

文章编号:1671-251X(2011)08-0067-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110807.1133.020

单位功率因数三相 PWM 整流器的设计

李小喜¹, 宋建成², 曲兵妮², 耿蒲龙², 刘国瑞²

(1. 晋煤集团寺河矿, 山西 晋城 048205; 2. 太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:针对传统的二极管整流器和相控整流器对电网造成的谐波污染问题,设计了一种单位功率因数三相PWM整流器,详细介绍了该整流器功率电路的拓扑结构、PWM整流器的控制策略、硬件电路和软件设计方法。实验结果表明,该PWM整流器采用电压电流双闭环的直接电流控制策略,网侧功率因数高,谐波畸变率低,减小了对电网的污染。

关键词:PWM整流器;功率因数;双闭环控制

中图分类号:TD611; TM461

文献标识码:A

网络出版时间:2011-08-07 11:33

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110807.1133.020.html>

Design of Three-phase Unity Power Factor PWM Rectifier

LI Xiao-xi¹, SONG Jian-cheng², QU Bing-ni², GENG Pu-long², LIU Guo-rui²

(1. Sihe Coal Mine of Jincheng Coal Mining Group Co., Ltd., Jincheng 048205, China.

2. College of Electrical and Power Engineering of Taiyuan University of Technology,
Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of problem of electric harmonic pollution produced by diode rectifier and phase-controlled rectifier, a three-phase unity power factor PWM rectifier was designed. The topology of power

收稿日期:2011-04-15

基金项目:“十一·五”国家科技支撑计划重点项目
(2007BAK29B05),山西省自然科学基金资助项目(2008011036)

作者简介:李小喜(1967-),男,山西曲沃人,工程师,硕士生,
现任晋煤集团寺河矿副矿长,主要从事技术管理工作,研究方向
为智能电器。E-mail:shkixx@163.com

不排除还有更好的控制方法及控制效果。

参考文献:

- [1] 欧阳磊,黄友锐,黄易生. 基于模糊 RBF 神经网络的 PID 及其应用[J]. 计算机工程, 2008, 22(34): 231-233.
- [2] 张学燕,高培金,刘勇. BP 神经网络 PID 控制器在工业控制系统中的研究与仿真[J]. 自动化技术与应用, 2010, 29(5): 9-12.
- [3] 刘迪,唐永红,王晶,等. 基于改进型 BP 神经网络的 PID 控制算法[J]. 兵工自动化, 2010, 3(29): 28-30, 32.
- [4] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:电子工业出版社, 2003: 87.
- [5] 严卫,王育才,孙希通. 基于单神经元自适应 PID 控制器的无刷直流电动机控制方法研究[J]. 微电动机, 2007, 40(8): 34-36, 81.
- [6] 李俊丽,何勇,王生泽. 单神经元 PID 在多电动机同步控制中的应用[J]. 机电工程, 2010, 27(8): 32-34.
- [7] 肖莎,谭晓军,刘海强. 基于单神经元 PID 控制的直流无刷电动机调速系统的建模与仿真[J]. 电脑与电信, 2010, 7(1): 11-13.
- [8] ZHAI Lianfei, TIAN You. Nonlinear Decoupling PID Control Using Neural Networks and Multiple Models [J]. Journal of Control Theory and Applications, 2006, 1(1): 62-69.
- [9] 李广军,张晶,曾安平. 基于 BP 神经网络的 PID 控制器研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 128-131.
- [10] 尹怡欣,孙一康,舒迪前. 具有二次型性能指标的简单自适应控制算法及其应用[J]. 控制与决策, 2000, 15(2): 236-238.

circuit, control strategy of PWM rectifier and design methods of hardware circuit and software were introduced in details. The experiment result showed that the PWM rectifier adopts control strategy of direct current of double loop-closed of voltage and current, which has high power factor and low total harmonic distortion in AC-side, and reduces pollution to power network.

