

低压无功补偿用复合开关故障分析

陈国旗, 周 科

(平谷供电公司, 北京 平谷 101200)

摘要: 该文介绍了低压无功补偿复合开关的工作原理, 分析了造成复合开关损坏的原因, 提出解决方法。

关键词: 复合开关; 晶闸管; 触发脉冲; 单调谐补偿; 谐波MATLAB

中图分类号: T912

文献标志码: B

文章编号: 1003-0867(2011)02-0059-02

低压复合开关(Combination Switch Capacitor, 以下简称CSC)的基本工作原理是在电路中采用晶闸管和磁保持继电器组合, 使得复合开关在接通和断开的瞬间具有可控硅过零投切, 所以投切电容器的运行过程几乎不产生浪涌电流和操作过电压, 从而有效降低电容器接入瞬间对电网的冲击电流, 并且磁保持继电器在稳态运行期间不消耗电能, 在正常接通期间又具有接触器无功率损耗的特点。基于以上优点, 使得CSC在低压无功补偿系统中应用日益广泛。但是, 平谷供电公司所使用的CSC, 在实际运行过程中发生晶闸管击穿而爆炸的严重事故。经解体发现, 一旦其内部的晶闸管击穿, 就会造成电容某相或三相长期通电, 且晶闸管由于过热而爆炸, 从而造成一系列不良后果。

为解决晶闸管击穿的问题, 笔者通过对CSC进行实验并对其内部结构进行分析, 发现这类CSC的开关分断遵循以下过程: 晶闸管导通→磁保持继电器吸合→晶闸管关断的开关合闸过程和晶闸管再吸合→磁保持继电器关断→晶闸管关断。总之, 晶闸管处于瞬时运行状态, 磁保持继电器处于稳态运行状态。如果晶闸管击穿, 就会破坏该原则使CSC失效。因此要使CSC正常运行必须确保晶闸管不发生击穿。该文探讨CSC的晶闸管触发开通和关断的过程, 并提出一种新的控制方法。

1 晶闸管的触发关断分析

对CSC的电路用MATLAB来仿真工作过程, 仿真电路如图1所示。THY1为A相的反并接可控硅, THY2为C相的反并接可控硅, B1、B2为磁保持继电器, T1为变压器, C为电力电容器。TH为谐波检测器, PGA、PGC为基准触发脉冲(用于观察), PG1+/PG1-和PG2+/PG2-为A、C相触发脉冲, PG1+对应PGA, PG2+对应PGC。分闸时晶闸管分三种情况。

1.1 电网无背景谐波

施加同步触发脉冲使THY导通, 延时2~3周波随机关断触发脉冲, 得到图2波形。以下每幅图用粗黑线从上到下分为4行, 图中第1、4行分别为PGA、PGC基准脉冲(含PG1+, PG2+), 方波为50 Hz参考同步脉冲, 矩形

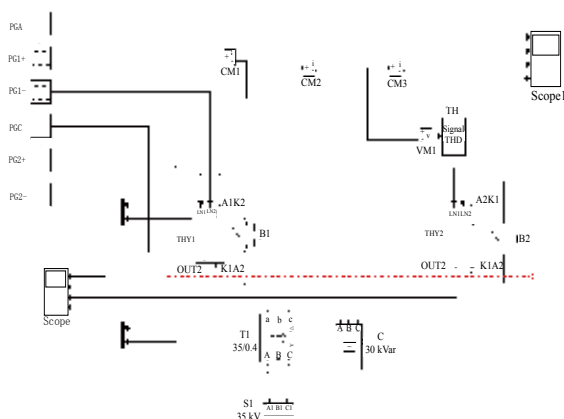


图1 CSC触发仿真电路

为同步高频脉冲。第2行为A相晶闸管阳极和阴极之间的电压及电流波形, 第3行为C相晶闸管阳极和阴极之间的电压及电流波形。第2、3行曲线分别为晶闸管两端电压、电流波形。图2中横坐标为时间(单位: S), 纵坐标为电压、电流值(单位: V或A)。导通期间电流为电容额定电流43 A, 在图中显示几乎接近零。关断时A、C相晶闸管阳极和阴极之间的电压不超过1200 V。

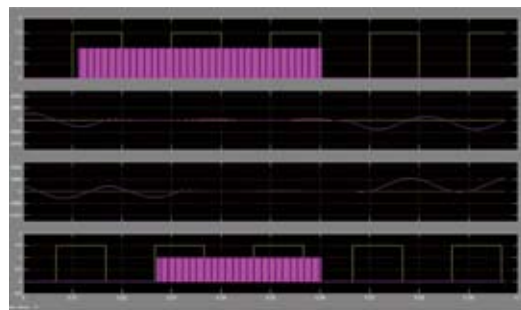


图2 电网无背景谐波时A、C相晶闸管两端承受电压电流录波图

1.2 电网背景谐波 U_{THD} 为3%

施加同步触发脉冲使THY导通, 延时2~3周波随机关断触发脉冲, 得到图3波形。可见, 导通期间电流超出电容额定电流, 关断时C相晶闸管阳极和阴极之间的电压接近2000 V。

