

±500 kV 换流站交流滤波器组不平衡电流调整新策略

段涛, 张智勇, 李德建, 黄静

(四川省电力公司超(特)高压运行检修公司, 四川 成都 610001)

摘要: 运行中的交流滤波器组一旦出现不平衡电流超标, 需要调整交流滤波器组组合方案时, 按传统的高试调整方法, 检修工作量大, 且不确定性高。利用 Matlab 仿真软件, 结合德阳换流站运行检修实际, 提出一种新的交流滤波器组不平衡电流调整策略。新策略根据现场实测数据构建数学模型, 利用穷举的原理和 Matlab 软件进行仿真优化, 调整后的高压电容器组, 利用现场试验测定其桥臂间的不平衡电流, 验证仿真优化结果的可靠性。根据仿真分析和现场试验的结果来看, 新方法思路正确, 达到了提高工作效率的目的。

关键词: 交流滤波器; 不平衡电流; 调整策略; 仿真优化; 现场试验

The new unbalanced current adjusting strategy of AC filter in ± 500 kV converter station

DUAN Tao, ZHANG Zhi-yong, LI De-jian, HUANG Jing

(Sichuan Electric Power Corporation High (ultra-high) -Voltage Operation and Overhaul Company, Chengdu 610001, China)

Abstract: When the unbalanced current of the operating AC filter is larger than the standard one, it is necessary to adjust the AC filter combination scheme. Based on the traditional high-voltage test adjusting method, the workload is heavy and the uncertainty of the result is high. This paper proposes a new unbalanced current adjusting strategy of AC filter using Matlab software and the measured data of Deyang Converter Station. The new strategy sets up a mathematical model using the measured data on spot and makes use of the infinitude-substitution principle and Matlab software to carry out the software simulated optimization, then uses the field test to measure the unbalanced current between bridge arms of adjusted HV capacitor banks, and validate the result of the simulated optimization. The results of simulated optimization and field test show that this new method is correct and achieves the purpose of improving efficiency.

Key words: AC filter; unbalanced current; adjusting strategy; simulated optimization; field test

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)06-0135-05

0 引言

高压直流输电技术以其技术上和经济上的独特优势, 在远距离大容量输电和全国联网两个方面对我国电力工业的发展起到十分重要的作用, 在“西电东送”、“南北互供”和“全国联网”等工程中有广泛的应用。但高压直流输电线路两侧的换流装置需要补充大量的无功功率^[1], 此外, 换流装置在运行时会在直流侧和交流侧产生大量谐波^[2], 恶化电能质量, 干扰通信系统。因此, 为了补偿无功功率和抑制交流侧谐波, 需要安装相应容量的交流滤波器。一般, 无功补偿和交流滤波器的成本占到整个换流站总成本的10%, 对整个直流输电系统的性能和工程造价具有重要影响。

直流输电工程中交流滤波器的传统设计方法主要依靠设计者的经验, 是一个不断试算, 反复迭代, 直到滤波性能满足要求的过程。其中, 当设计人

员依据经验将交流滤波器组合方案确定后, 交流滤波器各元件参数也就随之确定, 然后进行滤波性能计算, 对元件参数进行不断调整, 直到满足工程要求^[3-7]。当运行中的交流滤波器组一旦出现不平衡电流偏大需要调整交流滤波器组合方案时, 按照传统的高试调整方法, 检修工作量大, 且不确定性高, 本文利用Matlab仿真软件, 结合德阳换流站运行检修实际, 提出一种新的交流滤波器组不平衡电流调整策略。

1 交流滤波器配置和参数

四川~西北电网联网规模3 000 MW, 送电距离为574 km, 直流输电电压选择为±500 kV, 2010年4月双极商业投运, 一端为陕西宝鸡市的宝鸡换流站, 另一端为四川德阳市的德阳换流站。德阳换流站采用双调谐滤波器滤波, 交流滤波器组分为三大组, 全站共有12小组交流滤波器, 每小组交流滤波

