

# 滞环电流控制的新型三相电压型变流器

魏克新, 张书军

(天津理工大学, 天津 300191)

**摘要:** 随着电力电子技术的发展,可逆变流装置得到了广泛应用。传统的相控整流器存在功率因数低、输入电流谐波成分高等缺点,影响了电网的供电质量。针对这类非线性负载所产生的负面影响,提出了一种滞环电流控制的新型三相电压型变流器,分析了系统的控制原理,论述了系统的设计过程,运用 Psim 软件进行仿真分析,采用 IGBT 作为功率元件,基于 DSP 构造了一套可逆变流器装置。该装置实现了单位功率因数,并使输入电流为正弦电流,得到了与仿真分析相一致的试验结果。

**关键词:** 单位功率因数; 变流器; 滞环电流控制

**中图分类号:** TM46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4397(2005)16-0058-04

## 0 引言

随着电力电子技术的飞速发展,各类电力电子可逆变流装置作为重要的电器设备广泛地应用于各个领域,如:交、直流可调电源,不间断电源系统,电气传动控制以及电化学生产等。但从工业现场应用的可逆变流装置来看,仍有一些问题:其一是网侧功率因数低;其二是输入电流谐波成分高。随着这类非线性负载容量的增大和应用的不断普及,造成了供电系统功率因数低和大量的谐波注入电网的负面影响。针对上述两个问题,采用 PWM 控制方式的可逆变流器可以实现单位功率因数,减少网侧电流畸变,并且能够实现直流侧能量向电网回馈。目前该类的控制方案有间接电流控制<sup>[1,2]</sup>和直接电流控制<sup>[3]</sup>。间接电流控制是采用数学计算的方法实现电流环的作用,系统控制简单,但该控制方案存在系统动态响应慢和有瞬态直流电压偏移的缺点。而直接电流控制能实现电流的迅速调节,获得较好的动态性能。本文介绍新型高性能变流器系统采用直接电流控制中的滞环电流控制。文中分析了该系统的工作原理,论述了系统的设计过程,最后给出了系统的仿真分析与试验结果。

## 1 工作原理分析

新型变流器系统的主电路拓扑结构如图 1 所示。图中  $e_a, e_b, e_c$  为电源,  $L_s$  为电抗器,  $R_s$  为电抗器内阻,  $T_1 \sim T_6$  为全控型开关器件,  $D_1 \sim D_6$  为 6 个开关器件的续流二极管,  $C_0$  为输出直流侧的滤波电

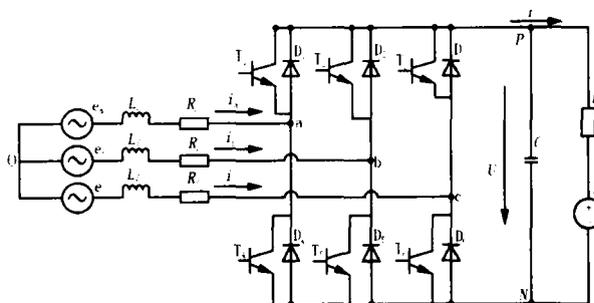


图 1 三相变流器主回路图

Fig. 1 Main circuit of the three-phase rectifier

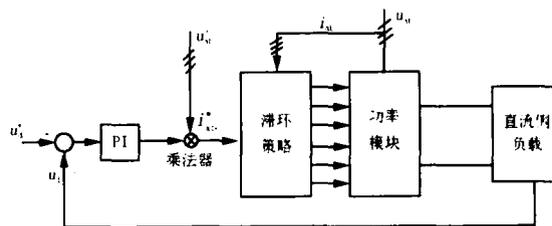


图 2 系统原理图

Fig. 2 System diagram block

容,  $R_0$  和  $E_L$  为负载。

系统采用双闭环形式构成,如图 2 所示:内环为电流环,采集实际电流信号  $i_{abc}$  和电流指令信号  $i_{abc}^*$  进行比较来决定功率元件的开关时序;外环为电压环,采用 PI 调节器来完成直流电压  $U_d$  的控制。

## 2 新型变流器的系统设计

### 2.1 硬件设计

新型变流器的系统构成如图 3 所示。

系统采用 TI 公司的 TMS320LF2407 处理器作为控制器的核心器件,该处理器作为电力电子变流系统的控制器较普通的单片机有明显的优越性,

基金项目:天津市教委基金项目资助(20030523)

