

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181015

一种基于单母线分段的变压器风冷控制系统设计

张华¹, 林茂君¹, 张道农², 梁守硕³, 赵健³

(1. 国网北京公司检修公司, 北京 100007; 2. 华北电力设计院有限公司, 北京 100120;
3. 上海泽鑫电力科技股份有限公司, 上海 201206)

摘要: 针对典型的变压器风冷控制系统因单母主接线方式的不足, 在母线故障时供电母线失压导致变压器风冷全停的情况, 提出了一种基于单母线分段接线的变压器风冷控制系统。通过对该变压器风冷控制系统进行故障类型与运行方式分析, 提出了相应的自动控制与继电保护配置方案。该方案在变压器风冷控制系统发生母线故障时, 可以通过相应的继电保护和备自投动作, 准确定位并隔离故障点, 避免造成风冷全停的严重事故。试验验证了该方案对保证变压器风冷系统正常运行的有效性。

关键词: 风冷控制系统; 单母线分段; 备自投; 变压器

A design of transformer air cooling control system based on sectionalized single bus scheme

ZHANG Hua¹, LIN Maojun¹, ZHANG Daonong², LIANG Shoushuo³, ZHAO Jian³

(1. Maintenance Company of State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100007, China; 2. North China Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China; 3. Shanghai Zexin Electric Power Technology Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: This paper proposes a transformer air-cooling control system based on sectionalized single bus scheme, in consideration of the shortage of single bus scheme in typical transformer air-cooling system and the failure scenarios of air-cooling full stop caused by voltage loss of power supply when bus fault occurs. By analyzing the fault types and operation modes of this transformer air-cooling control system, the corresponding configuration schemes of automatic control and relay protection are proposed. When bus fault occurs in transformer air-cooling system, this scheme can locate and isolate the fault point accurately by relay protection and standby power supply automatic switching action, and avoid serious accidents caused by air-cooling system full stop. The test proves the validity of the solution to ensure the normal operation of the transformer air-cooling system.

This work is supported by Science and Technology Project of the Headquarter of State Grid Corporation of China (No. 52020116000H) "Intelligent Cooling Control System for Micro-processor Transformer" and Science and Technology Project of State Grid Beijing Electric Power Company (No. 52023317000H).

Key words: air-cooling control system; sectionalized single bus scheme; standby power supply automatic switching; transformer

0 引言

变压器是电网系统内重要的设备, 其运行状况直接影响变电站的运行安全和供电可靠性。变压器风冷控制系统供电的可靠性, 对于维持变压器的正常运行起着重要作用。目前, 变压器风冷控制系统

的典型配置为双回进线电源, 单母线接线方式。在实际运行中, 一旦母线发生故障, 两回进线电源的开关全部跳开, 将导致母线失电, 造成变压器风冷全停的严重故障。

本文提出一种基于单母线分段的变压器风冷控制系统, 在智能型变压器风冷控制系统的基础上, 通过增加母线分段开关, 将典型的单母线接线方式改进为单母线分段接线方式, 实现冷却器在两段母线分组独立运行。

系统利用微机型继电保护与自动控制原理, 实

基金项目: 国网总部科技项目资助(52020116000H)“微型型变压器智能冷却控制系统”; 国网北京电力公司科技项目(52023317000H)

时监控各段母线及各支路运行工况,综合决策和处理,在发生母线故障时,精确定位故障点并自动跳开相关开关,隔离故障段母线,有效避免冷却器全停的严重事故。

1 典型的变压器风冷控制系统

变压器风冷控制系统的一次设备,一般包含一个电源子系统和多组风冷电机系统。典型的一次主接线图如图 1 所示。

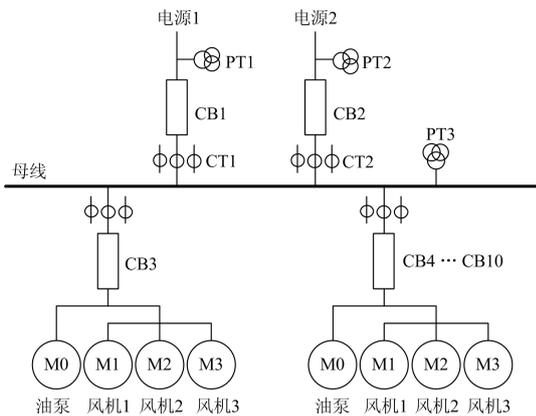


图 1 典型的变压器风冷控制一次接线图

Fig. 1 Primary connection diagram of typical transformer air cooling control system

