

用户电容器组串联电抗器烧毁分析

袁建英

(南京供电公司,江苏 南京 210012)

摘要:目前一般采取串联电抗器控制无功补偿电容器的合闸涌流问题,从原理和案例2个方面论证电抗器电抗率的不当选择可能会导致谐波放大,以至于产生较为严重的故障。

关键词:无功补偿电容器组;谐波;串联电抗器

中图分类号:TM47

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)06-0066-02

1 并联电容器组使用现状

并联电容器是目前国内较为普遍采用的无功补偿设备,以提高功率因素、稳定系统电压,保证电网的安全运行,同时,无功就地补偿减少线路大量输送无功,降低了电能量的损失。

但实际使用无功补偿装置时会涉及到电容器的合闸涌流问题,它对于供电系统的保护整定、熔断器的选取以及对其他电器件都存在影响。在没有串联电抗器的情况下,合闸涌流如式(1)所示,可见补偿装置的接入处短路容量越大、电容器组的容量越小,则电容器的合闸涌流越大,甚至可达额定电流的几十倍。为了避开合闸涌流对系统的影响,一般采取串联电抗器措施来限制合闸涌流。

$$I_s = I_N \sqrt{\frac{2S}{Q}} \quad (1)$$

式中: I_s 为电容器组涌流的峰值,A; I_N 为电容器组的额定电流(均方根值),A; S 为电容器安装处短路容量, $\text{MV}\cdot\text{A}$; Q 为电容器的容量,Mvar。

2 并联电容器组谐波放大

电容器组串联电抗器电抗率的选择跟系统短路容量及电容器的补偿容量有关,不当的选择会导致谐波放大。

电力系统的谐波源主要是谐波电流源,当将补偿电容器组接入电网时,如图1所示。

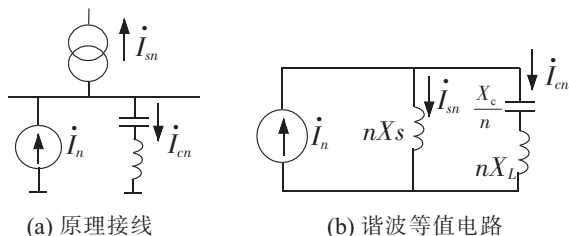


图1 电力系统谐波等效图

I_n 为系统非线性负荷形成的谐波电流源, X_s, X_c, X_L 分别为系统基波感抗、电容基波容抗、串联电抗器基波感抗,各支路的谐波电流和谐波电压分别为式(2~5)所示,可得出系统和并联电容补偿系统对谐波的响应特性的频带分布,如图2所示。

$$I_{cn} = I_n \frac{nX_s}{nX_s + nX_L - X_c/n} \quad (2)$$

$$I_{sn} = I_n \frac{nX_L - X_c/n}{nX_s + nX_L - X_c/n} \quad (3)$$

$$Z_n = \frac{nX_s(nX_L - X_c/n)}{nX_s + nX_L - X_c/n} \quad (4)$$

$$U_n = I_n Z_n = I_n \frac{(n^2 K - 1)X_s X_c}{nX_s + (n^2 K - 1)X_c/n} \quad (5)$$

式中: $K = \frac{X_L}{X_c}$ 。

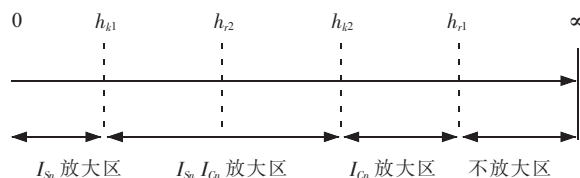


图2 系统和并联电容补偿系统对谐波的响应特性的频带分布

$$h_{r1} = \sqrt{X_c/X_L} = 1/\sqrt{K} \quad (6)$$

$$h_{r2} = \sqrt{\frac{X_c}{X_s + KX_c}} = \sqrt{\frac{S_K}{(1-K)^2 Q_c + KS_K}} \quad (7)$$

$$h_{k1} = \sqrt{\frac{X_c}{2X_s + KX_c}} = \sqrt{\frac{S_K}{2(1-K)^2 Q_c + KS_K}} \quad (8)$$

$$h_{k2} = \sqrt{\frac{X_c}{X_s/2 + KX_c}} = \sqrt{\frac{S_K}{(1-K)^2 Q_c/2 + KS_K}} \quad (9)$$

其中 $h_{r1}, h_{r2}, h_{k1}, h_{k2}$ 分别为电容器组串联谐振点、补偿系统并联谐振点、电容器组谐波电流起始放大点和系统谐波电流起始放大点,分别为式(6~9)所示。电容器组回路的谐波放大率和系统谐波放

