

断路器选相分合闸技术 在扎鲁特换流站中应用实践研究

朱鹏飞, 屈延师, 汤会增, 余开伟
(国网河南省电力公司检修公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 论述了断路器选相分合闸技术原理,总结了采用此原理的 PSD 装置在扎鲁特换流站实践应用。通过对比分析不同型号交流滤波器的三相相位产生时间的离散性,推论出不同型号的小组交流滤波器对选相合闸装置过零点的影响,最后通过录波图验证这种推论的正确性,为其他工程采用该装置提供应用参考。

关键词: 选相合闸; 电压过零; 预击穿

中图分类号: TM561 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0056-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.013

Practice Research on Controlled Switching Technology for Circuit-breakers in Zhalute Converter Station

Zhu Pengfei, Qu Yanshi, Tang Huizeng, Yu Kaiwei
(State Grid Henan Maintenance Company, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: The theory of controlled switching technology is discussed and the practice results of PSD in Zhalute converter station are summarized. By analyzing and comparing the discreteness of closing time of circuit-breakers, the influence on zero crossing of phase voltage in different AC filters (ACF) is deduced. Finally, the correctness of deduction is verified by waveform, which can provide application reference for other projects with the proposed device.

Key words: controlled switching; zero crossing of phase voltage; pre-strike

换流站配置的交流滤波器组在合闸瞬间可能会产生数倍于正常工作电流的合闸涌流,其大小与合闸瞬间的电压相位有关。之前的解决方案之一是在断路器的触头并联一个合闸电阻以限制暂态冲击,但是在合闸之前先接入电阻再进行合闸,从设备制造成本及后期维护角度来讲,存在一定局限性。文献[1-3]均指出了加装合闸电阻的局限性以及取消合闸电阻的可能性。断路器选相分合闸技术(controlled switching, CS)通过一定手段使断路器动、静触头在系统电压波形的指定相角处分合,使电力设备在对自身和系统冲击最小的情况下投切入电力系统。目前该技术已广泛应用于 110 kV 及以上的滤波器组、电容器组、空载线路、空载变压器、电抗器等,换流站的小组交流滤波器投入时也普遍采用此技术。

下面论述了 CS 技术原理,分析 ±800 kV 扎鲁特换流站换相合闸装置在实践中的应用,通过对比分析不同型号交流滤波器的三相相位产生时间的离

散性,推论出不同型号的小组交流滤波器对选相合闸装置过零点的影响,最后通过录波图验证这种推论的正确性,为其他工程采用该装置提供应用参考。

1 CS 技术原理

断路器选相分合闸装置通过实时采集断路器带电侧母线 PT 电压,随机接受来自控制系统的三相合分闸命令,并在合适的电压处,经过适当的延时发出分相的分合闸命令。选相分合闸装置根据外部环境参数对断路器机构的动作特性影响进行补偿,并考虑到现场实际开合过程的燃弧和预击穿特性,使断路器总能在预定的电气相位进行实际分合,有效避免随机分合所造成的暂态过电压、过电流,从而减少对系统、设备的冲击^[4-7]。目前市场采用的成熟装置包括 ABB 的 CAT 系列、Switchsync 系列、西门子的 PSD 系列、国立智能 SID-3YL、南瑞 PCS-

9830 系列等产品。

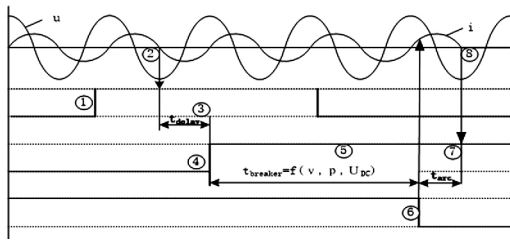


图1 断路器选相合闸过程

图1是西门子断路器选相分合闸装置 PSD 工作过程示意图^[8]。从图中可以看出:PSD 装置收到控制系统下发的分合闸指令后(对应图中①),通过采样测量断路器所连母线电压,在一定时间内(该时间定义为过零识别时间,大概在2个周波内)确定系统电压过零时刻(对应图中②),再经过一定的时间延时(对应图中③),该延时时间长短取决于控制回路电压补偿、环境温度补偿及静止时间补偿,补偿后得出相对精确的开关合闸时间,误差控制在0.5 ms 范围内)向断路器分合闸线圈下发分合指令(对应图中④),而后实现电压在近似过零点时对应断路器电流流动开始时刻(也即预放电开始电压开始时刻)合闸,此时合闸过程对系统冲击最小。图2为直接接地系统单相电容器组的原理图,其中C为电容器组总电容L为负载电感。

