

## 无功补偿电容器谐波过载分析

周勇, 赵慧光, 王文峰  
(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 220 kV 变电站的测试和分析, 找出了无功补偿电容器(C2)频繁烧保险的原因在于 5 次谐波电流过载。通过调整电容器回路的参数, 减少了其中的谐波电流含量, 从而保证了电容器的正常运行。

**关键词:** 电容器; 谐波电流; 串联谐振

**中图分类号:** TM714 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)16-0093-03

### 0 引言

河南电网某 220 kV 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/ $\Delta$ -11 接线)、4 组无功补偿电容器(C1、C2、C3 和 C4, 均为双星形接线)、5 条 220 kV 线路和 3 条 110 kV 线路。近年来, C2 支路经常由于烧保险而引起平衡保护跳闸, 使该组电容器不能正常运行, 更为严重的是 2003 年 1 月 21 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 C2 支路的 5 次谐波电流有关。

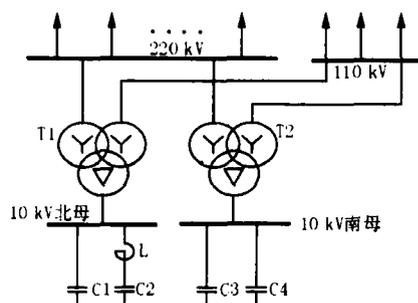


图1 变电站主接线示意图

Fig.1 Main circuit of the substation

### 1 谐波源的测试与分析

在变电站 3 条 110 kV 线路中, 有一条 110 kV 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<sup>[1]</sup>。通过现场测试, 我们掌握了谐波源注入变电站的谐波电流水平, 表 1 列出了其中的部分实测数据。

从表 1 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 10.44 A, 7 次谐波电流的最大值为 5.64 A, 9 次谐波电流的最大值为 2.28 A, 11 次及以上的各次谐波数值都很小。由于电力牵

表 1 谐波源注入变电站的谐波电流实测数据

Tab.1 Tested data of harmonic currents injected into the substation by harmonic source

样本	相别	$I_1$	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_9$	$I_{11}$	$I_{13}$
1	A	26.16	1.2	1.08	0.6	0.36	0.16	0.04
	B	32.04	5.04	3.36	2.16	1.32	0.46	0.32
	C	25.08	3.6	2.04	0.96	0.84	0.33	0.14
2	A	20.28	4.68	3.96	2.16	0.96	0.32	0.11
	B	15.84	0.12	1.08	0.72	0.12	0.07	0.02
	C	36.96	4.44	2.88	1.44	0.72	0.44	0.12
3	A	26.4	1.32	1.32	0.48	0.36	0.17	0.06
	B	30.84	4.8	4.2	1.8	1.68	0.81	0.06
	C	40.92	6.12	3.96	1.44	0.48	0.32	0.21
4	A	20.88	0.12	0.24	0.36	1.08	0.21	0.08
	B	24	1.08	0.36	0.12	0.09	0.06	0.03
	C	22.08	0.84	0.84	0.12	0.12	0.03	0.02
5	A	21	0.24	0.36	0.22	0.17	0.12	0.07
	B	22.44	1.44	0.72	0.24	0.12	0.07	0.02
	C	20.28	1.08	0	0.36	0.24	0.17	0.09
6	A	21.12	0.12	0.36	0.21	0.13	0.08	0.03
	B	22.8	1.32	0.6	0.24	0.12	0.06	0.02
	C	20.4	1.08	0.24	0.24	0.16	0.11	0.06
7	A	34.32	2.28	2.16	0.84	0.36	0.25	0.11
	B	65.4	8.76	7.08	3.48	1.32	1.04	0.43
	C	31.44	6.6	4.92	2.64	0.96	0.69	0.36
8	A	40.56	3.72	4.92	1.56	1.08	0.56	0.14
	B	106.9	13.2	10.44	5.64	1.08	0.65	0.32
	C	66.12	10.8	5.64	4.08	0.48	0.22	0.13
9	A	25.08	1.56	3.24	0.84	0.84	0.43	0.12
	B	50.16	7.92	6.12	4.32	2.28	0.35	0.21
	C	26.64	6.72	3.12	3.96	1.56	0.99	0.37
10	A	19.56	1.68	1.68	0.84	0.48	0.31	0.12
	B	30	8.28	3	2.52	2.28	1.52	0.68
	C	10.32	5.88	1.44	0.48	0.84	0.31	0.17