Key words: PWM rectifier, power factor, double loop-closed control

0 引言

随着电力电子装置的广泛使用,由此引起的谐波污染问题日益严重。传统的二极管整流和晶闸管相控整流装置输入功率因数低,谐波分量高,给电网带来了极大的污染,严重影响周围负荷的正常运行^[1-2]。PWM 整流器可实现网侧电流正弦化,且运行于单位功率因数和能量双向传输,能真正实现“绿色电能变换”。PWM 整流器在网侧所呈现的受控电流源特性,使得 PWM 整流器及其控制技术取得了更广泛和更重要的应用,如静止无功补偿、有源电力滤波、统一潮流控制、电气传动、新型 UPS^[3-5]。因此, PWM 整流器的研究具有较高的理论价值和广泛的应用前景。

本文采用电压电流双闭环的直接电流控制方法,设计了具有高功率因数和低谐波畸变率的三相 PWM 整流器,以解决整流器普遍存在的电网污染问题。

1 三相电压 PWM 整流器的拓扑结构

目前,整流器主要有 3 种电路拓扑结构,一种是采用二极管不可控整流,一种是采用晶闸管相控整流,还有一种是采用全控开关器件的 PWM 整流器。不管是相控整流还是不可控整流,整流电路的输入电流中谐波分量都很大,总的功率因数都较低。

本设计采用由全控开关器件 IGBT 构成的三相半桥电压源型整流电路,如图 1 所示。它是一种全解耦的电路拓扑结构,通过对三相物理解耦,各相电流可同时独立控制。该结构的优点:在任意时刻,每相只有一个器件导通,导通损耗低;在控制上相互独立,相间干扰小,有利于提高系统的性能和可靠性。

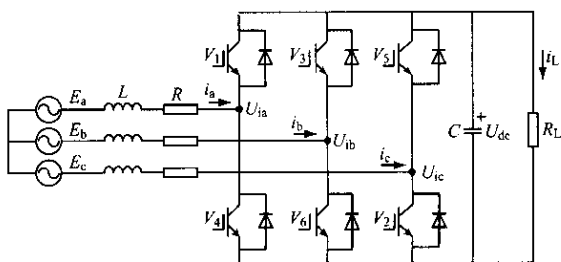


图 1 三相电压 PWM 整流器拓扑结构

2 PWM 整流器的控制策略

PWM 整流器的控制对象是电网侧输入电流和直流侧输出电压。采用 PWM 整流器的目的是使输入电流波形正弦化,因此,输入电流控制是整流系统控制的关键所在。同时,对输入电流的有效控制就是对变换器能量流动的有效控制,也就实现了输出电压的控制。PWM 整流器控制器的结构如图 2 所示,其控制策略为电压电流双闭环的直接电流控制。

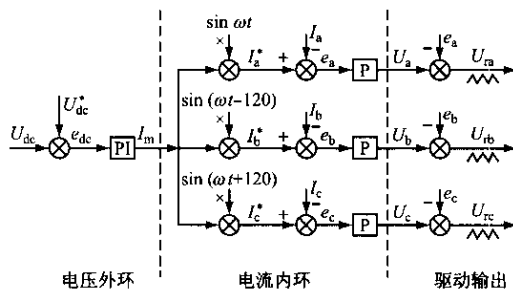


图 2 PWM 整流器控制器的结构

PWM 整流器控制器的外环是直流侧电压控制环。直流电压给定信号 U_{dc}^* 和实际直流电压 U_{dc} 比较后送入外环 PI 调节器,PI 调节器输出直流电流的指令信号 I_m , I_m 的大小和整流器交流输入电流的幅值成正比。稳态时, $U_{dc} = U_{dc}^*$, PI 调节器的输入为零,其输出 I_m 和整流器负载电流大小相对应,也与整流器输入电流的幅值相对应。当负载电流增大时,直流侧电容 C 放电使电压 U_{dc} 下降,PI 调节器的输入端出现正偏差,其输出 I_m 增大,使整流器的交流输入电流增大,直流侧电压 U_{dc} 回升,最终使 U_{dc} 和 U_{dc}^* 相等,PI 调节器的输入仍恢复到零,而 I_m 则稳定在新的较大值,与较大的负载电流和较大的输入电流相对应。

PWM 整流器控制器的内环为电流环,是系统的功率因数校正环。外环 PI 调节器直流指令电流信号 I_m 分别乘以和 a、b、c 三相电压同相位的正弦信号,就得到三相交流电流的正弦指令信号 I_a^* 、 I_b^* 、 I_c^* ,三者分别和各自的电源电压同相位,其幅值和反映负载电流大小的直流信号 I_m 成正比,该指令信号同实际的整流器交流侧输入电流相比较,经调

节后得到正弦调制电压,同三角波进行比较后,即可得出控制开关管导通的PWM波。另外,调制前在控制中加入了电网电压前馈控制,用来抑制电网电压波动引起的控制失衡。由于采用了网侧电流闭环控制,使整流器网侧电流动、静态性能得到了提高,同时也使网侧电流控制对系统参数不敏感,增强了电流控制系统的鲁棒性。

