

文章编号: 1005-0523(2006)02-0082-04

基于相移变压器的双桥整流器研究

叶满园

(华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:提出了一种采用相移变压器的双桥 12 脉冲整流器拓扑结构,对其工作原理进行了具体的介绍,并且分析了相移变压器的功能以及消谐原理.最后对这种拓扑结构进行了仿真和实验研究,结果表明这种整流器系统具有优良的工作性能,具有很高的实际应用价值.

关键词:相移变压器;整流器;谐波消除;功率因素

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

1 引言

随着科学技术和生产力的发展,各种结构型式和各种控制方法的整流器相继问世.对于整流器而言有三种类型:①不可控的二极管整流桥.这种方式的整流质量很高,但是它输出的直流波形不能进行调幅.主要作为电压源型逆变器的前端使用.②半控的 SCR 整流桥.这种拓扑结构,可以对电流幅值进行调节,主要用作电流源型逆变器^[1](Current Source Inverter, CSI)的前端,但是它不能消除特定谐波,因此对电网的危害较大,系统也不能够四象限运行.③PWM 全控整流器.它不但具有 SCR 整流器的所有优点,而且还可以运用特定谐波消除^[2,3](Selective Harmonic Elimination, SHE)方法,通过开关时刻的优化选择,消除特定的低次谐波,利用特定谐波消除 SHE-PWM 可以得到最低的开关频率,从而有效降低开关损耗,提高转换效率,这点对高压大功率设备来讲有特别重要的意义.本文介绍的这种整流器就是属于这种 PWM 全控整流器.它采用 12 脉冲的相移变压器,通过两个单桥整流器的级连消除了电源电流中的 5 次、7 次、17 次、19 次等谐波,

而且滤波电容器 C_f 可以吸收一部分高次谐波,这样电源电流中谐波成份就大大降低了,谐波失真 (THD) 也明显减小,因此对电网的污染很小.

2 双桥整流器的拓扑结构

1.1 主电路图

如图 1 所示,这是一个双桥整流器的拓扑结构图.从图中可以看出它是由一个 12 脉冲的相移变压器以及串级在一起的两个全控整流桥 (DBR) 等构成.本结构中采用的功率器件是双向 IGCT (SGCT),使用该器件的益处在于,它可以使整个系统在四象限 (Four Quadrant Operation) 范围内正常运行,并且还具有很高的功率因数.

在工作过程中,整流器的交流侧会产生确定的三相 PWM 电流 i_w 供给整流桥,这是由整流器的调制方式所决定的.在相移变压器的输出端并联了一个三相滤波电容器 C_f ,它的作用是:一则它可以通过吸收整流桥换相时释放出的能量,来协助 GCT 器件换相;二则它可以为高次谐波提供低阻抗的路径改善电流波形,降低电流的谐波失真 (THD).对于整流器来讲,平波电抗器 (Choke) L_d 是必不可少的器

收稿日期:2005-11-30

作者简介:叶满园(1978-),男,安徽人,硕士,讲师,研究方向:电力电子技术及应用

件,它可以使直流电源 I_d 变得连续而光滑.

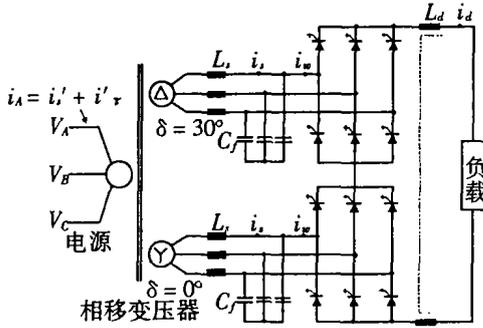


图 1 双桥整流器的拓扑结构

1.2 相移变压器

相移变压器是多脉冲整流器中必不可少的设备.对整流器而言,它主要有三个功能:a)在变压器的原边和副边产生一定的相移,可以用来消除一定的谐波;b)为副边提供一个合适的电压;c)隔离电源和逆变器负载.在变频调速装置中,由于调制方式的不同,有时会在电机或其它的负载中,产生有害的共模电压(Common-Mode Voltage)^[4],这样采用相移变压器就可以隔离电源和负载,因而共模电压也就不会产生环流,进而就可以直接用三相滤波电容器 C_f 接地来消除共模电压.

