

真空断路器投切并联电抗器过电压故障分析

吉亚民¹, 周志成², 马勇², 秦延山¹, 谢天喜²

(1.江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102; 2.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

摘要:文中以某220 kV变电站20 kV系统侧由真空断路器开断并联电抗器过电压引发的事故进行了分析。基于电路理论阐述了真空断路器投切并联电抗器过程中的截流、复燃、多次重燃过电压产生的机理,运用PSCAD建立了20 kV系统电磁暂态仿真模型,对不同截流值、不同并联电容下系统母线侧与电抗器侧的过电压进行了计算。结果表明常规氧化锌避雷器只能限制过电压幅值,不能改变频率和陡度,且现有避雷器均为相对地避雷器,不能有效地抑制相间过电压;电抗器两端加装并联电容器(或阻容吸收装置)可降低过电压幅值和陡度,能较好地抑制真空断路器投切电抗器过电压。

关键词:真空断路器; 并联电抗器; 过电压; 截流; 重燃; 并联电容器

中图分类号: TM561.2; TM866

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0012-03

随着城市电网中110 kV和220 kV电压等级长电缆输电线路的广泛应用,需要在主变低压侧使用并联电抗器对线路的容性无功进行补偿以控制线路末端电压。目前,10 kV和20 kV并联电抗器均采用真空断路器,而35 kV并联电抗器的投切则通常采用SF₆断路器,少量使用真空断路器。真空断路器具有结构简单、灭弧能力强、可频繁操作、维护方便、安全可靠等优点,但是在利用其切除电抗器时却极易因截流、重燃而产生很高的操作过电压,对设备的安全稳定运行造成严重威胁^[1,2]。近年来,多次发生真空断路器投切并联电抗器操作过电压导致所用变、母联开关闪络等故障^[3,4]。

1 故障实例

2012年5月1日08:10,某220 kV变电站20 kV 1号接地变104开关、2号主变变三侧分支—102开关故障跳闸。接地变保护装置过流保护、零序过流保护均动作出口跳开104开关,故障电流约为318 A;2号主变后备保护装置低压分支—复压闭锁过流II段动作出口跳开102开关,故障电流约为16 000 A;101开关无保护动作跳闸,跳闸时一次电流为1000 A左右。故障发生时的系统接线图如图1所示。

在20 kV设备区内检查发现,开关室内有浓烟冒出。发现母联A10开关柜烧毁,柜内保护装置烧毁严重,柜体已变形无法拉出,相邻A101隔离开关也无法拉出,打开A10开关柜后网门发现开关A相与母线间有明显放电灼烧痕迹。经现场分析,故障原因为切除6号电抗器时,在电抗器两端产生较高幅值过电压,开关发生重燃后,母线上也出现较高过电压引起20 kV母联A10开关发生故障。另外某变电站35 kV电抗器采用的真空开关,在切除该电抗器时,多次发