由图 1 可见,典型的变压器风冷控制一次系统由一个单母线系统构成,由两回进线作为系统电源使用,通常是一主一备,风冷系统由若干(通常是 8 个)电动机子系统构成,每个电动机子系统一般包含一个油泵电机和若干风扇电机,由一个断路器控制其运行或退出。

根据典型的变压器风冷控制一次系统图构建的二次保护控制系统架构如下:

- (1) 用于进线电源控制的进线备自投模块。
- (2) 用于电动机保护控制的电动机保护模块。
- (3) 用于根据变压器运行工况进行冷却器自动投退的风冷综合控制模块^[1-4]。

在以上典型的变压器风冷控制系统中,由于单母线接线方式的局限,当母线发生故障时,两回进线电源断路器全部跳开,将会造成母线失电,导致变压器风冷全停事故。因此,精确定位并隔离故障点,最大限度地保证风冷系统的有效运行,成为一个亟待解决的问题。

2 变压器风冷控制系统母线分段改造方案

为有效隔离母线上的故障点,在典型的变压器

风冷控制系统的基础上,增加母线分段开关,将单母线接线方式改造为单母分段接线。如图 2 所示。

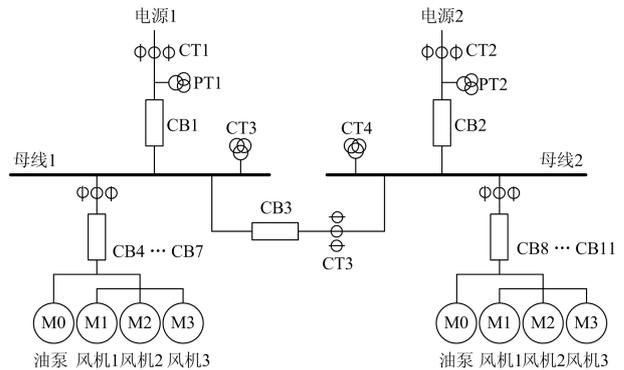


图 2 单母分段的风冷控制系统一次接线图

Fig. 2 Primary connection diagram of transformer air cooling control system based on sectionalized single bus scheme

根据图 2 的一次系统图构建的二次保护控制系统架构如下:

- (1) 用于进线电源控制的分段备自投模块。
- (2) 用于母线分段开关控制的分段保护模块。
- (3) 用于电动机保护控制的电动机保护模块。
- (4) 用于根据变压器运行工况进行冷却器自动投退的风冷综合控制模块。

和典型的变压器风冷控制系统配置的不同之处,是将原来的进线备自投改为分段备自投,并增加母线分段保护^[5-7]。

2.1 分段备自投

正常运行时两段母线均有压,当任一回进线电源因故障或者其他原因被断开导致其中一段母线失压后,启动执行分段备自投逻辑,在检查另一回进线电源电压合格之后,先跳开故障进线开关,再合上分段开关。分段备自投完成后,当进线电源故障消除,重新带电后,断开分段开关,投入进线开关,从而实现分段自恢复功能^[8]。

引入两回进线电源的各一相抽取电压(U_{x1} 、 U_{x2})和各一相抽取电流(I_{x1} 、 I_{x2})、母线 1 的三相电压(U_{a3} 、 U_{b3} 、 U_{c3})、母线 2 的三相电压(U_{a4} 、 U_{b4} 、 U_{c4}),用于分段备自投和分段自恢复的逻辑判别,另外引入进线 1 电源开关位置(CB1)、进线 2 电源开关位置(CB2)、分段开关位置(CB3),用于系统运行方式的判别。

分段备自投和分段自恢复功能,均包括充电逻辑、放电逻辑和动作逻辑。这两种功能的启动条件不相互依赖,仅靠两回进线电源开关和分段开关位置自动识别。允许通过控制字投退的方式,确定是否闭锁备自投、是否投入自恢复功能。