大率分别为式(10,11)所示,其中 $s = \frac{X_s}{X_c} = \frac{Q_{CN}}{S_k}$, 可见谐波放大的情况与该接入点的短路容量 S_k 、补偿电容器组的容量 Q_{CN} 、电抗率 K 以及系统谐波次数 n 有关,对照图 2,在电抗率选择时尽量做到电容器组串联谐振频率 h_{r1} 小于系统中存在的相对较大的谐波电流频率。

$$F_{Cn} = I_{Cn}/I_n = \left| \frac{nX_s}{nX_s + nX_L - X_C/n} \right| = \left| \frac{n^2 s}{n^2 (s+K) - 1} \right| \quad (10)$$

$$F_{Sn} = I_{Sn}/I_n = \left| \frac{nX_L - X_C/n}{nX_s + nX_L - X_C/n} \right| = \left| \frac{n^2 K - 1}{n^2 (s+K) - 1} \right| \quad (11)$$

当出现谐波放大时,电流、电压的有效值、电压峰值、负荷都会大大超过电容器和电抗器的额定值,长时间运行就会导致电容器介质击穿、串联电抗器匝间绝缘破坏甚至发热烧毁。另一方面,大量的谐波还会导致系统变压器绕组附加损耗增加、某些固体发热甚至局部过热,发生震动和发出噪音,影响变压器的安全运行和使用寿命。

3 故障案例分析

某镁合金加工企业,生产线是浇铸线,10 kV 供电,已投运主变容量为 2 500 kV·A,在低压侧(380 V)安装的电容器无功补偿装置容量为 930 kVar,回路中串联了 0.8% 电抗器,电容器额定电流为 38.9 A,电抗器额定电流为 41.7 A,在电容器组投运一段时间后,回路中的串联电抗器烧毁。

2006 年 2 月 20 日至 2 月 21 日南京供电公司电能检测站的工作人员在用户低压侧进行了 24 h 跟踪测试,为了解电容器组投运时的系统工况,20 日 11:30~12:30,操作员临时投入电容器,记录仪记录的 3 次谐波电流情况,如图 3 所示,可见在电容器组投运时 3 次谐波电流有非常明显的放大。

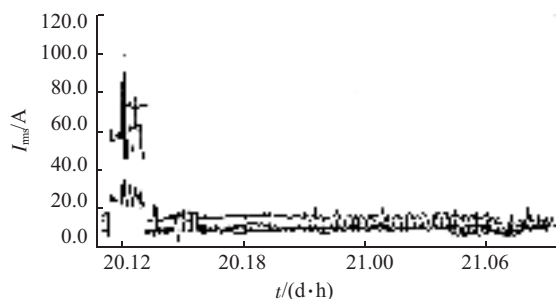


图 3 用户配电房 380 V 侧 3 次谐波电流 24 h 走势图

而同时,将 $S_k=10 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 、 $Q_c=930 \text{ kVar}$ 、 $K=0.8\%$ 代入式(6~9),计算得理论上系统谐波电流的放大区间为 $n \in (1, 4.3)$,电容器组的谐波放大区间为 $n \in (2.28, 11)$,所以 3 次谐波电流不论是在系统还是电容器组回路中都会放大。

同时,电抗器的阻抗与频率成正比,如式(12)所示,所以发热量也会随着谐波次数的增加而增加,如式(13)所示,长期运行会导致电抗器匝间短路甚至烧毁。

$$X_{Ln} = n\omega_0 L \quad (12)$$

$$Q = \sum_n I_n^2 X_{Ln} \quad (13)$$

4 对电容器改造工程的启示

近年来,南京地区对所有的 220 kV、110 kV 和部分 35 kV 变电站开展了电能质量普查,其中发现多个变电站的 5 次谐波随电容投切的变化非常明显,如图 4~6 所示,分别为某变电站 10 kV 母线基波电压、5 次谐波电流、5 次谐波电压的走势,图 4 中基波电压的瞬间下降和上升从历时和发生时间来看分别为电容切和投的过程,而在图 5、6 中可以看到在对应的时刻 5 次谐波电流、5 次谐波电压出现了大幅度的降升,这值得警惕。

