见图 10 和图 11。

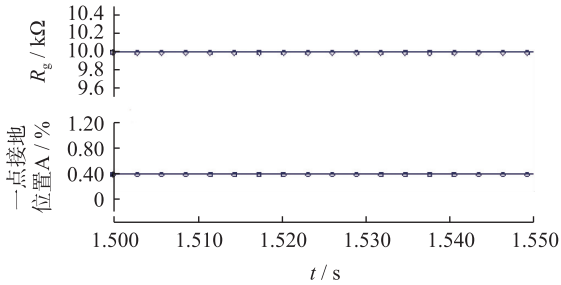


图 10 正常接线情况下注入式转子一点接地

Fig.10 The injection type rotor one point earth in normal

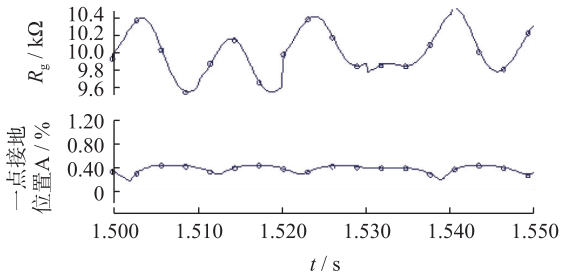


图 11 A,C 接反情况下注入式转子一点接地

Fig.11 The injection type rotor one point earth of A and C reversed

从图 10、图 11 可以看出双端注入式转子接地保护,在励磁变高压侧 A,C 两相接反后,所测的接地电阻及接地位置与实际值较为接近,影响不太大,同时对于 0~50 kΩ 均做了测试,结果与上述分析相同,由于篇幅有限,不再附图。

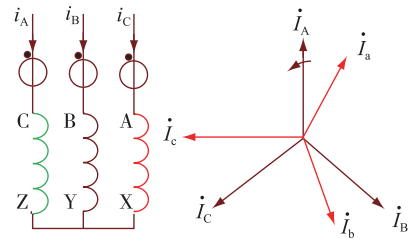
3 解决方案

综上所述结果,相序反相对励磁调节器和发电机乒乓式转子一点接地保护存在影响,由于励磁变变压器为 3 个独立的分相变压器,提出 2 种设想方法。

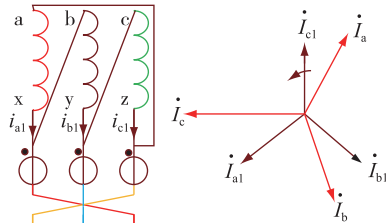
(1) 将低压侧 A,C 两相引出线互换至 C,A,使得进入三相可控硅整流桥相序与励磁变高压侧一致,此时励磁变接线为 YD-1,如图 12 所示。

(2) 将低压侧 A,C 两相引出线互换至 C,A 的同时,调整低压侧绕组接线方式,此时励磁变接线方式仍然保持 YD-11,如图 13 所示。

通常励磁变变压器采用 Yd 接线,在 Yd 接线中一般绝大部分采用 Yd11 方式,此时二次电压在相位上滞后一次相电压 30°,这是通常励磁调节器选择晶闸管触发回路的同步变压器接线所考虑的一个因素,此外保护定值整定计算中一般在保护装置选



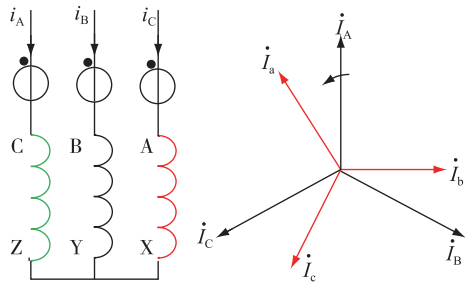
(a) 高压侧相位



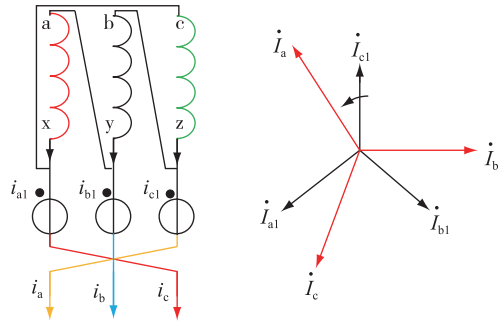
(b) 低压侧相位

图 12 方案 1

Fig.12 The first scheme



(a) 高压侧相位



(b) 低压侧相位

图 13 方案 2

Fig.13 The second scheme

择为 Yd11 方式,装置软件移相也采用 Yd11。因此在不影响保护定值以及励磁调节器同步变压器接线的前提下,优选方案 2 为修改方案。

首先对方案 2 进行仿真验证,修改接线后仿真如图 14、图 15 所示。其中图 14 为励磁变两侧电流二次值及差流波形,图 15 为三相整流桥输出的励磁电压波形。图 16 为乒乓式转子一点接地保护波形。

