

2 差动保护动作分析

在主变为三角形接线的不接地系统中，发生单相接地时，三相电流的分布情况较故障前基本无变化，由此引起的差动电流将很小。而主变差动保护反映于三侧电流不平衡达到整定值时才会动作，但在本次事故中，单相接地故障却导致了差动保护动作。经仔细分析发现，差动保护动作是由于该电容无功补偿装置接线不正确所致。现场简化接线如图2所示（此处略去了相应开关及刀闸）。略去主变高、中压侧，简化接线如图3所示。

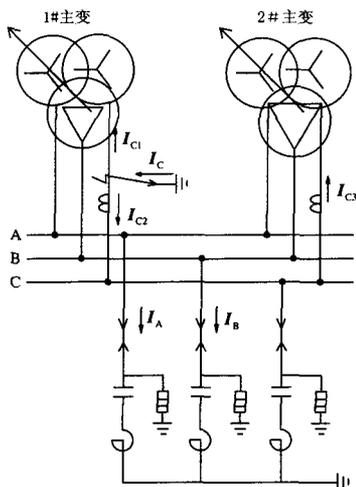


图2 C相接地一次简图

Fig.2 Primary electric connection of C phase-to-earth fault

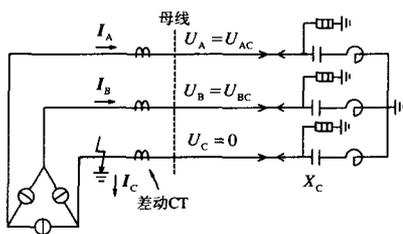


图3 C相接地示意图

Fig.3 C phase-to-earth fault

由图2、图3可知，当C相发生单相接地时，A、B相电容将承受线电压。令 $-jX_C$ 为每相等值容抗，未发生单相接地时 $U_{AN} = U_N \angle 0^\circ$ （ U_N 为正常运行时相对地电压有效值），则C相发生单相接地时，

$$U_C = 0, U_A = U_{AC} = \sqrt{3}U_N \angle -30^\circ,$$

$$U_B = U_{BC} = \sqrt{3}U_N \angle -90^\circ,$$

$$I_A = \frac{U_A}{-jX_C} = \frac{U_{AC}}{-jX_C} = \frac{\sqrt{3}U_N \angle 60^\circ}{X_C},$$

$$I_B = \frac{U_B}{-jX_C} = \frac{U_{BC}}{-jX_C} = \frac{\sqrt{3}U_N \angle 0^\circ}{X_C},$$

$$I_C = I_A + I_B = \frac{\sqrt{3}U_N \angle 60^\circ}{X_C} + \frac{\sqrt{3}U_N \angle 0^\circ}{X_C} =$$

$$\frac{3U_N \angle 30^\circ}{X_C}, \text{ 为正常运行时相电流的3倍。由于两}$$

台主变型号参数相同，故 $I_{C1} = I_{C2} = I_{C3} = \frac{I_C}{2}$ 。（见图2）

由图2可知，虽然流进两台主变C相的故障电流均为 $I_C/2$ ，但对两台主变差动保护的影响是不同的。对1#主变来说，该故障电流为差动保护范围内故障产生的电流，而对2#主变来说，该故障电流为其差动保护范围外故障产生的电流（即为穿越性故障），又由于故障电流

$$I_C = \frac{3U_N}{X_C} = \frac{3S}{\sqrt{3}U_{AC}} \approx \frac{3 \times 9000 \times 9}{\sqrt{3} \times 10.5} = 13361 \text{A}, \text{ 此}$$

故障电流相当大，所以引起1#主变差动保护动作，而对2#主变来说，该故障为差动保护区外故障，差动保护不动作。

由此次事故可见，由于电容器中性点接地，使系统发生单相接地故障时，正常相的电容变成了正常相的对地电容，此电容的存在大大增大了故障相接地电容电流，再加上该变电站电容器组容量很大，使该故障电流变得更大，导致了1#主变差动保护范围内C相发生单相接地时差动保护动作。若电容器中性点不接地，由于该站无10 kV出线，站内电缆也很短，即使同样在1#主变差动保护范围内C相发生单相接地，故障电流将很小，1#主变差动保护将不会动作。

