

★四川省一级期刊

• 万方数据数字化期刊群入网期刊

• 《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊

• 《中国期刊全文数据库》收录期刊

• 首届《CAJ-CD规范》执行优秀奖获奖期刊

• 北极星中华期刊网入网期刊

• 中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊

• 中国农村电气化信息网

• 重庆维普中文科技期刊数据库

• 《超星数字图书馆》入网期刊

• 《中国核心期刊(遴选)数据库》收录

四川電力技术

SICHUAN ELECTRIC POWER TECHNOLOGY



ISSN 1003-6954



9 771003 695005

四川省电机工程学会 四川电力试验研究院

Vol.34

2011

No.6

《四川电力技术》 编辑委员会名单

主任委员 王 平

副主任委员 张 伟

刘俊勇

委 员

(按姓氏笔画为序)

方文弟 王 卓 白家棣

刘 勇 朱白桦 朱国俊

朱 康 邓亚军 郭小端

李兴源 李建明 严 平

胡 灿 徐 波 唐茂林

韩晓言 谢 舫 甄 威

秘 书 李世平

吴小冬

四川电力技术

双月刊 1978 年创刊

中国标准连续出版号:

ISSN1003-6954

CN51-1315/TM

2011 年第 34 卷第 6 期(总 216 期)

主管单位:四川省电力公司

主办单位:四川省电机工程学会

四川电力试验研究院

发行范围:公开

主 编:胡 灿

副 主 编:吴小冬 谢 舫

编辑出版《四川电力技术》编辑部

发 行:四川电力试验研究院情报室

地 址:成都市青华路 24 号

邮政编码:610072 电话:(028) 87082037

传 真:(028) 87314278

E-mail:cdsdljs@163.com

印 刷:四川明源印务有限责任公司

封面设计:成都宏泰广告有限公司

国内定价:每册 6.00 元

[期刊基本参数] CN51-1315/TM* 1978*

b* A4* 94* zh* P* ¥6.00* 4300* 25*

2011-12

目 次

• 基金项目 •

光伏建模与并网仿真 陈向宜 王 彪 丁理杰 等(1)

发电机组小岛运行分析及对策 任天鸿 袁铁江 晁 勤 等(5)

关于功率外送型电网孤网高频后解决措施分析

..... 王 筱 晁 勤 吴茂乾 等(10)

• 电网技术 •

川渝断面失步解列装置配置研究 刘柏私(14)

基于无死区零序功率方向的纵联零序保护 习 伟 李天华(17)

鲁能哈密电厂关停对哈密电网的影响 薛劲莹 王 峰 张 锋 等(21)

静止无功补偿器对感应电动机负荷电压稳定性的影响

..... 李 康 康积涛 陈芝奔 等(26)

一起线路保护拒动的案例分析 李莹雯 周云峰(30)

断路器偷跳引起的重合闸反复动作 郭又华 赵 俊 朱 雨(32)

基于 weibull++ 的变压器寿命评估分析 阮 峰 王小明 甄 威(36)

基于新息图法的电力系统不正常事件识别方法 李子清 辛 旺 邓永红(40)

基于级联原子库的谐波分析方法 唐承志 代云华 何国军(43)

• 输配电技术 •

开关柜局部放电超高频检测中周期性窄带干扰的抑制研究与应用

..... 李建明 罗 高 王惠波(46)

110 kV 线路防雷治理方案及应用效果 吴晓晖(50)

超声波与高频脉冲电流相结合的变压器局部放电在线监测方法

..... 肖 勇 庞 军 周 波 等(53)

电网过电压监测装置的研究与应用 刘庆宁 罗 高 李建明 等(56)

分解法在变压器绝缘故障诊断中的应用 徐 伟 尧 广 李利红 等(60)

基于 UHF 法的变压器局部放电在线监测系统的开发 向天堂(63)

电网变电站直流系统蓄电池模型 黄 媛 吕 林 陈井锐 等(67)

华蓥山区输电线路防雷综合措施研究及实施方案 王家祥(71)

考虑电压暂降波形起始点特征的交流接触器暂降敏感度分析

..... 董 瑶(75)

浅谈断路器控制回路中的“防跳” 罗小渝(78)

• 电厂技术 •

一台 600 MW 发电机组厂用电率异常的分析与思考

..... 赵玉富 李 静 赵玉才 等(81)

一次机组进相运行试验的再讨论 梁 静 陈小夏 常喜强 等(85)

循环流化床锅炉布风板风帽技术改造 周其涛(89)

2011《四川电力技术》总目录 (92)

CONTENTS

Photovoltaic Modeling and Grid - connected Simulation	Chen Xiangyi Wang Biao Ding Lijie et al(1)
Analysis on Island Operation of Generator Set and Its Countermeasures	Ren Tianhong Yuan Tiejiaog Chao Qin et al(5)
Analysis on Solving Measures for High - frequency in Isolated Power Delivery Grid	Wang Xiao Chao Qin Wu Maoqian et al(10)
Study on Equipment Configuration of Out - of - step Islanding Interface for Chuan - Yu Power Grid	Liu Bosi(14)
Pilot Zero - sequence Protection Based on No - dead - time Zero - Sequence Power Direction	Xi Wei Li Tianhua(17)
Impact of Shutdown of LuNeng Hami Thermal Power Plant on Hami Power Grid	Xue Jinying Wang Feng Zhang Feng et al(21)
Impact of Static Var Compensator on Voltage Stability of Induction Motor Load	Li Kang Kang Jitao Chen Zhiben et al(26)
Analysis of Line Protection Malfunction	Li Yingwen Zhou Yunfeng(30)
Repeating Reclosing Caused by Non - fault Trip of Circuit Breaker	Guo Youhua Zhao Jun Zhu Yu(32)
Assessment and Analysis of Transformer Life Based on weibull + +	Ruan Feng Wang Xiaoming Zhen Wei(36)
Recognition Method for Abnormal Events in Power System Based on Innovation Graph Technique	Li Ziqing Xin Wang Deng Yonghong(40)
Harmonic Analysis Based on Cascade Atom Dictionary	Tang Chengzhi Dai Yunhua He Guojun(43)
Research on Suppression of Periodic Narrow - band Interference in UHF Partial Discharge Detection of Switchgear and Its Application	Li Jianming Luo Gao Wang Huibo(46)
Treatment Plan of Lightning Protection for 110 kV Transmission Line and Its Application Effect	Wu Xiaohui(50)
On - line Monitoring Method of Partial Discharge for Transformer Based on Ultrasonic and High - frequency Pulse Current	Xiao Yong Pang Jun Zhou Bo et al(53)
Research and Application of Over - voltage Monitoring Device of Power Grid	Liu Qingning Luo Gao Li Jianming et al(56)
Application of Decomposition Method to Insulation Fault Diagnosis of Transformer	Xu Wei Yao Guang Li Lihong et al(60)
Development of On - line Monitoring System for Transformer Partial Discharge Based on UHF Method	Xiang Tiantang(63)
Battery Model of DC System in Grid Substation	Huang Yuan Li Lin Chen Jinrui et al(67)
Research on Comprehensive Protection Measures against Lightning for Transmission Line in Huaying Mountainous Area and Its Implementation Scheme	Wang Jiaxiang(71)
Sensitivity Analysis of AC Contactor during Voltage Sag Considering Starting Point Features of Voltage Sag Waveform	Dong Rao(75)
Superficial Discussion on Anti - jumping of Control Circuit in Circuit Breaker	Luo Xiaoyu(78)
Analysis and Consideration for Abnormal Auxiliary Power Rate of A 600 MW Generating Unit	Zhao Yufu Li Jing Zhao Yucai et al(81)
Discussion on Leading Phase Operation of Generator Set	Liang Jing Chen Xiaoxia Chang Xiqiang et al(85)
Technical Reformation of Nozzle Button of Air Distributor in Circulating Fluidized Bed Boiler	Zhou Qitao(89)

SICHUAN ELECTRIC POWER
TECHNOLOGY

2011 Vol. 34 No. 6

(Ser. No. 216)

Bimonthly, Started in 1978

Address: No. 24, Qinghua Road, Chengdu, Sichuan, China

Postcode: 610072

Sponsor:

Sichuan Society of Electrical Engineering

Sichuan Test and Research Institute of Electrical Power

Editor in chief: Hu Can

Editor & Publisher:

Editorial Department of SICHUAN ELECTRIC POWER
TECHNOLOGY

光伏建模与并网仿真

陈向宜¹, 王 彪¹, 丁理杰¹, 李 锐², 邱晓燕²

(1. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:在 Matlab/Simulink 仿真环境下利用 S 函数, 开发了太阳能电池板的仿真模型, 其通用性强, 仿真速度快。该模型采用扰动算法实现光伏阵列的最大功率跟踪 (MPPT), 模拟了不同太阳辐射强度、环境温度下的 $I-V$ 、 $P-V$ 特性。并且利用该模型进行并网仿真, 仿真结果表明在短时间内光照强度的变化对光伏阵列的输出特性影响比温度更为突出, 同时直流侧输出电流能有效地跟踪光照强度、环境温度的变化, 并且交流侧的电流成正弦且谐波较小, 因此证明了所建模型的合理性和实用性。

关键词: 光伏阵列特性; S 函数; 扰动算法; 最大功率点跟踪 (MPPT); 单相并网; 谐波

Abstract: The photovoltaic (PV) array simulation model with good universal property and fast simulation is established using S-function in Matlab/Simulink simulation environment. Using the perturbation calculation method, the model can achieve the maximum power point track (MPPT) and can simulate the $I-V$ and $P-V$ characteristics of the actual photovoltaic modules at different radiant intensity and ambient temperatures. The model is used for the grid-connected simulation. The results of simulation show that the influence of changes in light intensity is more prominent than the temperature for the output characteristics of PV array within a short time, the output current can effectively track the changes of light intensity and ambient temperatures, the AC current becomes sinusoidal and the harmonics are smaller, which prove the rationality and practicability of the established model.

Key words: photovoltaic array characteristics; S-function; perturbation calculation method; maximum power point track (MPPT); single-phase grid connection; harmonics

中图分类号: TM864 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0001-04

0 引言

随着石化能源的消耗, 全球都在面临能源危机, 太阳能依靠其清洁、分布广泛等特点成为当今发展速度居第二位的能源^[1]。

20 世纪 90 年代末期以来, 太阳能光伏发电产品以 30% 的速度增长。中国光伏发电的地面应用始于 1973 年, 20 世纪 90 年代以来, 中国光伏电池的用量以 20% 以上的速度增长^[2]。太阳能光伏发电将是 21 世纪人类社会发展的一个重要领域。太阳能光伏电池造价昂贵, 如果在研发阶段采用真实的光伏电池阵列进行试验, 将会产生试验成本高、需要大量空旷场地和对日照、自然气候依赖性强等一系列问题, 不利于初期研究。

光伏发电系统的诸多优点, 引起国内外学者的广

泛研究。文献 [3、4] 提出了按照准稳态理论建立光伏发电系统的仿真模型, 并依此对系统的长期稳态性能进行评价。目前太阳能光伏发电的趋势已经由小型独立发电向大型并网系统发展, 由于太阳能的波动性和随机性, 光伏电站输出的电能波动很大, 随着这种分布式光伏并网电站的容量越来越大, 其输出功率的波动对电网的影响不容忽视, 这就需要在光伏并网发电系统的动态特性上进行研究。建立当太阳能辐射强度、环境温度变化时, 光伏发电系统的动态仿真模型, 改变以往按照准稳态理论对系统进行建模的方法。

在 Matlab/Simulink 仿真环境下利用 S 函数, 开发了太阳能电池板的仿真模型, 其通用性强, 仿真速度快。该模型采用扰动算法实现光伏阵列的最大功率跟踪 (maximum power point track, MPPT), 模拟了不同太阳辐射强度、环境温度下的 $I-V$ 、 $P-V$ 特性。利用该模型进行并网仿真, 仿真结果表明在短时间内光照强度的变化对光伏阵列的输出特性影响比温度更为突出, 同时直流侧输出电流能有效地跟踪光照强

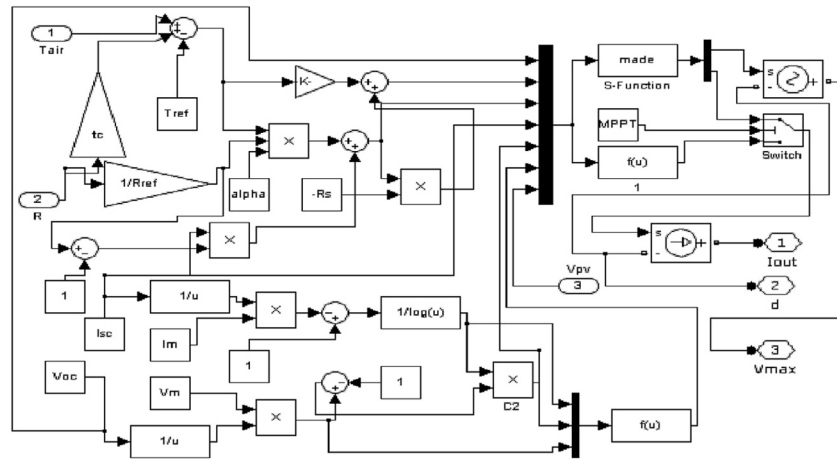


图1 光伏阵列 Matlab 仿真模块内部结构

度、环境温度的变化,而交流侧的电流成正弦且谐波较小,因而证明了所建模型的合理性和实用性。

1 光伏阵列仿真模型

在光伏发电系统设计过程中,为了更好分析光伏阵列的电性能,使其与光伏控制系统匹配,达到最佳的发电效果,则可为工作于各种条件的各种类型的光伏阵列建立起数学模型。通过这些数学关系反映光伏阵列各项参数的变化规律。所用的数学模型^[6]为

$$I = I_{sc} (1 - C_1 (e^{\frac{V-DV}{c_2 V_{oc}}} - 1)) + DI \quad (1)$$

$$C_1 = (1 - I_m / I_{sc}) e^{-\frac{V_M}{c_2 V_{oc}}} \quad (2)$$

$$C_2 = (V_m / V_{oc} - 1) / \ln(1 - I_m / I_{sc}) \quad (3)$$

$$DI = \alpha \cdot R / R_{ref} \cdot DT + (R / R_{ref} - 1) \cdot I_{sc} \quad (4)$$

$$DV = -\beta \cdot DT - R_s \cdot DI \quad (5)$$

$$DT = T_c - T_{ref} \quad (6)$$

其中 R_{ref} 、 T_{ref} 分别为光伏电池的太阳辐射强度和温度参考值,一般取为 1000 W/m^2 、 25°C 。在此参考条件下,各参数的含义如下。

α 为电流变化温度系数, $\mu\text{Amps}/^\circ\text{C}$; β 为电压变化温度系数, $\text{V}/^\circ\text{C}$; R_s 为光伏模块的串联电阻,它受光伏组件的串并联数影响,一般只有几欧姆; I_{sc} 为短路电流, A ; V_{oc} 为开路电压, V ; I_m 为最大功率点电流, A ; V_m 为最大功率点电压, V ; V 为光伏阵列的工作电压, V ; I 为光伏模块的工作电流, A ; R 为当前太阳辐射强度, W/m^2 。

当日射强度及电池温度 R (W/m^2)、 T_c ($^\circ\text{C}$) 不是参考日射强度和参考电池温度时,则应考虑环境温度条件对太阳电池特性的影响。根据大量数据拟

合^[11]得

$$T_c = T_{air} + t_c \cdot R \quad (7)$$

其中 T_{air} 为实时环境温度, $^\circ\text{C}$; t_c 为太阳电池模块的温度系数, $^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$, 常见的太阳电池支架通常取 0.03 。

基于上述数学模型,在 Matlab 环境下,利用 Simulink 工具结合编写 S 函数,建立了光伏阵列仿真模型,见图1;其中右上角的 made 模块,由 S 函数编写,实时求解任意太阳辐射、环境温度下太阳电池的最大电压和最大电流。图2为该模块的封装外观;其内部封装了参数 t_c 、MPPT、 T_{ref} 、 R_{ref} 、 α 、 β 、 I_{sc} 、 V_{oc} 、 I_m 、 V_m 等。

用户通过双击图2所示的图标设置不同的参数,从而构成不同 $I-V$ 特性的光伏阵列,而当用户选中 MPPT(最大功率跟踪)时, I_{out} 输出的就是最大功率点的电流,操作简单使用方便。

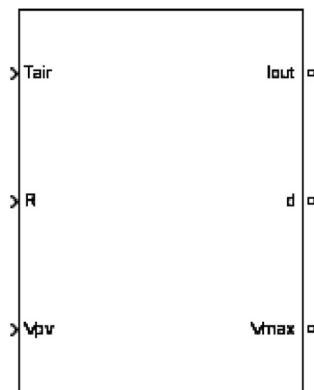


图2 光伏阵列 Matlab 仿真模型封装外观

2 最大功率点跟踪(MPPT)的实现

目前使用的光伏阵列最大功率点跟踪(MPPT)方法主要有恒电压法、牛顿迭代算法、扰动观察法以

及其他跟踪方法^[7-9]。恒电压法(CVT控制)忽略了温度对PV阵列输出特性的影响,以及平均太阳能辐射强度随季节的变化,逐渐被各种MPPT控制算法取代;牛顿迭代算法与初始值给定有较大关系,可能产生根的跃变,并且计算时间较长;因而这里采用结构简单、被测参数少、容易实现的工程常用方法——扰动观察法。通过对PV阵列输出电压施加一个扰动变化量^[10]来完成最大功率点跟踪。其控制流程图见图3。 V_n 和 P_n 分别为检测到的当前太阳能电池阵列电压值和功率值, V_b 和 P_b 分别为扰动后的光伏阵列电压值和功率值, ε 为判定精度, K_1 为扰动量,其中

$$P(V) = VI = VI_{sc} \left(1 - c_1 \left(e^{\frac{V-DV}{c_2 V_{oc}}} - 1 \right) \right) + DI = f(V)$$

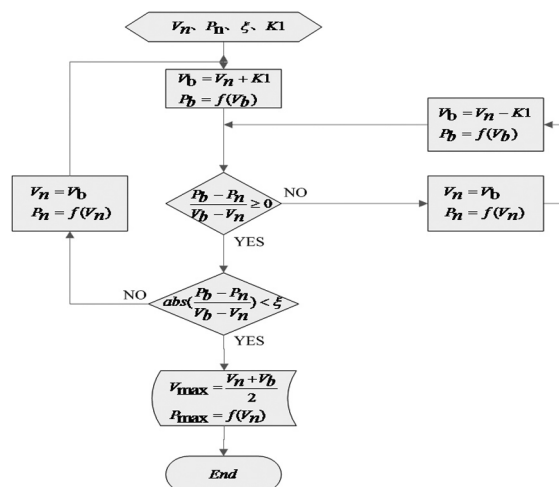


图3 扰动观察法流程图

3 光伏阵列单相并网分析

将上述仿真模型,用于单相光伏并网系统的动态仿真,参数^[12]设置如下。

$$\alpha = 0.015 \text{ Amps}/^\circ\text{C} \quad \beta = 0.7 \text{ V}/^\circ\text{C} \quad R_s = 2 \Omega \quad V_m = 300 \text{ V} \quad I_m = 10.25 \text{ A} \quad V_{oc} = 300 \text{ V} \quad I_{sc} = 10.65 \text{ A}$$

输入电压从0V线性增大到320V,分别在不同照度及温度下的仿真结果如图4、5所示。

由图4、5可知光照强度在600~1000W/m²时,最大功率点电压在288~300V,最大输出功率为1870~3040W。

下面对光强800W/m²,温度变化范围5~25℃的情况进行仿真,结果如图6、7所示。

由上面的仿真结果可以看出在一定的温度范围内,影响光伏发电系统性能的主要因素是光照强度。考虑更大的温度变化,分别取50℃、25℃、0℃时,仿

真结果如图8、图9所示。

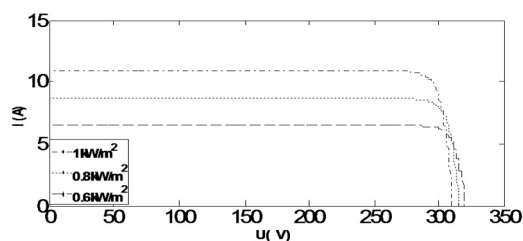


图4 $T_{air} = 25^\circ\text{C}$ 时不同光强下的I-V特性曲线

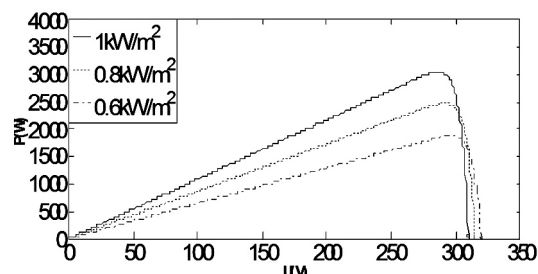


图5 $T_{air} = 25^\circ\text{C}$ 时不同光强下的P-V特性曲线

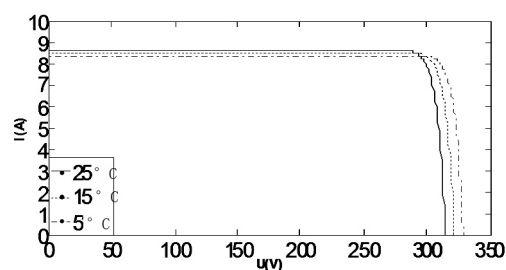


图6 $R = 800 \text{ W}/\text{m}^2$ 时不同温度下的I-V特性曲线

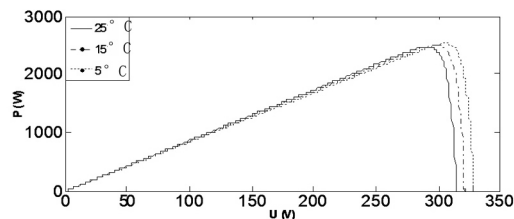


图7 $R = 800 \text{ W}/\text{m}^2$ 时不同温度下的P-V特性曲线

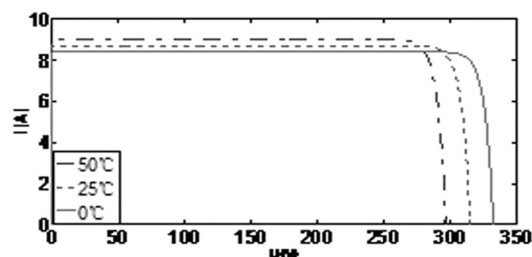


图8 $R = 800 \text{ W}/\text{m}^2$ 时不同温度下的I-V特性曲线

由图(8、9)可知,温度变化在0~50℃时,最大功率点电压在274~312V之间,最大输出功率在2378~2533W之间。可见温度的变化相对光照强度的变化对光伏阵列的输出特性影响小得多。则原参数不变,初始光照强度设置为1000W/m²,0.6s光伏强

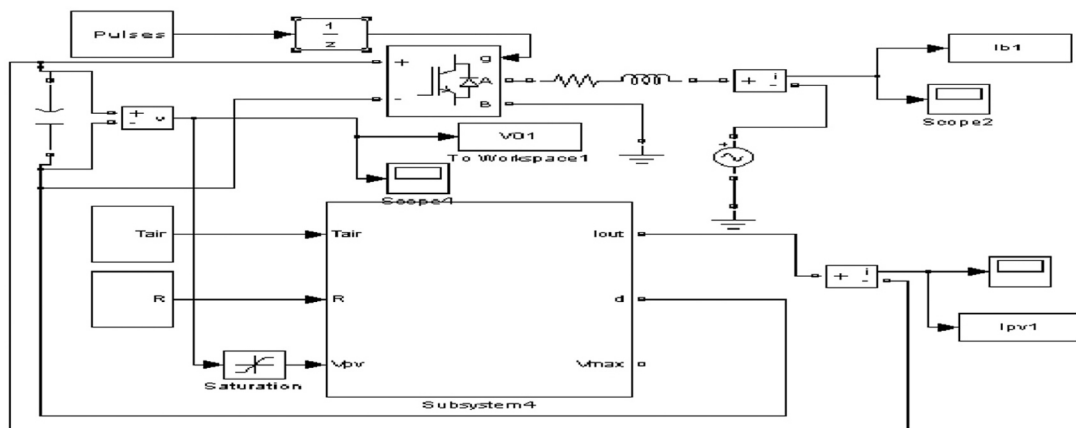


图 10 单相光伏并网 Matlab 仿真模型

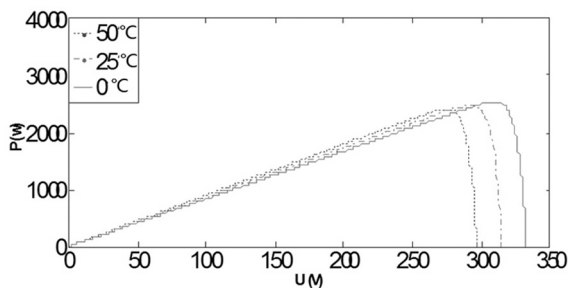


图 9 $R = 800 \text{ W/m}^2$ 时不同温度下的 $P-V$ 特性曲线
度下降到 800 W/m^2 , 1.2 s 下降到 600 W/m^2 , 初始温度设置为 25°C , 1.34 s 时温度开始下降。该系统的 Matlab 仿真模型如图 10 所示。

系统输入电源为所建立的光伏阵列模块。DC-AC 逆变模块为 Matlab 自带的通用逆变桥。得系统仿真如图 11 至图 13 所示。

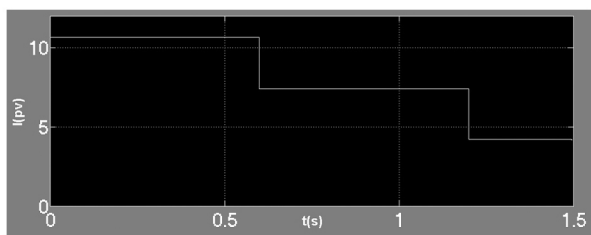


图 11 光伏阵列输出电流随外界条件的变化

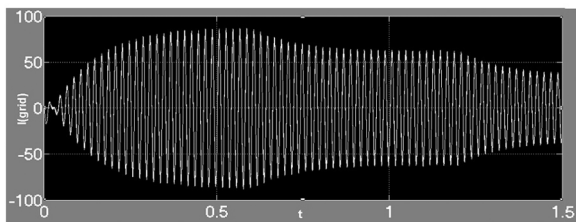


图 12 并网电流随光照强度、环境温度的变化

图 11 为光伏阵列输出电流随光照强度的变化情况。其输出电流从 10.65 A 分别降至 7.411 A 和 4.209 A 。图 12 可以明显看到并网电流随太阳强度

的减小而减小, 而小范围的温度变化对其影响并不明显, 图 13 的 FFT 分析显示电流总的畸变率只有 0.47% , 小于并网标准 5% 。

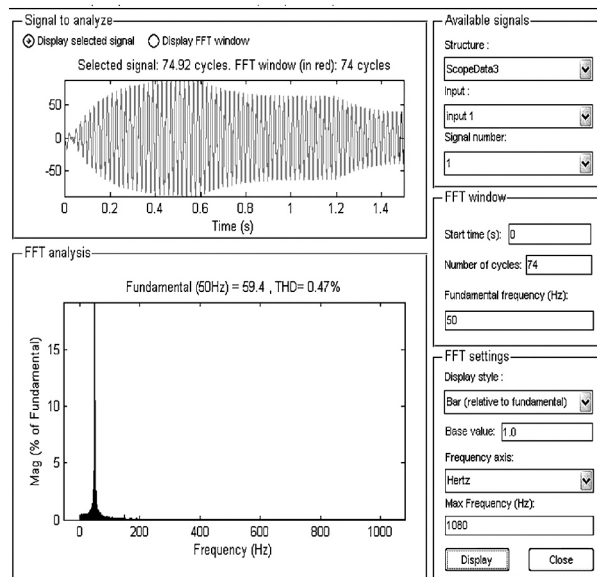


图 13 并网电流的快速傅里叶分析

4 结 论

前面给出了光伏模块的数学模型, 并且明确地将环境温度与太阳电池温度有效地区分开来, 并在此基础上利用 Matlab 的 S 函数建立了实用的光伏模块仿真模型。S 函数的运用可以发挥 Matlab 强大的运算体系, 自身也具有的一些独特的优点, 同时, 友好的参数输入界面、简洁的外观也是该模块的特点。且并网仿真结果表明在短时间内光照强度的变化对光伏阵列的输出特性影响比温度更为突出, 同时直流侧输出电 (下转第 20 页)

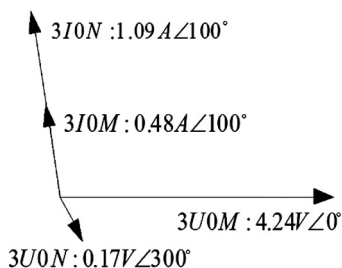


图4 零序向量图

结合图3、图4可分析出,在两侧零序电流均达到门槛值的前提条件下, M 侧零序电压大于门槛值1V,比较 M 侧零序电压电流相位,通过常规零序功率方向元件可判断为正方向,而 N 侧的零序电压约为0.17V,低于常规零序电压判断,必须使用无死区零序功率方向判断。将 N 侧故障量以及线路参数根据式(2)来验证,可知该判据满足,故障为正方向,在两侧均判断为正方向时,可通过纵联零序逻辑保证两侧可靠跳闸。本仿真试验表明了,在零序电压低于常规零序功率方向门槛时式(2)的正确性。

4 结 论

在介绍常规纵联零序方向的基础上,针对某些故

障情况下零序电压低于门槛值时,常规零序功率方向不适用的条件下,提出一种通过判断补偿点零序电压的与保护安装处的零序电压大小的方式,能有效判断出正反方向故障。仿真实验表明,该方案简单、可靠,并已经充分考虑运行时不平衡零序电压的影响,成为常规零序功率方向元件的重要补充,提高了纵联零序方向保护动作的可靠性。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第3版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [3] DL/T 478-92 静态继电保护及安全自动装置通用技术条件[S].
- [4] 丁晓兵, 赵曼勇, 徐振宇. 接地故障零序方向元件拒动改进方案[J]. 电力系统自动, 2006, 30(9): 88-90.

作者简介:

习伟(1980) 男, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究;

李天华(1948) 男, 教授级高级工程师, 从事电力系统继电保护的研究。

(收稿日期: 2011-09-13)

(上接第4页)

流能有效地跟踪光照强度、环境温度的变化,且交流侧的电流成正弦且谐波较小,证明了所建模型的合理性和实用性。

参考文献

- [1] OMANH. Space Solar Power Development[J]. IEEE AES Systems Magazine, 2000, 15(2): 3-8.
- [2] 崔容强, 赵春江, 吴达成. 并网太阳能光伏发电系统[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 7.
- [3] J. G. McGowan and J. F. Manwell. Hybrid Wind/PV/Diesel Power Systems Modeling and South American Applications[C]. WREC 1996.
- [4] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 风/光复合发电系统变结构仿真建模研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(3): 361-364.
- [5] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电使用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 4.
- [6] Platon Baltas. The Arizona University Photovoltaic Designer Program(ASUPVD)[Z]. Department of Electrical and Computer Engineering, Arizona State University, 1996.

- [7] 余世杰, 何慧若, 曹仁贤. 光伏水泵系统中CVT及MPPT的控制比较[J]. 太阳能学报, 1998, 19(4): 394-398.
- [8] 苑进社, 余世杰, 何慧若. CVT光伏水泵系统瞬态工作点特性分析[J]. 太阳能学报, 2002, 23(5): 554-556.
- [9] Masoum M A, Dehbonei H, Fuchs E F. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic System with Voltage and Current-based Maximum Power Point Tracking[J]. Power Engineering Review, IEEE, 2002, 22(8): 62-62.
- [10] 叶满园, 宫二勇. 以电导增量法实现MPPT的单级光伏并网逆变器[J]. 电力电子技术, 2004, 40(2): 30-32.
- [11] 苏建徽, 余世杰, 赵为, 等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报, 2001, 22(4): 409-412.
- [12] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 带有MPPT功能的光伏阵列Matlab通用仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1248-1251.

作者简介:

陈向宜(1976) 男, 工学博士, 四川电力科学研究院, 长期从事电力系统稳定分析及直流输电技术研究。

李锐(1988) 男, 硕士研究生, 研究方向为光伏并网及孤岛检测。

(收稿日期: 2011-08-22)

发电机组小岛运行分析及对策

任天鸿¹, 袁铁江¹, 晁勤¹, 常喜强²

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 新疆电力调度通信中心, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:发电厂厂用电在发电厂正常运行中起着至关重要的作用,它确保着主设备(锅炉、汽轮机或水轮机、发电机、核电站堆芯控制)和辅助设备的运行。厂用电一旦失电进入小岛运行状态,将对主辅设备的安全造成严重影响,甚至发生严重后果。结合电厂的实际情况及有可能遇到的各种事故,甚至灾难对发电厂小岛运行的影响进行分析讨论,提出需要注意的事项及解决方法,进而提高厂用电的安全可靠性,以期减少对设备及工作人员造成的影响与危害。

关键词:厂用电; 可靠性; 分析讨论

Abstract: The auxiliary power in power plant plays a crucial role in normal operation of power plant, which ensures the operation of main equipment (boiler, steam turbine or hydro turbine, generator, control of nuclear reactor core) and other auxiliary equipment. If the auxiliary power has lost the power, the power plant will come to an island operation and the security of main and auxiliary equipment will be severely affected, even resulting in a serious consequence. The actual situation of power plant, the kinds of potential accidents, even the influence of disasters on the island operation of power plant are discussed, and the remarkable matters and resolution methods are proposed so as to enhance the security and reliability of auxiliary power, which will reduce the effects and hazards on the staff and equipment.

Key words: auxiliary power; reliability; analysis and discussion

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0005-05

0 引言

电力在现代生活中扮演的角色日益重要,而作为整个电力系统的电源,发电厂的安全可靠运行需要安全、可靠运行的厂用电的支持。通常,厂用电由发电机经变压器对厂用负荷供电,根据发电厂的不同规模,有相应的设计接线方式,通常考虑了电源可靠性及经济性原则。但在进行设计时,通常对于极端气候条件及灾难的考虑会有所不足,如突发性洪水、海啸、地震等。这里将针对现有厂用电接线形式、设计思想,进行分析讨论,提出注意事项及相应的解决方案,具有一定的实际意义。

1 常见厂用电的供电方式及可靠性

发电厂的厂用工作电源是保证电厂正常运行的基本电源,该电源需满足供电可靠,而且应满足各种厂用负荷容量的需求,工作电源不少于两个。通常,

厂用电含有不同类型的负荷,这里,按照最严重情况考虑,讨论可靠性均为I类负荷的可靠性。

1.1 火电厂厂用电供电方式与可靠性

一般情况下,对火电厂厂用电有如下情况:对于小功率机组,通常取自发电机汇流母线,通过厂用变压器或者厂用电抗器引出,提供给厂用电负荷;而对发电功率大于200 MW的机组,发电机组通常采用分相封闭母线,此时,厂用电通常经由断路器取自配套变压器的低压侧,再经过厂用变压器或厂用电抗器提供给厂用电负荷。如图1所示。

火电厂还装设有备用电源和启动电源,该电源具有独立性及足够的容量,可以通过联络变压器或备用厂用电变压器从厂外专用线路引入,本厂厂用电出现故障的时候,可从外部电网获取厂用电。当增加外部电源引入时,电源的可靠性将得到显著提高。

厂用电的重要设备,通常还设有事故保安电源,用于发电机安全停机。此机组一般快速启动柴油发电机,当发电机不小于300 MW时,应设110 kV及以上专用线路,从外部引入,同时配置柴油发电机。

由图1所示接线方式,分别根据发电机组容量大小,将厂用电分别以不同电压等级提供给相应的负荷。

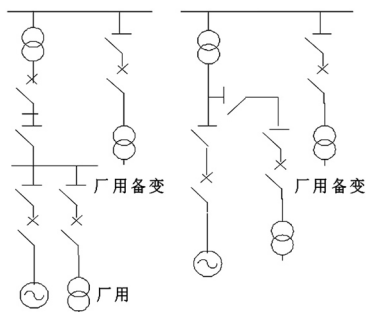


图1 火电厂厂用电常见接线方式

当出现厂用电厂内电源与外电源的切换时,应根据发电厂的不同情况进行切换。串联切换不产生电磁环网,但是存在着对厂用电的冲击,为减小对厂用电系统影响,应装设快速切换装置,根据电源电压与负荷电压之间的压差、频差、相角差及断路器的分、合闸时间,对快切装置的动作时间进行合理的整定;并联切换对负荷的影响很小,但会产生电磁环网,对厂用电电网产生冲击,在此情况下,应当尽量缩短操作时间,将冲击缩减到最小。

上述说明,发电厂厂用电在供电方式上具有较高可靠性,且相关的设计、标准、布置、工艺,均已考虑建筑安全、通风需求、防火控制等方面问题,已在发电厂大量使用。在一般情况下,足以应对可能发生的事故及相关影响。

1.2 水电厂厂用电供电方式与可靠性

水电厂的厂用电负荷在同样装机容量情况下,其厂用电容量及复杂程度均小于火电厂。但其可靠性及重要性依然不容忽视。因为其厂用电与其运行方式休戚相关,闸门控制、不同的运行方式,均对厂用电有不同的需求,尤其是当水电厂比较大,装设有船闸等较大负荷时,其可靠性尤显重要。

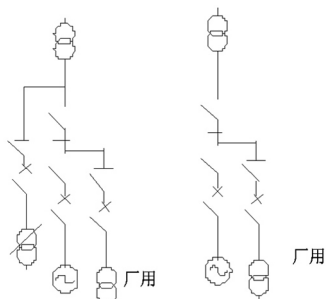


图2 水电厂厂用电常见接线方式

水电厂厂用电基本负荷包含水轮机调速系统、润滑系统、空气压缩机、发电机冷却及滑油系统泵、闸门启闭设备、照明设备等。厂用电的接线方式为单母线,分段供电,每段均由单独的厂用变压器供电。在变压器容量选择上,采用暗备用方式,来应对可能发

生的变压器故障。

在图2所示情况下,厂用电的电源具有较高可靠性,当其中一台厂用变压器发生故障时,整个系统中,变压器容量依然可以支持系统正常运转,其厂用电母线一般采用分段供电的方式进行布置,对于大容量水电站,一般采用每台机组一个分段来对厂用负荷进行供电。负荷侧可通过倒闸操作完成负荷转移,进而保障厂用电的连续性与可靠性。在水电厂中,除了要求保障机组控制系统及一般厂用电负荷之外,同时需要保障跟水电厂大坝休戚相关的防洪闸门的用电,即使在水电厂全厂停电的情况下,也应保障此类负荷的供电,以确保行洪保坝等操作的进行。因此,水电厂应当充分保障厂用电变压器的安全,在其选址、容量选择上给予充分考虑。从设计角度考虑,该方案在满足各种设计要求的情况下,可靠性、安全性可以满足水电厂的要求。

1.3 核电厂厂用电供电方式与可靠性

核电厂的电源系统和配电系统一起,共同构成厂用电系统,为厂内所有的用电设备提供可靠而安全的供电。

与常规电厂不同,核电厂的生产过程中使用可裂变及放射性的核燃料,核电厂的安全性尤为重要,并会产生一些特殊的安全问题:①有可能发生比设计功率高得多的超功率事故;②反应堆在运行中或停闭以后,都有很强的放射性;③反应堆在停堆以后有很强

的剩余发热;④核电站在运行过程中,会产生气态、液态及固态放射性废物,存在处理和储存问题。

由于核电厂的特殊性,在核电厂厂用电系统设计上,应有多重保证,足够的安全冗余。

如图3所示核机组,厂用电的简图满足以下原则:①采用独立的双重电力及其配电系统,使得其中一路电力及其配电系统故障不会波及到另一路,并使波及到厂外电网的可能性降低到最低程度;②对核安全至关重要的设备多重配置,并由独立的应急安全母线通过实体上分开的通道供电,使单项故障不影响应急安全系统和部件的运行能力;③紧急电源具有足够的独立性,同一机组的冗余安全系列之间,或者两个机组的任何两个系列之间不存在任何相互连接;④在发生设计基准事故时能承受自然灾害的影响,保证使执行电厂安全功能或维持安全停堆的主要设备不失去电源。

在此情况下,厂内柴油动力应急电源应满足在厂

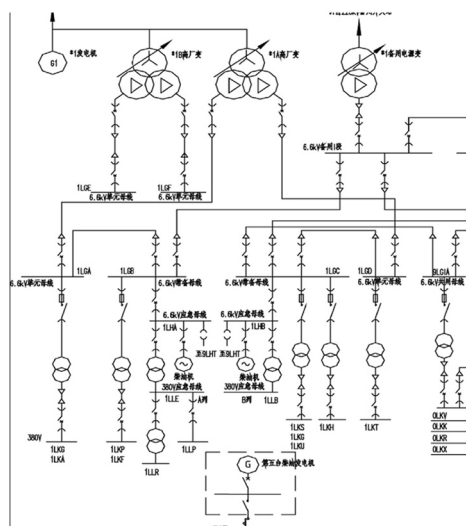


图3 核电厂厂用电常见接线方式

内主电源、辅电源均失电时,厂内应急柴油发电机组应能快速启动,向保证核电厂处于安全状态的厂用设备供电。而厂内配备的蓄电池组应保证在规定时间内向全厂和紧急停堆控制的设备提供可靠的直流电源。除此之外,还应在这些电源的基础上,设置厂区附加电源:①在一个核电单元机组失去全部厂外和厂内电源时,给所需的核辅助设备供电;②当一个核电单元机组中任何一台应急柴油发电机组不可用时,可由此柴油发电机组替代,执行应急柴油发电机组的功能。附加电源可以是多堆共用的。

以上论述及《核电厂设计安全规定》,是中国核电现行的标准与要求,是根据已有经验及核技术先进国家的经验进行的综合、相对完备合理。

综上所述,关系发电厂厂用电的关键设备均为:厂用电变压器及备用变压器,并采用柴油发电机组作为应急电源。其中核电厂采用了提高冗余的方法提高厂用电的可靠性。作为外引电源来说,线路安全与厂用变压器是关键。现行的输电线路较多地采用了同杆双回路,此类做法,在输电线路遭遇破坏时将导致双回线同时失电。故在厂用电的设计与施工时,应尽量做到不同回路在地理位置上尽量分开,从地理位置上较远的电源分别引入,加强塔杆抗灾能力,保证不同回路的安全。厂用变压器及备用变压器的配置应当充分考虑冗余容量及变压器本身的安全,在安装位置和灾害防护上做好防护,以抵抗灾害影响。

2 发电厂厂用电可能遭遇极端气候及破坏

中国将自然灾害分为6大类:气象灾害、海洋灾

害、洪水灾害、地质灾害、农作物生物灾害和森林火灾。

对于发电厂来说,可对其造成破坏与影响的灾害分别如下所示。

(1) 气象灾害

特大暴雨、热带气旋、雷暴、低温冰冻雨雪、雾霾天气是能够对电力设施运行产生严重影响的一系列因素。强降雨有助于清洁厂用电设施上的灰尘,有利于降低电晕及闪络的危险。但热带气旋所带来的强风可以将线路摧毁,从而造成外来厂用电电源的中断或接地短路故障,与此类似,雷暴对线路的影响可以造成瞬间跳闸或绝缘子损害,对于前者,可以通过自动重合闸恢复供电,而对于后者,将不可避免地造成永久停电。低温冰冻雨雪灾害是近年来中国南方地区所遭遇的极端气候影响之一。在这样的灾害面前,输电线路与电力设施首先遭遇接地短路及绝缘破坏,随之而来的是由于挂凌而造成的线路与设施的负重超过设计指标,进一步发展成线路垮塌、设备损害等严重事故,而相应的修复在灾害天气下,更显艰难。2008年的冰冻雨雪灾害中,很多设备及所用工具,需要由工作人员人工移动,至施工地点。在重污染地区,小雨及雾霾天气极有可能造成线路的闪络故障,此类故障只能通过对污染物清洁来消除故障。

(2) 海洋灾害

海洋灾害中可对电力设施造成损害的灾害分别有风暴潮与海啸。海水可严重地破坏设备的绝缘性,甚至造成变压器、断路器报废,严重时甚至可以直接摧毁相关的建筑物及线路的彻底损毁。日本福岛核电厂在遭遇了由地震引发的海啸,将福岛核电厂最后一根救命稻草——柴油应急发电机彻底摧毁,从而造成了不可挽救的后果。

(3) 洪水灾害

如上述影响,洪水灾害造成的影响与海洋灾害相似,造成的影响短期内难以消除,在这种灾害面前,电力设施尤显脆弱。在这种影响下,线路与电力设施的建造强度及高度将影响建筑受损情况。对于水电厂来说,其库容量及泄洪能力对水电厂的安全休戚相关,在极端情况下,洪水灾害可造成漫坝溃堤的严重事故。

(4) 地质灾害

可对电力设施与线路造成影响及损害的地质灾害有:崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、水土流失、地震。此类灾害对电力设施造成的损害为杆塔的损毁,建筑及相关设施的倒塌,甚至是泥石流过后淤泥的清理将

是十分繁重的任务。

(5) 森林火灾

森林火灾可对输电线路及选址靠近森林的发电厂造成影响。不论塔杆还是发电厂,都无法抵抗火灾,势必造成电力设施的损坏甚至威胁工作人员的生命安全。

3 提高厂用电系统抗灾能力及分布式电源的应用

在一般的设计及施工中,对发电厂的基础设施的抗震能力、防护等级、厂址的选择等条件通常根据当地气候、地质及可能的极端条件进行考虑。

上述的种种灾害都可以对在正常运行状态的发电厂造成严重影响,甚至与电网解列运行,影响系统的可靠运行。这样,就对发电厂厂用电的安全可靠造成了严重影响。针对以上种种可能,与其在遭受损失以后进行补救,不如在设计施工之初就将可能遭遇的情况考虑,将设计及防护工作提高,从根本上减小受损可能。

3.1 提高外接电源的可靠性

对于外接电源,应该尽量做到从不同的电源引入,加大引入线的地理间距,将同时遭受损失的可能减小,同时,在线路选址的时候,优化设计,根据可查资料中的最严重情况作为评估依据,根据电厂规模及重要程度,对总投资及可能扰动系统的程度综合考虑,尽可能地强化输电线路的保护,保障厂用电外来电源的可靠性。

加装除雪融冰装置,增加厂用电外接电源冗余。针对2008年的冰冻雨雪灾害,南方电网在遭受重大损失之后,引入了电热融冰除雪装置,经在线装置传回的实时线路情况,分别对线路进行负荷转移和除雪作业,将冰冻雨雪对线路的影响降低。

3.2 提高发电厂自身的抗灾能力

优化发电厂厂房及关键设施的选址,增强其防护及抗灾能力。

通常火电厂的磨煤机等辅助设备装设在发电厂厂房的底层,当发电厂遭遇重大气候或不可预知灾害影响,已经与外界电网完全断开成为小岛时,发电厂厂房底层的辅助设备就成为维持发电厂汽轮机继续运行,直至完全安全停机的重要保障。从设计角度对厂房安全进行多方面考虑,保障发电机组及相应设备的安全。

发电厂电气设备根据当地情况,适度地加入防震措施,如采用单自由度悬臂梁、多自由度悬臂梁、根据设备本身的自振频率、阻尼比、振型等固有特性进行精确计算,采取相应措施如加装阻尼器等措施提高抗灾能力。

当火电厂遭遇重大灾难影响,发电机组紧急停机,且厂房底层的辅助设备也遭损坏,无法维持蒸汽轮机的运行时,应急柴油机组必须迅速启动,并根据电厂的装机容量与机组要求,持续工作,提供可靠的电力给保安负荷如汽轮机盘车机和顶轴油泵、交流润滑油泵等重要设备,保证机组安全停机。这就要求发电厂在设计时,就应当充分考虑可能遇到的突发性灾害及地质情况,做到防患于未然。

水电厂发电机组通常安装在大坝内部,水库大坝的安全不仅关系着发电机、变压器、相应的控制设备安全,同时,更关系着大坝周边地区及下游地区的安全。当发电厂厂用电完全失电,失去对大坝闸门的控制时,突发性的降雨或洪水就可能超越库区有效库容,溢坝甚至冲毁大坝,对库区周边造成重大灾难。

突发暴雨与洪水易引发泥石流、山体滑坡等次生灾害,外引电源的线路必然受到牵连,故水电厂的外引电源线路也应如前火电厂所述,尽量提高电源及线路的可靠性。

大坝库区保安电源应有充足的容量,且应具有相对独立的配电系统,在主厂用电失电情况下,应能完全保障大坝闸门的操控与调节。

对于核电厂来说,该装置尤显重要。当遭遇重大灾害为保证安全而紧急停机时,若一切厂用电外接电源全部失电,无法短时恢复时,应急柴油发电机组应能迅速启动,并能够工作足够的时间,除了确保反应堆停止链式反应,还应能确保堆芯应急冷却系统(安注泵)、反应堆安全壳冷却系统(安全壳喷淋泵)、反应堆停堆冷却系统(余热导出泵)、设备冷却水系统(设备冷却水泵)、重要厂用水系统(重要厂用水泵)等系统工作至安全停机要求,应急柴油发电机被布置在特定的厂房内,这些厂房可以抵御洪水、地震、台风等自然灾害,可以经受飞机坠落,并受到安全保卫。同时电源设备本身也要求是抗震的1E级设备,并且其出线、电缆沟、电缆的选择都应当具有极高可靠性,如电缆沟遭遇洪水侵袭,电缆应具有相当的防护等级,保障供电可靠性,以确保机组安全,同时,在厂内应存放适当数量的电缆,用于应付因灾害而造成的电

缆损毁。积极采用新一代核电技术。福岛核电危机爆发以来,核电的安全性遭到了广泛质疑,作为第二代核电厂,反应堆的冷却需要外部电源提供,其应急柴油发电机的安装位置位于反应堆下方的厂房内,但其设计建造过程中未考虑遭遇10 m以上海啸时,核电厂所面临的问题与最后一道安全保障:应急柴油发电机的安全。从而在遭遇地震、海啸的双重打击之后,厂用电彻底失效,反应堆无法冷却,虽然已经停堆,但由于余热无法导出,一步步导致危机逐渐恶化,进而失控。

中国正在沿海建设并将向内陆推广的第三代AP1000核电技术采用了“非能动”安全系统,在反应堆上方装设多个千吨级水箱,一旦遭遇紧急情况,在交流电源和应急发电机损毁、完全失电情况下,能够进行自我冷却,确保堆芯及安全壳的安全与顺利冷却。将灾害造成的损失降至最小,并避免次生灾害的产生。对于水电厂,厂用电同样重要,其厂房布置与输电线路同样应该避免遭遇洪水、地质灾害的侵袭。

3.3 适当引入分布式电源

适当引入分布式电源,作为后备电源的补充。当出现超越设计设想的情况,厂用电线路或应急柴油发电机损坏时,该电源应能随时启动,可以设成固定式发电机,布置在重要设备周边,该发电机应具有极高的防护与可靠性,并配备简单配电装置,也可以应急发电车的方式灵活地布置在发电厂内安全地点,一旦有紧急情况发生,随时可以向重要设备供电。

上述几种方式分别从发电厂厂用电电源、电力设施本身及分布式电源的角度做了分析比较。电力设施本身的加固、线路加大安全冗余度等措施相对来说代价较高,但容易实现,有较高的可靠性;分布式电源做后备电源补充投资相对较低,但是发电厂小岛运行情况下,小岛电网的频率、电压等控制的难度增加,操作难度较大。当出现突发性灾害时,厂用电的任何一个环节出现问题都将对发电厂造成较大影响,故应当全面考虑,避免由其中的薄弱环节造成连锁反应,将故障扩大。电力系统的正常运行需要系统中各个环节的有效支持,每个环节的有效运行最终保障整个系统的有效运行。

发电厂在进行运行机制与体系的制定时,除了考虑正常运行,应当制定结合本厂实际情况的应急体系,作出应急方案,以应对可能发生的不测。并对所制定的方案进行可行性评估与演练,明确与落实相关

责任,形成定期检查制度,做到迅速响应,应对突发事件,尽量将损失减至最小。

在进行因灾损失评估时,应当全面考虑各种情况,而不仅限于发电厂本身,如:水电厂大坝发生意外时可能引发的次生洪灾、山体滑坡等;核电厂意外失电以后,核反应堆未能安全停堆而引爆安全壳,引起核泄漏造成的损失。以此为据,在发电厂设计、建造、运行时充分考虑各种因素,谨慎操作,避免发生日本福岛核电危机那样的灾难性事故。

4 结 语

居安思危,防患未然。电力设施的投入,在施工与建造过程中,也许部分标准、防护等级、相关设备的配置的提高会导致施工成本的大幅提高,但是相对于由于厂用电失电而造成的影响、损失,甚至是次生灾难的避免来说,该类方案的实施具有相当的实用性。在进行发电厂的方案评估时,应全面考虑发电厂小岛运行时可能遭遇的种种情况,并把对周边环境的影响也引入评估体系,将对灾害的设防放置在一个新的高度,避免连锁反应,将可能的灾害损失限制在最小的范围内。

参考文献

- [1] 范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [2] 陈茂生. 电力工程电气设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.
- [3] 冉慧敏. 核电厂电源系统高可靠性的实现[J]. 电气应用, 2006, 25(8): 124-127.
- [4] 马晓静. 核电站厂用电系统设计[J]. 电气技术, 2009(8): 151-156.
- [5] 张海雯, 曾祥辉. 岭澳核电站低压厂用电系统设计[J]. 东北电力技术, 2008, 29(7): 37-40.

作者简介:

任天鸿(1981),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向:电力系统稳定与控制;

袁铁江(1976),男,博士,研究方向为风力发电及其并网技术;

晁勤(1959),女,教授,博士生导师,主要从事电力系统综合自动化和并网风力发电系统稳定性等方面的研究和教学工作;

常喜强(1978),男,高级工程师,从事电力系统安全稳定分析工作。

(收稿日期:2011-07-18)

关于功率外送型电网孤网高频后解决措施分析

王筱¹, 晁勤¹, 吴茂乾¹, 常喜强², 郝红岩²

(1. 新疆大学 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 新疆电力调度通信中心 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:为了解决外送型电网大功率外送时联络线故障跳闸造成孤网高频的隐患,提高电网的频率稳定性,首先阐述了孤网高频问题及危害,然后针对性地提出了4种措施:切机、快速调节汽门、快速切辅机(runback, RB)和快速切负荷(fast cut back, FCB),对比分析每种措施的效果及对电网和发电厂的影响。并通过仿真分析,验证了各种措施的效果和差异性,最后得出在不同运行条件下各措施的利弊及适用范围,为今后外送型电网的安全稳定运行以及经济性提供了参考。

关键词:孤网; 高频; 频率稳定; 切机; 汽门; RB; FCB

Abstract: In order to solve the hidden troubles of high-frequency in isolated power grid caused by the tripping of the link line when outputting high power and to improve the stability of grid frequency, the high-frequency problems of isolated grid are described firstly as well as its harm, and then aiming at the problems, four measures are proposed, that is, generator tripping, fast adjusting port, runback(RB) and fast cut back(FCB). The effects of each measure and their influences on power grid and power plant are compared and analyzed. Through simulation analysis, the effects and differences of each measure are validated. The merits and demerits as well as the applicable scope of each measure are obtained in different operating condition, which provides a reference for the safe and stable operation and the economy of power delivery grid in the future.