器容量为155 MVar，配置如表1所示。

表1 德阳换流站交流滤波器组配置

Tab.1 Configuration of AC filter deyang converter station

滤波器编号	调谐次数	额定容量 /Mvar	额定电压 /kV
WA-Z1- Z11 交流滤波器	HP11/13	155	525
WA-Z1- Z12 交流滤波器	HP24/36	155	525
WA-Z1- Z13 交流滤波器	HP3	155	525
WA-Z1- Z14 并联电容器	SC	155	525
WA-Z2- Z11 并联电容器	SC	155	525
WA-Z2- Z12 并联电容器	SC	155	525
WA-Z2- Z13 交流滤波器	HP11/13	155	525
WA-Z2- Z14 交流滤波器	HP24/36	155	525
WA-Z3- Z11 并联电容器	SC	155	525
WA-Z3- Z12 并联电容器	SC	155	525
WA-Z3- Z13 交流滤波器	HP11/13	155	525
WA-Z3- Z14 交流滤波器	HP24/36	155	525

1.1 交流滤波器原理

换流阀在换流过程中会在交流侧和直流侧产生谐波电压和谐波电流，德阳换流站采用两个6脉动串联而成的12脉动换流器，它在交流侧将主要产生 $n = 12k \pm 1$ 次的特征谐波，在直流侧产生 $n = 12k$ 次特征谐波。交流滤波器的基本原理是通过电抗器、电容器和电阻器的不同组合致使某次谐波流经它时所呈现的阻抗很小，从而将谐波电流导出系统，达到滤除谐波的功能，同时由于电容器，电抗的存在，电流流经时能够产生一定的无功功率，达到提供无功的功能。德阳换流站交流滤波器场，主要采用双调谐滤波器组装置，以HP24/36、HP11/13为例，如图1所示。

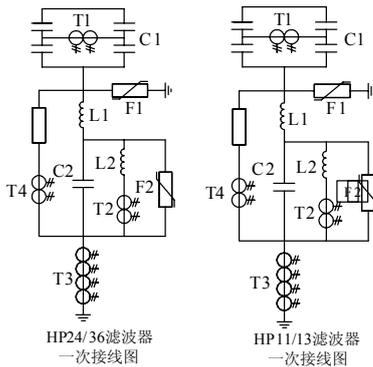


图1 德阳换流站交流滤波器一次接线图

Fig.1 The basal wiring diagram of AC filter of Deyang converter station

1.2 交流滤波器高压电容器组及其不平衡电流分析

德阳换流站交流滤波器高压电容器组 C1，实际上是由许多单只电容器串、并联组合而成的。高压

电容器组 C1 均采用 H 桥接线方式，以 HP11/13 为例，接线如图 2 所示，其中 S_1 为电容器单元串联数， P_1 为电容器单元并联数。电容器单元采用内熔丝保护接线方式，低压电容器塔 C2 除 HP3 电容器单元采用内熔丝接线方式，其他采用无熔丝电容器单元，具体接线如图 3 所示。

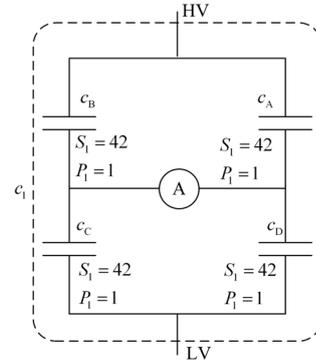


图2 交流滤波器高压电容器组

Fig.2 The high-voltage capacitor group of AC filter

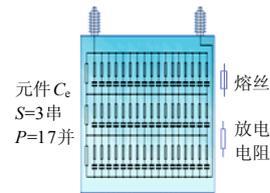


图3 交流滤波器高压电容器组电容器单元

Fig.3 The high-voltage capacitor group capacitor cell of AC filter

其中： $c_e = 13.27 \mu F$ 。由于电容器组 C1 在交流滤波器中的重要性，交流滤波器保护中专门为其设置了一个电容器不平衡保护，该保护通过检测桥间不平衡电流变化来采取相应措施切除故障。以德阳换流站 HP11/13 为例，C1 电容器组保护方案如表 2 所示。

表 2 C1 初级不平衡电流保护设定值

Tab.2 The fixed-value of C1 primary unbalanced current protection

电容器组 C1 参数	额定电压	467.5 kV
	电容器组额定容量	1.79 μF
	单元额定电压	5.57 kV
	单元电容量	75.14 μF
单只电容器重量		104 kg
	C1 初级不平衡电流保护整定值	报警
跳闸		0.46 A
延迟跳闸		0.00 s
延迟跳闸		0.32 A
	最大延时	2.00 h