引负荷波动大, 短时间的测试不一定能捕捉到最严重的情况。因此, 当电力牵引负荷达到最大值时, 对应的谐波电流有可能比上面的数字还要大。据变电站值班人员介绍, 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,谐波对电容器以及其它有关设备的影响将是一个不可忽视的问题。

## 2 C2 支路的 5 次谐波电流

变电站的等值电路如图 2 所示。其中  $X_{cn}$  表示电容器的  $n$  次谐波容抗,它等于基波容抗的  $n$  分之一; $X_{sn}$  表示系统侧的  $n$  次谐波电抗; $X_{Ln}$  表示电抗器的  $n$  次谐波电抗, $X_{T1n}$  和  $X_{T2n}$  分别表示两台变压器的  $n$  次谐波电抗,它们分别等于各自基波电抗的  $n$  倍<sup>[2]</sup>,由于变压器的中压侧电抗约等于零,所以图中只画出了高压侧和低压侧的电抗,分别用上标  $H$  和  $L$  表示。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 110 kV 侧。

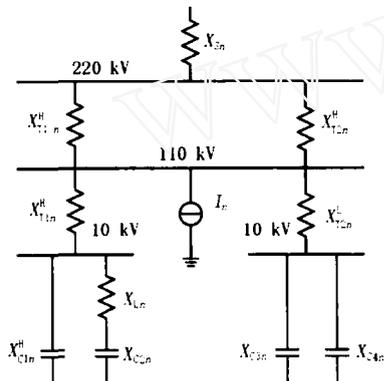


图 2 变电站等值电路图

Fig. 2 Equivalent circuit of the substation

在四组电容器中,只有 C2 支路串有电抗器,该电抗器是按照滤除 5 次谐波来配置的。根据给定的参数求得 C2 支路的串联谐振频率为  $4.88 \times 50$  Hz,这就说明该支路在 5 次谐波附近会发生串联谐振<sup>[3]</sup>。由于 C2 支路的 5 次谐波阻抗比其它电容器支路小得多,所以电力牵引负荷的 5 次谐波电流绝大部分都经过 1 号变压器流进了 C2 支路。从现场测试的情况来看,1 号变压器中低压侧的 5 次谐波电流要比 2 号变压器大得多;C2 支路中的 5 次谐波电流要比其它各次谐波电流大得多,同时也比另外 3 个电容器支路中的 5 次谐波电流大得多。表 2 列出了 C2 支路中比较大的 5 次谐波电流实测数据。

由于电力牵引负荷三相不对称,所以三相电流中的 5 次谐波分量也是不对称的。从表 2 可以看出,A 相的 5 次谐波电流含有率偏高,而 B 相则偏低,5 次谐波电流的最大值达到 142.4 A,对应的含有率为 44.93%。如此高的 5 次谐波电流,再加上基波电流和其它高次谐波电流的共同作用,必将导

致电容器的内部温度升高、容抗减小,从而使电容器的电流进一步增加。如果持续时间比较长的话,电容器的保险就会烧断。

表 2 C2 支路中的 5 次谐波电流实测数据

Tab. 2 Tested data of the 5th harmonic current through branch C2

样本	A 相 $I_5$		B 相 $I_5$		C 相 $I_5$	
	/A	有率/(%)	/A	有率/(%)	/A	有率/(%)
1	130.7	41.35	51.7	16.27	108.1	34.46
2	132.4	41.71	84.0	26.43	100.6	31.91
3	133.4	42.17	83.4	26.30	96.0	30.50
4	138.0	43.56	91.2	28.75	99.5	31.63
5	128.5	40.54	104.8	32.97	74.2	23.48
6	135.2	42.66	110.5	34.76	74.0	23.47
7	142.4	44.93	113.5	35.69	86.0	27.28
8	133.8	42.27	79.9	25.26	105.7	33.72
9	139.4	44.07	104.0	32.85	103.6	33.11
10	132.7	42.00	97.5	31.04	98.2	29.85

为了解决这个问题,我们认为应该减小 C2 的串联电抗,并且在 C1 支路也加入同样的串联电抗。这样可以减少整个 1 号变压器低压侧的 5 次谐波电流,并且将这些 5 次谐波电流平分至 C1 和 C2 支路。这将会使 C2 支路中的 5 次谐波电流明显减少,同时 C1 支路中的 5 次谐波电流也将略有上升。经过改造后的电容器已于 2004 年 3 月投入运行,表 3 列出了改造后的 C2 支路中比较大的 5 次谐波电流的实测数据。