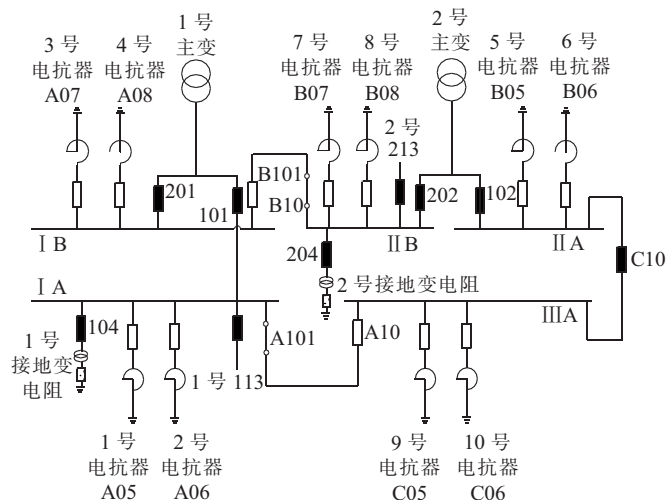


图1 变电站20 kV侧主接线运行方式

生接在母线上的站用变相间放电故障。现场实测过电压较高,超出了设备绝缘水平,且避雷器未起到防护作用。后来将真空断路器更换为SF₆断路器,运行正常。

2 真空断路器投切电抗器过电压分析

真空断路器切除电抗器操作过电压主要有截流过电压、复燃过电压和重燃过电压等^[5,6]。

2.1 截流过电压

真空断路器在开断电抗器时,因真空断路器的灭弧能力强,会使电流强迫过零而产生截流。并联电抗器等回路以电容、电感为主,这种回路的电压电流是不能突变的,截流必然引起剧烈的电磁振荡。忽略阻尼作用,根据能量守恒定律可推导出单相电抗器截流过电压的估计值:

$$\frac{1}{2}CU_0^2 + \frac{1}{2}LI_{ch}^2 = \frac{1}{2}CU_m^2 \quad (1)$$

式(1)中: L 为电抗器电感量; I_{ch} 为截流幅值; C 为电抗器绕组对铁心、电缆等对地的等效电容; U_m 为等效电容

上的电压最大值; U_0 为等效电容上的初始电压。

$$U_m = \sqrt{\frac{L}{C} I_{ch}^2 + U_0^2} \quad (2)$$

振荡频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

由式(2,3)可以看出真空断路器截流值越高、杂散电容越小,截流过电压越高。三相系统的截流过电压更为复杂,但其原理基本相同。

2.2 复燃过电压

断路器在开断时,如果被开断的负荷侧暂态恢复电压及其上升率高于断口绝缘强度的恢复能力和恢复速度,电弧就会在瞬间将断口击穿,产生复燃,并在复燃相上产生复燃过电压,在其他相上产生感应过电压,随后高频暂态电流出现过零点,断口再次灭弧,再次截流。如果被开断的负荷侧暂态恢复电压及其上升率仍然高于断口绝缘强度的恢复能力和恢复速度,就会再次重复“击穿—灭弧”的过程,直到断口的绝缘强度足够大,不再产生复燃。在真空断路器开断并联电抗器时,其暂态恢复电压主要由截流引起,因此截流过电压的频率直接体现了暂态恢复电压上升率;很高的频率导致很高的暂态恢复电压上升率,很高的暂态恢复电压和暂态恢复电压上升率导致很高的复燃几率。

2.3 重燃过电压

一般情况下真空断路器的重燃是由于灭弧室制造时没有进行老炼造成的,在真空灭弧室采取老炼措施后,真空断路器的重燃几率很低。重燃和多次重燃的过电压产生过程与复燃的过程类似,多次重燃的过电压水平也是很高的。真空断路器在开断电抗器时,因真空断路器的灭弧能力强,会使电流强迫过0而产生截流,由截流产生较高的过电压可能使触头重燃,从而会有更高的过电压出现,必须采取过电压保护措施。在几次故障中,系统均安装了避雷器,但未起到防护效果。常规氧化锌避雷器只能限制过电压幅值,不能改变频率和陡度,也不能保护相间绝缘。为了抑制过电压,可考虑加装并联电容器(或阻容吸收装置),降低过电压幅度,也可降低过电压的频率。

3 建模计算

以该变电站 20 kV 侧主接线运行方式(如图 1 所示)为背景进行建模。电抗器每相电抗为 0.318 H, 20 kV 码唐 2 号为一段 1 km 的电缆线路,假定 6 号电抗器的断路器 A 相发生截流, B 相、C 相电流过 0 关断,对截流过电压进行仿真计算。母线及系统其他杂散电容考虑 2000 pF, 电源、主变、接地变等采用典型参数。

当假设母线上只有 6 号电抗器投入运行,在 6 号电抗器并联 1 组电容器,每组电容分别为 0.3 μ F、0.5

μ F、1 μ F、2 μ F 和 3 μ F。当切除 6 号电抗器时,计算 5 A 截流值下 20 kV 的过电压水平。母线上过电压计算结果如图 2、图 3 所示。