国网公司在最近的换流站运行总结中指出,换流站电容器单元相对事故率是比较高的,以葛洲坝换流站 BA13 交流滤波器 A 相发生不平衡保护动作跳闸事故为例:交流电网正常运行电压 525 kV,直流系统双极 3 000 MW。交流滤波器保护装置(南瑞产品)故障报告中显示:A 相不平衡电流 0.38 A,故障波形如图 4 所示。

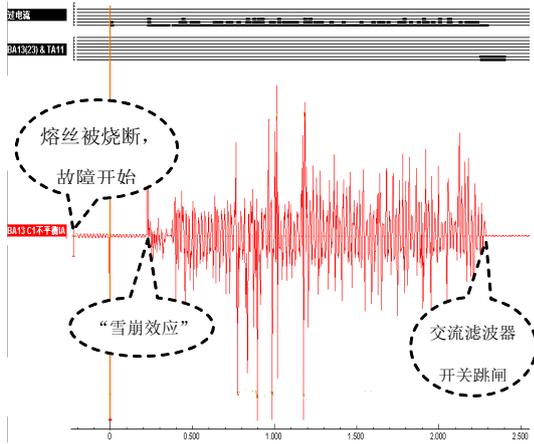


图4 交流滤波器跳闸故障录波图

Fig.4 The wave recording of AC filter trip failure

检修后发现,正是电容器单元内部元件损坏,引起电容器单元内部发生“雪崩效应”,致使这只电容器单元损坏,交流滤波器组不平衡电流保护动作。及时发现并遏制电容器单元“雪崩效应”,防止桥臂电容器组“链式效应”的发生,对整个换流站的正常稳定运行起着重要的作用。一旦电容器组不平衡保护动作,电容器单元内部可能已经出现了比较严重的故障,影响换流站交流滤波器组的正常投切运行,且造成生产成本费用的增加,在日常监视时,及时发现参数变化,合理调整电容器单元,从经济、安全维护换流站运行是非常有必要的。由于检修调整电容器单元在实际生成过程中,工作量是比较大的,而且传统的高试方法只能靠经验和趋势来判断电容器,改进且减少检修过程中调整电容器单元的工作量将是本文的研究重点。

2 交流滤波器组不平衡电流调整策略

本文提出一种全新的交流滤波器组不平衡电流调整策略,基本思路是结合现场实测数据、高压试验^[8-10]方法构建数学模型,利用 Matlab 软件进行仿真优化^[11-13],调整后的高压电容器组利用低压加压试验测定桥臂间的不平衡电流,验证仿真优化结果

的正确性。

2.1 交流滤波器组数学模型

以 HP11/13 为例,如图 2 所示,以桥臂电容差值 Δc 最小为目标函数,以实测各臂电容器单元容值建立电容器组矩阵,数学模型如下:

$$\Delta c = f_{\min}(c_A c_C - c_B c_D) \quad (1)$$

$$\text{St. } 0 \leq I_{\text{nb}} < I_{\text{min}} \quad (2)$$

$$c = [c_A, c_B, c_C, c_D]^T \quad (3)$$

其中: c_A 、 c_B 、 c_C 、 c_D 分别表示各桥臂电容器容值,各桥臂由 42 个电容器单元串联而成,高压电容器组 C1 共有 168 个电容器单元; I_{nb} 、 I_{min} 分别表示不平衡电流、不平衡电流保护设定最小值。

德阳换流站采用南瑞继保的成熟产品,可合理监视电容器组的各项参数,为检修工作分析故障提供了数据依据,在检修过程中应合理利用这些数据,计算桥臂间不平衡电流,调整电容器单元。根据电容器组电路图,设定流过电容器组的进线总电流为 I_n ,则流过桥臂间的不平衡电流^[14]为:

$$I_{\text{nb}} = \left(\frac{c_B}{c_A + c_B} - \frac{c_D}{c_C + c_D} \right) I_n \quad (4)$$