2.2 分段过流保护

通过引入分段开关三相电流(I_a 、 I_b 、 I_c)和分段开关 CB3 的位置, 实现两段式分段过流保护、零序过流保护和充电保护功能, 确保在两段母线并列运行的情况下, 任一段母线发生故障时, 能跳开分段开关, 隔离故障段母线, 避免所有冷却器停运。

考虑到分段过流可能是由于停运电源所在的母线上的冷却器(风扇电机或油泵电机)故障引起, 此时不应跳开分段开关, 而只应跳开故障冷却器所在的支路, 因此分段过流保护需要通过和电动机保护定值与延时配合, 进行闭锁。分段保护定值须大于电动机速断定值, 分段保护延时须大于电动机保护延时。

3 单母线分段运行方式分析

当采用单母分段主接线方式时, 风冷控制系统共有以下所列的 6 种运行方式。

运行方式(1)为主运行方式, 双回进线电源各带一段母线运行, 连接在两段母线上的两个分列运行电源互为暗备投。运行方式(2)、运行方式(3)为备用运行方式, 单回进线电源带两段母线运行, 等待另一回进线电源恢复。运行方式(4)、运行方式(5)为单段母线故障情况下的运行方式, 单回进线电源带一段母线运行, 此时一半冷却器可正常投入运行。运行方式(6)为两段母线均为故障状态, 冷却器全停, 需立即检修^[9-20]。

(1) 双回进线电源各带一段母线运行

双回进线电压均正常, 两段母线电压均正常, 进线 1 电源开关 CB1 处于合闸位置, 进线 2 电源开关 CB2 处于合闸位置, 分段开关 CB3 处于分闸位置(图 3)。此时, 系统正常, 所有冷却器均可投入运行。

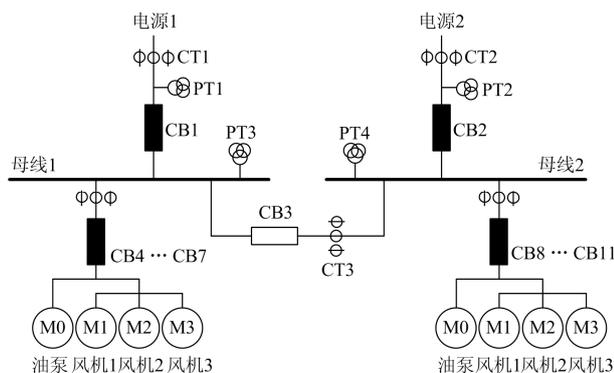


图 3 单母分段运行方式(1): 双电源并列运行

Fig. 3 Operation mode I of sectionalized single bus scheme: parallel operation of power supply

当进线 2 电源或者母线 2 发生故障, 导致母线 2 失压时, 启动分段备自投逻辑, 跳开进线 2 电源开关 CB2, 合上分段开关 CB3, 进入运行方式(2)。

当进线 1 电源或者母线 1 发生故障, 导致母线 1 失压时, 启动分段备自投逻辑, 跳开进线 1 电源开关 CB1, 合上分段开关 CB3, 进入运行方式(3)。

(2) 进线 1 电源带两段母线运行

进线 1 电源电压正常, 进线 2 电源故障失压, 两段母线电压正常, 进线 1 电源开关 CB1 处于合闸位置, 进线 2 电源开关 CB2 处于分闸位置, 母线分段开关 CB3 处于合闸位置(图 4)。此时, 进线 2 电源故障, 所有冷却器均可投入运行。

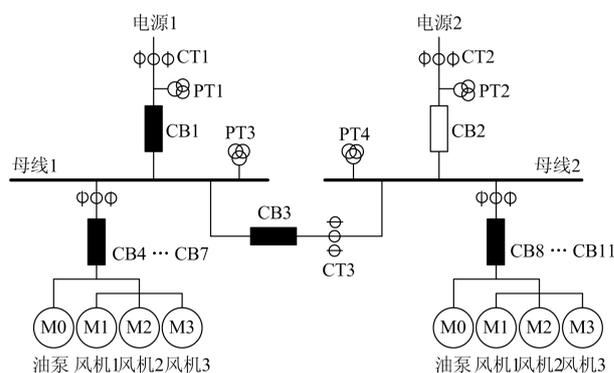


图 4 单母分段运行方式(2): 单电源 1 运行

Fig. 4 Operation mode II of sectionalized single bus scheme: single operation of power supply I