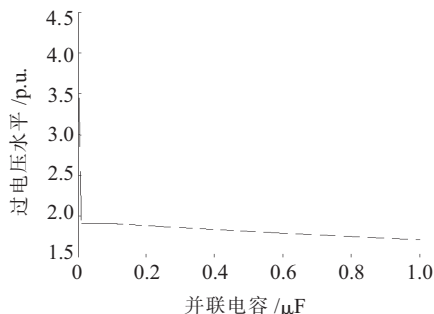
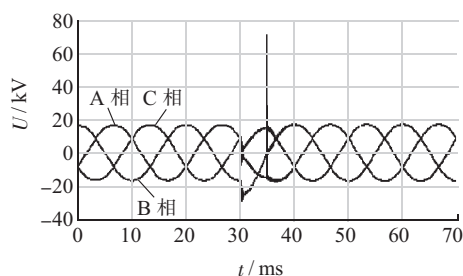
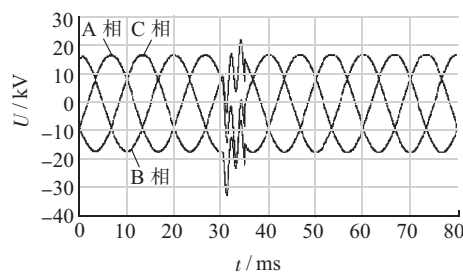


图 2 不同并联电容值下的母线过电压水平



(a) 母线的过电压波形(未并联电容器)



(b) 母线的过电压波形(并联电容器 0.3 μ F)

图 3 母线的过电压典型波形

由图 2 计算结果可知:并联电容后可明显降低母线的截流过电压水平,并联电容越大,过电压水平越低,加装电容器后,过电压水平处在 2.0 p.u. 以内;并联电容分别为 0.1 μ F、0.2 μ F、0.3 μ F、0.5 μ F、1 μ F、2 μ F 和 3 μ F 时,过电压水平分别降低 53.16%、53.81%、54.45%、55.53%、58.10%、62.42% 和 65.92%。电容值在 0.3 μ F 之后,过电压的降低程度不明显。电抗器侧的过电压水平如图 4、图 5 所示。

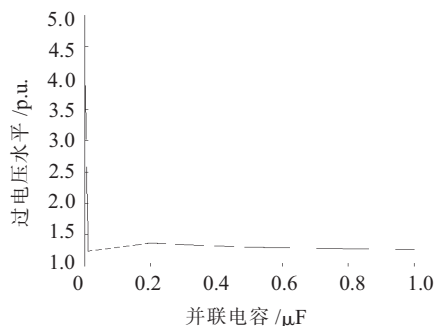
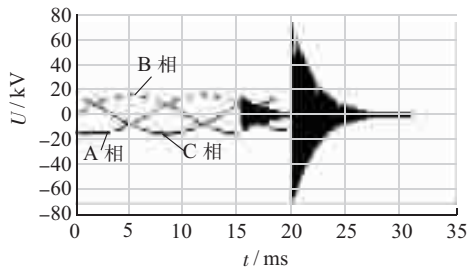
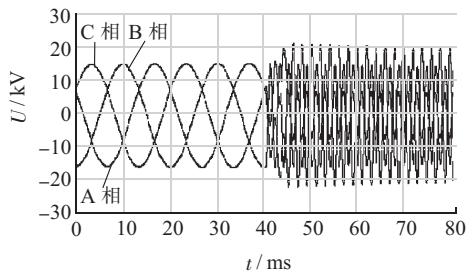


图 4 不同并联电容值下电抗器过电压水平



(a) 电抗器的电压波形(未并联电容器组)



(b) 电抗器电压波形(并联电容器 0.3 μF)