Key words: isolated grid; high-frequency; frequency stabilization; generator tripping; port; runback(RB); fast cut back(FCB)

中图分类号:TM773 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0011-04

由于能源分布的不均衡,电源和负荷存在时空分布的差异性,电源和负荷增长的不同步,互联电网的规模不断扩大,电力大规模、大区域的优化调控成为现代能源优化的一部分。电力大规模远距离的传输存在一个送端系统(外送型电网),一个受端系统(受入型电网),当互联系统送电通道联系较弱时,如果两个电网间的联络线故障跳闸,该外送型电网就可能成为孤网运行,就会因突然失去大量负荷而造成发电功率过剩,若不及时采取措施,便会造成孤网内的高频问题,严重时导致电网内部的发电机组跳闸,造成先高频后低频的电网事故。因此,解决孤网内频率稳定问题,特别是高频问题,对保证电网安全稳定运行,提高输送能力和预防电网稳定破坏事故,具有重要的现实意义。

1 孤网高频问题分析

1.1 孤网概述

基金项目:新疆教育厅重点项目(XJEDU2009I04)

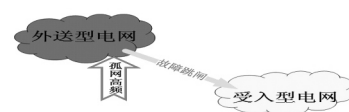


图1 外送型电网孤网示意图

孤网是孤立电网的简称,一般泛指脱离电网后形成的局部系统。孤网运行最突出的特点,是由联络线控制转变为频率控制,要求调速系统具有符合要求的静态特性、良好的稳定性和动态响应特性,以保证在用户负荷变化的情况下自动保持电网频率稳定^[1]。因此,系统进入孤网运行时,根据孤网内的电力是外送型还是纳入型,系统频率会相应进入高频和低频两种状态^[11]。

1.2 孤网高频危害

外送型电网在联络线故障跳闸后甩掉大量负荷,造成功率过剩,这必定会造成系统高频。如果该外送型电网主要由火电机组组成,面对高频故障,火电机组必须进行一系列的动作才能使频率稳定下来。如果没有应对措施,就会对发电机、汽轮机和锅炉等一系列相关设备的安全造成严重威胁。会造成汽轮发

电机的电压、频率和发电机转速不稳定,进而影响电能质量和安全系数。还会降低厂用电的可靠性,易引起全网大停电,且机组面临黑启动的危险^[7,8]。

2 孤网高频应对措施

从孤网高频问题的分析中可以看出,造成孤网高频问题的主要原因是孤网内功率过剩,因此,解决这一问题的根本就在于快速减少孤网内的过剩功率,即降低机组出力,最终实现孤网内的功率平衡。就此讨论目前采用的4种降低机组出力的措施:切机、快速调节汽门、切辅机(runback, RB)和快速切负荷(fast cut back, FCB)。下面分别介绍每种措施的效果及对电网和发电厂的影响。示意图如图2。

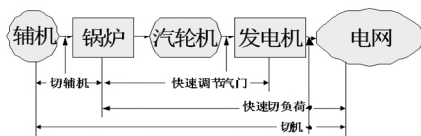


图2 4种措施作用点和影响范围示意图

2.1 切机

切机是指在发电机发生故障或者系统功率不平衡时,为保证机组的安全和系统的稳定运行而退出正在运行的故障发电机,采取的技术手段为利用稳控装置(或者机组高周保护)切机^[2]。其动作开关为切除发电机升压变压器高压侧或者发电机出口侧断路器。

发电机组切除后发电厂侧和电网侧都造成一定的影响。发电机转子(转轴)和锅炉是惯性时间很大的两个环节。一旦发电机切除后,其转轴上所加的反向电磁转矩立刻消失,而汽轮机对其输出的正向转矩依然存在。这就造成发电机转轴所受的转矩发生突变,对转轴以及与其同轴汽轮机的安全造成损害^[4,5]。同时,锅炉热力参数会不断上升,增加锅炉及相关辅机的运行压力,不得不释放出多余的热能,造成能源浪费^[3],需要较长时间才能恢复正常运行。

对于电网侧,切除一部分发电机,意味着向电网中注入电功率的点瞬间消失,即发电机组向电网注入的有功功率、无功功率均消失。

2.2 快速调节汽门

快速调节汽门是通过调节汽轮机主汽门的开度,大幅改变汽轮机的进汽量,进而改变发电机的出力,以此保障系统功率平衡和频率稳定。

由于汽轮机调速器的调节速度有限,进而限制了发电出力的调控速度。目前电厂中的主汽门开度

只能有3个状态:全开、半开和全闭,由此可以看出,快速调节汽门对于孤网高频问题的调频能力是有限的。另外,对于正常运行的发电机、汽轮机及锅炉等相关设备,突然将主汽门关闭一半或者完全关闭,会造成相应管道内压力突升,汽轮机叶片受力及轴向推力剧变,严重时造成通流部分磨损^[4]。将主汽门完全关闭,还可能造成发电机转为电动机运行,甚至失稳。

2.3 切辅机

电厂中的辅机,主要有泵、风机、换热器(加热器)、管道阀门等,它们是保证发电出力的重要元件,其运行状态直接影响着发电机组的出力。当机组主要辅机故障跳闸造成机组实发功率受到限制时(协调控制系统在自动状态),为适应设备出力,协调控制系统将强制将机组负荷减到尚在运行的辅机所能承受的负荷目标值^[10]。协调控制系统的该功能称为辅机故障减负荷,简称RB。

因此可以通过减少辅机个数或出力,来降低发电机的出力。通过RUNBACK试验,可以得出减少辅机个数或出力与发电机出力之间的对应关系,最终实现机组出力的平缓调节,同时大幅减轻锅炉、汽轮机以及发电机的冲击,进而解决孤网高频问题^[9,10]。

表1为某发电有限公司机组runback试验结果汇总表。从该表可以看出,切除辅机能够较快、较平缓地降低发电机出力,对电厂以及电网的影响最小。给水泵触发的RB工况对试验系统扰动最大,因为要维持汽包水位必须快速减去一定的机组负荷,维持主蒸汽压力,所以耗时最长。

图3为某600 MW汽包炉一次风机runback试验所得曲线。可以看出,机组实际负荷在RB指令下达后4 min即进入平稳状态,试验结果非常理想。

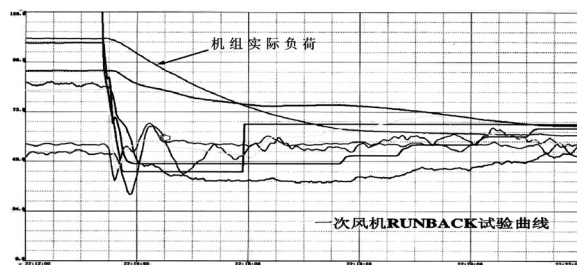


图3 一次风机 runback 试验曲线

2.4 快速切负荷

快速切负荷(FCB)是指火电机组运行在某一负荷时,瞬间甩掉全部对外供电负荷,不发生锅炉主燃料跳闸(MFT),用以维持“带厂用电孤岛运行”或“停

表 1 某发电有限公司机组 runback 试验结果表

试验项目	试验内容	负荷下降速度 /(MW/min)	负荷下降水平 /MW	试验结束 所用时间/ 负荷 变化率 < 3 MW/min	结果评定
磨煤机 RB 试验	磨煤机共 4 台 任跳 1 台	20	240(72%)	8min	试验合格可投运
	磨煤机共 4 台 任跳 2 台	30	240(72%)	5min	试验合格可投运
一次风机 RB 试验	一次风机共 2 台 任跳 1 台	50	181(55%)	11 min 40 sec	试验合格可投运
送风机 RB 试验	送风机共 2 台 任跳 1 台	50	165(50%)	5 min	试验合格可投运
引风机 RB 试验	引风机共 2 台 任跳 1 台	50	165(50%)	5 min	试验合格可投运
给水泵 RB 试验	给水泵共 2 台 任跳 1 台	140	165(50%)	25 min	试验合格可投运

机不停炉”的自动控制功能^[6]。

FCB 能够快速切除电网内的过剩功率输出,在快速减负荷的同时,能够使发电机转为带厂用电孤岛运行,保护机组安全,降低运行成本,保证机组能够随时恢复对外送电,大大缩短电网恢复时间,减小电网事故面积^[7,8]。

3 4 种措施的仿真比较

上述 4 种措施的比较如表 2 所示。

在某实际电网中,应用 PSASP6.28 仿真。故障设置为:电网在 0.5 s 时,发生外送联络线三相断线故障;在 0.7 s 时分别采用 4 种措施,在电网中的同一点监测系统频率响应以及电压响应,所得各措施对比曲线图分别如图 4、图 5。

对以上介绍的 4 种措施在调频时间数量级、涉及的电气量、主要影响点、优点、对系统造成的扰动类型及影响范围进行比较,根据仿真分析曲线可以明显地看出区别。

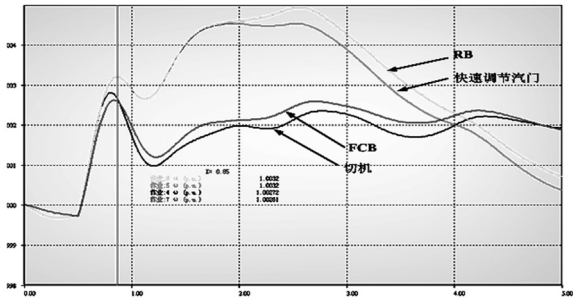


图 4 4 种措施下的系统频率响应对比曲线

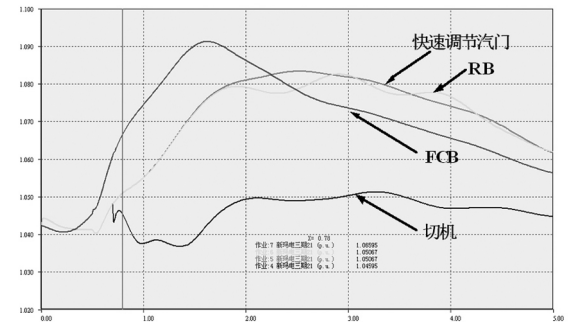


图 5 4 种措施下的系统电压响应对比曲线

表 2 4 种措施的比较

措施	快速性	涉及电气量	主要影响点	优点	扰动类型	影响范围	对发电系统的影响	电网侧
切机	毫秒级, 最快	断路器	锅炉、汽轮机、电网	快速、直接	突变	最大	需进行发电机、汽轮机、锅炉的配合, 配合不好, 对发电机影响大	电网侧失去有功功率和无功功率
快速调节汽门	秒级较快	主汽门	锅炉、发电机	不停机、不停炉	阶变(半关、全闭)	较大	需协调汽轮机系统	电网侧失去有功功率
切辅机	分钟级, 较慢	辅机开关	锅炉	经济、平缓调节	线性	最小	需协调辅机系统	电网侧失去有功功率
快速切负荷	秒级 较快	断路器	锅炉、汽轮机、电网	停机不停炉	突变	较大	需进行发电机、汽轮机、锅炉的配合	电网侧失去有功功率和无功功率

切机对抑制高频效果最好,但是其对枢纽点电压有一定的影响,由于程序无法模拟对汽轮机和锅炉的影响。只能通过区域稳控系统动作后对发电厂的影响进行了解。

FCB措施与切机措施的适用故障相同,仿真曲线变化趋势基本相同。但相比而言其优点在于能够实现停机不停炉,从而保证系统在需要投入机组时,机组能够快速恢复运行。另外,从图5可以看出,进行FCB后,依然能为机组所在母线的电压提供一定的支撑。但如果FCB控制策略不完善,容易造成锅炉压力突升、汽轮机超速和“鼓风”效应的出现,需要有一定的汽轮机旁路容量。因此FCB功能实现的效果取决于汽轮机凝汽器及机炉系统设备和管道的容量,这就对于锅炉和汽轮机提出了较高的要求。

快速调节汽门措施和RB措施虽然对抑制频率也有一定的效果,但是可以看出抑制幅度有限,对电压的影响程度小于前者。

通过比较可以看出,切机措施可以用在高频问题非常突出、需要快速切除机组的场合下,其效果明显,但要注意被切除机组所在地区中枢点母线的电压的变化,避免派生出电压问题。

快速调节汽门措施、RB措施可以在高频问题相对突出、但有一定允许时间裕度、且有功率过剩幅度在调速器、RB措施可调能力范围之内的场合适用,也可在短时不至于威胁系统安全稳定时采用,它对系统频率、电压的扰动几乎呈线性变化,但调节所需时间较长;RB措施就系统频率响应速度而言,略微滞后于前者。如对待发电厂送出线路 $N-1$ 过载、联络通道 $N-1$ 过载切机的场合。

FCB总体说来可以解决时间允许下的高频问题。从仿真结果中可以看出,其与快速调节汽门措施的变化趋势基本相同,其更大的好处是对发电机组危害最小,对于系统侧来说可以实现短时迅速并网,相对于前面三者,实现了发电厂和电网侧的双赢。但它同样和切机有类似的问题,需注意被切除机组所在地区中枢点母线的电压的变化,避免派生出电压问题。

4种措施各有优缺点,应针对不同的电网、不同的运行状况、不同的故障高频程度,选择不同的方案,同时也可以将几种方案优化组合,最大程度地减少对电网的影响和发电厂的影响。如采取部分切机(或FCB)、部分快关汽门减出力(或RB),在对电压要求高、敏感性强的地区采取快关汽门减出力(或RB),

在电压稳定性较高的地区,采取切机(或FCB),实现电网频率稳定及安全稳定运行。

此外,在发电厂送出,或者电网重要联络线断面送出生 $N-1$ 过载时,也可以采取以上方案,由于线路过载在一定的程度内,是可以允许有一定的时间的,可以利用这一点,优先采取快关汽门(或RB),利用快速调节汽门和RB的优势,结合过载能力裕度时间和程度,采取完善的控制策略,减少对发电机的影响,减少对电网的影响。

4 结论及建议

基于外送型电网孤网运行时出现的高频问题针对性地提出了4种应对措施,详细分析了各措施的利弊并进行了对比,得出了各自的利弊及适用范围。通过比较分析,提出针对不同的问题采取不同的方案,以及可以采取的组合方案,配以完善的控制策略,不仅能有效解决孤网高频问题,充分发挥电网输送能力,还能减少对锅炉、汽轮机、发电机和电网的冲击。

同时引申到线路过载问题,在采取切机措施时,可以利用快速调节汽门和RB的优势,结合过载能力裕度时间和程度,采取完善的控制策略,保证不停机也不停炉,具有较高的经济性,能减少资源的浪费。

前面提出的4种措施各具利弊,可以为解决外送型电网的孤网高频问题、线路过载问题提供参考和借鉴,具有较高的应用价值。

参考文献

- [1] 蒋甲丁. 孤网运行问题探讨[J]. 新疆电力技术, 2008, 3(24): 24-26.
- [2] 周川梅, 孙斌. 贵州主网及地区电网孤网运行安全稳定措施研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(19): 29-32.
- [3] 范录勋. 孤立电网频率稳定问题探讨[J]. 蒲白科技, 1996(1): 33-36.
- [4] DL/T 609-1996, 300 MW级汽轮机运行导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [5] 姚金环. 对FCB若干问题的探讨[J]. 中国电力, 2007, 40(5): 59-62.
- [6] 高洵. 从“8·14”美加大停电看保电网安全的第三道防线[J]. 华北电力技术, 2004(7): 5-6, 44.

(下转第35页)

压力低闭锁时该相偷跳引起前面所述重合闸反复动作,造成断路器“跳跃”现象,也可将各相“断路器合闸压力低闭锁”接点并联接入操作箱“压力降低禁止重合”回路,当任意相断路器合闸压力低闭锁发生时即对 RCS-921C 重合闸放电,任意相断路器偷跳都不能再起动重合闸。该回路另外一个好处是当任意相断路器合闸压力低闭锁时,发生任何故障直接三相跳闸,不再需要等到机构非全相继电器动作跳开三相断路器,可以缩短断路器三相跳闸的时间。相反如果某相断路器合闸压力低闭锁时不采取措施,该相单相故障时线路保护选跳故障相,重合闸动作,但故障相断路器因合闸压力不足而拒合,最后才由机构非全相继电器动作跳开断路器余相,增加了断路器非全相运行的时间。虽然一相断路器合闸压力低闭锁时其他相仍然具备重合闸的条件,但是从运行角度考虑,此时也应将断路器停运检修而不是让其坚持运行,因此任一相断路器合闸压力低闭锁时即对 RCS-921C 重合闸放电利大于弊。增加该回路也并不会影响自适应重合闸在相间故障时的顺序动作行为,对此不再展开论述。

5 结 论

根据分析,将各相“断路器合闸压力低闭锁”接点并联接入操作箱“压力降低禁止重合”回路,任意相断路器发生合闸压力低闭锁时即对 RCS-921C 重合闸放电,增加了某相合闸压力低闭锁时再故障情况下线路保护跳开三相断路器的快速性。相对于断路器合闸压力低闭锁时不采取措施,该方案更为合理。另外,将机构非全相继电器动作后一对能够保持的动合接点接入 RCS-921C 装置“闭锁重合闸”开入对 RCS-921 重合闸放电,可以有效避免由各种原因导

致断路器合闸回路断线时再发生故障或偷跳引起的重合闸反复动作、致使断路器周期性“跳跃”的现象,而且不会因此带来其他问题。

虽然某相断路器合闸回路断线时合并发生该相故障或偷跳的可能性很小,但是并非不存在这种事故,如果前面所述的断路器类似“跳跃”现象一旦发生,极可能造成非常严重的后果,对断路器本身乃至电网的安全都构成重大威胁,因此继电保护仍不得不加以重视和防范。继电保护技术人员应针对不同断路器的特性,综合考虑二次回路,分清矛盾的主次,尽量避免不利情况的发生。另外在解决断路器问题的同时,也要注意不能引起其他问题。

参考文献

- [1] 肖明,卢建勇,马应成.小浪底电厂开关偷跳原因分析与处理[J].人民黄河,2010,32(8):130-131.
- [2] 于广耀,于金立.断路器偷跳远方切机研究[J].继电器,2008,36(4):81-83.
- [3] 王德志.一起330 kV 断路器偷跳事件的分析及改进[J].电力系统保护与控制,2010,38(5):119-120.
- [4] 王宏茹,甘红庆,郭剑黎,等.一起开关偷跳重合闸不动作的分析和改进[J].电力系统保护与控制,2009,37(24):201-206.
- [5] RCS-921C 型断路器失灵保护及自动重合闸装置技术说明书.

作者简介:

郭又华(1979)男,硕士,工程师,从事继电保护、电测仪表工作;

赵俊(1984)男,硕士,助理工程师,从事继电保护工作;

朱雨(1978)女,学士,工程师,从事继电保护管理工作。

(收稿日期:2011-06-16)

(上接第13页)

- [7] 李飏.火电机组 OPC 超速保护动作特性分析[J].电力安全技术,2005,7(12):21-22.
- [8] 吴琛,李文云,杨强,等.云南电网高频率问题与火电机组 OPC 功能协调配合研究[J].云南电力技术,2005,33(6):1-3.
- [9] 罗志浩,王达峰,姚文伟.600 MW 机组 RB 功能试验及其分析[J].热力发电,2009,38(12):64-67.
- [10] 黄宗君,晁剑,李兴源,等.贵阳南部电网高频

问题与超速保护器仿真研究[J].电网技术,2007,31(15):26-32.

- [11] 袁季修.电力系统安全稳定控制[M].北京:中国电力出版社,1996.

作者简介:

王筱(1988)男,陕西安康人,硕士,主要从事电力系统稳定与控制方面研究;

晁勤(1959)女,教授,博士生导师,主要从事电力系统综合自动化和并网风力发电系统稳定性等方面的研究和教学工作。

(收稿日期:2011-07-26)

川渝断面失步解列装置配置研究

刘柏私

(四川电力调度中心 四川 成都 610041)

摘要:对当前中国电网中常用的失步解列装置及其原理进行了综述和说明。同时,对川渝断面失步解列装置配置的可能性及其效果进行了计算和分析。

关键词:电网;失步解列;装置配置

Abstract: The out-of-step islanding equipments commonly used in power grid in China are summarized and described as well as their theories. At the same time, the probability of equipment configuration for out-of-step islanding interface of Chuan-Yu power grid and its effects are calculated and analyzed.

Key words: power grid; out-of-step islanding; equipment configuration

中图分类号:TM712 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0014-03

0 引言

失步解列作为电网第三道防线的重要防御措施,主要是为了防范在可能的极其严重故障下,系统稳定被破坏后,将系统中失步的机群解列,防止事故范围扩大,从而避免系统崩溃而造成长时间大面积停电^[1]。

电力系统中存在的潜在失稳模式,与所发生的故障密切相关。合理故障集的设立原则主要包括:①《电力系统安全稳定导则》规定的第三级标准故障;②研究国内外大停电事故前因后果,故障集中包括导致发生大停电的故障;③结合所研究电网的特点,建立连锁故障或多重故障集。

传统的解列判据通常适应采取边缘联网模式的弱联系统。但随着大区电网联系的日益紧密,联络断面通常由多条联络线组成。研究大区电网解列控制方案,必须要结合所研究电网的特点,研究传统判据在复杂大电网中的适应性;如有必要,还须对原有判据进行改进或者研究新的解列判据^[2]。

紧密互联的大区电网中,除了被解列断面通常由多条输电线路组成这一特点外,由于电网中可能存在多个潜在失稳模式,因此还可能需在电网内部多个失步断面装设解列装置。当电网发生失步振荡时,可能由于振荡中心偏移,不完全落在所配置的失步断面上,导致解列装置不能及时地将失步机组解列;或者

多个断面的失步解列装置都能检测到系统失步,造成电网的无序解列。因此,必须注重研究解列装置间的协调控制策略,以保证大电网解列控制系统的安全性、可靠性。

解列装置的协调配合主要包括同一断面内部各解列装置间的协调和各断面间装置的协调配合两个方面。断面内部各装置的协调,重点是保证断面内各装置不拒动、不误动。而断面间协调配合的重点是保证各断面有序动作,防止电网在大扰动下无序解列。除了通过设置装置不同定值根据就地量来进行协调配合外,还可利用通信系统进行信息交换来实现各装置间的协调配合。

解列控制作为一种系统性的保护控制措施,应从系统的角度出发,综合研究解列控制方案,而不应单单将着眼点放在单个装置或局部断面上。通常,可通过将分散安装的失步解列装置通过快速通信系统组合起来,构成一个完整的失步解列系统,结合广域信息和就地量信息,来实现系统内所有解列装置的协调动作。

通常情况下,电网解列后各子网能保持稳定运行。但在某些情况下,解列失步断面后,振荡中心附近机组仍可能发生相继失步,并在解列后的子网中激发出新的失稳模式,因此须深入研究解列后孤网的稳定控制措施,例如,可采取主动的切机控制来抑制多数机组相继失步,其中主动切机控制判据的制定,是关键所在。

其次,传统的第三道防线,在系统解列后,受端通常由低频、低压减载装置根据离线的整定值切除相应的负荷,而送端通常由高周保护切机来解决解列后孤网的功率平衡问题。目前低频、低压减载装置基本上没有考虑电压和频率的相互关联性,可能导致严重的过切或欠切现象发生。运行经验表明,当有功功率缺额较大时,在发生频率崩溃的同时,还可能发生电压崩溃,甚至电压崩溃快于频率崩溃,出现电压全面降低,运行机组全面过电流,而系统频率下降并不严重的现象,使得低频减载装置不满足动作条件。此外,当频率或电压变化速率过大时,可能导致减载装置或机组高周保护功能的闭锁,而且,在中国实际系统运行中也曾发生了送端电网故障解列后,高周保护装置由于频率变化速度过快而闭锁的情况^[3]。

1 解列装置简介

1.1 南瑞稳定UFV系列失步解列装置

南瑞稳定UFV系列解列装置主要采用相位角原理失步振荡判据。基于视在相位角失步判据是利用解列装置安装处测量的电压和电流的夹角随等值电势功角差的正向渐增或负向渐减而变化的规律,来判断系统振荡的情况,当振荡中心落在装置的正反方向时,相位角有不同的变化规律,所以该判据可以有效地判别振荡中心的方向。

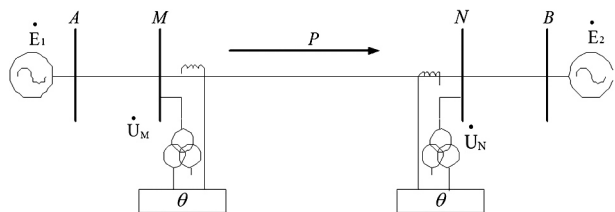


图1 失步解列装置示意图

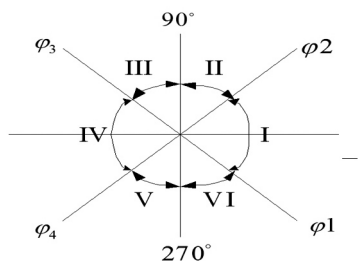


图2 线路视在阻抗角判断区分

失步周期整定和振荡中心方向判断将线路视在阻抗角可能的变化范围划分为6个区,如图2所示。 $\varphi_1 \sim \varphi_2$ 之间为I区, $\varphi_2 \sim 90^\circ$ 之间为II区, $90^\circ \sim \varphi_3$ 之

间为III区, $\varphi_3 \sim \varphi_4$ 之间为IV区, $\varphi_4 \sim 270^\circ$ 之间为V区, $270^\circ \sim \varphi_1$ 之间为VI区。正常情况下,系统一般运行在I区或者IV区。

根据图1,具体的失步判别方法如下。

1) 装在M端失步解列装置正常工作时,运行在I区,从I区开始按顺序经过II区、III区、IV区,则认为经历一个失步振荡周期;振荡中心位于该装置的正方向,即落在M-N联络线或B-N上。

2) 装在N端失步解列装置正常工作时,运行在IV区,从IV区开始按顺序经过III区、II区、I区,则认为经历一个振荡周期;振荡中心位于该装置的反方向,即落在M-N联络线或A-M上。

3) M侧解列装置正常运行在I区时,从I区开始突变到IV区(或跨越II、III中的一个区),再回I区,则认为经历了一个失步振荡周期;振荡中心落在M端失步解列装置附近。

4) N侧解列装置正常运行在IV区时,从IV区开始突变到I区(或跨越II、III中的一个区),再回IV区,则认为经历一个失步振荡周期;振荡中心落在N端失步解列装置附近。

当考虑本断面解列装置和相临断面装置配合,作为相临断面的后备保护,即振荡中心落在装置装设断面的相邻断面时,失步周期整定规律如下。

1) 当振荡中心落在A-M断面时,M侧解列装置正常运行在I区时,从I区开始按顺序经过VI区、V区、IV区,则认为经历一个振荡周期,并判断振荡中心落在A-M线路上。

2) 当振荡中心落在B-N断面时,N侧解列装置正常运行在IV区时,从IV区开始按顺序经过V区、IV区、I区,则认为经历一个振荡周期,并判断振荡中心落在B-N线路上。

动作区范围确定对于失步后的电力系统,当振荡中心确立后,系统各点的最低电压值就可以计算出来。振荡中心处的电压包络线最低值为零,离振荡中心越远,包络线的最低电压也就越高。也就是说,通过设定最低动作电压,就可以确立装置的动作范围;而且包络线的最低电压出现在1/2振荡周期时刻,这个电压的检测在先,失步振荡周期判断在后,检测包络线电压的最低值不会影响失步振荡周期的判断。

对于振荡中心落在解列装置附近的情况,电压包络线的最小值必须出现很低数值(低于有效值的20%)时,结合失步周期整定值,发出解列命令。

1.2 南瑞继保 RCS 系列失步解列装置

RCS-993(A)型基于阻抗循序判别方式原理,将阻抗平面分为6个区域。在阻抗平面上依据阻抗角分为6个阻抗圆区域,当系统失步振荡时,测量阻抗变化的特点(加速还是减速),识别其轨迹是否依次通过6个区域(正向或反向),据此判断是否失步。

RCS-993(B)型基于 $u\cos\varphi$ 失步解列判据。振荡中心处的电压,在系统失步振荡时,出现周期性的振荡,当功角摆开到 180° 时,振荡中心电压为零。基于 $u\cos\varphi$ 失步解列判据主要通过监测联络线上电压、电流计算出 $u\cos\varphi$ 的值来模拟失步过程中振荡中心电压变化,根据穿越轨迹判断系统是否失步。虽然该判据有明确的物理意义,反应了振荡中心的电压。但是其实质都是通过相位角来反映系统的失步状况。

本质上和基于相位角的判据是一致的。

1.3 中国电科院 PAC 解列装置

PAC解列装置根据线路输电功率的变化趋势、线路两端电压相角差的变化趋势以及系统失步中心的位置等因素来形成失步判据。PAC-1000装置的判据如下。

①失步中心在本线路上;

② $\frac{d\delta}{dt} > 0$, $\frac{d^2\delta}{dt^2} > 0$, 功角变化趋势增大,且加速度

大于零;

③ $\frac{dP}{dt} < 0$;

④ $U < U_{SET}$, 电压低于门槛值。

2 川渝断面失步解列装置的配置

本研究采用2011年全国联网夏季滚动计算典型数据。

典型方式下,洪板线N-2故障下四川机组相对于主网机组首摆失稳。暂态过程中配置在黄岩站解列装置检测到的黄万线相位角响应曲线如图3所示,黄岩和万县的电压响应曲线如图4所示。

可见,装设在黄岩的解列装置可检测到系统失步,并正确触发解列命令。

典型方式下,洪沟500 kV变电站全停故障均会导致四川机组相对于主网机组首摆失稳。

暂态过程中四川机组功角、变电站电压以及振荡中心线路的相位角响应曲线和洪板线N-2故障下

基本一致,不再赘述。

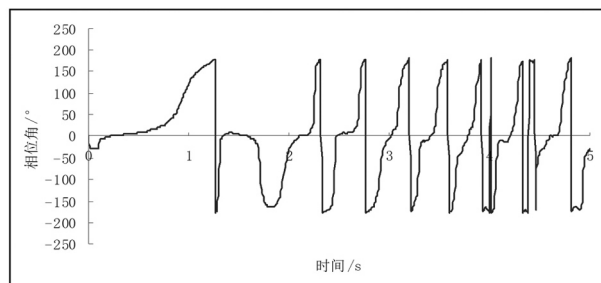


图3 洪板线N-2故障下黄万线的相位角响应曲线

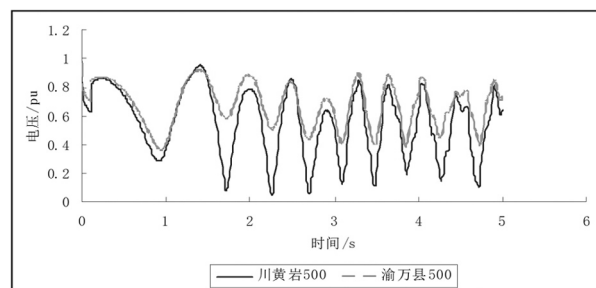


图4 洪板线N-2故障下黄岩和万县变电站母线的电压响应曲线

分析发现,某些严重故障导致川渝断面解列装置动作后,在四川子网内可能会继续激发出新的失稳模式。

如洪沟500 kV变电站全停故障导致四川机组相对其他华中机组失步后,华中电网内所有发电机的功角摇摆曲线如图5所示。

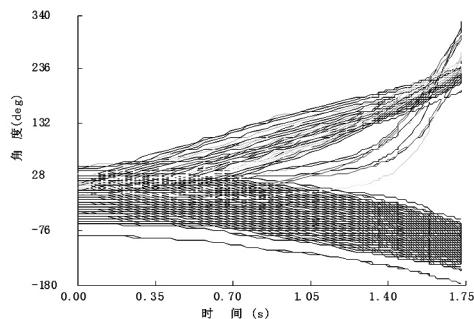


图5 洪沟500 kV变电站全停故障下系统内机组的功角摇摆曲线

当川渝断面在失步一个周期被解列后,重庆机组和华中其他省网机组保持稳定运行,而四川电网内南充和广安地区的发电机组将构成临界群与其他四川机组相继失步,暂态过程中四川电网内各机组的功角响应曲线如图6所示。

当川渝断面被解列后,利用川渝断面失步解列动作信号作为切广安机组的触发命令,立即切除广安机

(下转第39页)

因此,可以看出,由于负载及环境温度的增长,变压器寿命缩短了大约 60 000 h。

2.3 只考虑环境温度的增长

如果只考虑环境温度的增长,即

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H \quad (3)$$

其中 $\Delta\theta_A$ 为环境温度的增加。

设 $\theta = [(\text{考虑温升后的变压器寿命损失} - \text{未考虑温升的变压器寿命损失}) / \text{未考虑温升的变压器寿命损失}] \times 100\%$

那么 θ 与环境温度增加的关系图如图 8 所示。

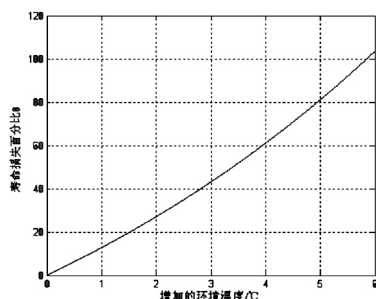


图 8 环境温度对变压器寿命的影响

由图 8 可以看出,环境温度增加得越多,变压器的寿命损失越多,并且它们之间的关系成指数倍增长。当温升到达 5.8 °C 时,变压器的寿命损失加倍。

3 结 论

在监测到得历史数据的基础上,建立了变压器所

(上接第 16 页)

组,从而抑制广安和南充地区其他机组相对四川主网其他机组发生相继失步。

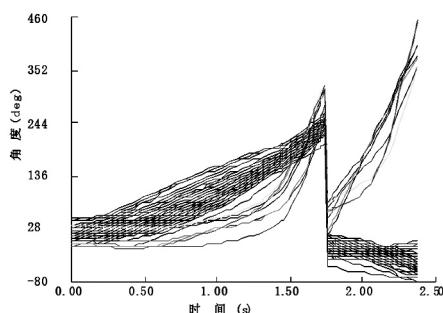


图 6 川渝断面被解列后四川电网机组的功角摇摆曲线

3 结 论

对当前中国电网中常用的集中失步解列装置及

带负载模型及环境温度模型,对一台实际的变压器进行了寿命评估,讨论了考虑/不考虑负荷增长及环境温度增长情况下对变压器绝缘寿命的影响,建立了基于 weibull + 变压器绝缘寿命预测评估模型。最后,还单独分析了环境温度的增长对变压器绝缘寿命的影响。

参考文献

- [1] 吕继恺,曹建波.发电机与变压器的寿命评估[J].江苏电机工程,2006,25(03):51-52.
- [2] Kshira T. Muthanna, Abhinanda Sarkar, Kaushik Das, and Kurt Waldner. Transformer Insulation Life Assessment [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(1): 150-156.
- [3] Jonathan W. Stahlhut, Member, IEEE, Gerald T. Heydt, Fellow, IEEE, and Nancy J. Selover. A Preliminary Assessment of the Impact of Ambient Temperature Rise on Distribution Transformer Loss of Life [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(4): 2000-2007.
- [4] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers [S]. IEEE Std. C57.91-1995.
- [5] 董立文,李军,何宝龙,等.水分对油浸式变压器寿命的影响[J].变压器,2008,45(7):17-18.
- [6] 杜林,袁蕾,熊浩,等.应用蒙特卡罗模拟法的电力变压器热特性绝缘寿命评估[J].高电压技术,2010,36(4): 856-861.

(收稿日期:2010-03-19)

其原理进行了综述和说明。同时,基于此,对川渝断面失步解列装置配置的可能性及其效果进行了计算和分析。对指导电网运行具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 周孝信,等译.电力系统稳定与控制[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 张保会,汪成根,郝治国.电力系统失步解列存在的问题及需要开展的研究[J].电力自动化设备,2010,(10):1-6.
- [3] 王达,薛禹胜,刘玉田,等.故障解列与失步解列的协调优化[J].电力系统自动化,2009,33(14):1-6.

(收稿日期:2011-07-07)

基于无死区零序功率方向的纵联零序保护

习伟¹ 李天华²

(1. 南方电网科学研究院 广东 广州 510080; 2. 四川省电力公司 四川 成都 610041)

摘要: 常规纵联零序保护的功率方向元件有一定零序电压门槛, 因而会存在电压死区, 若在一侧零序阻抗特别小的长线路中发生高阻接地故障时, 有可能使该侧零序电压低于门槛值, 导致纵联零序方向保护拒动。针对该问题, 在考虑不平衡零序电压的条件下, 提出一种通过判断补偿零序电压与保护安装处零序电压大小的方法, 可有效判断出正反方向故障。仿真结果表明, 本方案简单, 易于实现, 可提高纵联零序方向保护的可靠性。

关键词: 纵联零序保护; 方向元件; 无死区; 补偿电压

Abstract: There is a certain zero-sequence voltage threshold for power directional component of conventional pilot zero-sequence protection, and thus there will be voltage dead zone. If high-resistance grounding fault occurs on the long lines whose zero-sequence impedance is very small in one side, it is possible to make the zero-sequence voltage below the threshold, resulting in the malfunction of zero-sequence directional protection. To solve the problem, a method by comparing the zero-sequence compensating voltage and the zero-sequence voltage at the place equipped with protection is proposed considering the imbalance zero-sequence voltage, which can effectively determine the positive or negative direction of the fault. The simulation results show that the proposed scheme is simple and easy, and can improve the reliability of pilot zero-sequence directional protection.

Key words: pilot zero-sequence protection; directional component; no-dead-time; compensating voltage

中图分类号: TM773 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0017-04

纵联零序方向保护是超高压线路保护的重要组成部分, 具有原理简单、实现方便、灵敏度很高、抗过渡电阻能力强、不受系统振荡和正常负荷变化等因素影响等优点。在线路发生单相金属性接地或经过渡电阻接地故障的保护, 能快速切除故障, 已经在高压线路中广泛应用, 使得该原理在故障方向判别的应用已经取得了一定的成果并积累了许多实际运行经验^[1-2]。但是, 随着电力系统网络的不断发展和结构的日益复杂, 出现了很多比较特别的接线方式, 这些接线方式将产生很多新的问题。例如在长线路末端经高阻接地故障时, 若线路背侧零序阻抗很小时, 可能会导致保护测量到的零序电压小于装置中的零序功率方向元件的最小动作电压, 从而造成方向元件不动作, 即使零序电流达到动作值, 纵联零序方向保护仍将拒动, 无法快速切除接地。因此, 针对该现象, 有必要在传统的纵联零序方向保护方案的基础上进行改进, 消除零序功率方向元件的电压死区, 提高纵联零序方向保护的性。

1 零序功率方向的应用现状

纵联零序方向保护是通过判断两侧的零序功率方向及零序电流大小, 在此基础上利用通道信息将继电器对故障方向判别的结果传送到对侧, 每侧保护根据两侧继电器的动作经过逻辑判断区分是区内还是区外故障^[1]。一般来说, 零序功率正方向判据如下。

$$-90^\circ < \text{Arg} \frac{3\dot{U}_0}{Z_0 3\dot{I}_0} < 90^\circ \quad (1)$$

其中 $3\dot{U}_0$ 为保护安装处零序电压; $3\dot{I}_0$ 为保护安装处零序电流; Z_0 为系统零序阻抗。

针对如上比相式判据, 为保证判据的准确性, 必须对分子分母取一定门槛值, 其目的在于防止其中一项偏小时, 因测量误差造成装置采集零序电流或者零序电压不准确, 进而造成零序方向元件误判。其中, 作为纵联零序保护的基本要求, 零序电流必须要大于零序电流启动定值或纵联零序定值才进入纵联零序逻辑, 这样可保证零序电流满足测量条件, 而式(1)

中 Z_{0r} 为装置内部的整定值,表示线路的单位零序阻抗,不存在测量误差。因此对整个功率方向元件判据来说,只有在零序电压大于一定门槛值时,才能正常启动常规零序正反方向判据。

正常运行时可能会有不平衡零序电压,按照规程^[3]对交流电源的技术要求:三相电源的各相电压或线电压之差应不大于相电压或线电压平均值的1%,相电压之间的角差应相同,允许角差为 2° 的规定,不平衡零序电压大约为1%的相电压,约为0.577 V。基于此前提下,式(1)作为常规零序功率正方向的判断条件,为防止不平衡零序电压叠加在故障分量上导致方向元件误判,零序电压必须大于一定的门槛值^[4],一般情况下,可考虑取1~2 V。

2 无死区零序功率方向的原理

2.1 基本思路

无死区零序功率方向的实现思路是当保护安装处的零序电压大于门槛值时,通过常规比相式零序功率方向判据来判断正反方向故障;当保护安装处的零序电压小于门槛值时,通过判断补偿点零序电压的与保护安装处的零序电压大小来区分正反方向故障。比幅式零序功率正方向判据如下。

$$|3\dot{U}_0 - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > |3\dot{U}_0| \quad (2)$$

其中 $3\dot{U}_0$ 为保护安装处零序电压; $3\dot{I}_0$ 为保护安装处零序电流;零序补偿系数 $K = \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{3Z_{L1}}$; $\dot{Z}_{L1}$ 为被保护线路正序阻抗; Z_{L0} 为被保护零序阻抗。

对于220 kV及以上电压等级超高压线路,由于正序阻抗角和零序阻抗角差不大,可忽略二者的差异,对式(2)进行简化,即可得到

$$|3\dot{U}_0 - 0.7 \times 3\dot{I}_0 \dot{Z}_{L0}| > |3\dot{U}_0| \quad (3)$$

从上式可知,式(2)的左侧即为从保护安装处开始,补偿到线路全长70%处的零序电压,右侧即为保护安装处的零序电压。故可以明确,无死区的零序功率方法在零序电压低于门槛值时的具体实现方法是将保护安装处的零序电压补偿到线路全长70%处,当补偿点零序电压大于保护安装处零序电压,可判断为正方向故障;当补偿点零序电压小于保护安装处的零序电压时,可判断为反方向故障。

2.2 原理分析

为明确线路故障时零序电压与补偿电压的幅值

关系,可通过故障时零序电压分布图来分析。根据系统故障时零序网络图,正、反方向故障时线路零序电压幅值分布图如图1所示^[1]。

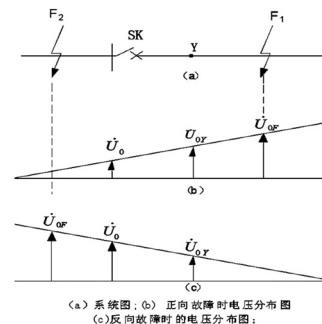


图1 线路故障时的零序电压分布图

图1中, $\dot{U}_0$ 为保护安装处零序电压; $\dot{U}_{0F}$ 为故障点零序电压; $\dot{U}_{0Y}$ 为补偿点零序电压。从图可知,在正方向故障时补偿点零序电压大于保护安装处零序电压,在反向故障时保护安装处零序电压大于补偿点零序电压。若不考虑在保护安装处的零序不平衡电压 $\dot{U}_{0BPH}$, $3\dot{U}_0$ 全部为故障分量 $\dot{U}_{0GZ}$,正方向故障时有如下判据满足:

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > |\dot{U}_{0GZ}| \quad (4)$$

至此,在不考虑零序不平衡电压的情况下,式(2)可作为正反方向故障的判断依据。然而,在正常运行系统中,固定存在着一定大小的不平衡零序电压,特别是故障零序电压较小时,不平衡零序电压的影响尤为显著。因此,零序故障电压和零序不平衡电压同时存在时,式(2)需要满足什么条件才能成立是下面分析的重点。

考虑到在超高压线路中,在不考虑不平衡电压零序电压条件下,在正方向故障时,从图1中可推导出

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| = |\dot{U}_{0GZ}| + |3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| \quad (5)$$

假定 $|3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 2|\dot{U}_{0BPH}|$, 上式即可变为

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > |\dot{U}_{0GZ}| + 2|\dot{U}_{0BPH}| \quad (6)$$

再次进行简化,可得到

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| - |\dot{U}_{0BPH}| > |\dot{U}_{0GZ}| + |\dot{U}_{0BPH}| \quad (7)$$

考虑到

$$|\dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]|$$

$$\begin{aligned}
 &> = |\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| - |\dot{U}_{0BPH}| \\
 &|\dot{U}_{0GZ}| + |\dot{U}_{0BPH}| > = |\dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH}| \quad (7)
 \end{aligned}$$

最终可得到

$$\begin{aligned}
 &|\dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH} - \dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| \\
 &> |\dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH}| \quad (8)
 \end{aligned}$$

作为比幅式零序功率方向正方向判断条件,式(8)与式(4)相比,考虑了不平衡零序电压的影响。根据上述公式推导过程,考虑不平衡零序电压影响时,但只要假定 $|\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 2|\dot{U}_{0BPH}|$,式(8)显然成立。按照DL478-92《静态继电保护及安全自动装置通用技术条件》对交流电源的技术要求,在 $\dot{U}_{0BPH} < 0.577 \text{ V}$ 时,只要 $|\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 1.2 \text{ V}$,则零序功率方向元件将不会受到零序不平衡电压的影响。

在实际工程应用中,对于长距离输电线路,因为线路本身正序阻抗大,判据 $|\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 1.2 \text{ V}$ 是肯定成立的;对于短线路,按照220 kV线路的典型参数取线路正序阻抗 $0.43 \Omega/\text{km}$,取补偿系数 K 值为0.67,保护装置可起动最小零序电流值为300 A,在TV变比为2200的情况下,10 km的220 kV线路可以满足上述要求。在小于10 km的线路,可以参照10 km线路阻抗定值来补偿,依靠对侧变压器接地的正序阻抗,可保证不会过补偿。

因此,由上面分析可知,在考虑零序不平衡电压的条件下,在故障零序电压较小时,可利用式(2)作为零序功率正反方向的判断依据。

2.3 TA断线的影响

在正常运行的系统中,当发生一侧单相或两相断线时,会出现有零序电流而无零序电压的情况,当负荷较重时会造成零序电流大于零序电流启动定值时,此时无死区的零序功率有可能会判为正方向,会造成断线侧纵联保护装置发允许信号。但对于纵联零序保护动作,至少需要两侧的零序功率方向均为正方向,才有可能动作,所以在不考虑两侧TA同时断线的情况下,不会因为无死区造成纵联零序误动。

3 仿真实验

为验证前面所描述的无死区零序功率方向在纵联零序方向保护中的具体应用情况,特依照高压线路典型配置,进行仿真实验。模型图如图2所示。

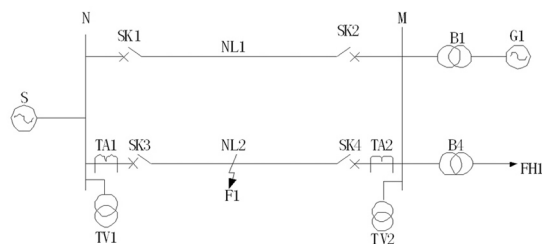


图2 仿真实验模型图

实验参数如下。

无穷大系统S: 短路容量为2300 MW;

发电机G1: 容量为590 MW;

负荷: 500 MW, 电动机负荷占35%, 电阻性负荷占65%;

线路长度: 平行双回线, 每回线170 km;

TV变比: 220 kV/100;

TA变比: 1200 A/1;

线路二次正序阻抗: $24.60 \Omega \angle 79^\circ$;

线路二次零序阻抗: $75.80 \Omega \angle 73^\circ$;

零序补偿系数 K : 0.69。

如图2所示,N侧为无穷大系统,M侧带小发电机和负荷,开关SK1、SK2断开。F1为线路中点故障。仿真试验中投入纵联零序方向保护,整定零序方向过流定值为0.4 A,使正常运行时不平衡零序电压约为0.5 V,同时调节故障点过渡电阻的大小以及变压器中性点阻抗使故障时零序电压降低在门槛电压1 V以下,观察零序纵联方向保护动作情况。

图3为故障时的波形图,图4为故障时零序电压电流向量图。图3中 UMa 、 UMb 、 UMc 、 $3U_0M$ 、 IMa 、 IMb 、 IMc 、 $3I_0M$ 为M侧电压电流量, UNa 、 UNb 、 UNc 、 $3U_0N$ 、 INa 、 INb 、 INc 、 $3I_0N$ 为N侧电压电流量, M_TA 、 M_TB 、 M_TC 为M侧的跳闸脉冲信号, N_TA 、 N_TB 、 N_TC 为N侧的跳闸脉冲信号,从图中可看出两侧的纵联零序方向保护在一定延时后均正确选相跳闸。

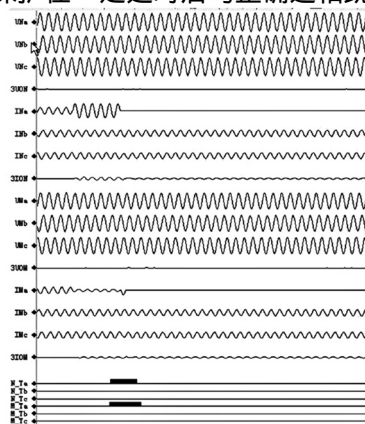


图3 故障波形图

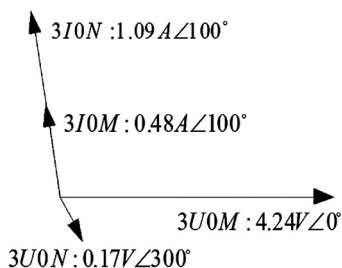


图4 零序向量图

结合图3、图4可分析出,在两侧零序电流均达到门槛值的前提条件下, M 侧零序电压大于门槛值1V,比较 M 侧零序电压电流相位,通过常规零序功率方向元件可判断为正方向,而 N 侧的零序电压约为0.17V,低于常规零序电压判断,必须使用无死区零序功率方向判断。将 N 侧故障量以及线路参数根据式(2)来验证,可知该判据满足,故障为正方向,在两侧均判断为正方向时,可通过纵联零序逻辑保证两侧可靠跳闸。本仿真试验表明了,在零序电压低于常规零序功率方向门槛时式(2)的正确性。

4 结 论

在介绍常规纵联零序方向的基础上,针对某些故

障情况下零序电压低于门槛值时,常规零序功率方向不适用的条件下,提出一种通过判断补偿点零序电压的与保护安装处的零序电压大小的方式,能有效判断出正反方向故障。仿真实验表明,该方案简单、可靠,并已经充分考虑运行时不平衡零序电压的影响,成为常规零序功率方向元件的重要补充,提高了纵联零序方向保护动作的可靠性。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第3版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [3] DL/T 478-92 静态继电保护及安全自动装置通用技术条件[S].
- [4] 丁晓兵, 赵曼勇, 徐振宇. 接地故障零序方向元件拒动改进方案[J]. 电力系统自动, 2006, 30(9): 88-90.

作者简介:

习伟(1980) 男, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究;

李天华(1948) 男, 教授级高级工程师, 从事电力系统继电保护的研究。

电保护的研究。

(收稿日期: 2011-09-13)

(上接第4页)

流能有效地跟踪光照强度、环境温度的变化,且交流侧的电流成正弦且谐波较小,证明了所建模型的合理性和实用性。

参考文献

- [1] OMANH. Space Solar Power Development[J]. IEEE AES Systems Magazine, 2000, 15(2): 3-8.
- [2] 崔容强, 赵春江, 吴达成. 并网太阳能光伏发电系统[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 7.
- [3] J. G. McGowan and J. F. Manwell. Hybrid Wind/PV/Diesel Power Systems Modeling and South American Applications[C]. WREC 1996.
- [4] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 风/光复合发电系统变结构仿真建模研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(3): 361-364.
- [5] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电使用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 4.
- [6] Platon Baltas. The Arizona University Photovoltaic Designer Program(ASUPVD)[Z]. Department of Electrical and Computer Engineering, Arizona State University, 1996.

- [7] 余世杰, 何慧若, 曹仁贤. 光伏水泵系统中CVT及MPPT的控制比较[J]. 太阳能学报, 1998, 19(4): 394-398.
- [8] 苑进社, 余世杰, 何慧若. CVT光伏水泵系统瞬态工作点特性分析[J]. 太阳能学报, 2002, 23(5): 554-556.
- [9] Masoum M A, Dehbonei H, Fuchs E F. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic System with Voltage and Current-based Maximum Power Point Tracking[J]. Power Engineering Review, IEEE, 2002, 22(8): 62-62.
- [10] 叶满园, 宫二勇. 以电导增量法实现MPPT的单级光伏并网逆变器[J]. 电力电子技术, 2004, 40(2): 30-32.
- [11] 苏建徽, 余世杰, 赵为, 等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报, 2001, 22(4): 409-412.
- [12] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 带有MPPT功能的光伏阵列Matlab通用仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1248-1251.

作者简介:

陈向宜(1976) 男, 工学博士, 四川电力科学研究院, 长期从事电力系统稳定分析及直流输电技术研究。

李锐(1988) 男, 硕士研究生, 研究方向为光伏并网及孤岛检测。

(收稿日期: 2011-08-22)

鲁能哈密电厂关停对哈密电网的影响

薛劲莹¹, 王峰¹, 张锋², 常喜强³

(1. 新疆电力公司哈密电业局, 新疆 乌鲁木齐 839000; 2. 新疆电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011;
3. 新疆电力调度通信中心, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:结合哈密电网运行现状,从保证电力供应、电网安全稳定性的角度,对鲁能哈密电厂关停后对哈密电网影响进行了深入分析讨论,并针对存在问题提出相应的措施和建议。对于保证哈密电网安全稳定运行有较强的指导意义,同时提出了节能减排关停小机组工作的实施过程中,相关电网应关注方面和注意的问题,对于相关工作开展有一定的借鉴和指导作用。

关键词:小火电关停; 哈密电网; 安全稳定

Abstract: According to the actual operating condition of Hami Power Grid, a systematic analysis on the potential influence of shutdown program on power grid is described in detail. The corresponding solutions and recommendations are also proposed to offset the bad effect of shutdown program. The proposed solutions provide an instructive guidance to the related work in the implementation of shutdown program of small generator set in the future.

