

# 一种新的 TSC 静止无功补偿装置保护方案

刘楠,王云昊,吴杰

(国网天津市电力公司,天津 300110)

**摘要:** 静止无功补偿器对维持系统稳定运行有重要作用。提出了一种针对桥型电容器接法的无功补偿装置保护方案,新的保护方案不仅仅对简单的电容器故障有效,而且对桥臂同侧电容器同时击穿故障也起到保护作用。基于 PSCAD/EMTDC 仿真结果验证了结论的正确性。

**关键词:** 静止无功补偿装置; 过流保护; 晶闸管投切电容器; 平衡电流

**Abstract:** The static var compensator plays a key role in keeping the stable operation of power system. A novel protection method for capacitor with bridge connection is proposed. This novel method does not only work for simple capacitor fault, but also for the simultaneous breakdown fault of the capacitors located in the same side of the bridge. The simulation results based on PSCAD/EMTDC prove the conclusion to be correct.

**Key words:** static var compensation (SVC); overcurrent protection; thyristor switched compensator (TSC); balanced current

中图分类号: TM531 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)06-0051-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.06.012

## 0 引言

全球能源互联网力求解决全球环境问题,需要在全球范围内合理分布清洁能源,因此需要特高压技术在洲际之间传输清洁能源。为了维持系统的稳定运行,特高压技术需要大量的无功补偿装置维持系统电压的稳定。

传统的无功补偿方法是利用机械开关对电力电容器进行投切以实现无功补偿目的,但传统的补偿方法不能实现无功功率的动态调节,可能会影响系统的稳定运行,因此,静止无功补偿装置应运而生<sup>[1-2]</sup>。

静止无功补偿装置 (static var compensator, SVC) 反应快速,补偿效果好,主要有晶闸管控制电抗器型 (thyristor control reactor, TCR)、晶闸管投切电容器型 (thyristor switched compensator, TSC) 以及两者的混合装置<sup>[10]</sup>。静止无功补偿装置对维护系统的无功需求,保持系统电压稳定具有重要意义,因此确保无功补偿装置的安全稳定运行至关重要。

SVC 装置中含有大量的电抗器与电容器等装置,对于电抗器可以通过电流差动保护实现保护的目的。但电容器故障形式较为复杂,同时连接方式也不尽相同,因此对电容器的保护尤为重要<sup>[3-9]</sup>。

针对 TSC 中桥型接线的电容器组的保护展开研究,提出了一种新的过电流保护方案。新的保护方案不仅仅利用桥臂中心平衡电流的变化,也对同侧桥臂同时被击穿的故障提出了解决措施。利用 PSCAD/EMTDC 搭建的仿真模型验证了新保护方案的正确性。

结构主要包括 3 部分: 1) 主要介绍了 SVC 的具体结构以及简单的保护配置; 2) 针对桥型电容器组接线提出了新的过电流保护方案; 3) 利用 PSCAD 仿真验证了结论的正确性。

## 1 静止无功补偿装置结构分析

图 1 给出了静止无功补偿装置 (SVC) 简单的系统示意图。静止无功补偿装置主要依靠晶闸管控制来实现对系统无功补偿,最终实现电压稳定的目的。考虑到高电压等级的晶闸管造价很高,因此静止无功补偿装置一般需要通过一个降压变压器与系统相连<sup>[10]</sup>。当与晶闸管相连接的元件为电感时,此时 SVC 为晶闸管控制电抗器型 (TCR); 如果是电容,则 SVC 为晶闸管投切电容器型 (TSC)。

现阶段,工程中一般混合使用 TCR 和 TSC 两种补偿装置<sup>[1]</sup>。图 2 给出了 SVC 典型的无功补偿装置配置图。显然,要实现 SVC 的保护配置,就要

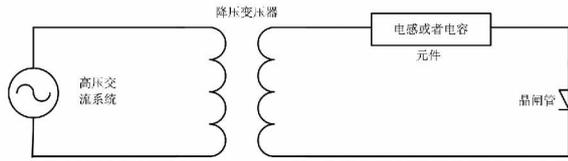


图 1 静止无功补偿装置简单系统图

求对 SVC 每个器件都实现保护。通过图 2 可以看出,TCR 以电抗器为主,基于电流差动保护就可以很好地实现保护目的,对 TSC 中的电抗器也是一样的。但 TSC 中有电容器组( $C_1 \sim C_4$ ),并且构成了双桥臂形式;如果其中某一个电容器出现故障,比如被击穿,此时电流  $I$  和  $I_2$  仍然相同,利用电流差动保护不能起到任何的保护作用。因此针对桥型电容器接线方式提出了一种新的过电流保护方案,从而实现对 SVC 的全面保护目的。

