

文章编号:1671-6833(2012)02-0122-03

剖析无功补偿电容器的熔断器群爆

张博¹, 杨新增², 周勇¹

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 濮阳供电公司, 河南 濮阳 457000)

摘要:介绍了熔断器的安秒特性,以河南某110 kV变电站为例,分析了无功补偿电容器的熔断器群爆的主要原因,一是参数选择不当,熔断器的额定电流选得偏小,电容器的额定电压选得偏低,单只电容器的容量选得偏大;二是继电保护配置方面存在问题,电容器的过电压保护没有起到作用。通过调整熔断器和电容器的参数,并加装电容器零序过电压保护,使得整改后的补偿装置运行稳定。

关键词:电容器;熔断器;过电流;过电压

中图分类号: TM563

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.02.029

0 引言

电力电容器依其结构简单、安装方便、安全可靠等优点,已成为电力系统无功补偿技术中的一种有效措施,为提高电压质量和降低电网损耗起到了十分重要的作用。根据补偿容量的不同,无功补偿电容器组通常由多只电容器并联构成,在每只电容器上都装有单独的熔断器(俗称保险)作为电容器的过电流保护,这是一种既经济、又可靠的保护方法,因此得到了广泛的应用。实践证明,只要电容器与熔断器的参数配合得当,熔断器就能够迅速将故障电容器切除,避免电容器的油箱发生爆炸^[1]。但是,如果参数配合不当,就有可能引起电容器的熔断器在很短的时间里一只接一只的熔断,这种现象称为电容器的熔断器“群爆”^[2]。近年来,无功补偿电容器的熔断器群爆时有发生。笔者以河南某110 kV变电站为例,对无功补偿电容器的熔断器群爆过程进行分析,并针对该补偿装置在参数选择和保护配置上存在的问题提出对应的整改意见。

1 熔断器的安秒特性

熔断器是串联在电容器回路中的一个薄弱的导电环节,当电容器内部或外部发生短路时,熔断器中的熔丝因发热而熔断,从而切除故障的电容器,使其它电气设备得到保护。显然,电流越大,熔丝的熔断时间越短,因此,这种保护呈反时限特

性。实测可知,熔断器的熔断时间 t 与流过熔断器的电流 I 的平方成反比,两者之间的关系称为熔断器的安秒特性,也称为熔断器的保护特性^[3],该特性曲线如图1所示。



图1 熔断器的安秒特性

Fig. 1 Ampere-second characteristics of fuse

熔断器的安秒特性主要取决于熔丝材料的电气特性和热蠕变特性,除此之外,外弹簧作用力也会对熔断器的安秒特性产生影响。

当电容器发生故障时,为了避免事故扩大,总是要求熔丝能准确、及时地将故障电容器从系统中切除。与此同时还要求熔丝具有抗涌流(保证在电容器合闸时不误动)、低温升、低功耗、不重燃等电气性能。从熔丝的机械性能上讲,还应该具有抗拉强度高、热蠕变小、温度敏感性高等特性^[4]。

2 熔断器群爆过程分析

2009年12月21日20点25分,河南某110 kV变电站无功补偿装置的A相4只电容器的熔

收稿日期:2011-11-20;修订日期:2012-01-18

通信作者:周勇(1957-),男,河南信阳人,郑州大学教授,研究方向为电力系统分析与控制,E-mail:zhouyong@zzu.edu.cn.

断器全部熔断,现场照片如图2所示。

该变电站的无功补偿装置容量为 2×4.8 Mvar,单只电容器的容量为 0.4 Mvar,每组共有 12 只,额定电压为 6.35 kV,额定电流为 63 A。计算可得,单只电容器的容抗为 100.8Ω 。每相有 4 只电容器并联,并联后的容抗为 25.2Ω 。此外,每相还配有 1.5Ω 的串联电抗,星型接线,中性点不接地。为避免电容器内部故障或电容器的引出线短路对系统造成影响,每只电容器上都串有 80 A 的熔断器(FU),其原理接线如图3所示。