Key words: shutdown of small thermal plant; Hami Power Grid; security and stability

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0021-05

1 哈密电网简介

截至目前,哈密电网总装机容量为452 MW,其中:火电349 MW,水电4 MW,风电99 MW。750 kV变电站1座(变电容量为1 500 MVA),220 kV降压变电站2座,变压器2台,总变电容量为300 MVA。110 kV降压变电站22座,变压器36台,总变电容量为923 MVA。城区及周边110 kV变电站大部分由天光电厂供电,哈密电网对天光电厂依赖很大。2010年哈密电网最大负荷为365 MW,鲁能哈密电厂最大发电负荷为20.5 MW。哈密电网现状图(部分)如图1所示。

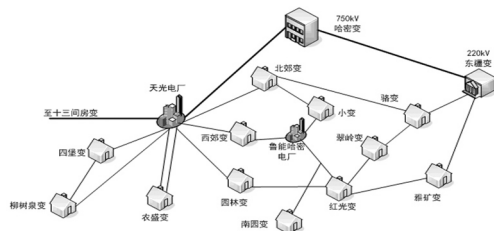


图1 哈密电网现状图(部分)

2 鲁能哈密电厂简介

2.1 鲁能哈密电厂历史情况

鲁能哈密电厂分别于1966、1968、1973、1978年各投产1台6 MW机组,1968年前,一电厂以直配6 kV线路送电到哈密哈密镇和市政府生活用电。经过多年的发展,鲁能哈密电厂现有110 kV三条出线—西线、一红线、一小线供哈密地区城市中心负荷,通过110 kV二西线、一西线和哈密天光电厂联网,有两条35 kV出线在备用状态。

2.2 鲁能哈密电厂在哈密电网的作用

1986年前鲁能电厂一直作为哈密电网主力电厂,1986年以后,天光电厂投运后哈密电网对鲁能电厂的依赖性减弱,由于哈密电网电源点少,哈密鲁能电厂为哈密电网局部区域提供有力的有功、无功支撑,在110 kV二西线、一西线联络检修时,鲁能电厂的作用显得至关重要。随着天光电厂5、6号机的运行,鲁能哈密电厂对哈密电网影响逐渐减小,但是在110 kV二北线、二园线、二西线线路检修时鲁能哈密电厂还能对哈密电网电压、供电可靠性起到一定的支撑作用。

2.3 鲁能哈密电厂关停情况

中小火电机组是中国电力工业发展过程中的一个阶段性产物,具有一定的社会和经济背景,在一段时期内曾为缓解供电紧张做出过积极贡献。为了落

实科学发展观,保持国民经济持续平稳、又好又快的发展,国家在制定《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》时将节能减排工作放在一个非常重要的位置,中小火电机组由于煤耗高、污染重、效率低等问题,面临着被淘汰的命运,设备老化,发电出力能力大大减弱,机组处于随时停运的状态。

3 关停对哈密电网造成的影响

预计到 2012 年哈密鲁能电厂关停前,哈密电网内装机容量将达到 1 000 MW 左右;750 kV 变电站 1 座(变电容量为 1 500 MVA),220 kV 降压变电站 4 座(变电容量为 600 MVA)。届时哈密电网图(部分)如图 2 所示。

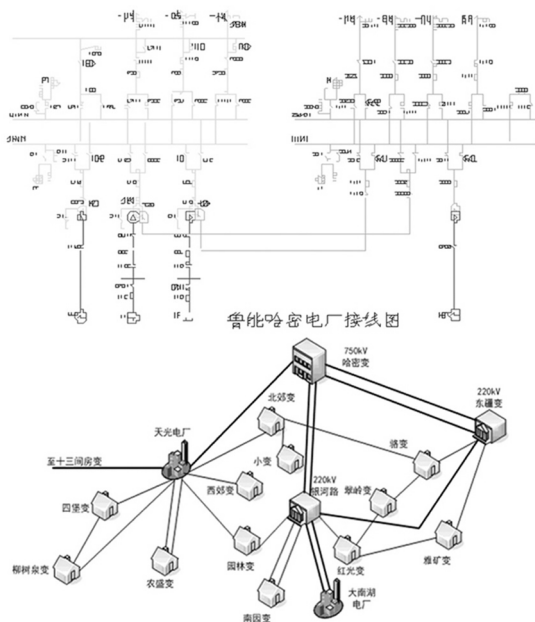


图 2 鲁能哈密电厂关停后哈密电网图(部分)

3.1 电力盈亏方面的影响

2011 年下半年至 2012 年,哈密电网预计最大负荷为 565 MW,电源装机情况如表 1。由表 1 可以看出,即使风电和当地小电源不参与电力平衡,哈密鲁能电厂的关停也不会对哈密电网的电力盈亏造成影响。但是,哈密城区电网 220 kV 变电容量不足,110 kV 系统过渡依赖天光电厂,随着经济发展哈密城区负荷迅速增长,鲁能电厂关停后城区电网变电容量明显偏低,该矛盾将更加突出。哈密城区电网变电容量平衡表详见表 2。

3.2 安全稳定分析

3.2.1 正常运行方式

表 1 哈密电网电力平衡表(鲁能哈密电厂关停)

项目	名称	容量/MW	可调出力/MW
火电	大南湖电厂	2×330	
	天光电厂	$2 \times 135 + 25$	
	合计	955	860
小电源合计		34	0
风电总计		300	0
可供电力			860
需求预计			650
电力盈亏			210

表 2 哈密城区电网变电容量平衡表

项目	2010 年 (实际)	2012 年
城区电网最大供电负荷/MW	220	550
110 kV 及以下电源直供负荷/MW	18	0
需城网 220 kV 供电负荷/MW	202	550
变电容量/MVA	300	660
天光电厂/MW	310	310
220 kV 变电容量比	1.53	1.2

鲁能哈密电厂关停后,哈密电网正常运行方式为天光电厂为 110 kV 北郊变电站、西郊变电站、小营房变电站、四堡变电站、柳变电站、农盛变电站供电。银河路变电站为 110 kV 园林变电站、红光变电站和南园变电站等供电。大方式下天光电厂主变电站负载率为 80%,二北线过载,需限北郊变电站和小变电站约 10 MW 左右负荷。

3.2.2 N-1 分析(检修方式及事故停运)

(1) 110 kV 北小线(二西线)停运分析

停运时负荷无法转带,事故停运时无法提供备用电源,最大损失负荷为 36 MW(66 MW)。

(2) 110 kV 二北线停运分析

停运后,合上北骆线,北郊变电站和小变电站由东疆变电站通过疆骆线、北骆线供电。该方式疆骆线极易过载,需注意控制疆骆线传输容量和北郊变电站、小营房变电站的电压,必要时采用限电措施。

(3) 110 kV 二北线事故停运分析

事故停运后,备自投投入北骆线,大方式下疆骆线严重过载,小营房变电站电压下降至 85 kV 左右,北郊变电站电压下降至 90 kV 左右,低压减载装置动作切除大量负荷。

(4) 天光电厂主变压器 N-1 停运分析

天光电厂任何一台主变压器检修或事故停运,另一台主变压器极易过载,需切除哈密城区内大量负荷。

(5) 东疆主变压器 N-1 分析

东疆主变压器为单主变压器,检修时合上北骆

线 骆驼变电站由天光电厂通过二北线、北路线供电。该方式下二北线极易过载,需注意控制二北线传输容量和骆驼变电站电压,必要时采用限电措施。东疆主变压器事故停运时,由于骆驼变电站没有远方备自投装置,骆驼变电站将全所失压。

3.3 对安全自动装置的影响

3.3.1 对备自投装置的影响

鲁能哈密电厂停运后,小营房变电站和西郊变电站均为单电源供电。二西线或北小线故障后无备用电源可用,造成供电可靠性降低。

3.3.2 对低压减载装置的影响

鲁能哈密电厂停运后,城区电网缺少了一个无功电源点,电压水平有所下降。根据电压水平,城区电网的低压减载装置定值还需做调整。

4 应对关停所产生问题的措施分析

4.1 应对措施

根据上述分析,鲁能哈密电厂停运后,哈密电网存在很多问题。经认真分析研究,现针对所有问题逐个提出解决措施。详见表 3。

表 3 鲁能哈密电厂关停后应对措施表

序号	关停后存在问题	应对措施
1	城区电网 220 kV 变电容量比低	增加城区 220 kV 变电容量
2	正常方式下二北线易过载	小营房变电站转由其他线路供电
3	天光主变压器不满足 $N-1$	增加城区 220 kV 变电站布点,部分 110 kV 变电站转由其他电源供电
4	东疆主变压器不满足 $N-1$	增加第二台主变压器
5	北小线(二西线)不满足 $N-1$	北郊变电站(小营房变电站)增加电源进线
6	二北线不满足 $N-1$	小变转由其它线路供电
7	北郊变电站(小变电站)无备用电源	北郊变电站(小营房变电站)增加电源进线
8	35 kV 花园变电站、火石泉变电站	发电厂升压站改为降压变电站

根据表 3 分析,综合考虑各种应对措施后提出网架建设方案:在鲁能哈密电厂原址附近新建 220 kV 新区变电站,新增主变压器一台(180 MVA),该变电站通过双回 220 kV 哈密变电站-银河路变电站双回路接入系统。新区变电站新建 110 kV 出线四回,二回至西郊变电站,二回至小营房变电站。该方案下哈密电网图详见图 3。

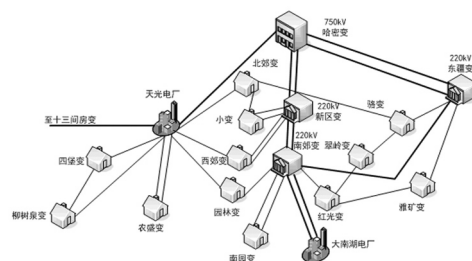


图 3 新建 220 kV 新区变电站后哈密电网图(部分)

考虑到 220 kV 变电站建设周期问题,鲁能哈密电厂关停时新区变电站有可能尚未建成。针对这种情况提出过渡方案 1:鲁能哈密电厂关停,可将原来的 110 kV 一西线和一小线在原鲁能哈密电厂围墙外沟通,同时将原有的一红线延伸至西郊变电站,从而解决西郊变电站和小变电站单电源供电的问题。该方案下哈密电网接线图详见图 4。方案 2:220 kV 银河路变电站投运后,可采用南园变电站双回路转带至 220 kV 银河路变电站,利用原南园变电站进线电源一红线南园支线,新建南园变压器一红线 T 接点至一电厂线路(T 接点打开),鲁能哈密电厂新扩建一间隔。鲁能哈密电厂机组退运,升压站改为降压变电站运行。原一红线仍由一电厂升压站送至红光变电站。

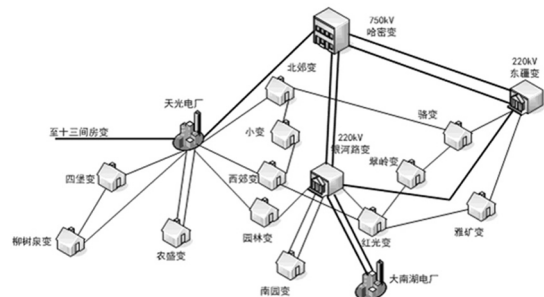


图 4 过渡方案 1 下的哈密电网图(部分)

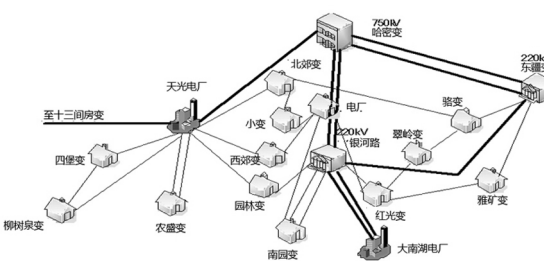


图 5 过渡方案 2 下的哈密电网图(部分)

4.2 改造方案效果评价

网络建设方案实施后,正常运行方式为:220 kV 新区变电站为 110 kV 西郊变电站和小营房变电站供电;天光电厂为 110 kV 北郊变电站、农盛变电站、柳树变电站和四堡变电站供电;220 kV 银河路变电站为 110 kV 红光变电站、园林变电站和南园变电站供电。

过渡方案1实施后,正常运行方式为:天光电厂为110 kV 北郊变电站、西郊变电站、小变电站、四堡变电站、柳变电站、农盛变电站供电;220 kV 银河路变电站为110 kV 园林变电站、红光变电站和南园变电站等供电;小营房变电站110 kV 母线分列运行。

过渡方案2实施后,正常运行方式为:新建线路可由110 kV 南园变电站送至一电厂升压站。闭环运行方式可打开,西郊变电站分列运行,投母联备自投。一小线送小营房变压器,小营房投线路备自投。北郊由二北线带,北骆线充电备用。一电厂35 kV 负荷仍可由110/35 降压变压器供电。

现将两种方案实施后效果进行比较,详见表4。

表4 方案实施效果对比表

序号	项目	网架建设方案	过渡方案1	过渡方案2
1	城区220 kV 变电容载比	1.28		
2	天光主变压器负载率/%	40.5	80.0	51
3	二北线负载率/%	69.8	86.5	86.5
4	二西线负载率/% 或新西一(二)线负载率/%	35.1	95.4	20
5	天光主变压器是否满足N-1	满足	不满足	满足
6	小营房变电站是否满足N-1	满足	不满足(注)	满足
7	西郊变电站是否满足N-1	满足	不满足(注)	满足
8	北郊变电站是否满足N-1	满足	不满足(注)	满足
9	新区主变压器是否满足N-1	基本满足		

需说明的是过渡方案1夏大方式下:若110 kV 西小线检修或事故停运,小营房变电站110 kV 母线并列运行,二北线过载,故小营房变电站不满N-1要求;若110 kV 二西线检修或事故停运,红西线投入运行,郊红线过载,西郊变电站电压下降至95 kV 左右,故西郊变电站不满足N-1要求;若110 kV 二北线检修或事故停运,北骆线投入运行,疆骆线过载,北郊变电站电压下降至90 kV 左右,故北郊变电站不满足N-1要求。

过渡方案2夏大方式下:若110 kV 一小线、北小线跳闸,小营房变电站满足N-1。一(二)西线跳闸后,西郊变电站满足N-1条件。北郊变电站不满足N-1。若110 kV 二北线检修或事故停运,北骆线投入运行,疆骆线过载,北郊变电站电压下降至90 kV 左右;北小线投入运行,一小线过载,故北郊变电站不

满足N-1要求。南一线跳闸或停运,哈密电网大面积限负荷。

根据表4分析,鲁能哈密电厂关停时,若220 kV 新区变电站能够建成投运,将大大提高哈密城区电网的供电可靠性。若新区变电站无法按时投运,过渡方案1虽然在正常方式下能够保证正常供电且不损失负荷,但其供电可靠性极差,检修方式难以安排。此方案实施快,不需过多投资,适用于鲁能一电厂机组无准备关停情况下。过渡方案2能够保证正常供电且满足西郊变电站、小营房变电站N-1要求,但南园至鲁能一电厂单线联接,南园变电站至一电厂线路为单线供电,如此线路出现检修或故障,哈密电网将面临大面积限负荷问题。该方案可靠性较方案1高,但需投资建设新间隔及线路,适合在220 kV 城区变电站未建成前采用。过渡方案1、2均不能彻底解决哈密电网主网问题,因此除应尽快实施过渡方案,还应加快220 kV 城区变电站的建设步伐。

4.3 改造后存在的问题

虽然220 kV 新区变电站及其110 kV 配套送出工程的建设基本解决了鲁能哈密电厂关停后对哈密电网的影响,但同时也带来新的问题,新区变电站投运初期为单主变压器,主变压器检修时二西线、北小线、北骆线投入运行,北郊变电站110 kV 母线分列运行,西郊变电站由天光电厂通过二西线供电;小变电站和北郊变电站I段母线由天光电厂通过二北线和北小线供电,北郊变电站II段母线和骆驼变电站由220 kV 东疆变电站通过疆骆线和北骆线供电。新区变电站主变压器检修时所有负荷都可以转带,各节点电压均在合理范围之内,线路不会发生过载现象。新区变电站事故停运时,备自投投入二西线和北小线,夏大方式下二北线会过载,需要考虑联切北郊变电站和小变电站约10 MW 负荷。

5 地区电网对小火电关停应关注的问题

加快关停小火电机组是做好电力工业节能减排、保护环境的重要工作。小火电机组的关停不仅能降低能耗及污染物排放,节约资源,而且通过合理改造可以使电网结构得到了优化,对整个电力行业的科学发展都有很重要的意义。随着“节能减排”工作的深入实施,新疆电网内的鲁能哈密电厂、塔城铁厂沟电厂、伊犁第一、二热电厂等小火电机组都面临关停的

局面。新疆各地区电网相对比较薄弱,这些小火电机组大多对地区电网电力供应、安全稳定运行起着主要作用。为配合小火电机组的关停,各地区电网必须提前深入研究关停影响,加快配套电网建设,确保小火电机组关停后的电力供应和电网安全稳定运行。

通过对鲁能哈密电厂关停对哈密电网的影响进行了认真分析,就小火电机组关停前应关注的重点问题提出建议。

虽然在电网规划阶段对相关小电源进行了关停计划分析,但存在着关停和建设时空不同步,随着社会发展,这种差异性更加明显,关停和建设存在时滞性,在过渡期加强跟踪,重点研究如下几个方面:

①加强地区电网电力盈亏和220 kV变电容量的研究,以保证小火电关停后地区电网电力供应不受影响;②加强地区电网无功电压分析、安全稳定分析,确保小火电关停后地区电网的安全稳定运行;③加强配套电网建设,提高电网互供能力的分析;④加强对继电保护和安全自动装置定值整定的研究,确保装置可靠准确投入运行。

6 结 论

(1)就鲁能哈密电厂关停对哈密电网的影响从电力盈亏、变电容量平衡、安全稳定分析和对安全自动装置影响等多个方面进行了分析研究,明确了存在的问题。哈密鲁能电厂关停后,哈密电网的天光主变电站、西郊变电站和小营房变电站都不满足 $N-1$

要求,供电可靠性很低,且检修安排困难。

通过分析计算和仿真研究提出了建设220 kV新区变电站及其110 kV配套送出工程的解决方案和过渡方案,对保证哈密电网安全稳定运行有较强的指导意义。减轻哈密电网对天光电厂的依赖,同时重新梳理了哈密城区110 kV网架结构,提高供电可靠性和各变电站的转带能力,便于检修方式的安排。

(2)随着“节能减排”工作的深入实施,曾经在新疆电网发挥过重要作用的许多小火电机组面临关停的局面。为确保这些机组关停后,新疆各地区电网电力可靠供应,电网安全稳定,就关停小机组应着重研究的方面提出了建设性意见,对于相关工作开展有一定的借鉴和指导作用。

参考文献

- [1] 新疆电力公司电力调度通信中心,新疆电网2011年运行方式[R]. 乌鲁木齐,2011.
- [2] 新疆电力公司哈密电业局,哈密电网2011年运行方式[R]. 哈密,2011.
- [3] 新疆电力科学研究院,新疆电网2012年安全稳定评估报告[R]. 乌鲁木齐,2011.

作者简介:

薛劲莹(1973),女,工程师,1995年参加工作,1995—2006年从事过电网继电保护、安全监察、无功及线损管理等工作,2006年至今从事调度运行管理工作;

王峰(1966),男,助理工程师,从事调度方式分析工作。

(收稿日期:2010-07-18)

中国风电发展由追求速度转向质量

中国风电发展相对滞后,多年来在风电技术标准的形成、采纳、实施方面都是直接引用国外标准,而有些标准并不适应中国的风力资源情况。

风电控制技术研发能力弱,基本上还是跟在国外企业后面模仿。对风电机组的运行,特别是与电网的相互适应方面研究不够,低电压穿越能力并网性能方面的滞后与大规模风电开发不匹配。风电设备质量问题暴露不少,去年(2010年)以来发生20起机组烧毁倒塌事故。

能源行业风电标准技术委员会发布了18项新标准,涉及大型风电场并网、海上风电建设、风电机组状态监测、风电场电能质量等风电产业发展目前急需的

技术标准。随着相关标准的不断完善,中国风电发展将进入新阶段。

风电发展前景,决定于标准化水平。未来风电产业要从追求速度向追求质量转变,从追求装机容量向追求风电发电量转变,从集中大规模开发向大规模开发与分散开发并举转变,从陆上风电为主向陆上、海上风电全面发展转变。

截至今年(2011年)上半年,中国风电发电量已达到36 590 GWh。与此同时,河北、内蒙、甘肃等千万千瓦基地建设也正在快速推进。到今年年底,除西藏以外,全国都将拥有风力发电。

静止无功补偿器对感应电动机负荷电压稳定性的影响

李康 康积涛 陈芝奔 王敏

(西南交通大学电气工程学院 四川 成都 610031)

摘要:以简单的两节点系统为研究对象,采用考虑机电暂态过程的三阶感应电动机负荷模型,详细分析了静止无功补偿器(SVC)在小扰动和大扰动情况下对系统电压稳定性的影响。仿真结果表明,在小扰动情况下安装SVC可以提高感应电动机负荷的最大负载转矩和电压水平;在大扰动情况下能够减小故障对暂态电压稳定产生的影响,并且能够延长暂态电压稳定的极限切除时间,提高系统的暂态稳定性。

关键词:感应电动机负荷;静止无功补偿器;小扰动;大扰动;电压稳定

Abstract: Taking a simple two-node power system as the subject and using the third-order model of induction motor load with the electromechanical transient process, the influences of static var compensator (SVC) on system voltage stability are analyzed in the case of small disturbance and large disturbance. The simulation results show that installing SVC can increase the maximum load torque and voltage level in the case of small disturbance and can decrease the influence of fault on transient voltage stability in the case of large disturbance, and can extend the critical clearing time of transient voltage stability and enhance the transient stability.

Key words: induction motor load; static var compensator (SVC); small disturbance; large disturbance; voltage stability

中图分类号:TM712 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0026-04

随着负荷的不断增长和系统传输容量的增大,电力系统的运行状态越来越接近其电压稳定极限。近些年,国内外发生了一系列电压崩溃事故,电压稳定问题已经成为电力系统研究领域的焦点^[1]。负荷特性是影响电压稳定性的重要因素,电压稳定主要是负荷稳定^[2]。电力系统中感应电动机负荷所占的比重最大,在工业负荷中其比例高达90%以上,并且具有快速恢复特性。感应电动机负荷对系统动态电压稳定和暂态电压稳定有重要的影响。因此,有必要在小扰动(如负荷增长等)和大扰动(如线路故障等)情况下研究影响感应电动机负荷电压稳定性的因素。

文献[3]分析了感应电动机参数对小干扰电压稳定的影响,并没有考虑提高小干扰电压稳定的控制措施;文献[4]研究了感应电动机负荷特性对暂态电压稳定的影响;文献[5]提出了暂态电压稳定极限切除时间的概念;文献[6]通过时域仿真法分析了输电线路电抗、并联补偿容抗和感应电动机负荷参数的变化对电力系统暂态电压稳定的影响;文献[7]分析了感应电动机动态负荷特性对电压稳定的影响,指出电动机比重越大,系统电压稳定性越脆弱。静止无功补偿器(static var compensator SVC)是常用的无功电压补偿装置,下面对比安装SVC前后的仿真结果得出,

SVC可以提高感应电动机负荷的动态和暂态电压稳定性。

1 系统数学模型

采用无穷大系统带感应电动机负荷的模型来分析系统电压稳定性。系统的等值模型如图1所示。 Z 为线路阻抗,忽略电阻的影响, Z 的取值为 $j0.2$ 。电压 U_1 所在的母线为无穷大母线,幅值为1。

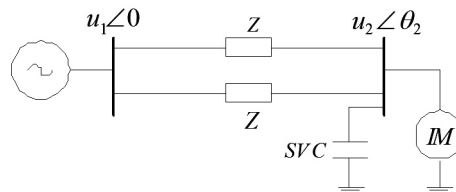


图1 系统的等值模型

电动机采用三阶模型^[8-10]。

$$\begin{cases} T_j \frac{ds}{dt} = T_m - T_e \\ T' \frac{dE'_x}{dt} = -E'_x - (x_s - x'_s) I_y + \omega_0 T E'_y s \\ T' \frac{dE'_y}{dt} = -E'_y + (x_s - x'_s) I_x - \omega_0 T E'_x s \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 s 为转子滑差; ω_0 为同步转速; T_j 和 T' 为转子惯性时间常数和定子暂态开路时间常数; E'_x 和 E'_y 为转子暂态电势的 X 轴和 Y 轴分量; I_x 和 I_y 分别为定子电流的 X 轴和 Y 轴分量; r_s 为定子电阻; x 和 x'_s 分别为定子漏抗和暂态电抗; T_m 、 T_e 分别为机械负载力矩和电磁转矩,在标么值下分别等于感应电动机的机械功率和电磁功率,因此可用以下两式表示。

$$T_m = K[\alpha + (1 - \alpha)(1 - s)^\beta] \quad (2)$$

$$T_e = E'_x I_x + E'_y I_y \quad (3)$$

其中 k 为感应电动机的负荷率,也是此处选取的控制参数; α 为感应电动机中恒转矩部分的比例系数; β 为与负载特性有关的指数。以上各系统的取值均来自文献[8]。

采用没有附加控制的 SVC 一阶模型^[11],其数学模型可以表示为

$$T_c \dot{B} = -B + K_c(u_{ref} - u) \quad (4)$$

式中 B 为 SVC 的等效补偿电纳; T_c 为 SVC 控制时间常数; K_c 为 SVC 的放大倍数; u_{ref} 为负荷电压控制参考值。在下面如没有特别说明, $T_c = 0.2$, $K_c = 10$, $u_{ref} = 1$ 。

系统的潮流方程式(5)所示,节点电压和电流用直角坐标表示

$$\begin{cases} e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) + P_i = 0 \\ f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) + Q_i = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中 e_i 和 f_i 表示节点电压的实轴和虚轴分量; P_i 和 Q_i 表示节点处的负荷功率; j 为与节点 i 相连的节点。联立式(1)、(5)可以构成完整的系统方程。当在负荷侧安装 SVC 时,将式(4)加入系统方程,并在式(5)中计及 SVC 发出的无功功率。

2 分析方法

电力系统是非常复杂的非线性系统,其动态行为应该用微分-代数方程(DAE)来描述^[12],可用式(6)表示。

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, y, \mu) \\ 0 = g(x, y, \mu) \end{cases} \quad (6)$$

式中 x 表示系统的微分状态变量; y 表示系统的代数变量; μ 表示系统的控制参数。

在稳态情况下,电力系统运行在平衡条件下,在小扰动范围内,为了考察系统的局部动态稳定性,可以在平衡点附近线性化。

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = D_x f(x_0, y_0) dx + D_y f(x_0, y_0) dy \\ 0 = D_x g(x_0, y_0) dx + D_y g(x_0, y_0) dy \end{cases}$$

$$\text{令: } A = D_x f(x_0, y_0) \quad B = D_y f(x_0, y_0) \quad ,$$

$$C = D_x g(x_0, y_0) \quad D = D_y g(x_0, y_0) \quad .$$

通过消去代数变量,可得到描述系统动力学特性的微分状态方程组。

$$\frac{dx}{dt} = (A - BD^{-1}C)x$$

式中 $A_{sys} = A - BD^{-1}C$ 为系统状态矩阵,由分岔理论可知,系统的动态稳定性完全可由系统状态矩阵的特征值确定。

当负荷连续变化时,采用连续法通过预测、校正、参数化等步骤求得系统的完整平衡解流形,并且每追踪一步根据特征值的情况判断系统是否出现分岔情况。这样可以得到系统完整的 PV 曲线,同时可以判断出系统平衡点的稳定性情况。

当线路发生短路故障时,感应电动机负荷的负载转矩来不及变化,系统的控制参数恒定不变,在故障期间及故障消失一段时间内仿真系统各变量的变化情况,并由此得出系统是否暂态失稳。

3 小扰动情况下的仿真结果分析

3.1 安装 SVC 后的系统的平衡解流形

图2中实线和虚线分别代表安装 SVC 前后系统的平衡解流形。负荷侧安装 SVC 后,感应电动机的最大负载转矩(曲线中用圆圈标注,下同)和电压水平都有明显的提高。表1给出两种情况下感应电动机的最大负载转矩及相应的电压值和滑差(IM 代表只有感应电动机负荷,IM-SVC 表示安装 SVC)。

表1 鞍结分岔点处的系统变量值

	T_m	U_2	s
IM	0.781 2	0.901 6	0.040 4
IM-SVC	0.864 2	0.942 6	0.044

图2中平衡解流行上的圆圈代表系统发生鞍结分岔的位置,也就是感应电动机负荷所能达到的最大负载转矩的位置。由分岔理论可知,系统的鞍结分岔对应着系统单调失稳。鞍结分岔点处的时域仿真曲线如图3所示,从图中可以看出当系统加小的扰动

后 感应电动机负荷的负载转矩发生单调失稳。

3.2 SVC 放大倍数对平衡解流形的影响

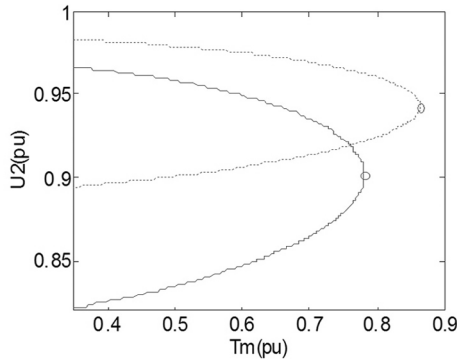


图 2 安装 SVC 前后系统的 $T_m - U_2$ 曲线

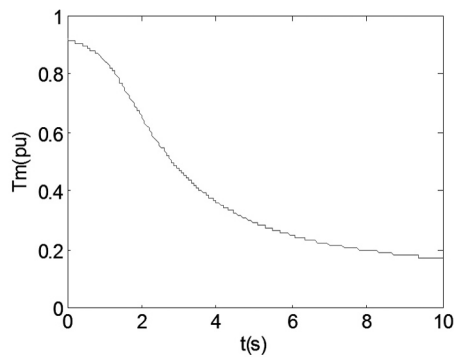


图 3 鞍结分岔点出的时域仿真曲线

系统中其他参数不变, SVC 放大倍数 $K_C = 5, 10, 15$ 时的 $T_m - U$ 曲线如图 4 所示。从图中可以看出, 当放大倍数增加时, 感应电动机的最大负载转矩增加。表 2 给出了 K_C 变化时系统变量的值。从结果可以得出, 提高 SVC 放大倍数有利于提高系统的电压水平和最大负载转矩。

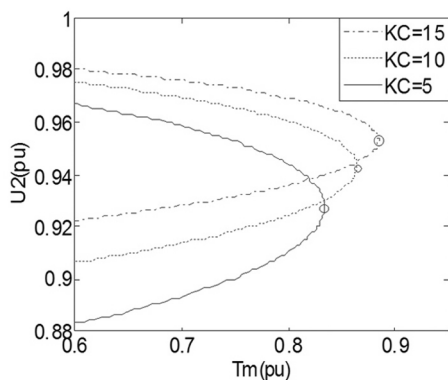


图 4 K_C 取不同值时系统的 $T_m - U_2$ 曲线

表 2 K_C 取不同值时对鞍结分岔点的影响

K_C	T_m	U_2	s
5	0.833 3	0.927 2	0.042 6
10	0.864 2	0.942 6	0.044
15	0.884 5	0.953	0.044 7

4 大扰动情况下的仿真结果分析

4.1 安装 SVC 前后的暂态电压稳定性比较

当系统遭受某些大的扰动, 动态负荷的稳定性问题也是值得关注的。这里主要考虑了当线路发生三相短路时, 故障的切除时间对感应电动机负荷的影响, 同时研究了安装 SVC 后故障极限切除时间的变化。

假设节点 1 和节点 2 之间的线路在靠近节点 1 侧发生三相对称短路(下面故障类型相同)。当系统中发生短路故障后如果继电保护装置的动作时间超过了此时系统的极限切除时间, 电压和负荷将无法恢复到故障前的稳定状态, 系统将会失去稳定性。

图 5 和图 6 中实线代表系统暂态稳定情况下的负载转矩和节点电压变化曲线, 当故障切除后, 负载转矩 T_m 和节点电压 U_2 经过一段时间可以恢复到故障前的稳态状况; 虚线为系统暂态失稳情况下的负载转矩和节点电压变化曲线, 故障切除时间超过系统暂态稳定的极限切除时间, 负载转矩 T_m 和节点电压 U_2 将无法恢复到故障前的稳态状况。

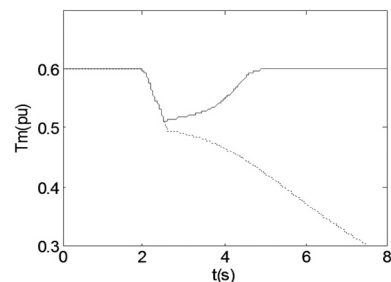


图 5 系统暂态稳定和暂态失稳下的 T_m 变化曲线

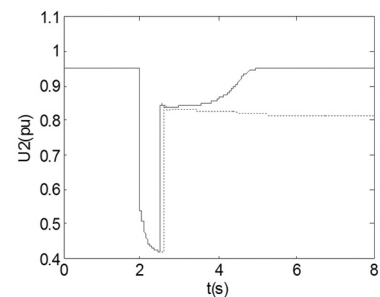


图 6 系统暂态稳定和暂态失稳下的 U_2 变化曲线

表 3 给出了安装 SVC 前后在相同的负载转矩情况下故障极限切除时间的变化。 T_1 表示只有感应电动机负荷的极限切除时间, T_2 表示安装 SVC 后的极限切除时间。从表中可以看出, 安装 SVC 后故障极限切除时间变长, 这降低了对继电保护装置的动作时

间的要求,增强了感应电动机负荷的暂态稳定性。

表 3 安装 SVC 极限切除时间的变化

T_m	0.5	0.6	0.7
T_1	1.067	0.536	0.253
T_2	3.438	1.399	0.697
$T_2 - T_1$	2.371	0.863	0.444

图 7、图 8 分别表示在故障持续时间相同的情况下,安装 SVC 前后节点电压和感应电动机负荷吸收的无功变化情况。不装设 SVC 时,在负荷恢复过程中节点电压下降较大,同时感应电动机负荷吸收大量的无功功率,这是造成负荷节点电压较低的原因,并且负荷恢复时间较长。安装 SVC 后,SVC 提供了大量的无功功率,防止大幅度电压下降,而且缩短了负荷恢复时间。

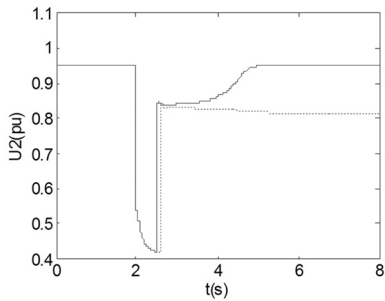


图 7 相同故障切除时间的 U_2 暂态曲线

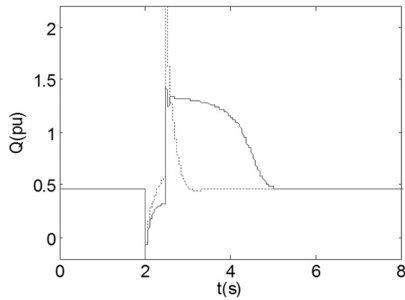


图 8 相同故障切除时间的 Q 暂态曲线

4.2 SVC 参数对故障极限切除时间的影响

表 4 给出了 SVC 的时间常数 T_c 对故障极限切除时间的影响。从中可以看出,SVC 时间常数越大,极限切除时间越短,越不利于系统的暂态电压稳定。

表 4 SVC 时间常数对极限切除时间的影响

T_c	0.04	0.2	1
T	1.471	1.399	1.212

表 5 给出了 SVC 放大倍数对故障极限切除时间的影响。从中可以看出,SVC 放大倍数越大,故障极限切除时间越长,降低了对继电保护设备的动作要求,提高了系统的暂态电压稳定性。

表 5 SVC 放大倍数对极限切除时间的影响

K_c	5	10	15
T	0.891	1.399	2.43

5 结 论

在感应电动机负荷侧安装 SVC,一方面可以增加最大负载转矩,提高系统的电压水平,保证电动机负荷的稳定运行;另一方面,可以延长极限切除时间,减小大扰动对系统的影响,增强感应电动机负荷的暂态电压稳定性,使感应电动机负荷快速恢复稳态运行。同时,时间常数较小,放大倍数较大的 SVC 有利于感应电动机负荷的动态电压和暂态电压稳定。

参考文献

- [1] 赵兴勇,张秀彬,苏小林.电力系统电压稳定性研究与分岔理论[J].电工技术学报,2008,23(2):87-95.
- [2] Vournas C D, Sauer P W, Pai M A. Relationships between Voltage and Angle Stability of Power Systems[J]. International Journal of Electrical Power and Energy System, 1996: 493-500.
- [3] 李林,康积涛,张学群,等.感应电动机参数对小干扰电压稳定影响[J].四川电力技术,2010,33(3):68-70.
- [4] El-Sadek M Z, Abdelbarr F N. Effects of Induction Motor Load in Provoking Transient Voltage Instabilities[J]. Electric Power Systems Research, 1989, 17(2): 119-127.
- [5] El-Sadek M Z. Voltage Instabilities Subsequent to Short-circuit Recoveries[J]. Electric Power Systems Research, 1991, 21(1): 9-16.
- [6] 孙华东,周孝信,李若梅.感应电动机负荷参数对电力系统暂态电压稳定性的影响[J].电网技术,2005,29(23):1-6.
- [7] 郭琼,李晨晖.计及电动机动态的电压稳定问题仿真分析[J].继电器,2005,33(5):12-14.
- [8] 章健.电力系统负荷模型与辨识[M].北京:中国电力出版社,2007.
- [9] PrabhaKundur. Power System Stability and Control(电力系统稳定与控制)[M].北京:中国电力出版,2002.
- [10] 倪以信,陈寿孙,张宝霖.动态电力系统的理论和分析[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [11] 杨秀,金红核,郭晨吉,等.应用分岔理论分析 SVC 对电力系统电压稳定性的影响[J].电力系统保护与控制,2009,37(7):7-11.

(下转第 52 页)

降低其接地电阻。

3.3 线路易击区段地形核实

由于线路易击区段处于跨域云顶山区的海拔最高地段,线路出现大跨越,同时地形的影响使得对个别杆塔容易遭受雷电绕击,因此需要对杆塔所处地形进行现场核实已进一步确定方案。

经现场核实,线路41号、43号、44号、47号杆塔位于山脊上,且线路档距大,杆塔两边均为陡坡,地形对线路的屏蔽作用已基本失去,线路极易遭受绕击。而42号塔虽位于线路海拔最高点,且落雷统计数量最高,但其所处地形相对平坦,遭受绕击的可能性不大,无需进行整治。

3.4 线路防雷整治方案制定

在综合分析线路实际情况后,决定对线路部分杆塔安装线路避雷器,以提高线路耐雷水平,避雷器选型为YH10WX-108/281。安排加装线路避雷器的杆塔及其情况如下。

(1) 32号塔,海拔高度为769 m,大号侧大档距。直路塔,绝缘子配置为FXWB2-110/100,杆塔代号SZT2-24,投运两年来落雷数量22次。

(2) 41号塔,海拔高度为810 m,小号侧高落差,两侧档距大。杆塔代号SJ1-18,耐张塔,绝缘子配置为双串9片XWP2-70。投运两年来落雷数量13次,出现雷害1次。

(3) 43号塔,海拔高度为779 m,两侧落差较大,大号侧档距大。杆塔代号SZT2-28,直路塔,绝缘子配置为FXWB2-110/100,投运两年来落雷数量21次。

(4) 44号塔,海拔高度为688 m,小号侧档距大。杆塔代号110JGu2-24。直路塔,绝缘子配置为FXWB2-110/100,投运两年来落雷数量21次。

(5) 47号塔,海拔高度为584 m,两侧落差大,小号侧大档距。杆塔代号SJ1-21,耐张塔,绝缘子配置为双串9片XWP2-70,投运两年来雷定位系统落

(上接第29页)

[12] 彭志伟,胡国根,韩祯祥.基于分叉理论的电力系统电压稳定性分析[M].北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

李康(1984),男,山东人,硕士研究生,主要从事电力系统稳定性方面的研究;

康积涛(1962),男,教授,博士,主要从事调度自动化系

雷数量17次,出现雷害2次。

4 线路防雷整治实施效果

2009年9月1日,线路按照制定的整治方案加装了线路避雷器,完成了改造。整治后的线路经受了在2009年9月10日雷暴日、2010年和2011年两年的雷雨季节考验,未发生雷击跳闸,避雷器的动作情况见表2。

表2 避雷器动作情况统计

安装杆塔号	安装位置(相)	动作情况/次			备注
		L1相	L2相	L3相	
32号	L1、L2、L3	0	3	0	计时间为 2011年9月
41号	L1、L2、L3	3	0	0	
43号	L1、L2、L3	0	1	0	
44号	L1、L2、L3	0	0	0	
47号	L1、L2、L3	1	3	0	

5 结 语

(1) 线路防雷整治要综合分析线路历次雷击故障、线路走廊雷电活动情况、地形地貌及线路绝缘配置,有针对性采取相应措施,方能取得较好效果。

(2) 加装线路避雷器可以有效提高杆塔的耐雷水平,降低线路雷击跳闸率,提高线路运行可靠性,特别是针对特殊地形的防止雷电绕击有较好的效果。

参考文献

- [1] 程学启,杨春雷,咸日常,等.线路避雷器在输电线路防雷的应用[J].中国电力,1999,32(8):66-67.
- [2] 鲁世发,杜元三,严宜军,等.110 kV线路防雷综合治理方案浅谈[J].湖北电力,2005,29(z1):30-31.

作者简介:

吴晓晖(1974),男,工程师,从事电力系统高电压设备及信息化系统管理。(收稿日期:2011-10-10)

统,电力系统无功优化计算,电压稳定性、工业测控的研究工作;

陈芝奔(1987),男,浙江人,硕士研究生,主要从事电力系统潮流优化方面的研究;

王敏(1988),男,湖北人,硕士研究生,主要从事电力系统次同步振荡和软件开发等方面的研究。

(收稿日期:2011-07-18)

一起线路保护拒动的案例分析

李莹雯¹, 周云峰²

(1. 绵阳电业局, 四川 绵阳 621000; 2. 四川省电力公司超(特)高压运检公司, 四川 成都 610041)

摘要:介绍了一起110 kV线路保护拒动导致的扩大事故,详细分析了线路保护拒动后各个后备保护动作的情况,说明二次回路的完好性对电力系统的正常运行起到十分重要的作用。

关键词:继电保护; 事故分析; 电力系统; 电压漂移

Abstract: An accident expanding caused by 110 kV line protection malfunction is introduced. The actions of backup protection after line protection malfunction are analyzed in detail. It is shown that the integrity of secondary circuit plays a very important role in the normal operation of power system.

Key words: relay protection; fault analysis; power system; voltage shift

中图分类号: TM273 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)06-0030-02

0 引言

继电保护系统是电力系统的重要组成部分,对保证电力系统的安全稳定运行,防止事故发生和扩大能够起到关键性的决定作用。由于电力系统在地域分布上的广阔性及运行环境的不确定性,电气故障的发生是不可避免的。一旦电力系统发生故障或异常时,继电保护可以实现在最短时间内,以最小的代价将故障设备隔离,不仅能有效地防止设备的损坏,还能防止事故扩大而导致的时间长、面积广的停电事故。因此,虽然继电保护系统不是电力系统的一次设备,但在保证一次设备安全运行方面担负着不可缺的重要角色。但若当由于种种原因,继电保护装置不能正确发挥其功能,电网中的故障将得不到有效控制,就会造成对电网稳定的破坏和大规模的停电事故^[1-4]。

现代化大电网对继电保护的依赖性更强,对其动作正确率的要求更高。但对于保护系统二次接线方面存在的隐性缺陷,在运行中一般很难发现,而这类隐性缺陷一旦暴露则很可能会扩大事故,造成更大的经济损失。下面将对西南某省110 kV线路保护由于二次接线的隐性缺陷而导致保护中性点电压出现漂移,在线路发生故障时保护拒动,引起事故扩大的过程进行了介绍,并对故障扩大的原因进行了详细分析。

1 事故概况

发生事故的变电站为西南某省的一个220 kV电

站(简称S站),事故时投运220 kV主变压器2台,220 kV、110 kV系统均为双母线带旁路接线方式。

1.1 故障前运行方式

故障前系统电气主接线如图1所示。S站2台220 kV主变压器并列运行,110 kV母联开关110处于运行状态,1号主变压器220 kV、110 kV中性点均接地,2号主变压器220 kV、110 kV中性点不接地。

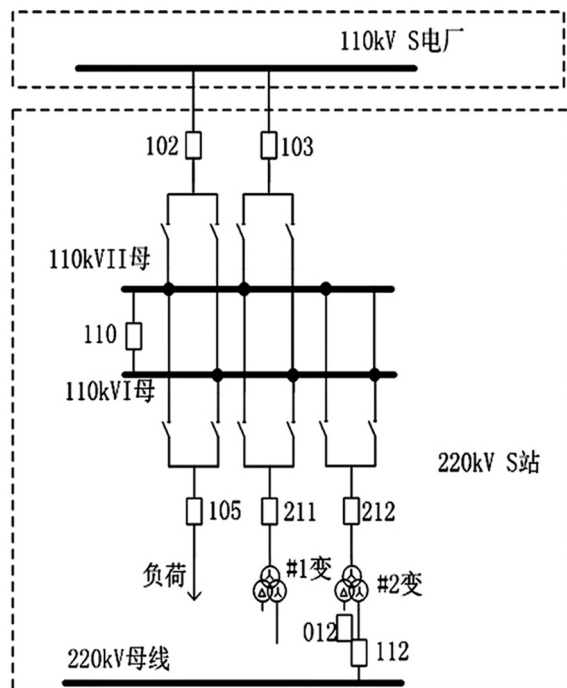


图1 系统接线示意图

1.2 事故过程

当日15时25分,110 kV S电厂110 kV 102、103

开关线路双回线零序 III 段保护动作出口跳闸,甩 50 MW 负荷, S 电厂与主网解列。同时 S 站 1 号主变压器中压侧复压方向过流保护动作出口跳 220 kV 母联 210 开关、1 号主变压器高压侧复压方向过流保护动作出口跳 110 kV 母联 110 开关、2 号主变压器高压侧复压方向过流保护动作出口跳 110 kV 母联 110 开关、2 号主变压器间隙保护、零序过压保护动作出口跳 2 号变电站 212、112、012 开关, S 站 110 kV 系统全部失电。

2 动作情况分析

根据保护动作情况分析,所有动作的保护都为后备保护,其中零序 III 段保护为线路近后备保护,变压器的复合电压过流保护既可以作为变压器主保护的后备保护,又可以作为相邻母线或线路的远后备保护,由于两台变压器及母线主保护均未动作,且站内检查主变压器、母线无异常,因此可初步判断故障点位于 S 站外。

事故后经检查及巡线发现 110 kV 105 线路 21 号杆 A 相拉线被盗,导致线路发生 A 相接地故障,但正常情况下 110 kV 105 线路线路保护应动作隔离故障,实际情况是该线路保护拒动,后经检查保护二次接线发现线路保护屏内部 UN 端子松动,由此造成保护中性点电压漂移,导致采样出错,线路保护实际已失去保护功能,但由于此类缺陷为隐性缺陷,一般的日常巡视很难发现,因此在设备实际发生故障时保护未动,最终引发上述线路远后备保护动作跳开关将故障点隔离, S 电厂与主网解列,切 50 MW 的严重后果。

当 110 kV 105 开关线路发生 A 相接地故障(21 号杆 A 相拉线被盗)时, S 站 105 开关线路保护(南自厂 PSL621)由于保护中性点电压漂移,已不能正常履行其线路保护功能,因此在线路发生故障时 105 开关未跳闸。但此时系统故障仍然存在,由于是单相接地故障,因此系统中存在零序电流,并且系统 L1 相将出现低电压。作为 S 站故障远后备的 S 电厂 110 kV 102、103 开关线路零序 III 段保护在故障时启动,由于 105 开关线路主保护拒动,因此 110 kV 102、103 开关线路零序 III 段保护在延时 2 s 后出口跳 102、103 断路器,将 S 电厂与故障点有效隔离,与此同时也造成 S 电厂与主网的解列和切负荷。此时 S 站却仍然未与故障点有效隔离,故障过程中 S 站 1 号、2 号主

变压器高压侧复压闭锁方向过流 I 段作为本站内 110 kV 母线侧远后备保护,在延时 3.7 s 后出口跳 110 kV 母联 110 断路器,1 号主变压器由于中性点直接接地,相应的零序过压、间隙零序电流保护停用,因此不存在零序电压,相应的保护也不应动作;同时由于 2 号主变压器中压侧中性点不直接接地,没有零序电流流通,在中性点只存在零序电压,因此 2 号主变压器中压侧零序过压、中压侧间隙 I 段将出口跳 2 号主变压器三侧断路器(212、112、012);对于 1 号主变压器,由于中压侧直接接地,因此零序电流过大,造成 1 号主变压器 110 kV 侧三相电流同向,同时总电流也超过主变压器额定电流,1 号主变压器中压侧复压闭锁方向过流 I 段判为正方向(电流指向变压器为正方向),功率方向落在动作区,所以作为母线及线路远后备保护的中压侧复压闭锁方向过流 I 段也将延时 3 s 出口跳 220 kV 母联 210 断路器。

综上所述,在本次事故中,除 110 kV 105 开关线路保护拒动外,其余保护均动作正常,正确履行了保护的功能。

3 结 语

这是一起由小缺陷导致的保护拒动继而引发的扩大化的电网事故,说明了二次回路的完好性对电力系统的正常运行起到十分重要的作用,同时也反映了现场运行过程中对于运行中设备所存在的可能发展成事故的各类隐患不够重视。因此,应加强对运行中一、二次设备的维护、定检工作,同时对于已严重老化、可靠性及安全性都已大为降低的相关设备应尽快安排更换,及时消除安全隐患,将可能发生的事故扼杀于萌芽状态。

参考文献

- [1] 吴杨. 一次高频线路保护“拒动”行为分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(17): 92-93.
- [2] 许守东,袁荣湘,玉溪变玉竹 I 回 A 相拒动原因分析及对策[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(20): 91-96.
- [3] 游家训,吴蓉,叶康,等. 一起自切闭锁母差隐性缺陷导致故障扩大的事故分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(7): 102-107.
- [4] 高平. 一起线路保护拒动的原因分析[J]. 福建电力与电工, 2003, 23(1): 54-55 (19).

(收稿日期:2011-06-21)

断路器偷跳引起的重合闸反复动作

郭又华¹ 赵俊¹ 朱雨²

(1. 四川省电力公司超(特)高压运行检修公司, 四川 成都 610041;

2. 成都电业局继电保护所, 四川 成都 610021)

摘要: 断路器偷跳可能造成严重后果, 应予以重视。介绍一起 500 kV 断路器偷跳引起的重合闸反复动作案例, 提出了某些情况下偷跳会引起重合闸反复动作、造成断路器周期性跳合类似“跳跃”的现象, 详细分析了该现象产生原因及过程, 最后提出了能避免重合闸反复动作, 加快断路器三相跳闸的解决方案。

关键词: 断路器; 偷跳; 重合闸

Abstract: The non-fault trip of circuit breaker may cause serious consequences, so it should be much accounted. A case of repeating reclosing caused by non-fault trip of a 500 kV circuit breaker is introduced. The phenomenon, such as repeating reclosing and periodically tripping and closing of circuit breaker like "jumping", are put forward in some cases, which are caused by non-fault trip. The occurring reasons and process of this phenomenon are analyzed in detail. Finally, the solutions are proposed to avoid repeating reclosing and to accelerate three-phase tripping of circuit breaker.

Key words: circuit breaker; non-fault trip; reclosing

中图分类号: TM561 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)06-0032-04

0 引言

超高压断路器偷跳往往带来意想不到的严重后果, 引起非全相运行、断路器误动、稳定等问题。因此尽管断路器偷跳并不时常发生, 依然受到继电保护技术人员的重视。文献[1]介绍了一起发电机组断路器偷跳甩负荷的案例。文献[2]提出了为避免断路器偷跳引起的负序电流对机组的危害, 利用偷跳进行远方切机的技术方案。文献[3]分析了一起 330 kV 断路器发生偷跳的原因, 给出了一种避免偷跳的方案。文献[4]分析了一起 220 kV 液压机构断路器偷跳后, 由于压力降低接点被直接引入保护装置重合闸放电, 导致重合闸不能起动的案例。

在某 500 kV 变电站验收调试过程中模拟断路器单相偷跳时, 偷跳相断路器因合闸储能不到位, 断路器机构非全相继电器与断路器保护配合, 出现重合闸反复动作, 断路器周期性反复跳合类似“跳跃”的现象。该站为 3/2 断路器接线, 多回出线为同塔双回线路, 采用自适应重合闸技术, 配置了南京南瑞继保公司的 RCS-931E 线路保护、RCS-921C 断路器保护以及 CZX-22R 型操作箱。为避免在运行中出现类似情况, 下面就该现象产生的原因和过程做一下分析, 并给出解决方案供探讨。

1 断路器合闸回路

图 1 为断路器合闸回路示意图。该断路器为液压机构, 为与保护装置配合实现自适应重合闸之相间故障分相顺序重合逻辑, 合闸压力低闭锁采用分相闭锁合闸回路设计。即断路器各相合闸压力低闭锁接点分别对应串接于各相合闸回路中。相间故障时, 断路器超前相先合释能, 导致该相机机构储能下降至合闸压力低闭锁位置, 该相断路器合闸压力低闭锁接点 HYJ 打开, 断开该相合闸回路, 滞后相重合闸不受超前相合闸压力低的影响可以继续重合。断路器机构释能后储能电机运转开始打压储能, 储能期间, 该相断路器合闸压力低闭锁接点 HYJ 一直断开, 液压机构整个储能过程持续 10 s 以上, 储能完成后 HYJ 闭合允许合闸。

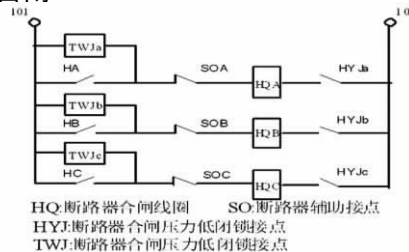


图 1 断路器合闸回路示意图

2 RCS-921C 充电条件与跳闸位置起 动单重逻辑

2.1 RCS-921C 充电条件

RCS-931E 线路保护包含自适应重合闸的全部逻辑,自适应重合闸可由跳闸位置或者跳闸固定启动。但对于 3/2 断路器接线,线路保护跳闸位置开入采用双断路器位置串联接入线路保护。双断路器运行时,如果某相断路器发生偷跳,RCS-931E 并不能反映断路器偷跳的行为。虽然单断路器运行时 RCS-931E 自适应重合闸可由跳闸位置启动顺序重合,但 RCS-921C 断路器保护重合闸在断路器偷跳后自动转入常规重合闸方式,常规重合闸由两种方式启动,一是线路保护跳闸启动,二是由断路器跳闸位置启动。因此对于断路器偷跳后重合闸的动作行为,RCS-921C 起着决定性作用。鉴于此,这里只论述 RCS-921C 重合闸充电条件^[5]。

RCS-921C 断路器保护在以下条件均满足时,重合闸充电计时器开始计时,充电时间为 10 s。

- 1) 跳闸位置继电器 TWJ 不动作或线路有流;
- 2) 保护未启动;
- 3) 不满足重合闸放电条件。

2.2 跳闸位置启动单重逻辑

跳闸位置启动重合闸分为跳闸位置启动单重与跳闸位置启动三重,通常投入跳闸位置启动单重。RCS-921C 断路器保护的跳闸位置启动单重逻辑可简化为图 2 所示的逻辑图^[5]。由图 2 中可看出,满足跳闸位置启动单重的条件是:重合闸充电成功、断路器三相 TWJ 不同时动作且跳开相无流、跳闸位置启动单重控制字投入、无单相跳闸和三相跳闸动作。

3 重合闸反复动作使断路器“跳跃”的过程

模拟断路器单相偷跳时,恰逢偷跳相储能电机异常,合闸储能不到位,该相断路器合闸压力低闭锁接点 HYJ 一直处于断开状态。断路器“跳跃”过程可以划分为两个阶段。第一阶段动作行为是断路器单相偷跳后,机构非全相继电器动作跳开另外两相,而后 RCS-921C 断路器保护重合闸动作,合上这两相。第二阶段动作行为是断路器机构在储能过程中,机构非全相继电器再次动作跳开这两相,储能结束后 RCS-921C 断路器保护重合闸充电成功,储能完成后重

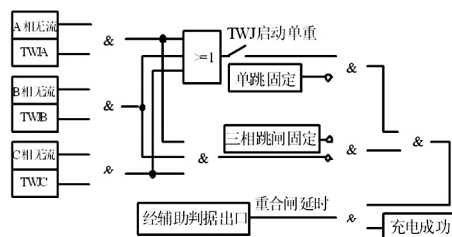


图2 跳闸位置启动单重逻辑图

合闸再次动作合上跳开的两相断路器,然后第二阶段的上述过程不断重复。表现出来就是重合闸反复动作,断路器出现周期性跳合类似“跳跃”的行为。这里以模拟 A 相断路器偷跳为例说明断路器“跳跃”的全过程。

首先看第一阶段。

假设断路器三相合位运行,但 A 相储能不到位,即图 1 中 A 相 HYJa 断开。当断路器 A 相发生偷跳后,A 相跳闸位置继电器 TWJa 因合闸回路不通并不能动作。虽然 A 相断路器实际处于跳闸位置,但 RCS-921C 的开入量为“TWJa=0; TWJb=0; TWJc=0”,RCS-921C 没有正确反映 A 相断路器的实际位置,认为断路器三相仍然处于合位。因此尽管断路器此时实际处于非全相运行状态,但 RCS-921C 非全相保护不会启动。在上节中说到,RCS-921C 断路器保护重合闸逻辑在断路器偷跳后转入常规重合闸逻辑,并可由位置不对应启动重合闸,但在三相跳位开入量都为 0 的情况下,此时重合闸不起动、不放电。

断路器机构非全相继电器直接采用断路器辅助接点判断断路器是否处于非全相运行状态,不受操作箱 TWJ 的影响。因此 A 相偷跳后,机构非全相时间继电器即启动,经过非全相整定延时后,机构非全相继电器动作出口将 B、C 相断路器跳开,断路器实际处于三相跳位。

断路器 B、C 相跳开后,由图 1 可见 B、C 相断路器辅助接点 SOB、SOC 闭合,合闸回路导通,TWJb、TWJc 动作,RCS-921C 开入量“TWJa=0; TWJb=1; TWJc=1”,因此 RCS-921C 判断断路器处于非全相运行状态,由于没有负荷电流,因此 RCS-921C 装置非全相保护并不会动作。RCS-921C 检测到 B、C 两相 TWJ 开入量由分到合的过程,判断 B、C 相断路器发生偷跳,于是转入常规重合闸逻辑。由图 2 知,如果 RCS-921C 保护“跳闸位置启动单重”控制的投入,且处于充电完成状态,同时满足了不对应启动重合闸的条件,则重合闸启动并动作出口将处于分位的

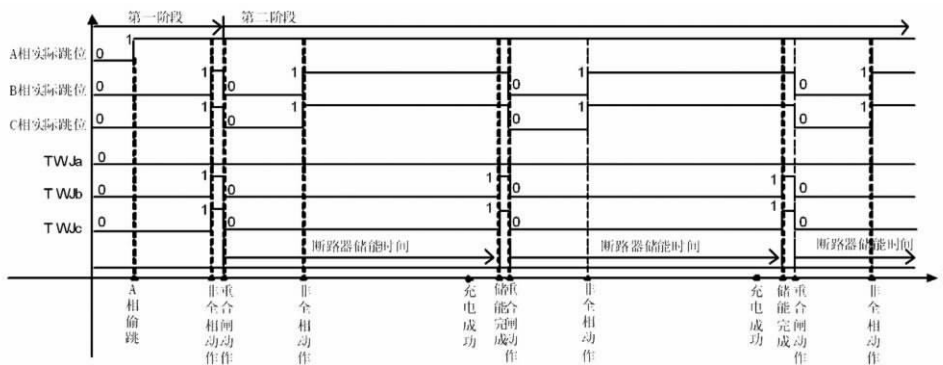


图3 断路器“跳跃”过程

B、C 两相重合,此时断路器实际位置为 A 相跳位、B、C 相合位,断路器实际重新进入非全相运行状态。需要指出,B、C 相重合后,因负荷不对称可能出现零序电流,但因为是合闸于负荷,线路保护不会发出跳闸信号,RCS-921C 不会判断为合闸于故障,因此不会动作跳闸。

下面是断路器跳跃的第二阶段。

B、C 两相断路器重合后,RCS-921C 开入量“TWJa=0; TWJb=0; TWJc=0”,满足第2节所述的重合闸充电条件,重合闸开始充电计时,同时 B、C 相断路器储能电机运转开始补压储能,重新储能到位需要 10 余秒钟。机构非全相整定时间一般较短,储能仍在恢复过程中,机构非全相继电器就再次动作将 B、C 相跳开。虽然此时断路器实际又处于三相跳位,但只要合闸储能未到位,图 2 中 HYJb、HYJc 都一直断开,TWJb、TWJc 不动作,RCS-921C 开入量仍保持“TWJa=0; TWJb=0; TWJc=0”,RCS-921C 判断断路器仍在三相合位,重合闸充电计时不因 B、C 相断路器跳闸而中断。由于重合闸 10 s 的充电时间小于 B、C 相断路器重新储能到位的时间,假如此时无其他闭重条件开入,RCS-921C 保护重合闸在 B、C 相断路器储能到位之前就已充电成功。

B、C 相断路器机构储能到位后,合闸回路中 HYJb、HYJc 遂闭合,图 1 中 B、C 相断路器辅助接点 SOB、SOC 亦闭合,B、C 相断路器合闸回路导通,操作箱内 TWJb、TWJc 于是动作。RCS-921C 保护装置此时检测到“TWJa=0; TWJb=1; TWJc=1”,认为发生 B、C 两相断路器由分到合的过程,判断 B、C 相发生偷跳,转入常规重合闸逻辑,并由跳闸位置起动单相重合闸再次重合 B、C 相断路器。

接下来就是不断重复第二阶段的上述过程。其看到的现象为:重合闸反复充电、动作,断路器机构非全相继电器周期性反复动作,B、C 相储能电机不断运

转储能,B、C 相断路器周期性地跳合闸。断路器整个“跳跃”过程如图 3 所示。

4 解决方案

造成 RCS-921C 断路器保护重合闸反复动作,断路器周期性跳合的类似“跳跃”现象的根本原因在于断路器某相合闸回路因故断开,而刚好该相又发生偷跳。而由于断路器机构合闸储能时间过长,超过了 RCS-921C 保护装置重合闸的充电延时也为重合闸反复动作提供了条件。模拟断路器单相偷跳时适逢偷跳相储能电机故障,造成偷跳相储能不到位,HYJ 断开偷跳相断路器合闸回路。多种原因都可能造成偷跳相的合闸回路不通,除了合闸储能不到位外,偷跳相断路器合闸回路辅助接点 SO 接触不良、SF₆ 闭锁等异常原因都可能导致合闸回路断开,同样会使断路器出现上述“跳跃”现象。

为了防止断路器“跳跃”,断路器机构非全相继电器动作后,将非全相继电器一对动作后即保持的动合接点接入 RCS-921C 之“闭锁重合闸”开入。机构非全相继电器动作后,则立即对重合闸放电不再重合。需要指出,如果将其接入操作箱之“压力降低禁止重合”回路,RCS-921C 会延时 400 ms 对重合闸放电,用以避免机构压力突然短时的抖动造成合闸压力低开入闭锁重合闸。在此延期内 RCS-921C 若检测到 TWJ 开入,则不再受操作箱“压力降低禁止重合”的影响,由跳闸位置起动重合闸,不能达到闭锁重合闸的目的。将该接点接入 RCS-921C “闭锁重合闸”开入,即使 TWJ 先于非全相继电器动作接点开入到 RCS-921C 装置,造成重合闸起动后 RCS-921C 才收到非全相继电器动作接点,只要此时重合闸脉冲没有发出,RCS-921C 就立即放电不再重合。

如果不增设上述回路,针对防止断路器某相合闸

压力低闭锁时该相偷跳引起前面所述重合闸反复动作,造成断路器“跳跃”现象,也可将各相“断路器合闸压力低闭锁”接点并联接入操作箱“压力降低禁止重合”回路,当任意相断路器合闸压力低闭锁发生时即对 RCS-921C 重合闸放电,任意相断路器偷跳都不能再起动重合闸。该回路另外一个好处是当任意相断路器合闸压力低闭锁时,发生任何故障直接三相跳闸,不再需要等到机构非全相继电器动作跳开三相断路器,可以缩短断路器三相跳闸的时间。相反如果某相断路器合闸压力低闭锁时不采取措施,该相单相故障时线路保护选跳故障相,重合闸动作,但故障相断路器因合闸压力不足而拒合,最后才由机构非全相继电器动作跳开断路器余相,增加了断路器非全相运行的时间。虽然一相断路器合闸压力低闭锁时其他相仍然具备重合闸的条件,但是从运行角度考虑,此时也应将断路器停运检修而不是让其坚持运行,因此任一相断路器合闸压力低闭锁时即对 RCS-921C 重合闸放电利大于弊。增加该回路也并不会影响自适应重合闸在相间故障时的顺序动作行为,对此不再展开论述。

5 结 论

根据分析,将各相“断路器合闸压力低闭锁”接点并联接入操作箱“压力降低禁止重合”回路,任意相断路器发生合闸压力低闭锁时即对 RCS-921C 重合闸放电,增加了某相合闸压力低闭锁时再故障情况下线路保护跳开三相断路器的快速性。相对于断路器合闸压力低闭锁时不采取措施,该方案更为合理。另外,将机构非全相继电器动作后一对能够保持的动合接点接入 RCS-921C 装置“闭锁重合闸”开入对 RCS-921 重合闸放电,可以有效避免由各种原因导

致断路器合闸回路断线时再发生故障或偷跳引起的重合闸反复动作、致使断路器周期性“跳跃”的现象,而且不会因此带来其他问题。

虽然某相断路器合闸回路断线时合并发生该相故障或偷跳的可能性很小,但是并非不存在这种事故,如果前面所述的断路器类似“跳跃”现象一旦发生,极可能造成非常严重的后果,对断路器本身乃至电网的安全都构成重大威胁,因此继电保护仍不得不加以重视和防范。继电保护技术人员应针对不同断路器的特性,综合考虑二次回路,分清矛盾的主次,尽量避免不利情况的发生。另外在解决断路器问题的同时,也要注意不能引起其他问题。

参考文献

- [1] 肖明,卢建勇,马应成.小浪底电厂开关偷跳原因分析与处理[J].人民黄河,2010,32(8):130-131.
- [2] 于广耀,于金立.断路器偷跳远方切机研究[J].继电器,2008,36(4):81-83.
- [3] 王德志.一起330 kV 断路器偷跳事件的分析及改进[J].电力系统保护与控制,2010,38(5):119-120.
- [4] 王宏茹,甘红庆,郭剑黎,等.一起开关偷跳重合闸不动作的分析和改进[J].电力系统保护与控制,2009,37(24):201-206.
- [5] RCS-921C 型断路器失灵保护及自动重合闸装置技术说明书.