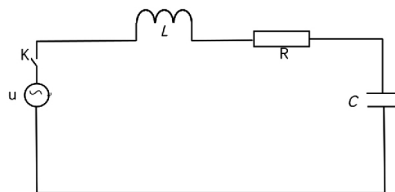


图2 电容器组选相合闸原理

在断路器动触头与静触头接触瞬间,系统中暂态过程的电路方程为

$$L \frac{di_3}{dt} + Ri_3 + \frac{1}{C} \int i_3 dt = U_m \sin(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

对式(1)计算微分运算可得:

$$\frac{d^2 i_3}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di_3}{dt} + \frac{1}{LC} i_3 = \frac{U_m \omega}{L} \cos(\omega t + \alpha) \quad (2)$$

求解式(2),可得

$$i_3 = e^{-\delta t} (C_1 \cos \sqrt{\varphi^2 - \delta^2} t + C_2 \sin \sqrt{\varphi^2 - \delta^2} t) + A \sin(\omega t + \alpha + \varphi) \quad (3)$$

式中:

$$A = \frac{U_m \omega}{L \sqrt{(\varphi^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \delta^2}}$$

$$C_1 = A \sin \varphi; \quad \delta = \frac{R}{2L};$$

$$\varphi = \arctg \frac{2\omega \delta}{\varphi^2 - \omega^2};$$

$$C_2 = -\frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 - \varphi^2}} A \sin \varphi - \frac{(2\delta^2 + \varphi^2)}{\omega} A \cos(\alpha + \varphi).$$

同理,当 $U_{c(0+)} = 0$ 时,可得到合闸瞬间的电压。

$$U_c(t) = U_m [\sin(\omega t + \alpha) - \sin \alpha \cos \varphi t - \frac{\omega}{\varphi} \cos \alpha \sin \omega t] \quad (4)$$

式中: α 为合闸时电源的初相角; U_m 为电源电压峰值。

由 i_3 及 $U_c(t)$ 计算可知,关合电容器组时,合闸涌流幅值与电压初相角有关,当在 $\alpha = 0$ 附近进行预放电,将会减小其暂态过程,合闸涌流也会大幅度减小,能够有效降低合闸涌流对设备及电力系统的影响。

下面对其他两相合闸过程进行分析。图3是向直接接地的电容器组合闸充电过程示意图。

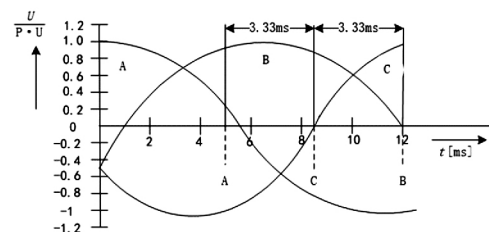


图3 直接接地电容器组选相合闸

从图中可以看出,电容器组直接接地系统合闸过零点选择相对简单:开关A相过零点后,C相过零点时刻与A相相差 $T/6$ (即3.33 ms);B相过零点时刻与A相相差 $T/3$ (即6.66 ms)。而在实际应用过程中,B相、C相过零点的选择不仅仅与A相的相位有关,同时和负载性质、负载接线方式等相关。容性负载合闸选择电压过零点,感性负载选择电流过零点,变压器合闸还需考虑剩磁的影响;当电容器组不接地时A相合闸后,C相合闸时需考虑到A相电压的影响,其零点选择理论上在A、C相电压叠加和为0处,B相零点选择在A、B、C相电压叠加和为0处,所需要的时间间隔相对而言会更长。图4是容性负载在不接地系统合闸示意图。

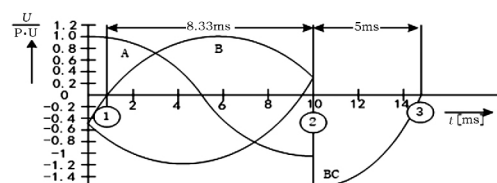


图4 不接地电容器组选相合闸

从图4中可以看出:B相过零点合闸后,C相合闸在B、C相电压叠加过零处,A相合闸在三相电压叠加过零处。

在换流站配置的交流滤波器组接线更为复杂,电容器组往往串联电抗器、电阻等负载来滤除谐波,合闸过零点的选择相对更为复杂。

2 PSD 在实践中的应用

±800 kV 特高压扎鲁特换流站配备了20组小组滤波器,共4种型号,包括SC、HP24/36、HP3、BP11/13,合闸时均采用PSD合闸同期装置,其接线如图5至图8所示。

