

基于 DSP 的单相 PWM 整流器

程善美, 万淑芸, 段正澄

(华中科技大学, 湖北武汉 430074)

摘要:在分析单相 PWM 整流器工作原理的基础上, 给出了单相 PWM 整流器系统的设计方案。该系统以数字信号处理器 TMS320F240 为 CPU, 以 2SD315A 为 IGBT 的驱动模块, 充分利用了两者的优点, 简化了系统的设计, 提高了系统的性能。试验结果证实了所设计的整流器能实现交流侧电流的正弦化, 交流侧电压和电流的同相位, 以及输出稳定的直流电压。

关键词:PWM 整流器; DSP; 2SD315A

中图分类号: TM461.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-1841(2008)02-0056-02

Single-Phase PWM Rectifier Based on DSP

CHENG Shan-mei, WAN Shu-yun, DUAN Zheng-cheng

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The scheme of single-phase PWM rectifier was presented on the basis of analyzing the principle of the single-phase PWM rectifier. Digital signal processor (DSP) TMS320F240 and 2SD315A were adopted in the scheme as the CPU and IGBT driver. The scheme can make full use of their advantages, simplify the design of the rectifier, and improve the performances. The experimental results verify that the designed rectifier can achieve the sine wave of AC current, realize the same phase between AC voltage and current, and stabilize the output DC voltage.

Key words: PWM rectifier; DSP; 2SD315A

0 引言

PWM 整流器将 PWM 技术引入到整流器中, 能实现交流侧电流正弦化, 使电网侧输入功率因数为 1, 能实现输出电压的快速调节, 并且能大大降低整流器对电网的污染^[1]。能量可逆的 PWM 整流器可以方便实现整流器在整流或逆变之间的 4 个象限运行, 这种 PWM 整流器又被称为四象限变流器。由于 PWM 整流器的这些优点, 使得它在 AC-DC 变换中得到了广泛的应用。在分析单相 PWM 整流器工作原理的基础上, 完成了以数字信号 TMS320F240 为 CPU, 以 IGBT 为功率开关器件并以 2SD315A 为驱动模块的 100 kW 单相 PWM 整流器系统的设计, 给出了 PWM 整流器系统的试验结果。

1 单相 PWM 整流器的工作原理

电压型单相全桥可逆 PWM 整流器的结构如图 1 所示。它采用了 4 个功率开关管 $T_1 \sim T_4$ 的 H 桥结构, 每个功率开关管反并联了一个续流二极管 $D_1 \sim D_4$ 。

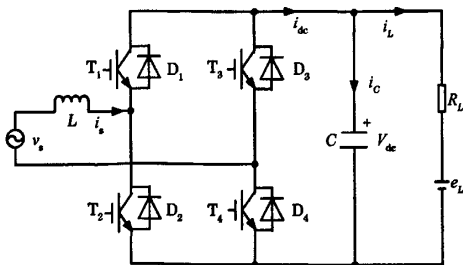


图 1 电压型单相全桥可逆 PWM 整流器的结构图

对于 PWM 整流器, 要实现其四象限运行, 关键在于电网侧电流的控制。电网侧电流的控制可以通过 PWM 整流器交流侧基波电压的幅值和相位来控制。电压型单相全桥 PWM 整流器交流侧基波电压控制有两种 PWM 调制方式: 双极性调制和单极性调制。在相同的 PWM 占空比条件下, 单极性调制比双极性调制具有更好的效果。

定义一个开关函数 S , 则 PWM 整流器的两个回路方程为

$$v_s - L \frac{di_s}{dt} - S V_{dc} = 0 \quad (1)$$

$$S i_s - C \frac{dV_{dc}}{dt} - \frac{V_{dc} - e_L}{R_L} = 0 \quad (2)$$

如果引入状态变量 $X, X = [i_s(t) \quad V_{dc}(t)]^T$, 则单相 PWM 整流器的状态方程为

$$\begin{bmatrix} L & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \frac{dX}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & -S \\ S & -\frac{1}{R_L} \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_s \\ e_L \end{bmatrix} \quad (3)$$

在单极性调制中, 当 $v_s > 0$ 时, 开关函数 S 的值为 0 或 1; 当 $v_s < 0$ 时开关函数 S 的值为 -1 或 0。

由状态方程可以看出 PWM 整流器输入电流 i_s 和输出直流电压 V_{dc} 可以通过开关函数 S 来进行控制。完全可控的必要条件是 V_{dc} 大于电网侧电压 v_s 的峰值。图 1 所示的单相全桥 PWM 整流器是一个升压型的变换器, 是完全满足这一条件的。

图 2 是电压型单相全桥可逆 PWM 整流器的控制系统结构框图, 这是一个由电压控制外环和电流控制内环组成的典型的双闭环控制系统。在系统中电压控制器和电流控制器均采用