作者简介:

郭又华(1979)男,硕士,工程师,从事继电保护、电测仪表工作;

赵俊(1984)男,硕士,助理工程师,从事继电保护工作;

朱雨(1978)女,学士,工程师,从事继电保护管理工作.

(收稿日期:2011-06-16)

(上接第13页)

- [7] 李飏.火电机组 OPC 超速保护动作特性分析[J].电力安全技术,2005,7(12):21-22.
- [8] 吴琛,李文云,杨强,等.云南电网高频率问题与火电机组 OPC 功能协调配合研究[J].云南电力技术,2005,33(6):1-3.
- [9] 罗志浩,王达峰,姚文伟.600 MW 机组 RB 功能试验及其分析[J].热力发电,2009,38(12):64-67.
- [10] 黄宗君,晁剑,李兴源,等.贵阳南部电网高频

问题与超速保护器仿真研究[J].电网技术,2007,31(15):26-32.

- [11] 袁季修.电力系统安全稳定控制[M].北京:中国电力出版社,1996.

作者简介:

王筱(1988)男,陕西安康人,硕士,主要从事电力系统稳定与控制方面研究;

晁勤(1959)女,教授,博士生导师,主要从事电力系统综合自动化和并网风力发电系统稳定性等方面的研究和教学工作.

(收稿日期:2011-07-26)

基于 weibull + + 的变压器寿命评估分析

阮峰¹, 王小明², 甄威³

(1. 国家电网公司直流建设分公司 四川 成都 610041; 2. 四川省电力公司通信自动化中心 四川 成都 610041;
3. 四川电力科学研究院 四川 成都 610072)

摘要:通过对变压器绝缘寿命的重要性影响因素的历史监测数据的统计分析,模拟了负载系数及环境温度的变化过程,建立了变压器寿命评估模型。通过对一台实际运行的变压器在考虑/不考虑负荷增长及环境温度增加的情况下进行基于 weibull + + 的绝缘寿命评估,分析了负荷及环境温度对变压器寿命的影响。最后的评估结果验证了模型的有效性。

关键词:电力变压器; 绝缘寿命评估; 负载模拟; 环境温度模拟

Abstract: The change processes of the load factors and ambient temperatures are modeled by the statistical analysis of the history monitoring data that is important to the transformer insulation life. And the evaluation model is established based on weibull + +. Through the insulation life assessment of an in-service transformer with/without the load growth and ambient temperature rise, the influence of load and ambient temperature on the insulation life is discussed. Finally, the validity of the proposed model is verified by the evaluation results.

Key words: power transformer; insulation life assessment; load simulation; ambient temperature simulation

中图分类号: TM864 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0036-04

0 引言

变压器作为电力系统重要设备之一,长期的使用必然会加速变压器的绝缘老化过程。根据国外的统计表明,变压器的寿命导致的变压器故障,在所有引起故障起因中占第二位。因此,需要对投运年限较长的变压器采取相应措施延长其寿命,从而提高其经济效益。国外已有学者对变压器寿命评估进行了研究,提出了相应的寿命评估方法:解析法、破坏性检测法、非破坏性检测法以及神经网络、可靠性技术、突变理论等。中国的电力设备寿命管理工作目前还处于初级阶段,仅限于某些技术专业内的活动^[1]。为了有效地延长变压器的使用寿命,最大限度地减少其维护费用,必须对其进行寿命评估。因此,如何科学地评估变压器剩余寿命,保证超期服役的电力设备安全运行已成为电力部门越来越重视的问题。

对于油浸式变压器,影响其绝缘寿命的主要因素是:①变压器所带负载;②环境温度;③水分含量;④油中氧含量。近年来,全球变暖,变压器环境温度随之提高,同时,随着社会经济的发展,用户的用电量增加,特别是到了冬、夏两季,负荷增加明显,有时甚至

超过变压器的额定负载。因此,在估算变压器寿命时需要考虑负载增加及环境温度升高对变压器寿命的影响。文献[2]通过对未来的负荷及环境温度进行预测,对变压器绝缘寿命进行了估计,但是未考虑负荷增长及环境温度升高等因素。文献[3]考虑了环境温度的增加对变压器寿命的影响,但忽略了负荷的增加。在 IEEE Std C57.91-1995(油浸式电力变压器负载导则)^[4]的基础上,分别在①考虑负载增加和环境温度的升高、②不考虑负载增加及环境温度的升高的情况下对同一台变压器基于 weibull + + 软件进行了寿命评估,并对估算结果进行了比较。同时,还单独分析了环境温度的升高对变压器寿命的影响。

2 变压器寿命评估方法

文献[4]给出了求取变压器损失寿命的计算公式为

$$F_{AA} = \exp \left[\frac{1500}{383} - \frac{1500}{\Theta H + 273} \right] \quad (1)$$

$$\text{Loss of life} = \sum_{n=1}^N F_{AA_n} \Delta t_n \quad (2)$$

F_{AA} : 表示老化加速因数;

θ_H : 表示变压器热点温度;

F_{AAn} : 表示在 n 内的老化加速因数;

Δtn : 表示以时间间隔分别进行估算;

N : 表示总的的时间间隔数;

n : 表示第 n 个时间间隔 ($n = 1, 2, 3, \dots$);

其中, 热点温度的计算公式为

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H \quad (3)$$

θ_A : 表示当前环境温度;

$\Delta\theta_{TO}$: 表示相对于环境温度的顶层油温温升;

$\Delta\theta_H$: 表示相对于顶层油温的绕组热点温升;

$\Delta\theta_{TO}$ 、 $\Delta\theta_H$ 的详细计算参考文献 [4]。

1.1 负载模型

根据文献 [4], 要评估变压器绝缘寿命, 需要知道其负载系数 K 。

$K = \text{负载电流} / \text{额定电流}$

这里以监测到的某台变压器所带负荷曲线为基础, 对这台变压器实际所带负载进行预测。图 1 为 3 月某天变压器负载系数与时间的关系图, 图 2 为变压器最初开始使用那年负载系数与时间的关系图。由于变压器材料的热特性决定了, 在一段时间内, 变压器负荷波动产生的损耗与这段时间中某一定值产生的损耗一致^[4], 因此, 为了便于计算, 这里以阶梯形代替连续变化的曲线图。图 2 同理。

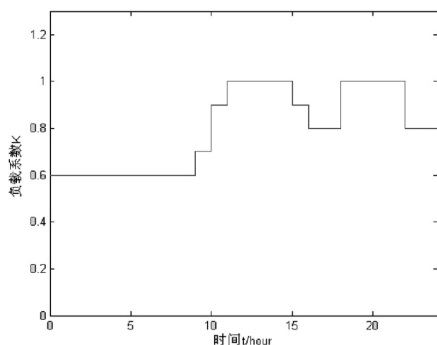


图 1 3 月某天变压器负载系数与时间的关系图

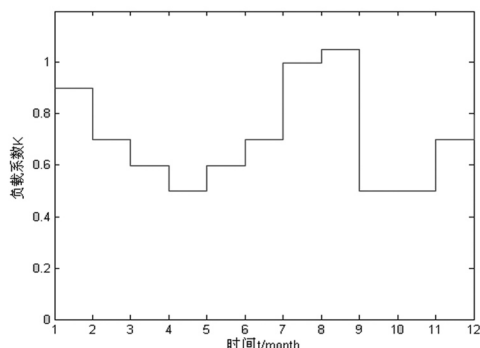


图 2 某年变压器负载系数与时间的关系图

以图 1 中的数据为基数, 对变压器负载进行估算。以 1 月为例, 具体计算方式如下。

由图 2 可得, 1 月负载系数 K 为 0.9, 3 月负载系数 K 为 0.6。1 月负载为 3 月负载的 1.5 倍。则一月每天的负载系数在 3 月的基础上乘以 1.5。同理, 可求得其余月份每天的负载系数。由于这样估算出的负载会存在一定的误差, 因此, 在负载系数曲线上加上一个较小的随机变化量修正, 设这个随机变化量服从正态分布。

1.2 环境温度模型

根据四川某市一年的历史温度, 可以得到一年内每天环境温度的最大值 $T_{\max}$ 、最小值 $T_{\min}$ 及平均值 T_{avg} , T_{avg} 可以反应出季节的变化。每一天的温度围绕着日平均温度以正弦函数形式变化^[2]。为了能够更好的反应一天的温度曲线, 在这个基础上, 需要在曲线上加一较小的随机变化量, 并且保证得到的温度模拟值介于 $T_{\max}$ 及 $T_{\min}$ 之间。具体的模拟方式如下。

- 1) 在 $[0, 2\pi)$ 之间产生 24 个等距的数 x_i , 计算出 $\sin x_i$ 的值;
- 2) 产生 24 个随机变量 Y_i , 使 Y_i 服从正态分布 $N(0, 0.25)$;
- 3) 计算 $Z_i = \sin x_i + Y_i$;
- 4) 计算 $D_i = (T_{\max} - T_{\min}) / 2 * Z_i$;
- 5) 计算每天每时刻温度 $T_i = T_{\text{avg}} + D_i$;
- 6) 重复以上步骤, 根据取得的每日的温度最大值 $T_{\max}$ 、最小值 $T_{\min}$ 及平均值 T_{avg} , 计算出一年 365 天的温度。

1.3 水分模拟

在 IEEE C 57.91 - 1995 中, 假设了变压器密封良好, 没有考虑水分对绝缘老化的影响, 但在实际运行时, 变压器干燥不良或在运行中吸潮、进水或产水, 都会导致水分的增加。绝缘纸中含水量为 2% 的老化速度是初始含水量 0.3% 的 6 ~ 16 倍, 而含水量增到 4% 时, 其老化速度是初始含水量 0.3% 的 12 ~ 45 倍^[5]。

因此在计算老化加速因子时考虑一个系数 C_n 。假设当变压器纸中含水量超过 2% 即进行干燥, 干燥后纸中残留的含水量为 0.3%。考虑由各种因素引起的温度变化中, 纸内水分实际上在高、低温含水量平衡值之间规律性波动^[6]。变压器纸中的含水量模拟如图 3 所示。

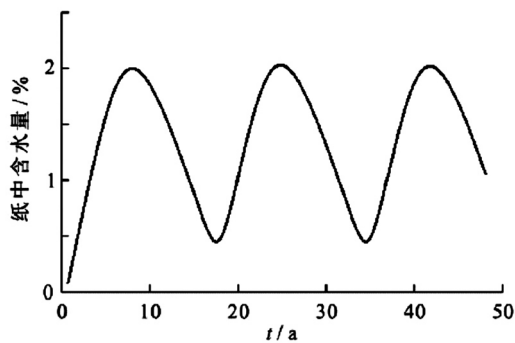


图3 变压器纸中含水量模拟

2 基于 weibull + + 的变压器寿命评估

对国内一台 120 000 kVA 的变压器寿命进行评估。具体参数如下。

散热方式: ONAF;

额定电流: 943 A;

空载损耗: 58.5 kW;

负载损耗: 294 kW;

相对环境的最大温升: 热点温度: 53.9 °C, 绕组: 65 °C;

油时间常数: 6.8 小时。

2.1 忽略负载及环境温度的增长

采用前面提到的负载系数和环境温度计算模型, 对变压器的寿命损失进行仿真, 仿真结果如图 4 所示。

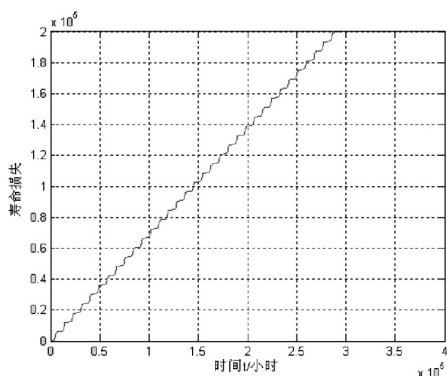


图4 变压器绝缘寿命损失

由图 4 可得知, 当变压器达到其绝缘寿命的终点 180 000 h 时, 其使用时间大约为 270 000 h。重复模拟 50 次, 得到变压器的实际运行寿命在 252 000 ~ 288 000 h 之间变化, 利用 weibull + + 软件统计绝缘寿命的分布得到其满足正态分布, 均值为 267 856 h, 标准方差为 5 964.2 h。如图 5 所示。

2.2 考虑负载及环境温度的增长

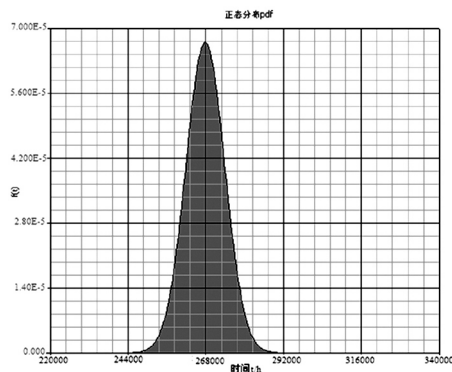


图5 基于 weibull + + 软件变压器运行寿命分布图

考虑到当地负载增长和环境温度的增长情况, 假设负载系数平均每年增加 0.001, 环境温度平均每年增加 0.1 °C。再次对变压器的寿命损失进行仿真, 其仿真结果如图 6 所示。

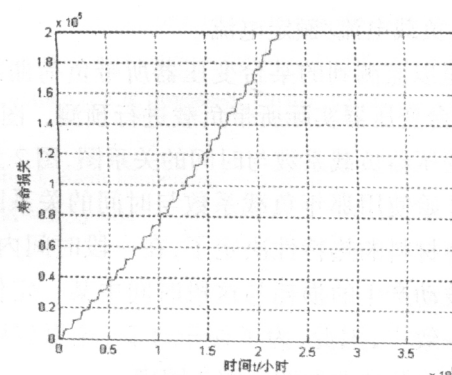


图6 变压器绝缘寿命损失

由图 6 可得知, 当变压器达到其绝缘寿命的终点 180 000 h 时, 其使用时间大约为 210 000 h。重复模拟 50 次, 得到变压器的实际运行寿命在 191 000 ~ 229 000 h 之间变化, 利用 weibull + + 软件统计得到此时变压器寿命分布图如图 7 所示, 变压器实际寿命均值为 209 658 h, 标准方差为 6 523.4 h。

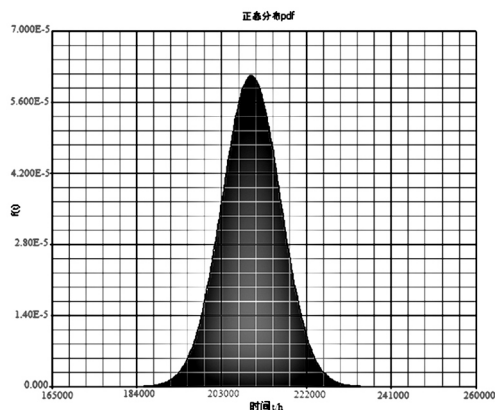


图7 基于 weibull + + 软件考虑负载及环境温度增加时变压器寿命分布图

因此,可以看出,由于负载及环境温度的增长,变压器寿命缩短了大约 60 000 h。

2.3 只考虑环境温度的增长

如果只考虑环境温度的增长,即

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H \quad (3)$$

其中 $\Delta\theta_A$ 为环境温度的增加。

设 $\theta = [(\text{考虑温升后的变压器寿命损失} - \text{未考虑温升的变压器寿命损失}) / \text{未考虑温升的变压器寿命损失}] \times 100\%$

那么 θ 与环境温度增加的关系图如图 8 所示。

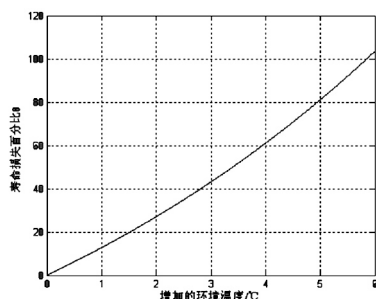


图 8 环境温度对变压器寿命的影响

由图 8 可以看出,环境温度增加得越多,变压器的寿命损失越多,并且它们之间的关系成指数倍增长。当温升到达 5.8 °C 时,变压器的寿命损失加倍。

3 结 论

在监测到得历史数据的基础上,建立了变压器所

(上接第 16 页)

组,从而抑制广安和南充地区其他机组相对四川主网其他机组发生相继失步。

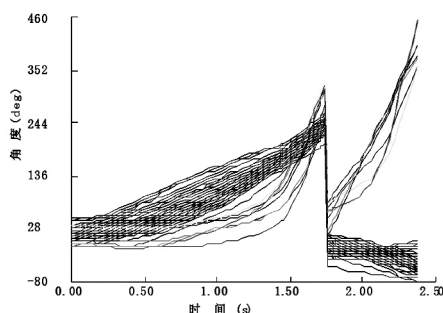


图 6 川渝断面被解列后四川电网机组的功角摇摆曲线

3 结 论

对当前中国电网中常用的集中失步解列装置及

带负载模型及环境温度模型,对一台实际的变压器进行了寿命评估,讨论了考虑/不考虑负荷增长及环境温度增长情况下对变压器绝缘寿命的影响,建立了基于 weibull + 变压器绝缘寿命预测评估模型。最后,还单独分析了环境温度的增长对变压器绝缘寿命的影响。

参考文献

- [1] 吕继恺,曹建波.发电机与变压器的寿命评估[J].江苏电机工程,2006,25(03):51-52.
- [2] Kshira T. Muthanna, Abhinanda Sarkar, Kaushik Das, and Kurt Waldner. Transformer Insulation Life Assessment [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(1): 150-156.
- [3] Jonathan W. Stahlhut, Member, IEEE, Gerald T. Heydt, Fellow, IEEE, and Nancy J. Selover. A Preliminary Assessment of the Impact of Ambient Temperature Rise on Distribution Transformer Loss of Life [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(4): 2000-2007.
- [4] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers [S]. IEEE Std. C57.91-1995.
- [5] 董立文,李军,何宝龙,等.水分对油浸式变压器寿命的影响[J].变压器,2008,45(7):17-18.
- [6] 杜林,袁蕾,熊浩,等.应用蒙特卡罗模拟法的电力变压器热特性绝缘寿命评估[J].高电压技术,2010,36(4): 856-861.

(收稿日期:2010-03-19)

其原理进行了综述和说明。同时,基于此,对川渝断面失步解列装置配置的可能性及其效果进行了计算和分析。对指导电网运行具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 周孝信,等译.电力系统稳定与控制[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 张保会,汪成根,郝治国.电力系统失步解列存在的问题及需要开展的研究[J].电力自动化设备,2010,(10):1-6.
- [3] 王达,薛禹胜,刘玉田,等.故障解列与失步解列的协调优化[J].电力系统自动化,2009,33(14):1-6.

(收稿日期:2011-07-07)

基于新息图法的电力系统不正常事件识别方法

李子清¹, 辛 旺², 邓永红³

(1. 自贡电业局, 四川 自贡 643000; 2. 北碚供电局, 重庆 400700; 3. 乐山电业局, 四川 乐山 614800)

摘 要:新息图法在识别负荷突变、不良数据和拓扑变化的识别方面较之传统的状态估计方法,具有计算过程简单,对测量冗余要求较低的优越性。新息图法结合了静态状态估计和动态状态估计的优点,利用新息差矢量在新息网络中的特征,能够对恶劣条件下的不正常事件准确识别并加以修正。通过 IEEE-30 节点系统算例,对新息图识别不正常事件的过程进行了分析,证明了方法的有效性。

关键词:电力系统状态估计; 新息图; 坏数据; 拓扑错误

Abstract: The innovation graph technique has a simpler calculation process and less requirements of measuring the redundancy in the identification of sudden load change, bad data and topology error. The innovation graph technique combines the advantages of static state estimation with dynamic state estimation, and uses the performance feature of the innovation difference vector in innovation graph network to identify and modify the abnormal events. Using IEEE-30 bus system, the identification process of abnormal events by innovation graph technique is analyzed and the validity of the proposed method is proved.

Key words: state estimation of power system; innovation graph; bad data; topology error

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0040-03

0 引 言

随着特高压技术和智能电网的发展,拥有一个准确反应电力系统实时运行状态的数据库就显得更为重要。电力系统状态估计就是要完成对实时测量数据的滤波,消除遥测和遥信数据中存在的错误,为电力系统的在线控制和分析提供准确参考。

电力系统不正常事件包括负荷突变、坏数据和拓扑错误三类^[1],对三类不正常事件的识别是状态估计程序的核心。文献[1]通过对量测系统的实际量测进行等效电流量测变换,并根据误差传播理论改变相应的量测权值,降低坏数据的影响。文献[2]、[3]在状态估计过程中对量测量限值做出合理估计,以此来排除坏数据。文献[4]根据调度人员经验判断运行状态,用计算机程序来模拟这种规则,充分利用已有的历史数据库以及当时的现象来推断开关状态。这种方法不需要大的计算,但对硬件要求较高,当网络结构变化,就得修正数据库,重新修订规则。文献[5]提出了一种用最小绝对值的方法来识别网络拓扑,在正常状态估计的基础上增加一种网络结线的状态矢量,辨识网络结线的状态矢量结果来识别拓扑结构。文献[6]提出了一种在状态估计之前识别拓扑

错误和坏数据的方法,为新的状态估计方法的研究指出了一个很好的方向。在动态状态估计识别拓扑错误方面,借助神经网络识别拓扑错误^[7]的研究较多。

新息图法^[9]是周苏荃教授提出的比较新的状态估计方法之一,该方法结合了静态和动态状态估计的优点,将动态状态估计中的新息向量运用到直流潮流模型中,成为新息网络。结合新息网络中新息差矢量所表现出的电气特征,实现对不正常事件的准确识别。在恶劣条件下,例如坏数据与拓扑错误共存且相关时,也能够准确识别。相比于其他状态估计方法,新息图法对测量冗余要求较低,计算简便,识别也更加准确。这里通过对坏数据和拓扑错误同时存在的情况进行了研究,通过对 IEEE-30 节点算例的分析,说明了新息图法在识别坏数据和拓扑错误同时存在的恶劣条件下,依然能够准确快速地对不正常事件加以识别。

1 新息差网络的建立

新息图法识别负荷突变、坏数据以及拓扑错误的基础是新息网络图。新息网络图^[10]是新息矢量的载体,新息矢量是指测量值与预报值之差,即

$$P_{innv} = z - P_{pre} \quad (1)$$

式中 P_{innv} 为新息矢量; z 为该时刻的测量值; P_{pre} 为上一时刻对该时刻的预报值, 可以通过节点负荷预报获得。根据新息矢量的定义, 将实测运行网络和预报网络中对应的各电气量作差, 即可得到新息网络中的各电气量。

对于一个 n 节点 b 支路网络, 在节点负荷基本不变的前提下, 还可以由连支有功新息推算出其余支路的有功新息矢量, 文献 [11] 中称之为连支推算新息。

$$P_{recon} = C^T P_{innv, link} \quad (2)$$

式中 $P_{innv, link}$ 为 $b - n + 1$ 条连支上的有功新息矢量; P_{recon} 为连支推算新息矢量; C 为 $(b - n + 1) \times b$ 阶回路 - 支路关联矩阵。

可见, 如果该电力网络中存在一种生成树, 使得每个回路的连支支路上都有量测, 则此网络的连支推算新息就能够根据式 (2) 计算得到, 然后就可以进一步进行负荷突变、不良数据的辨识。

新息矢量和连支推算新息矢量是通过两种不同的渠道获得的, 将新息矢量和连支推算新息矢量之差称为新息差矢量^[11], 即

$$P_{dif} = P_{innv, Tree} - P_{recon, Tree} \quad (3)$$

式中 P_{dif} 为新息差矢量; $P_{innv, Tree}$ 是树支上的新息矢量; $P_{recon, Tree}$ 是连支推算新息矢量。连支的新息差矢量显然为零。

图 1 以 5 节点系统为例描述了连支推算新息网络和新息差网络之间的关系, 并在新息差网络中标记出了节点 4 处存在负荷突变时的突变回路以及连支 2-5 存在坏数据时的不良回路。

2 不正常事件的识别原理

2.1 坏数据的识别

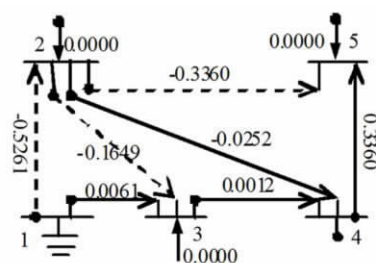
由于数据采集、传输等原因, 实时遥测量数据除包含正常的测量噪声外, 也包含少量的不良数据。在新息差网络中, 如果不良数据存在于连支上, 则显现不良回路, 如图 1 (b) 中虚线所示回路; 如果不良数据存在于树支上, 则呈现出某条树支支路单个新息差元素明显偏大。

2.2 拓扑错误的识别

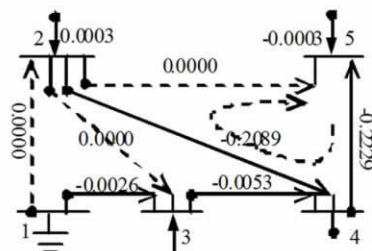
文献 [12] 中为了更清楚识别拓扑错误, 采用支路修正潮流值与支路功率预估值之比检测和辨识网络结构的变化。

支路潮流预估值向量 P_{pre} 和排除了坏数据以后的

连支推算新息向量 P_{recon} 相加, 可得到修正潮流向量。



(a) 连支推算新息图



(b) 新息差图

图 1 IEEE-5 节点系统新息网络图

$$P_{correct} = P_{pre} + P_{recon} \quad (4)$$

式中, 修正潮流向量 $P_{correct}$ 反映了实际运行中电力系统各支路的潮流情况。

新息图为有源网, 当网络结构发生变化时, 连支推算新息明显偏离零值, 修正潮流与预估值相差较大。

如果支路由闭合变为断开时, 当前时刻的修正潮流值近似为零, 而前一时刻做出的预估值明显地偏离零值, 此时有

$$R = P_{correct} / P_{pre} \approx 0 \quad (5)$$

相反, 如果支路由断开变为闭合时, 目前时刻的修正潮流值明显偏离零值, 而前一时刻做出的预估值近似等于零, 修正预估值为

$$R = P_{correct} / P_{pre} \approx \infty \quad (6)$$

无拓扑结构变化时, 新息图为无源网, 连支推算新息向量基本等于零, 支路的修正潮流和排除坏数据后的测量值一般近似等于其预估值, 修正预估值在 1 附近。

3 算例分析

以 IEEE-30 节点系统为例, 如图 2 所示, 图中实线为树支, 虚线为连支。以节点 1 为参考节点。

在支路 2-4 处设置一个测量坏数据, 支路 3-4 和支路 6-7 处各设置一个拓扑变化。运行 Matlab 新息图程序, 结果如表 1 所示。

表1 IEEE-30 系统新息图法部分计算数据

支路号	左节点	右节点	测量值	预报值	新息值	连支推算新息	新息差	修正潮流	修正预估比
1	1	2	1.389 72	1.010 54	0.379 19	0.368 99	0.010 20	1.379 53	1.365 14
2	1	3	0.044 06	0.413 05	-0.368 99	-0.368 99	0.000 00	0.04406	0.106 67
3	2	4	0.000 00	0.169 92	-0.169 92	-0.169 92	0.000 00	0.000 00	0.000 00
4	3	4	0.000 01	0.361 79	-0.361 78	-0.368 99	0.007 21	-0.007 20	0.019 91
5	2	5	0.636 78	0.927 05	-0.290 26	-0.290 26	0.000 00	0.636 78	0.686 90
6	2	6	0.543 54	0.211 73	0.331 81	0.829 18	-0.497 37	1.040 91	4.916 22
7	4	6	0.154 74	0.183 32	-0.028 58	-0.537 78	0.509 21	-0.354 46	1.933 56
8	5	7	—	0.231 050	—	-0.290 263	—	-0.059 21	0.256 28
9	6	7	0.289 77	0.000 01	0.289 76	0.290 26	-0.00 050	0.290 27	25 242.92
10	6	8	-0.010 84	-0.011 57	0.000 73	0.000 54	0.000 19	-0.011 03	0.953 32
11	-6	9	0.153 68	0.153 57	0.000 11	-0.000 44	0.000 55	0.153 13	0.997 12
12	-6	10	0.127 40	0.127 38	0.000 02	0.001 23	-0.001 21	0.128 61	1.009 62
13	9	11	-0.179 12	-0.179 31	0.000 19	0.000 00	0.000 19	-0.179 31	1.000 00
14	9	10	0.332 41	0.332 85	-0.000 44	-0.000 44	0.000 00	0.332 41	0.998 67
15	-4	12	0.270 12	0.271 08	-0.000 96	-0.001 13	0.000 17	0.269 95	0.995 83

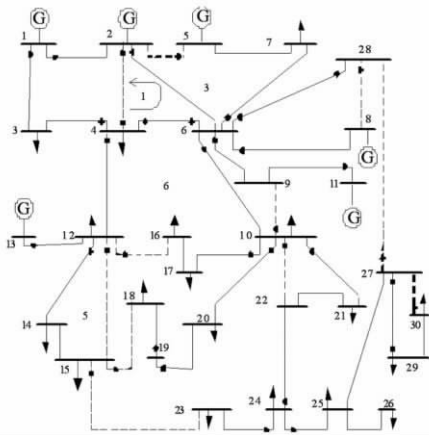


图2 IEEE-30 节点系统网络图

表1中列举了15条支路的计算数据,从表中可以看出,修正预估比在零附近的有支路2-4、3-4,支路6-7的修正预估比非常大,可以认为是无穷大。但不能由此确定,支路2-4、3-4是断开型拓扑变化,支路6-7是闭合型拓扑变化。考察各支路的新息差数据,可以看到,支路2-6和支路4-6的新息差明显偏大,围绕连支2-4构成了不良回路,如图1中回路1所示,由此可以判定,支路2-4上存在连支型坏数据,使得测量值为零,干扰了拓扑变化的判断。

在排除了连支2-4的坏数据之后,用其预报值代替不良量测,计算得到新息值为零,连支推算新息为零,新息差为零,修正潮流为预报值与连支推算新息值之和,为0.169 92,从而计算出正确的修正预估比为1,说明支路2-4上不存在拓扑变化。

剩下的支路3-4,修正预估比接近零值,说明其上存在闭合型拓扑变化,支路6-7,修正预估比为无

穷大,说明其上存在断开型拓扑变化。如果返回调度中心的遥信信息没有正确反映出这两个拓扑变化,则这两条支路的遥信信息存在错误,即拓扑错误;如果遥信信息正确反映了这两处拓扑变化,则修正预估比也同时正确反映出拓扑变化的存在。

4 结 论

新息图法能够准确快速地识别坏数据和拓扑错误,对坏数据和拓扑错误同时存在的恶劣条件下也能有效识别。相比于传统的动态和静态状态估计算法,没有复杂的迭代计算过程,计算简便、速度快,对测量冗余要求较低,适合在线运行,在电力系统中应用前景广阔。

参考文献

- [1] 张伯明,王世纍,相年德. 电力系统动态状态估计中不正常事件的处理[J]. 中国电机工程学报,1993,13(3): 52-58.
- [2] 倪小平,张步涵. 基于等效电流量测变换的状态估计及不良数据检测与辨识方法[J]. 电网技术,2002,26(8): 12-15.
- [3] Al-Othman, A. K. Irving, M. R. Analysis of Confidence Bounds in Power System State Estimation with Uncertainty in both Measurements and Parameters[C]. Series on Energy and Power Systems, Proceedings of the Fourth IASTED International Conference on Power and Energy Systems, 2004: 389-393.

(下转第70页)

5 结 论

采用容量换算法和电流换算法对蓄电池容量进行检测,最后建立蓄电池充放电模型,即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间变化的数学表达式,通过海志(HAZ)型号为 HZB2-300 的铅酸蓄电池仿真验证,蓄电池充电端电压随时间不断增大,充电电流随时间不断减小,充电功率与充电电流走势基本一致。这里所建模型反映了蓄电池的充放电特性,适用于监控系统。

参考文献

- [1] 徐海明,王全胜. 直流电源设备使用与维护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 于崇干,邹昌泉. 应用 HOXIE 公式计算蓄电池容量[J]. 蓄电池, 2006, 12(3): 38-42.
- [3] 黎廷广. 变电站阀控蓄电池运行维护[J]. 电工技术, 2008(2): 59-60.
- [4] 顾宁. 浅谈变电站直流系统优化[J]. 广东科技, 2010, 19(10): 126-128.
- [5] 刘森,张海凤,李书勇. 广州换流站直流电源系统的改造设计与实施[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 49-52.
- [6] 闫晓丽. 变电站直流系统运行维护及故障处理[J]. 电气时代, 2010(12): 80-81.

- [7] 李冬辉,史临潼. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测总体方案[J]. 电网技术, 2004, 29(1): 56-59.
- [8] Ceraolo M. New Dynamical Models of Lead-acid Batteries[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(4): 1184-1190.
- [9] 王欣伟,韩肖清,门汝佳. 太阳能风能发电系统中铅酸电池建模与仿真[J]. 山西电力, 2009, 153(2): 23-26.
- [10] Song Zhang, Dearn Edwards. Three-dimensional Conductivity Model for Porous Electrodes in Lead Acid Batteries[J]. Journal of Power Sources, 2007, 172(2): 957-961.
- [11] Matthias Durr, Andrew Cruden, Sinclair Gair, et al. Dynamic Model of a Lead Acid Battery for Use in a Domestic Fuel Cell System[J]. Journal of Power Sources, 2006, 161(2): 1400-1411.
- [12] 徐海明,王全胜. 变电站直流电源设备使用与维护: 阀控密封铅酸电池[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [13] 汪海霞. 电力系统用阀控式密封铅酸电池的选择和应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

作者简介:

黄媛(1974),女,博士研究生,主要从事电力系统分析与控制;

吕林(1963),男,教授,硕士,主要从事配电网自动化方面的研究;

陈井锐(1986),男,硕士研究生,研究方向为配电网和微电网的分析与计算及其电动汽车分析。

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第42页)

- [4] Al-Othman, A. K. Irving, M. R. Uncertainty Modeling in Power System State Estimation[C]. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2005(152): 233-239.
- [5] Nisheeth. Practical Experience with Rule-based On-line Topology Error Detection[C]. IEEE Power Industry Computer Application Conference held in Scottsdale, Arizona. May 4-7, 1993: 841-847.
- [6] H. Singh, F. L. Alvarado. Network Topology Determination Using Least Absolute Value State Estimation[J]. IEEE Trans. PWRs, 1995, 10(3): 1159-1163.
- [7] L. Mili, G. Steeno, F. Dobraca, D. French. A Robots Estimation Method for Topology Error Identification[J]. IEEE Transaction on Power Systems, 1999, 14(4): 1469-1476.
- [8] Souza J C S, Leite da Silva A M, Alves da Silva A P. On-line Topology Determination and Bad Data Suppression in

Power System Operation Using Artificial Neural Networks[J]. IEEE Trans PWRs, 1998, 13(3): 796-803.

- [9] 周苏荃,柳焯. 新息图法状态估计[J]. 继电器, 2000, 28(4): 1-5, 23.
- [10] 周苏荃,柳焯. 新息图法拓扑错误辨识[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(4): 23-27.
- [11] 周苏荃,张艳军. 新息图状态估计多相关不良数据辨识[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(4): 1-6.
- [12] 周苏荃,柳焯. 新息图法识别多重网络结构动态变化[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 67-72.

作者简介:

李子清(1987),男,甘肃金昌人,四川省电力公司自贡电业局,主要研究方向为变电站设计与规划;

辛旺(1986),男,重庆北碚人,重庆市电力公司北碚供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行;

邓永红(1985),男,湖南邵阳人,四川省电力公司乐山电业局五通供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行。

(收稿日期:2011-06-01)

基于级联原子库的谐波分析方法

唐承志¹, 代云华², 何国军¹

(1. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 西南交通大学信息科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘要:提出一种基于级联原子库的谐波分析算法,该方法首先构造包含余弦原子和冲击原子的级联原子库,然后用该级联原子库对谐波信号进行稀疏分解,从而得到各个谐波信号分量的稀疏表示。该方法用余弦原子来表示谐波信号,用冲击原子来表示脉冲噪声,因此该方法能将噪声和谐波信号分离开,对脉冲噪声具有一定的鲁棒性。仿真实验结果显示,在信号受到脉冲噪声严重干扰时,仍能较好地分析出谐波信号的各个参数。

关键词:级联原子库;基追踪;谐波分析

Abstract: A harmonic analysis algorithm based on cascade atom dictionary is presented. The cascade atom dictionary including cosine atom and pulse atom is built by the proposed method, and then the harmonic signal is decomposed using the cascade atom dictionary, thereby the sparse representation of each harmonic signal component is obtained. In this method, the cosine atom is used to represent the harmonic signal and the pulse atom is used to represent the impulse noise. Consequently, the harmonic signal and the noise can be separated by this method, impulse noise has the robustness. The simulation and experimental results show that the various parameters of harmonic signals can still be analyzed by the proposed method when the signal is interfered by impulse noise seriously.

Key words: cascade atom dictionary; basis pursuit; harmonic analysis

中图分类号:TM714 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0043-03

0 引言

由于各种电力电子器件和其他非线性负荷在电力系统的应用,导致电网中产生大量的谐波^[1]。谐波造成电能质量严重恶化,危及电力系统的安全^[2,3]。对谐波进行治理的重要前提是对谐波进行准确的分析。目前最常用的谐波分析方法是FFT,但是该方法会受到非周期截断的影响,出现频谱泄露和栅栏效应,影响谐波分析准确度^[2]。而且当谐波信号受到脉冲噪声干扰时,该方法会把脉冲噪声也分解成谐波分量,影响分析结果。脉冲噪声是电力系统现场中常见的一种^[4],其他研究者并在研究谐波分析时,并没有考虑脉冲噪声造成的影响。

稀疏分解是一种新的信号处理方法,该方法提出以后,其在信号去噪、特征提取中应用已被广泛研究^[5]。该方法是一种根据信号特点进行信号自适应的分解方法,即将信号自适应分解在一组高度冗余的过完备基(即原子库)上,用一系列的原子线性叠加来表示信号^[5]。文献[6]采用稀疏分解方法对谐波进行分

析,得出谐波信号无交叉项干扰的时频图,从而分析出谐波的成分,但是该方法只分析出了谐波的频率,并没有给出计算谐波的幅值和相位的方法。构造出适合分解谐波信号的级联原子库,该原子库包含余弦原子库和冲击原子库。用余弦原子库稀疏表示谐波信号,用冲击原子库表示脉冲噪声,由此分离出基波和各个谐波分量以及脉冲噪声,计算出谐波的幅值和相位。

1 稀疏分解的基追踪实现

稀疏分解即将信号在过完备的原子库上进行分解,在一定的允许误差下得到信号的最稀疏表示^[5]。由于原子库是过完备的,因此可以得到该信号的多个表示,而最稀疏的表示则只有一个。稀疏分解就是为了寻找信号在该原子库下最稀疏的表示,即用最少的原子来表示该信号。相当于求解

$$\min \|c\|_0 \text{ subject to } s = \sum_{r \in I} c_r g_r \quad (1)$$

该问题是一个NP难问题,CHEN等提出一个新的方法来解决上面的问题,将上面的问题进行修改,把求 l_0 最小化变为求 l_1 最小化^[8]

$$\min \|c\|_1 \text{ subject to } s = \sum_{r \in I} c_r g_r \quad (2)$$

通过这一修改,就可以使用线性规划的方法进行求解^[7,8]。

2 适合分解谐波信号的级联原子库构造

谐波信号完全由正弦信号构成,所以这里采用余弦原子来表示谐波信号;由于噪声只有统计规律,其结构不可预知,且脉冲噪声幅度大,持续时间短,因此这里采用冲击原子库来表示噪声。

2.1 余弦原子库

余弦原子库由一系列的余弦函数构成,其表达式如下。

$$g = \cos(\omega t + \theta) \quad (3)$$

对参数 ω 和 θ 进行离散化就可以得到所需要的余弦原子库。

2.2 冲击原子库

冲击原子库由一系列的 Dirac 函数构成,对于采样点数为 N 的信号,冲击原子库如下。

$$g = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ & & \cdots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix}_{N \times N}$$

3 谐波分析实验及结果分析

3.1 无噪声谐波信号分析

为了验证该方法,首先对没有噪声的谐波信号进行分析,设信号表达式为

$$x(n) = \sum A_i \sin(2\pi i \frac{f_1}{f_s} n + \theta_i) \quad (4)$$

式中,波频率 f_1 为 50 Hz; 采样频率为 4 000 Hz; 采样点数为 256; A_i 和 θ_i 分别为基波和各次谐波的幅值和初相位,具体值如表 1,信号时域波形如图 1 所示。

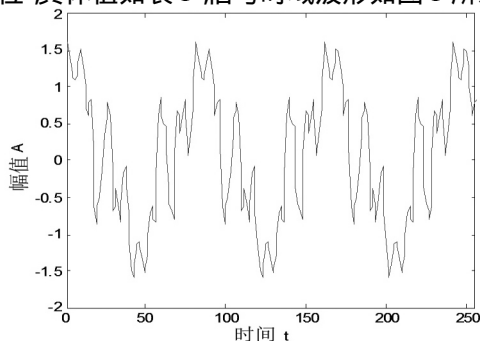


图1 无噪声信号时域波形

采用前面构造的级联原子库对谐波信号进行稀疏分解,得到图 2 所示的稀疏表示结果。从图 2 可以清晰的看到信号包含 10 个分量。根据这些分量多对应的原子参数,可以知道其频率和相位;图 2 中第 3 个分量和第 9 个分量对应的幅度值为负,这是由于其相位是负的;在设计余弦原子库的时候初始相位为 $[0, \pi]$,所以当某个谐波分量的相位为 $\theta \in [-\pi, 0]$ 时,它的波形与同样幅值和频率,而相位为 $\pi + \theta$ 的正弦波完全相反,因此得到的幅值为负。由此关系可以得到相位为负谐波正确的相位。

表 1 仿真信号参数值

谐波次数	A_i	$\theta_i / ^\circ$
1	1	73
3	0.45	30
5	0.3	-120
7	0.4	37
9	0.2	127
11	0.15	60
13	0.10	3
15	0.15	156
19	0.10	-75
21	0.10	55

由图 2 中每个分量的幅度值除以其对应原子的归一化之前的模即可得到对应分量的幅值。幅值和相位误差由表 2 给出,可以得知,各个分量的幅值和相位误差均比较小。

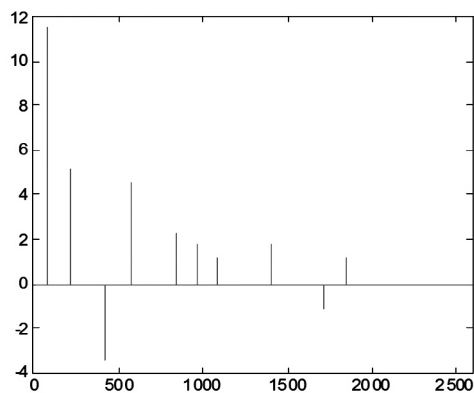


图2 无噪声信号稀疏分解结果

3.2 有噪声谐波信号分析

为了验证该方法对冲击噪声的鲁棒性,对 3.1 中采样的数字信号序列加入脉冲噪声。脉冲噪声的模型按文献[4]所描述,具体模型为

$$n_i(t) = \begin{cases} n_\omega(t) & |n_\omega(t)| \geq 2a \\ 0 & |n_\omega(t)| < a \end{cases} \quad (5)$$

式中 $n_\omega(t)$ 是均值为 0、均方差为 a 的白噪声。实验

表 2 幅值和相位相对误差(无噪声)

谐波次数	幅值误差 /%	相位误差 /%
1	0.0011	0
3	0.0024	0
5	0.0036	0
7	0.0027	0
9	0.0054	0
11	0.0072	0
13	0.0111	0
15	0.0073	0
19	0.0110	0
21	0.0110	0

中去均方差 a 为 1.5。加噪声后的信号时域波形如图 3。

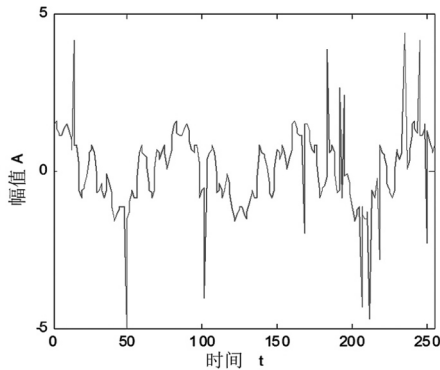


图 3 有噪声信号时域波形

对加噪声后的谐波信号进行 FFT, 得到如图 4 的信号频谱图。从频谱图可以看出除了基波分量和 3、5、7 次谐波比较明显外, 其他的谐波都和噪声混杂在一起, 很难清晰的分辨出。

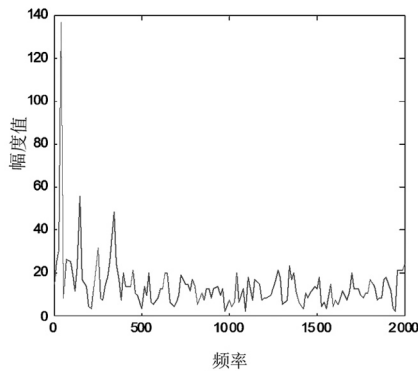


图 4 有噪声信号频谱

对加噪声后的谐波信号使用其构造的原子库进行稀疏分解, 得到图 5 所示的稀疏表示结果。可以清晰的看出信号包含 10 个分量。由 4.1 中的方法计算各个分量的幅值和相位。表 3 给出了幅值和相位的相对误差, 可以看出幅值和相位误差仍然比较小; 仍能清楚的表示出各个谐波分量, 提供比较可靠的分析

结果。而且由图 5 能定位出脉冲噪声出现的时间点。

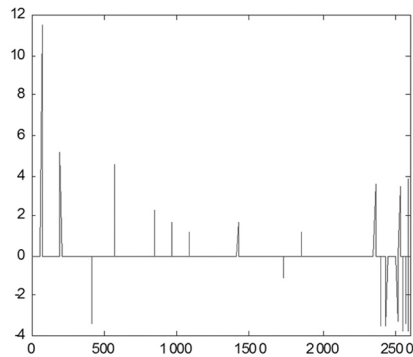


图 5 有噪声信号稀疏分解结果

表 3 幅值和相位相对误差(有噪声)

谐波次数	幅值误差 /%	相位误差 /%
1	0.001 2	0
3	0.002 6	0
5	0.003 9	0
7	0.002 9	0
9	0.005 9	0
11	0.007 9	0
13	0.012 0	0
15	0.007 9	0
19	0.012 1	0
21	0.012 1	0

4 结 论

所构造出的一种适合分解谐波信号的级联原子库, 并使用该原子库对谐波信号进行稀疏分解, 获得谐波信号的稀疏表示, 从而分析出各个谐波分量。分别对谐波信号不加噪声和加噪声两种情况进行稀疏分解, 根据分解的结果计算出谐波信号各分量的幅值和相位, 实验结果表明该方法能较准确的分析出各分量谐波的幅值和相位, 而且该方法对脉冲噪声具有鲁棒性, 在信号受到严重脉冲噪声干扰时, 本方法能获得比 FFT 更好的分析结果。

参考文献

- [1] 曾博, 滕召胜, 温和, 等. 莱夫-文森特窗插值 FFT 谐波分析方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(10): 115-120.
- [2] 高云鹏, 滕召胜, 温和, 等. 凯塞窗插值 FFT 的电力谐波分析与应用[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 43-48.
- [3] 王松, 石双双, 李德和, 等. 一种基于小波的电网谐波检测新方法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3): 814-817.

(下转第 80 页)

制回路中设置了防跳回路。一般而言,保护防跳是电流启动、电压保持的“串联防跳”,而机构防跳则是电压启动和保持的“并联防跳”。在实际工作中,根据不同要求单独使用某一套防跳或者两套防跳同时启用的情况均有发生。

2.2 两套防跳配合使用时可能遇到的问题

因为保护操作箱的防跳和断路器机构箱的防跳基于各自目的的考虑,在同时启用两套时往往会在使用的衔接上产生问题。

以图1为例,在断路器合闸回路中有一个跳位监视回路,由图1可以看出,如果断路器在分闸位置,那么正常情况下断路器机构内的合闸回路导通,在保护屏柜上设有跳位监视灯,对断路器的合闸回路的完好性起着监视的作用。如果机构防跳回路直接和跳位监视回路接通,中间没有断开点,那么当断路器合闸后由于防跳继电器K01有自保持,将会导致跳位继电器K01不返回使得机构防跳一直作用,出现只能合闸一次,无法再次合闸的问题。

笔者在220 kV镇江下蜀变电站二次施工时就遇到过此类问题,由于断路器机构防跳回路直接使用在远方合闸回路中,当跳位监视回路(TWJ)和机构防跳器参数不匹配时,TWJ的阻抗分压使得机构防跳继电器达不到动作电压,从而发生了断路器只能合闸一次的问题。

为了解决这一问题,经过征求设计及使用单位的意见,取消了机构箱内的防跳,仅仅使用操作箱内的防跳,结果开关可以正常分合闸。

在500 kV龙王山变电站扩建工程中,断路器厂

家对其产品的防跳回路进行了改进,使得断路器控制回路中的两套防跳都可独立使用,也增加了产品的灵活性,图2中只要解除跳线即可取消就地防跳。从而可以满足用户的不同防跳组合需要。

3 结 论

防止断路器跳跃对保障电力系统的安全运行,防止设备损坏和事故扩大有着重要的意义,因此防跳回路动作的正确可靠性必须得到保证。在不同的变电站采用的防跳往往是不一致的,在具体工作中单独使用某一套防跳或者两套防跳同时使用均曾经采用过,而且不同的断路器机构和保护操作箱其二次回路往往不同。因此,作为二次安装和调试人员,必须在工作中不断学习、总结、提高,具体问题具体分析,以保证断路器的正确动作,以此来正确实现设计和使用者的意图。

参考文献

- [1] 许正亚. 电力系统自动装置[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [2] 熊为群, 陈继森. 电力系统继电保护[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1996.
- [3] 王铁成, 刘波. 断路器防跳回路的典型接线及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(1): 69-70.
- [4] 郑立新, 王聪. 断路器防跳功能缺陷及处理[J]. 电气传动自动化, 2005, 27(2): 59-60.

(收稿日期: 2011-05-04)

(上接第45页)

- [4] 徐志钮, 律方成, 李和明. 存在脉冲噪声情况下的介损角算法[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(2): 45-48.
- [5] G. X. Zhang. Time-frequency Atom Decomposition with Quantum-inspired Evolutionary Algorithms[J]. Circuits, Systems and Signal Processing, 2010(29): 209-233.
- [6] 李明, 张葛祥, 王晓茹. 时频原子方法在谐波分析中的应用[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 81-85.
- [7] Chen S, Donoho D, Saunders M. Atomic Decomposition by Basis Pursuit[J]. SIAM J Sci Comput, 1999(20): 33-61.
- [8] Tropp J. Greed is Good: Algorithmic Results for Sparse Approximation[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50(10): 2231-2242.
- [9] WRIGHT, YANG, GANESH, etc. Robust Face Recognition

via Sparse Representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(2): 210-227.

- [10] 贾清泉, 于连富, 董海艳, 等. 应用原子分解的电能质量扰动信号特征提取方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24): 61-65.