对于相移变压器,它的绕组的排列大致有三种方式:Y/Δ、Y/Z 和 Δ/Z,即在原边它的绕组为 Y 或 Δ 型,而在副边则是 Δ 或者是 Z 型(Zigzag or Extended-Δ Connection).下面简要的介绍一下相移变压器的消谐原理.如图 2 所示.

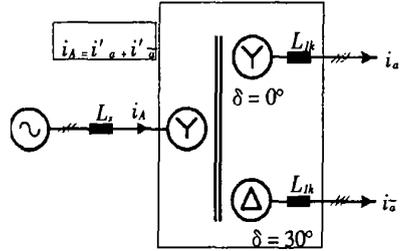


图 2 12 脉冲变压器消谐原理图

参考文献^[5]中有这样一个结论:变压器的原边电流可以分成两部分,分别是正序谐波和负序谐波,它们与副边电流相差 δ 相角.对于本文中的 12 脉冲移相变压器而言,分别等于 0° 和 30° ,如图 2 所示.

这样假设副边电流为:

$$\begin{cases} i_s = \sum_{n=1,5,7,11,\dots}^{\infty} \hat{I}_n \sin(n(\omega t + \delta)) \\ \tilde{i}_s = \sum_{n=1,5,7,11,\dots}^{\infty} \hat{I}_n \sin(n\omega t) \end{cases} \quad (1)$$

这样折算到原边,即为式(2)所示:

$$\begin{aligned} i'_s &= \frac{1}{K_V} \left[\sum_{n=1,7,13,\dots}^{\infty} \hat{I}_n \sin(n(\omega t + \delta)) + \sum_{n=5,11,17,\dots}^{\infty} \hat{I}_n \sin(n(\omega t + \delta) + \delta) \right] \\ &= \frac{1}{2} [I_1 \sin(\omega t) - I_5 \sin(5\omega t) - I_7 \sin(7\omega t) + I_{11} \sin(11\omega t) + I_{13} \sin(13\omega t) + \dots] \quad K_V=2, \delta=30^\circ \\ \tilde{i}_s &= \frac{1}{K_V} \left[\sum_{n=1,7,13,\dots}^{\infty} \hat{I}_n \sin(n\omega t - \delta) + \sum_{n=5,11,17,\dots}^{\infty} \hat{I}_n \sin(n\omega t + \delta) \right] \\ &= \frac{1}{2} [I_1 \sin(\omega t) + I_5 \sin(5\omega t) + I_7 \sin(7\omega t) + I_{11} \sin(11\omega t) + I_{13} \sin(13\omega t) + \dots] \quad K_V=2, \delta=0^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

因此线电流 i_A 为:

$$i_A = i'_s + \tilde{i}_s = I_1 \sin(\omega t) + I_{11} \sin(11\omega t) + I_{13} \sin(13\omega t) + I_{23} \sin(23\omega t) + I_{25} \sin(25\omega t) + \dots \quad (3)$$

由此可见,12 脉冲相移变压器的线电流 i_A 中的 5 次、7 次、17 次、19 次等谐波均已经被消除.对本文应用的 12 脉冲相移变压器,通过其本身的消谐作用,最后剩下的谐波次数为:

$$n = 12k \pm 1, \text{ for } k = +int \quad (4)$$

如果再采用 SHE-PWM 谐波消除技术消除 11 次和 13 次谐波,那么这种整流器所含的谐波成份最小次就是从 21 次开始.

3 仿真研究

为了验证上面的理论分析的正确性,在 MATLAB/SIMULINK/Powersystem 下进行了仿真研究.仿真条件: $L_s = 0$, $L_{lk} = 3.4 \text{ mH}$, $I_{d1} = 100 \text{ A}$.仿真波形如图 3 和图 4 所示.