3 电容器中性点接地对保护的影响

母线发生单相接地时，由于电容器三相线电压仍对称，电容器运行应不受影响，其相关保护均应不动作。在电容器中性点接地后发生单相接地时，在放电线圈处的开口三角形电压将产生很高的零序电压。如图2所示（令电容器中性点为0），零序电压 $3U_0 = U_{k0} + U_{b0} + U_{c0} = U_{kc} + U_{bc} + 0 = 3U_n$ 。由于电容器不平衡电压保护的电压取自电容器放电线圈处的开口三角形电压，将导致电容器不平衡电压保护误动作。若电容器中性点不接地，系统发生单相接地故障时在放电线圈处的开口三角形处将不会有零序电压出现。零序电压 $3U_0 = U_{k0} + U_{b0} + U_{c0} = 0$ 。不会导致不平衡电压保护动作。

4 电容器中性点接地对电容器本身的影响

在国标《高电压并联电容器》(GB3983.2-89)中规定,电容器在各种电压下运行时间如表1所示。

表1 电容器过电压与运行时间表

Tab.1 Over voltage of capacitor and time of operation

工频过电压	最大持续时间	说明
$1.10U_n$	长期	指长期过电压的最高值应不超过 $1.10U_n$
$1.15U_n$	每24h中30min	系统电压的调整与波动
$1.20U_n$	5min	轻负荷时电压升高
$1.30U_n$	1min	

而由图2可知,在电容器中性点接地后,发生单相接地时,A、B相电容将承受线电压,即 $1.732U_n$,这对电容器安全运行将产生严重威胁,极易导致电容器损坏。若电容器中性点不接地,发生单相接地时,A、B、C三相电容承受的电压不变,将仍为相对地电压,对电容器运行不产生影响。因此在国标《并联电容器装置设计规范》(GB50227-95)中规定:“电容器组宜采用单星形或双星形接线。在中性点非直接接地的电网中,星形接线电容器组的中性点不应接地。”

5 改进意见

由此可见,电容器中性点的接地方式对电容器的安全可靠运行有重要影响。为了防止过电压对电容器的损坏,应对电容器避雷器安装接线及电容器中性点接地方式进行改进。

根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)的要求:“操作并联电容补偿装置,应采用开断时不重击穿的断路器。对于需频繁投切的补偿装置,宜按图4(a)装设并联电容补偿装置金属氧化物避雷器(F1或F2),作为限制单相重击穿电压的后备保护装置。在电源侧有单相接地故障不要求进行补偿装置开断操作的条件下,宜采用F1。断路器操作频繁且开断时可能发生重击穿或者合闸过程中触头有弹跳现象时,宜按图4(b)装设并联电容补偿装置金属氧化物避雷器(F1及F3或F4)。F3或F4用以限制两相重击穿时在电容器极间出现

的过电压。当并联电容补偿装置电抗器的电抗率不低於12%时,宜采用F4。”根据该变电站无功补偿配置情况,对避雷器宜采取加用F1及F4的接线方式。

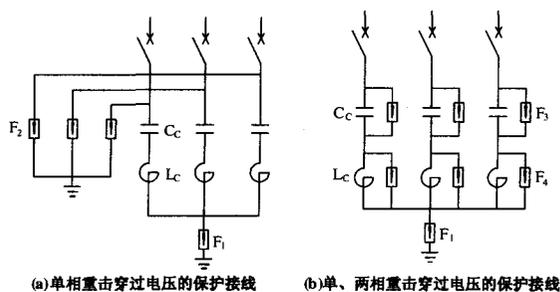


图4 并联电容补偿装置的避雷器保护接线

Fig. 4 Protection of arresters for compensating shunt capacitors

6 结论

根据以上分析可知,电容器中性点直接接地是导致此次差动保护动作及电容器损坏的根本原因,在非正常工作状态下,此种接线方式也将可能引起电容器保护的误动作及电容器本身的损坏,因此严格按照规程、规范要求进行安装、接线是保证设备安全、可靠运行的基本条件。

参考文献

- [1] 平绍勋. 电力系统内部过电压保护及实例分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
PING Shao-xun. Protection for Inner Overvoltage of Power System and Instance Analysis[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [2] GB50227-95, 并联电容器装置设计规范[S].
GB50227-95, Design Specifications of Installation of Shunt Capacitors[S].
- [3] GB3983.2-89, 高电压并联电容器[S].
GB3983.2-89, High Voltage Shunt Capacitors[S].

收稿日期: 2007-05-17;

修回日期: 2007-08-31

作者简介:

杨建辉(1979-), 男, 本科, 助理工程师, 从事电力系统生产管理工作; E-mail: wdy0355@163.com

杨建勇(1982-), 男, 本科, 助理工程师, 从事电力调度工作。

继电器杂志社全体同仁祝全国读者新年快乐!