作者简介:

唐承志(1986)男, 硕士研究生, 研究方向为电气系统控制, 信号处理;

代云华(1986)女, 硕士研究生, 研究方向为信号处理;

何国军(1986)男, 硕士研究生, 研究方向为智能信号处理, 电力系统自动化。

(收稿日期: 2011-08-28)

开关柜局部放电超高频检测中周期性窄带干扰的抑制研究与应用

李建明¹, 罗 高², 王惠波³

(1 四川电力科学研究院 四川 成都 610072; 2. 西华大学电气信息学院 四川 成都 610039;
3. 广安电业局 四川 广安 638000)

摘 要: 基于小波变换用于抑制开关柜局部放电在线检测中周期性窄带干扰的目的, 提出了 K -均值阈值算法来改进经典阈值法对窄带干扰频率的自适应性, 现场实验结果表明, K -均值阈值算法能改善局部放电信号的提取效果, 准确率高, 波形失真小, 对混频周期性窄带干扰具有较强抑制能力。

关键词: 小波变换; 周期性窄带干扰; K -均值; 开关柜; 局部放电

Abstract: For purpose of suppressing the periodic narrow-band interference during on-line monitoring of partial discharge (PD) in switchgear based on wavelet transform, K -means threshold algorithm is proposed to improve the self-adaptive of classic threshold for narrow-band interference frequency. The field experiments show that the proposed method can improve the extraction of partial discharge signal with a strong suppression of frequency-mixing periodic narrow-band interference, which has a high accuracy and small waveform distortion.

Key words: wavelet transform; periodic narrow-band interference; K -means algorithm; switchgear; partial discharge

中图分类号: TM855 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0046-04

0 引 言

局部放电的过程, 除产生电荷的转移和电能的损耗, 也产生声、光、热及其他生成物等, 可能会引起开关柜相间短路, 甚至爆炸, 严重危及人身安全, 影响供电可靠性。对高压开关柜进行绝缘性能检测与故障诊断, 是实现设备状态检修的前提, 保证设备安全可靠运行的关键。电力设备的多数故障是绝缘性故障, 电应力作用引起绝缘劣化。导致绝缘故障, 在机械力、热和电场的共同作用下, 最终也会发展为绝缘性故障。据统计, 由于开关柜绝缘劣化引起事故的台次占开关总事故台次的 68% 和事故总容量的 74%。为克服预防性检修体系的局限性, 减少停电并降低维修费用, 可应用高压开关柜绝缘性能检测与故障诊断技术, 对运行中的高压开关柜的绝缘状况进行连续的状态检测, 实时获得能反映绝缘状况变化的信息。在进行分析处理后, 对设备的绝缘状况做出诊断, 并根据诊断的结论安排必要的检修, 并且开关柜在线监测的应用能同时节省人力物力, 为将来可能发展的事故分析提供了有力的数据。开展开关柜局部放电在线监

测在电力系统中具有十分重要的作用和意义。

局部放电监测中的干扰主要是经测量点的传感器随局部放电 (partial discharge, PD) 信号一起进入监测系统的。按时域信号特征可分为连续的窄带周期性干扰、脉冲干扰和白噪声 3 类。在实际的测量中, 局部放电的放电量通常都很微小, 而现场噪声干扰太大, 以至很难获取真正的局部放电信号。有效地削弱和抑制干扰是提高局部放电检测装置检测效果的重要保证, 目前虽然有许多抗干扰方法已在实际中应用, 但还是有许多干扰无法消除, 不能有效地检测局部放电, 难以保障监测系统的可靠性。

传统的基于傅里叶变换的滤波方法有其局限性: 因这种变换难以获得信号的局部特性, 对放电这样的非平稳突变信号, 较难获得理想结果, 自适应滤波器能自动调节参数, 但其稳定性较差, 小波变换的尺度伸缩性能局部化地分析信号的特征, 其窄时窗反映信号的高频成分, 能捕捉到非平稳的奇异瞬变信号, 并将其放大, 小波变换分析是一种新的时频分析方法^[1], 它在时域和频域同时具有良好的局部性, 特别适合处理非平稳信号, 这里提出了基于小波变换用于抑制开关柜局部放电在线检测中周期性窄带干扰, 提

出了 K-均值阈值算法来改进经典阈值法对窄带干扰频率的自适应性,通过对小波变换原理及其合理选择阈值的目标函数的建立,通过计算机模拟仿真和现场实验结果表明,K-均值阈值算法改善局部放电信号的提取效果,准确率高,波形失真小,对混频周期性窄带干扰具有较强抑制能力。

1 小波变换原理及仿真

1.1 小波变换原理

设 $\Psi(t)$ 为一复变函数,其傅里叶变换满足

$$C_p = \int_0^{+\infty} |\hat{\Psi}(\omega)|^2 \frac{d\omega}{\omega} < \infty \quad (1)$$

则称 $\Psi(t)$ 为一个小波,设 a 为伸缩因子, b 为平移因子,则 $\Psi(t)$ 可通过平移伸缩成一簇函数: $\Psi_{a,b}(t)$ 为

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right); b, a \in R, a \neq 0 \quad (2)$$

因此,称 $\Psi(t)$ 为基小波或母小波,而称 $\Psi_{a,b}(t)$ 为子波或连续小波。信号 $f(t)$ 的小波变换定义为

$$w_f(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\Psi_{a,b}(t)} dt \quad (3)$$

式中, $\overline{\Psi_{a,b}(t)}$ 是 $\Psi_{a,b}(t)$ 的复共轭,这样在时域和频域具有良好的局部化性质,实际中通常需要把基小波及其变换离散化,令 $a = 2^m$, $b = na$, m, n 令为正整数,即 $m, n \in Z^+$ 。信号 $f(t)$ 经离散二进制变换可写为

$$C_{mn} = 2^{-\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(2^{-m}t - n) f(t) dt \quad (4)$$

设 $\{V_j\}$ 是一给定的多分辨分析, φ 和 Ψ 分别是相应的尺函数和小波函数。根据 Mallat 塔式算法思想,信号的离散二进制小波分解过程见图 1。

$$S_1^d f \angle \frac{S_2^d f \cdots \angle S_{2j}^d f}{W_2^d f \cdots \angle W_{2j}^d f}$$

图 1 中: $S_1^d = \{f^* \varphi(n)\}$, $n \in Z$ 即为原信号, H, G 为二进小波相应的低通滤波器和高通滤波器的脉冲响应函数。 $W_2^d(j=1, 2, 3, \dots)$ 为不同尺度下的平滑分量。则其间的算法关系为

$$S_{2j}^d f = S_{2j-1}^d f^* H, W_{2j}^d f = W_{2j}^d f^* G \quad (5)$$

同理可得信号的重构算法为

$$S_{2j-1}^d f = S_{2j}^d f^* H + W_{2j}^d f^* G^* \quad (6)$$

其中 H^*, G^* 为 H, G 为的对偶算子式。

1.2 目标函数的确立

窄带干扰的频率发生变化时,干扰功率峰在小波功率谱曲线上的位置也会发生变化;且当窄带干扰的信号强度发生变化时,干扰峰的幅值也会有所不同。这就要求小波阈值能够自适应地针对窄带干扰信号变化。由于窄带干扰形成的干扰峰,在大尺度下的幅值比小尺度下的大,粗略信号部分峰值比细节信号部分的幅值大,窄带干扰的小波功率谱特性分析了窄带干扰对 PD 信号的小波功率谱的统计特性^[7],也就是根据此特性得到启示,提出一种结合 K-均值算法^[2]的 K-均值阈值法,它是对经典阈值法的改进。

K-均值算法用于对数据点进行聚类划分,它根据最终分类个数 K ,随机选取 K 个初始聚类中心,不断进行迭代,直到达到目标函数的最小值,以得到最终的聚类结果。其中,目标函数通常采用平方误差准则^[4],即

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \quad (7)$$

式中, E 为所有聚类对象的平方误差和; p 为聚类对象; m_i 为类 C_i 的各聚类对象(样本)平均值,即

$$m_i = \sum_{p \in C_i} p / |C_i| \quad (8)$$

式中, $|C_i|$ 为类 C_i 的聚类对象的数目。

K-均值聚类算法的一般步骤如下。

(1) 初始化。输入数据集 N ,输入指定聚类类数 K ,并在 N 中随机选取 K 个对象作为初始聚类中心, $E = E_{before} = 0$, $m_i = \sum_{p \in C_i} p / |C_i|$, $E_{before} = E$ 。设定迭代中止条件,比如最大循环次数或者聚类中心收敛误差容限 $|E - E_{before}| < \varepsilon$ 。

(2) 进行迭代。根据相似度准则将数据对象分配到最近的聚类中心,分别计算类 i 的第 j 个聚类对象 $p(i,j)$ 与各类的样本均值的距离 $|p(i,j) - m_i|$,若 $\min(|p(i,j)|) = |p(i,j) - m_u|$,则 $p(i,j)$ 分配到类 u 中,从而形成一类。

(3) 更新聚类中心。然后以每一类的平均向量作为新的聚类中心,重新分配数据对象。

(4) 反复执行第二步和第三步直至满足中止条件。

这种先利用 K-均值算法对数据点进行第一次预筛选^[3],然后仅根据其中的一部分数据点(即含噪声水平较低的一部分数据点)取阈值的改进阈值法称为 K-均值阈值法。

这里采用与 PD 信号特征极为相似的 db4 进行

去噪分解,分解层数为3层,其分解示意图1所示。根据信号重构原理,只需要研究节点H1、H2、H3、L3。

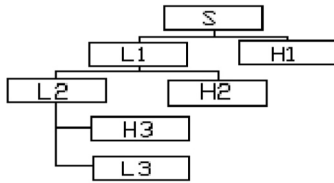


图1 小波分解示意图

利用改进后的K-均值算法对数据集进行聚类划分,其聚类划分结果如表1所示。

表1 K-均值数据集聚类划分结果

节点	A类		B类		C类	
	数据点数量	平均值	数据点数量	平均值	数据点数量	平均值
H1	8	12.4	208	3.6	1 790	0.5
H2	4	1 561.9	4	128.2	1 002	1.3
H3	4	5181.4	8	1 009	500	11.3
L3	16	7 802.8	28	583.6	468	19.4

从表1可以看出,运用K-均值算法将数据集进行聚类划分结果也符合上面提出的窄带干扰形成的干扰峰,在大尺度下的幅值比小尺度下的大,粗略信号部分峰值比细节信号部分幅值大的重要特征。

1.3 模拟信号仿真及分析

实际PD信号既可能存在窄带干扰,还可能存在的白噪声和脉冲干扰。由于难以获得纯净的PD信号,在分析窄带干扰的小波功率谱特性时,采用仿真PD信号进行理论研究。如图2、图3所示(N 为采样点数)图中从左至右5个仿真PD信号源依次为高斯脉冲、单指数衰减脉冲、双指数衰减脉冲、单指数衰减振荡脉冲、双指数衰减振荡脉冲。脉冲信号的最大幅值 S 均为标么值1,然后叠加上多个不同频率的混合周期信号,以模拟复杂的混频窄带干扰,干扰信号频率设为50、60、60、550、900 MHz,幅值做归一化处理,其峰值的标么值为1,并对其分别采用了傅里叶变换、自适应滤波去噪仿真和所采用的K-均值阈值去噪,图4、5为模拟一指数衰减信号污染周期窄带干扰信号及分别采用傅里叶变换去噪和自适应滤波去噪和K-均值阈值去噪,仿真效果图2、3所示。

从图2和图3仿真结果可以看出,傅里叶变换虽然能一定程度上去噪,但是不能从被干扰淹没的有噪信号中提取局部放电信号,所以傅里叶变换的滤波方法在局部放电信号去噪中有其局限性:因这种变换难以获得信号的局部特性,对放电这样的非平稳突变信

号,较难获得理想结果,自适应滤波器能自动调节参数,在去噪处理和提出局部放电信号方面的能力虽然都较傅里叶变换去噪更好,但是,稳定性较差,这在局部放电监测中有可能引起误判,通过仿真比较,K-均值阈值算法改善局部放电信号的提取效果,准确率高,波形失真小,对混频周期性窄带干扰具有较强抑制能力。

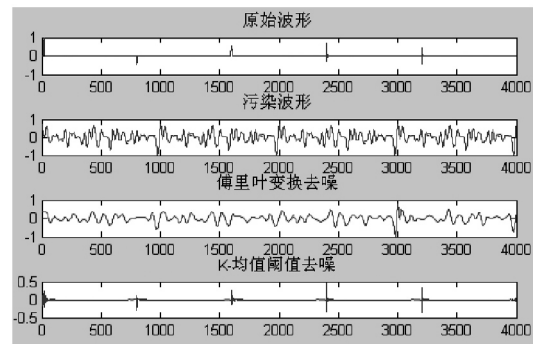


图2 K-均值傅里叶变换在350 MHz和400 MHz混合干扰下去噪效果对比

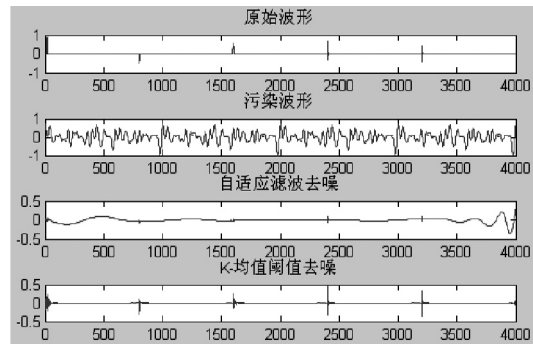


图3 K-均值自适应滤波在350 MHz和400 MHz混合干扰下去噪效果对比图

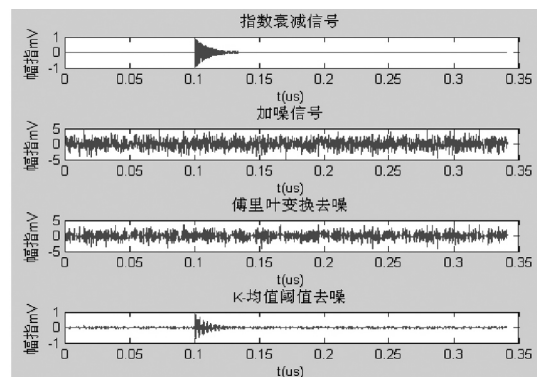


图4 K-均值傅里叶变换在550 MHz和600 MHz混合干扰下去噪效果对比

通过图4、图5仿真可以看出,K-均值阈值算法改善局部放电信号的提取效果,准确率高,波形失真小,对混频周期性窄带干扰具有较强抑制能力。

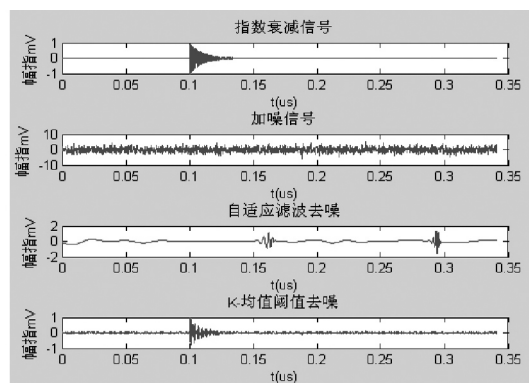


图 5 K -均值自适应滤波在 550 MHz 和 600 MHz 混合干扰下去噪效果对比

2 小波变换在开关柜局部放电在线检测中的应用

为检验对含有混频窄带干扰的实测 PD 信号的去噪能力,在对四川某水电厂一开关柜进行电晕放电模拟试验。现场测试采用超高频检测法,测试设备为外置环天线,传感器、示波器为力科 Wavepro7 100 (带宽 1 GHz,最大采样率 20 GS/s,采样点数为 20 000,存储深度为双 48MB)。现场接线见图 6 模拟电晕放电见图 7。



图 6 现场试验接线图

试验所采用的超频检测装置报警阈值频率设为 300 MHz,超高频检测传感器放在开关柜内。

现场采用的方式是在开关柜某相母线上挂一细铜丝产生电晕放电,试验时将升压变压器从零逐渐加压,当所加电压较低时,超高频检测装置不报警,随着电压增加,超高频检测装置开始报警,并且细铜丝尖端附近伴随着可见的紫外光,随着电压进一步的升高,紫外光更加明显,当超高频检测装置开始报警的同时,超高频检测装置将超高频信号开始采样并且储存起来,试验的另一个步骤是当所加电压一定时,通过改变铜丝端部对地的距离检测超高频信号,当电压

一定时,距离较大时,超高频检测装置不报警,随着距离进一步减小,超高频检测装置开始出现报警,并且在靠近铜丝端部的母线附近开始出现微弱的紫外光。下面通过对超高频检测装置所采集的两组电晕放电信号(频率为 550 MHz 左右)进行去噪处理,以验证提出的 K -均值阈值去噪的效果。

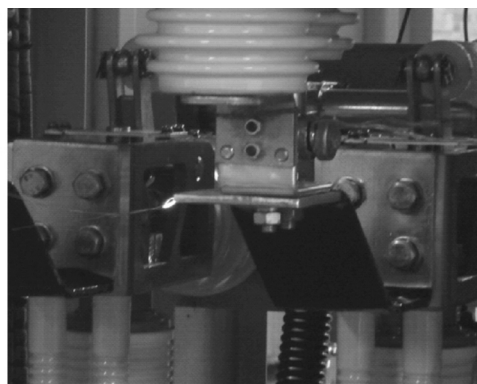


图 7 现场模拟电晕放电

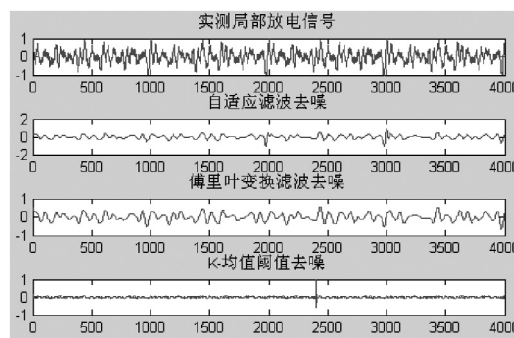


图 8 多种方法对一实测信号去噪效果对比

当铜丝和母线的距离一定时,随着试验变压器逐步加压,超高频检测装置开始出现报警,这说明电晕放电伴随着超高频信号,当所加电压一定时,随着铜丝端部和母线的距离减少到一定程度时,超高频检测装置出现报警,这说明电晕放电伴随着超高频信号,通过对超高频检测装置所采集的局部放电信号再现,从图 8 可以看出,所采集超高频信号几乎被周围的噪声所淹没,不能有效地观察超高频信号,但是通过所提出的 K -均值阈值算法进行去噪处理,可以将局部放电信号提取出来,并且对周期性窄带干扰信号有了很大的抑制效果。

通过图 8 所示,对现场局部放电采样数据进行去噪分析,傅里叶变换和自适应滤波在局部放电周期性窄带干扰抑制方面的能力有明显的局限性,不能有效去噪和提出局部放电信号,而 K -均值阈值方法能有效地从被周期性窄带干扰淹没中提出局部放电信号,

(下转第 66 页)

现场的需求开发了一套数据管理系统,总的说来做了如下工作:①论述了超高频法的应用优点,它在变压器局部放电的监测中有着较强的抗干扰能力;②利用 delphi 开发了数据管理系统,同时利用 SQLserver 建立了后台运行的数据库系统;③通过现场的应用,取得了较好的成果。

参考文献

- [1] 成永红. 电力设备绝缘检测与诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] [苏]r. C. 库钦斯基著,徐永禧,胡维新译. 高压电气设备局部放电(第1版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [3] 葛景滂,邱昌容主编. 局部放电测量(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [4] 邱昌容,王乃庆主编. 电工设备局部放电及测试技术(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.

- [5] 朱德恒,谈克雄主编. 电绝缘诊断技术(第1版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [6] 吴广宁主编. 高电压技术(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [7] 吴玉鹏,陈丽娟,王鹏,等. 2002年全国电力可靠性分析[J]. 中国电力, 2003, 36(5): 1-7.
- [8] 陈庆国. 变压器局部放电特高频检测及干扰抑制算法的研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.
- [9] [苏]r. C. 库钦斯基著,徐永禧,胡维新译. 高压电气设备局部放电(第1版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984年.
- [10] 王颂,李香龙,李军浩,等. 变压器局部放电超高频信号外传播特性的试验研究[J]. 高压电器, 2007, 43(2): 100-102.
- [11] 王国利,郝艳棒,李彦明. 光纤技术在电力变压器绝缘监测中的应用[J]. 高压电器, 2001, 37(2): 32-35.

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第49页)

并且对干扰有较强的抑制能力。

3 结 论

(1) 通过对模拟信号仿真和现场采集的局部放电信号去噪仿真都可以看出,传统的基于傅里叶变换的滤波方法有其局限性:因这种变换难以获得信号的局部特性,对放电这样的非平稳突变信号,较难获得理想结果,自适应滤波器能自动调节参数,但其稳定性较差,所采用的 K -均值阈值方法能有效地从被周期性窄带干扰淹没中提出局部放电信号,准确率高,波形失真小,并且对干扰有较强的抑制能力。证实了 K -均值阈值方法在局部放电信号提取和噪声抑制的能力方面有较高的准确性和有效性。

(2) 窄带干扰形成的干扰峰,在大尺度下的幅值比小尺度下的大,粗略信号部分峰值比细节信号部分的幅值大,窄带干扰会呈现强烈的干扰峰,而PD信号在整个频域呈均匀分布,该重要特征是所采用 K -均值阈值算法抑制干扰的重要依据。

(3) K -均值阈值法首先将采样数据进行聚类划分,对含噪信号进行初次筛选,再对筛选的信号数据选择合适的阈值进行去噪,有效地提高了去噪效果,增强了经典阈值法对窄带干扰频率的自适应性。

参考文献

- [1] 许高峰,孙才新,唐炬,等. 基于小波变换抑制GIS局部放电检测中白噪干扰的新方法[J]. 电工技术学报, 2003, 18(2): 87-90.
- [2] 王国利,郑毅,郝艳棒,等. 用于变压器局部放电检测的超高频传感器的初步研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(4): 154-160.
- [3] 司文荣,李军浩,袁鹏,等. 气体绝缘组合电器局部放电电源的检测与识别[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(16): 119-126.
- [4] 徐淑珍,朱子述,秦松林,等. 局部放电在线检测中周期性干扰的抑制[J]. 高电压技术, 2001, 27(1): 32-34.
- [5] 王晓霞,孙书星,马殿光. 局部放电在线监测信号中周期性脉冲干扰的抑制[J]. 变压器, 2002, 39(Z1): 36-38.
- [6] 王国利,郝艳棒,袁鹏,等. 变压器局部放电超高频检测中的混频技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 39(S1): 36-38.
- [7] 朱根良. 浅议中压开关柜事故调查中的故障分析[J]. 高压电器, 2002, 24(10): 115-120.
- [8] 杜彦明,顾霓鸿. 中国电力系统配电开关设备现状及事故情况[J]. 高压电器, 2001, 25(11): 60-65.

作者简介:

李建明(1952),男,教授级高工,高电压与绝缘技术专家,四川电力科学研究院副总工程师。

(收稿日期:2011-09-28)

110 kV 线路防雷治理方案及应用效果

吴晓晖

(四川省电力公司 四川 成都 610041)

摘要:针对 110 kV 线路发生的雷击故障,结合线路实际情况进行了详细分析,制定了防雷整治方案。在措施落实后取得了较好的效果,对山区 110 kV 线路防雷整治有一定的推广意义。

关键词:线路;防雷;治理;效果

Abstract: For the lightning stroke faults occurring in 110 kV transmission line, a detailed analysis of 110 kV transmission line is carried out combined with the actual situation, and then, the treatment plans of lightning protection for 110 kV transmission line are worked out. Better results are obtained after these treatments being put into effect, which has a certain meaning of popularization for lightning protection treatment of 110 kV transmission line in mountainous area.

Key words: transmission line; lightning protection; treatment; effect

中图分类号:TM836 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2011)06-0050-03

0 前言

110 kV 某线路于 2008 年 6 月 13 日投入运行,为 110 kV 某变电站主供电源线路。线路在投运后的 40 天内即发生 3 次雷击跳闸,至 2009 年 7 月 15 日,线路已累计发生 6 次雷击跳闸,虽然均成功重合闸,但给电网运行带来了极大的影响。2009 年 9 月,在综合分析线路历次雷击故障、线路走廊雷电活动情况、地形地貌及线路绝缘配置等情况后,制定了线路防雷治理方案并进行了实施,现就 110 kV 线路的防雷治理方案及应用效果进行介绍。

1 110 kV 线路基本情况

110 kV 某线路全长 23.298 km,全线共 69 基铁塔,均为自立式角钢铁塔,其中 1~59 号为自立式双回铁塔,60~69 号为自立式单回铁塔。

1.1 杆塔部分

线路直线塔采用的杆塔型号有 110ZGu2(7727)、SZT2、Z2(7815)三种类型,杆塔呼称高最高为 28 m。耐张塔采用的杆塔型号有 110JG2(7733)、110JG3(7734)、110JGu2(7736)、110JGu3(7737)、SJ1(7850)五种类型,杆塔呼称高最高为 27 m。线路导线采用 LGJ-240 钢芯铝绞线,全线均为双避雷线,

OPGW-55 和 LBGJ-55 铝包钢绞线各一根,经核查线路杆塔所有避雷线的避雷保护角均在 25°以下。

1.2 绝缘配置

为满足线路防污的要求,线路直线杆塔均采用 FXWB2-110/100 型复合绝缘子,耐张杆塔均采用 9 片 XWP2-70 型防污型瓷绝缘子。线路的绝缘配置完全满足线路经过区域的污区等级要求。

1.3 杆塔接地

由于 110 kV 某线路是 2008 年设计建设并投运的,因此接地体运行时间较短,不存在接地体锈蚀导致杆塔接地电阻增大的情况。在 2009 年 6 月进行的全线杆塔接地电阻测试中,发现线路杆塔最大的工频接地电阻仅为 6.5 Ω,全线杆塔接地电阻均满足设计及线路运行规程的要求。

2 110 kV 线路运行情况

2.1 线路走廊地形地貌

110 kV 某线路位于成都平原东北部边缘,线路从 12 号塔开始翻越云顶山,至 42 号塔到达线路海拔的最高点,而后海拔高度快速下降,至 49 号塔完成跨越云顶山,进入平原地区,海拔高度在 450~830 m 内,地形条件较复杂,特别是山区地段,线路出现的大跨越、微地形、微气象多,雷电活动也较为频繁,根据四川省电力公司雷电定位系统测定的近 4 年线路走廊平均落雷密度大于 3.5 次/km²·a,属于重雷区。

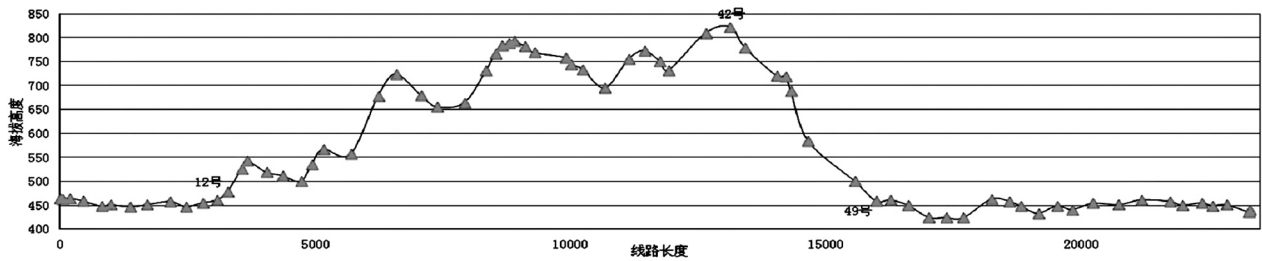


图 1 线路海拔高度剖视图

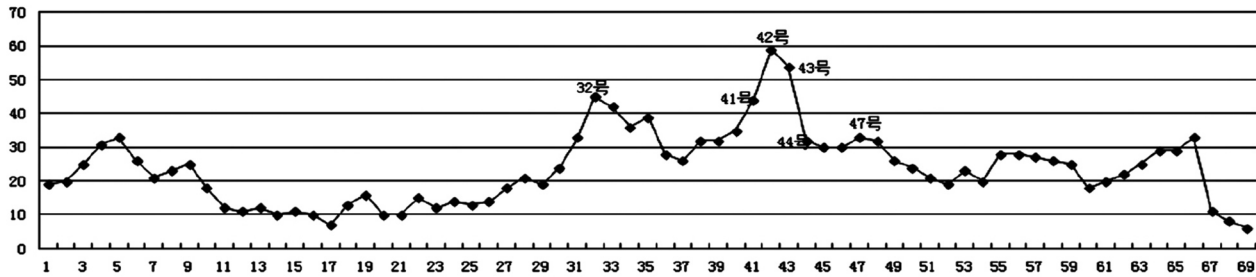


图 2 线路杆塔落雷数量分布图

2.2 线路雷击跳闸情况

从 2008 年 6 月 13 日投运到 2009 年 7 月 15 日短短的一年时间里,线路共计雷击跳闸 6 次,最为严重的是 2008 年 7 月 20 日一天内连续跳闸 3 次,显示线路防雷能力较差。

表 1 线路雷击跳闸情况表

跳闸日期	跳闸时间	故障情况简介
2008-07-20	23:24	故障相: L3 相,重合成功;故障测距 12.9 km;故障点: 47 号塔
	23:32	故障相: L2 相,重合成功;故障测距 14 km;故障点未找到
	23:35	故障相: L2 相,重合成功;故障测距 14.4 km;故障点未找到
2008-08-04	16:41	故障相: L1 相,重合成功;故障测距 13.2 km;故障点: 41 号塔
2009-07-15	20:25	故障相: L1 相,重合成功;故障测距 11.3 km;故障点未找到
	21:15	故障相: L1、L3 相,重合成功;故障测距 13.2 km;故障点: 47 号塔

从故障测距情况看,线路故障点集中在 37 号至 51 号塔之间,该区段线路杆塔均为双回路杆塔(同塔的另一线路尚未建设),导线排列方式为垂直排列,从上至下分别为 L2、L1、L3 相。从故障相别来看,三相均发生过雷击故障,初步分析故障中既有反击也有绕击。

3 线路防雷整治方案

3.1 线路杆塔落雷情况统计

通过四川省电力公司雷电定位系统对线路走廊 1 km 范围内从 2006 年至 2009 年的落雷情况及雷电流进行统计,找出线路的易击区段和易击点。

从杆塔落雷分布情况看,线路 31 号塔至 48 号塔区段落雷数量较多,是线路的易击区段,这一特点与发生线路跳闸区段吻合,因此线路防雷整治应重点放在该区段内。

3.2 线路杆塔耐雷水平核算

当雷击线路塔顶时,雷电流将流经杆塔及其接地电阻流入大地,由于杆塔电感及冲击电阻的存在,此时线路绝缘子串上将会出现雷电过电压,如果此值等于或大于绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压时,塔顶将对导线产生反击。按照下面公式逐基对线路杆塔的耐雷水平进行计算,核算其抗反击能力。

$$I_1 \frac{U_{50\%}}{(1-K) [\beta(R_{ch} + L_{gt}/2.6 + H_d/2.6)]}$$

其中杆塔的电感为 L_{gt} ,取值 $0.5 \mu H/m$;杆塔的冲击电阻为 R_{ch} ;导线悬挂点高度为 H_d ;雷电流为斜角平顶波,且工程计算取波头为 $2.6 \mu s$;避雷线分流系数取值 0.86;两相导线间的耦合系数取值 0.215; $U_{50\%}$ 为绝缘子串的 50% 雷电冲击放电电压。

由上式可知,在线路杆塔及绝缘子不变的情况下,提高线路杆塔耐雷水平的重要措施即为降低杆塔的冲击电阻。该区段内 31 号、38 号、43 号塔虽然接地电阻满足设计和运行规程要求,但相对接地电阻偏大,降低了杆塔耐雷水平,因此应在现有条件下尽量

降低其接地电阻。

3.3 线路易击区段地形核实

由于线路易击区段处于跨域云顶山区的海拔最高地段,线路出现大跨越,同时地形的影响使得对个别杆塔容易遭受雷电绕击,因此需要对杆塔所处地形进行现场核实已进一步确定方案。

经现场核实,线路41号、43号、44号、47号杆塔位于山脊上,且线路档距大,杆塔两边均为陡坡,地形对线路的屏蔽作用已基本失去,线路极易遭受绕击。而42号塔虽位于线路海拔最高点,且落雷统计数量最高,但其所处地形相对平坦,遭受绕击的可能性不大,无需进行整治。

3.4 线路防雷整治方案制定

在综合分析线路实际情况后,决定对线路部分杆塔安装线路避雷器,以提高线路耐雷水平,避雷器选型为YH10WX-108/281。安排加装线路避雷器的杆塔及其情况如下。

(1) 32号塔,海拔高度为769 m,大号侧大档距。直路塔,绝缘子配置为FXWB2-110/100,杆塔代号SZT2-24,投运两年来落雷数量22次。

(2) 41号塔,海拔高度为810 m,小号侧高落差,两侧档距大。杆塔代号SJ1-18,耐张塔,绝缘子配置为双串9片XWP2-70。投运两年来落雷数量13次,出现雷害1次。

(3) 43号塔,海拔高度为779 m,两侧落差较大,大号侧档距大。杆塔代号SZT2-28,直路塔,绝缘子配置为FXWB2-110/100,投运两年来落雷数量21次。

(4) 44号塔,海拔高度为688 m,小号侧档距大。杆塔代号110JGu2-24。直路塔,绝缘子配置为FXWB2-110/100,投运两年来落雷数量21次。

(5) 47号塔,海拔高度为584 m,两侧落差大,小号侧大档距。杆塔代号SJ1-21,耐张塔,绝缘子配置为双串9片XWP2-70,投运两年来雷电流定位系统落

(上接第29页)

[12] 彭志伟,胡国根,韩祯祥.基于分叉理论的电力系统电压稳定性分析[M].北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

李康(1984),男,山东人,硕士研究生,主要从事电力系统稳定性方面的研究;

康积涛(1962),男,教授,博士,主要从事调度自动化系

雷数量17次,出现雷害2次。

4 线路防雷整治实施效果

2009年9月1日,线路按照制定的整治方案加装了线路避雷器,完成了改造。整治后的线路经受了在2009年9月10日雷暴日、2010年和2011年两年的雷雨季节考验,未发生雷击跳闸,避雷器的动作情况见表2。

表2 避雷器动作情况统计

安装杆塔号	安装位置(相)	动作情况/次			备注
		L1相	L2相	L3相	
32号	L1、L2、L3	0	3	0	计时间为 2011年9月
41号	L1、L2、L3	3	0	0	
43号	L1、L2、L3	0	1	0	
44号	L1、L2、L3	0	0	0	
47号	L1、L2、L3	1	3	0	

5 结 语

(1) 线路防雷整治要综合分析线路历次雷击故障、线路走廊雷电活动情况、地形地貌及线路绝缘配置,有针对性采取相应措施,方能取得较好效果。

(2) 加装线路避雷器可以有效提高杆塔的耐雷水平,降低线路雷击跳闸率,提高线路运行可靠性,特别是针对特殊地形的防止雷电绕击有较好的效果。

参考文献

- [1] 程学启,杨春雷,咸日常,等.线路避雷器在输电线路防雷的应用[J].中国电力,1999,32(8):66-67.
- [2] 鲁世发,杜元三,严宜军,等.110 kV线路防雷综合治理方案浅谈[J].湖北电力,2005,29(21):30-31.

作者简介:

吴晓晖(1974),男,工程师,从事电力系统高电压设备及信息化系统管理。(收稿日期:2011-10-10)

统,电力系统无功优化计算,电压稳定性、工业测控的研究工作;

陈芝奔(1987),男,浙江人,硕士研究生,主要从事电力系统潮流优化方面的研究;

王敏(1988),男,湖北人,硕士研究生,主要从事电力系统次同步振荡和软件开发等方面的研究。

(收稿日期:2011-07-18)

超声波与高频脉冲电流 相结合的变压器局部放电在线监测方法

肖勇 庞军 周波 罗涛
(成都电业局, 四川 成都 610041)

摘要: 为了实现一种可靠的、有效的变压器局部放电在线监测方法, 比较了目前各种监测手段的优劣, 采用将超声波与高频脉冲电流相结合的局部放电监测方法, 从而避免了单一监测手段的固有缺陷。将该方法投入实际使用, 并与离线局部放电试验对比, 结果表明该方法具有灵敏度高、抗干扰能力强、安全可靠、能够定位等优点。

关键词: 变压器; 局部放电; 超声波; 高频脉冲电流

Abstract: In order to achieve a reliable, efficient on-line monitoring method of partial discharge for transformer, the merits and demerits of various monitoring methods are compared. The inherent defect of single monitoring method will be avoided based on the combination of ultrasonic and high-frequency pulse current. The method has been put into actual use, and it has been compared with off-line partial discharge test. The results show that the method has the advantages of high sensitivity and strong anti-interference ability, and it is safe and reliable, and has the function of location.

Key words: transformer; partial discharge; ultrasonic; high-frequency pulse current

中图分类号: TM835 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)06-0053-03

作为电网设备的枢纽, 电力变压器的运行状况直接影响电网的可靠性。据运行经验, 大部分变压器故障都是由于绝缘损伤引发的。变压器的结构相对其他电力设备复杂很多, 由于在设计制造上、运输安装过程中, 或多或少会存在一些绝缘缺陷, 这些缺陷在长期的运行中会产生局部放电并经过积累将造成严重的变压器故障。

局部放电试验已成为变压器出场试验和例行试验中衡量变压器绝缘状况的重要手段。然而, 离线试验一般都是在故障出现后或定期进行, 缺乏长期有效的跟踪监督; 另外, 离线试验的条件也与设备运行时的状况有较大的差异, 不能准确反映运行状态。变压器局部放电的在线监测是在运行过程中对局部放电参数进行监测的一种手段, 它能够实现长期跟踪监督, 更能准确反映在变压器在运行过程中的实际状况。同时在线监测大大减少了停电带来的损失。因此, 主变压器局部放电的在线监测具有重要的现实意义和经济价值。

目前, 变压器局部放电在线监测方法主要有超声波法、高频脉冲电流法、超高频法、光检测法、红外成像法、气相色谱法等等^[1]。这些方法各有优缺点。

1 变压器局放监测现状

变压器在局部放电过程中由于电荷的迁移, 会产生电脉冲、电磁辐射、光辐射、超声波以及由于绝缘油和绝缘纸这些绝缘介质的分解会产生一些新的生成物, 并引起局部过热。因此, 通过对不同现象的监测来反映局部放电, 相应产生了脉冲电流法、超高频检测法、超声波检测法、光测法、化学检测法以及红外检测法等多种检测方法^[2]。

1.1 高频脉冲电流法

采用罗格夫斯基线圈高频电流传感器获取外壳接地线、铁心接地线、夹件接地线的高频脉冲接地电流^[3,4]。通过对高频脉冲电流波形的相位、幅值、频谱等特征的分析来实现局部放电的检测。该方法的优点是灵敏度高, 能反映运行状态下局部放电脉冲电流, 但易受现场电磁环境的干扰, 且不能实现定位。

1.2 超声波法

利用安装在变压器箱壁上的超声波传感器来检测局部放电发生时由电子间剧烈碰撞产生的超声波信号^[5]。通过对超声波幅值大小、相位分布, 以及频谱分析可实现对局部放电的检测。同时在箱壁上不同

位置安装多个超声波传感器,并比较分析各信号的时延可实现局部放电的定位。该方法的优点是与被测设备没有电气联系,不受现场电磁环境干扰,可实现定位及在线监测。由于局部放电发生时产生超声波的能量仅占总能量的1%,且超声波在变压器内部的传播路径复杂以及声波的折反射导致能量的损失,以及光信号与电信号的转换效率等问题,该方法的灵敏度较低,目前一般所能到达的精度为几百 pC。

1.3 超高频法

利用装设的高频传感器测量由局部放电脉冲激发的超高频电磁波来检测局部放电。由于超高频电磁波的频率成分高达 300 MHz ~ 3 GHz^[6],能有效避开现场干扰,且具有较高的灵敏度。然而,由于变压器箱体对电磁波的屏蔽作用,传感器的安装需要对变压器进行开窗或安装内置式传感器,因此方法在使用上受到一定的限制。

1.4 光检测法

通过荧光光纤检测局部放电所产生的荧光来检测局部放电。该方法的优点是测量时光信号不受电磁干扰,灵敏度高,可以方便地确定局部放电位置。缺点是光纤的埋法复杂,目前光纤传感器的分辨率尚不能满足工程需要,不能进行定量分析与局部放电的模式识别。

1.5 气相色谱法

通过检测变压器局部放电时气体生成物的组成和浓度,判断局部放电的状态。油气分离是一个长期的过程,存在很大的时延,对发现早期潜伏性故障较灵敏,不能反映突发性故障;且只能作定性的分析,无法进行定量判断;因此该方法只能作为一种辅助手段^[7-9]。

1.5 红外成像法

基于变压器内部局部放电产生的电热能量引起局部区域的温度升高,通过红外探测器和热成像来实现局部放电检测。优点是使用方便,结果直观,对于变压器局部过热故障比较灵敏。缺点是当局部放电还没有产生明显局部过热时或故障点处于变压器深处时,该方法效果不理想。目前多用于套管的检测,仅仅是局部放电监测的一种辅助手段。

2 超声波与高频脉冲电流相结合

2.1 信号的选取

变压器局部放电的监测手段众多,但为了实现一种可靠的、有效的变压器局部放电在线监测方法,须

综合考虑安全、灵敏度、抗干扰能力。

通过对各种局部放电监测方法优缺点的比较分析,超声波法和高频脉冲电流法都是通过外部探测,无需改变变压器的运行方式和内部结构,便于安装使用,最适合用于变压器局部放电在线监测。

这两种方法又各有其固有缺陷和优势,因此,将两种方法结合可扬长避短,解决了超声波法灵敏度低、高频脉冲法抗干扰能力差的缺点。以两种信号都监测到局部放电信号作为判断,减少了单一信号的误判率。适合用于长期在线监测。

2.2 监测原理

联合监测原理图如图1所示。

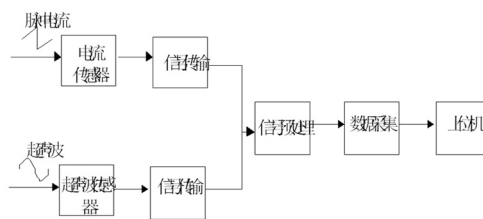


图1 联合监测原理图

监测的局部放电信号有高频脉冲电流和超声波信号。

高频脉冲电流信号用电流传感器从变压器铁心接地线处获取。电流传感器采用宽带型罗格夫斯基线圈做成钳形,可将高频电流信号转换成电压信号。宽带型电流传感器可以得到局部放电信号比较广泛的频率成分,便于后续的信号处理。

超声波信号通过超声波传感器从变压器的油箱壁获取。超声波传感器采用压电陶瓷安装在金属外壳上,可带动金属外壳一起振动,并在金属壳里填充树脂作为密封。由于超声波在空气中迅速衰减,因而介于传感器及其附着表面间的任何微小气隙也可能造成无法有效测量超声波信号。在传感器布置时应保证超声波传感器与变压器箱壁接触良好。

信号的传输采用波阻抗相匹配的同轴电缆,传输两种信号的信号电缆应分别满足相应的频率要求,衰减满足要求。信号预处理是对同轴电缆传输过来的电信号进行放大处理,使幅值满足数据采集卡的对信号输入的幅值要求。数据采集卡采用高速 A/D 转换,采集卡的采样率应满足所采集信号频率的两倍以上。上位机完成局部放电信号的分析处理,结果显示功能,同时还负责对系统硬件的控制功能。

2.3 联合监测成套装置

成套装置采用魏德曼公司生产的 Power PD。该

装置主要由传感器、主机、上位机 3 部分组成。

传感器分别由 4 个超声波传感器与一个高频电流传感器构成。超声波传感器分别布置于变压器箱壁各侧,使用时将甘油凝胶敷于安装表面并确保凝胶层内不含气泡,保证传感器与变压器油箱壁接触紧密。高频电流传感器通常卡在铁心接地线上,当位置固定后应将传感器固定以免在以后运行过程中发生移动。

主机包括 CPU、ADC 插板、信号处理插板、主板等部件。主要功能有:信号放大、信号处理。一个主机的多个采集通道对各传感器的信号同时进行采集、处理。上位机完成波形的显示、信号的分析、数据存储等功能。

3 实测分析

3.1 在线监测

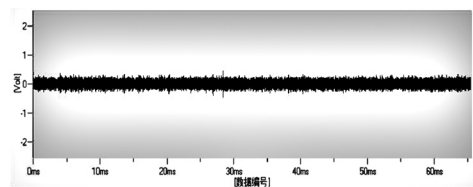
110 kV 某变电站变压器在运行过程中通过化学检测法发现乙炔及总烃超标。怀疑为内部放电引起。对该变压器进行了局部放电在线监测,测试方法为超声波与高频电流相结合的方法。超声波传感器安放位置为变压器高、低压套管对应油箱壁处及两侧油箱壁处,高频脉冲电流取自铁芯接地线。测试结果如图 2 所示。

图 2 中(a)、(b)、(c)分别为 U、V、W 相对应箱壁处超声波波形,(d)为脉冲电流波形,该图形为滤波之后波形。根据波形分析,W 相超声波幅值较其他两相比较大约为 U 相的 2 倍,且具有局部放电的相位特征。脉冲电流波形也具有明显的局部放电相位特征。W 相超声波传感器和高频脉冲电流传感器均检测到放电信号,且具有一一对应关系,证明传感器接收到的信号时来自变压器的内部,非外界干扰。

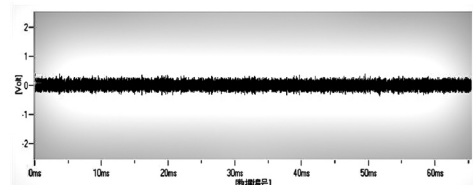
根据现场超声波传感器的检测位置,检测到局放信号的传感器位于变压器的 W 相处,且根据波形分析在变压器的 W 相位置检测到的超声波信号幅值最大,可以初步判断 W 相存在局部放电现象,W 相的出线部分发生局部放电的可能性最大。

3.2 离线试验

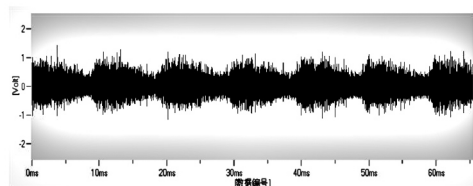
为了进一步验证,对该变压器进行离线局部放电测试,测试接线如图 3 所示。离线局部放电试验信号通过变压器套管电容耦合,加压方式为低压加压,高压感应。



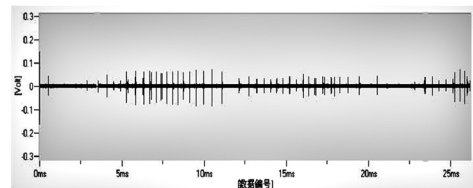
(a) A 相超声波波形



(b) B 相超声波波形



(c) C 相超声波波形



(d) 脉冲电流波形

图 2 局部放电监测波形

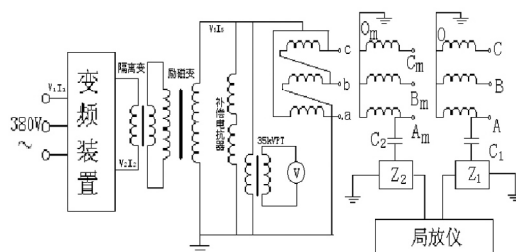


图 3 离线局放试验接线图

离线局放试验测试结果如表 1 所示

表 1 离线局放试验结果

频率/Hz	施加电压	局部放电量/pC		
		A	B	C
73.7	$1.1U_m\sqrt{3}$	30	60	513
73.7	$1.5U_m\sqrt{3}$	32	85	680

从表 1 的测试结果可以看出 W 相的局部放电量明显超过其他两相。

3.3 对比分析

在线监测超声波传感器和高频脉冲电流传感器均检测到了局部放电信号,这比单一监测手段的结果更加可靠。与离线试验对比,均在 W 相检测到局部放电信号,表明该方法能够有效监测局部放电信号,

(下转第 84 页)

合机组锅炉的煤质对降低厂用电率有一定促进作用。

循环水系统尽量选用共用系统,这样能用尽可能少的循环水泵来满足机组运行时循环水系统需要。把一些电动泵改成汽动泵或者把电动机采用变频节能技术,这样能进一步降低厂用电量从而提高发电机组效率。

3 结 语

600 MW 火力发电机组是目前发电行业的主力机组,其运行性能的先进与否关系到整个发电行业的经济性,也影响到国民经济的节能减排工作。科学合理地设计厂用辅机的容量和布置方式,推广应用变频节能技术,尽量选购适合锅炉的煤质,降低厂用电率从而提高发电机组的运行经济性。

参考文献

- [1] 龙辉. 影响 600 MW 机组厂用电率主要因素分析[C]. 2005 年吉林省电机工程学会学术年会.
- [2] 吴文杰, 孙术文, 郑兵. 国产 600 MW 超临界机组厂用电

(上接第 55 页)

且能实现粗略定位功能。对多台变压器不同局部放电量下在线和离线对比分析表明该方法具有较高的灵敏度。对比分析如表 2 所示。

表 2 不同局部放电量下监测结果

离线局部放电量/pC	1 000	500	100	50
在线结果	明显	明显	较明显	不明显

4 结 论

超声波法和高频脉冲电流法是实现变压器局部放电在线监测两种最佳手段。基于两种方法的联合监测法能有效避免单一监测手段的固有缺陷。实际应用结果表明联合监测能够可靠、有效实现变压器局部放电在线监测,具有灵敏度高、抗干扰能力强、安全可靠、能够定位的优点。局部放电的定量问题尚待经验的积累及进一步研究。

参考文献

- [1] 王国利, 赫艳捧, 李彦明. 电力变压器局部放电监测技术的现状和发展[J]. 电工电能新技术, 2001(2): 52-57.

率、煤耗、水耗指标测算模型[C]. 2007 清洁化石能源技术研讨会.

- [3] 李会东, 沧东. 600 MW 机组厂用电系统电源配置优化[C]. 2008 年可靠性、城市供电专委会学术年会.
- [4] 龙辉, 董银柱. 煤质和锅炉辅助系统对 600 MW 机组厂用电率的影响[J]. 吉林电力, 2003, 169(6): 39-41.
- [5] 杨世海, 徐晴, 卢树峰. 电网关口互感器对结算电量经济影响实测分析[J]. 电测与仪表, 2009, 525(9): 35-39.
- [6] 彭时雄. 交流电能(电功率)测量综合误差的测试计算及改进技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [7] 耿建坡, 王洪杰, 陶鹏, 等. 发电厂关口电能计量装置故障时差错电量的计算[J]. 河北电力技术, 2009, 28(3): 1-4.

作者简介:

赵玉富(1976)男, 硕士研究生, 高级工程师, 长期从事电能计量技术和电磁测量方面的研究工作;

赵玉才(1984)男, 大学本科, 助理工程师, 从事电能计量远方校验系统的研发和应用工作;

杨乃贵(1967)男, 硕士研究生, 教授级高工, 长期从事电能计量技术管理工作。

(收稿日期:2011-07-15)

- [2] IJ Kemp. Partial Discharge Plant - monitoring Technology: Present and Future Developments [J]. IEEE Proc. Sci. Meas. Technol, 1995(1): 85-90.
- [3] 高胜友, 朱德恒, 谭克雄, 等. 变压器局部放电在线监测信号处理技术的研究[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(9): 1181-1183.
- [4] 罗日成, 李卫国, 熊浩, 等. 电力变压器局部放电在线监测系统的研制[J]. 电网技术, 2004, 28(16): 56-59, 85.
- [5] F. Gutfleish, L. Niemeyer, Measurement and Simulation of PD in Epoxy Voids [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995(5): 729-743.
- [6] 黄家旗. GIS 在线监测系统的研究[D]. 北京: 清华大学, 2001.
- [7] 孙才新, 冯道寻. 变压器油中溶解气体在线监测研究[J]. 电工技术学报, 1996, 11(2): 11-15.
- [8] Barry H. Ward. A Survey of New Techniques in Insulation Monitoring of Power Transformer [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2001, 17(3): 16-23.
- [9] 王昌长, 李福祺, 高胜友. 电力设备的在线检测与故障诊断[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(收稿日期:2011-10-12)

电网过电压监测装置的研究与应用

刘庆宁¹, 罗 高², 李建明³, 瞿绪龙², 谭士兵²

(1. 华电四川宝珠寺发电厂, 四川 广元 628003; 2. 西华大学电气信息学院, 四川 成都 610039;

3. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:介绍了一种能实时、高精度地自动监测与记录电网过电压装置,并从硬件、软件两方面介绍了暂态过电压监测与记录系统的相关要求与设计。通过现场过电压数据波形与参数分析表明,该暂态过电压监测与记录系统能对电网过电压进行高精度实时的在线数据采集,并记录过电压发展的整个过程。

关键词:电网; 暂态过电压; 监测

Abstract: A new real-time and high-precision automatic monitoring and recording device of grid overvoltage is introduced. The relevant requirements and design of transient overvoltage monitoring and recording system are also introduced from the hardware and the software. Through the analysis of overvoltage waveform and parameters in the field, it shows that the high-precision and real-time on-line data acquisition of grid overvoltage can be done by the proposed transient overvoltage monitoring and recording system, and the whole process of overvoltage development can be recorded.