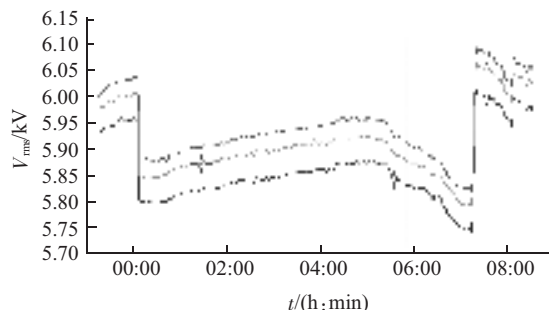


图 4 某变电站 10 kV 母线基波电压走势图

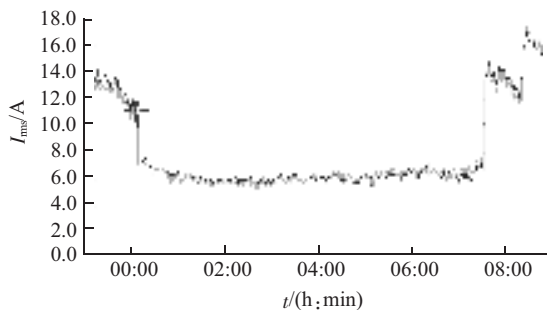


图 5 某变电站 10 kV 母线 5 次谐波电流走势图

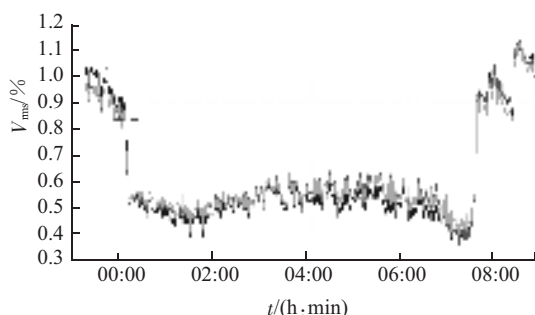


图 6 某变电站 10 kV 母线 5 次谐波电压走势图

变电站 10 kV 侧无功补偿电容器组配置串抗是供电企业的普遍做法,但是选择适当的电抗率非常

(下转第 70 页)

表 1 实验数据

导前时间 /ms	频差 /Hz	实际导 前角 / (°)	动作导 前角 / (°)	误差 / (°)
100	+0.1	3.6	3.06	-0.54
100	+0.2	7.2	7.06	-0.14
100	-0.1	356.4	356.74	0.34
100	-0.2	352.8	353.37	0.57
300	+0.1	10.8	10.65	-0.15
300	+0.2	21.6	21.07	-0.53
300	-0.1	349.2	349.27	0.07
300	-0.2	338.2	338.67	0.27

4 结束语

本文设计一种基于 DSP 自动准同期装置,它利用最小二乘算法来处理测量数据及采用自适应调整采样间隔技术,具有测量精度高、抗干扰能力强、响应时间短等优点。

对于同期合闸时机的可靠捕捉,提出了参考角差来防止错误合闸,经现场运行证明该装置具有良好的可靠性和稳定性。

Research on Reliable Grasping of Quasi-synchronization Point of Switch with DSP

HUANG Hong-qing, ZHU Ran, ZHEN Jie, HU Hong-bing, WANG Li
(NARI Technology Development Co.,Ltd., Nanjing 210013, China)

Abstract: Based on Rapid computations of DSP, the differences of frequency, voltage, angle between waiting-synchronization side and network are sampled and calculated on time. And the adaptive sampling of the voltage on waiting-synchronization side is realized. By using external interruption to response to the Phase-difference change, and least-square method of curve fitting to calculate the Phase-difference change rate, and also using specific mechanism, the accuracy and rapidity of synchronous switching can be ensured.

Key words: DSP; automatic quasi-synchronizing; self-adaptive sampling; Least squares method

(上接第 67 页)

重要。

因为一方面串联电抗的使用降低了电容器的无功补偿效率,如式(14)所示。

$$\eta = (1-K)Qc \tag{14}$$

其中 K 为电容器组串联电抗器电抗率,所以从经济角度来考虑应尽可能的选择电抗率较小的电抗器;同时,还要防止因为不当的串抗导致电容器组回路发生谐振,所以电抗器电抗率必须根据系统情况而定,比如系统中存在较大的 3 次谐波电流,就必须

参考文献:

- [1] 卓乐友,叶念国.微机型自动准同步装置的设计和应用[M].北京,中国电力出版社,2002.
- [2] 黄 梅.电力系统自动装置[M].中国电力出版社,2000.
- [3] 傅全兴,李 忠,郭颖娜.单片机准同期自动并列合闸时机捕捉的研究[J].煤矿自动化,2002(6):1-3.
- [4] 黄 纯,何怡刚,江亚群,等.交流采样同步方法的分析与改进[J].中国电机工程学报,2002,22(9):38-42.
- [5] 李振然.利用富里叶变换实现微机自动准同期[J].继电器,1994(4):35-40.

作者简介:

黄宏清(1969-),男,江苏泰兴人,高级工程师,从事电力系统自动化及继电保护工作;
朱 冉(1983-),男,江苏泰州人,助理工程师,从事电力系统自动化工作;
郑 洁(1980-),男,江苏常熟人,工程师,从事微机测控及自动化工作;
胡红兵(1974-),男,湖北鄂州人,工程师,从事电力系统自动化工作;
王 力(1984-),男,河南周口人,助理工程师,从事电力系统自动化工作。

选择 12%或 12%与 4.5%~6%混装的电抗器。

参考文献:

- [1] 林海雪,孙树勤.电力网中的谐波[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 全国电压电流等级和频率标准技术委员会.全国电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[S].2001.

作者简介:

袁建英(1978-),女,江苏南京人,工程师,长期从事电能质量测试分析工作。

Analysis of Series Reactor Burnout in Capacitor Bank

YUAN Jian-ying

(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008, China)

Abstract: At present, series reactor is adopted to control the close inrush current of reactive power compensation capacitor bank. From both theory and case, this paper has elaborated that harmonic will be enlarged if reactance rate of series reactor is set improperly and thus serious incidents may be caused.

Key words: capacitor bank; harmonic; series reactor