3 PWM整流器控制器的硬件设计

控制器是整个PWM整流器的核心部分,是连接强电回路和弱电回路的桥梁,既要对接强电回路的信号检测整形,还要对CPU发出的控制信号进行隔离放大输出。本控制器以STM32F103VB为控制核心,外围电路包括交流电压、电流检测电路、直流电压检测电路、锁相环电路、通信电路、IGBT驱动电路等。

3.1 交流电压、电流检测电路

PWM整流控制器需要实时采集网侧的交流电压信号,但网侧的强电信号必须经过隔离、降压、整形才能送给控制器的A/D口,该控制器的交流电压检测电路如图3所示。

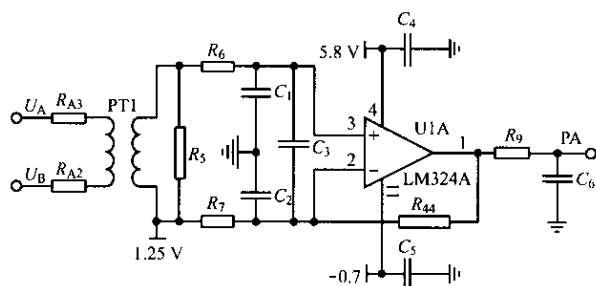


图3 交流电压检测电路

图3中,PT1为电压型电压互感器;运放采用单电源供电形式,其正电源端接+5V电压,负端接-0.7V电压信号,该负电压可通过一个二极管实现,避免专门设计负电源的麻烦;由于A/D的参考电压为2.5V,必须把电压互感器输出的双极性交流电压信号调理成单极性0~2.5V的模拟电压信号,因此,图3中的1.25V用于抬高半电平。电容 $C_1 \sim C_6$ 用于滤波,滤除电网电压的高次谐波及尖峰干扰。

交流电流检测电路的作用和调理过程与电压调理电路相同。

3.2 直流电压检测电路

PWM整流器控制系统中,直流电压环为双闭

环系统的外环,直流电压检测的正确与否直接关系到整流器的稳定性,如果直流电压检测值偏大,则外环给定值减小,当低于逆变器所需的最低限制时,有可能造成逆变器输出电压值偏小;如果直流电压检测偏小,则外环给定值增大,交流侧输入电流增大,一方面加大了开关管的通态损耗,另一方面有可能造成直流母线电压过高,超过直流母线电容耐压值,造成直流母线电容炸裂。因此,应尽可能提高直流母线电压的检测精度。图4为该控制器的直流电压检测电路。

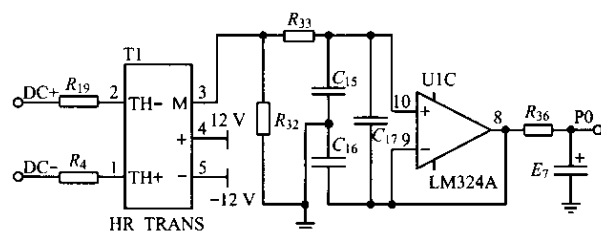


图4 直流电压检测电路

图4中,T1为电流型霍尔直流电压传感器,隔离并按比例降低检测直流母线电压;电阻 R_{32} 将电流信号变换为电压信号;运放为电压跟随器,为连接形式;电容用于滤除直流母线由高频开关频率引起的纹波和毛刺干扰。

3.3 IGBT驱动电路

IGBT驱动电路为整个系统的控制器和强电部分提供了桥梁,使CPU发出的微弱电平信号通过隔离和功率放大后送给系统的功率器件IGBT,它是整个系统得以正常工作的重要环节。本设计采用Avago公司生产的IGBT专用驱动芯片HCPL-316J。

IGBT驱动电路具有如下特点:可以提供适当的正向和反向输出电压,使IGBT可靠开通和关断;可提供足够大的瞬态功率,使IGBT能迅速建立栅控电场而导通;具有尽可能小的输入/输出延迟时间,以提高工作效率;有足够高的输入/输出电气隔离性能,使信号电路与栅极驱动电路绝缘;具有灵敏的过流保护能力。

4 PWM整流器控制器的软件设计

PWM整流器控制器的软件主要由主程序(初始化程序和While程序)和中断服务程序2个部分组成。初始化程序首先完成时钟初始化、I/O口初始化、中断初始化、通信串口初始化、AD采样初始