Key words: power grid; transient overvoltage; monitoring

中图分类号: TM866 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0056-04

0 引言

电力系统运行的可靠性主要由停电次数及停电时间来衡量,尽管停电原因很多,但绝缘的击穿是造成停电的主要原因之一。因此电力系统运行的可靠性在很大程度上取决于设备的绝缘水平及工作状况。

电气设备的绝缘长期处于工作电压的作用下,在运行过程中,电压还可能升高而超过工作电压(即内过电压),其电源是系统中发电机的电动势,常见的原因是正常或事故操作会在系统中引起振荡过程或谐振现象。除了内部过电压外,电气装置的绝缘还可能受到雷电过电压的作用,其产生原因是雷击于电气装置或沿导线传播作用于电气装置。因此在电力系统中对过电压的监测和分析有着极其重要的意义,它可分析过电压发生发展过程,对电网的影响提供可靠和准确的信息;还可为处理事故,提出改进措施提供重要参考依据。同时,也为电器制造厂改进产品及研制新产品提供了实际有利的运行资料。

根据过电压的在线监测与统计分析,可以分析绝缘故障概率^[2],再配合其他预防性试验判断设备的绝缘状况,做好预测及防护措施,力保变电站电力设

备物绝缘安全,保证电力系统供电的可靠性。

这里介绍了一种能实时、高精度的自动监测与记录电网过电压装置,并从硬件、软件两方面介绍了暂态过电压监测与记录系统的相关要求与设计,最后通过对该暂态过电压监测与记录系统长期挂网运行所采集的几组典型的过电压数据做了详细的分析。

1 检测装置总体结构设计

电网过电压在线监测系统结构框图如图1所示,过电压在线监测装置主要由电容式电压分压器^[1]、隔离传感器、数据采集器、后台机组组成。

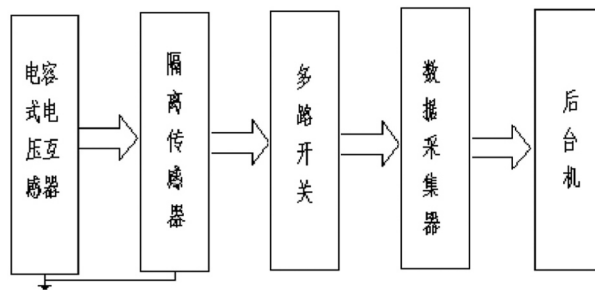


图1 监测系统整体结构框图

系统母线电压由电容式电压分压器将其降低到合适范围内的电压,由隔离传感器对电压信号进行隔

离、滤波、放大等高精度变换后进入采集系统,当过电压信号到来时,模拟前置电路对滤波后的电压进行幅值判断,如果超过预先设定的阈值,触发电路则把模拟信号转换成数字电平,启动采集卡进行过电压信号实时采样,装置立即响应将过压前后的电压信号“有效存储”,以文件形式保存数据并载入数据库。然后利用后台机数据分析软件对数据进行波形显示、数据分析等操作,实现智能化管理^[1]。

系统母线电压由电容式电压分压器将其降低到合适范围内的电压,由隔离传感器对电压信号进行隔离、滤波、放大等高精度变换后进入采集系统,当过电压信号到来时,模拟前置电路对滤波后的电压进行幅值判断,如果超过预先设定的阈值,触发电路则把模拟信号转换成数字电平,启动采集卡进行过电压信号实时采样,装置立即响应将过压前后的电压信号“有效存储”,以文件形式保存数据并载入数据库。然后利用后台机数据分析软件对数据进行波形显示、数据分析等操作,实现智能化管理^[1]。

2 监测装置硬件简介

2.1 电容式电压分压器

目前,获取过电压信号的方法主要有两种方法,一是用电压互感器即TV,另一种获取过电压信号的方法是研制不同等级的低阻尼阻容串联分压器^[4],高压分压器结构简单,测量精度较高,响应时间短达ns级,没有低频振荡,暂态响应好,但专门研制的不同电压等级的低阻尼阻容式等高压分压器在电力系统中得到使用还是受到很多条件的限制,一是电网中没有提供专门的位置供高压分压器的安装,二是因为分压器需要长期并联于电网中运行,且高低压臂之间有直接的电气联系,这可能会对电网的安全运行造成影响(比如,电容器发生闪络)^[5]。而且当其应用于较高电压等级电网时,需要特别考虑其对人身和测量设备的安全问题。

电压互感器技术成熟,完全可以满足对操作过电压的采集,且利用变电站现场的电压互感器可以大大节省设备投资。但一般电压互感器的频带有限,方波响应时间较长,瞬变响应过程不是很灵敏。当其传输雷电过电压(雷电波)时,雷电波在电压互感器的线圈中经过了多次的折射和反射,一定程度上削弱了雷电波波头的幅值。但在经济技术上,此种方法获得

的数据也足够用于分析,所以根据种种条件的考虑分析,采用电容式电压分压器来获取过电压信号。

2.2 隔离传感器

由于电容式电压分压器输出的信号幅值比较高,不能直接输入到采集卡输入通道,由隔离传感器对电压信号进行隔离、滤波、放大等高精度变换后进入采集系统,一路进入触发电路,触发电路主要是启动采集卡的采样,只要任何一相电压超过预先设定的门槛电压,装置就开始采样,没有过电压则处于等待状态。触发电平可调节,正负极性电压都可触发,触发电路全部采用高速CMOS电路,响应时间快。隔离传感器主要对过电压波形进行滤波,采用二阶有源低通滤波器,滤波后输入到数据采集卡。

2.3 数据采集卡设计

对A/D器件进行采样控制,传统的方法多数是用CPU或单片机完成的,编程简单,控制灵活,但缺点是控制周期长,速度慢,特别是当A/D本身采样速度比较快时,CPU的慢速极大的限制了A/D的高速应用,在高速数据采集方面,FPGA(现场可编程门阵列)有着单片机和DSP无法比拟的优势。FPGA的时钟频率很高,内部时延非常小;全部的控制逻辑都可由硬件完成,速快、效率高,应用FPGA的数据采集系统的实现,可以通过FPGA来灵活地控制系统的实现,同时FPGA的主频、可用RAM的大小以及时钟管理单元保证了系统的实现,用一片FPGA可以控制多路数据采集的实现,因此应用FPGA的数据采集系统的框架更适合多路、高速数据采集,这对于电力系统过电压数据来说,更能满足更快速、高精度的采集,实现过电压信号在线实时准确的监测。

本系统的采集器设计^[4],其结构框图如图2所示,假设采样频率为1MHz,一个工频周期0.02s,共采集 2×104 个数据点,假设要求采集10个工频周期的波形,每个数据点至少8位及一个字节,这大概可以推算单相存储需要 2×105 bytes,三相则大概需要0.6 Mbytes存储空间。为保证精确捕获符合条件的数据,特别是捕获该数据发生前的状态数据,检测电路应会产生一个触发信号($k = 1.3$ pu),报警提示过电压信号的到来,同时启动采集卡的预触发控制电路,使电路保存过电压发生前2个以上工频波形,以便观察故障发生前系统情况。为完整记录整个过电压过程,因此此设计采集卡频率为1~10 MHz(可调),系统存储器容量设为2~8 M较为合理。

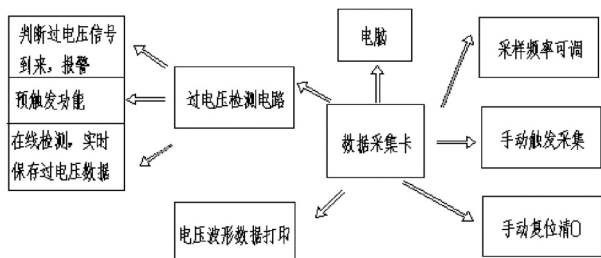


图2 采集卡硬件原理图

3 检测装置软件设计

监测装置的软件包括两个部分^[6],一个是数据采集存储软件,另一个是波形数据分析处理软件。

3.1 数据采集卡软件设计

程序启动运行就进入监控状态,对A/D转换数据不断进行比较与计算,将数据存入RAM的循环区。如发现超出基准值的数据,则判断有过电压信号。在这里,程序采用中断方式可以随时响应几种操作命令,其中定时或实时采集系统正常运行电压波形数据,可用于谐波分析。数据以文件形式存盘,存储速度快,可连续响应过电压事件,能满足过电压实时采集的需要。程序流程图见下图3所示。

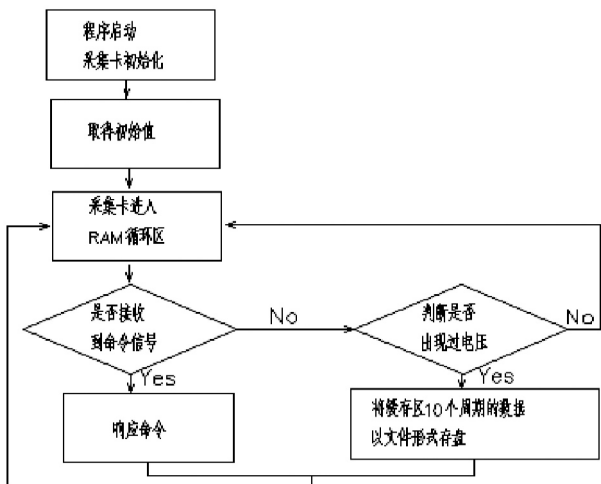


图3 采集卡软件设计流程图

3.2 后台机波形分析软件

软件的功能主要包括时域和频域分析,包括过电压波形参数测量、频谱分析、相位谱分析、功率谱分析、波形打印、波形再现、如同时显示L1、L2、L3三相波形和单个波形、局部压缩、放大等功能。

4 在线监测系统实测波形分析

该过电压在线监测系统在多个变电站安装投运

以后,下面的分析波形是监测记录系统在攀枝花某变电所采集的过电压数据多组数据。

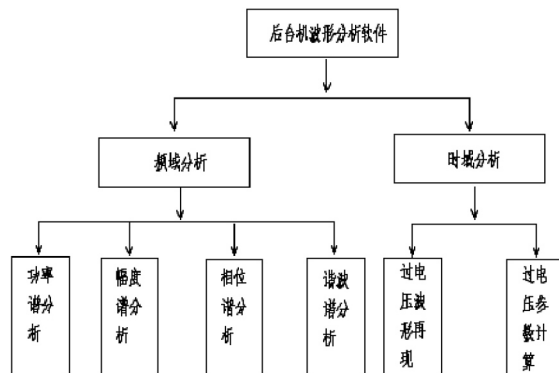


图4 后台机波形分析软件流程图

4.1 合闸过电压

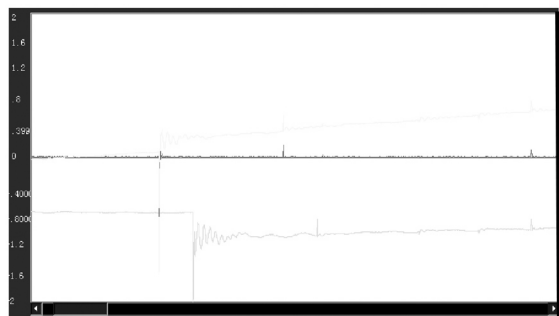


图5 某变电站合闸过电压实测波形

由图5波形可以清楚的读出电压瞬时值,此刻A相过电压幅值最大,其最大过电压幅值为 -469.89 kV ,过电压倍数为2.610倍,该过电压最大持续时间约为 $184\text{ }\mu\text{s}$,波头上升时间为 $8\text{ }\mu\text{s}$,波头陡度为 $-41.89\text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

为了更好的观察分析该过电压波形,为其波形局部放大。由图可以看出,L1、L2两相的电压波形近似的可以看出呈V字形。由此可以得出,此时操作过电压为合闸过电压。图示波形明显的反映该合闸经历了两次电压值瞬间变化的振荡过程。

4.2 接地故障过电压

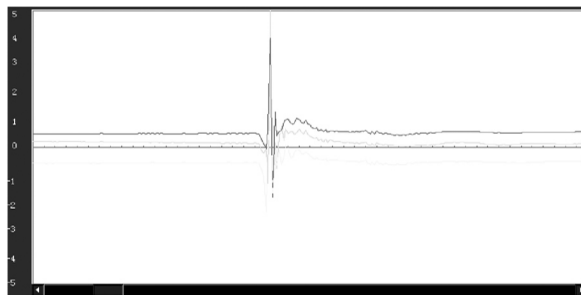


图6 某变电站接地故障过电压实测波形

由图6波形可以清楚的读出电压瞬时值,此刻L1相过电压幅值最大,其最大过电压幅值为 -295.26 kV ,过电压倍数为1.640倍,该过电压最大持续时间约为 $212\text{ }\mu\text{s}$,波头上升时间为 $6\text{ }\mu\text{s}$,波头陡度为 $-38.81\text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

为了更好的观察该过电压波形,将其波形局部放大,上图清晰的可以看到L1、L2两相过电压波形的过程。可以看出在过电压在线装置记录过电压时,前一段时间时的系统电压波形。并且可以看出,在发生过电压前,L1、L2两相的电压波形比较接近零,在发生较大振荡之前,L1、L2两相就出现过一次小过程的振荡过程。L3相在发生较大振荡之前可以看出其最接近零电位,而L1相的振荡过程都是发生在L3相之后,由此就可以判断出该操作过电压为切除L3相接地点故障过电压。

4.3 直击雷过电压

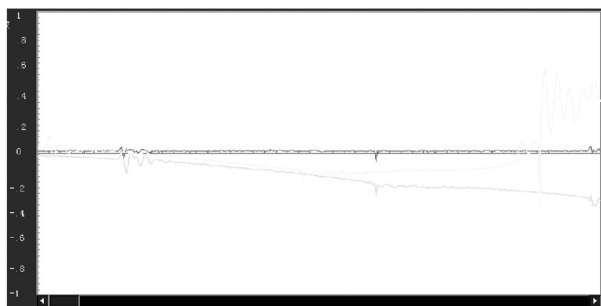


图7 某变电站直击雷过电压实测波形

图7波形是一组直击雷过电压波形,过电压发生前三相基本稳定,雷击后,三相波头部分有明显的向上尖峰,上升时间约为 $6\text{ }\mu\text{s}$,其中波头L1相陡度最大,为 $156\text{ kV}/\mu\text{s}$ 。L1相过电压倍数为5,L2相为4,L3相为2.3,此次雷击应该是L1相线路受雷击,其他两相受到感应,故波形形状相似。在雷击过后,电压波形有小幅度震荡,很快电压就恢复了正常。该变电站的保护设备避雷器处于正常状态,能迅速地把雷电过电压降低到工频附近。

从上面波形可以看出,三相雷电波的波头上升时间较长,波头不像定义的雷电波形那样陡峭,这可能是因为电容式电压互感器的频带有限,方波响应时间较长,瞬变响应过程不是很灵敏。当其传输雷电过电压(雷电波)时,雷电波在电压互感器的线圈中经过了多次的折射和反射,一定程度上削弱了雷电波波头的幅值,但在经济技术上,此种方法获得的数据也足够用于分析。

5 结论

(1) 该暂态过电压监测与记录系统暂态过电压响应良好;当设备在受到雷击等暂态过电压损害后,系统能自动记录相关的过电压数据作为对其损害的判断依据。

(2) 具有较高的数据采集速率和频率响应,能兼顾内、外过电压的采集,运行管理人员可以根据具体的情况调整前端采集部分的参数,实时控制。

(3) 具有较高的大容量数据存储与传输能力,能记录过电压事故发生时若干个周期内的电压波形,这包括过电压波形及过电压波形的过渡过程,

(4) 该暂态过电压监测与记录系统能实时高精度的记录整个过电压发展过程,能为电网经常受到哪些过电压的袭击的判断和分析提供科学的监测依据,根据变电站内过电压倍数确定过电压保护水平是否恰当,避雷器是否达到了残压指标。

(5) 因为直接从电容式电压互感器获取过电压信号,长期挂网运行表明该暂态过电压监测与记录系统具有较高的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1] 平丽英. 变电站瞬时过电压在线监测系统研制[D]. 华北电力大学, 2001.
- [2] 陈维贤. 电网过电压教程[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [3] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长. 高电压试验技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [4] 蔡光显, 王建兴, 吴世林, 等. 电力系统过电压在线监测装置[J]. 电网技术, 1995(1): 9-12, 46.
- [5] 孙成广, 李广泽. 配电网实用技术[M]. 北京: 水利水电出版社, 1998.
- [6] 唐翔, 许允文. 电网过电压微机自动化监测[J]. 华北电力大学学报, 1997, 24(4): 30-33.
- [7] 刘强, 蔡光显, 王建兴, 吴世林, 等. 过电压在线监测数据采集的研究[J]. 高压电器, 2002(6): 43-45.

作者简介:

刘庆宁(1952),男,高级工程师,研究方向: 高电压与绝缘技术;

罗高(1986),男,研究生,研究方向: 电力系统过电压监测技术。
(收稿日期:2011-10-09)

分解法在变压器绝缘故障诊断中的应用

徐伟¹, 尧广¹, 李利红², 董文丽¹, 李学忠¹

(1. 泸州电业局, 四川 泸州 646000; 2. 500kV 泸州变电站, 四川 泸州 646000)

摘要:对泸州地区某110 kV变电站2号主变压器进行例行试验时发现该主变压器高压绕组对地绝缘电阻跟往年比有明显的下降,随后对该主变压器进行了诊断性试验,根据试验结果并结合泄漏电流曲线进行分析,认为其高压绕组对地绝缘存在集中性缺陷。为了确定故障部位,研究了高压绕组的内部结构,发现高压绕组可分解为U、V、W相套管(带主绕组)、分接开关、O相套管(带输出端子)等5个部分,随后采用分解法对各个部位进行单独诊断,最终诊断出了分接开关油箱进水导致V型分接开关上端转换选择器U、V相绝缘板严重受潮故障。进行处理后该主变压器顺利投运,规避了被烧毁的危险。采用分解法可以清晰有效地进行故障诊断。

关键词:绝缘电阻; 泄漏电流曲线; 集中性缺陷; 分接开关; 分解法

Abstract: The routine tests for No. 2 main transformer in a 110 kV substation of Luzhou area show that the insulation resistance of high-voltage windings decreases comparing to the data from the earlier years. Diagnostic tests are then carried out and the results are analyzed in conjunction with leakage current curves. It is believed that there is a concentrated defect in the insulation between winding and the earth. In order to find out the fault location, the inner structure of windings is studied, which shows that the windings can be decomposed into five parts, that is, phase A, phase B and phase C bushings (including main windings), tap changing switch and phase O bushing (with output terminals). Each part is diagnosed individually based on the decomposition method. The results show that the insulation boards of phase A and phase B of upper change-over selector of V-shape tap changing switch are seriously damped, which results from the water percolating to oil tank of tap changing switch. The main transformer is restored to operation after the fault has been removed, and the danger of being burned is avoided. So using the decomposition method can help achieve a clear and effective fault diagnosis.

Key words: insulation resistance; leakage current curve; concentrated defect; tap changing switch; decomposition method

中图分类号: TM855 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)06-0060-03

变压器作为变电站的核心电气设备,其稳定运行对保障电网稳定运行和可靠供电至关重要,因此变压器状态的准确测量对有效开展状态检修 CBM(condition based maintenance)具有重要的意义^[1-7]。所谓分解法,从逻辑的角度讲就是对具体事物的分析,将事物的“一个整体分成它的各个组成部分”加以考察的方法,客观事物整体与部分的关系是分解法的客观基础。即整体到局部的分析方法,其关键就把握事物内部结构,将事物分接为多个有机组成部分,然后从各个部分进行研究,从而达到对事物整体的把握。在对电力设备进行故障诊断时,当发现设备可能存在故障,但不能确定设备的具体故障部位时,在把握设备“整体”与“局部”的关系后采用分解法对各个部分进行逐个诊断,可以迅速有效地诊断出设备故障,从而提高了诊断效率,节约了人力物力。这里采用分解法成功诊断出了某110 kV变压器高压绕组绝缘故障,

规避了该变压器被烧毁的风险,维护了电网安全稳定运行,同时为变压器及其它电力设备的故障诊断提供了思路。

1 发现故障

2010年11月13日,试验人员对某110 kV变电站2号主变压器(厂家:青岛青波变压器厂,型号:SF-SZ10-31500/110/38.5/10.5 kV,额定电流:165.3/472.4/1732 A,冷却方式:ONAN/ONAF,联接组别:YNyn0d11,出厂年月:2002年9月,空载损耗:26.70 kW,负载损耗:122.3 kW,空载电流:0.36%,短路阻抗:6.55%)开展例行试验,所有特性项目试验数据均正常,符合状态检修规程,随后进行绝缘项目试验,测得绕组绝缘电阻与上次例行试验数据对比(2006年12月5日)如表1所示(测试设备完好,已排除外

界环境因素干扰)。

表 1 两次例行试验绕组绝缘电阻的对比(测试温度 20 ℃)

绝缘电阻测试	高-中低地		中-高低地		低-高中地	
	2006 年	2010 年	2006 年	2010 年	2006 年	2010 年
$R_{15s}/M\Omega$	23 000	253	18 000	19 100	15 000	15 300
$R_{60s}/M\Omega$	35 000	301	28 000	28 860	20 000	21 000
吸收比	1.52	1.24	1.55	1.51	1.33	1.37

说明:高-中低地:高压绕组接测量端,中、低压绕组和外壳接地;中-高低地:中压绕组接测量端,高、低压绕组和外壳接地;低-高中地:低压绕组接测量端,高、中压绕组和外壳接地。

从表 1 中可以看出 2006 年测试结果显示:高-中低地绝缘电阻 > 中-高低地绝缘电阻 > 低-高中地绝缘电阻,且测量值 R_{60s} 均大于 20 G Ω ,高、中、低压绕组绝缘电阻良好。在 2010 年进行测试时,中-高低地绝缘电阻和低-高中地绝缘电阻与上次试验相比基本没有变化,而高-中低地绝缘电阻测量值 R_{15s} 和 R_{60s} 与上次例行试验相比分别从 23 000 M Ω 和 35 000 M Ω 下降为 253 M Ω 和 301 M Ω ,下降趋势非常明显;吸收比从 1.52 下降到 1.24,减小也相当明显。四川省电力公司《输变电设备状态检修试验规程实施细则》^[8]明确规定:变压器绕组绝缘电阻与往年相比,显著下降,且吸收比 ≥ 1.3 或极化指数 ≥ 1.5 或者绝缘电阻 $\geq 10\,000\,M\Omega$ (注意值)。由于高压绕组绝缘电阻测量值和历史数据以及中压绕组、低压绕组绝缘电阻测量值相比均有了明显的降低,且远远低于注意值 10 000 M Ω ,吸收比又小于 1.3,因此认为高-中低地绝缘电阻出现异常,然而中-高低地和低-高中地绝缘阻值正常,故可以进一步判断出高压绕组对地绝缘可能出现故障。

2 故障的分解诊断及处理

为了进一步验证试验,试验人员随后进行绕组介质损耗测试,绕组介质损耗测试结果如表 2 所示。

表 2 绕组介质损耗测试结果(测试时间:2010 年,温度:20 ℃)

绕组介损	高-中低地	中-高低地	低-高中地
$\tan\delta$	0.510	0.571	0.190
C_x/nF	15.74	25.13	18.33

表 2 显示:高压、中压和低压绕组介质损耗值和电容量均保持稳定,属于正常水平,因此可以认为主变压器高压、中压和低压绕组均未出现整体受潮缺陷。随后将 1 分钟直流泄露电流测试结果与 2006 年数据进行比较如表 3 所示。

表 3 两次例行试验直流泄露电流的对比(测试温度 20 ℃)

直流泄漏电流	高-中低地		中-高低地		低-高中地	
电压等级/kV	40		20		10	
测试时间/年	2006	2010	2006	2010	2006	2010
泄漏电流/ μA	3	235	3	3	2	4

发现高-中低地泄露电流从 2006 年的 3 μA 激增到 235 μA ,与初值比已经出现了相当明显的变化,根据四川省电力公司《输变电设备状态检修试验规程实施细则》^[8],高压绕组应该存在故障,而中-高低地和低-高中地泄露电流与 2006 年例行试验相比基本没有变化。

为了进一步确定故障缺陷类型,测量了不同电压等级下高-中低地的泄露电流,数据如表 4 所示,并绘制了直流泄露电流曲线如图 1 所示。

表 4 高-中低地绝缘在不同电压等级下的泄露电流

电压/kV	2	4	6	8	10	15	20	30	40
泄漏电流/ μA	8	13	23	32	41	66	90	145	235

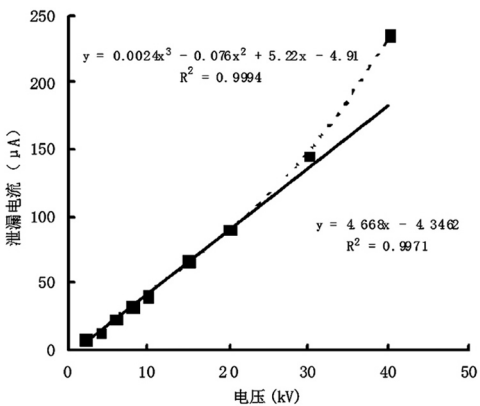


图 1 高-中低地在不同电压下的泄露电流

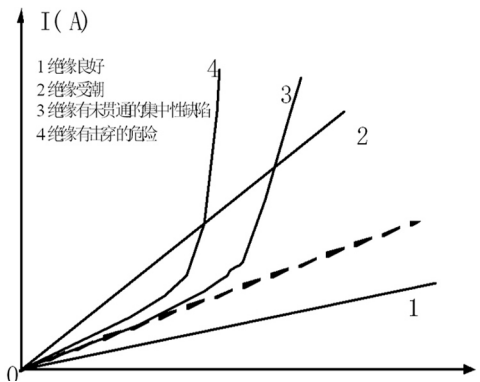


图 2 绝缘体典型泄漏电流曲线

图 1 是高-中低地不同电压等级下的泄露电流曲线,该曲线在电压为 0-20 kV 部分可以拟合一条直线: $y = 4.668X - 4.346$,而随着电压的增加,泄露电流增长速度加快,在 30 kV、40 kV 时泄露电流分别达到了 145 μA 和 235 μA ,拟合直线在 30 kV、40

kV 的值分别为 $135 \mu\text{A}$ 、 $182 \mu\text{A}$ ，泄漏电流值均落在了所拟合直线的上方，与图2中的曲线3非常相似，是一条典型向上弯曲的绝缘体泄漏电流曲线，绝缘体典型曲线表明该高压绕组对地绝缘中有集中性缺陷存在^[9]。

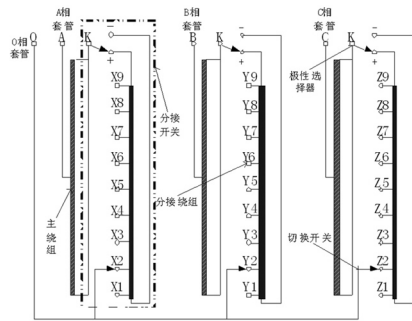


图3 变压器高压绕组的电气连接原理图

为了使得诊断性试验更有目的性，找出集中性缺陷具体所在部位，需要将高压绕组及其所连部件进行分解开来，然后对各个部件进行单独诊断，这就是分解法。110 kV主变压器高压绕组上连接的部件有套管、分接开关、绕组等多个组件^[10]，这需要对变压器绕组结构进行研究，高压侧绕组连接方式为YN，其电气连接原理图如图3所示，从图中可以看出，A、B、C三相套管通过引线分别连接三相主绕组首端，在主绕组末端与分接开关的极性选择器相连，极性选择器与分接绕组连接后接上切换开关并在输出端子处汇集在一起，并通过引线与零相套管连接。其中极性选择器、分接绕组、切换开关构成分接开关（如图3虚线部分）。通过对这个图的研究发现：分接开关将整个高压侧绕组分解为A相套管及A相主绕组、B相套管及B相主绕组、C相套管及C相主绕组、零相套管与引线、分接开关共五个部分。其中的任何一个部分出现绝缘集中缺陷都会造成高压绕组对地绝缘电阻偏低，根据分解法，首先对高压侧A、B、C及O相套管进行了诊断性试验，测得数据如表5所示。

表5 两次例行试验套管主介损及电容量对比（测试温度20℃）

套管介损测试	A		B		C		O	
测试时间/年	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010
$\tan\delta/\%$	0.51	0.414	0.57	0.401	0.54	0.438	0.36	0.333
C_x/pF	290	290.5	292.8	291.6	294.0	294.2	227.6	3277.0
C 铭/pF	293		296		298		281	

从表4中将2006年和2010年两次例行试验数据进行了对比发现，A、B、C及O相套管的主介损、电容量基本保持不变，介损值均小于0.7%，电容量与上次测量值和铭牌值相比较均保持稳定，初值差不超

过 $\pm 5\%$ ，随后对套管末屏绝缘电阻进行测试，结果如表6所示。

表6 套管末屏绝缘电阻测试

套管	A	B	C	O
末屏绝缘电阻/GΩ	195	180	188	95

结果显示，A、B、C三相套管末屏套管绝缘电阻良好，分别达到：195 GΩ、180 GΩ、188 GΩ和95 GΩ，远远大于注意值1 GΩ，符合四川省电力公司《输变电设备状态检修试验规程实施细则》^[8]要求，因此认为高压侧A、B、C三相套管及O相套管合格。同时，试验人员对变压器本体油进行取样诊断分析，色谱结果正常，变压器油合格。根据分解诊断结果可以确定A、B、C及零相套管和变压器高压主绕组都不存在缺陷，因此故障部位极有可能出现在分接开关油室内部，由于分接开关将高压绕组分解为五个独立的部分，吊出分接开关一方面可以检验试验人员的推论，也便于对分解开的5个独立部分进行进一步诊断，因此决定对分接开关进行吊芯处理。

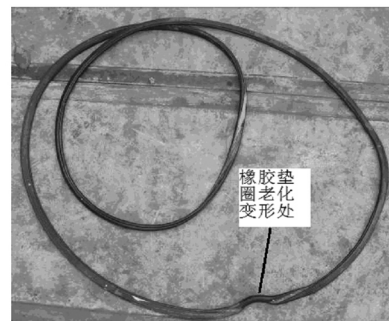


图4 老化变形的油枕密封垫圈

其实在例行试验之前油务人员已经对分接开关油室更换新油，但是打开分接开关顶盖后却发现分接开关油室中油的顶端和底部仍然存在大量的积水，如此大量的积水显然不是在更换新油时才带进分接开关油室的，油室肯定存在进水部位且此缺陷存在已久，为了查找出进水部位，试验人员对分接开关和与之相连的油枕进行了仔细检查，发现正是油枕密封橡胶垫圈的老化和变形使得油枕密封不严而进水，图4为取出的老化变形的密封橡胶垫圈。试验人员随后对分接开关油室进行了排油处理，分别对高压侧A、B、C、O相套管及所连接的绕组进行对地绝缘电阻测试，所测部位对地绝缘电阻均符合规程要求，因此断定故障点只存在于分接开关油室内部。变压器长期运行过程中，进入到分接开关油室中的水分会慢慢溶

（下转第91页）

的安全稳定经济运行提供可靠依据。

6 结 论

(1) 风帽改造后,炉内流化明显好转,减轻了受热面磨损,锅炉运行可靠性提高。

(2) 风帽改造后,锅炉接带负荷能力增强,风机电耗降低。

(3) 风帽改造后经过两年多的运行,多次停炉都会出现少量的风帽套管断裂的情况,因此建议厂家能对套管的材质进行改进。

(4) 改造后因使用的风帽头部形状为圆头,造成炉内检修时不方便,因此建议厂家能对风帽的头部形状进行改进。

(收稿日期:2011-09-16)

(上接第 62 页)

解到油中,加上固体绝缘板对水的吸附作用,可能会使得分接开关内部绝缘固件吸潮而造成对地绝缘电阻严重下降。基于上述考虑,分别测量了 V 型分接开关(如图 5 所示)的转换选择器、主通断触头、主触头、过渡触头等部位对分接开关顶端金属件(运行时金属件接地)的绝缘电阻,发现转换选择器的 A、B 两相对地绝缘电阻分别为 400 MΩ 和 700 MΩ,其它部位绝缘电阻值正常。随后试验人员取下受潮绝缘板,将其置于 100 ℃ 恒温烘箱内进行烘干,烘干时间达 12 小时后,重新测量其绝缘电阻值,发现绝缘电阻有了明显提高,均达到 8 GΩ 左右,对分接开关油箱内壁进行干燥处理后,将分接开关组装后加注新油,再次进行诊断性试验,全部绝缘试验项目均合格,主变压器顺利投运。

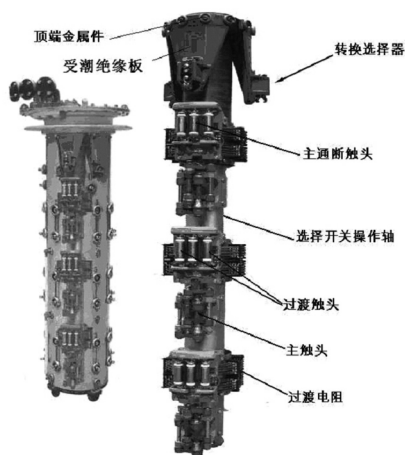


图 5 V 型分接开关本体

3 结论及思考

绝缘电阻试验和直流泄露电流试验对判断绝缘故障非常有效,而根据泄露电流曲线可以快速确定绝缘故障类型。将分解法应用于变压器故障诊断中,可

以清晰、准确、快速地诊断出故障部位和故障类型,大大地提高了检修效率。此次故障的发现过程以及使用分解法由整体到局部进行逐步诊断的方法,对变压器及其它电力设备的故障诊断,具有较好的参考价值。例行试验中油务人员在进行高压试验之前即对分接开关更换新油,不利于故障的诊断,而真当故障出现时,油样分析往往失去效用,这是今后工作应当注意的地方。

参考文献

- [1] 严璋. 状态监测方法及仪器的选择[J]. 电力仪器仪表选用年鉴 2009-2010: 79-80.
- [2] 朱德恒, 严璋, 谈克雄. 电气设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社 2009: 2-11.
- [3] 董明, 李元, 严璋. 主变电设备状态检修系统的开发与应用[J]. 华东电力 2009, 37(7): 1070-1072.
- [4] 汤宇奇. 变电站一次设备的状态检修[J]. 湖北电力, 2010, 34(2): 46-47.
- [5] 徐敏, 刘井萍, 左重华. 变电设备状态检修中试验数据的处理方法探讨[J]. 电力系统保护与控制 2009, 37(22): 91-92.
- [6] 程相杰, 高沁翔, 刘建芳. 变压器状态检修技术及其演技[J]. 四川电力技术 2007, 30(5): 13-14.
- [7] 马辉. 实现变压器状态检修的方法[J]. 高电压技术, 2001, 27(104): 70-71.
- [8] 四川省电力公司输变电设备状态检修试验规程[S]. 2009.
- [9] 李建明, 朱康. 高压电器设备试验方法[M]. 北京: 中国电力出版社 2001: 21-22.
- [10] 张亚杰, 康爱花. SZ10-31500/35 电力变压器高压绕组直接抽分接头结构分析[J]. 变压器 2010, 47(4): 13-14.

作者简介:

徐伟(1971) 男, 工程师, 从事绝缘监督管理工作。

(收稿日期:2011-08-26)

基于 UHF 法的变压器局部放电在线监测系统的开发

向天堂

(广安电业局, 四川 广安 638000)

摘要:变压器是电力系统中的重要设备,它的绝缘状态直接关系到电网的安全运行。目前监测变压器局部放电的方法有很多种,但是由于超高频传感器安置在变压器箱体内部,变压器壳体的屏蔽作用使得超高频检测法的抗干扰能力优于目前传统局部放电检测法,该法可以最大限度避开干扰信号。目前,变压器的在线监测技术已经得到了大量的应用。根据保定某变电站的现场要求,利用 delphi 基于超高频法开发了一套基于超高频法的管理系统,并且在现场得到了应用,取得了较好的效果。

关键词:变压器; 超高频法; 局部放电; 在线监测; 管理系统; delphi

Abstract: The transformer is the important equipment in power system and its insulation state directly relates to the safe operation of power grid. The current monitoring method for transformer partial discharge is too much, but because the ultra-high frequency (UHF) sensors are placed in the interior of transformer tank, the shielding effect of transformer shell makes UHF method is better than the traditional ones, and this method can avoid interference signals to the utmost. At present, the on-line monitoring technologies of transformer have been widely used. According to the field requirements of a substation in Baoding, a management system based on UHF method is developed using delphi. It has been applied in the field, and the good results are achieved.

Key words: transformer; ultra-high frequency (UHF) method; partial discharge; on-line monitoring; management system; delphi

中图分类号: TM855 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0063-04

0 前言

近年来,随着电力系统的快速发展,变压器的容量和电压等级不断提高,运行中的安全问题也越来越受到重视。在变压器所发生的故障中,绝缘问题占很大的比重,因此需要一种有效的手段对变压器的绝缘状况进行监测,确保运行中变压器的安全。局部放电监测作为检测变压器绝缘的一种有效手段,无论是检测理论还是检测技术,近年来都取得了较大的发展,并在电厂和电站中得到了实际应用。

超高频法具有高灵敏度,超高频法(UHF法)是通过超高频信号传感器接收局部放电过辐射的超高频电磁波,实现局部放电的检测。变压器油一隔板结构的绝缘强度比较高,因此变压器中的局部放电能够辐射很高频率的电磁波。变压器局部放电测量时,现场干扰信号的频谱一般小于 300 MHz, UHF 检测技术的检测频率范围一般为 500 ~ 1 500 MHz,可最大限度避开干扰信号。而且超高频传感器安置在变压器

箱体内部,变压器壳体的屏蔽作用使得超高频检测法的抗干扰能力优于目前传统局部放电检测法^[1~5]。

目前,变压器的在线监测技术已经得到了大量的应用,市场上也有不少成套的设备,但是在现场由监测系统取得的数据量极大,要得到变压器在线运行的有效信息,必须对这些数据进行高效的管理,以方便后续的处理。根据保定某变电站的现场要求,利用高级软件基于超高频法设计了管理系统,并且在现场得到了应用,取得了较好的效果。

1 超高频法(UHF)

局部放电所辐射的电磁波的频谱特性与局部放电源的几何形状以及放电间隙的绝缘强度有关。当放电间隙比较小时,放电过程的时间比较短,电流脉冲的陡度比较大,辐射高频电磁波的能力比较强;当放电间隙的绝缘强度比较高时,击穿过程比较快,此时电流脉冲的陡度比较大,辐射高频电磁波的能力比较强。发生在变压器油中的局部放电脉冲非常符合

上述理论。研究表明,该类放电脉冲可以辐射上升沿达到1~2 ns、频率达到数GHz的高频电磁波,为一种横电磁波(TEM)。该电磁波的能量以固定的速度沿电磁波的传播方向流动。对于变压器的运行现场来说,通常的噪声频谱低于400 MHz,而超高频传感器一般安装在变压器内部,变压器箱体厚度一般为厘米级,对外部噪声有很强的屏蔽作用,因而使得超高频法具有很强的抗干扰性。所以,通过耦合这种以TEM波形式传输的电磁信号,就可以监测到变压器内部的局部放电,并进一步认识其绝缘状态。这种监测方法称作超高频监测方法^[6,7]。

变压器超高频局部放电在线监测的关键技术之一是解决超高频测量探头的安装问题。根据超高频局部放电监测原理以及变压器箱体结构,可采用3种方式将探头安装在变压器壳体内,一是放油阀安装方式,二是人孔(手孔)盖安装方式,三是预制方式。变压器壳体为钢板制作,由于厚度一般都在cm数量级,对电磁信号具有非常良好的屏蔽作用,因此,超高频测量探头无论采用上述哪一种安装方式都可保证局部放电测量免受外界任何干扰信号的影响。

局部放电超高频测量其测量的中心频率通常在数百MHz、带宽为几十MHz。通常,超高频范围内(300~3000 MHz)提取局部放电产生的电磁波信号,包括电气设备外部引线上电晕在内的外界干扰信号几乎不存在,检测系统受外界干扰影响小,因而能较有效地抑止外部干扰和提高信噪比。变压器局部放电超高频在线监测系统的基本结构如图1所示。

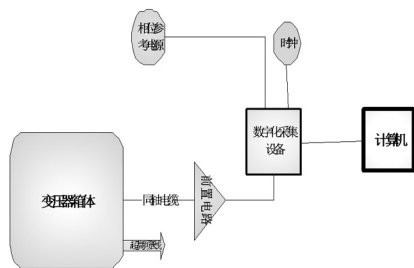


图1 变压器局部放电超高频在线监测系统示意图

2 局部放电超高频信号的数字化抗干扰方法

虽然超高频监测方法可以有效抑制低频电磁干扰,但一些通讯干扰、检测设备的热噪声、系统白噪声以及来自于硅堆的操作过电压都会干扰对超高频信

号的检测、识别和分析。通常,抗干扰技术包括硬件滤波技术和软件滤波技术。通过对系统硬件的设计,可以在一定程度上抑制某些类型的干扰,但由于现场干扰的复杂性,仅仅依靠硬件滤波不能达到满意的结果^[8]。随着现代数字信号处理技术的发展,局部放电在线监测抗干扰的手段开始向软件的方向发展,在实际应用中取得了良好的抗干扰效果。常用的数字滤波方法主要有:有限冲击响应(FIR)滤波器、无限冲击响应(IIR)滤波器和小波分析等。

(1)有限冲击响应(FIR)滤波器^[9,10]:该滤波器是指系统的单位脉冲响应 $h[k]$ 仅在有限范围内有非零值的滤波器。 M 阶FIR滤波器的系统函数 $H(z)$ 可以表示为

$$H(z) = \sum_{k=0}^M h[k]z^{-k} \quad (1)$$

$H(z)$ 是 z^{-1} 的 M 阶多项式,在有限 z 平面 $H(z)$ 有 M 个零点,而它的 M 个极点都位于 z 平面原点 $z=0$ 。FIR滤波器具有线性相位特性,在数字信号处理领域得到广泛应用。

(2)无限冲击响应(IIR)滤波器:该滤波器可以由式(2)所示的差分方程表达。

$$H(z) = \frac{\sum_{j=0}^M b_j z^{-j}}{1 + \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}} \quad (2)$$

当系数 $\{a_i | i=1, 2, \dots, N\}$ 中,至少有一个是非零时,上式所描述的系统被称为IIR滤波器。IIR滤波器通常满足 $M \leq N$,这时系统称为 N 阶IIR数字滤波器。

(3)小波分析^[11]:无论是信号的时域波形还是频域波形都包含着信号的全部信息,但有些信号,如周期性信号,频域特征明显;有些信号,如离散性信号,时域特征明显;而更多的信号,如局部放电信号,单从时域或频域来分析,往往只能了解信号的部分特性,只有同时从时域和频域两方面来看,才能对信号有更清晰和全面的了解。近年来发展起来的小波分析为局部放电去噪研究提供了新的强有力的工具。小波分析同时具有很强的时域和频域的分析能力,成为近年来数字信号处理研究领域研究的热点。做伸缩得到的结果,若 a, b 不断变化,具有带通性能,即 $\psi(a, b)$ 围绕着中心频率是有限支撑的,那么 $\psi(a, b)$ 和 $F(\Omega)$ 作内积以后也将反应 $F(\Omega)$ 在中心频率处的局部性质,从而实现良好的频率定位功能。S. Mallat在小波分析的基础上分析了信号沿不同尺度的传递特

性 提出了一种有效去除白噪声的模极大值法。其主要思路是: 信号和白噪声具有不同的小波分析特性, 白噪声的模极大值点随尺度的减小急剧增加, 而信号的模极大值点随尺度变化不大这样可以认为在某一较大的尺度上模极大值点主要是信号的; 根据模极大值的传递特性, 保留信号对应的模极大值点, 通过反变换即可获得去噪后的信号。

对于局部放电类型的识别, 可以采用放电指纹(放电谱图)分析法。该方法首先对各种放电产生的 $U_t - IF$ 信号进行检波, 通过计算机处理获得检波信号的二维(相位—信号幅值图)、三维谱图(相位—信号幅值—信号个数) 根据放电谱图判断放电的类型。

3 管理软件的开发

3.1 软件系统功能和结构

系统在中文 Windows 操作平台下构建, 人机交互界面友好, 主程序采用 Delphi 可视化编程, 后台数据库选择 SQL Server2000。软件系统设计的流程如图 2 所示。

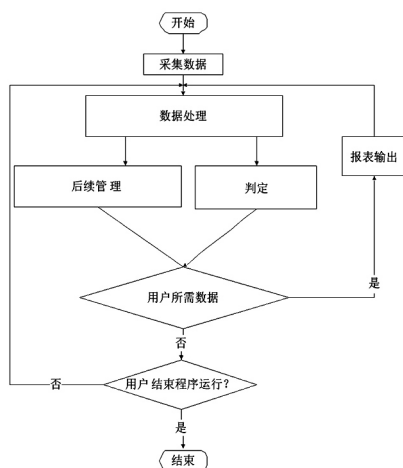


图 2 系统流程图

整个系统结构分为 3 个层次: 功能层、设计层和数据层。功能层面向操作人员, 包括现场数据的输入、修改、查询和删除, 对于图像处理模块, 除了包括图像的载入、删除、保存和还原等基本功能外, 数据导出功能可以将数据(包括图像)以报表和 Excel 的形式输出, 输出文件的路径由用户自己设置。对于管理系统的安全机制, 系统设置了用户管理权限模块, 系统使用的用户权限分为: 管理员、操作员和公共用户。公共用户权限最低, 只有查看、打印输出的权限; 操作员进行绝缘子数据的维护和试验数据的录入操作; 管理员具有最高的权限, 可以执行所有操作。用

户表结构为: 用户名、密码、权限级别。所有模块由后台的数据库有机的结合在一起, 实现对数据的管理。

3.2 数据管理模块开发

3.2.1 数据库构建

数据管理模块管理各种信息数据库, 除基本操作外还增加数据分析统计功能, 应以报表和 Excel 表格方式输出信息。数据库设计是系统的核心, 数据库由数据表组成, 应具备的主要数据表如下。

1) 基本信息数据表

记录变压器基本信息, 表的结构和主要字段为: 变压器编号、类型、制造厂、型号、电压等级、出厂时间和投运时间。在软件开发的时候统一了字段类型, 如规定变压器编号格式为“FH-0001”, 各种时间格式都设置为“年-月-日”的标准格式, 这样既减少了操作人员的工作量又统一了格式, 方便数据对比。

2) 变压器信息数据表

每次用 UHF 法对运行的变压器进行监测后, 都要将大量的信息录入到该数据表中。数据表字段定义为: 测试日期、测试人员、天气情况、风力、放电位置。同时将“变压器编号”设置为主键, 建立其与“变压器信息数据表”的联系, 实现数据表的联合管理。

3.2.2 数据库操作

对数据库的操作主要包括与数据库的连接、信息的录入、修改、查询等操作, Delphi 与数据库的连接主要有 BDE 和 ADO 两种方式, 该系统采用了 ADO 方式, 与数据库的连接主要涉及到数据源和数据感知控件 3 大类。对数据表的修改、删除或历史记录的查询操作有两种方式, 一种方式是直接调用 ADOQuery 或 ADOTable 组件相应的“方法”, 另一种是编写 ADOQuery 组件的 SQL 语句, 这两种方法各有特点。相比较而言, 对数据库的录入插入和修改操作采用第一种方式比较简单, 但对数据库的查询, 通过编写 SQL 语句相对更为灵活, 根据需要, 该系统在历史数据查询界面设置了 5 个查询选项, 分别为变电站名、测试人员、测试时间段。选项之间可选择“并且”或“或者”进行逻辑组合, 在程序中根据这些查询条件将其组合成相应的 SQL 查询语句, 然后执行 ADOQuery 组件的 SQL 查询功能, 然后将查询到的结果显示到 DBgrid 数据组件中。

4 结 论

通过选定超高频法对变压器进行在线监测, 根据

现场的需求开发了一套数据管理系统,总的说来做了如下工作:①论述了超高频法的应用优点,它在变压器局部放电的监测中有着较强的抗干扰能力;②利用 delphi 开发了数据管理系统,同时利用 SQLserver 建立了后台运行的数据库系统;③通过现场的应用,取得了较好的成果。

参考文献

- [1] 成永红. 电力设备绝缘检测与诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] [苏]r. C. 库钦斯基著,徐永禧,胡维新译. 高压电气设备局部放电(第1版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [3] 葛景滂,邱昌容主编. 局部放电测量(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [4] 邱昌容,王乃庆主编. 电工设备局部放电及测试技术(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.

- [5] 朱德恒,谈克雄主编. 电绝缘诊断技术(第1版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [6] 吴广宁主编. 高电压技术(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [7] 吴玉鹏,陈丽娟,王鹏,等. 2002年全国电力可靠性分析[J]. 中国电力, 2003, 36(5): 1-7.
- [8] 陈庆国. 变压器局部放电特高频检测及干扰抑制算法的研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.
- [9] [苏]r. C. 库钦斯基著,徐永禧,胡维新译. 高压电气设备局部放电(第1版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984年.
- [10] 王颂,李香龙,李军浩,等. 变压器局部放电超高频信号外传播特性的试验研究[J]. 高压电器, 2007, 43(2): 100-102.
- [11] 王国利,郝艳棒,李彦明. 光纤技术在电力变压器绝缘监测中的应用[J]. 高压电器, 2001, 37(2): 32-35.

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第49页)

并且对干扰有较强的抑制能力。

3 结 论

(1) 通过对模拟信号仿真和现场采集的局部放电信号去噪仿真都可以看出,传统的基于傅里叶变换的滤波方法有其局限性:因这种变换难以获得信号的局部特性,对放电这样的非平稳突变信号,较难获得理想结果,自适应滤波器能自动调节参数,但其稳定性较差,所采用的 K -均值阈值方法能有效地从被周期性窄带干扰淹没中提出局部放电信号,准确率高,波形失真小,并且对干扰有较强的抑制能力。证实了 K -均值阈值方法在局部放电信号提取和噪声抑制的能力方面有较高的准确性和有效性。

(2) 窄带干扰形成的干扰峰,在大尺度下的幅值比小尺度下的大,粗略信号部分峰值比细节信号部分的幅值大,窄带干扰会呈现强烈的干扰峰,而PD信号在整个频域呈均匀分布,该重要特征是所采用 K -均值阈值算法抑制干扰的重要依据。

(3) K -均值阈值法首先将采样数据进行聚类划分,对含噪信号进行初次筛选,再对筛选的信号数据选择合适的阈值进行去噪,有效地提高了去噪效果,增强了经典阈值法对窄带干扰频率的自适应性。

参考文献

- [1] 许高峰,孙才新,唐炬,等. 基于小波变换抑制GIS局部放电检测中白噪干扰的新方法[J]. 电工技术学报, 2003, 18(2): 87-90.
- [2] 王国利,郑毅,郝艳棒,等. 用于变压器局部放电检测的超高频传感器的初步研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(4): 154-160.
- [3] 司文荣,李军浩,袁鹏,等. 气体绝缘组合电器局部放电电源的检测与识别[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(16): 119-126.
- [4] 徐淑珍,朱子述,秦松林,等. 局部放电在线检测中周期性干扰的抑制[J]. 高电压技术, 2001, 27(1): 32-34.
- [5] 王晓霞,孙书星,马殿光. 局部放电在线监测信号中周期性脉冲干扰的抑制[J]. 变压器, 2002, 39(Z1): 36-38.
- [6] 王国利,郝艳棒,袁鹏,等. 变压器局部放电超高频检测中的混频技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 39(S1): 36-38.
- [7] 朱根良. 浅议中压开关柜事故调查中的故障分析[J]. 高压电器, 2002, 24(10): 115-120.
- [8] 杜彦明,顾霓鸿. 中国电力系统配电开关设备现状及事故情况[J]. 高压电器, 2001, 25(11): 60-65.

作者简介:

李建明(1952),男,教授级高工,高电压与绝缘技术专家,四川电力科学研究院副总工程师。

(收稿日期:2011-09-28)

电网变电站直流系统蓄电池模型

黄媛^{1,2}, 吕林^{1,2}, 陈井锐^{1,2}, 邓启^{1,2}, 李维强³, 郑勇建⁴

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065;
3. 成都电业局, 四川 成都 610016; 4. 双流电业局, 四川 成都 610200)

摘要: 建立电网变电站阀控式铅酸蓄电池模型, 将变电站的负荷分为经常负荷(控制、保护信号装置等)、事故负荷(汽轮机、发电机润滑油和密封油泵等)、冲击负荷(断路器合闸线圈等)。采用容量换算法对蓄电池的容量进行检测, 建立蓄电池充放电模型, 即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间、负荷变化的数学表达式。通过海志(HAZ) HZB2-300 蓄电池验证, 这里所建模型反映了蓄电池的充放电特性, 该模型适用于变电站直流系统蓄电池监控系统。

关键词: 变电站直流系统; 阀控式铅酸蓄电池; 蓄电池充放电模型; 经常负荷; 事故负荷; 冲击负荷

Abstract: The valve-regulated lead-acid battery model of grid substation is established. According to the different discharge current, the battery loads are divided into 3 types: constant load (control, protection signal device etc.), emergency load (steam turbine, generator lubricating oil and seal oil pump etc.) and impact load (closing coil of circuit breaker etc.). The battery capacity is checked by capacity conversion method. The battery charging and discharging model are established, that is, time-varying and load-variant mathematical models of battery charging and discharging voltage, current and power. The proposed model reflects battery charging and discharging characteristics verified by the simulation of (HAZ) HZB2-300 battery. This model is applicable to battery monitoring system of DC system in the substation.

Key words: DC system of substation; valve-regulated lead-acid battery; battery charging and discharging model; constant load; emergency load; impact load

中图分类号: TM64 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0067-04

0 前言

直流系统是变电站的一个重要组成部分, 对变电站的正常运行有着重要的作用。其中蓄电池的选择和仿真是变电站直流系统研究的重要内容。文献[1]介绍了变电站直流系统蓄电池组的选择、直流回路熔断器、负荷小开关及载流导体的选择、直流系统馈线电网接线等内容; 文献[2]应用 HOXIE 公式计算蓄电池容量, 详细的分析 HOXIE 的计算方法, 所计算的蓄电池容量偏大, 不利于蓄电池的监控; 变电站主要工作是阀控蓄电池的运行维护方法, 包括专业人员对蓄电池的充放电原理、充放电方法和运行维护方法[3]。变电站直流系统改造和优化问题, 文献[4]提出变电站直流系统的优化方案, 能保证变电站直流系统运行安全可靠, 文献[5]比较了直流电源系统中应用的相控整流装置和高频开关装置的优缺点, 结合高频开关电源装置应用, 设计了能实现集中监控的换流站直流电源系统。变电站直流系统故障分析,

文献[6]探讨了该系统运行维护中常见故障的处理方法, 文献[7]分析了低频信号注入法的原理及存在的缺陷, 针对其缺陷提出了基于小波变换的直流系统接地故障检测方案。文献[8, 9]建立了阀控铅酸蓄电池的三阶模型, 该模型考虑了蓄电池的内部运行参数, 文献[10, 11]基于蓄电池化学原理建立了蓄电池的等效模型, 以上3种等效模型都比较精确地反映了蓄电池的运行特性, 但考虑的参数太多, 其电路等效过程比较复杂。

建立变电站直流系统蓄电池模型, 即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间、负荷变化的数学表达式。采用容量换算法对蓄电池容量进行监控, 并提出反映蓄电池充放电特性的数学表达式, 通过算例分析验证, 所建模型适用于变电站直流系统蓄电池监控系统。

1 电网变电站直流系统容量计算

根据蓄电池放电时间长短将电网变电站直流系统负荷划分为经常负荷(如控制、保护信号装置、

汽轮调速电动机等) ,用 i 表示;事故负荷(汽轮机、发电机润滑和密封油泵等)和冲击负荷(断路器合闸线圈等) ,分别用 j 和 k 表示;负荷的大小用蓄电池的放电电流表征。

变电站直流系统蓄电池放电电流大小为 I ,图1为变电站直流系统和表1为变电站直流系统负荷统计表。

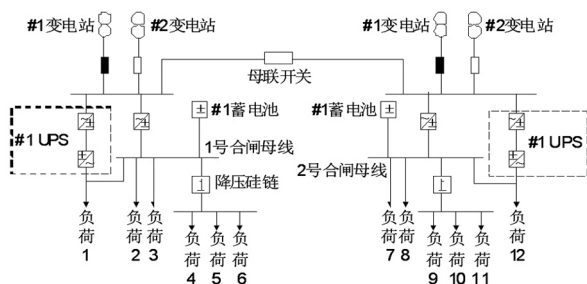


图1 变电站直流系统

表1 变电站直流系统负荷统计表

负荷性质	负荷名称	放电电流 /A	放电时间 /h
经常负荷	控制、保护信号	I_{i1} 40.2	t_{i1} 0.4
	汽轮调速电动机	I_{i2} 44.6	t_{i2} 0.6
	实验室	I_{i3} 47.4	t_{i3} 0.5
	经常事故照明	I_{i4} 49.8	t_{i4} 0.3
	经常负荷 n	I_{in} ...	t_{in} ...
事故负荷	汽轮机等	I_{j1} 32.0	t_{j1} 0.4
	UPS	I_{j2} 34.6	t_{j2} 0.8
	事故照明	I_{j3} 37.7	t_{j3} 1.3
	通信备用电源	I_{j4} 39.6	t_{j4} 2.1
	事故负荷 n	I_{jn} ...	t_{j5} ...
冲击负荷	断路器合闸线圈	I_{k1} 26.7	t_{k1} 0.4
	冲击负荷 n	I_{kn} ...	t_{kn} ...

