

文章编号:1671-6833(2005)02-0036-03

电容器的谐波放大问题分析

周 勇, 王文峰, 赵慧光

( 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 通过对河南电网某 220kV 变电站的测试和分析, 确认 110kV 侧的电力牵引负荷注入电网的谐波电流超标, 由于电容器回路的参数配置不当, 使电容器中的 7 次和 9 次谐波电流均被放大, 从而引起电容器频繁烧保险. 通过调整电容器回路的参数, 降低了谐波电流放大倍数, 减少了电容器中的谐波电流, 保证了电容器的正常运行.

关键词: 电容器; 谐波电流; 谐波放大

中图分类号: TM 714 文献标识码: A

0 引言

河南电网某 220kV 变电站的主接线如图 1 所示. 该站共有 2 台 120 MVA 的变压器(Y/Y/△-11 接线), 4 组无功补偿电容器(C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 均为双星形接线), 5 条 220kV 线路和 3 条 110kV 线路. 其中有一条 110kV 线路是专为电气化铁路供电的, 它也是该站谐波的主要来源. 近年来, 电容器 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 经常由于烧保险而引起平衡保护跳闸, 更为严重的是 2002 年 11 月 16 号还发生了电容器的放电 PT 和开关爆炸着火事故. 经过谐波测试和分析后发现, 事故的原因与电力牵引负荷注入该站的 7 次和 9 次谐波电流被放大有关.

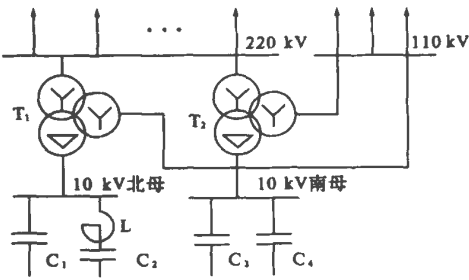


图 1 变电站主接线示意图

Fig .1 Min circuit diagram of the station

1 变电站谐波的测试与分析

为了掌握变电站谐波电流和谐波电压的水平, 我们曾先后两次到变电站进行谐波测试. 表 1 列出

了针对谐波源(电力牵引负荷)的部分实测数据.

表 1 谐波源注入变电站的谐波电流实测数据  
Tab .1 Tested data of the harmonic currents injected into the station by harmonic source A

样本	相别	基波 有效值	各次谐波电流			
			3	5	7	9
1	A	26.2	1.2	1.1	0.6	0.4
	B	32.0	5.0	3.4	2.2	1.3
	C	25.1	3.6	2.0	1.0	0.8
2	A	20.3	4.7	4.0	2.2	1.0
	B	15.8	0.1	1.1	0.7	0.1
	C	37.0	4.4	2.9	1.4	0.7
3	A	26.4	1.3	1.3	0.5	0.4
	B	30.8	4.8	4.2	1.8	1.7
	C	40.9	6.1	4.0	1.4	0.5
4	A	20.9	0.1	0.2	0.4	1.1
	B	24.0	1.1	0.4	0.1	0.0
	C	22.1	0.8	0.8	0.1	0.1
5	A	21.0	0.2	0.4	0.0	0.0
	B	22.4	1.4	0.7	0.2	0.1
	C	20.3	1.1	0.0	0.4	0.2
6	A	21.1	0.1	0.4	0.0	0.0
	B	22.8	1.3	0.6	0.2	0.1
	C	20.4	1.1	0.2	0.2	0.0
7	A	34.3	2.3	2.2	0.8	0.4
	B	65.4	8.8	7.1	3.5	1.3
	C	31.4	6.6	4.9	2.6	1.0
8	A	40.6	3.7	4.9	1.6	1.1
	B	106.9	13.2	10.4	5.6	1.1
	C	66.1	10.8	5.6	4.1	0.5
9	A	25.1	1.6	3.2	0.8	0.8
	B	50.2	7.9	6.1	4.3	2.3
	C	26.6	6.7	3.1	4.0	1.6
10	A	19.6	1.7	1.7	0.8	0.5
	B	30.0	8.3	3.0	2.5	2.3
	C	10.3	5.9	1.4	0.5	0.8

从表 1 中可以看出,3 次谐波电流的最大值为 13.2 A,5 次谐波电流的最大值为 10.4 A,7 次谐波电流的最大值为 5.6 A,9 次谐波电流的最大值为 2.3 A,这些谐波电流都超过了国家标准规定的限值,11 次及以上的各次谐波电流都很小,所以没有列出.由于电力牵引负荷波动很大,短时间的测试不一定能捕捉到最严重的情况<sup>[3]</sup>.因此,当电力牵引负荷达到最大值时,对应的谐波电流可能比上面列出的还要大.据变电站的值班人员介绍,近年来电气化铁路负荷的用电量逐年增长,其中的谐波电流也必然随之增加.因此,谐波对电容器的影响将是一个值得关注的问题<sup>[3]</sup>.