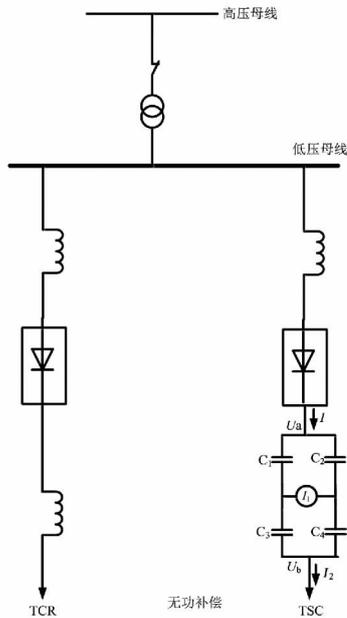


图 2 典型静止无功补偿器配置图

## 2 一种新的过电流保护方案

### 2.1 保护原理的研究

通过图 2 可以看出,如果电容器组稳定运行,此时流过桥臂间的电流幅值为 0;如果任何一个桥臂或者同旁桥臂发生了击穿等故障,如  $C_1$ 、 $C_3$  或者  $C_2$ 、 $C_4$  同时故障,此时桥臂不再平衡,电流  $I_1$  的幅值将会增大,因此依靠电流  $I_1$  的幅值可以识别大部分电容器内部故障。但如果同侧桥臂同时发生击穿等故障,此时对于电流  $I_1$  而言,桥臂仍然平衡,如  $C_1$

与  $C_2$  同时被击穿,电流  $I_1$  仍然为 0。因此仅仅依靠电流  $I_1$  是不能完全识别电容器组故障。

假设  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$ ,则存在电流  $I$  的幅值为

$$I = \omega C (U_a - U_b) \quad (1)$$

式中: $\omega = 2\pi f$ ,表示系统角频率  $f$  为系统频率。

当同一侧桥臂同时发生击穿故障时,存在

$$I' = 2\omega C (U_a - U_b) \quad (2)$$

当同侧桥臂同时被击穿时,电压  $U_a$ 、 $U_b$  会同时降低,但差值  $(U_a - U_b)$  不会变化太大。显然同一侧电容器击穿时,电流  $I$  的幅值会大约增加 1 倍,此特征可以作为识别同一侧电容器是否同时被击穿。显然,如果 4 个电容器同时被击穿,此时存在  $U_a = U_b$  的显著特征变化,但此种情形一般不常见,在此不做讨论。

### 2.2 新的保护逻辑方案提出

通过 2.1 节的分析可以得出如下结论:

1) 如果电流  $I_1$  由 0 突然增大,则表示电容器组肯定存在故障,要及时隔离 SVC,重新对 SVC 的器件进行检查或更换;

2) 如果电流  $I_1$  幅值保持为 0,并且电流  $I$  幅值不变,则表示电容器组并无故障;如果电流  $I$  幅值增加,则表示同侧桥臂的电容器同时击穿,需要迅速隔离 SVC,重新对 SVC 器件进行检查或更换。

图 3 给出了具体的保护逻辑框图,其中  $\varepsilon$  和  $\varepsilon_1$  分别表示 2 个阈值, $\Delta I$ 、 $\Delta I_1$  表示电流  $I$  和  $I_1$  幅值的变化。其中由于正常运行时  $\Delta I \approx 0$ ,因此  $\varepsilon$  可取较低的数值;由于  $\Delta I_1$  在同侧电容器同时击穿时可达正常电流  $I$  的 2 倍,同时为了避免其他因素的影响,因此  $\varepsilon_1$  可取一个相对较大的数值。

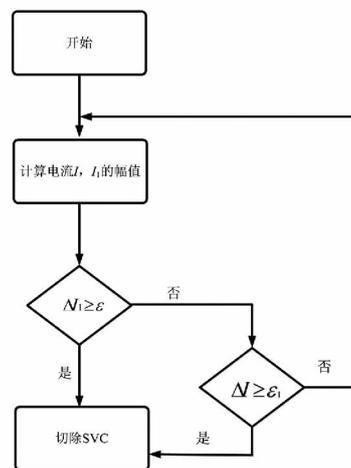


图 3 保护逻辑框图

### 3 仿真算例

基于 PSCAD/EMTDC 搭建了如图 2 所示的 TSC 模型,其中低压母线电压为 20 kV,电感  $L = 0.02$  H,电容  $C = 0.01$   $\mu$ F,故障时刻为 0.5 s。