从图 14—16 中可知,改接后的接线完全满足励磁变差动保护、发电机转子接地保护以及励磁调节器的要求。

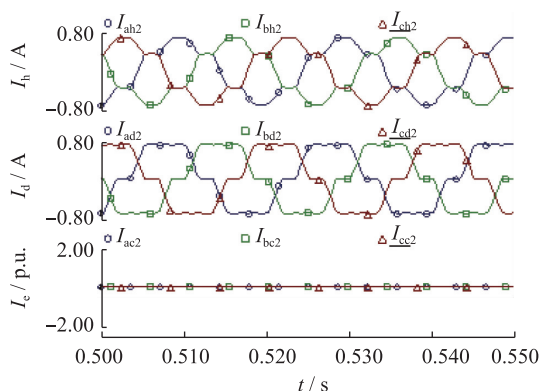


图 14 方案 2 的励磁变两侧电流及差流

Fig.14 The two-side current and differential current of the second scheme

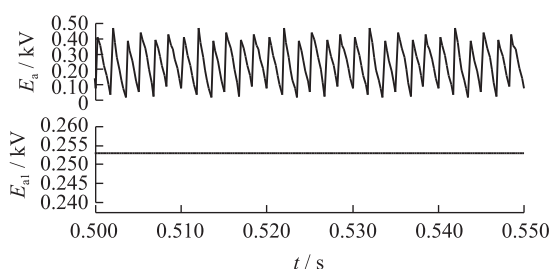


图 15 方案 2 的励磁电压波形

Fig.15 The excitation voltage waveform of the second scheme

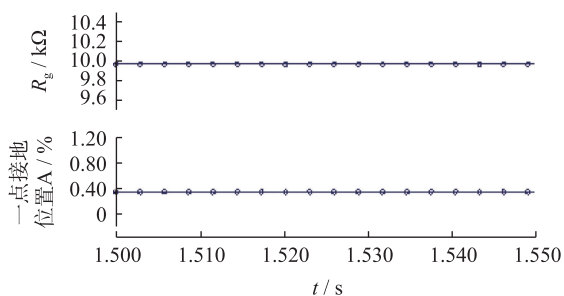


图 16 方案 2 的乒乓式转子一点接地波形

Fig.16 The ping-pong rotor one point earth of the second scheme

4 结语

励磁变压器是励磁系统中最重要的元件。本文分析了一起发电机分支离相封闭母线与励磁变压器高压侧相位反相情况。从其对励磁变差动保护、励磁调节器、转子接地保护等造成的影响进行分析,在不采用拆除、重新安装离箱封闭母线情况下并提出了 2 种解决方案,基于考虑励磁调节系统同步变压器接线以及励磁变保护整定方便 2 个因素的基础上,优先采用方案 2,仿真结果和理论证实方案 2 的可行性,最后现场通过对励磁变回路充流、TA 极性校验等试验进行验证,完全满足机组运行要求。

参考文献:

- [1] 徐绍麟. 工程实用励磁变压器保护方案探讨[J]. 继电器, 2003, 31(1): 34-39.
- [2] 徐福安. 励磁变压器选用原则的探讨[J]. 大电机技术, 2009(2): 50-51.
- [3] 徐福安. 励磁变压器选用原则的探讨[J]. 大电机技术, 2009(2): 50-51.
- [4] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 274-298.
- [5] DL/T 843—2010 大型汽轮发电机励磁系统技术条件[S]. DL/T 843—2010 Specification for excitation system for large turbine generators[S].
- [6] DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定[S]. DL/T 5222—2005 Design technical rule for selecting conductor and electrical equipment[S].
- [7] DL/T 5352—2006 高压配电装置设计技术规程[S]. DL/T 5352—2006 Technical code for designing high voltage electrical switchgear[S].
- [8] 国家电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材(下册)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 389-433.
- [9] 汤大海, 徐金玲, 邱娟, 等. YND5 接线 220 kV 变压器纵联差动保护相位补偿[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(4): 40-43.
- [10] 陈从武, 朱月凯, 汤大海. 一种 YNd 系列变压器差动保护电流相位补偿方案[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(4): 34-37.
- [11] GB/T 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. GB/T 14285—2006 Technical code for relaying protection and

