

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.01.030

灵宝换流站交流滤波器滤波效果分析^①

杜习周¹, 蒋建东², 李 强¹, 周 勇²

1. 河南省电力科学研究院, 郑州 450052; 2. 郑州大学 电气工程学院, 郑州 450001

摘要: 对换流站产生谐波的机理进行了分析, 介绍了灵宝换流站交流侧滤波器的配置情况及其在各种运行方式下的控制方式, 在 PSCAD/EMTDC 中对灵宝换流站滤波器的滤波效果进行了仿真. 结果表明: 灵宝换流站交流侧滤波器达到了良好的滤波效果, 大大减小了换流站注入交流电网的谐波.

关 键 词: 换流站; 滤波器; 谐波; 滤波效果

中图分类号: TM743

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)01-0183-05

联结西北、华中两个大的区域电网的灵宝换流站是一项背靠背换流工程, 联网容量 1 110 MW. 在西北电网侧, 换流站与 330 kV 罗敷变相连; 在华中电网侧, 换流站Ⅰ期工程与 220 kV 紫东变相连, Ⅱ期工程与 500 kV 陕州变相连. 换流站在运行过程中会产生一些特征谐波和非特征谐波^[1-5], 它们对交流电网、换流器以及邻近的通信系统都将产生影响, 甚至造成危害^[6-9].

增加换流器的脉动数和装设滤波器是减小换流器谐波的两种主要方法. 增加换流器的脉动数, 将会增大特征谐波的次数, 并减小谐波电流的有效值, 但是当脉动数增到 12 次以上时, 将使换流变压器结构复杂, 制造困难, 成本增加, 因此灵宝换流站采用装设滤波器的方法来限制谐波. 通过分析换流站交流滤波器的滤波效果, 本文对灵宝换流站对于当前电气环境的适应性进行了研究; 分析了换流站谐波产生的机理, 介绍了灵宝换流站交流侧滤波器的相关配置, 并基于 PSCAD/EMTDC 建立的灵宝换流站的仿真模型, 分析了 HP3, HP12/24 滤波器的滤波性能.

1 换流器在交流侧产生的谐波

灵宝换流站的整流侧和逆变侧采用的都是三相 12 脉动电路, 图 1 是其原理接线图.

假设: ① 换相电压三相对称; ② 各相换流电抗相等; ③ 换流阀触发脉冲相等; ④ 换流器直流侧电流不变. 在此理想条件下, 换流器产生的谐波为特征谐波.

由图 1, 由傅里叶分析可得理想状态下交流侧的 a 相电流为

$$i_a = \sqrt{2} I_1 \sin \omega t + \sum_{\substack{n=12k \pm 1 \\ k=1, 2, 3, \dots}}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin n \omega t \quad (1)$$

式中: I_1 为基波电流有效值, I_n 为 n 次谐波有效值.

① 收稿日期: 2014-04-08

基金项目: 河南省科学技术研究重点项目(14A470002).

作者简介: 杜习周(1977-), 男, 河南新乡人, 高级工程师, 主要从事电能质量监督、电网规划研究.

通信作者: 蒋建东, 教授.

$$\begin{cases} I_1 = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} I_d \\ I_n = \frac{2\sqrt{6}}{n\pi} I_d \end{cases} \quad n = 12k \pm 1, k = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