当母线 2 发生故障失压时, 由分段过流保护或者充电保护跳开分段开关 CB3, 进入运行方式(4)。

当母线 1 发生故障失压时, 跳开分段开关 CB3, 进线 1 电源开关保护动作(由空气开关或者上一级保护自动完成), 进入运行方式(6)。

当母线 1 无故障、母线 2 无故障、进线 2 电源电压恢复时, 启动分段自恢复逻辑, 断开分段开关 CB3, 合上进线 2 电源开关 CB2, 返回到运行方式(1)。

(3) 进线 2 电源带两段母线运行

进线 1 电源故障失压, 进线 2 电源电压正常, 两段母线电压正常, 进线 2 电源开关 CB2 处于合闸位置, 进线 1 电源开关 CB1 处于分闸位置, 母线分段开关 CB3 处于合闸位置(图 5)。此时, 进线 1 电源故障, 所有冷却器均可投入运行。

当母线 1 发生故障失压时, 由分段过流保护或者充电保护跳开分段开关 CB3, 进入运行方式(5)。

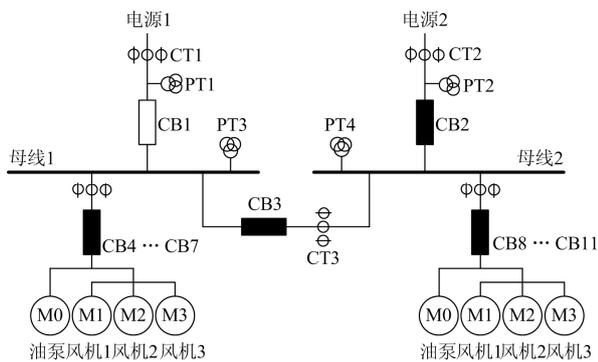


图 5 单母分段运行方式(3): 单电源 2 运行

Fig. 5 Operation mode III of sectionalized single bus scheme: single operation of power supply II

当母线 2 发生故障失压时,跳开分段开关 CB3,进线 2 电源开关保护动作(由空气开关或者上一级保护自动完成),进入运行方式(6)。

当母线 1 无故障、母线 2 无故障、进线 1 电源电压恢复时,启动分段自恢复逻辑,断开分段开关 CB3,合上进线 2 电源开关 CB2,返回到运行方式(1)。

(4) 进线 1 电源带母线 1 运行

进线 1 电源和母线 1 电压正常,进线 2 电源和母线 2 故障失压,进线 1 电源开关 CB1 处于合闸位置,进线 2 电源开关 CB2 处于分闸位置,母线分段开关 CB3 处于分闸位置(图 6)。此时,进线 2 电源和母线 2 故障,母线 1 上连接的冷却器可投入运行。

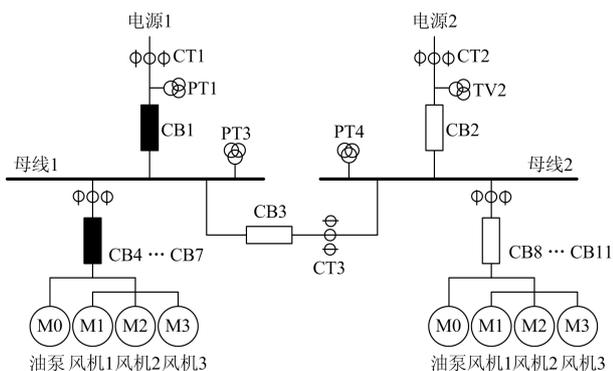


图 6 单母分段运行方式(4): 单电源 1 不完全运行

Fig. 6 Operation mode IV of sectionalized single bus scheme: single operation of power supply I with partial coolers running

当母线 1 发生故障失压时,风冷控制系统不做处理,由进线 2 电源开关 CB1 保护动作(由空气开关或者上一级保护自动完成),跳开进线 1 电源开关 CB1,进入运行方式(6)。