- security automatic equipment[S].
- [12] DL/T 684—2012 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S].
DL/T 684—2012 Guide of calculating setting of relay protection for large generator and transformer[S].
- [13] 高春如. 大型发电机组继电保护整定计算与运行技术[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,2010:244-245.
GAO Chunru. The relay protection setting calculation and operation technology for large generator transformer set[M]. 2nd ed. Beijing:China Electric Power Press, 2010:244-245.
- [14] 陈俊,张琦雪,吴龙,等. 一起励磁变压器差动保护误动原因分析及启示[J]. 江苏电机工程,2010,29(2):18-20.
CHEN Jun, ZHANG Qixue, Wu Long, et al. Analysis on mal-operation of excitation transformer differential protection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2010,29(2):18-20.
- [15] 牟伟,楼季献,张建彪,等. 国产励磁系统在进口燃气发电机组的应用[J]. 江苏电机工程,2015,34(4):59-62.
MU Wei, LOU Jixian, ZHANG Jianbiao, et al. Application of domestic excitation system in imported gas generator[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(4)59-62.
- [16] 陈晓明,熊良根,周荣斌,等. 电阻分压式转子接地保护改进算法[J]. 电力系统自动化,2013,37(22):90-95.
CHEN Xiaoming, XIONG Lianggen, ZHOU Rongbin, et al. Improved algorithm for rotor earth fault protection in resistor divider mode[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(22):90-95.
- [17] 陈俊,王光,严伟,等. 关于发电机转子接地保护几个问题的探讨[J]. 电力系统自动化,2008,32(1):90-92.
CHEN Jun, WANG Guang, YAN Wei, et al. Study on issues of generator rotor earth fault protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(1):90-92.

作者简介:



熊良根

熊良根(1984—),男,江西高安人,工程师,从事发电厂、变电站、新能源电气设计和研究工作;

郑嵘(1985—),男,江苏无锡人,工程师,研究方向为电力系统继电保护、光伏新能源技术管理;

陈晓明(1981—),男,江苏南通人,高级工程师,从事电气主设备继电保护及研究工作。

A Solution for Reversed Phase-sequence of Excitation Transformen and Enclosure Type Isolated-phase Bus

XIONG Lianggen¹, ZHENG Rong², CHEN Xiaoming³

(1. East China Electric Power Design Institute Co. Ltd., Shanghai 200063, china;

2. Boer Energy Jiangsu Co. Ltd., Wuxi 214000, china; 3. TBEA Nanjing Intelligent Co. Ltd., Nanjing 211112, china)

Abstract:Excitation transformer as an important component is connerted to the enclosure type isolated-phase bus in the main circuit and branch circuit of generator, in order to reduce the ground fault, phases fault and eliminate steel structure fever. However, the reversed phase-sequence of an excitation transformer and the isolated-phase bus was found in the construction of a power plant, this paper analyses the influences of excitation change current phase, excitation transformer differential protection, excitation regulator, generator rotor earth protection caused by this situation, and proposes two solutions. Considering the convenient of excitation system and relay setting calculation, the second scheme become the first choice. The simulation results meet the requirements of the excitation transformer differential protection, rotor earth protection and the excitation regulator, avoiding re-purchase and install the isolated-phase bus or replace the excitation transformer.

Key words:excitation transformer; reversed phase-sequence; endosure type isolated-phase bus

(编辑 徐林菊)

国家自然科学基金委与国家电网设4亿元联合基金

2017年3月1日,国家自然科学基金委员会与国家电网签署协议。双方共同出资设立智能电网联合基金,自2017年至2021年每年投入8000万元,共计安排4亿元经费,吸引优秀电工及其相关领域人才开展电力能源基础研究,解决关键问题。据介绍,该联合基金项目将针对我国能源电力发展面临的若干重大技术难题,围绕智能电网、特高压、新能源、电工新材料、储能等领域开展基础性、前瞻性和创新性研究,从而实现行业进步与学科发展的相互促进和相互带动。项目将对电网亟须解决的关键理论问题予以倾斜,并支持项目成果在国家电网率先应用。

(摘编自新华网)