由(2)式可见，三相 12 脉动电路交流侧的特征谐波为(12 *k* ± 1)次。

换流器在各种非理想条件下运行时，在交流侧不仅产生特征谐波，还会产生以三次谐波为主的其他各次非特征谐波。

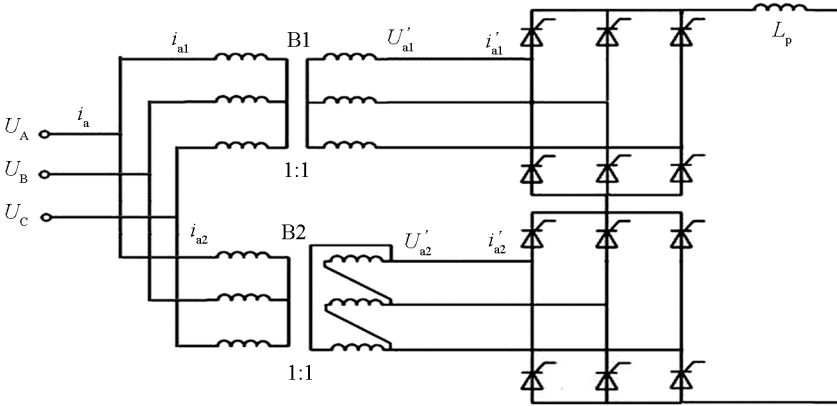


图 1 三相 12 脉动电路的原理接线图

2 灵宝换流站交流滤波器配置及无功元件投退方式

2.1 灵宝换流站交流滤波器配置

通过对电阻器、电容器和电抗器的不同组合，使某次谐波流经滤波器时所呈现的阻抗很小，从系统中导出谐波电流，以达到滤除谐波的目的，这就是交流滤波器的基本原理。

灵宝换流站的交流滤波器有单调谐滤波器 HP3 和双调谐滤波器 HP12/24 这两种类型，其中单调谐滤波器 HP3 主要滤除 3 次谐波，双调谐滤波器 HP12/24 主要滤除 11,13,23,25 次谐波。灵宝换流站的滤波器配置组数见表 1。

表 1 灵宝换流站的滤波器配置组数

滤 波 器	I 期工程		II 期工程	
	220 kV 侧	330 kV 侧	500 kV 侧	330 kV 侧
HP12/24	3	3	3	3
HP3	2	1	0	2

2.2 无功元件投退控制

为保证灵宝换流站换流器交流侧的谐波水平在允许范围内，需要根据运行状态控制滤波器的投退，即控制滤波器的投切数目。

由于 HP12/24 滤波器、HP3 滤波器中存在电容器、电抗器，所以电流流经时它们能够产生一定的无功功率，能够当作无功电源向电网提供无功功率。灵宝换流站的无功功率控制将无功元件分为 HP12/24 滤波器、HP3 滤波器、SC 电容器、SR 电抗器 4 类，并根据无功元件的备用情况、投入情况和投切顺序等状况，选择需要投切的无功元件。在投切中遵循以下先后顺序：① 同类型无功元件先投者先切；② 投切时优先投同类型无功元件；③ 如果投切时同类型无功元件无法投切，则按投切顺序选择下一组要投切的无功元件。

由以上滤波器及无功元件的控制投切方式，可得 I 期工程功率正送和反送时的无功元件需求(表 2—

3)、Ⅱ期工程功率正送和反送时无功元件需求(表 4—5)。

表 2 I 期工程功率正送时的无功元件需求

功率/ MW	220 kV 投入的 无功元件	330 kV 投入的 无功元件	功率/ MW	220 kV 投入的 无功元件	330 kV 投入的 无功元件
0	无	SR	230	HP12/24×2	HP12/24×2+SC
40	SR+HP12/24	SR+HP12/24	242	HP12/24×2+HP3	HP12/24×2+SC
99	SR+HP12/24	SR+HP12/24×2	294	HP12/24×2+HP3	HP12/24×2+SC×2
105	SR+HP12/24×2	SR+HP12/24×2	302	HP12/24×2+HP3+SC	HP12/24×2+SC×2
170	SR+HP12/24×2	SR+HP12/24×2+SC	340	HP12/24×2+HP3+SC×2	HP12/24×2+SC×3
185	HP12/24×2	SR+HP12/24×2+SC			

表 3 I 期工程功率反送时无功元件需求

功率/ MW	220 kV 投入的 无功元件	330 kV 投入的 无功元件	功率/ MW	220 kV 投入的 无功元件	330 kV 投入的 无功元件
0	无	SR	220	HP12/24×2+HP3	SR+HP12/24×2+SC
40	SR+HP12/24	SR+HP12/24	246	HP12/24×2+HP3	HP12/24×2+SC
94	SR+HP12/24×2	SR+HP12/24	280	HP12/24×2+HP3+SC	HP12/24×2+SC
99	SR+HP12/24×2	SR+HP12/24×2	314	HP12/24×2+HP3+SC	HP12/24×2+SC×2
168	HP12/24×2	SR+HP12/24×2	333	HP12/24×2+HP3+SC×2	HP12/24×2+SC×2
184	HP12/24×2	SR+HP12/24×2+SC	347	HP12/24×3+HP3+SC×2	HP12/24×2+SC×3