图5 电抗器的过电压典型波形

由图4计算结果可知:电抗器上并联电容器组后,电抗器的过电压水平明显降低,电容大于0.1 μF时,电抗器上过电压水平在1.4 p.u.以内。

4 结束语

(1) 真空断路器在开断并联电抗器时,因真空断路器的灭弧能力强,会使电流强迫过0而产生截流,由截流产生较高的过电压可能使触头重燃,从而会有更高的过电压出现。所以对于35 kV并联电抗器应采用SF₆断路器,而目前10 kV和20 kV开关柜均采用真空断路器,必须采取过电压抑制措施。

(2) 常规氧化锌避雷器只能限制过电压幅值,不能改变频率和陡度,不能保护相间绝缘。从故障现象和现场实测结果看,断路器在开断并联电抗器时相间过电压较高,导致设备相间故障。

(3) 为了抑制过电压,可考虑加装并联电容器(或阻容吸收装置),降低过电压幅度,也可降低过电压的频率。并可加装相间避雷器,进一步抑制相间过电压。并联电容器(或阻容吸收装置)和避雷器的参数,应根据系统情况计算确定。

(4) 真空断路器截流是其开断并联电抗器产生过电压的主要原因,本文建模计算5 A截流值下的过电压水平,如果截流值超过5 A,过电压还将大幅升高。真空断路器制造厂应采取措施,降低截流值。

参考文献:

- [1] 杜宁,关永刚,张景升,等. 40.5 kV真空断路器开断并联电抗器的现场试验[J]. 清华大学学报,2010,50(4):517-520.
- [2] 安昌萍,司马文霞,廖瑞金,等. 35 kV真空断路器开断空载变压器时过电压的研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(8):32-40.
- [3] 时燕新. 真空断路器投切并联电抗器过电压实例研究[J]. 华北电力技术,2005(6):2-5.
- [4] 陈西庚. 断路器切合并联电抗器爆炸原因分析[J]. 电力建设,2003,24(5):10-14.
- [5] 刘伟,孟庆刚,商姣,等. 一种新型级联多电平动态电压恢复器的研究[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):27-31.
- [6] 顾在峰,黄宇保,王峰. 10 kV真空负荷开关操动机构故障分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):23-24.

作者简介:

吉亚民(1972),男,江苏盐城人,高级工程师,从事电力系统过电压方面的研究工作;

周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事电力系统过电压及输电线路运行及维护等方面的研究工作;

马勇(1986),男,湖北襄阳人,助理工程师,从事过电压防护方面研究工作;

秦延山(1987),男,江苏南通人,助理工程师,从事电力系统过电压方面的研究工作;

谢天喜(1983),男,湖北天门人,博士,从事电力设备结构优化及电力系统过电压方面研究工作。

Analysis of Over-voltage Caused by Vacuum-breaker Switching on/off Shunt Connected Reactance

Ji Yamin¹, ZHOU Zhicheng², MA Yong², QIN Yanshan¹, XIE Tianxi²

(1. Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing, 211103, China)

Abstract: This paper studies a failure caused by a 20 kV vacuum-breaker¹ shunt connected reactor over-voltage in a 220 kV substation. Based on circuit theories, the mechanism of over-voltage in the process of vacuum-breaker switching on/off its shunt connected reactor is interpreted. Through building the electromagnetic transient model of a 20 kV power system in PSCAD environment, the over-voltages at bus side and reactor side with different shunt connected capacitors are calculated. It shows that a regular lightning arrester can only restrict the magnitude of over-voltage, and has no impact on its frequency and gradient; existing lightning arresters are ground-based, which is ineffective for restricting phase-to-phase over-voltage; and a reactor with shunt connected capacitor can both reduce the magnitude and gradient of over-voltage, which is effective to restrict the over-voltage in the process of vacuum-breaker switching on/off its shunt connected reactor.

Key words: Vacuum-breaker; Shunt connected reactor; Over-voltage; Shunt connected capacitor