化等;While 程序包括电压、电流有效值、功率、功率因数计算子程序、RS485 通信子程序、校准程序,同时等待中断发生。中断到来后,进入中断服务程序。中断服务程序包括外部中断服务子程序和串口中断子程序,其中外部中断服务子程序主要用于 PWM 整流器控制,串口中断服务程序主要用于接收上位机(显示系统)发来的指令。

外部中断服务程序是整流器控制算法实现的核心部分,主要包括开启 A/D 采样、整流器交流侧三相输入电压最大值计算、瞬时值电流保护计算、三相输入电压瞬时相位计算、电压外环、电流内环相关计算、SPWM 波生成等子程序。

外部中断程序流程如图 5 所示。

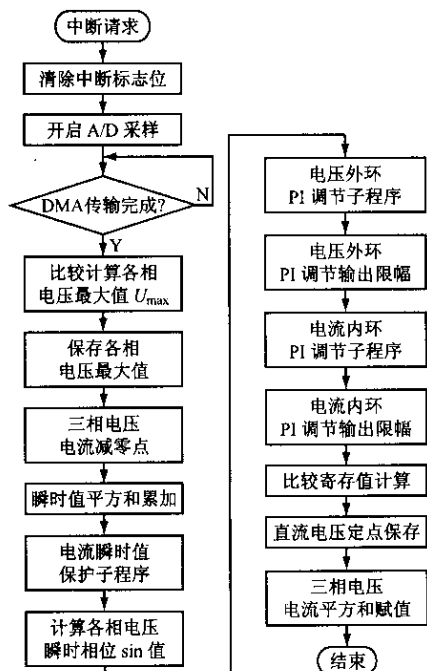


图 5 外部中断程序流程

进入中断程序后,首先开启 A/D,对电压、电流信号采样,计算交流电压电流瞬时值平方和累加值、有功功率的瞬时电压电流相乘累加值,并保存直流电压的定点瞬时值。然后计算各相电压的瞬时相位值,为后面电流内环做铺垫;计算电压外环 PI,用直流电压外环计算出内环电流的给定值,通过电压外环控制,以稳定直流侧电压值;电流内环给定值确定后,通过和各相电压的瞬时相位相乘计算出三相电流的瞬时值给定,之后通过电流内环 PI 调节器,使交流侧电流相位分别跟踪各相的电压瞬时相位,从而实现单位功率因数控制。

5 实验验证

根据上述软硬件设计方案,本文完成了 PWM 整流器实验平台的搭建。当输入三相电压有效值为 220 V,频率为 50 Hz,IGBT 开关频率为 6 kHz 时,用示波器测量 PWM 整流器交流输入侧的电压和电流波形,测量结果如图 6 所示。由图 6 可知,电流波形相位基本与电压相位保持一致,且电流波形接近正弦波,说明本文所设计的 PWM 整流器输入功率因数高,谐波畸变率低。

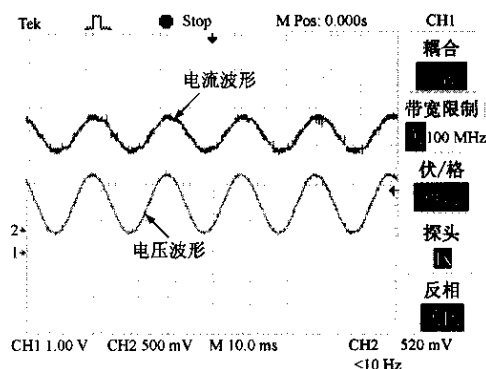


图 6 交流输入侧电压和电流波形

6 结语

讨论了三相 PWM 整流器的功率电路、硬件电路和软件设计,采用电压电流双闭环的直接电流控制策略,实现了具有高功率因数的三相 PWM 整流器的设计。实验结果表明,整流器输入侧电压电流波形基本同相位,电流波形接近于正弦波,说明所设计的 PWM 整流器功率因数高,谐波畸变率低,减小了对电网的污染。

参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军,等.谐波分析和无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 张崇巍,张兴. PWM 整流器及其控制[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [3] 王兆安,黄俊.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 伍小杰,罗悦华,乔树通.三相电压型 PWM 整流器控制技术综述[J].电工技术学报,2005,20(12):7-12.
- [5] 黄守道,张铁军,陈颖,等.一种三相 PWM 整流器控制方法研究[J].电气应用,2005,24(3):106-109.