表 4 II 期工程功率正送时无功元件需求

功率/ MW	330 kV 投入的 无功元件	500 kV 投入的 无功元件	功率/ MW	330 kV 投入的 无功元件	500 kV 投入的 无功元件
0	无	无	490	3×HP12/24+HP3	2×HP12/24
75	HP12/24	HP12/24	510	3×HP12/24+2×HP3	3×HP12/24
262	2×HP12/24	HP12/24	680	3×HP12/24+2×HP3+SC	3×HP12/24+SC
340	2×HP12/24+HP3	2×HP12/24	730	3×HP12/24+2×HP3+2×SC	3×HP12/24+2×SC

表 5 II 期工程功率反送时无功元件需求

功率/ MW	330 kV 投入的 无功元件	500 kV 投入的 无功元件	功率/ MW	330 kV 投入的 无功元件	500 kV 投入的 无功元件
0	无	无	490	3×HP12/24+HP3	2×HP12/24
75	HP12/24	HP12/24	510	3×HP12/24+2×HP3	3×HP12/24
262	2×HP12/24	HP12/24	680	3×HP12/24+2×HP3+SC	3×HP12/24+SC
340	2×HP12/24+HP3	2×HP12/24	730	3×HP12/24+2×HP3+2×SC	3×HP12/24+2×SC

3 滤波器的滤波效果分析

对灵宝换流站所连交流系统进行了等值，其等值电路见图 2。根据图 2 及谐波滤波器和无功功率补偿装置情况用 PSCAD/EMTDC 建立了灵宝换流站的仿真模型。其中交流系统根据表 6 给出的三相短路电流进行等值。换流站平波电抗器的参数见表 7。

表 6 系统短路电流

站点	三相短路电流(大运行方式)	三相短路电流(小运行方式)
紫东 220 kV	17.12	11.3
陕州 500 kV	24.89	16.18
罗敷 330 kV	38.56	38.56

表 7 平波电抗器参数

参 数	I 期	II 期
电感值	0.12H	0.12H

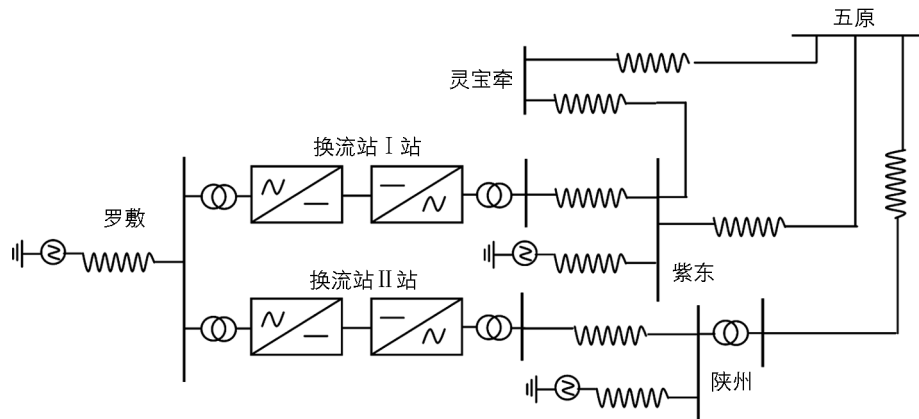


图 2 等值电路

在此基础上，对Ⅰ期工程和Ⅱ期工程中的 HP3,HP12/24 滤波器的滤波效果进行了仿真分析，表 8 给出了Ⅰ期工程正送满负荷时滤波前谐波电流的仿真结果及滤波后谐波电流的仿真结果和实测数据，表 9 给出了Ⅱ期工程正送满负荷时滤波前谐波电流的仿真结果及滤波后谐波电流的仿真结果和实测数据。由表 8，9 可以看出仿真结果与实测数据基本一致。