传统的 PI 控制器, PWM 调制方式采用单极性调制。

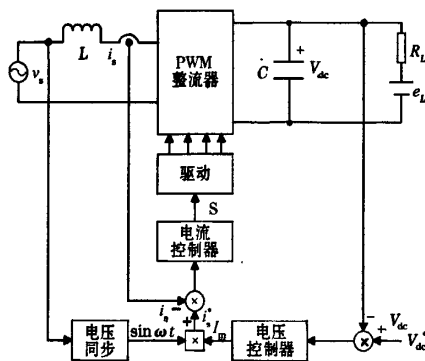


图2 PWM 整流器的控制系统结构框图

2 单相 PWM 整流器的设计

PWM 整流器由控制电路和主回路两部分组成。控制电路以 TMS320F240 为控制核心,由 TMS320F240 的最小系统、电网侧电压检测电路、交流侧电流检测电路、PWM 输出直流电压检测电路以及故障处理电路等组成。电网侧电压信号经过处理后得到同步信号,该同步信号送给 TMS320F240 的捕捉单元。主回路由 IGBT 单相整流桥、交流侧电感、直流滤波电容、驱动模块等组成。单相 PWM 整流器额定容量按 100 kW 设计,IGBT 单相整流桥选用 1 200 V、800 A 的功率器件。驱动模块采用 2SD315A 驱动模块。PWM 整流器的组成框图如图 3 所示。

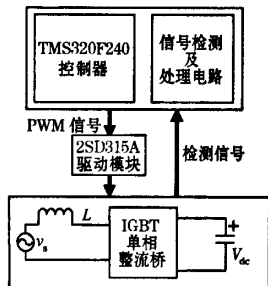


图3 PWM 整流器的组成

2SD315A 是一种集成度很高的驱动模块,内部包含两路 IGBT 驱动电路,可用于驱动 1.7 kV 的 IGBT,还有如下特点:工作时只需要一个稳定的 +15 V 电源,就可以同时驱动 2 个功率器件,保证了驱动信号的同步性;可以根据频率和功率管基极电荷不同提供不同的驱动功率;可以灵活地配置 V_{ce} 的检测电路;反向关断电压为 -15 V,使关断更迅速可靠;内部的脉冲变压器是双向工作的,既可传送驱动信号,又可传送状态信号^[2]。它的这些特点使 IGBT 的驱动更加安全、控制更加智能化以及使用也很方便。2SD315A 主要由 3 个功能模块组成:逻辑与驱动电路接口 LDI、智能基极驱动器 IGD 和集成的 DC/DC 电源。

2SD315A 驱动模块应尽可能地靠近 IGBT,以保证驱动模块与 IGBT 之间的连线尽量不超过 10 cm,同时集电极和发射极的连线要用绞合线,还可在距 IGBT 模块最近的位置,在基极与发射极之间并联一对反串的齐纳稳压二极管。2SD315A 驱动模块的外围连接如图 4 所示。

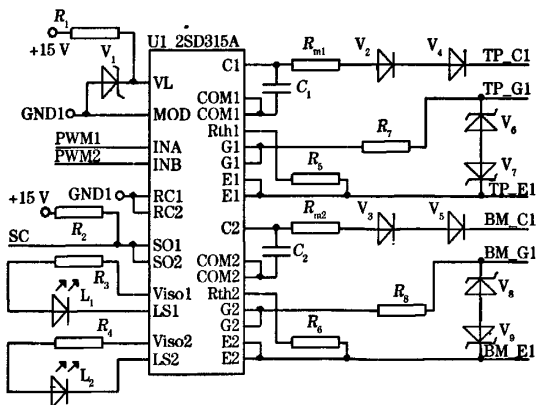


图4 2SD315A 驱动模块的外围连接图

数字信号处理器 TMS320F240 具有丰富的硬件资源和软件资源和完善的开发系统^[3]。在设计 PWM 整流器中,控制软件采用汇编语言编写。PWM 整流器的控制软件由主程序和中断服务程序组成。主程序主要完成 TMS320F240 的系统配置、事件管理器的初始化、A/D 转换器的初始化、中断控制的初始化、PWM 整流器系统寄存器的初始化、PWM 整流器故障的检测与处理以及 PWM 整流器的启动等。

TMS320F240 提供了 6 个可屏蔽的中断 INT1 ~ INT6,每个中断有多个中断源。在 PWM 整流器系统中使用了 2 个中断 INT2 和 INT4。中断 INT2 选用 2 个中断源(PDPINT 中断和定时器下溢中断),而中断 INT4 只选用了捕捉引脚中断源,定时器 3 作为捕捉事件的时基,主要用来计算基于同步信号周期的正弦角度系数。2SD315A 驱动模块输出的两个桥臂的短路故障信号经综合后送给引脚 PDPINT,一旦有短路故障信号,引脚 PDPINT 变为低电平,TMS320F240 禁止 PWM 输出,同时产生 PDPINT 中断。在 PDPINT 中断服务程序中,利用软件禁止 PWM 输出。定时器下溢中断服务程序主要完成直流母线电压和交流侧电流的控制等,捕捉引脚中断服务程序主要检测电网侧电压的周期等。定时器下溢中断服务程序和捕捉引脚中断服务程序的流程图分别如图 5 和 6 所示。