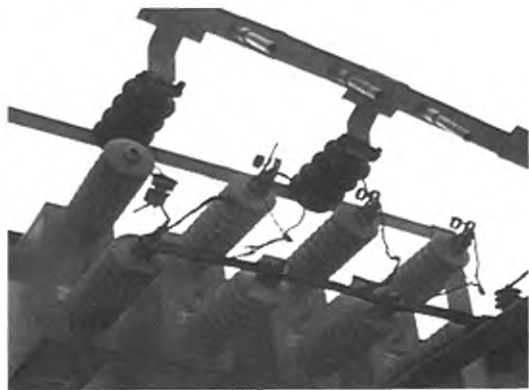


图2 电容器的熔断器群爆照片

Fig.2 Multi-fuse failure of capacitors

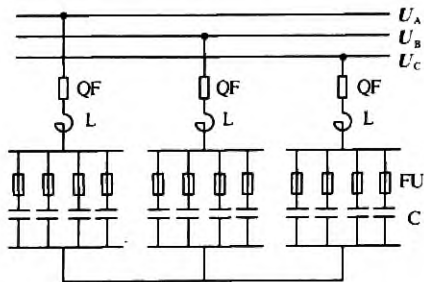


图3 无功补偿装置的原理接线

Fig.3 Wiring schematic diagram of compensation device

在选择电容器熔断器的额定电流时,应该保证当电网电压升高和电压波形畸变引起电容器回路电流增大或电容器出现合闸涌流时,熔断器不会误熔断。因此,在《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB 50062—92)中给出了明确的规定,电容器熔断器的额定电流应选为电容器额定电流的 1.5~2.0 倍。即便是按照最小的倍数计算,熔断器的额定电流也应该大于 94.5 A ($1.5 \times 63 \text{ A}$)。显然,该补偿装置的电容器选用 80 A 的熔断器有些偏小。因此,当出现某一相电压偏高(电压不对称)、电容器中的谐波电流增大(谐波放大)、电容器内部元件损坏或熔丝的特性发生变化(氧化或高温)时,熔断器中的熔丝都有可能熔断。

以 A 相为例,当发生电容器的熔断器熔断后,补偿装置的三相将不再对称, $X_{CA} > X_{CB}$, $X_{CB} = X_{CC}$,对应的等值电路如图4所示。

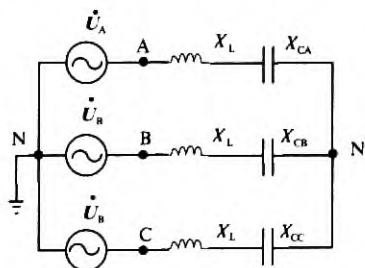


图4 补偿装置的等值电路

Fig.4 Equivalent circuit of compensation device

由于电容器的中性点不接地,当三相支路参数不对称时,必然会引起中性点电位偏移,利用节点电流法可求得电容器中性点的对地电压 $U_{N'N}$ 为^[5]

$$U_{N'N} = \frac{U_A Y_A + U_B Y_B + U_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}, \quad (1)$$

式中: Y_A 、 Y_B 、 Y_C 为补偿装置的三相导纳, $Y_A = 1/(X_{CA} - X_L)$, $Y_B = 1/(X_{CB} - X_L)$, $Y_C = 1/(X_{CC} - X_L)$ 。由式(1)可得:

$$U_{AN'} = U_A - U_{N'N} = \frac{U_A Y_A (Y_B + Y_C) - U_B Y_B - U_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}. \quad (2)$$

考虑到三相电源的电压基本对称,则有:

$$U_A = -U_B - U_C. \quad (3)$$

计及 $Y_A < Y_B$, $Y_B = Y_C$, 由式(2)和式(3)得:

$$U_{AN'} = \frac{3U_A Y_B}{Y_A + Y_B + Y_C} > U_A. \quad (4)$$

由式(4)可知,当 A 相发生电容器的熔断器熔断后, $U_{AN'}$ 将会升高。因此,剩余的电容器中的电流也将会增大。进一步的分析可知,另外两相电容器中的电流将会减小。