2.2 交流滤波器组调整策略

利用专业工具测量出现场交流滤波器电容器单元的值,按现场交流滤波器组的实际安装位置,各单元的出厂标号构建如图 5 所示的矩阵。

$$C = [c_A, c_B, c_C, c_D]^T = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,42} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,42} \\ c_{3,1} & c_{3,2} & \dots & c_{3,42} \\ c_{4,1} & c_{4,2} & \dots & c_{4,42} \end{bmatrix}$$

图5 电容器单元矩阵

Fig.5 Capacitor cell matrix

$$C = [c_A, c_B, c_C, c_D]^T =$$

$$\begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,42} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,42} \\ c_{3,1} & c_{3,2} & \dots & c_{3,42} \\ c_{4,1} & c_{4,2} & \dots & c_{4,42} \end{bmatrix}$$

图6 电容器单元更新过程

Fig.6 The process of capacitor cell update

从 A 桥臂开始,利用穷举的思想,调整电容器单元的位置,如图 6 所示: A 桥臂中每只电容器单

元都分别与 B、C、D 桥臂中的电容器单元互换位置，然后根据数学模型，计算目标函数值与桥臂间的不平衡电流，取 42 个更换位置后的矩阵中，不平衡电流最小的一个，保留此时的矩阵，如果此时的不平衡电流满足约束条件，即满足目标函数，输出结果。以图 6 中 $c_{1,1}$ 为例， $c_{1,1}$ 分别与 B、C、D 桥臂中各个电容器单元的位置进行交换，根据式 (4) 分别计算各矩阵相应的不平衡电流值，保留最优组合，输出调整位置的电容器单元位置信息。具体流程如图 7 所示。

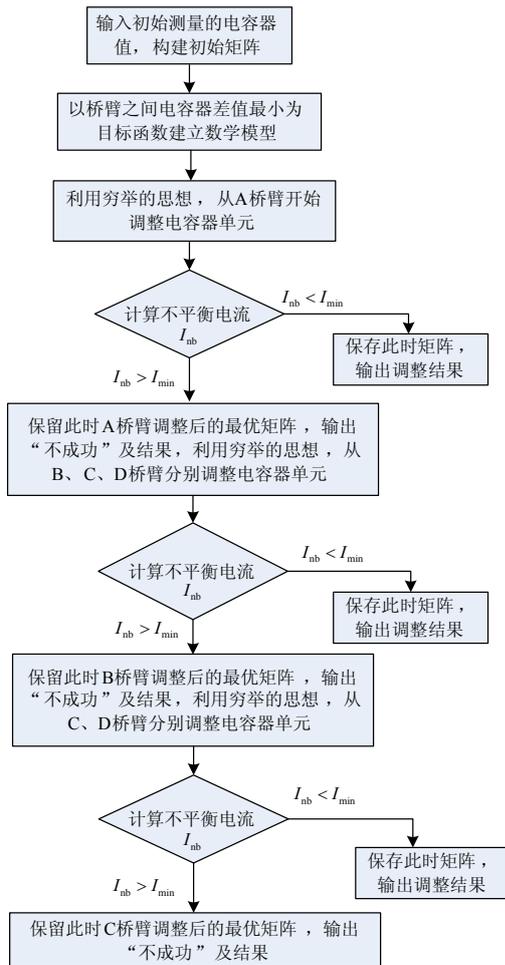


图 7 不平衡电流调整策略流程图

Fig.7 The flow chart of the new unbalanced current adjusting strategy

3 仿真与现场试验

传统的低压加压试验可以测定电容器组桥臂间的不平衡电流大小和流向，通过计算判断电容器组的变化趋势，按经验一组一组的调整电容器单元，如果检修工作不顺利，反复调整电容器单元的位置很可能会破坏电容器组的本身结构，而且在电容器

塔上工作，即使有专用工具和平台车，搬运、安装电容器单元的工作量都很大，正是针对这些情况，本文提出了一种仿真与现场试验相结合的新方法调整电容器单元。为了降低工作量，减小对二次侧保护参数的影响，设定最多调整电容器单元 2 对。

根据后台采集信息，对德阳换流站相对不平衡电流偏大的 WA-Z2- Z13 交流滤波器组 (HP11/13 C 相) 进行检修任务，首先利用电容器测量仪器测量电容器单元的值，如表 3 所示。