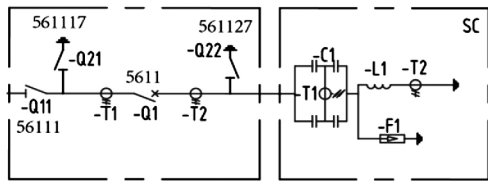


图5 SC主接线

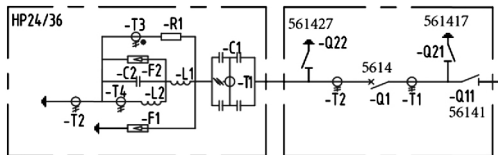


图6 HP24/36主接线

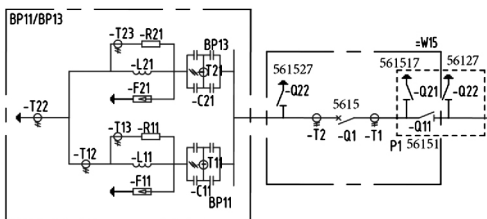


图7 BP11/13主接线

查看断路器合闸时的故障录波,扎鲁特换流站交流滤波器场断路器合闸次序均按照A相→C相→B相的次序进行,对其中3种接线方式下断路器三相相位产生间隔时间进行统计,如表1所示。表中,以A相产生合位的时刻为0时刻,分别统计10次C相与A相时间间隔 T_{C-A} 、B相与C相时间间隔 T_{B-C} 。

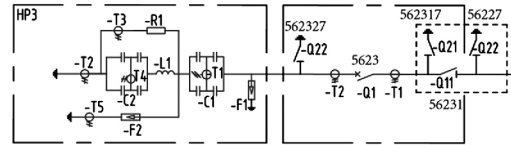


图8 HP3主接线

表1 断路器三相相位产生时间间隔统计 单位:ms

次数	HP3		BP11/13		HP24/36	
	T_{C-A}	T_{B-C}	T_{C-A}	T_{B-C}	T_{C-A}	T_{B-C}
1	4.2	1.3	4.4	5.5	3.0	3.0
2	3.9	0.5	3.9	5.8	2.6	2.5
3	4.7	1.0	4.1	4.4	1.9	2.3
4	3.7	0.7	4.7	5.6	1.7	2.3
5	4.5	0.4	3.4	5.3	2.1	2.0
6	2.9	1.4	3.9	6.3	2.3	1.9
7	4.2	1.3	4.7	5.6	2.0	3.2
8	4.7	1.2	4.9	4.9	1.7	2.8
9	4.1	1.1	4.6	4.1	1.8	2.5
10	4.1	1.3	4.4	6.2	2.2	2.6
均值	4.10	1.02	4.30	5.37	2.13	2.51

按照PSD装置说明书,在电容器组直接接地系统中:C相滞后于A相的合闸时间为3.33ms(角度相差 60°)、B相滞后于C相3.33ms(角度相差 60°)。排除断路器不同相位产生时刻的干扰因素,从表1中10次统计数据平均值可以看出:不同接线方式下PSD选相合闸装置计算电压过零点以及选相合闸时间有一定差异。为验证此结论,查看了全部调试期间PSD装置内开关合闸录波,截图如图9所示。

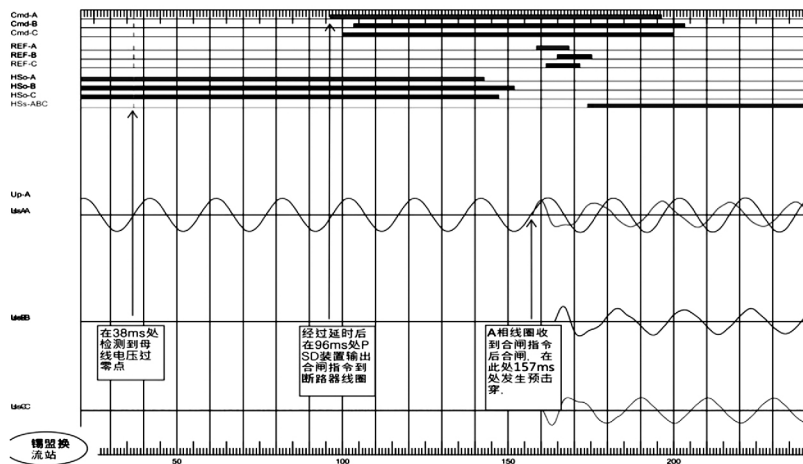


图9 选相合闸过程录波

(下转第79页)

试验电压,认为耐压试验通过。然而从本次耐压试验结果以及C相盆式绝缘子表面已有放电痕迹仍在运行电压下正常运行的情况来看,建议GIS耐压试验时一旦发生放电击穿就应该开罐检查确认放电点及放电原因。

4) 根据220 kV室内变电站典型设计方案,该站220 kV GIS主变压器进线分支母线从4楼GIS室至1楼主变压器室设计为一个气室,气室长20 m左右且三相气室连通,主变压器室内GIS分支母线和套管安装高度12 m左右且无检修通道,在发生故障时施工难度极大、故障影响范围大,建议在今后的新建变电站中避免采用此类设计。

参考文献

[1] 邱炜,刘石. GIS设备现场交流耐压试验放电故障定位与分析[J]. 四川电力技术 2016, 39(5):67-70.