表 8 Ⅰ期工程正送满负荷时的滤波效果

编号	220 kV 线路侧						330 kV 线路侧					
	滤波前		滤波后				滤波前		滤波后			
	仿真结果		仿真结果		实测值		仿真结果		仿真结果		实测值	
	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %
	3	11	13	23	25	3	11	13	23	25	3	11
3	0.035	3.43	0.002	0.21	0.002	0.24	0.021	3.14	0.001	0.10	0.002	0.23
11	0.042	4.23	0.001	0.1	0.001	0.11	0.018	2.54	0.004	0.68	0.003	0.56
13	0.033	3.29	0.001	0.1	0.001	0.11	0.012	1.87	0.004	0.68	0.004	0.71
23	0.007	0.65	0	0	0.001	0.11	0.005	0.80	0.003	0.61	0.004	0.71
25	0.007	0.71	0.001	0.1	0.001	0.11	0.005	0.80	0.002	0.55	0.002	0.45

表 9 Ⅱ期工程正送满负荷时的滤波效果

编号	500 kV 线路侧						330 kV 线路侧					
	滤波前		滤波后				滤波前		滤波后			
	仿真结果		仿真结果		实测值		仿真结果		仿真结果		实测值	
	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %	大小/ kA	含量/ %
	3	11	13	23	25	3	11	13	23	25	3	11
3	0.037	3.84	0.002	0.18	0.002	0.21	0.049	3.25	0.002	0.12	0.002	0.16
11	0.042	4.33	0.001	0.11	0.001	0.14	0.039	2.62	0.011	0.72	0.013	0.81
13	0.028	2.88	0.001	0.12	0.001	0.14	0.026	1.71	0.009	0.61	0.007	0.48
23	0.007	0.71	0	0	0.001	0.12	0.014	0.91	0.008	0.54	0.006	0.34
25	0.007	0.74	0.002	0.16	0.002	0.18	0.013	0.88	0.009	0.58	0.008	0.52

从仿真结果中可以看出, 投运灵宝换流站交流侧滤波器后, 大大减小了换流站注入交流电网的谐波, 取得了优良的滤波效果.

4 结 论

本文研究了换流站产生谐波的机理, 介绍了灵宝换流站交流侧滤波器的配置情况及其在各种运行方式下的控制方式. 利用 PSCAD/EMTDC 建立了灵宝换流站的仿真模型, 并对 HP3, HP12/24 滤波器的滤波效果进行了仿真, 结果表明灵宝换流站交流侧滤波器具有良好的滤波效果, 在很大程度上减小了换流站注入交流电网的谐波.

参考文献:

[1] 穆子龙, 李兴源, 金小明, 等. 云广特高压直流送端谐波不稳定问题研究 [J]. 电网技术, 2008, 32(20): 8—14.

[2] 穆子龙, 李兴源. 交、直流输电系统相互影响引起的谐波不稳定问题 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 96—100.

[3] 赵文忠, 刘永科, 闫国平. 基于多频带小波变换的直流输电系统谐波分析 [J]. 高电压技术, 2006, 32(5): 73—76.

[4] 曾 艳, 任 震, 余 涛. 基于调制迭代谐波分析法的交直流混联输电系统多谐波源研究 [J]. 电网技术, 2006, 30(11): 26—29.

[5] 李 勇, 罗隆福, 贺达江, 等. 新型直流输电系统典型谐波分布特性分析 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(10): 59—63.

[6] 肖湘宁, 徐永海. 电能质量问题剖析 [J]. 电网技术, 2001, 25(3): 66—69.

[7] 刘渭清. 一种数字全通滤波器的最小二乘设计法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(12): 90—94.

[8] 林海雪. 现代电能质量的基本问题 [J]. 电网技术, 2001, 25(10): 5—12.

[9] 邱 宇, 王世元, 余勇志. 一种基于曲线波的改进自交叉双边滤波方法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(2): 96—105.

An Analysis of the Filtering Effect of the AC Filter in Lingbao Converter Station

DU Xi-zhou¹, JIANG Jian-dong², LI Qiang¹, ZHOU Yong²

1. Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China;
2. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

Abstract: The mechanism of harmonics produced at converter stations is analyzed. The configuration of the AC side filters in Lingbao Converter Station and their control methods under various operation modes are described. Their filtering effect is analyzed in PSCAD/EMTDC. The result shows that the AC filter in Lingbao Converter Station achieves good filtering effect and the harmonic from the converter to the AC power grid is greatly reduced.

Key words: Lingbao Converter Station; filter; harmonics; filtering effect