由图 3 和图 4 可以看出,由于采用了相移变压器,使其幅边折算电流 i'_a 和 \tilde{i}_a 在主侧相互叠加,5 次、7 次、17 次和 19 次谐波因相互抵消而被消除.剩下的高次谐波中幅值最高的为 11 次和 13 次,线电压的 THD(谐波失真)只有 8.38%.

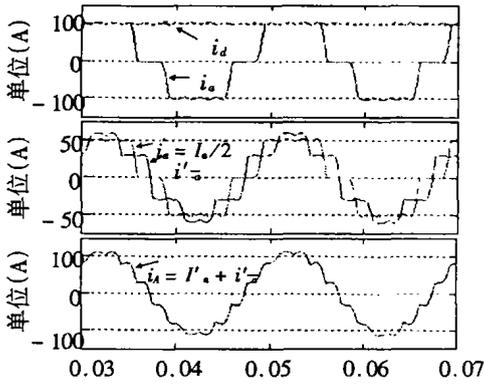


图3 双桥12脉冲整流器电流波形

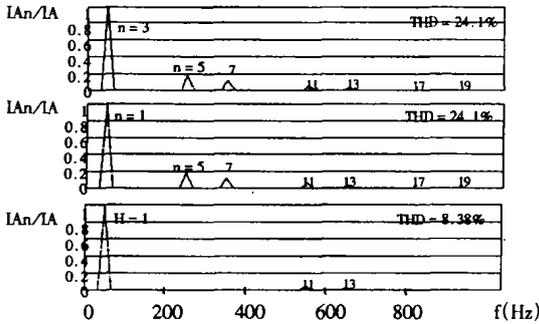


图4 电流波形谐波频谱图

当仿真参数 L_s 分别取 0、3.4 mH 和 3.6 mH 时，12 脉冲整流器的 THD 和功率因素 PF 对应电流 I_{A1} 的关系如图 5 所示。由图可见，线电感 L_s 取值越大，电流 I_{A1} 的谐波成份越小，但与此同时功率因素会降低。

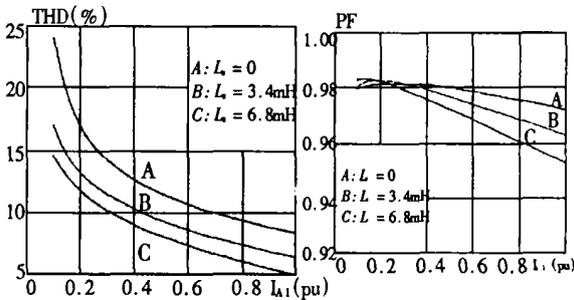
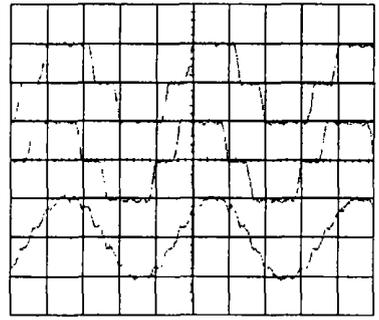


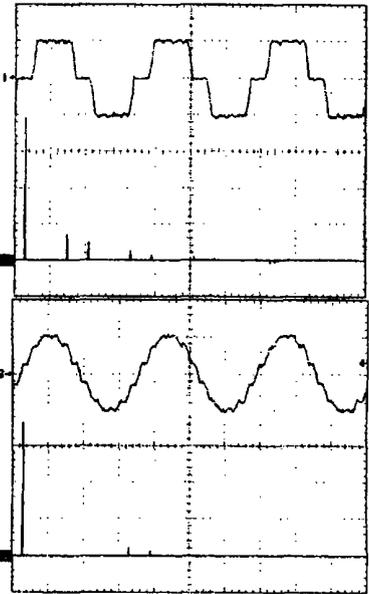
图5 12脉冲整流器线电流谐波失真和功率因素图

4 实验研究

为了进一步研究 12 脉冲整流器的实际效果，我们还进行了具体实验研究，实验参数为：总的漏电感 $L_{lk}=5.4$ mH、滤波电容 $C_f=28.6$ μ F、电压变比 $V_{AB}/V_{ab} = V_{AB}/\tilde{V}_{ab} = 2.05$ 、 $L_s = 0$ 。以 TI 公司的 DSP320LF2407 控制器为控制平台，所得实验波形如图 6 所示。图 6(a) 中波形由上至下依次是： i_a 、 i'_a 和 i_A 。



(a) i_a 、 i'_a 和 i_A 的实验波形图： $\sqrt{2}$ pu/div.