表 3 改造后的 C2 支路中的 5 次谐波电流实测数据

Tab. 3 Tested data of the 5th harmonic current through branch C2

样本	A 相 $I_5$		B 相 $I_5$		C 相 $I_5$	
	/A	有率/(%)	/A	有率/(%)	/A	有率/(%)
1	45.2	14.32	26.0	8.28	11.3	3.6
2	20.4	6.49	30.5	9.67	16.3	5.15
3	39.8	12.5	13.3	4.23	9.1	2.89
4	24.1	7.77	19.2	6.06	7.4	2.36
5	28.7	9.29	4.08	1.31	12.6	4.09
6	44.6	14.1	13.7	4.36	19.2	6.15
7	43.2	13.8	27.9	8.90	6.8	2.21
8	13.4	4.26	16.2	5.17	13.4	4.25
9	51.1	16.21	6.5	2.07	7.6	2.38
10	19.6	6.16	10.6	3.35	11.1	3.51

从表 3 可以看出:改造后的 C2 支路中的 5 次谐波电流确实减少很多,从投运至今再没有出现烧保险的情况。

## 3 结论

通过前面的分析可知,C2 支路的问题主要是由于电力牵引负荷产生的 5 次谐波电流引起的。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,供电部门首先应该与铁路部门交

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。与此同时,还可以通过调整电容器支路的参数,减少其中的谐波电流含量,以避免电容器因为谐波电流而过载。

这个事例也给了我们一个启示,当无功补偿电容器组串有电抗器时,仅仅监视电容器电流的有效值是不够的,还要定期测试其中的高次谐波电流。关于电容器的长期允许工作电流,目前只是笼统地按1.3倍的额定电流来限定,还应该对其中的高次谐波电流也作出相应的规定,以便确保电容器的长期安全运行。

#### 参考文献:

- [1] 孙树勤,等. 干扰性负荷的供电[M]. 北京:中国电力出版社,1996.  
SUN Shu-qin, et al. The Power Supply of Turbulent Load [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

- [2] 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.  
WU Jing-chang, SUN Shu-qin, SONG Wen-nan, et al. Power System Harmonics[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1988.
- [3] 周勇. 电网谐波源分析[M]. 北京:中国人口出版社, 1995.  
ZHOU Yong. Power Network Harmonic Source Analysis [M]. Beijing: China Population Press, 1995.

收稿日期: 2004-12-02; 修回日期: 2004-12-28

#### 作者简介:

周勇(1957-),男,副教授,研究方向为电力系统谐波分析;

赵慧光(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波分析; E-mail: zhguang160@sina.com

王文峰(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波分析。

### Harmonic overloading analysis of reactive compensation capacitor

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

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 45002, China)

**Abstract:** By analyzing and testing the harmonics at a certain 220kV station in Henan power network, the reason of the frequent fusion of the capacitor fuse was found out. It is that the 5th harmonic current was overloaded. By adjusting the parameters of the capacitor loops, the harmonic content of current in the capacitor is reduced and the capacitors can run safely.

**Key words:** capacitor; harmonic current; series resonance

(上接第 89 页 continued from page 89)

### Artificial intelligence applications in optimal power flow

SHI Ji-li, QIU Xiao-yan

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The growing complexity of power systems have necessitated the development of artificial intelligence(AI) tools to solve optimal power flow(OPF) problem, like a non-linear, non-convex problems with both continuous and discrete variables. This paper reviewed many OPF algorithms based on AI methods, such as the artificial neural network(ANN), the fuzzy set theory, evolutionary algorithms(GA, EP, ES, SA etc.), multi-agent, and so on. Various issues related to the application of AI were discussed.

**Key words:** artificial intelligence; optimal power flow; ANN; fuzzy set; evolutionary algorithm; multi-agent

(上接第 92 页 continued from page 92)

### Realizing auto-compensation system for adjustable capacitive-based arc-suppression coil

ZHANG Zhan-yong<sup>1</sup>, WANG Jian-ling<sup>1</sup>, KANG Yi<sup>2</sup>, NIU Wen-ji<sup>3</sup>

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

3. Baoding Huayuan Electric New Technology Exploitation Co., Ltd, Baoding 071051, China)

**Abstract:** This paper analyzed the present situation and the direction of future development of the resonant grounded power system. The operation principle of arc suppression coil based on thyristor series capacitors and double CPUs was presented. The distribution principle of the secondary switching capacitors, the method for measuring the capacitive current and the composition of arc-suppression coil automatic control system were detailed. This paper also introduced the 6kV dynamic simulation system constructed by this research. The simulation result shows that the parameters of primary and secondary equipments are correct and the system operates rapidly and correctly.

**Key words:** arc-suppression coil; adjustable capacitors; capacitive current; single phase grounding fault; dynamic simulation