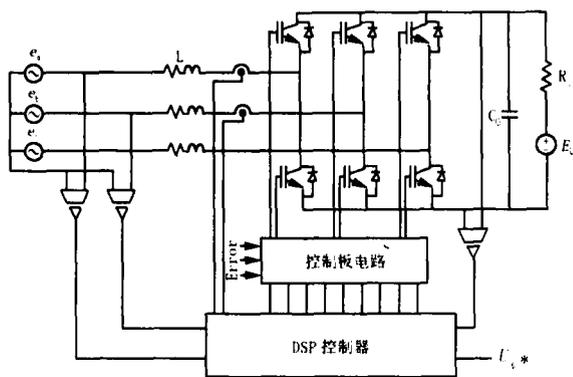


图3 新型变流器的系统构成  
Fig.3 Structure of novel rectifier

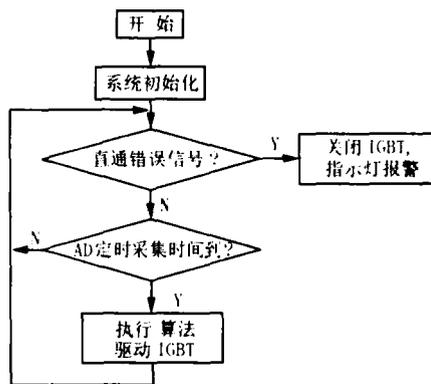


图5 流程图  
Fig.5 Flow chart

30MIPS的运算速度、12路PWM通道和片上AD等为该类系统的控制提供了便利条件。

系统各部分的功能如下：

1) 电抗器  $L_s$ : 系统的关键元件, 它的取值大小直接影响到系统的控制性能。

2) 功率模块及控制板电路: 功率模块由6个大功率IGBT模块和电压尖峰吸收电路组成。该控制板电路可输出6路控制信号驱动IGBT, 同时, 该电路具有通过硬件实现的桥臂互锁功能和桥臂直通错误信号检测功能。

3) DSP控制器及其外围电路: 外围电路完成4路交流信号、2路直流信号、3个桥臂的直通短路错误信号的采集功能和6路控制信号的输出功能, 同时将交流信号做非线性处理, 输出单极性信号给DSP控制器, 如图4所示。DSP控制器为整个控制系统的核心, 读取桥臂直通短路错误信号状态, 完成系统控制算法, 输出控制信号给IGBT。

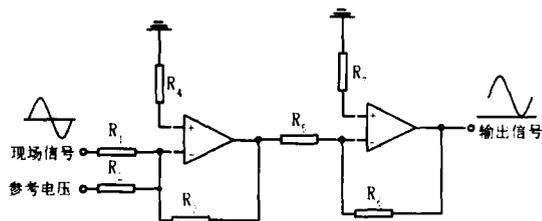


图4 信号处理电路  
Fig.4 Signal processing circuit

## 2.2 软件设计

结合新型变流器的滞环控制策略和系统的硬件原理, 将系统控制软件划分为以下几个功能模块: 系统初始化、信号采集、控制算法、控制信号输出和桥臂的直通短路错误信号检测。软件流程如图5所示。

## 2.3 参数设计

控制策略的实现与否的关键元件之一是变压器二次侧所串联的电抗器。在系统的分析与试验过程中, 针对主电路二次侧电抗器的参数变化进行了大量的试验, 从试验的结果可以看出: 该器件的参数对系统控制效果的影响较大。鉴于该种调节原理是基于相间短路的原理来完成的, 在触发导通IGBT所形成的新的附加短路回路中, 忽略电抗器和变压器的内阻, 可以得到式(1):

$$2L_s \frac{di_d}{dt} = \Delta U \quad (1)$$

式中:  $L_s$  为变压器二次侧所串连的电抗器的电感值;  $\Delta U$  为短路回路各有源元件的回路电压的代数和。

从式(1)可以看出: 在任意一个IGBT导通的周期内,  $\Delta U$  可以近似认为是恒定不变的值, 则电抗器的大小会直接影响系统的电流变化速度, 构造系统的关键是选取恰当的电抗器。而电抗器的参数设计分散性较大且不易调整, 因此, 可采用改变控制频率与控制算法等方法来补偿其参数的分散性, 以达到满意的控制效果。这一点在系统仿真分析中得到了进一步的验证。

## 3 系统实现

### 3.1 PSIM 仿真

根据新型变流器系统的硬件原理和软件流程, 用PSIM软件对整个系统进行仿真, 得到的仿真结果如图6所示。

从以上的仿真结果中我们可以看出: 在图6(a)的整流状态, 对于不同负载情况, 系统均能稳定工作在单位功率因数状态完成整流。在图6(b)中, 当直流侧接反电动势负载具备逆变条件时, 系统能实现