根据表1,可得蓄电的负荷容量统计值为

$$C = \sum_{f=1}^n (I_{if}t_{if} + I_{jf}t_{jf} + I_{kf}t_{kf}) \quad (1)$$

蓄电池总放电时间为

$$t = \sum_{f=1}^n (t_{if} + t_{jf} + t_{kf}) \quad (2)$$

蓄电池放电终止电压为 V , t 对应的容量系数为 K_{cc} ,蓄电池放电 t 小时之后,需要的容量 Q 为

$$Q = 1.40 \frac{C}{K_{cc}} \quad (3)$$

1.40 为蓄电池的可靠系数, K_{cc} 为蓄电池容量系数,不同型号的蓄电池对应不同的容量系数曲线图,

同一种型号的蓄电池容量系数曲线图不同终止电压对应不同的容量系数曲线^[12,13]。

2 蓄电池带冲击负荷放电电压计算

如表1所示,假设蓄电池首先带控制、保护信号装置负荷放电,依次带汽轮调速电动机等负荷放电,最后带通信备用电源负荷放电,将蓄电池的放电分成8个阶段,用 C_n 表示 t_n 为蓄电池放电累积时间,冲击负荷断路器合闸线圈可能出现在任何阶段,蓄电池的额定放电电压为 U_0 ,额定放电电流为 I_0 ,则

$$K_m = 1.10 \frac{C_n}{tI_0} \quad (4)$$

$$K_{chn} = 1.10 \frac{I_k}{I_0} \quad (5)$$

K_m 为蓄电池的放电倍率, K_{chn} 为蓄电池在第 n 阶段冲击放电系数,根据 K_{chn} 的值到蓄电池持续放电曲线图^[13]中放电倍率为 K_m 对应的持续放电曲线查出单体蓄电池的电压 U_n 。

蓄电池组带冲击负荷放电电压标幺值 U_n^* 为

$$U_n^* = \frac{U_n}{U_0} \quad (6)$$

一般 $0.9 \leq U_n^* \leq 1.1$ 。

3 蓄电池的充放电模型

蓄电池作为电源系统的组成部分,起着储备电能、应付电网异常和特殊工作情况、维持系统正常运转的关键作用,是需要高可靠电能保障领域的最后一道防线。蓄电池的稳定性和在放电过程中能提供给负载的实际容量对确保设备的安全运行具有十分重要的意义。在停电及设备故障时,如果蓄电池组状态差而不能很好工作,将会产生灾难性的后果,其造成的损失远远大于蓄电池本身的购置成本。

由于受当前技术诊断水平的制约,目前中国对蓄电池的维护管理方式还主要采用以产品寿命理论为基础的定期维修和定期更换模式。然而由于影响电池寿命因素众多,即使同一厂家同一批次的蓄电池,实际寿命差别也相当大,甚至有新电池几个月就失效的例子。几十节串联的电池,只要一节过早损坏,如不及及时发现,则时间一长,其他电池跟着报废。如果失效正好发生在两次定期维修之间,在停电及设备故

障时,将会产生灾难性的后果。这是定期维修模式无法解决的。因此,目前的定期维修模式存在着安全隐患,这是要求高可靠性的供电系统无法接受的。

蓄电池充电功率 W 为

$$W = UI = n^2 \sum_{k=0}^7 b_k t^k \sum_{k=0}^7 a_k t^k \quad (7)$$

式(7)中 n 为蓄电池组的个数, a_k 为蓄电池充电电流系数, b_k 为蓄电池充电电压系数, a_k 系数和 b_k 系数统称充电系数,不同厂家不同型号的蓄电池,充电系数不一样。

蓄电池 10 h 放电率放电容量为 C_{10} , 单位: Ah; 10 h 放电电流为 I_{10} , 单位: A, 它们之间的转换关系为: $I_{10} = 0.1 C_{10}$ 。蓄电池放电功率 W_d 的表达式为

$$W_d = n I_{xi} \left[\left(\sum_{k=0}^5 c_k (t+1 - SOC)^k - \frac{(I_{xi} - I_{10}) \sum_{k=0}^3 d_k t^k}{10^6} \right) \right] \quad (8)$$

式 8 中 t 为蓄电池的放电时间, 单位: h, I_{xi} 为蓄电池的放电电流, 单位: A; c_k 和 d_k 为蓄电池的放电系数, 不同厂家不同型号的蓄电池, 放电系数不一样。SOC (state of charge) 为电动汽车蓄电池中一个重要的参数, 指荷电状态, 当蓄电池使用一段时间或搁置不用后的剩余容量与其完全充电状态的容量比值, SOC 等于 1 时, 表示电池处于满充状态。

4 变电站直流系统蓄电池算例分析

仿真算例采用海志 (HAZ) 型号为 HZB2-300 的铅酸蓄电池, 额定容量为 300 Ah, 单体蓄电池的额定电压为 2 V, 蓄电池工作温度为 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 蓄电池放电终止电压单体蓄电池为 1.95 V, 蓄电池个数 N 为 52 个; 恒电流充电方式, 充电电压单体蓄电池最高不能超过 2.35 V; 恒电压充电方式, 充电电压单体蓄电池不能超过 2.35 V, 当充电电流下降到 $0.05 I_{10}$ 时停止充电, I_{10} 为 10 小时率放电电流, 海志 (HAZ) HZB2-300 蓄电池充电系数、放电系数如表 2、表 3 所示。

图 2 反映了蓄电池充电功率随时间的变化曲线, 在 10 h 之前, 蓄电池的端电压随着充电时间不断上升, 蓄电池的充电电流随时间不断下降, 其综合结果是蓄电池的充电功率基本保持恒定。10 h 以后, 蓄电池进入最后充电阶段, 正极板上的水产生氧气, 消耗掉了部分正电子, 负极板上的氧气被还原成水, 消耗掉了负极板上部分电子。蓄电池的端电压逐渐达

到最大值, 保持不变, 而充电电流快速下降, 蓄电池充电功率随着充电电流不断减小, 最后蓄电池开始饱和。

表 2 海志 (HAZ) HZU2-300 蓄电池充放电系数

a 系数		b 系数	
a_0	$3.048 0 \times 10^1$	b_0	$1.991 5 \times 10^0$
a_1	$-2.846 7 \times 10^0$	b_1	$-1.019 7 \times 10^{-2}$
a_2	$3.073 3 \times 10^0$	b_2	$3.795 5 \times 10^{-2}$
a_3	$-1.228 5 \times 10^0$	b_3	$-1.254 5 \times 10^{-2}$
a_4	$2.281 6 \times 10^{-1}$	b_4	$1.910 6 \times 10^{-3}$
a_5	$-2.108 0 \times 10^{-2}$	b_5	$-1.453 1 \times 10^{-4}$
a_6	$9.334 4 \times 10^{-4}$	b_6	$5.374 4 \times 10^{-6}$
a_7	$-1.579 7 \times 10^{-5}$	b_7	$-7.723 4 \times 10^{-7}$

表 3 海志 (HAZ) HZU-300 蓄电池

c 系数		d 系数	
c_0	2.102 931	d_0	563.734 2
c_1	-0.046 643	d_1	161.887 5
c_2	0.029 312	d_2	-48.853 5
c_3	-0.008 638	d_3	3.835 0
c_4	0.000 996		
c_5	-0.00 004		

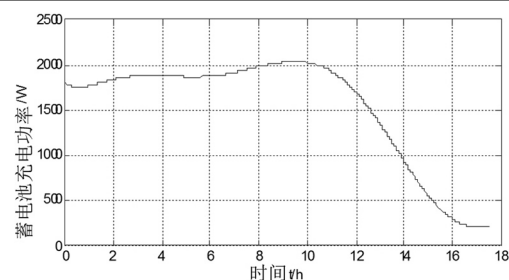


图 2 蓄电池充电功率随时间的变化曲线

图 3 是蓄电池组放电功率曲面图, 从图中可以看出, 在同一时刻, 蓄电池的放电功率随放电电流的增大而增大, 0 到 13 小时为蓄电池的工作区, 随着放电电流的增大, 工作区减小, 在蓄电池的工作区以内, 蓄电池基本能够平稳地提供负荷功率。13 小时以后, 蓄电池放电功率急速下降, 直到放电功率为零, 蓄电池进入此阶段, 不能再承担负荷, 需要对蓄电池进行充电。

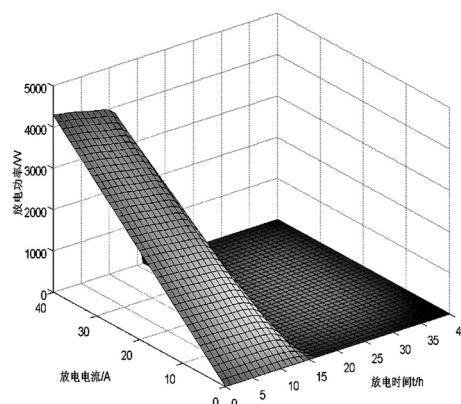


图 3 电动汽车蓄电池组放电功率曲面图

5 结 论

采用容量换算法和电流换算法对蓄电池容量进行检测,最后建立蓄电池充放电模型,即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间变化的数学表达式,通过海志(HAZ)型号为 HZB2-300 的铅酸蓄电池仿真验证,蓄电池充电端电压随时间不断增大,充电电流随时间不断减小,充电功率与充电电流走势基本一致。这里所建模型反映了蓄电池的充放电特性,适用于监控系统。

参考文献

- [1] 徐海明,王全胜. 直流电源设备使用与维护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 于崇干,邹昌泉. 应用 HOXIE 公式计算蓄电池容量[J]. 蓄电池, 2006, 12(3): 38-42.
- [3] 黎廷广. 变电站阀控蓄电池运行维护[J]. 电工技术, 2008(2): 59-60.
- [4] 顾宁. 浅谈变电站直流系统优化[J]. 广东科技, 2010, 19(10): 126-128.
- [5] 刘森,张海凤,李书勇. 广州换流站直流电源系统的改造设计与实施[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 49-52.
- [6] 闫晓丽. 变电站直流系统运行维护及故障处理[J]. 电气时代, 2010(12): 80-81.

- [7] 李冬辉,史临潼. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测总体方案[J]. 电网技术, 2004, 29(1): 56-59.
- [8] Ceraolo M. New Dynamical Models of Lead-acid Batteries[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(4): 1184-1190.
- [9] 王欣伟,韩肖清,门汝佳. 太阳能风能发电系统中铅酸电池建模与仿真[J]. 山西电力, 2009, 153(2): 23-26.
- [10] Song Zhang, Dearn Edwards. Three-dimensional Conductivity Model for Porous Electrodes in Lead Acid Batteries[J]. Journal of Power Sources, 2007, 172(2): 957-961.
- [11] Matthias Durr, Andrew Cruden, Sinclair Gair, et al. Dynamic Model of a Lead Acid Battery for Use in a Domestic Fuel Cell System[J]. Journal of Power Sources, 2006, 161(2): 1400-1411.
- [12] 徐海明,王全胜. 变电站直流电源设备使用与维护: 阀控密封铅酸电池[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [13] 汪海霞. 电力系统用阀控式密封铅酸电池的选择和应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

作者简介:

黄媛(1974),女,博士研究生,主要从事电力系统分析与控制;

吕林(1963),男,教授,硕士,主要从事配电网自动化方面的研究;

陈井锐(1986),男,硕士研究生,研究方向为配电网和微电网的分析与计算及其电动汽车分析。

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第42页)

- [4] Al-Othman, A. K. Irving, M. R. Uncertainty Modeling in Power System State Estimation[C]. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2005(152): 233-239.
- [5] Nisheeth. Practical Experience with Rule-based On-line Topology Error Detection[C]. IEEE Power Industry Computer Application Conference held in Scottsdale, Arizona. May 4-7, 1993: 841-847.
- [6] H. Singh, F. L. Alvarado. Network Topology Determination Using Least Absolute Value State Estimation[J]. IEEE Trans. PWRs, 1995, 10(3): 1159-1163.
- [7] L. Mili, G. Steeno, F. Dobraca, D. French. A Robots Estimation Method for Topology Error Identification[J]. IEEE Transaction on Power Systems, 1999, 14(4): 1469-1476.
- [8] Souza J C S, Leite da Silva A M, Alves da Silva A P. On-line Topology Determination and Bad Data Suppression in

Power System Operation Using Artificial Neural Networks[J]. IEEE Trans PWRs, 1998, 13(3): 796-803.

- [9] 周苏荃,柳焯. 新息图法状态估计[J]. 继电器, 2000, 28(4): 1-5, 23.
- [10] 周苏荃,柳焯. 新息图法拓扑错误辨识[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(4): 23-27.
- [11] 周苏荃,张艳军. 新息图状态估计多相关不良数据辨识[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(4): 1-6.
- [12] 周苏荃,柳焯. 新息图法识别多重网络结构动态变化[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 67-72.

作者简介:

李子清(1987),男,甘肃金昌人,四川省电力公司自贡电业局,主要研究方向为变电站设计与规划;

辛旺(1986),男,重庆北碚人,重庆市电力公司北碚供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行;

邓永红(1985),男,湖南邵阳人,四川省电力公司乐山电业局五通供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行。

(收稿日期:2011-06-01)

华蓥山区输电线路防雷综合措施研究及实施方案

王家祥

(广安电业局, 四川 广安 638000)

摘要:随着电网的不断发展,高海拔山区由于雷电造成的电网事故日益增多,通过对华蓥山区 2008 年至 2010 年事故障碍原因统计分析表明,因雷击造成的事故占总比例的 70%,因此采取有效措施遏止因雷害造成电网事故显得尤为重要。重点介绍了一些防止雷害的措施,通过对输电线路防雷综合措施的研究和实施,取得明显成效。

关键词:山区;输电线路;防雷措施

Abstract: With the continuous development of power system, the accidents of power grid caused by lightning have increased in high altitude mountainous area. From 2008 to 2010, the statistic analysis of accident reasons in Huaying mountainous area shows that the lightning stroke accidents are accounted for 70%. Therefore, it is very important to take the effective measures for lightning accidents. Some prevention measures against lightning are introduced, and the significant results are obtained through the research and implementation of comprehensive protection measures against lightning of transmission line.

Key words: mountainous area; transmission line; protection measures against lightning

中图分类号:TM863 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0071-04

0 概述

雷击跳闸一直是困扰整个输电线路运行工作的难题,雷害事故几率占导致跳闸事故的 2/3 甚至更多。2008 年至 2010 年邻水供电局辖区输电线路跳闸共 23 次,其中雷击跳闸就占了 16 次,比例高达近 70%,因此寻求有效的防雷措施是提高线路安全、稳定运行的可靠保障。

邻水电网处于华蓥山脉,四川电网末端,由于线路大多处于高山峻岭,雷击活动频繁,邻水地区年均雷暴日达 40~65 之间是雷击跳闸的重点区段。主电源为两条 220 kV 线路黄范一线、黄范二线及两条 110 kV 线路分邻线、桂邻线,网络相对薄弱。雷击跳闸是整个邻水电网主网跳闸的主要原因,降低雷击跳闸率对于日常运行维护来讲将是大大降低劳动强度,提高线路安全、稳定运行的可靠保障。

1 雷击跳闸分析

送电线路遭受雷击的事故主要与 4 个因素有关:线路绝缘水平、有无架空地线(包括架空地线保护角大小)、雷电流强度、杆塔的接地电阻。感应雷一般电压低于线路的绝缘水平,不会导致线路发生闪络而

跳闸,危害线路的主要是直击雷。直击雷分为反击和绕击两种形式。送电线路的运行经验、现场实测和模拟试验均证明,雷电绕击率与避雷线对边导线的保护角、杆塔高度以及高压送电线路经过的地形、地貌和地质条件有关。雷击杆、塔顶部或避雷线时,雷电电流流过塔体和接地体,使杆塔电位升高,同时在相导线上产生感应过电压。如果升高塔体电位和相导线感应过电压合成的电位差超过高压送电线路绝缘闪络电压值,即 $U_j > U_{50\%}$ 时,导线与杆塔之间就会发生闪络,这种闪络就是反击闪络^[1,2]

绕击与反击的不同特征见表 1。

表 1 绕击与反击的特征

序号	比较项目	反击	绕击
1	雷电流幅值	雷电流较大	雷电流较小
2	杆塔接地电阻	大	小
3	闪络基数与相数	一基多相、或多基多相	单基单相或相邻两基同相
4	地形特点		山坡或山顶等易绕击处
5	闪络相别	耐雷水平较低相(如下相)	易绕击相(如顶相)

高压送电线路各种防雷措施都有其针对性,因此,在进行高压送电线路设计时,选择防雷方式首先要明确高压送电线路遭雷击跳闸原因。

表2 2008年至2010年线路雷击跳闸统计表

年度	电压等级 /kV	跳闸 次数	跳闸原因			杆塔 位置
			雷击		其他	
			绕击	反击		
2008 年	220	1	0	1		山顶
	110	4	1	2	冰闪 1 次	山顶
	35	2	1	1	0	山区
2009 年	220	0	0	0	0	——
	110	4	0	2	外力 1 次、冰闪 1 次	山区
	35	2	2	0	0	山区
2010 年	220	0	0	0	0	——
	110	5	1	2	冰闪 2 次	山区
	35	4	3	0	外力 1 次	山区

根据记录,从2008年至2010年,邻水电网雷暴日年均超过40天,属典型多雷区。雷暴日主要集中在4、5、6、7、8月份,雷电活动强度也较大,输电线路主要集中在这段时间跳闸。

2008年至2010年,全局35 kV及以上线路共发生雷击跳闸23次,具体情况表2。

总体看来,220 kV线路运行较好,仅发生雷击跳闸1次且重合成功。110 kV桂邻线发生5次跳闸,全部重合成功,主要集中在25号至49号杆塔范围内,损坏的都是同基两相或三相瓷瓶。110 kV分邻线发生3次雷击跳闸,全部重合成功,经过实地勘察,3次都是多相瓷瓶损坏,证明确系雷电反击。桂邻线和分邻线都是高海拔线路,线路跳闸多为反击,这说明线路的接地电阻多处阻值较大。

35 kV线路雷击跳闸次数为13次,主要集中在2条线路,除未启用重合闸的线路外,其余线路全部重合成功。合坛、邻合线线路多次发生雷击跳闸,说明这些线路走廊为雷电易击区。

35 kV及以上线路在雷击跳闸后一般能重合成功,说明线路的绝缘配置已经能够满足需要。

2 高压送电线路防雷措施

清楚了送电线路雷击跳闸的发生原因,可以有针对性地对送电线路所经过的不同地段,不同地理位置的杆塔采取相应的防雷措施。加强高压送电线路的绝缘水平。高压送电线路的绝缘水平与耐雷水平成正比,加强零值绝缘子的检测,保证高压送电线

路有足够的绝缘强度是提高线路耐雷水平的重要因素。

2.1 架设避雷线,减小保护角

避雷线是线路中普遍采用的防雷装置。架设避雷线是送电线路最基本的防雷措施,其防雷保护作用有:降低线路绝缘所承受的过电压幅值。当雷电直击于线路时,线路避雷线将雷电流引入大地,由于接地电阻各地点大小不同,因而会在杆塔顶造成不同的电位。雷云放电将引起线路感应过电压 $U(g)$ 、 $U(g)$ 与主放电流幅值 I 及挂线高 $h(d)$ 成正比,与雷击点的距离成反比。无避雷线的线路感应雷电压为 $U(g) = h(d)$,当有避雷线时,对导线就有屏蔽作用。雷电波在避雷线中传播时,与避雷线平行的导线在避雷线的电压波磁场中,由于耦合作用获得一定的电位 $U(2)$ 、 $U(2) = KU$ 式中 K 是耦合系数由于避雷线的屏蔽作用,线路上的感应电压为 $U(g) = ah(d)(1 - K)$ 式中 a 为系数, K 为耦合系数。为了提高避雷线对导线的屏蔽效果,减小绕击率,避雷线对边导线的保护角应尽量小一些。

2.2 降低杆塔接地电阻

采取降阻措施须经过技术经济比较,在土壤电阻率较高的地段,可采用增加垂直接地体、加长接地带、改变接地形式、换土或采用接地新技术(如长效型降阻剂、接地模块)等措施,慎用化学降阻剂。在盐碱腐蚀较严重的地段,接地装置应选用耐腐蚀性材料或采用导电防腐漆防腐。

降低接地电阻的主要方法有如下措施。

(1) 采用外延接地体。如杆塔所处的位置受场

地限制,可在放射长度的 1.5 倍范围内有较低土壤电阻率的地方,采用外引深埋接地方式,其深埋接地体的间距宜大于 20 m。

(2) 填充电阻率较低的物质: ①换土; ②采用接地模块进行降阻; ③在水平接地体周围施加长效防腐降阻剂。

杆塔接地电阻测量应采用三极法,测量方法应满足《杆塔工频接地电阻测量》DL/T887-2004 的要求。

(3) 对于 35 kV 及 110 kV 水泥杆线路,有避雷线的应采用外接引线并 T 接金属横担接地,无避雷线的从金属横担上引下;接地引下线应采用 GJ-25/35 钢绞线,至地面适当位置与 $\Phi 12$ 圆钢引下线以螺栓连接,并新增接地网装置。

2.3 安装线路避雷器

线路上装避雷器,当输电线路遭受雷击时,雷电流的分流将发生变化,一部分雷电流从避雷线传入相邻杆塔,一部分经塔体入地,当雷电流超过一定值后,避雷器动作加入分流。雷电流在流经避雷线和导线时,由于导线间的电磁感应作用,将分别在导线和避雷线上产生耦合分量。因避雷器的分流远远大于从避雷线中分流的雷电流,这种分流的耦合作用将使导线电位提高,使导线和塔顶之间的电位差小于绝缘子串的闪络电压,绝缘子不会发生闪络^[2,3]。

2.4 采用避雷针

在易发生雷击段的重雷区架空地线或者杆塔上安装避雷针(侧向避雷针、防绕击避雷针、可控放电避雷针),达到雷电流先通过避雷针再到架空地线将雷电流泄入大地。扩大了架空地线的保护范围并降低了导线直击的概率。

2.5 加强线路绝缘

加强线路绝缘可提高耐雷水平和直接降低建弧率,这对于确保线路畅通,从而提高线路安全运行的可靠性,保证降低线路跳闸率是有利的。对于个别高杆塔,在充分降低接地电阻前提下,再考虑由于高杆塔本身电感增大而使雷击杆塔顶电位升高的因素,适当增加绝缘进行补偿。设计规程规定,对有避雷线保护的线路,标杆塔高度超过 40 m,每超过 10 m 高度,应增加 1 片绝缘子;对无避雷线保护杆塔高度超过 40 m,若采用保护间隙或管型避雷保护的也应增加 1 片绝缘子。

2.6 安装雷电接闪器

在易发生雷击段的重雷区的杆塔上安装雷电接闪器,易达到主动引雷的作用,并将雷电流迅速泄入大地,有效降低线路雷击跳闸率。

3 采取的防雷措施

根据邻水供电局输电线路特点特采取以下防雷措施方案。

对整个输电线路接地网进行普测,对于不合格的进行接地网改造;接地电阻测量值的确定:测得的接地电阻值应根据土壤干燥及潮湿情况乘以季节系数后作为最终的接地电阻值。

杆塔防雷接地装置的季节系数如表 3 所示。

表 3 防雷接地装置季节系数

接地体埋深/m	水平埋设接地体	2~3 m 垂直埋设接地体
0.5	1.4~1.8	1.2~1.4
0.8~1.0	1.25~1.45	1.15~1.3
2.5~3.0	1.0~1.1	1.0~1.1

注:测量接地电阻时,如土壤干燥,则取表中较小值,如土壤较潮湿,则采用表中较大值。

不同土壤电阻率对输电线路杆塔接地电阻的要求见表 4。

表 4 不同电阻率对应的接地电阻

土壤电阻率/ $\Omega \cdot m$	≤ 100	100~500	500~1000	1000~2000	> 2000
接地电阻值/ Ω	10	15	20	25	30

对 35 kV 输电线路无架空地线段进行加设接地网并进行横担 T 接外引接地。对 220 kV、110 kV 重雷区安装防绕击避雷针和侧向避雷针。对 35 kV 重雷区安装线路避雷器和雷电接闪器。

对杆塔接地网进行改造时,35 kV 的新埋设接地网采用 $\Phi 12$ 号的圆钢进行敷设,敷设方式以风车状为主,110 kV、220 kV 不合格接地网采用 $\Phi 12$ 号的圆钢进行敷设,并将以前敷设的旧地网全部拆掉,以免旧地网对防雷起到屏蔽作用,影响防雷效果。水泥杆以风车状为主,铁塔将原有的两点接地变为四点接地,并从四条腿分别展开进行敷设。为了减少相邻接地体的屏蔽作用,水平接地体之间的接近距离不得小于 5 m。在山区段土壤电阻率较高的地方采用垂直打入接地角钢的方法加以补充接地圆条埋设方式的不足。利用 ZC-8 接地电阻测试仪测量土壤电阻率:测量

表 6 2011 年邻水供电局防雷措施实施情况

项目	水泥杆塔 接地外引 (基础)	线路避 雷器 /组	地线绕击 避雷针 /组	侧向 避雷针	220kV 杆塔 接地电阻 整治 /基	110kV 杆塔 接地电阻 整治 /基	雷电接 闪器 /只
次数	40	4	62	13	42	48	6

表 6 雷电计数器动作次数记录簿

检查 日期	安装地点		雷电接闪 器动作次数	线路避雷器 动作次数	情况分析
	线路名称	杆号			
20110808	35 kV 邻合线	34	5	——	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 邻合线	47	2	——	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 邻合线	54	8	——	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 邻合线	64	3	——	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	21	7	——	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	25	4	——	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	09	——	L1 相 8 次 L2 相 6 次 L3 相 12 次	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	16	——	L1 相 4 次 L2 相 7 次 L3 相 3 次	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 合坛线	14	——	L1 相 15 次 L2 相 9 次 L3 相 13 次	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 合坛线	32	——	L1 相 10 次 L2 相 7 次 L3 相 7 次	动作正常、起到避雷作用

时用三根棒呈一直线插入土壤中,它们之间的距离都相等,棒插入土壤的深度不应小于 $a/20$ 。把仪器放平、调零、使指针指在 0 的位置,用手以 120 r/min 的速度摇动手柄发电机,待指针稳定后读出 R 值,则土壤电阻率为: $\rho = 2\pi aR$ 的乘积。

式中 ρ 为土壤电阻率($\Omega \cdot m$); a 为棒与棒之间的距离(m); π : 圆周率,等于 3.141 6; R 为接地电阻测试仪的读数(Ω)。

根据土壤电阻率、接地电阻测试数据、季节系数来确定接地电阻是否合格。通过实施接地外引、换土、采用垂直接地体等综合措施,经过改造后的线路地网接地电阻均在 10 Ω 以下。2011 年邻水供电局防雷措施情况见表 5。

通过 2011 年对整个邻水电网输电线路接地网进行综合整治、综合分析雷击情况和采取综合防雷措施后,2011 年 2 月至 9 月为止整个邻水电网还未发生任何跳闸事故,有效的降低雷害事故,提升电网安全运行水平。表 6 为雷电计数器动作次数。

4 结 语

线路防雷工作是线路工作的重中之重,生产运行单位应结合线路的重要程度、地形地貌的特点、雷电活动的强弱、土壤电阻率的高低、已有的运行经验等,综合分析并举行技术经济比较后,采取合适的防雷措施。通过采取相应的、合理的防雷措施后,可以减少雷击机会,提高线路耐雷水平,降低线路跳闸次数,确保线路通畅,从而提高线路安全运行的可靠性,保证线路连续供电。

参考文献

- [1] 李光辉,高虹亮. 架空输电线路运行与检修[M]. 北京: 中国三峡出版社, 2000.
- [2] 胡毅. 输电线路运行故障分析与防治[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [3] 王清葵. 送电线路运行和检修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

(收稿日期:2011-09-15)

考虑电压暂降波形起始点 特征的交流接触器暂降敏感度分析

董 瑶

(四川省电力公司遂宁公司 四川 遂宁 629000)

摘 要:在提出电压暂降作用下,考虑暂降电压波形起始点特征的交流接触器建模方法,用PSCAD/EMTDC仿真程序分析电压暂降过程中,暂降波形起始点对交流接触器响应特征的影响和接触器的电压暂降穿越能力。用交流接触器暂降穿越能力曲线识别交流接触器故障区域内的敏感度水平,利用建立的仿真模型对不同波形起始点特征的电压暂降进行了仿真,仿真结果证明提出的方法的正确性,对于准确评估电压暂降作用下的交流接触器的响应特性具有一定指导意义。

关键词:电压暂降; 敏感度; 交流接触器; 穿越能力; 仿真建模

Abstract: The modeling method of AC contactor considering starting point features of voltage sag waveform is presented. The influence of starting point of voltage sag waveform on response characteristics of AC contactor and its ride-through capability during voltage sag are analyzed with PSCAD/EMTDC simulation software. The ride-through capability curve is used to identify the sensitivity level in the fault area of AC contactor. The simulation for voltage sag of starting point features of various waveforms is carried out by the established simulation model. The simulation results are also validated with the ride-through capability curve of the experimental results.

Key words: voltage sag; sensitivity; AC contactor; ride-through capability; simulation modeling

中图分类号:TM 714.2 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2011)06-0075-03

0 引 言

随着电力负荷结构的改变,大量交流接触器在工业用户中得到应用,该设备对电压暂降非常敏感,已引起了学术界和工业界的广泛重视,研究广泛应用的交流接触器对电压暂降的响应特性已成为国内外电能质量领域的重要课题之一。交流接触器作为一种机电设备,主要用于工业生产过程中,如电动机、加热器,主要用以连通或切断电路,以达到控制工业设备的目的。交流接触器是对电能质量扰动最敏感的设备之一,尤其对发生频繁的电压暂降很敏感。当交流接触器经受电压暂降影响时,工业过程控制系统可能被中断,并可能造成巨大损失。因此,分析和研究暂降作用下的交流接触器的特性,对于预测和评估电压暂降可能导致的影响和损失具有重要意义。在电压暂降过程中,影响交流接触器运行特性或响应特性的因素不仅包括常用电压暂降幅值和持续时间特征,暂降波形起始点(point-on-wave)特征的影响

更突出。虽然现有文献中已对电压暂降引起很多特性进行了研究,对交流接触器的响应特性也进行一些调查和测试,但专门针对暂降波形起始点特征对交流接触器的影响的研究还很少。因此,研究电压暂降作用下,考虑暂降波形起始点特征的交流接触器建模和响应特性分析方法具有重要理论价值和工程意义。

在IEEE标准Std. 1346-1998中,提出了电压暂降的波形起始点特征和相位跳变等特征,但是,提出的这些特征并非针对低压电器设备,而当发生较严重的电压暂降时,暂降幅值、暂降持续时间、暂降波形起始点和相位跳变等特征对交流接触器均有很大影响,单纯考虑幅值和持续时间很难准确反映交流接触器的电压暂降响应特性。当交流接触器被用于电动机投切时,这种情况在工业生产中应用非常广泛,对电动机启动时,电压暂降的不同特征对不同接触器的影响进行了测试,发现,当发生较严重(暂降幅值较小,这里采用的IEEE标准中定义的暂降幅值概念,为电压暂降时的剩余电压有效值),接触器对暂降的波形起始点特征更加敏感。对于持续时间较短的电压暂

降波形点特征为900时的敏感度曲线受的影响最严重,波形点在00的敏感度曲线受的影响最小,也就是说,电压暂降波形点分别为900和00时交流接触器的电压暂降穿越能力分别为最差和最好。大量的研究集中于大型电动机起动时不同的暂降特征的测试和调查,很少有文献针对交流接触器在馈电状态下的建模和有效提升接触器暂降穿越能力的改善方面。

利用通用的PSCAD/EMTDC电磁暂态仿真软件,针对电压暂降的波形起始点特征对交流接触器的影响进行深入研究,提出了接触器建模方法,并进行了实际仿真,证明了提出的建模方法的正确性,为改进交流接触器的电压暂降穿越能力提供了重要依据和分析方法,有一定应用价值。

1 交流接触器模型及算法

为了分析交流接触器的特性,仿真不同的响应特性,就必须建立交流接触器的数学模型。在交流接触器模型的机电系统中,电枢与结构之间的吸附力可用式(1)刻画。

$$F \frac{\partial W}{\partial x} = -\frac{1}{2} \varphi^2 \frac{\partial R}{\partial x} \quad (1)$$

式中, W 为磁场能; φ 为接触器的瞬时磁通; R 为总的磁阻; x 是气隙距离(m)。

用通用PSCAD/EMTDC仿真软件建立电压暂降发生器和交流接触器模型,用不同暂降幅值、持续时间和波形点特征进行仿真。仿真时,电压暂降特征受暂降发生器参数控制,这些参数包括电压源、标称电压的百分比、产生暂降的时间、暂降持续时间和暂降控制器的波形点等。

暂降发生器给交流接触器提供电流的仿真电路如图1,电压暂降设置为幅值为标称电压的40%,在0.1s处发生,持续时间为0.1s,发生暂降时的波形起始点位置为900,见图2(a),相应的接触器线圈电流有效值的变化如图2(b)。

交流接触器电气状态和电流信号如图3,可见,在图3(b)中开关闭合提供电流时,接触器的状态为0,相反,接触器断开时的状态为,此时的输出电流为0,接触器脱开。当接触器脱开时,即使电压暂降回复到正常电压值,接触器仍然保持不充电状态,只有通过手段方式,接触器才能动作。因此,可以得到一个结论,即:在电压暂降条件下,由于接触器模型的电气

触头断开,接触器不会动作。

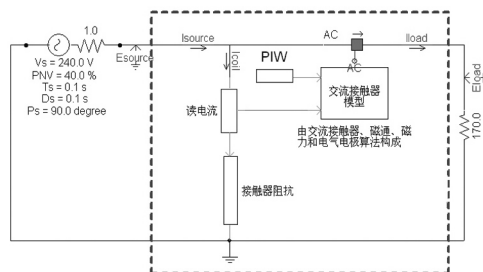


图1 交流接触器在PSCAD/EMTDC中的仿真电路

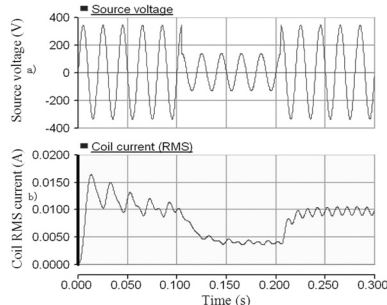


图2 交流接触器的电源电压和线圈电流

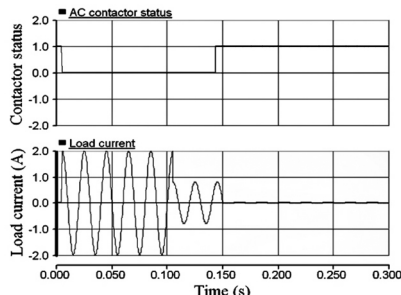


图3 交流接触器状态与电流信号

2 结果与讨论

通过使用提出的仿真模型验证了交流接触器的对电压暂降的敏感度和动态特性,用PSCAD/EMTDC软件建立了交流接触器的电压暂降穿越能力以及敏感度仿真模型。根据建立的交流接触器电压暂降敏感度仿真模型的仿真结果得到了典型电压耐受曲线,如图4,曲线的上部区域为正常运行区域,下面部分为不可接受区域,即接触器的故障区域。引入接触器的电压耐受曲线来描述交流接触器的特性和对电压暂降波形起始点特征的响应特性。图4中分别给出了暂降波形起始点分别为00、300、600和900时交流接触器的响应特性。这些曲线说明了交流接触器对暂降幅值、持续时间等暂降特征的响应特性,接触器的电压暂降穿越能力曲线在暂降幅值-持续时间平面上被分为两个区域,即正常运行区域和故障区域。例如:当波形起始点为900时,57.5%的暂降幅值下接

触器正常运行,暂降幅值低于该值时接触器故障,注意,暂降发生瞬间决定暂降持续时间,近似为1/8周。当波形起始点在00时,接触器能耐受幅值为42.5%、储蓄时间3周的暂降。类似地,在波形起始点为300和600时,暂降幅值分别低于55%和53%,持续时间为2周时,交流接触器分别开始故障。

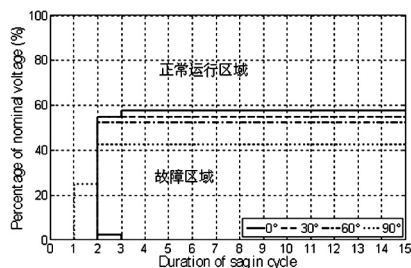


图4 波形起始点分别为00 300 600 和900
时仿真得到的电压耐受曲线

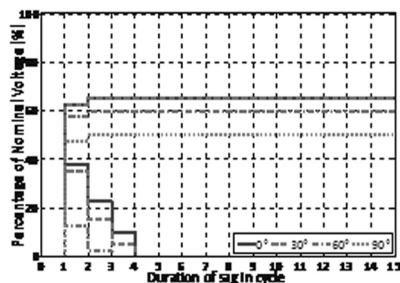


图5 波形点为00 300 600 和900 的试验电压耐受曲线

将仿真得到的穿越能力曲线与试验结果进行比较如图5,结果证明,在PSCAD/EMTDC中建立的交流接触器模型正确,从比较结果中可以发现,根据仿真结果得到的交流接触器暂降穿越能力曲线与试验得到的结果非常吻合。交流接触器的敏感度可以通过更高波形起始点、更高暂降剩余电压和更短的持续时间下的穿越能力曲线得到更好的评估,因此,可以发现,暂降的波形起始点是影响接触器敏感度的主要特征。

3 结 论

提出了评估电压暂降敏感度的交流接触器仿真模型,仿真结果证明了交流接触器在电压暂降过程中的电压敏感度特性,证明该特性主要受暂降波形起始点特征的影响,交流接触器的敏感度水平可用其电压耐受曲线来表示,并可用该曲线预测接触器的运行特性和故障区域。根据仿真得到的交流接触器的电压耐受曲线,可以得到一个结论,即波形起始点对应的角度越大交流接触器的暂降穿越能力越强。

参考文献

[1] Bansidhar E. K., Ashok A. G. (2007). Investigation of

Cost Effective Method to Improve Voltage Sag Ride - Through Capability of Ac Coil Contactors, Proc. of IET - UK Int. Conf. on Information and Communication Technology in Electrical Sciences (ICTES 2007): 452 - 457.

[2] Chi, C. T., Yin, S. A. (2008). Stability Evaluation of an Electromagnetic Contactor during Voltage Sag, Proc. of 10th Int. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision: 571 - 575.

[3] Collins, E. R. Jr, Bridgwood, M. A. (1997). The Impact of Power System Disturbances on AC - Coil Contactors, Proc. of IEEE Textile, Fiber and Film Industry Technical Conference: 1 - 6.

[4] Collins, E. R. Jr, Zapardiel, F. (1997). An Experimental Assessment of AC Contactor Behavior during Voltage Sags, Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2: 439 - 444.

[5] Djokic, S., Milanovic, J. V. (2005). Sensitivity of Electrical Equipment to Voltage Sags and Short Interruption Recommendation for Testing, Electrical Power Quality and Utilisation, 11: 17 - 32.

[6] Djokic, S. Z., Milanovic, J. V. (2006). Advanced Voltage Sag Characterisation. Part I: Phase Shift, Proc. of IEEE Generation Transmission Distribution, 153: 423 - 430.

[7] Gomez, J. C., Morcos, M. M. (2007). Contactor Immunity Related to Voltage Sag, 19th Int. Conf. on Electricity Distribution, 167: 1 - 4.

[8] IEEE STD 1346 - 1998, IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment, Institute of Electrical and Electronics Engineers / 01 - May - 1998 / 44 pages, ISBN: 0738101842.

[9] McGranaghan, M., Mueller, D., Samoty, M. (1993). Voltage Sags in Industrial Systems, IEEE Transactions on Industry Application, 29: 397 - 403.

[10] Pedra, J., Corcoles, F., Sainz, L. (2002). Study of AC Contactor during Voltage Sag, Proc. of the Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power, 2: 565 - 570.

[11] Shareef, H., Mohamed, A., Marzuki, N. (2009). Analysis of Personal Computer Ride - Through Capability during Voltage Sags, Electric Power Systems Research, 79.

[12] Wada, M., Yoshimoto, H., Kitaide, Y. (2002). Dynamic Analysis and Simulation of Electromagnetic Contactors with AC Solenoids, Industrial Electronics Society, Proc. of I.

(收稿日期:2011 - 11 - 30)

浅谈断路器控制回路中的“防跳”

罗小渝

(四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072)

摘要: 断路器作为变电站中重要的电气设备之一,其运行的稳定性和可靠性至关重要,“防跳”回路就是断路器控制回路中的一个重要保护回路。目前随着电力系统产业的高速发展,断路器的防跳回路设计在不断改进和完善,作为二次安装和调试人员,必须与时俱进,深入理解并领会防跳回路的关键之处,才能保证二次接线和调试的准确性。

关键词: 断路器; 控制回路; 防跳回路

Abstract: As one of the important electrical equipment in the substation, the stability and reliability of circuit breaker are very important, and anti-jumping circuit is an important protection circuit in control circuits of circuit breaker. With the current rapid development of power system industry, the design of anti-jumping circuit of circuit breaker always keeps the continuous improvement and perfection. The secondary erection and commissioning staff should always thoroughly understand and appreciate the key points of anti-jumping circuit to ensure the accuracy of small wiring and commissioning.

Key words: circuit breaker; control circuit; anti-jumping circuit

中图分类号: TM732 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)06-0078-03

0 引言

防跳是防止“开关跳跃”的简称。所谓跳跃是指由于合闸回路手合或遥合时由于接点粘连等原因,造成合闸输出端一直带有合闸电压。当开关因故障跳开后,会马上又合上,保护动作开关会再次跳开,因为一直加有合闸电压,开关又会再次合上。所以对此现象,通俗的称为“开关跳跃”。一旦发生开关跳跃,会导致开关损坏,严重的还会造成开关爆炸,所以防跳功能是断路器控制回路里一个必不可少的部分。目前,在电力系统断路器的控制回路中防跳设置有两种方式:一种是在断路器的操作机构内设置防跳继电器构成防跳回路,还有一种是在保护屏柜的操作箱内设置防跳继电器并构成防跳回路。在生产实际中,根据不同厂家产品的特点进行配置和选择有三种方式,一种为只采用保护防跳,一种为只采用机构防跳,还有另一种为远方操作采用保护防跳,就地操作采用机构防跳。这就在应用中对设计和现场施工调试人员提出了较高的要求,倘若使用不当将会出现问题。

以500 kV 龙王山变电站的220 kV 线路为例,研究分析两种防跳回路的工作原理,进而探讨防跳回路配合使用可能产生的问题以及在生产应用中应当注

意的问题。

1 断路器本体机构防跳和保护操作箱防跳工作原理分析

1.1 保护防跳的接线及防跳过程

500 kV 龙王山变电站220 kV 线路保护操作箱防跳接线如图1所示。

保护操作箱防跳回路工作原理分析如下。

- 1) 防跳继电器为TBJ1和TBJ2以及TBJV。
- 2) 断路器跳闸1或者跳闸2回路一旦接通,则TBJ1或TBJ2继电器励磁,并由形成自保持,其常开辅助接点TBJ1或TBJ2闭合。
- 3) 此时,如果合闸接点粘死不返回,则继电器TBJV将励磁,并由其常开辅助接点形成自保持,其常闭辅助接点TBJV打开,切断合闸回路,这样就避免了保护跳闸而发生的“开关跳跃”现象。

1.2 断路器本体机构防跳的接线及防跳过程

500 kV 龙王山变电站220 kV 线路断路器本体机构防跳接线如图2所示。

断路器本体机构防跳回路工作原理分析如下。

- 1) 在断路器合闸线圈旁并接一个防跳继电器K01。
- 2) 当断路器合闸时,断路器辅助接点S01闭合,

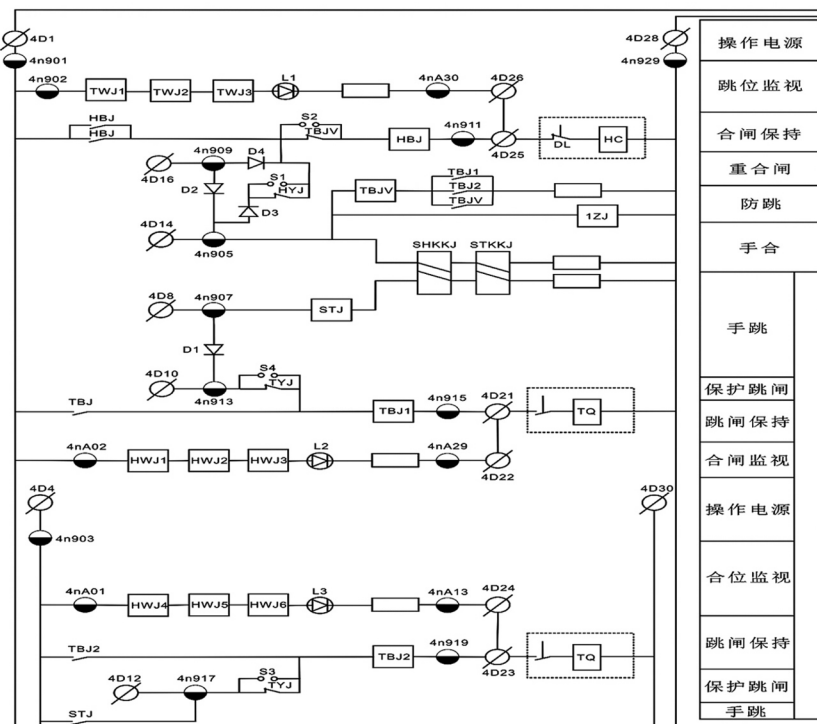


图 1 保护操作箱控制回路图

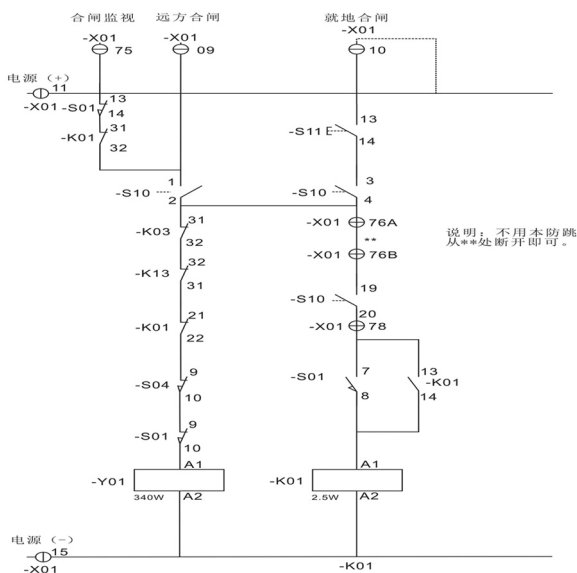


图 2 断路器机构箱控制回路图

继电器 K01 励磁, 其常开接点 K01 闭合形成自保持。

3) 此时, 即使发生合闸按钮粘死现象, 常闭接点 K01 也已经切断了断路器合闸回路, 断路器不会因故障跳闸产生“跳跃”现象。

以上两图均取自 500 kV 龙王山变电站扩建工程 220 kV 保护和 220 kV 断路器的厂家回路图, 不妨仔细审视两图就可发现, 无论是保护厂家, 还是断路器厂家在进行产品设计时, 都对产品进行了优化和完善。在图 1 中合闸回路中的防跳继电器 TBJV 常闭接点同时并接 S2 端子以供用户选择, 当用户不需要使

用操作箱防跳时, 只需将 S2 端子短接即可。而在图 2 中, 断路器厂家设置了远方/就地切换开关的位置接点分别接于合闸回路和防跳回路中, 这样当断路器在就地操作时, 将只使用机构箱防跳, 而在远方操作时只使用保护操作箱防跳, 从而使两套防跳回路独立地发挥作用。

2 两套防跳分析比较及配合使用中可能遇到的问题

2.1 两套防跳的分析比较

无论是断路器机构箱防跳还是保护操作箱防跳, 其表面的工作机理都是一致的, 即使防跳继电器带电后启动常闭接点去断开合闸回路, 使合闸脉冲无法通过合闸回路。但是起初使用两套防跳的原因和目的却并不一样。

保护操作箱防跳针对的是当开关合于故障上时 (例如线路有接地故障时), 继电保护动作使开关跳开, 如果此时合闸脉冲还未解除, 开关反复分合闸将会使得电气元件多次受大电流冲击而扩大故障。

断路器机构箱防跳针对的是当开关机构有问题 (如机构脱扣位置偏移, 开关偷跳), 开关合闸网路未解除, 如果此时开关合闸脉冲仍存在, 开关反复分合闸, 触头将会承受连续的合闸冲击, 从而损坏设备。

正因为如此, 很多保护厂家和断路器厂家都在控

制回路中设置了防跳回路。一般而言,保护防跳是电流启动、电压保持的“串联防跳”,而机构防跳则是电压启动和保持的“并联防跳”。在实际工作中,根据不同要求单独使用某一套防跳或者两套防跳同时启用的情况均有发生。

2.2 两套防跳配合使用时可能遇到的问题

因为保护操作箱的防跳和断路器机构箱的防跳基于各自目的的考虑,在同时启用两套时往往会在使用的衔接上产生问题。

以图1为例,在断路器合闸回路中有一个跳位监视回路,由图1可以看出,如果断路器在分闸位置,那么正常情况下断路器机构内的合闸回路导通,在保护屏柜上设有跳位监视灯,对断路器的合闸回路的完好性起着监视的作用。如果机构防跳回路直接和跳位监视回路接通,中间没有断开点,那么当断路器合闸后由于防跳继电器K01有自保持,将会导致跳位继电器K01不返回使得机构防跳一直作用,出现只能合闸一次,无法再次合闸的问题。

笔者在220 kV镇江下蜀变电站二次施工时就遇到过此类问题,由于断路器机构防跳回路直接使用在远方合闸回路中,当跳位监视回路(TWJ)和机构防跳器参数不匹配时,TWJ的阻抗分压使得机构防跳继电器达不到动作电压,从而发生了断路器只能合闸一次的问题。

为了解决这一问题,经过征求设计及使用单位的意见,取消了机构箱内的防跳,仅仅使用操作箱内的防跳,结果开关可以正常分合闸。

在500 kV龙王山变电站扩建工程中,断路器厂

家对其产品的防跳回路进行了改进,使得断路器控制回路中的两套防跳都可独立使用,也增加了产品的灵活性,图2中只要解除跳线即可取消就地防跳。从而可以满足用户的不同防跳组合需要。

3 结 论

防止断路器跳跃对保障电力系统的安全运行,防止设备损坏和事故扩大有着重要的意义,因此防跳回路动作的正确可靠性必须得到保证。在不同的变电站采用的防跳往往是不一致的,在具体工作中单独使用某一套防跳或者两套防跳同时使用均曾经采用过,而且不同的断路器机构和保护操作箱其二次回路往往不同。因此,作为二次安装和调试人员,必须在工作中不断学习、总结、提高,具体问题具体分析,以保证断路器的正确动作,以此来正确实现设计和使用者的意图。

参考文献

- [1] 许正亚. 电力系统自动装置[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [2] 熊为群, 陈继森. 电力系统继电保护[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1996.
- [3] 王铁成, 刘波. 断路器防跳回路的典型接线及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(1): 69-70.
- [4] 郑立新, 王聪. 断路器防跳功能缺陷及处理[J]. 电气传动自动化, 2005, 27(2): 59-60.

(收稿日期: 2011-05-04)

(上接第45页)

- [4] 徐志钮, 律方成, 李和明. 存在脉冲噪声情况下的介损角算法[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(2): 45-48.
- [5] G. X. Zhang. Time-frequency Atom Decomposition with Quantum-inspired Evolutionary Algorithms[J]. Circuits, Systems and Signal Processing, 2010(29): 209-233.
- [6] 李明, 张葛祥, 王晓茹. 时频原子方法在谐波分析中的应用[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 81-85.
- [7] Chen S, Donoho D, Saunders M. Atomic Decomposition by Basis Pursuit[J]. SIAM J Sci Comput, 1999(20): 33-61.
- [8] Tropp J. Greed is Good: Algorithmic Results for Sparse Approximation[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50(10): 2231-2242.
- [9] WRIGHT, YANG, GANESH, etc. Robust Face Recognition

- via Sparse Representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(2): 210-227.
- [10] 贾清泉, 于连富, 董海艳, 等. 应用原子分解的电能质量扰动信号特征提取方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24): 61-65.

作者简介:

唐承志(1986)男, 硕士研究生, 研究方向为电气系统控制, 信号处理;

代云华(1986)女, 硕士研究生, 研究方向为信号处理;

何国军(1986)男, 硕士研究生, 研究方向为智能信号处理, 电力系统自动化。

(收稿日期: 2011-08-28)

一台 600 MW 发电机组厂用电率异常的分析与思考

赵玉富¹ 李 静² 赵玉才³ 杨乃贵¹

(1. 河南省电力公司计量中心 河南 郑州 450046; 2. 河南焦作供电公司市场营销部 河南 焦作 454100;
3. 河南恩湃电力技术有限公司 河南 郑州 450016)

摘 要:某火力发电厂的一台 600 MW 发电机组运行三个月后发现其厂用电率和同厂另一台 600 MW 发电机组相比偏高,通过分析该发电机组厂用电率所涉及到的各个电能计量装置计量电能的综合误差和机组出力情况以及厂用电运行方式,提出了可能导致该发电机组厂用电率偏高的原因和今后运行中的对策。

关键词:发电机组;厂用电率;分析;思考

Abstract: The auxiliary power rate of a 600 MW generating unit is higher than that of another 600 MW generating unit after its operation for three months in a coal-fired power plant. By analyzing the integrated errors of every electric energy metering device, the output of the unit and the operating mode of auxiliary power, the reasons to cause the higher auxiliary power rate of the generating unit are put forward, and the countermeasures for the future operation are given.

Key words: generating unit; auxiliary power rate; analysis; consideration

中图分类号:TM621.7;TM933.4 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0081-04

0 引 言

厂用电率是火力发电厂的最重要的技术指标之一,它与电厂运行经济效益直接相关,而 600 MW 发电机组厂用电率的高低又是判别火电厂是否具有先进性的一项重要指标。厂用电率是指厂用电源的消耗量占同一时期对应机组全部发电量的百分数,而这部分厂用电源的消耗量要除去非生产用电(如宿舍、办公室、食堂、道路照明、辅助公司用电等)^[1-4]。

该火力发电厂 2 号机组投运三个月之后,实测厂用电率比 1 号机组偏高了 0.5% 达到了 5.8%,在国内同类型的机组中也是偏高的。厂用电率是考核火力发电厂是否先进性的重要指标,而且与电厂的运行经济效益直接相关。因此首先对该机组厂用电率涉及到的发电机出口电能计量装置和该机组厂用变压器高压侧电能计量装置实际运行的电能计量综合误差进行分析;又对厂用电主要辅机设备如送风机、吸风机、磨煤机、排粉机、凝结水泵、循环水泵等运行情况 and 运行方式以及发电机出力情况进行了分析。这些因素和机组的厂用电率密切相关,合理地调整和控制这些因素能有效地控制机组厂用电率至合理的范围之内。

1 电能计量综合误差分析

该机组实际运行中厂用电配电段中带有非生产用电的备用变压器,这部分备用变压器并未投入运行,因此该机组的厂用电率可以用厂用变压器高压侧计量的电量除以该机组发电机出口同时期计量的电量。那么厂用变压器高压侧电能计量装置和发电厂出口电能计量装置实际运行的综合误差对厂用电率有重要的影响。

综合误差是考核电能计量装置综合计量性能的重要指标,实际运行中的综合误差是对电量计量准确性的一个重要技术参数。电能计量装置的综合误差是下述几项误差的代数和:电流互感器的合成误差、电压互感器的合成误差、电压互感器二次压降引起的计量误差以及电能表的误差^[5-7]。用式(1)表示为

$$\gamma_a = \gamma_{ca} + \gamma_{pa} + \gamma_{da} + \gamma_{ba} (\%) \quad (1)$$

式中 γ_a 为电能计量装置计量电能的综合误差(%) ; γ_{ca} 为电流互感器的合成误差(%) ; γ_{pa} 为电压互感器的合成误差(%) ; γ_{da} 为电压互感器二次压降引起的计量误差(%) ; γ_{ba} 为电能表的误差(%) 。

式(1)中电能表的误差和电压互感器二次回路压降引起的计量误差都可以用校验仪实测出来,电流

互感器和电压互感器实际运行的综合误差是无法用仪器测出来的,只能根据投运之前测试的误差数据和运行中实际二次负荷参数推算。

发电机出口和厂用变压器高压侧的电能量方式都是采用三相三线,首先得根据相电压互感器误差由式(2)~式(5)算出线电压误差,由线电压误差根据式(6)算出电压互感器综合误差 γ_{pa} 。电流互感器的综合误差由式(7)算出^[6]。

$$f_{uv} = \frac{f_u + f_v}{2} + 0.0084(\delta_u - \delta_v)(\%) \quad (2)$$

$$f_{wv} = \frac{f_w + f_v}{2} + 0.0084(\delta_v - \delta_w)(\%) \quad (3)$$

$$\delta_{uv} = \frac{\delta_v + \delta_u}{2} + 9.924(f_v - f_u)(\%) \quad (4)$$

$$\delta_{wv} = \frac{\delta_v + \delta_w}{2} + 9.924(f_v - f_w)(\%) \quad (5)$$

$$\gamma_{pa} = \frac{f_{uv} + f_{wv}}{2} + \frac{\delta_{wv} - \delta_{uv}}{119} + \left(\frac{f_{wv} - f_{uv}}{3.46} - \frac{\delta_{wv} + \delta_{uv}}{68.8} \right) \times \tan\varphi(\%) \quad (6)$$

$$\gamma_{ca} = \frac{f_w + f_v}{2} - \frac{\delta_v - \delta_w}{119} + \left(\frac{f_v - f_w}{3.46} + \frac{\delta_w + \delta_v}{68.8} \right) \times \tan\varphi(\%) \quad (7)$$

式中的 $\tan\varphi$ 是系统功率因数角的正切值。由系统当时的运行情况决定,由于电流互感器和电压互感器的误差值都是在互感器停运情况下测得的基本误差值,电流互感器实际运行中误差值跟其二次负荷和一次电流大小有关,而电压互感器实际二次负荷和实际二次电流有关,其二次负荷功率因数对其误差的影响不大,因此电流互感器实际运行误差可根据一次电流大小来确定。电压互感器实际运行误差根据测得二次负荷参数由式(8)和式(9)计算出来。

$$f = \left\{ \left(\frac{4}{3}f_{\frac{1}{4}} - \frac{1}{3}f_N \right) - \frac{4}{3} \frac{I_X}{I_N} [(f_{\frac{1}{4}} - f_N) \cdot \cos(\varphi - \varphi_N) + 0.0291(\delta_{\frac{1}{4}} - \delta_N) \cdot \sin(\varphi - \varphi_N)] \right\}(\%) \quad (8)$$

$$\delta = \left\{ \left(\frac{4}{3}\delta_{\frac{1}{4}} - \frac{1}{3}\delta_N \right) + \frac{4}{3} \frac{I_X}{I_N} \times [34.38(f_{\frac{1}{4}} - f_N) \cdot \sin(\varphi - \varphi_N) - (\delta_{\frac{1}{4}} - \delta_N) \cdot \cos(\varphi - \varphi_N)] \right\}(\%) \quad (9)$$

式中 $f_{\frac{1}{4}}、\delta_{\frac{1}{4}}$ 是电压互感器在1/4额定二次负荷的比值差和相位差; $f_N、\delta_N$ 是电压互感器在额定二次负荷的比值差和相位差; $I_X、\varphi$ 是实际二次负荷的电流和功率因数角; $I_N、\varphi_N$ 是额定二次负荷的电流和功率因数角。

1.1 发电机出口电能计量综合误差

发电机出口电压互感器和电流互感器在投运之前按照国家检定规程作了检定,额定一次电压或额定一次电流下的误差数据如表1、表2,实际运行中测得的电压互感器二次回路实际负荷和电流互感器二次回路实际负荷如表3、表4所示。

表1 发电机出口电压互感器误差

相别	误差	100% U_N	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f / \%$	-0.061	50
	$\delta / (^\circ)$	-2.9	
	$f / \%$	0.077	12.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.2	
V	$f / \%$	-0.055	50
	$\delta / (^\circ)$	-3.1	
	$f / \%$	0.069	12.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.2	
W	$f / \%$	-0.061	50
	$\delta / (^\circ)$	-2.8	
	$f / \%$	0.071	12.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.2	

表2 发电厂出口电流互感器误差

相别	误差	100% U_N	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f / \%$	-0.086	50
	$\delta / (^\circ)$	-0.28	
	$f / \%$	-0.031	12.5
	$\delta / (^\circ)$	2.44	
V	$f / \%$	-0.079	50
	$\delta / (^\circ)$	-0.304	
	$f / \%$	-0.033	12.5
	$\delta / (^\circ)$	0.25	
W	$f / \%$	-0.090	50
	$\delta / (^\circ)$	-0.47	
	$f / \%$	-0.045	12.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.04	

表3 发电厂出口电压互感器二次回路负荷

相	G /mS	B /mS	S /VA	$\cos\varphi$ /%
U	0.54	-0.21	1.92	0.93
V	0.64	-0.17	2.19	0.97
W	0.55	-0.30	2.09	0.88

表 4 发电厂出口电流互感器二次回路负荷

相别	电阻 R / Ω	电抗 X / Ω	S /VA	$\cos\varphi$ /%
U	0.992	0.528	27.97	0.88
V	0.672	0.008	16.69	1.00
W	0.668	0.058	16.73	1.00

用校验仪实测的发电厂出口电能表的误差 $\gamma_{ba} = -0.088\%$,电压互感器二次回路压降引起的电能计量综合误差 $\gamma_{da} = -0.064\%$ 。由表 1 和表 3 中的参数根据式 (8) 和式 (9) 计算电压互感器实际二次负荷下各相的比值差和相位差 ,由得到的相电压比值差和相位差根据式 (2) 、(3) 、(4) 、(5) 计算出线电压的比值差和相位差 ,再由式 (6) 算出电压互感器实际综合误差 $\gamma_{pa} = 0.034\%$ 。该机组运行 3 个月的平均负荷接近 500 MW 和该电厂 1 号机组出力差不多 ,一次电流平均为额定一次电流的 84% ,根据表 4 的数据 ,基本可以采用表 2 中下限负荷的误差值作为电流互感器实际运行误差 ,由式 (7) 算出电流互感器的综合误差 $\gamma_{ca} = -0.057\%$ 。因此发电机出口电能计量综合误差由式 (1) 得到 $\gamma_f = -0.209\%$ 。

1.2 变压器高压侧电能计量综合误差分析

厂用变压器高压侧电压互感器和电流互感器误差检定试验数据如表 5、表 6 所示 ,电压互感器和电流互感器二次回路实际负荷数据如表 7、表 8 所示。

用校验仪实测厂用变压器高压侧的电能表误差 $\gamma_{ba} = 0.066\%$,电压互感器二次回路压降引起的电能计量综合误差 $\gamma_{da} = -0.036\%$ 。按照发电机出口电压互感器和电流互感器综合误差分析的方法得到 $\gamma_{pa} = 0.104\%$, $\gamma_{ca} = -0.046\%$ 。因此厂用变压器高压侧电能计量综合误差 $\gamma_c = 0.098\%$ 。

表 5 电压互感器误差

相别	误差	$100\% U_N$	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f / \%$	-0.033	30
	$\delta / (^\circ)$	2.1	
	$f / \%$	0.122	7.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.4	
V	$f / \%$	-0.025	30
	$\delta / (^\circ)$	3.1	
	$f / \%$	0.124	7.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.5	
W	$f / \%$	-0.031	30
	$\delta / (^\circ)$	-2.8	
	$f / \%$	0.116	7.5
	$\delta / (^\circ)$	-0.4	

表 6 电流互感器误差

相别	误差	$50\% I_N$	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f / \%$	-0.086	40
	$\delta / (^\circ)$	0.8	
	$f / \%$	-0.001	10
	$\delta / (^\circ)$	2.8	
V	$f / \%$	-0.079	40
	$\delta / (^\circ)$	0.4	
	$f / \%$	-0.003	10
	$\delta / (^\circ)$	2.5	
W	$f / \%$	0.090	40
	$\delta / (^\circ)$	0.7	
	$f / \%$	-0.026	10
	$\delta / (^\circ)$	2.9	

表 7 电压互感器二次回路负荷

相	G /mS	B /mS	S /VA	$\cos\varphi$ /%
U	2.54	-1.16	9.33	0.91
V	3.41	-2.21	13.57	0.84
W	2.01	-2.22	9.92	0.67

表 8 电流互感器二次回路负荷

相别	电阻 R / Ω	电抗 X / Ω	S /VA	$\cos\varphi$ /%
U	1.030	0.040	27.39	1.00
V	1.069	0.055	26.54	1.00
W	1.050	0.060	25.52	1.00

从上面发电厂出口电能计量综合误差和厂用变压器高压侧电能计量综合误差分析可看出 ,由于二者实际运行的综合误差导致厂用电率偏高 0.307% ,所以该厂 2 号机组比较真实的厂用电率在 5.493% 左右。

2 厂用辅机运行分析^[2 4]

考虑厂用电率所涉及到的发电厂出口电能计量综合误差和厂用变压器高压侧电能计量综合误差因素之外 ,该机组比 1 号机组的厂用电率还高 0.193% ,这对电厂的运行经济效益有着直观的影响。

锅炉制粉系统及设备的运行效率对机组的厂用电率有较大的影响 ,该机组采用的中速磨煤机两侧布置 ,单侧三台磨煤机 ,能满足锅炉负荷的情况下尽量少运行制粉系统电机设备。烟风系统的风机流量裕量及压头裕量的选择和调节对烟风系统厂用电有一定的影响。煤质中的发热值、水分及其他元素对机组的厂用电率也有一定的影响 ,因此 ,尽可能地选择适

合机组锅炉的煤质对降低厂用电率有一定促进作用。

循环水系统尽量选用共用系统,这样能用尽可能少的循环水泵来满足机组运行时循环水系统需要。把一些电动泵改成汽动泵或者把电动机采用变频节能技术,这样能进一步降低厂用电量从而提高发电机组效率。

3 结 语

600 MW 火力发电机组是目前发电行业的主力机组,其运行性能的先进与否关系到整个发电行业的经济性,也影响到国民经济的节能减排工作。科学合理地设计厂用辅机的容量和布置方式,推广应用变频节能技术,尽量选购适合锅炉的煤质,降低厂用电率从而提高发电机组的运行经济性。

参考文献

- [1] 龙辉. 影响 600 MW 机组厂用电率主要因素分析[C]. 2005 年吉林省电机工程学会学术年会.
- [2] 吴文杰, 孙术文, 郑兵. 国产 600 MW 超临界机组厂用电

(上接第 55 页)

且能实现粗略定位功能。对多台变压器不同局部放电量下在线和离线对比分析表明该方法具有较高的灵敏度。对比分析如表 2 所示。

表 2 不同局部放电量下监测结果

离线局部放电量/pC	1 000	500	100	50
在线结果	明显	明显	较明显	不明显

4 结 论

超声波法和高频脉冲电流法是实现变压器局部放电在线监测两种最佳手段。基于两种方法的联合监测法能有效避免单一监测手段的固有缺陷。实际应用结果表明联合监测能够可靠、有效实现变压器局部放电在线监测,具有灵敏度高、抗干扰能力强、安全可靠、能够定位的优点。局部放电的定量问题尚待经验的积累及进一步研究。

参考文献

- [1] 王国利, 赫艳捧, 李彦明. 电力变压器局部放电监测技术的现状和发展[J]. 电工电能新技术, 2001(2): 52-57.