当 A 相有一只电容器的熔断器熔断后,剩下三只电容器并联后的容抗为 33.6Ω ,当线电压达到 10.8 kV 时(由变电站运行记录查得),可求得 $U_{AN'} = 6.825 \text{ kV}$,电容器两端的电压为 7.15 kV,已接近电容器额定电压的 1.13 倍,超过了电容器允许的长期运行电压。对应的 A 相电流为 212.8 A,每只电容器的电流为 70.93 A,已接近于熔断器的额定电流(80 A)。还有一点需要注意,在熔断器断开电流的瞬间,由于电容电流的跳变,在电容器回路中的串联电抗上还会产生过电压^[6],根据不同的回路参数和不同的断开时刻,串联电抗上的过电压程度也各不相同,严重时 would 达到额定

电压的数倍,这就有可能导致电容器或电抗器绝缘击穿,进而引起第二只熔断器熔断。

一旦发生第二只熔断器熔断,A相就只有两只电容器并联,其容抗将增加到 $50.4\ \Omega$,仍按线电压为 $10.8\ \text{kV}$ 计算,可求得A相电容器的电流为 $153.9\ \text{A}$,每只电容器的电流为 $76.95\ \text{A}$,电容器两端的电压为 $7.76\ \text{kV}$,该电压已达到电容器额定电压的 1.22 倍,将导致剩下的两只电容器的熔断器相继熔断,这个过程有可能在几秒之内就完成了。

3 结论及改进意见

变电站的无功补偿装置发生电容器的熔断器群爆的原因有以下几个方面:

(1) 熔断器的额定电流($80\ \text{A}$)选得偏小,当系统出现异常或熔丝的特性发生变化时,熔断器中的熔丝就有可能熔断,建议增加熔断器的额定电流;

(2) 电容器的额定电压($6.35\ \text{kV}$)选得偏低,由于回路中串有感抗为 $1.5\ \Omega$ 的电抗,当系统电压偏高时,电容器上的实际电压就很容易超过额定电压的 1.1 倍,建议更换电容器,提高电容器的额定电压;

(3) 单只电容器的容量选得偏大,当某一相的某一只熔断器熔断后,剩余的电容器容抗增大,导致中性点电位偏移,故障相电压升高,从而引发熔断器群爆,建议减小单只电容器的容量,也即增加每一相并联电容器的台数;

(4) 电容器过电压保护没有起到作用,其原

因在于该保护的整定值($U_{dx} = 115\ \text{V}$, $t_{dx} = 0.5\ \text{s}$)偏高,再加上该保护检测的电压是母线PT的线电压,而不是每相电容器的实际电压,所以不能反应电容器的过电压。为了更准确地反映电容器的这种不对称故障,建议加装电容器零序过电压保护,直接从电容器放电PT的开口三角形处引入测量电压,将保护的動作电压整定在 $30\ \text{V}$ 以下,以便保证保护有足够的灵敏度。

根据以上建议,检修部门更换了电容器和熔断器,并对电容器的保护做了改进。整改后的电容器于2010年3月10日投入运行,截止目前,整套补偿装置运行正常,再也没有发生熔断器群爆。

参考文献:

- [1] 孔飘红,韩雪莲,李芳. 电容器组群爆的故障分析与运行建议[J]. 电力电容器与无功补偿, 2010, 31(6): 43-47.
- [2] 丁毓山. 无功补偿岗位培训教材[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [3] 周国良. 高压并联电容器保护用外熔断器试验研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2008, 29(6): 24-28.
- [4] 孔祥其. 单台并联电力电容器外保护熔断器的安秒特性与外弹簧作用力的关系研究[J]. 电力电容器, 2005, 26(2): 22-25.
- [5] 邱关源. 电路[M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [6] 胡海安. 运行中发生电容器组熔断器全爆的故障分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(4): 55-58.

Analysis of Multi-fuse Failure of Compensation Capacitors

ZHANG Bo¹, YANG Xin-zeng², ZHOU Yong¹

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Puyang Power Supply Company, Puyang 457000, China)

Abstract: This paper introduces the ampere-second characteristics of fuses and takes the case of an 110kV substation in Henan province to analyze the main reasons of its multi-fuse failure: one is improper parameters, including small rated current of fuses, low rated voltage of capacitors and big capacity of individual capacitors; the other is the problem of the relaying protection configuration that the overvoltage protection of capacitors does not function properly. With parameters of fuses and capacitors adjusted and zero sequence overvoltage protection devices for capacitors installed, improved compensation device has not had any multi-fuse failure in operation so far.

Key words: capacitor; fuses; overcurrent; overvoltage