2 谐波放大分析

根据图 1 画出变电站的等值电路如图 2 所示.考虑到变电站的谐波主要来自电气化铁路,所以把谐波源放在了 110kV 侧.图中  $X_{Tn}$  的为变压器的谐波电抗(上标 H 表示高压侧,上标 L 表示低压侧), $X_{L_n}$  为电抗器的谐波电抗, $X_{S_n}$  为系统侧的谐波电抗,它们分别等于各自的基波电抗与谐波次数  $n$  的乘积,电容器的谐波容抗  $X_{C_n}$  等于其基波容抗的  $n$  分之一<sup>[3]</sup>.由于变压器 110kV 侧的漏抗约等于零,因此,该侧的谐波电抗也约等于零.

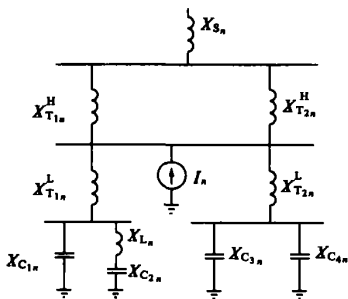


图 2 变电站等值电路图

Fig. 2 Equivalent circuit of the station

为了便于分析,还需要对图 2 的等值电路进行简化.由于低压侧的两条母线没有出线,只有无功补偿电容器,且分段运行,因此,可将两台变压器低压侧总的阻抗分别等值为  $X_{1n}$  和  $X_{2n}$ .将两台变压器的高压绕组电抗并联后再和 220kV 系统电抗串联得到系统侧的等值电抗为  $X_{S_n}'$ ,简化后的等值电路如图 3 所示.

将低压侧两支路的  $n$  次谐波导纳分别记为  $B_1(n) = \frac{1}{X_{1n}}$  和  $B_2(n) = \frac{1}{X_{2n}}$ ,系统侧的  $n$  次谐波

导纳记为  $B_S(n) = \frac{1}{X_{S_n}'}$ ,3 条支路并联后的导纳为

$$B(n) = B_1(n) + B_2(n) + B_S(n) \tag{1}$$

从而可得系统侧和低压侧两支路的  $n$  次谐波电流分别为

$$I_{S_n} = I_n |B_S(n) / B(n)| \tag{2}$$

$$I_{1n} = I_n |B_1(n) / B(n)| \tag{3}$$

$$I_{2n} = I_n |B_2(n) / B(n)| \tag{4}$$

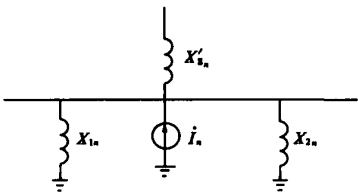


图 3 简化后的等值电路

Fig. 3 Abbreviated equivalent circuit

显然,  $B(n)$  是关于谐波次数  $n$  的函数.由于电容器的导纳与电抗器的导纳符号相反,因此,就有可能使  $|B_S(n) / B(n)| > 1$ ,这时系统侧的  $n$  次谐波电流被放大;还有可能使  $|B_1(n) / B(n)| > 1$  或  $|B_2(n) / B(n)| > 1$ ,这时电容器支路中的  $n$  次谐波电流被放大.如果出现  $B(n) = 0$  的情况,则说明系统发生了  $n$  次谐波电流的并联谐振,这时 3 条支路的  $n$  次谐波电流和  $n$  次谐波电压均为无穷大.实际上出现这种极端情况的概率是很小的,但值得注意的是,当  $|B(n)|$  接近于 0 时,说明系统已接近于  $n$  次谐波电流的并联谐振,这时三条支路将会出现严重的过电流和过电压<sup>[3]</sup>.  $|B_S(n) / B(n)|$ 、 $|B_1(n) / B(n)|$  和  $|B_2(n) / B(n)|$  称为 3 条支路的谐波电流放大倍数.根据从变电站查到的有关参数,计算出对应于系统最大运行方式和四组电容器全投时的谐波电流放大倍数列于表 2.

表 2 谐波电流放大倍数

Tab. 2 Harmonic currents amplification ratios

谐波次数 $n$	3	5	7	9
$ B(n) $	3.01	3.46	0.71	0.91
$ B_S(n) / B(n) $	1.25	0.76	2.28	1.39
$ B_1(n) / B(n) $	1.08	0.71	0.12	0.23
$ B_2(n) / B(n) $	1.14	1.36	2.38	2.65

由表 2 可以看出,2<sup>#</sup>变低压侧的 7 次和 9 次谐波电流将被放大两倍以上,这一点可从表 3 列出的 2<sup>#</sup>变的 7 次和 9 次谐波电流的实测数据得到验证.