表 3 电容器单元实测值

Tab.3 The measured value of capacitor cell

	C 相高压塔 HV		C 相低压塔 LV	
	A 面	B 面	A 面	B 面
一层	75.7,74.9, 75.3	76.1,75.9,75.6	75.9,75.7,75.5	75.5,75.4,75.3
二层	75.7, 74.9, 75.7	75.7,75.3,76.0	75.7,75.8,76.3	75.6,75.9,75.9
三层	76.4,75.7,75.4	76.4,75.7,75.7	76.1,75.5,75.3	76.1,75.6,75.7
四层	75.5,75.6,75.7	75.4,75.6,76.1	75.4,75.7,76.2	75.4,75.8,75.9
五层	75.5,75.4,75.5	75.5,75.4,75.1	75.4,75.7,76.5	76.4,74.5,75.3
六层	75.5,75.4,75.9	75.3,75.1,75.8	75.9,75.6,75.7	75.6,75.7,75.7
七层	75.8,76.2,76.0	75.8,75.5,75.3	76.2,76.4,75.8	75.9,75.8,76.3
八层	75.8,75.9,76.2	75.5,75.8,75.6	75.6,76.1,74.7	76.6,76.1,76.3
九层	75.6,76.0,75.4	76.1,75.2,75.7	75.5,75.7,76.3	75.9,75.1,76.2
十层	76.2,75.9,76.0	75.7,75.3,75.3	75.4,76.3,75.3	75.8,75.6,75.9
十一层	75.8,75.6,75.8	76.0,76.8,75.4	76.4,75.2,75.6	76.3,75.7,75.5
十二层	75.9,75.9,76.3	77.0,75.6,75.9	75.5,75.7,76.2	75.7,75.7,76.5
十三层	75.5,75.2,75.6	75.6,75.7,75.5	75.8,76.3,76.2	75.7,75.3,75.3
十四层	75.5,75.4,75.6	75.8,75.5,75.4	75.9,75.4,76.0	75.4,75.6,76.0

电容器单元电容量的容许偏差为 $-1\% \sim +2\%$ ，实测值变化不大，电容器单元无故障，无需更换电容器单元。先对高压电容器组 C1 进行低压加压试验，具体接线如图 8 所示。

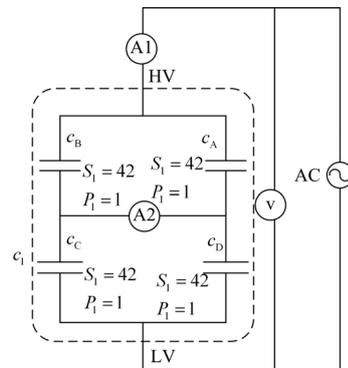


图 8 高压电容器组低压加压试验

Fig.8 The test of adding low voltage in high-voltage capacitor group

测得, C1 进线电压 $U=400$ V, 进线总电流 $I_{n1}=312$ mA, 不平衡电流 $I_{nb1}=55.6$ μ A。按调整策略, 进线总电流按运行工况设定为 $I_n=170$ A, 调整电容器单元, 仿真结果如图 9 示。

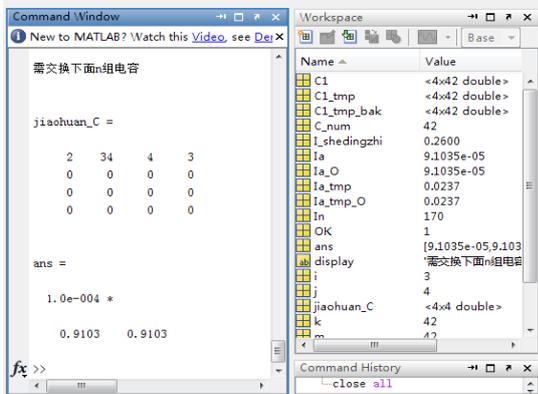


图 9 仿真结果图

Fig.9 The figure of simulated result

从仿真结果可以看出, 需要将高压塔 B 面第六层第四个电容值为 77.0 μ F 的电容器单元与低压塔 B 面第一层第三个电容值为 75.3 μ F 的电容器单元位置互换。理论计算得到的不平衡电流 $I_{nb}=91.03$ μ A。