(5) 进线 2 带母线 2 运行

进线 2 电源和母线 2 电压正常,进线 1 电源和母线 1 故障失压,进线 2 电源开关 CB2 处于合闸位

置,进线 1 电源开关 CB1 处于分闸位置,母线分段开关 CB3 处于分闸位置(图 7)。此时,进线 1 电源和母线 1 故障,母线 2 上联接的冷却器可投入运行。

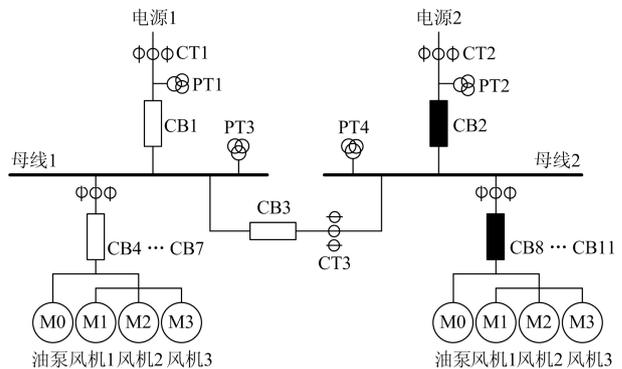


图 7 单母分段运行方式(5): 单电源不完全运行

Fig. 7 Operation mode V of sectionalized single bus scheme: single operation of power supply I with partial coolers running

当母线 2 发生故障失压,风冷控制系统不做处理,由进线 2 电源开关 CB2 保护动作(由空气开关或者上一级保护自动完成),跳开进线 2 电源开关 CB2,进入运行方式(6)。

(6) 两段母线同时停运

双回进线和两段母线均故障失压,进线 1 电源开关 CB1、进线 2 电源开关 CB2、母线分段开关 CB3 均处于分闸位置(图 8)。

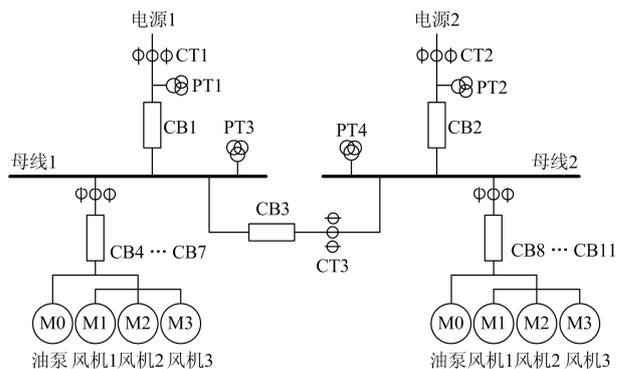


图 8 单母分段运行方式(6): 故障全停

Fig. 8 Operation mode VI of sectionalized single bus scheme: all coolers out-of-service due to system failure

此时冷却器失电全停,风冷控制系统不再做任何处理,等待人工检修,重新投入电源,恢复到正常运行状态后,再按运行方式(1)~(5)的情况,分别做逻辑和状态判断,实现相应的自动控制功能。

4 试验验证

为了验证改进后的系统功能和运行可靠性,我们试制了基于以上技术要求的变压器冷却器智能控

制装置, 并进行了相关的系统试验。试验中, 按照本文提出的各种运行方式, 构建了如下测试用例, 对系统进行了各项功能测试。

(1) 冷却器故障

整定冷却器过流保护定值 10 A, 过流保护延时 2 s, 分段保护定值 11 A, 分段保护延时 3 s。

初始状态为 CB1 合位、CB2 合位、CB3 分位, 两回进线和两段母线电压均为 220 V。试验时, 加三相电流 12 A, 电动机保护动作, 备自投不动作, 分段保护不动作(图 9)。

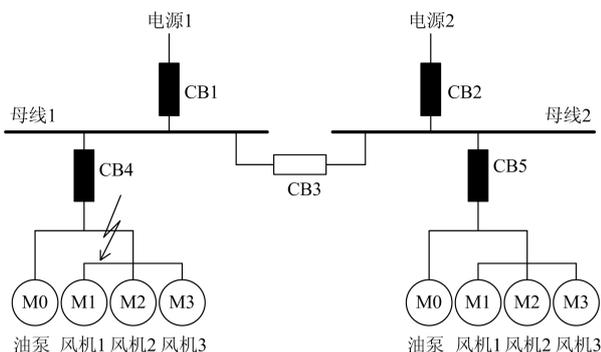


图 9 试验场景一: 冷却器故障

Fig. 9 Schematic diagram of the test case I: cooler fault

(2) 两回进线电源并列运行时的母线故障

整定备自投检无压定值为 15 V, 备自投跳闸延时 1 s, 备自投合闸延时 3 s, 自恢复跳闸延时 1 s, 自恢复合闸延时 3 s, 分段过流定值为 10 A。