3 试验结果及结论

单相 PWM 整流器的试验条件为:单相 PWM 整流器输入电压范围为 240 ~ 420 V,输出电压为直流 600 V。其输出接三相 PWM 逆变器,单相整流器与三相逆变器一起构成一个 AC-DC-AC 变流器。变流器的负载为三相电动机,负载大小可以调节。

图 7 为电网侧电压为 330 V,变流器输出电流为 60 A 时变流器稳定后交流侧电流波形和直流母线电压波形。

图 8 为电网侧输入电压为 300 V、变流器输出电流为 58 A 时电网侧电压和电流的波形。电网侧电压与电流是同相位的,实现了 PWM 整流器单位功率因数的控制。

从实验结果可以看出,PWM 整流器能实现交流侧电流的正弦化,交流侧电压和电流的同相位,能输出稳定的直流电压,达到了 PWM 整流器的设计要求。

(下转第 60 页)

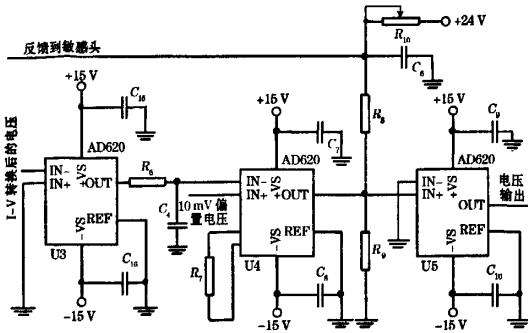


图4 反馈控制电路

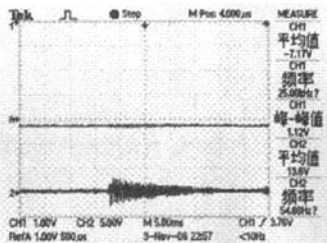


图5 手触摸桌面过程中示波器观测到的加速度信号

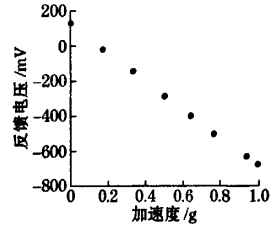


图6 0~1 g 范围内反馈端输出电压与加速度的关系

参考文献:

- [1] 刘俊,张斌珍.微弱信号检测技术.北京:电子工业出版社,2005:168-180.
- [2] Burr-Brown Corporation. OPA128 Data Sheet,1995.
- [3] 郑剑铭,王凌云,王明亮,等.微机械隧道陀螺仪中微弱信号的检测技术.厦门大学学报(自然科学版),2004,43(2):199-202.
- [4] [美]KITCHIN C,COUNTS L.仪表放大器应用工程师指南.冯新强,译.美国模拟器件公司,2005.
- [5] Analog Device Inc. AD620 Data Sheet. 1999.
- [6] 居滋培,濮钰麒,于林丽,等.热元件性能测试系统的电路设计.仪表技术与传感器,2006(12):54.

作者简介:陈静(1983—),硕士研究生,研究方向为微弱信号处理。

E-mail:ej830824@sina.com

(上接第57页)

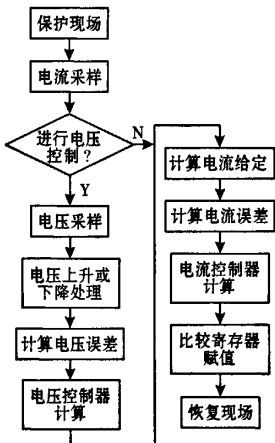


图5 定时器下溢中断服务程序流程图

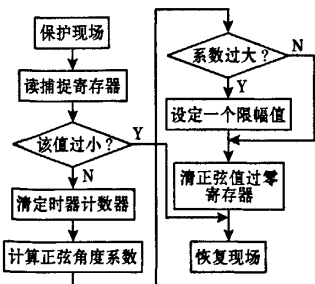


图6 捕捉引脚中断服务程序流程图

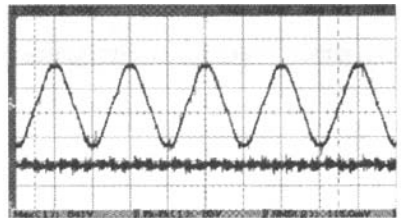


图7 交流侧电流波形和直流母线电压波形

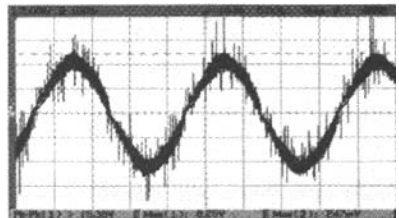


图8 交流侧电压和电流波形

参考文献:

- [1] 张崇巍,张兴. PWM 整流器及其控制. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] Description and Application Manual for SCALE Drivers. CT-Concept Technology Ltd.,1998.
- [3] 程善美,姜向龙,夏雨涛,等.基于TMS320F240的单电流传感器的三相电流测量.仪表技术与传感器,2002(5):38-40.

作者简介:程善美(1966—),博士,教授,研究方向为电力电子及电力传

动、智能控制技术。E-mail:hustcsm@163.com