1.3 电网背景谐波 U_{THD} 为7%

施加同步触发脉冲使THY导通, 延时2~3周波随机关断触发脉冲, 得到图4波形。可见, 导通期间电流超出

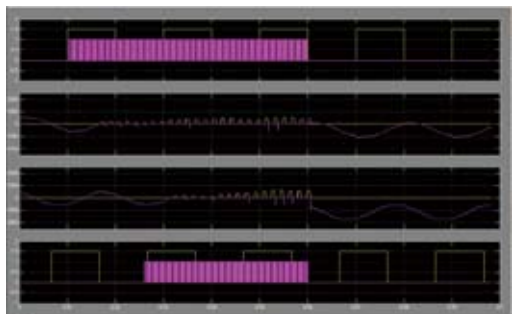


图3 电网背景谐波 U_{THD} 为3%时A、C相晶闸管两端承受电压电流录波图

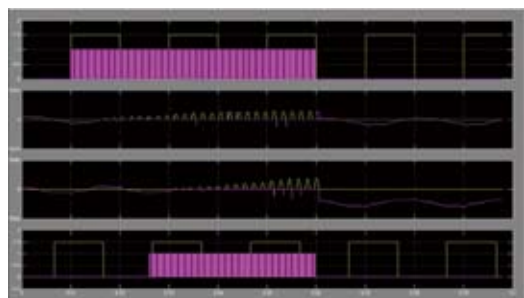


图4 电网背景谐波 U_{THD} 为7%时A、C相晶闸管两端承受电压电流录波图

电容额定电流，关断时C相晶闸管阳极和阴极之间的电压大于2500 V。

通过上面的仿真，可以得出这样的结论：在电网无谐波的环境下，CSC运行可靠，通常使用阻断电压为1600 V的晶闸管不会发生击穿。当电网存在背景谐波电压（通常如此），且 U_{THD} 为3%（国标允许内）时，必须使用阻断电压大于2000 V的晶闸管；而当 U_{THD} 为7%时，必须使用阻断电压大于2600 V的晶闸管。

然而，CSC采用塑封式晶闸管的阻断电压通常只有1600~1800 V，特殊的也不大于2200 V。因此单纯依靠提高晶闸管的阻断电压不切实际，这就是目前使用的CSC容易损坏的原因。

2 解决方法

由于晶闸管的关断是当该晶闸管的电流小于其维持电流时自行关断。在无谐波条件下，流经晶闸管的电流只是工频电流，因此无论触发脉冲处于何时关断（随机关断），只要某时刻该工频电流瞬时值小于晶闸管的维持电流即关断，而晶闸管的维持电流仅为数百毫安，可视为电流过零关断，这时施加于晶闸管两端的电压从零升到2倍电网电压的峰值，当电网电压为440 V时，晶闸管两端的电压也只有1244 V。

而在电网有背景谐波的环境下，情况就变得十分复杂。有背景谐波电压的仿真给出了晶闸管导通时电容电流超出了额定电流，其频率也不仅是基波频率而是含谐

波频率，谐波电流瞬时分量接近或大于基波分量，这表明谐波电流得到放大。随机的关断触发脉冲使晶闸管关断，虽然关断时电流小于维持电流，然而关断时晶闸管两极电压并非从零开始升到2倍电网电压的峰值，而是从 $U_X +$ 或 $U_X -$ 开始升到2倍电网电压的峰值，即 $|U_X| + |2 \times 1.414 \times U_N|$ ， U_X 为不定值，与谐波电流有关。因此，需采用其它方法来抑制 U_X 。

2.1 采用单调谐补偿方式

当电容串接电抗时，情况会得到很大的改变。在上述仿真电路中电容器串接6%的电抗，且运行在3%电压谐波

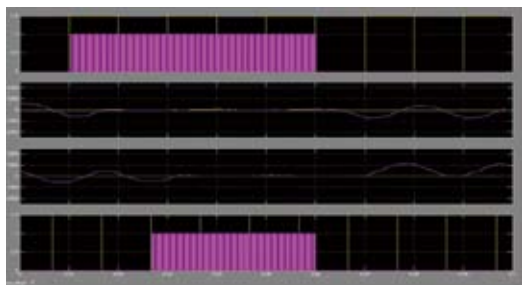


图5 U_{THD} 为3%，6%电抗时A、C相晶闸管两端承受电压电流录波图

背景下，得到图5波形。

可见，关断时晶闸管两极电压与图2几乎一致，施加于晶闸管两极的电压从零升到2倍电网电压的峰值，这时 U_X 得到较好的抑制。

2.2 采用其它触发方式

该方式对 U_X 的抑制稍逊于单调谐补偿方式，施加于晶闸管两极的电压不会超过1800 V。但该电路需锁相及相序判别，总体较复杂，该文不作详细介绍。

3 结束语

该文浅析了低压复合开关投切电容器的工作原理，给出了MATLAB仿真图，通过仿真分析，得出在电网背景谐波下造成CSC内晶闸管易击穿的结论。笔者倾向于采用单调谐补偿方式，抑制CSC的谐波电流来有效降低 U_X 值，从而大幅提高CSC的安全运行性。

参考文献

- [1] 高志利，李利，段永杰. 复合开关及其在低压无功补偿中的应用[J]. 2004年全国电力网无功/电压技术研讨会论文集. 北京：中国电力出版社，2004.
- [2] 王兆安，杨君，刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京：机械工业出版社，2006.
- [3] 林辉，王辉. 电力电子技术[M]. 武汉理工大学出版社，2003.
- [4] 韩利竹，王华. MATLAB电子仿真与应用(第2版)[M]. 北京：国防工业出版社，2003.

(责任编辑：刘艳涛)