初始状态为 CB1 合位、CB2 合位、CB3 分位, 两回进线和两段母线电压均为 220 V。备自投充电完成后, 进线 2 和母线 2 电压降为 0 V, 备自投动作, 跳开 CB2, 合上 CB3。自恢复充电完成后, 进线 2 电压恢复为 220 V, 自恢复动作, 跳开 CB3, 合上 CB2(图 10)。

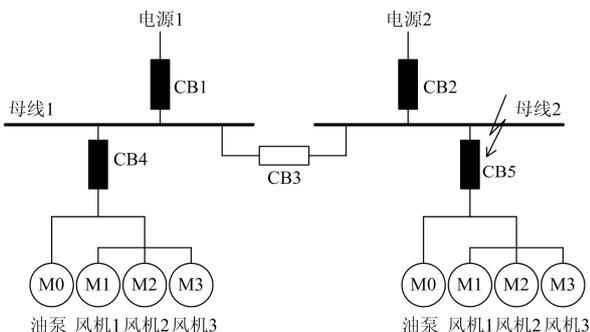


图 10 试验场景二: 进线电源并列运行时的母线故障

Fig. 10 Schematic diagram of the test case II: bus fault in parallel operation of line power supply

(3) 单回进线带两段母线运行时的母线故障

整定备自投检无压定值为 15 V, 备自投跳闸延时 1 s, 备自投合闸延时 3 s, 自恢复跳闸延时 1 s, 自恢复合闸延时 3 s, 分段过流定值为 10 A。

初始状态为 CB1 合位、CB2 分位、CB3 合位, 进线 1 电压 220 V, 进线 2 电压 0 V, 两段母线电压均为 220 V。试验时, 母线 2 电压降为 0 V, 分段电流升为 10 A, 分段保护动作, 跳开 CB3(图 11)。

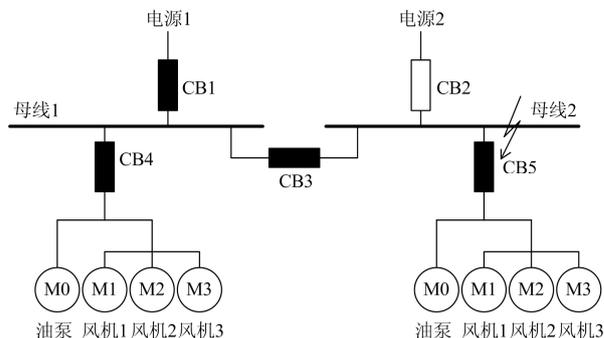


图 11 试验场景三: 单电源运行时的远端母线故障

Fig. 11 Schematic diagram of the test case III: remote terminal bus fault in single operation of line power supply

初始状态为 CB1 合位、CB2 分位、CB3 合位, 进线 1 电压 220 V, 进线 2 电压 0 V, 两段母线电压均为 220 V。试验时, 母线 1 电压降为 0 V, 分段电流降为 0 A, 备自投动作, 跳开 CB3(图 12)。

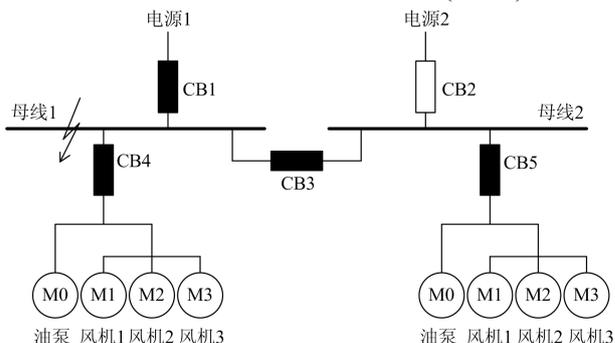


图 12 试验场景四: 单电源运行时的近端母线故障

Fig. 12 Schematic diagram of the test case IV: near terminal bus failure in single operation of line power supply