#### 3.1 $C_1$ 被击穿仿真算例

图 4 给出了电容器  $C_1$  被击穿时电流  $I_1$  的变化曲线。通过图 4 可以看出,在电容器组稳定运行时,电流  $I_1$  幅值几乎为 0。当  $C_1$  被击穿时,不平衡电流显著增大,根据保护逻辑,需要及时将 SVC 切除,对损坏的电容器进行更换。

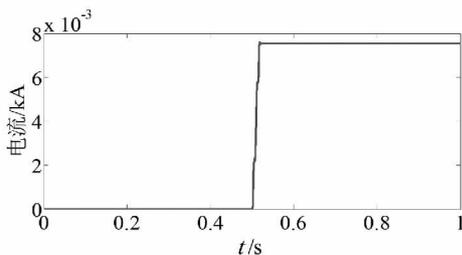


图 4  $C_1$  被击穿仿真结果

#### 3.2 $C_1$ 、 $C_2$ 同时被击穿仿真算例

图 5 给出了同侧桥臂  $C_1$ 、 $C_2$  同时被击穿时电流  $I_1$  和  $I$  的变化曲线。通过图 5 可以看出,虽然电流  $I_1$  一直为 0,但电流  $I$  在 0.5 s 时几乎增加了 1 倍左右,显然根据新的保护逻辑,电容器组发生了故障,需要及时将 SVC 与电网隔离,对器件进行检查与更换。

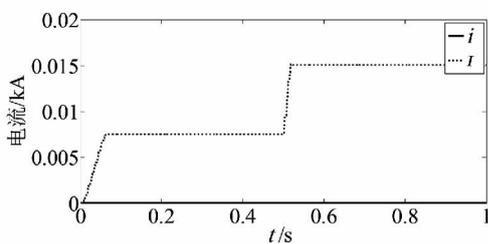


图 5  $C_1$ 、 $C_2$  同时被击穿仿真结果

### 4 结论

针对 SVC 的保护问题进行了详细的研究,并提出了一种新的过电流保护方案:电流  $I_1$  出现了不平衡电流,则表示 TSC 发生了故障; $I_1$  电流为 0,但如

果电流  $I$  幅值增加,表示同一侧桥臂同时发生故障,同样需要将 TSC 与电网隔离。新的过流保护方案较为简单,具有较好的工程应用价值。

#### 参考文献

- [1] 陈珩. 电力系统稳态分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 李勇刚, 王晓梅, 李鹏, 等. 基于逆变调压型双向动态无功补偿装置研究 [J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(2): 17-21.
- [3] 韦德重, 童钰. 一起串联补偿电容器故障原因分析及防范措施 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2014, 35(4): 70-77.
- [4] 刘冰, 郝力强. 一起并联电容器的故障分析及应对措施 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2014, 35(5): 81-85.
- [5] 潘臻, 安立. 一起 35 kV 并联电容器组事故爆炸原因分析 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(3): 17-20.
- [6] 王智勇, 肖锋, 赵晓峰, 等. 特高压站低压侧保护设备大电流闭锁方案设计 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38(7): 123-126.
- [7] 郭乾晋, 杨光源, 张楠, 等. 高肇直流工程直流滤波器 C1 不平衡保护分析及改进措施 [J]. 水电能源科学, 2015, 33(12): 181-184.
- [8] 逍遥, 张晋寅, 黎建平, 等. H 型接线高压滤波器电容器组不平衡电流保护判据及定值 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(18): 120-128.
- [9] 张建军, 孙红华, 王钰, 等. 高压并联电容器组保护装置及整定值问题探讨 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2014, 35(6): 42-46.
- [10] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke. Power System Relaying [M]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008: 225-240.

#### 作者简介:

刘楠(1982), 硕士、工程师, 主要从事电网电力调度、监控运行等工作;

王云昊(1986), 硕士、工程师, 主要从事电网调度运行等工作;

吴杰(1981), 硕士、工程师, 主要从事电网调度运行等工作。

(收稿日期: 2016-06-11)