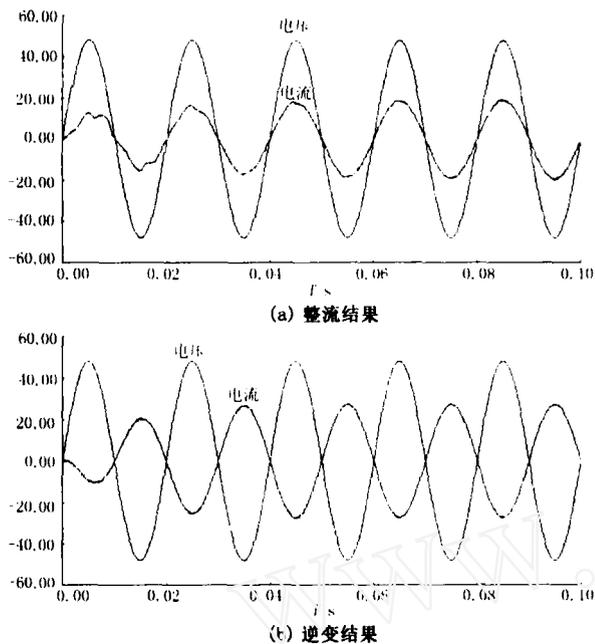


图6 仿真结果  
Fig.6 Simulating results

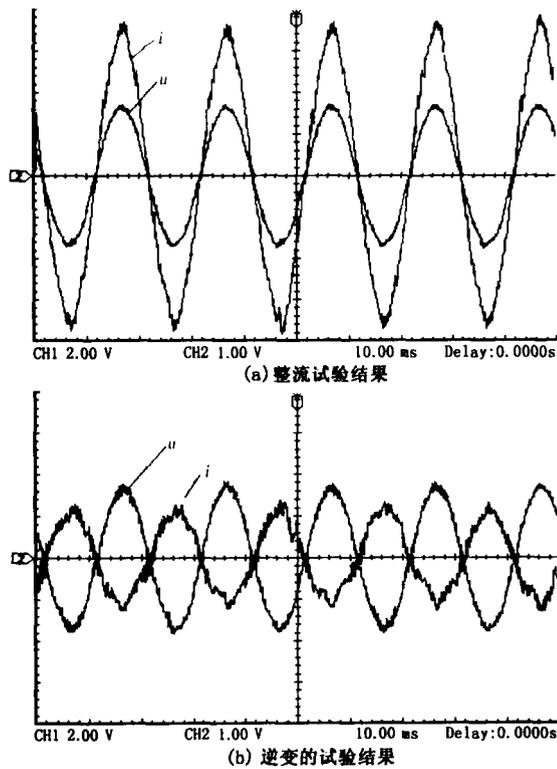


图7 试验结果  
Fig.7 Testing results

逆变,即:直流侧能量向交流侧流动,并且功率因数为-1,实现能量的逆向流动。

### 3.2 系统试验结果

基于以上的研究,构造了试验系统。在交流相

电压为40V的情况下,交流电流的变化范围是5~30A。试验结果如图7所示。由图7可以看出,系统可以在整流和逆变状态下均实现单位功率因数。

## 4 结论

本文针对三相滞环控制型可逆变流器进行了研究。在进行了大量的仿真试验基础之上,在实验室完成了实验系统的试验,得到了与仿真结果一致的试验效果。新型变流器克服了传统整流器的缺点,实现了正弦输入电流与高功率因数的控制。该系统逆变方面仍有待于改进。新型的可逆变流器应当具有广泛的实际推广应用价值。

### 参考文献:

- [1] Wu R, Dewan S B. Analysis of an AC-to-DC Voltage Source Converter Using PWM with Phase and Amplitude Control[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 1991, 27:355-364.
- [2] 邹伟扬,郑颖楠,等. 三相电压源型PWM可逆变流器的新型相位幅值控制[J]. 电力电子技术, 2000, (4), 36-38.  
WU Wei-yang, ZHENG Ying-nan, et al. A Novel Phase and Amplitude Control for the Three-phase Voltage-sourced PWM Reversible Rectifier[J]. Power Electronics, 2000, (4): 36-38.
- [3] Wu R, Dewan S B. Analysis of a PWM AC to DC Voltage Source Converter Under the Predicted Current Control with a Fixed Switching Frequency[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 1991, 27:756-764.
- [4] 崔桂梅,王建良,洪晓英,等. 电流跟踪型逆变器中电感值的计算[J]. 高电压技术, 2003, (8): 5-6.  
CUI Gui-mei, WANG Jian-liang, HONG Xiao-ying, et al. Calculation of Inductance Value of Current Following Inverter[J]. High Voltage Engineering, 2003, (8): 5-6.
- [5] 张笑微,黄玉清. 间接电流控制三相交-直变流器的系统分析与设计[J]. 电气传动自动化, 2002, (12): 8-10.  
ZHANG Xiao-wei, HUANG Yu-qing. Analysis and Design of Three Phase AC-DC Converter with Current Indirect Control[J]. Electric Drive Automation, 2002, (12): 8-10.
- [6] 屈莉莉,秦忆,杨兆华. 三相PWM高频整流器主电路参数选择[J]. 东北电力技术, 2002, (1): 41-43.  
QU Li-li, QIN Yi, YANG Zhao-hua. The Parameter Selection for Primary Circuit of 3-phase PWM High frequency Rectifier[J]. Northeast Electric Power Technology, 2002, (1): 41-43.