(4) 单回进线带一段母线运行时的母线故障

整定备自投检无压定值为 15 V, 备自投跳闸延时 1 s, 备自投合闸延时 3 s, 自恢复跳闸延时 1 s, 自恢复合闸延时 3 s, 分段过流定值为 10 A。

初始状态为 CB1 合位、CB2 分位、CB3 分位, 进线 1 和母线 1 的电压均为 220 V, 进线 2 和母线 2 的电压均为 0 V。试验 s 时, 母线 1 电压降为 0 V, 备自投不启动(图 13)。

以上试验中,系统均按预定逻辑,实现了相应的分段备自投、分段自恢复、分段过流保护等继电保护和自动控制操作。

试验结果表明,基于母线分段的变压器风冷控制系统,在发生母线故障时,能够精确地定位母线故障点,并自动跳开相关断路器,隔离故障段母线,有效避免冷却器全停的严重事故。

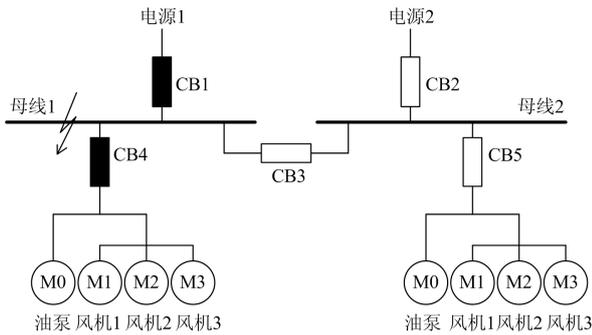


图 13 试验场景五: 单电源不完全运行时的母线故障

Fig. 13 Schematic diagram of the test case V: bus fault in single operation of power supply with partial coolers running

5 结论

本文针对目前典型变压器风冷控制系统的不足,提出了一种基于单母线分段接线的变压器风冷控制系统设计,并针对该控制系统的多种运行方式,提出了相应的自动控制与继电保护配置方案。

(1) 分析和试验结果表明,基于单母线分段接线的变压器风冷控制系统设计方案,在变压器风冷控制系统中出现母线故障时,可以准确定位并隔离故障点,避免造成风冷全停的严重事故,能够有效保证变压器的正常运行。

(2) 在母线分段接线的基础上,如何更加灵活地对两回进线电源进行自动切换,达到两回进线电源平衡运行以及连接到两段母线上的冷却器的平稳运行,是一个需要进一步研究的课题。

参考文献

[1] 崔家佩, 孟庆炎, 陈永芳, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

[2] 刘志远, 于晓军, 邹洪森, 等. 基于大规模信号采集的全新智能风冷控制方法[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(10): 99-103.

LIU Zhiyuan, YU Xiaojun, ZOU Hongsen, et al. A new intelligent air cooling control method based on large scale signal acquisition[J]. Power System and Clean Energy, 2016, 32(10): 99-103.

[3] 刘志远, 于晓军, 梁守硕, 等. 一种变压器风冷控制系

统多机保护定值整定方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 133-137.

LIU Zhiyuan, YU Xiaojun, LIANG Shoushuo, et al. A setting calculation scheme for multi-motors relay in transformer air cooling control system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 133-137.

[4] 康真, 张梅. 一种新型变压器风冷控制系统的设计[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(10): 23-25.

KANG Zhen, ZHANG Mei. A new design of transformer air-cooled control system[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(10): 23-25.

[5] 马江涛, 刘勇. 强迫油循环风冷变压器冷却器电源切换控制回路改进[J]. 变压器, 2010, 47(2): 34-36.

MA Jiangtao, LIU Yong. Improvement of power source switch and control circuit of cooler in forced-oil and forced-air cooling transformer[J]. Transformer, 2010, 47(2): 34-36.

[6] 肖磊磊, 林永宏, 查光年. 换流变压器冷却系统电源自动切换回路分析[J]. 南方电网技术, 2012, 6(2): 47-50.