对调整后的电容器组 C1 进行低压加压试验, 测得, C1 进线电压 $U=400$ V, 进线总电流 $I_n=320$ mA, 不平衡电流 $I_{nb}=50.8$ μ A, 不平衡电流减小。

用式(5)将低压加压试验下的不平衡电流换算到额定电压下的不平衡电流。

$$I_{nb} = \frac{I_{nb1}}{2\pi f C U} I_n \quad (5)$$

式中: I_{nb} 为额定电压下的不平衡电流; I_n 为额定电压下高压电容器总电流; I_{nb1} 为低压加压下的不平衡电流; C 为高压电容器等值总电容; U 为低压加压试验的试验电压; f 为试验电压的频率。

折算后的不平衡电流 $I_{nb}=37.51$ mA, 小于保护设定值 0.19 A 的 50% , 达到工况要求。

4 结论

交流滤波器组不平衡电流调整新策略是一种仿真与现场试验相结合的新方法。根据现场试验和仿真分析的结果来看, 新方法有一定的效果, 理论思路正确, 可以达到提高工作效率和解决问题可靠性的目的。但是影响电容器组产生不平衡电流的因素还有很多, 比如: 环境、杂散电容, 这些都需要笔

者和同事, 还有相关技术人员在实际运行检修过程中多总结、分析。

参考文献

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
Zhejiang University Teaching and Research Group DC power Transmission Research Group. DC power transmission[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.
- [2] 夏道止, 沈赞坝. 高压直流输电系统的谐波分析及滤波[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
XIA Dao-zhi, SHENG Zan-xun. HVDC transmission system harmonic analysis and filter[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1993.
- [3] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHAO Wan-jun. HVDC engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [4] 苏炜. 直流输电换流站交流滤波器研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2004.
SU Wei. The research of the AC filter in HVDC converter station[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2004.
- [5] 赵贺, 林海雪. 单调谐滤波电容器参数选择的工程方法[J]. 电网技术, 2006, 30(20): 52-55.
ZHAO He, LIN Hai-xue. Engineering method to select parameters of single-tuned filter capacitor[J]. Power System Technology, 2006, 30(20): 52-55.
- [6] 李普明, 徐政, 黄莹, 等. 高压直流输电交流滤波器参数的计算[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16): 115-121.
LI Pu-ming, XU Zheng, HUANG Ying, et al. Algorithm for the parameters of AC filters in HVDC transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(16): 115-121.
- [7] 赵贺. 电力系统滤波器的实用设计方法[J]. 电网技术, 1989, 13(1): 48-56.
ZHAO He. Practical design method of power system filters[J]. Power System Technology, 1989, 13(1): 48-56.
- [8] 张致, 许世刚, 康健, 等. 江陵换流站高压电容器组不平衡电流调整试验[J]. 湖北电力, 2005, 29(1): 11-13.
ZHANG Zhi, XU Shi-gang, KANG Jian, et al. The adjustment test for unbalance current of HV capacitor banks in Jiangling converter station[J]. Hubei Power, 2005, 29(1): 11-13.
- [9] 肖遥, 康健, 金涛, 等. 交流高压电容器不平衡保护的改进方案[J]. 湖北电力, 2003, 27(增刊): 33-35.
XIAO Yao, KANG Jian, JIN Tao, et al. The improving scheme for the unbalance protection of HVDC capacitor[J]. Hubei Electric Power, 2003, 27(S): 33-35.

(下转第 143 页 continued on page 143)

的电子逻辑电路, 安装调试、运行维护时十分困难。随着微机变压器保护的成熟和完善, 现在平衡牵引变压器主要采用微机型变压器保护, 其差动保护省去了辅助变流器, 复杂的保护逻辑和判据完全由装置内部软件完成, 运行维护方便、可靠性高, 在电气化铁道中得到了广泛采用。本文通过对阻抗匹配平衡变压器差动保护实现技术的推理和分析, 希望能够使相关技术人员对该类变压器差动保护原理的理解具有一定的指导帮助作用。