(b) i_a 和 i_A 的频谱， $(\sqrt{2}/5)$ pu/div(rms). Timebase: 200Hz/div.

图6 12脉冲整流器的实验波形和谐波失真频谱

由实验波形可以清楚的看到，由于采用了相移变压器，5次、7次、17次和19次谐波相互抵消了。所剩下的11次和13次谐波也可以采用文献^[6]中的 SHE-PWM 技术消除，在本文中就不具体介绍了。从而使的该种整流器在保证功率因素很高的情况下，还可以使得谐波成份很低，综上所述，这种整流器具有很好的运行性能，具有很高的实际应用价值。

结论

本文介绍的 12 脉冲整流器拓扑结构简单，价格便宜，运行性能优越，非常具有实际应用价值。

参考文献：

[1] B. Wu, S. Dewan and G. Slemon. PWM-CSI Inverter Induction Motor Drives, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.28, No.1, pp64-71, 1992.
 [2] Patel H S, Hoft R G. General Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverter: Part 1-Har-

monic Elimination [J]. IEEE Trans on IA, 1973, 9(3):301~317.

- [3] Patel H S, Hoft R G. General Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverter: Part 2—Voltage Control Technique [J]. IEEE Trans on IA, 1974, 10(5):666~673.

- [4] 姜艳姝, 崔博, 徐殿国. 一种消除 PWM 逆变器输出共

模电压的前馈有源滤波器[J]. 电机与控制学报, 2003, 7(1):70—74.

- [5] 王毓东. 电机学[M]. 浙江:浙江大学出版社, 2000.
- [6] 费万民, 吕征宇, 姚文熙. 三电平逆变器特定谐波消除脉宽调制方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(9):11—15.

Study of Dual Bridge Rectifier Based on Phase Shifting Transformer

YE Man-yuan

(School of Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper puts forward a 12-Pulse dual bridge rectifier with phase shifting transformer. This paper introduces its work principle concretely, and analyzes function and elimination harmonic principle of phase shifting transformer. It is, at last, investigated with simulation and experiment, the results proved that the topology of the rectifier takes on fine work performance and a high applicable value.

Key words: phase shifting transformer; rectifier; elimination harmonic; power factor

(上接第 81 页)

能上传指定类型的文件;对上传的目录进行限制.

6 结束语

学生通过网上作业系统交送程序和实验报告具有很多优点,首先为学生提供了一个保存作业的空间,可以节省纸张.教师则可以更方便地对学生的作业进行分析对比,存档的作业也可作为教学积累资料,学生的作业解答可用于课堂分析.为了保证作业的完成进度,对作业解答的控制自然有必要.本文给出了该系统在实现中考虑的控制办法.网上作业系统通过网络即可实现作业的答题、提

交、批改和信息反馈等功能,为远程教育检查学生学习效果提供了重要技术手段.

参考文献:

- [1] 谢君华,等.远程作业—远程教育的核心技术[J].中国远程教育,2004,3.
- [2] 丁振凡.基于 Web 数据库技术的自适应 CAI 系统的研制[J].华东交通大学学报,2001,1.
- [3] 吴彦,等.网上作业系统的设计与实现[J].电脑与信息技术,2004,1.
- [4] 朱贵良,等.基于 Web 的网上作业处理系统的设计与实现[J].计算机工程,2002,6.

The Controllable Design for Network Job System

DING Zhen-fan¹, WANG Lin-yuan²

(East China Jiaotong University, 1.School of Information Engineering, 2.Department of Teaching Management, Nanchang 330013, China)

Abstract: As a subsystem in network instruction platform, the job system introduced in this paper is programmed by ASP script language. It implements all sections for the job arrangement, answer, remark and analysis. In order to limit the time for student to do job, the teacher should be able to control the job state. The paper presents the details of the system design.

Key words: network job system; ASP; database