XIAO Leilei, LIN Yonghong, ZHA Guangnian. Analysis of automatic power switching loop of converter transformer cooling system[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(2): 47-50.

[7] 胡晓静, 李志勇, 杨慧霞, 等. 换流站站用电备自投装置设计及整定[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(17): 145-148.

HU Xiaojing, LI Zhiyong, YANG Huixia, et al. Standby power supply automatic switching-on relay design and setting of converter station auxiliary power system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(17): 145-148.

[8] 高中德, 舒治淮, 王德林, 等. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[9] 张丰, 郭碧媛. 备自投装置在单母分段接线中应用存在的问题及解决措施[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 133-135.

ZHANG Feng, GUO Biyuan. The problem existing in automatic close-up device of stand-by power supply used in sectionalized single bus scheme and its solving measures[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(7): 133-135.

[10] 郭碧媛, 张丰. 110 kV 扩大内桥接线备自投逻辑分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7): 124-128.

GUO Biyuan, ZHANG Feng. Analysis of logic conditions of back-up switching equipment in 110 kV enlarging internal bridge main connection[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(7): 124-128.

[11] 苏宜强, 孔璐, 伏祥运, 等. 单母线分段接线中备用电

- 源自动投入装置的改进[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(22): 120-122.
- SU Yiqiang, KONG Lu, FU Xiangyun, et al. Improvement of automatic transfer switch for backup power supply used in sectionalized single-bus configuration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(22): 120-122.
- [12] 王莉, 张予鄂, 王娟, 等. 电网中备用电源自投装置的安全应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 225-231.
- WANG Li, ZHANG Yu'e, WANG Juan, et al. Safe application of auto-switch-on device of stand-by power supply[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 225-231.
- [13] 赵家庆, 霍雪松, 钱科军, 等. 基于功率负荷自适应的备自投实现方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(3): 50-53.
- ZHAO Jiaqing, HUO Xuesong, QIAN Kejun, et al. A Method of automatic switchover device based on self-adaptive electrical load[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(3): 50-53.
- [14] 杨启洪, 赵伟杰, 陈善文, 等. 备自投装置动作引起过负荷的解决方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 145-149.
- YANG Qihong, ZHAO Weijie, CHEN Shanwen, et al. Solution to overload caused by automatic bus transfer device action[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 145-149.
- [15] 梅华, 付连元. 主接线方式与备自投的选型及使用问题[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(21): 138-140.
- MEI Hua, FU Lianyuan. Application of automatic backup power system varying with main wiring diagram[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(21): 138-140.
- [16] 孙建华, 李国友, 姚捷. 自适应式备用电源自投装置的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 88-90.
- SUN Jianhua, LI Guoyou, YAO Jie. Research on the adaptive backup power switchover unit[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 88-90.
- [17] 邹德虎, 徐希, 闪鑫, 等. 基于集中校核与分散控制的备自投系统[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(21): 140-146.
- ZOU Dehu, XU Xi, SHAN Xin, et al. Centralized checking and decentralized control automatic switching system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(21): 140-146.
- [18] 郭亮, 李升健, 范瑞祥, 等. 配网线路开关分级保护配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(16): 155-164.
- GUO Liang, LI Shengjian, FAN Ruixiang, et al. Research on hierarchical protection configuration of distribution line switch[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(16): 155-164.
- [19] 马小珍. 一种改进的备自投逻辑[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(8): 149-151.
- MA Xiaozhen. An improved switching logic of auto-close scheme[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(8): 149-151.
- [20] 刘洋, 吴水兰, 朱若松, 等. 一种基于功率方向的智能变电站中低压母线保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 114-118.
- LIU Yang, WU Shuilan, ZHU Ruosong, et al. A scheme of mid-low voltage busbar protection based on power direction in intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 114-118.

收稿日期: 2018-08-09; 修回日期: 2018-09-20

作者简介:

张 华(1982—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为变压器及互感器; E-mail: zhanghua411@163.com

林茂君(1987—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为变电站直流及主变风冷技术; E-mail: 495574379@qq.com

张道农(1961—), 男, 教授级高级工程师/设计总工程师, 主要从事继电保护及安全自动装置的设计与研究以及大型工程项目的管理工作。E-mail: zhangdn@ncep.com.cn

(编辑 葛艳娜)