[2] 刘石,蒋鹏,彭晨光,等. 一起1100 kV GIS盆式绝缘子击穿故障分析[J]. 浙江电力 2016, 35(10):36-39.

(上接第58页)

从图9中可以分析出:断路器A相在PSD装置接收到合闸命令38 ms后,检测到交流母线A相电压过零点,而后再延时96 ms PSD装置向断路器合闸线圈开出高电平,经过157 ms发生预击穿。对带电调试期间PSD装置选相合闸录波中发生预击穿时与电压过零点角度偏差进行统计,数据取30次断路器合闸时角度偏移的平均值,如表2所示。

表2 断路器预击穿时刻与电压过零点角度

型号	A相/(°)	B相/(°)	C相/(°)
HP3	7.60	12.60	11.00
BP11/13	9.90	10.95	10.50
BP24/36	14.25	16.05	12.15

从表2中数据可以看出,不同类型的交流滤波器组合闸角度与母线电压过零点存在一定的偏差,偏差角度与交流滤波器的接线形式有一定的联系。

3 结 语

通过选相合闸装置PSD在扎鲁特换流站交流滤波器合闸中的应用分析,推论出不同型号交流滤波器在选相合闸过程中电压过零点的差异,并利用PSD装置内的录波图论证了推论的正确性。下一步将结合不同型号滤波器的参数及其接线形式,从原理上推导PSD选相合闸装置电压过零点的理论值。

[3] 林海丹,刘熊,梁义明,等. 绝缘材料沿面闪络发展特性的研究进展[J]. 绝缘材料 2015, 48(7):1-8.

[4] 孙秋芹,罗宸江,汪泓,等. 特高压GIS盆式绝缘子沿面闪络特性研究综述[J]. 高压电器 2018, 54(5):17-25.

[5] 李秀卫,王庆玉,毛惠卿,等. 一起组合电器内部绝缘故障综合分析[J]. 高压电器 2012, 48(8):99-102.

[6] 李超,陶蓉. 一起126 kV GIS设备故障后的检测实例分析[J]. 高压电器 2015, 51(1):145-149.

[7] 黄荣辉,张欣,秦逸帆,等. 雷电冲击下金属污染物对GIS中盆式绝缘子闪络特性的影响[J]. 高压电器, 2016, 52(4):111-116.

[8] 李庆民,王健,李伯涛,等. GIS/GIL中金属微粒污染问题研究进展[J]. 高电压技术 2016, 42(3):849-860.

[9] 严璋,朱德恒. 高电压绝缘技术[M]. 北京:中国电力出版社 2007:72-74.

作者简介:

邱炜(1985),工学硕士,高级工程师,主要从事变电设备检修、技术监督工作。

(收稿日期:2019-02-04)

参考文献

[1] 曾昭华,段世航,黄庆宜,等. 我国500 kV断路器取消合闸电阻的几个问题—兼评SD119-84的有关规定[J]. 电力技术,1990(4):2-6.

[2] 杨帆,宋天奇,张雪波,等. ±800 kV 侨乡换流站500 kV交流滤波器小组断路器选相合闸问题分析[J]. 南方电网技术 2014, 8(6):34-38.

[3] 杨广羽,李锋涛,刘高峰,等. 高压直流输电工程分合闸选相装置的工作原理及应用情况[J]. 电力系统保护与控制 2010, 38(16):34-36.

[4] 范兴明,葛琳,张鑫,等. 基于选相合闸技术的变压器励磁涌流的仿真分析[J]. 高压电器 2014, 50(2):54-59.

[5] 班连庚,郑彬,周佩朋,等. 特高压交流变压器选相合闸技术研究及工程应用[J]. 电网技术 2018, 42(4):1226-1233.

[6] 张俊,李腾亮,李军. 选相合闸装置对直流输电控制系统的影响[J]. 电气应用 2014(24):106-109.

[7] 涂彩琪,吴水锋. 开关设备选相分合闸技术应用研究[J]. 湖北电力 2015, 39(2):29-31.

[8] 西门子(杭州)高压开关有限公司. PSD02 控制单元操作说明书[Z].

作者简介:

朱鹏飞(1981) 硕士,工程师,从事特高压交直流系统及新型大容量调相机运维分析研究工作。

(收稿日期:2019-01-08)