- [7] 文元美. 高功率因数变流器的 SIMULINK 模型[J]. 广东工业大学学报, 2001, 12: 11-14.  
WEN Yuan-mei. Modeling of a High Power Factor Converter Using SIMULINK[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2001, 12: 11-14.
- [8] 郑颖楠, 傅诚. 电压型可逆变流器的控制策略现状与发展[J]. 电气传动, 2001, (6): 3-6.  
ZHENG Ying-nan, FU Cheng. The Present Situation and Development of Control Strategy in Three-phase Rectifier Converters[J]. Electric Drive, 2001, (6): 3-6.
- [9] 詹长江, 秦荃华, 韩英铎, 等. 三电平脉宽调制高频整流器系统数学模型及仿真分析[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 45-48.  
ZHAN Chang-jiang, QIN Quan-hua, HAN Ying-duo, et al. Study on Mathematical Model and System Simulation of the Three-level PWM Reversible Rectifier[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(7): 45-48.
- [10] 宋平岗, 赵莉. 高功率因数交直 Buck-Boost 变流器的分析[J]. 华东交通大学学报, 1998, (9): 31-38.  
SONG Ping-gang, ZHAO Li. Analysis of High Power Factor AC DC Buck-Boost Converter[J]. Journal of East China Jiaotong University, 1998, (9): 31-38.
- [11] 郑颖楠, 年英梅, 邬伟扬, 等. 三相 AC-DC 电压型变流器主电路参数关系的仿真研究[J]. 电气传动, 1998, (2): 15-18.  
ZHENG Ying-nan, NIAN Ying-mei, WU Wei-yang, et al. Simulation Research on Main Circuit Parameter of 3-Phase AC-DC Voltage Source Converter[J]. Electric Drive, 1998, (2): 15-18.
- [12] 张加胜. 滞环电流跟踪控制的开关频率[J]. 西安石油学院学报, 1998, 13(2): 44-47.  
ZHANG Jia-sheng. Switching Frequency of Hysteresis Band Current Tracking Control[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1998, 13(2): 44-47.
- [13] 郑颖楠, 王炎, 邬伟扬, 等. 可逆变流器的 OPWM 控制[J]. 东北重型机械学院学报, 1997, 21(4): 318-322.  
ZHENG Ying-nan, WANG Yan, WU Wei-yang, et al. The Reversible Rectifier Control with OPWM[J]. Journal of Northeast Heavy Machinery Institute, 1997, 21(4): 318-322.
- [14] 张纯江, 王炎, 邬伟扬, 等. 高功率因数整流器的拓扑结构及控制策略[J]. 东北重型机械学院学报, 1997, 21(4): 323-326.  
ZHANG Chun-jiang, WANG Yan, WU Wei-yang, et al. The Topologies and the Control Strategies of the High Power Factor Rectifier[J]. Journal of Northeast Heavy Machinery Institute, 1997, 21(4): 323-326.

收稿日期: 2004-11-22; 修回日期: 2005-02-23

作者简介:

魏克新(1954-), 教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为自动控制、计算机控制、电力电子技术;

张书军(1975-), 硕士研究生, 主要研究方向为计算机控制、电力电子技术。E-mail: inage\_zhang@eyou.com

### Novel 3-phase voltage source converters with hysteresis current control

WEI Ke-xin, ZHANG Shu-jun

(Tianjin University of Technology, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Conventional rectifiers have the defects of low power factor and high harmonic which affect the power quality. A novel three-phase voltage source converter with hysteresis current control was presented to reduce the negative influence of nonlinear load. The system control theory was analyzed and the system designing process was presented. The simulation was realized by using Psim software. The reversible converter was constructed based on DSP and IGBT. The unity power factor and sinusoidal current were achieved in the device. The experimental results were identical to the simulation.

**Key words:** unity power factor; converter; hysteresis current control

(上接第 57 页 continued from page 57)

**Abstract:** The rapid development of electric power communication brings us more complicated communication equipments and too much more communication circus. It is a challenge to the existing communication source management and special for circus source management. To meet the practical demands of the electric power communication management, the paper designed an Electric Power Communication Resource Management System. This design was based on the existing work step and management process. It's a GIS-based and GUI supplied novel idea and mode for management. The system adopted modularization design method to realize the system's automation management. It can monitor and manage the whole system integrated with optical fiber automation system.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No. 60402004).

**Key words:** resource management; system design; graphic user interface; MapX; circuit control