率、煤耗、水耗指标测算模型[C]. 2007 清洁化石能源技术研讨会.

- [3] 李会东, 沧东. 600 MW 机组厂用电系统电源配置优化[C]. 2008 年可靠性、城市供电专委会学术年会.
- [4] 龙辉, 董银柱. 煤质和锅炉辅助系统对 600 MW 机组厂用电率的影响[J]. 吉林电力, 2003, 169(6): 39-41.
- [5] 杨世海, 徐晴, 卢树峰. 电网关口互感器对结算电量经济影响实测分析[J]. 电测与仪表, 2009, 525(9): 35-39.
- [6] 彭时雄. 交流电能(电功率)测量综合误差的测试计算及改进技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [7] 耿建坡, 王洪杰, 陶鹏, 等. 发电厂关口电能计量装置故障时差错电量的计算[J]. 河北电力技术, 2009, 28(3): 1-4.

作者简介:

赵玉富(1976), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 长期从事电能计量技术和电磁测量方面的研究工作;

赵玉才(1984), 男, 大学本科, 助理工程师, 从事电能计量远方校验系统的研发和应用工作;

杨乃贵(1967), 男, 硕士研究生, 教授级高工, 长期从事电能计量技术管理工作。

(收稿日期:2011-07-15)

- [2] IJ Kemp. Partial Discharge Plant - monitoring Technology: Present and Future Developments [J]. IEEE Proc. Sci. Meas. Technol., 1995(1): 85-90.
- [3] 高胜友, 朱德恒, 谭克雄, 等. 变压器局部放电在线监测信号处理技术的研究[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(9): 1181-1183.
- [4] 罗日成, 李卫国, 熊浩, 等. 电力变压器局部放电在线监测系统的研制[J]. 电网技术, 2004, 28(16): 56-59, 85.
- [5] F. Gutfleish, L. Niemeyer, Measurement and Simulation of PD in Epoxy Voids [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995(5): 729-743.
- [6] 黄家旗. GIS 在线监测系统的研究[D]. 北京: 清华大学, 2001.
- [7] 孙才新, 冯道寻. 变压器油中溶解气体在线监测研究[J]. 电工技术学报, 1996, 11(2): 11-15.
- [8] Barry H. Ward. A Survey of New Techniques in Insulation Monitoring of Power Transformer [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2001, 17(3): 16-23.
- [9] 王昌长, 李福祺, 高胜友. 电力设备的在线检测与故障诊断[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(收稿日期:2011-10-12)

一次机组进相运行试验的再讨论

梁 静¹ 陈小夏¹ 常喜强² 张 锋¹ 杨桂兴³

(1. 新疆电力科学研究院 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆电力调度通信中心 新疆 乌鲁木齐 830002;
3. 新疆大学 新疆 乌鲁木齐 830047)

摘 要:为防止在负荷低谷时疆南地区电网无功过剩,导致电压超过允许范围,因此对喀什地区最大的发电厂之一前海热电厂 50 MW 发电机组做进相运行试验。主要针对前海热电厂一台 50 MW 机组的进相运行试验实况进行了分析,针对试验过程中出现的问题,对该机组进相运行试验步骤进行思考和分析,提出优化建议及总结。

关键词:进相; 试验; 电压; 温升

Abstract: In order to avoid the reactive power surplus of power grid in the south area of Xinjiang during valley period of load to lead the voltage to exceed the allowable range, so the leading phase operation for 50 MW generator set in Qianhai Thermal Power Plant, which is one of the largest power plants in Kashgar Prefecture, is carried out. The actual situation of leading phase operation test is mainly analyzed. According to the problems occurring during the test, the test procedures of leading phase operation of that generator set are considered and analyzed, and the optimization suggestions and summaries are proposed.

Key words: leading phase; test; voltage; temperature rise

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0085-04

0 引 言

由于新疆南部地区电网 220 kV 大容量输电线路的不断增加,输电线路越来越长,线路相间和对地电容相应增大,系统的容性负荷大量增加,造成疆南金鹿地区无功功率过剩,在节假日用电负荷处于低谷时,系统发出的总感性无功可能大于用户所需的感性无功和线路的无功损耗总和,致使电网局部电压偏高,严重影响电网送变电设备的安全可靠地运行。因此必须吸收系统多余的无功功率,降低电网电压,而机组进相运行是快速调整电压最经济、最有效的方法之一,故要求相关的机组做进相运行试验,在系统负荷处于低谷时进相运行,即通过励磁系统降低发电机的励磁电流,使发电机由迟相运行转变为进相运行,吸收无功,但机组进相运行时,会造成系统静稳定水平下降,目前疆南电网与新疆电网主系统联系薄弱,系统的静稳定水平较低,地区电网中较大的发电机组仅为喀什发电厂(4×50 MW)和前海热电厂(2×50 MW)机组,喀什发电厂机组已经做过进相运行试验,故针对新投运的前海热电厂进行进相运行试验具有重要的意义。下面就此次试验进行分析,针对试验过

程中出现的问題,并提出优化方案及注意事项。

1 前海热电厂所在地区网架结构简介

前海热电厂所在地区网架结构如图 1。

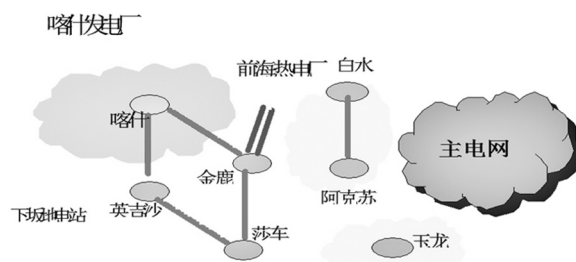


图 1 前海电厂所在地区的电网简图

由图 1 可看出,前海热电厂位于金鹿变电站 220 kV 金鹿变电站连接 4 回长距离输电线路[均为 LGJ-2×300 230 km],与系统联系薄弱,该地区无功直接影响到整个地区的电压质量。电压调整控制难度很大成为该地区的主要焦点。而目前该地区动态电压调整手段只有前海热电厂。

2 主接线形式及励磁系统简介

前海热电厂主接线图如图 2,试验 2 号机组采用

机端自并励磁方式。

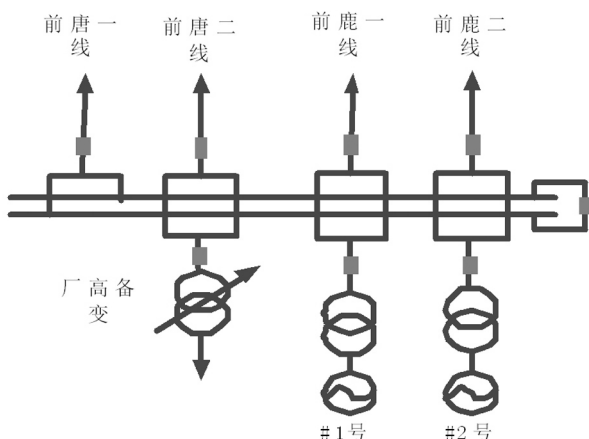


图2 前海热电厂主接线图

3 喀什地区电网稳定性

通过图2可以看出,喀什地区与主系统的联系薄弱,系统的短路容量较小,短路电流仅为6 kA,系统抗电压波动能力较差,大负荷时缺少动态电压支撑,电压偏低,静稳定水平较低,小负荷时电压偏高,高于242 kV情况时有发生,在故障情况下,电压反复高低问题更加突出,稳定性较弱。

4 进相运行试验的情况及出现的问题

4.1 发电机组进相运行原理及约束条件

(1) 发电机进相运行的基本原理

发电机发出有功,而吸收无功的运行状况即为进相。但此种状况下发电机定子电压要下降。发电机的有功无功励磁运行是依靠反应转矩维持同步运行的,其电磁功率包含两部分,即基本电磁功率和附加电磁功率,基本电磁功率是由励磁电流决定的,附加电磁功率是由转子凸极效应确定的。发电机组常规进相能力一般为0.95,约为有功的0.34倍。

(2) 发电机组进相运行约束条件

进相运行是降低机组的热稳定性和静稳定极限为代价来实现的,进相能力和深度把握不好,将会造成电压突然急剧下降,造成系统静稳定破坏及对发电机的损害。

此次试验约束条件定值如表1。

4.2 进相运行效果检查及进相深度试验结果

4.2.1 机组进相深度仿真分析

表1 发电机组进相运行约束条件

内容	约束条件及说明	定值
发电机 静稳定	为保证发电机的静稳定,在试验中监视发电机的进相无功值不应该超过厂家给出的边界值。当自动励磁调节器投入运行时,大大提高了发电机的静态稳定极限,增强稳定运行的能力。	最大发电机(相对于等值机)功率角不应该超过90度。
定子各端 部部件的 温升	试验时监测端部各部件温度不超过限值,定子铁心温度不超过120℃,定子绕组温度不超过90℃。	
发电机 定子电流	发电机进相运行时定子电流不应超过额定电流。	
发电机 转子电流	发电机转子电流不低于额定值的10%。	
110 kV 母线电压	110 kV 母线电压不低于调度规定的下限值。	110 ~ 121 kV。
厂用电 母线电压	进相运行时,随着发电机励磁电流的减小,发电机端电压降低,厂用母线电压也会降低。进相运行试验时要求发电机电压不低于0.9倍额定电压,低于上述值时进相深度不能继续加大,并增加励磁以减小进相深度。	6 kV 母线电压不低于5.7 kV。

为确保进相运行试验的顺利进行,进行了模拟仿真分析,初步确定满足系统安全稳定运行,发电机组满出力时的进相运行深度为20 Mvar,具体如图2。

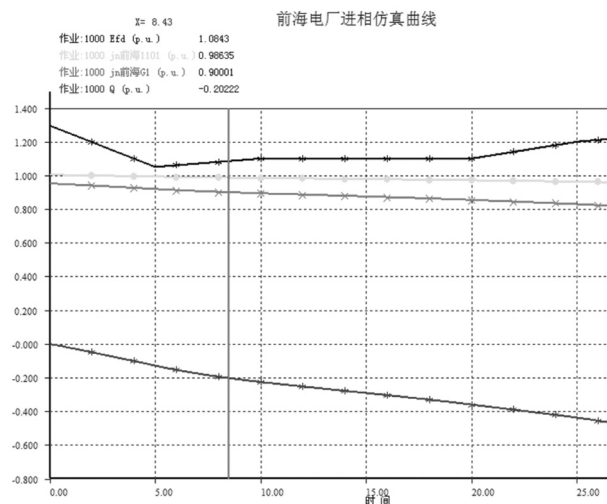


图3 仿真前海电厂2号机组进相深度与电压曲线

4.2.2 机组进相试验情况及进相深度试验结果

逐步减少发电机无功出力,功角 δ 每增加 6° 读取一组数据,直至试验限制条件中任一条件受到限制为止。试验中当 Q 减少到预测的静稳极限或功率角大于 70° 时,应放缓减磁速度,试验结果见表3。

表 3 2 号发电机进相运行静稳试验结果

序号	有功 P /MW	无功 Q /Mvar	功角 δ / $^{\circ}$	功率因数 $\cos\varphi$	定子电流 /A	定子电压 /kV	转子电流 /A	转子电压 /V	系统电压 /kV	6 kV 厂用 电压 /kV
1	50.17	-3.433	25.84	0.998	2726.0	10.61	554.4	96.17	120.4	6.3
2	49.79	-8.514	28.51	0.986	2784.7	10.45	522.27	90.86	119.1	6.2
3	50.12	-21.72	37.72	0.918	3156.8	9.99	474.87	83.34	116.6	6.1
4	50.091	-28.11	44.10	0.872	3403.9	9.76	465.54	80.73	114.5	5.9
5	45.28	-1.729	22.56	0.999	2444.0	10.66	534.35	91.51	120.3	6.3
6	44.91	-12.95	28.26	0.961	2612.5	10.32	464.79	80.48	118.4	6.2
7	44.99	-21.57	34.49	0.902	2875.4	10.03	431.07	74.39	116.8	6.1
8	45.39	-29.06	47.45	0.839	3219.8	9.73	421.82	73.11	114.9	6.0
9	40.70	0.389	19.09	1.000	2169.3	10.76	521.69	89.32	121.1	6.3
10	40.54	-12.83	25.61	0.953	2364.8	10.37	432.8	74.81	118.7	6.2
11	40.37	-22.14	31.73	0.877	2647.7	10.05	390.65	67.66	117.1	6.1
12	38.88	-29.63	37.71	0.795	2895.9	9.77	361.43	62.57	114.6	6.0
13	35.74	0.723	15.94	1.000	1894.5	10.82	496.73	84.29	121.5	6.3
14	35.63	-12.76	22.36	0.941	2094.2	10.41	396.76	67.83	119.3	6.2
15	35.13	-23.34	28.74	0.833	2424.8	10.05	343.29	59.23	117.3	6.1
16	35.16	-30.09	41.19	0.745	2798.5	9.77	315.67	48.90	115.5	6.0
17	30.30	1.223	14.29	0.999	1609.5	10.77	471.43	80.24	120.1	6.3
18	30.10	-13.7	20.45	0.91	1857.6	10.26	348.9	58.88	117.8	6.2
19	30.16	-19.85	23.65	0.835	2071.5	10.07	314.45	53.51	116.8	6.1
20	30.25	-30.57	36.38	0.709	2539.6	9.74	280.61	47.94	114.4	6.0

从表 2 测量数据看,发电机有功负荷控制在 50 MW 进相无功为 -28 Mvar 时,110 kV 母线电压由 120 kV 降至 114.5 kV,发电机功角为 44.1°。由此可以看出,发电机进相运行深度受 110 kV 母线电压的限制。当发电机有功负荷分别控制在 45 MW、40 MW、35 MW、30 MW 时,发电机进相深度也受到 110 kV 母线电压的限制。

试验测得 $P=50$ MW 时的最大进相深度为 28.11 Mvar。 $P=30$ MW 时最大进相深度为 30.57 Mvar。

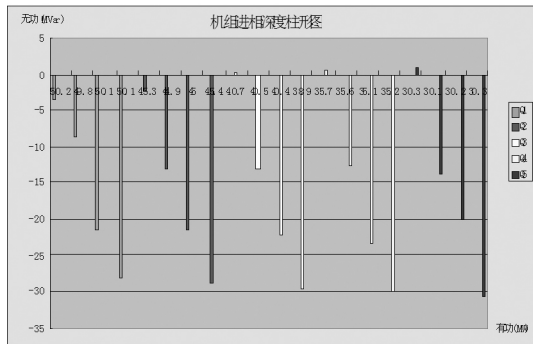


图 4 前海热电厂 2 号机组试验进相深度图

4.3 温升试验

根据静稳试验结果,按照最大进相深度的 95% 确定不同有功负荷下温升试验的进相无功,每种工况试验时间为 2 h 左右,间隔 20 min 读取一组温度数据,各点温度在一小时内变化小于 1 °C 时,即认为发电机温升已稳定,读取和确定最终温度。

4.4 出现的问题

此次试验过程中在进行进相运行试验时,当发电

机组有功负荷控制在 50 MW 进相无功为 -24 Mvar 左右时,发生机组失磁现象,机组失磁保护动作,切除机组,试验中断。

失磁保护动作是否表明机组真的失磁,还是失磁保护整定存在问题呢? 需要进行分析查清一下以下两个问题。

(1) 如果是机组真的失磁,失磁保护正确动作,那么就可以确认机组进相深度以及失磁边缘。为以后的运行打下基础,确保电网和机组在进相时安全稳定运行

(2) 如果是机组失磁保护原理存在问题、定值整定存在问题,那么需要改进失磁保护原理及定值整定。以消除继电保护隐患。

为了对前海热电厂 2 号机组进相运行试验进行了再仿真,仿真采取模拟前海热电厂 2 号机组进相运行前的系统运行工况,同时,根据电力系统分析综合稳定程序 psasp 进行了仔细的仿真分析,经分析,发现如下问题。

(1) 机组进相深度与实验前理论计算仿真结果差异较大,造成试验中深度控制出现较大偏差。

试验前,为确保试验准确及对结果有一定的预知,进行了试验仿真分析,确定了机组的进相曲线,但仿真工况和实验工况有一定的差别,电压水平未完全一样,仿真模拟故障与实际也有一定的差别。

(2) 机组理论仿真,按进相深度及试验时的运行工况不会造成机组失去静稳定,未达到静稳定失磁失

步园。

(3) 深入分析机组失磁保护原理,发现机组励磁系统中失磁保护存在一定的缺陷。

试验前,对机组失磁保护的定值及有关原理进行了了解,但是了解不透彻。现场失磁保护有基于两种判据的动作特性原理的整定,一种是按稳态异步边界条件整定,一种是采用的是静稳极限阻抗圆边界条件,现场是按第一种判据条件整定的,当机组进相达到一定程度时,测量阻抗就落入到动作区内,而实际机组未到失磁区,并为真正失磁,只是进相深度较大而已。此次保护未考虑机端低电压判据,只满足一个条件,即当机组进相深度达到一定值时,机端测量阻抗就会落入失磁保护的定值范围。条件过于单一,而发电机组真正失磁时,会伴随有发电机端电压、高压母线电压偏低情况,故加上这个条件,就可以多一层防误,就会避免此种情况的出现和发生。因此,对于重要的发电机涉网失磁保护应认真研究采用不同特性的失磁保护的优缺点,深入思考其防范措施。

(4) 试验过程中对试验相关数据分析存在一定的不足,造成试验中失磁保护动作。

试验过程中,对试验相关结果数据分析不足,存在一定的偏差,造成试验中对进相深度把握不够,调幅过大;同时造成在试验过程中来自系统电压或调速方面的有一定的扰动波动。试验中失磁保护动作。

5 建 议

通过此次试验中断事件及事后分析,认为在做机组进相试验前,应提前做好以下工作。

(1) 试验前,应了解现场失磁保护采用的动作特性和判据,为了满足机组进相运行深度,建议发电机失磁保护采用稳态异步边界阻抗圆。

(2) 建议利用进相运行在线监测仪监测机组对系统等值机的功率角,并将功率角限制(报警)设置为800,以加强满负荷深度进相运行时的安全性。

(3) 该机组厂用电电压不低于5.70 kV,以保证厂用电系统的安全运行,并在进相运行测试仪中设置相应的厂用电电压低报警等。

(4) 注意前海热电厂厂变压器抽头位置。在仿真时,注意仿真母线电压监视。

(5) 厂用低压变压器分接头的档位在3档位置,由于厂用母线电压在机组进相运行后很快接近限制

值,限制发电机进相运行,因此2号机组只能在高压备用变压器带厂用电时才可行进相运行。

(6) 保证励磁具备良好的调节性能。在系统电压较高和投入自动励磁调节器的情况下才开展进相运行。

(7) 建议手动励磁工作电源由工作段(交流380 V)供电改为厂用共用段(交流380 V)供电,防止本机工作电压降低太多影响手动励磁输出,减少外界因素的干扰。

(8) 对于重要的涉网保护,如发电机组失磁保护、超速保护等现场应认真研究其原理,选择合适的、原理全面保护。

6 结 论

通过对前海热电厂进相运行试验总结,发电机进相运行降低疆南金鹿地区电压效果显著,既可确保电压质量,又可减少系统电气设备的总损耗,是提高电网运行经济效益,简便易行且安全可靠的最有效措施之一。为确保试验顺利,在进行试验前,应仔细了解研究励磁系统失磁保护原理和定值,进行机组进相试验模拟仿真,确定各种运行工况进相深度,优化试验项目,应及时认真分析试验相关数据,以确定正确的试验结果,注意影响试验结果的关键因素,如励磁调整方式、厂用电压和系统电压水平。

参考文献

- [1] Prabha Kunalur. 电力系统稳定与控[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 刘取. 电力系统稳定性及发电机励磁控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [3] 柯坤明. 茂名热电厂6号机电气运行规程[Z]. 茂名热电厂, 2007.
- [4] 陈俊琳. 大型汽轮发电机进相运行的实践与认识[J]. 中国电力, 1997, 30(12): 61-63.
- [5] 孙致平. 电气(望亭发电厂运行培训教材)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [6] 黄纯华. 大型同步发电机运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.

作者简介:

梁静(1960),女,汉族,高级工程师,长期从事继电保护及发电机组试验工作。

(收稿日期:2011-07-18)

循环流化床锅炉布风板风帽技术改造

周其涛

(内江高坝发电厂 四川 内江 641006)

摘要:高坝电厂410 t/h循环流化床锅炉原“S”型风帽在煤质改变后堵塞变形严重,导致布风板流化不好,风机电耗增加,受热面磨损加剧。经过严密的论证后对风帽进行了技术改造,改善了流化状况,降低了受热面磨损,安全经济性显著。

关键词:循环流化床锅炉;布风板;风帽改造

Abstract: S-type air hoods are choked and deformed seriously because of the non-design coal burning in circulating fluidized bed (CFB) boiler (410 t/h) of Gaoba Power Plant, so it leads to a bad fluidization of air distributor, and makes the power consumption of ventilating fan increase and the wear abrasion of heating surface aggravate. After a rigorous demonstration, the technical reformation of nozzle button is carried out to improve the fluidization, reduce the wear abrasion of heating surface and enhance the safe economic performance of the unit.

Key words: circulating fluidized bed boiler; air distributor; technical reformation of nozzle button

中图分类号:TK228 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2011)06-0089-03

1 改造前基本情况

内江发电厂高坝电厂11炉为410-9.8/540-Pyroflow型循环流化床锅炉,是1996年引进的原芬兰AHLSTROM(奥斯龙)公司生产制造的常压、单汽包自然循环、户外型循环流化床锅炉。锅炉布风板为水冷式布风板,风帽采用“S”型风帽(“猪尾巴”管)。

炉内布风板采用水平布置,风帽共5441个,风帽通风孔内径 $\Phi 16$ mm,原布风板内置倾角 1.8° 水冷壁管,风帽间距117 mm,整个布风板横向宽13782 mm,纵向宽3968 mm。原临界流化风速 $30.17 \text{ Nm}^3/\text{s}$,折合风量 $10 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$,运行设计一次热风温度 220°C ,额定负荷时一次流化风量 $50 \text{ Nm}^3/\text{s}$,折合冷态风量约 $180000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

正常运行时风室风压11~13 kPa,对应床压约在3~5 kPa,额定工况下布风板阻力为8500 Pa。从前墙至后墙浇筑料厚度为150~285 mm,布风板下无浇筑料。排渣为后墙两个排渣口、左右侧墙各一个排渣口;入炉煤粒度7 mm以下占90%,7~15 mm占10%;原设计煤种低位发热量为22.487 kJ/kg,目前因煤种变化大,其发热量在12.560~14.653 kJ/kg;向炉内直接添加石灰石粉脱硫。

2 改造的必要性

与当初设计煤质相比,近几年电煤为卖方市场,电厂煤种变化大,且燃煤煤质严重下滑,入炉煤粒度也时常超标,而猪尾巴型风帽对大颗粒床料在布风板上的移动能力较弱,加之锅炉已运行了十几年,风帽出现严重磨损、变形和堵塞,导致布风板流化能力减弱,粒径稍大的床料难以流化并难以排出,床压维持困难,影响锅炉带负荷。运行中不得不采用大风量运行,进而导致受热面磨损加剧,风机电耗升高,锅炉爆管次数增多,机组运行经济性降低。同时由于布风板流化能力弱,床压维持困难,直接影响到了脱硫石灰石的加入量,进而影响烟气环保排放。

为了适应电煤市场煤种变化和生产实际需要,改善炉内流化效果,提高锅炉接带负荷能力,对布风板风帽改造已势在必行。

3 改造方案

通过对国内多家风帽厂家的业绩和方案进行充分的比较和论证,并结合现场的实际运行情况,最终选用了烟台通用风帽合金有限公司生产的新型钟罩

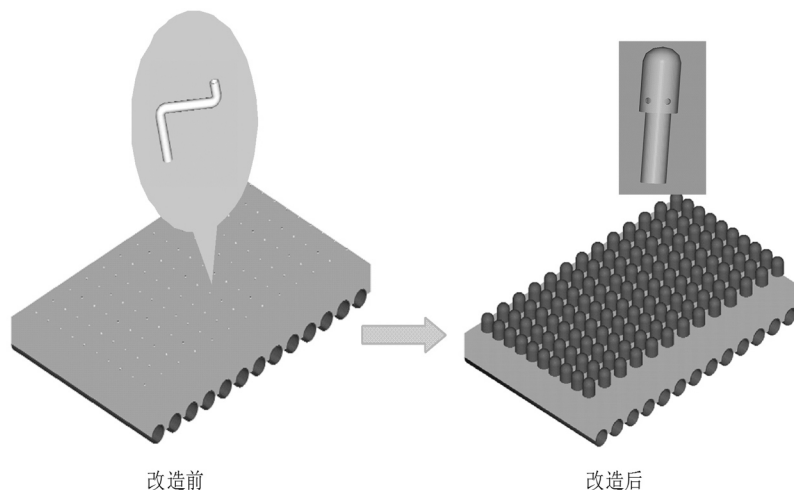


图1 布风板风帽改造前后对比图

式风帽。

改造后的风帽为钟罩式,风帽数量1 682个,风帽沿横向宽度共布置116排,排与排之间错列布置,风帽管上部带密封的圆环。

风帽在布风板上布置见图1。

改造后的钟罩式风帽采用8孔的出风孔,直径为 $\Phi 12$,孔向下倾斜 5° ,风帽高度130 mm,外径 $\Phi 90$ 。改造设计临界流化风量为 $(9 \sim 10) \times 10^{-4} \text{ Nm}^3/\text{h}$,即 $(25 \sim 30) \times 10^{-4} \text{ Nm}^3/\text{s}$ 风量。带满负荷时流化风量控制在 $50 \text{ Nm}^3/\text{s}$ 左右,50%负荷时流化风量控制在 $36 \text{ Nm}^3/\text{s}$ 左右,不增加风机电耗。改造后能保证风室不漏渣,布风流化均匀,炉内温度分布均匀。床温控制在 $850 \sim 920^\circ\text{C}$ 之间,50%负荷时床温不低于 720°C ,两侧墙下部床温不低于 550°C ,各点温差不超过 100°C 。改造后,在现有煤种(如入炉煤低位热值 $3\,000 \sim 3\,500 \text{ kcal/kg}$,灰分50%左右,粒度 $7 \sim 13 \text{ mm}$)情况下,锅炉流化良好,能稳定接带满负荷;同时在低负荷工况下(如50 MW)也能保证大粒径床料流化起来,且排渣正常。改造后,锅炉承压部件的磨损速率低于改造前,满负荷时的飞灰可燃物及排烟温度与改造前无明显变化。改造后风帽整体使用寿命2年以上,两年后风帽的年更换率不超过20%。

4 改造后的运行情况

(1) 改造工程于2008年6月底完成,机组启动连续运行了1 848 h后停炉检查。对磨损特别严重的炉膛后墙耐火材料上部4.5 m左右侧墙第一根水冷壁管进行了测试,启动前左侧管子壁厚为5.1 mm,右

侧管子壁厚为5.3 mm;运行1 848 h后左侧管子壁厚为4.9 mm,右侧管子壁厚为5.2 mm。小于风帽改造的技术协议中“改造后,锅炉承压部件的磨损量在连续运行小时数为1 000 h时不超过0.27 mm(以原始管壁厚度5 mm左右的水冷壁管为依据进行考核)”的考核指标。并在其后运行的2年内炉膛受热面未发生因磨损减薄而出现的爆管,减轻了受热面磨损,降低了机组“非计划停运”次数(风帽改造前炉膛下部水冷壁每年至少爆管2次),提高了锅炉运行可靠性。

(2) 改造后,锅炉流化状况明显改善,提高了锅炉对煤种变化特别是劣质煤的适应能力,机组接带负荷能力增强,长期低负荷(约50%)运行炉内流化稳定,排渣通畅。相同负荷下锅炉风机电耗降低约0.36%,供电煤耗降低约1.5 g/kWh。

5 改造过程中注意事项

(1) 当旧布风板耐火材料拆除和在水冷壁鳍片上开风帽安装孔时,一定要认真、仔细,否则会因拆除时使用的工具和割具对水冷壁管造成损伤。

(2) 当用加工好的开孔覆板铺设在水冷布风板上后,覆板务必满焊,防止因风室短路造成漏风长期冲刷损伤水冷壁管,并可能造成局部流化减弱。

(3) 风帽安装完成后,耐火材料的爪钉铺设和浇注在施工过程中一定要按要求进行,防止因耐火材料的施工问题造成耐火材料裂纹、脱落后对风帽套管长期冲刷损坏。

(4) 风帽改造完成后,一定要按要求进行布风板阻力试验及料层阻力特性试验,为运行人员确保锅炉

的安全稳定经济运行提供可靠依据。

6 结 论

(1) 风帽改造后,炉内流化明显好转,减轻了受热面磨损,锅炉运行可靠性提高。

(2) 风帽改造后,锅炉接带负荷能力增强,风机电耗降低。

(3) 风帽改造后经过两年多的运行,多次停炉都会出现少量的风帽套管断裂的情况,因此建议厂家能对套管的材质进行改进。

(4) 改造后因使用的风帽头部形状为圆头,造成炉内检修时不方便,因此建议厂家能对风帽的头部形状进行改进。

(收稿日期:2011-09-16)

(上接第 62 页)

解到油中,加上固体绝缘板对水的吸附作用,可能会使得分接开关内部绝缘固件吸潮而造成对地绝缘电阻严重下降。基于上述考虑,分别测量了 V 型分接开关(如图 5 所示)的转换选择器、主通断触头、主触头、过渡触头等部位对分接开关顶端金属件(运行时金属件接地)的绝缘电阻,发现转换选择器的 A、B 两相对地绝缘电阻分别为 400 MΩ 和 700 MΩ,其它部位绝缘电阻值正常。随后试验人员取下受潮绝缘板,将其置于 100 ℃ 恒温烘箱内进行烘干,烘干时间达 12 小时后,重新测量其绝缘电阻值,发现绝缘电阻有了明显提高,均达到 8 GΩ 左右,对分接开关油箱内壁进行干燥处理后,将分接开关组装后加注新油,再次进行诊断性试验,全部绝缘试验项目均合格,主变压器顺利投运。

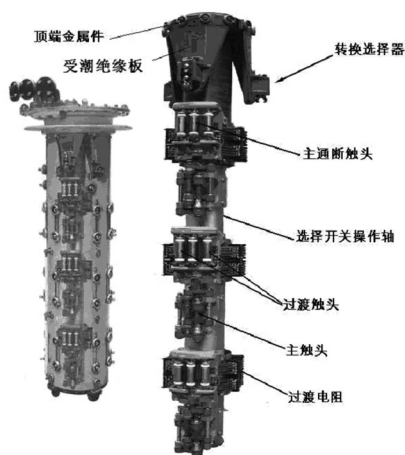


图 5 V 型分接开关本体

3 结论及思考

绝缘电阻试验和直流泄露电流试验对判断绝缘故障非常有效,而根据泄露电流曲线可以快速确定绝缘故障类型。将分解法应用于变压器故障诊断中,可

以清晰、准确、快速地诊断出故障部位和故障类型,大大地提高了检修效率。此次故障的发现过程以及使用分解法由整体到局部进行逐步诊断的方法,对变压器及其它电力设备的故障诊断,具有较好的参考价值。例行试验中油务人员在进行高压试验之前即对分接开关更换新油,不利于故障的诊断,而真当故障出现时,油样分析往往失去效用,这是今后工作应当注意的地方。

参考文献

- [1] 严璋. 状态监测方法及仪器的选择[J]. 电力仪器仪表选用年鉴 2009-2010: 79-80.
- [2] 朱德恒, 严璋, 谈克雄. 电气设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社 2009: 2-11.
- [3] 董明, 李元, 严璋. 主变电设备状态检修系统的开发与应用[J]. 华东电力 2009, 37(7): 1070-1072.
- [4] 汤宇奇. 变电站一次设备的状态检修[J]. 湖北电力, 2010, 34(2): 46-47.
- [5] 徐敏, 刘井萍, 左重华. 变电设备状态检修中试验数据的处理方法探讨[J]. 电力系统保护与控制 2009, 37(22): 91-92.
- [6] 程相杰, 高沁翔, 刘建芳. 变压器状态检修技术及其演技[J]. 四川电力技术 2007, 30(5): 13-14.
- [7] 马辉. 实现变压器状态检修的方法[J]. 高电压技术, 2001, 27(104): 70-71.
- [8] 四川省电力公司输变电设备状态检修试验规程[S]. 2009.
- [9] 李建明, 朱康. 高压电器设备试验方法[M]. 北京: 中国电力出版社 2001: 21-22.
- [10] 张亚杰, 康爱花. SZ10-31500/35 电力变压器高压绕组直接抽分接头结构分析[J]. 变压器 2010, 47(4): 13-14.

作者简介:

徐伟(1971) 男, 工程师, 从事绝缘监督管理工作。

(收稿日期:2011-08-26)

2011 年《四川电力技术》总目录

第 1 期

- 德宝工程紧急直流功率支援策略研究 贺 洋(1)
基于向量比较原理的唯一稳态消谐法及在消除中性点接地电力系统铁磁谐振中的应用 冯 平 王尔智 王维俊(5)
电铁谐波对风电场的影响
..... 张新伟 晁 勤 康建东等(8)
山区超高压输电线路地线金具的磨损研究
..... 唐 波 杨 暘 孟遂民(13)
带并联电抗器的超高压输电线路单相故障性质识别新判据
..... 戚 琦 吕飞鹏(16)
地区电网孤网运行的高频控制研究
..... 胡仁祥 晁 勤 焦 莉等(21)
基于变论域模糊 PID 控制的同步发电机励磁研究
..... 揭海宝 康积涛 李 平(24)
基于扰动功率法的短期电能质量扰动源判定
..... 严居斌(28)
用户谐波发射水平补偿增量回归评估法
..... 张 鹏 刘 燕(33)
城市电网规划中负荷同时率的选择技术研究
..... 田怀源 周步祥 冯燕禧等(38)
关于 RCS-931 超高压输电线路保护启动元件的探索
..... 夏 天 吴俊美(42)
分布式发电对配电网继电保护和重合闸的影响
..... 刘 林 李建兵 刘靖涛等(44)
配电网中接地故障检测新思路 王 智(46)
电力职业技能鉴定网上训练系统设计与实现
..... 高 英(49)
六氟化硫回收净化处理系统的应用研究
..... 刘红志 彭 柯(52)
架空送电线路基础上拔稳定计算公式的修正
..... 王高益(56)
三峡地区超高压输电线路气候特征简析与灾害性天气预报系统的实现 王 辉 宋雪峰 陈 达等(58)
输电线路防雷措施效果浅析 刘安伟 王琼晶(61)
变电站电压异常原因判断及处理方法 杨秀蓉(65)
变压器温度监测方法及常见故障浅析 刘祖惠(68)
220 kV 耐张串复合绝缘子运行情况分析
..... 许文荣 何庆文 黄梓容(71)
无人值班变电站运行管理模式现状分析及发展探讨
..... 熊 茜 唐 睿(74)
220 kV 变电站主变压器重瓦斯保护动作事故分析
..... 罗贤举(77)
铁塔主材更换装置的设计应用 王光祥 景文川(80)
330 MW 机组锅炉结焦原因分析及对策 卢广宇(83)

- 410 t/h 锅炉提效达标治理与优化 刘新旺(87)
水轮发电机定子单相接地的继电保护技术
..... 宋全林 桂 林 党晓强(91)
第 2 期
北川 110 kV 智能变电站调试浅析
..... 蔡 钢 何 朴 刘 曦等(1)
北川 110 kV 智能变电站主变压器保护及试验方法
..... 刘明忠 姜振超(4)
北川智能变电站 GIS 现场耐压方式的选择与分析
..... 李 晶 范松海 苏明虹等(7)
数字电能计量及其电能表检测技术
..... 艾 兵 江 波(10)
北川 110 kV 智能变电站监控系统调试工作研究与分析
..... 李成鑫 冯世林(14)
使用 KEMA 测试工具开展 IEC 61850 一致性测试
..... 郑永康 刘明忠(18)
北川智能站一体化电源现场测试技术的研究
..... 李 晶 范松海 罗 锦等(21)
新疆电网继电保护故障信息处理系统的设计思路
..... 王胜利 石 静 孟兴刚等(23)
分布式发电对配电网继电保护和重合闸的影响
..... 刘 林(28)
雷击线路引起的主变压器跳闸分析
..... 杨 茹 李红军(30)
一起线路故障引起主变压器零序过电压动作的分析
..... 周 洁 吴俊美(32)
带接地保护功能塑壳断路器在发电厂低压电机中的应用
..... 龙 军 朱远萍(34)
110 kV 终端变电站小电源故障解列实例研究
..... 梁兆庭 黄 金(38)
四川电网输电线路覆冰分析及防御措施
..... 陈向宜 何 朴 刘明忠(41)
基于量子序优化混合算法的输电网规划
..... 李 芸 孟洪斌 李传虎(44)
基于无功能力考虑的配电系统可靠性评估
..... 高 岩 李华强 林茂君(48)
对电网故障时刻 PMU 测量频率的思考和讨论
..... 张彦军 陈玉林 常喜强等(52)
基于无功补偿的大型风电场快速并网稳压控制
..... 卿 泉 袁贵川 陈 颖(55)
高海拔地区线路调爬对变电站的绝缘配合影响
..... 冯千秀(60)
四川电力通信光缆自动监测系统的建设
..... 殷明春 谢联群(65)

- OPGW 光缆展放施工的研究与应用 朱维伟(69)
- 广东电网中低压配电网自动化规划研究 杨森锋(74)
- 四川省企业自备电厂在线监测系统设计概要
..... 袁 杰 吴晓刚(78)
- 抗燃油油质异常原因分析与解决措施
..... 高 为 李 莉(82)
- 四川电网节能发电调度节能减排效果分析
..... 杨 柳 凌 亮 唐茂林 等(87)
- 基于数据包络分析的水电企业节能调度效益评价
..... 张 鹏 秦毓毅 唐茂林 等(91)
- 第 3 期
- 制动电阻对变速双馈风电机组故障穿越能力的影响研究
..... 赵海岭 黄 伟(1)
- 激励性监管下的电力市场需求侧分时电价机制研究
..... 李 俊 刘俊勇 张 力 等(5)
- 变压器直流偏磁抑制措施的研究进展
..... 蒋 伟 吴广宁 刘愈倬 等(9)
- 电网规划中的网络损耗评估算法的研究与应用
..... 程秀娟 周步祥 廖烽然(14)
- 新疆电网 220 kV 短路电流分析和限制措施研究
..... 胡仁祥 晁 勤 常喜强 等(19)
- 基于 LCC 的配网多点分布式发电并网方案研究
..... 林 涛(22)
- 基于自适应差分算法的电力系统稳定器参数设计
..... 杨祉涵 张雪霞 李 奇 等(26)
- 安全稳定控制在光传输网中的应用 殷明春(29)
- 继电保护整定计算及运行管理省地一体化数据平台的研究与
开发 王胜利 石 静 常喜强 等(32)
- 关于低压电网用电设备继电保护整定计算的探索
..... 宋 其 宋汉蓉 尹 秦(36)
- 输变电系统可靠性工作的试点及研究
..... 杨 树 金 钟(40)
- 一起典型的保护误动作事故分析
..... 卢天盛 马彦伟 李萍萍(42)
- 一起由于定值跑区造成保护误动原因分析及改进措施
..... 曾 丽 胡晶晶 吴俊美 等(45)
- 计及加权网络拓扑的备用购买双层决策
..... 张国芳 刘俊勇 吕 林(48)
- 电动汽车充电系统对电网的影响及其高频变压器的设计
..... 张 燃 陈 磊 田佳燊 等(53)
- 涪江大跨越雷电性能研究 佟继春(57)
- 降低杆塔冲击接地阻抗方法 蒋 平 杨 琳(61)
- SF₆ 密度继电器一次异常报警的原因分析 马 春(64)
- 电铁牵引站 V/V 牵引变压器注入系统的谐波和负序分析
..... 童庆刚 汪茂盛(65)
- 局部放电超声波检测技术在西藏首座 220 kV 变电站的应用
..... 周勇军 王 军 甘德刚(69)
- 35 kV 电缆头故障分析及处理 柏海峰 陈 建(73)
- Nechip 芯片在直流屏远程监测系统中的应用
..... 詹 毅 邓 平 刘人礼 等(75)
- 600 MW 汽轮发电机定子铁损试验方法探讨
..... 江建明 袁兴惠 宋功益 等(78)
- 300 MW CFB 机组停炉不停机的实践 江 浩(81)
- 消除大型汽轮机汽缸变形影响的一种简便方法
..... 黄国强(84)
- 火电厂凝结水泵高压变频改造应注意的问题
..... 郭伯春(87)
- 生物质工程中的调试问题 李兰芳 赵伟刚(92)
- 第 4 期
- 智能电网地区调度支持系统框架研究
..... 郝文斌 洪行旅 陈 立 等(1)
- 智能电网推动发电厂节能减排的策略研究
..... 马 静 汪 颖(4)
- 智能电网促进节能减排的市场执行问题的探索
..... 蒋荣华 胡 灿 汪 颖(9)
- 需求终端节能减排发展现状与效益分析
..... 张弋宁 汪 颖 肖先勇(13)
- 智能配电网促进用电侧节能减排的政策与计划
..... 汪 颖 陈 武(17)
- 市场参与者接入智能电网的能量端口及其特点
..... 曹海权 孙晓璐 马 超(22)
- TinyOS 感知节点在智能电网输电环节的应用
..... 黄宏光 钟 俊 李国才(27)
- 用户友好配电系统规划方法的研究
..... 刘旭娜 汪 颖 黄 静(30)
- 双馈风电机组低电压穿越能力的研究
..... 李鹏程 晁 勤(36)
- 连锁故障引发的电网灾难性事故风险评估
..... 何 焱 冯 靖 催 振(40)
- 住宅小区公用电网的谐波及治理 黄冰心(45)
- 西藏昌都电网网方案探讨
..... 何志强 扎 西 郑 勇 等(48)
- 关联规则在输电网安全性评价中的应用
..... 程 政 雷 霞 柏小丽 等(52)
- 风电变流器网侧 SVPWM 变换器的控制研究
..... 胡文胜 赵 宇(55)
- 一起直流分压器故障导致直流系统闭锁事故分析
..... 胡 翔(59)
- 单芯电费实时电流量计算方法研究
..... 李 伟 曾 宏 杨 琳 等(61)
- 一起有载开关故障案例分析 胡 海(65)
- 因受潮引起 35 kV 开关柜事故的技术分析 谯天亮(67)
- 基于模糊综合评判的断路器可靠性状态评估
..... 谢 伟 卢更生 谭 杰 等(69)
- 基于小波变换的变压器差动保护算法
..... 高志勇 成建军 张 昕(72)
- 基于线路介数的多组同基最小断点集选取方法
..... 张向亮 吕飞鹏 张新峰 等(75)

高压断路器非全相保护浅析	秦 川(79)
基于传统综合自动化变电站的程序化操作实现	李 杨 郭小龙 周建邦(83)
智能操作票系统完整解决方案	袁贵川 庞晓艳 张宏图 等(87)
二滩电站枯水期无功经济运行策略研究	郭玉恒 唐杰阳(91)
第 5 期	
智能电网与电力需求响应的研究	袁志坚 刘旭娜(1)
电气孤岛检测及其检测盲区的三维表示法	赵 泓 汪 颖 肖先勇(5)
利用单端母线的电压暂降特征进行配电网故障定位	郑天文 肖先勇(9)
基于 SQL Server 代理的地区电网 AVC 系统数据备份	白天宇 肖先勇(14)
基于网络拓扑和运行状态的电网灾难性事故评估模型	催 振 肖先勇(20)
中性点不接地系统故障充电暂态信号定位法	张文海 汪 颖 肖先勇(26)
3 种典型 220 kV GIS 变电站进线方式的电磁场分析	牟秋谷 周 凯 肖先勇(30)
基于变电站 GOOSE 网络的 OPNET 与 NS2 仿真比较	李成鑫 吴成恩 舒 勤(34)
电力中长期负荷模糊优选组合预测方法的研究	何 焱 黄 静(38)
地区电网中环网短时合环操作分析研究	杨桂兴 王维庆 王 晟 等(43)
输配分离后电网调度管理模式研究	李莹雯 周云峰(46)
西北新疆交流联网后新疆电网控制模式变化机理及对策研究	常喜强 孙谊嫔 姚秀萍 等(50)
西宁—日月山 750 kV 同塔双回线路接地开关选择研究	钟 蓉(54)
基于电压稳定裕度的低压减载方案研究及其工程实践	刘柏私 颜 伟(58)
负荷静态特性对 PV 曲线的影响	李 林 钟亨君(60)
城市地下变电站相关问题探讨	苟旭丹(64)
基于 110 kV 扩大内桥接线的备自投控制策略	张建军 姚越兰(67)
断路器机构与自适应重合闸的配合	郭又华 赵 俊 朱 雨(71)
一起隔离开关瓷瓶缺陷案例分析	罗 飞(74)
变电站直流系统安全隐患的排查和处理	邓明燕(77)
微电网并网时的环保经济调度	侯国彦 王 彪 丁理杰 等(80)
基于灰色关联分析的负荷季不均衡系数的分析方法与应用	徐 飞 周步祥 林 楠(84)
基于工程模型的光伏建模与输出特性仿真	郭 立 晁 勤 袁铁江 等(89)

300 MW 机组回油滤网堵塞导致主油箱油位下降原因分析及处理	郑能伟(92)
第 6 期	
光伏建模与并网仿真	陈向宜 王 彪 丁理杰 等(1)
发电机组小岛运行分析及对策	任天鸿 袁铁江 晁 勤 等(5)
关于功率外送型电网孤网高频后解决措施分析	王 筱 晁 勤 吴茂乾 等(10)
川渝断面失步解列装置配置研究	刘柏私(14)
基于无死区零序功率方向的纵联零序保护	习 伟 李天华(17)
鲁能哈密电厂关停对哈密电网的影响	薛劲莹 王 峰 张 锋 等(21)
静止无功补偿器对感应电动机负荷电压稳定性的影响	李 康 康积涛 陈芝奔 等(26)
一起线路保护拒动的案例分析	李莹雯 周云峰(30)
断路器偷跳引起的重合闸反复动作	郭又华 赵 俊 朱 雨(32)
基于 weibull + + 的变压器寿命评估分析	阮 峰 王小明 甄 威(36)
基于新息图法的电力系统不正常事件识别方法	李子清 辛 旺 邓永红(40)
基于级联原子库的谐波分析方法	唐承志 代云华 何国军(43)
开关柜局部放电超高频检测中周期性窄带干扰的抑制研究与应用	李建明 罗 高 王惠波(46)
110 kV 线路防雷治理方案及应用效果	吴晓晖(50)
超声波与高频脉冲电流相结合的变压器局部放电在线监测方法	肖 勇 庞 军 周 波 等(53)
电网过电压监测装置的研究与应用	刘庆宁 罗 高 李建明 等(56)
分解法在变压器绝缘故障诊断中的应用	徐 伟 尧 广 李利红 等(60)
基于 UHF 法的变压器局部放电在线监测系统的开发	向天堂(63)
电网变电站直流系统蓄电池模型	黄 媛 吕 林 陈井锐 等(67)
华蓥山区输电线路防雷综合措施研究及实施方案	王家祥(71)
考虑电压暂降波形起始点特征的交流接触器暂降敏感度分析	董 瑶(75)
浅谈断路器控制回路中的“防跳”	罗小渝(78)
一台 600 MW 发电机组厂用电率异常的分析与思考	赵玉富 李 静 赵玉才 等(81)
一次机组进相运行试验的再讨论	梁 静 陈小夏 常喜强 等(85)
循环流化床锅炉布风板风帽技术改造	周其涛(89)
2011《四川电力技术》总目录	(92)

四川省电机工程学会第七次会员代表大会



四川省电机工程学会第七次会员代表大会于2011年10月26日在成都市白芙蓉宾馆召开。出席这次大会的正式代表113人，特邀代表8人，他们代表了全川正努力工作在各个岗位的4073名会员参加了会议。

第六届理事会副理事长刘俊勇主持了会议，第六届副理事长兼秘书长张伟致开幕词，省科协副主席黄竞跃、省民政厅民间组织管理局罗伯益副局长做了重要讲话，中国电机工程学会荣誉会员、四川省电机工程学会名誉理事长、原四川省副省长韩邦彦同志做了热情洋溢的讲话。中国电机工程学会发来了贺信，对四川省电机工程学会六届理事会工作给予充分肯定并对第七次代表大会的召开表示了热烈的祝贺。第六届理事长王平做了题为《科学发展、开拓创新，服务四川电机事业》的工作报告，副秘书长王卓做了《四川省电机工程学会章程》修改的说明，副秘书长方文弟作了第六届理事会财务报告。与会代表讨论了《工作报告》、《四川省电机



工程学会章程》以及财务报告。一致认为六届理事会在团结和动员广大科技工作者，促进科技与经济、社会的结合，学术交流，开展科普活动方面做出了积极的贡献。经过全体代表认真而热烈的讨论，通过了王平理事长所做的工作报告，修改后，发各分会、专工委。通过了《四川省电机工程学会章程》，报民政厅核准，颁布实施。代表们对各理事单位推荐的第七届理事候选人进行了认真的讨论酝酿，大会还宣读并表彰了2010年先进集体和先进个人。

大会经过认真酝酿通过无记名投票的方式选举了第七届理事会理事120名。经过第七届第一次理事会讨论通过由王平等65名同志组成常务理事，并通过了正副理事长、正副秘书长人选名单。

在大会闭幕式上，理事长王平做了重要讲话并致闭幕词，他对六届理事会带领全体会员，卓有成效的工作给与赞扬。他指出第七届理事会期间将迎来四川电网由局部电网、传统电网向枢纽电网、现代电网的升级跨越。面对新的机遇和挑战，七届理事会必须在四川省科协、四川省民政厅、中国电机工程学会的指导与关怀下，适应新形势、迎接新挑战，戒骄戒躁，再接再厉，积极主动，努力工作，继承和发扬优良传统，团结和依靠广大科技工作者，争取在今后的科研、教学、科学普及、人才培养、“产学研结合”、科技开发等方面做出更好、更突出的成绩。

四川省电机工程学会第七次会员代表大会，在省科协、省民政厅、中国电机工程学会的关怀下，在省电力公司等理事单位的支持下，经过与会同志的努力，圆满完成了各项任务。