表 3 2<sup>#</sup> 变谐波电流实测值

Tab.3 Tested data of the harmonic currents at 2<sup>#</sup> transformer

A

样本	低压侧 7 次谐波电流			低压侧 9 次谐波电流			中压侧 7 次谐波电流			中压侧 9 次谐波电流		
	A 相	B 相	C 相	A 相	B 相	C 相	A 相	B 相	C 相	A 相	B 相	C 相
1	80.7	53.2	43.7	56.3	40.4	35.4	1.32	1.85	1.98	0.39	0.39	0.52
2	67.2	45.9	44.8	47.5	35.8	34.1	1.39	1.45	1.78	1.51	1.98	0.79
3	60.8	51.0	43.7	35.6	27.5	29.4	1.35	1.32	1.72	1.19	2.36	2.91
4	56.8	53.9	33.4	34.1	28.3	31.5	1.92	0.89	1.58	1.11	2.54	1.72
5	57.2	44.9	41.2	45.9	35.7	33.8	1.45	2.25	2.38	1.53	1.96	1.87
6	60.6	49.5	29.7	49.5	31.4	39.7	2.10	2.06	1.93	1.46	1.69	2.36
7	48.3	45.2	33.3	52.8	33.4	32.5	2.31	1.84	1.65	1.27	1.75	1.18
8	50.9	42.4	37.6	51.4	28.1	25.4	2.42	1.99	1.78	1.04	1.29	0.71
9	68.5	50.6	37.8	55.3	37.9	43.1	1.65	1.57	2.12	1.49	1.88	1.31
10	63.5	52.6	31.8	51.3	32.9	48.1	1.95	1.17	2.22	1.41	1.28	1.66

将上表中 2<sup>#</sup> 变低压侧各相的 7 次和 9 次谐波电流除以变压器的变比, 然后与中压侧对应相的 7 次和 9 次谐波电流对比, 可以明显地看出 2<sup>#</sup> 变低压侧各相的 7 次和 9 次谐波电流分别放大了 2~5 倍, 再加上基波电流和其它高次谐波电流的共同作用, 如果持续时间比较长的话, 电容器的内部温度将会升高, 容抗将会减小, 电流还将进一步增加. 这就是造成频繁烧保险的主要原因.

为了解决这个问题, 我们建议调整电容器回路的参数<sup>[4,5]</sup>, 降低电容器回路的谐波电流放大倍数. 改造后的电容器已于 2004 年 8 月投入运行, 经过测试, C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 中的 7 次和 9 次谐波电流降低了很多, 此后再没有出现烧保险的情况.

3 结束语

根据前面的分析可以看出, 电力牵引负荷注入电网的谐波电流超标, 再加上电容器(C<sub>3</sub>和C<sub>4</sub>)回路的参数配置不当, 使 7 次和 9 次谐波电流均被放大, 这就是电容器经常烧保险的原因所在. 通

过调整电容器回路的参数, 可以降低电容器回路的谐波电流放大倍数, 从而避免出现过电流和过电压. 随着电气化铁路用电量的逐年增加, 谐波电流的水平也必将逐年提高. 因此, 供电部门应该积极地与铁路部门交涉, 按照‘谁污染谁治理’的原则, 要求他们采取措施, 减少注入电力系统的高次谐波电流.

参考文献:

[ 1 ] 吴竞昌, 孙树勤, 宋文南, 等. 电力系统谐波[ M ] . 北京: 水利电力出版社, 1988.

[ 2 ] 孙树勤, 林海雪. 干扰性负荷的供电[ M ] . 北京: 中国电力出版社, 1996.

[ 3 ] 周 勇. 电网谐波源分析[ M ] . 北京: 中国人口出版社, 1995.

[ 4 ] 周胜军, 林海雪. 并联电容器装置中的串联电抗选择[ J ] . 供用电, 2001, ( 5 ) : 15~18.

[ 5 ] 周坤星. 高压并联电容器装置的设计要求[ J ] . 供用电, 2000, ( 3 ) : 29~31.

Analysis of Harmonic Amplification Problem of Capacitors

ZHOU Yong , WANG Wen -feng , ZHAO Hui -guang

(School of Electrical Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China)

**Abstract :** By analyzing and testing the harmonics at a certain 220kV station in the Henan power network , the reason for the frequent fusion of the capacitor fuse is identified . It is that the 7th and 9th harmonic currents are amplified . By adjusting the parameters of capacitor loops to decrease the harmonic amplification ratios , the capacitors can run safely .

**Key words :** capacitor ; harmonic currents ; amplification of harmonics