参考文献

- [1] 高仕斌. 高速铁路牵引供电系统新型保护原理研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2004.
- [2] 王守平, 佟舟, 陈永富. 阻抗匹配平衡变压器变比测试方法的探讨[J]. 电气化铁道, 2003 (5): 34-35, 37.
- [3] 张志文, 刘福生, 熊芝耀, 等. 阻抗匹配平衡变压器的电量变换和运行计算[J]. 电工技术学报, 2000(2): 6-11, 53.
ZHANG Zhi-wen, LIU Fu-sheng, XIONG Zhi-yao, et al. Electrical transformations and operating calculations on the impedance matching balance transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2000 (2): 6-11, 53.
- [4] 贺家李. 电力系统继电保护原理[M]. 增订版. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [5] 高然. 电气化铁路负序电流对发电机负序过流保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 41-45.

(上接第 139 页 continued from page 139)

- [10] 郑斌毅, 吴元熙. 交、直流滤波器中电力电容器的运行和改造[J]. 电力电容器, 2006 (2) :30-34.
ZHENG Bin-yi, WU Yuan-xi. Operation and improvement of power capacitors in AC/ DC filters[J]. Power Capacitors, 2006(2):30-34.
- [11] 张望, 郝俊芳, 曹森, 等. 直流输电换流站无功功率控制功能设计[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 72-76.
ZHANG Wang, HAO Jun-fang, CAO Sen, et al. Design of reactive power control for HVDC converter station[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(14): 72-76.
- [12] 钟庆, 张尧, 杨金明, 等. 现代控制技术在高压直流输电系统中的应用及其发展[J]. 继电器, 2006, 34(9): 80-86.
ZHONG Qing, ZHANG Yao, YANG Jin-ming, et al. Review on application and development of modern control technologies in HVDC systems[J]. Relay, 2006, 34(9): 80-86.
- [13] 赵曙光, 赵明英, 王军宁, 等. 混合滤波系统中无源滤波器的均匀设计多目标优化方法[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(10): 7-11.
ZHAO Shu-guang, ZHAO Ming-ying, WANG Jun-ning, et al. Uniform design based multi-objective evolutionary design approach for passive power filters in hybrid power

filter system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 7-11.

- [6] 郭东, 杨健维, 赵静. 一种基于牛顿法的交流高速铁路牵引供电潮流计算方法的研究[J]. 继电器, 2007, 35(18): 16-20, 29.
GUO Dong, YANG Jian-wei, ZHAO Jing. Research on a flow analysis method of power supply system for AC high speed railway based on Newton method[J]. Relay, 2007, 35(18): 16-20, 29.
- [7] 刘淼, 石东源, 杨雄平. 计及电气化铁路两相交流供电系统不对称性的输电网实用故障计算方法比较研究[J]. 继电器, 2007, 35(8): 21-26.
LIU Miao, SHI Dong-yuan, YANG Xiong-ping. Comparison of fault calculation methods for transmission network considering unsymmetrical two-phase railway power supply system[J]. Relay, 2007, 35(8): 21-26.

收稿日期: 2010-03-01; 修回日期: 2010-12-06

作者简介:

马水生 (1974-), 男, 工程师, 本科, 从事电气化铁道继电保护产品设计、调试; E-mail: mashsh2008@163.com

张亮 (1980-), 男, 工程师, 本科, 从事电气化铁道继电保护产品设计、调试及应用;

李延军 (1963-), 男, 工程师, 大专, 从事电气化铁道设备运行管理。

filter system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 7-11.

- [14] 吴娅妮, 吕鹏飞, 等. 交流滤波器高压电容器不平衡保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 56-59.
WU Ya-ni, Lü Peng-fei, et al. The new theory about the unbalance current protection of AC filter HV capacitor[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(24): 56-59.
- [15] 缙新科, 牟英, 汪昶江, 等. 并联混合型有源电力滤波器仿真分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 13-15.
GOU Xin-ke, MOU Ying, WANG Chang-jiang, et al. Simulation of shunt hybrid active power filter[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 13-15.

收稿日期: 2010-03-29; 修回日期: 2010-05-25

作者简介:

段涛 (1981-), 男, 硕士, 从事超(特)高压运检工作; E-mail: tower1981@126.com

张智勇 (1979-), 男, 工程师, 从事超(特)高压运检工作;

李德建 (1980-), 男, 高级工, 从事超(特)高压运检工作。