

# 基于 TMS320F28335 的三相 PWM 整流器设计与实现

宫鑫<sup>1</sup>, 宋稳力<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学珠海学院信息科学与技术学院, 广东 珠海 519085; 2. 中兴公司, 广东 深圳 518004)

Design and Realizing of Three-phase Voltage PWM Rectifier Based on TMS320F28335

GONG Xin<sup>1</sup>, SONG Wen-li<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Technology, Zhuhai Campus of Beijing Institute of Technology, Zhuhai 519085, China;  
2. ZTE Company, Shenzhen 518004, China)

**摘要:** 针对三相电压型 PWM 整流器建立了数学模型及控制模型, 设计了以浮点数字信号处理器 TMS320F28335 为核心的数字控制系统, 包括软硬件设计, 并进行实验。

**关键词:** TMS320F28335; 数字信号处理器; 矢量控制; PWM 变流器

**中图分类号:** TM461

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2257(2008)03-0075-03

**Abstract:** The mathematics and control model of the three-phase PWM rectifier were established. The hardware and software of the digital control system which is based on TMS320F28335 chip was designed.

**Key words:** TMS320F28335; digital signal processor; vector control; voltage PWM converter

## 0 引言

20 世纪 90 年代以来, PWM 整流器以其突出的优点(网侧电流正弦化, 功率因数可调等)广泛应用于功率因数补偿、高性能整流器、有源滤波和电能回馈等电力电子变流领域, 同时也成为电力电子学术界研究的热点。三相 PWM 整流器系统控制算法复杂, 需要进行大量算术运算和控制逻辑处理。新一代微处理器的不断涌现, 使得 PWM 整流器全数字化控制系统趋于完善。以 TMS320F28335 数字处理器为核心, 利用芯片快速的运算能力和丰富的外

设资源, 进行系统的硬件和软件设计, 开发出性能优越的整流器。

## 1 整流器的控制策略

三相 PWM 整流器的电路原理如图 1 所示。由

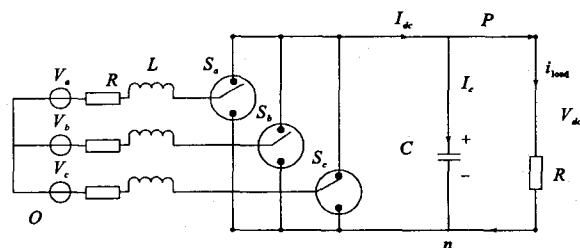


图 1 三相 PWM 整流器电路原理

于整流器交流侧均为时变交流量, 不利于控制系统的设计, 通过坐标变换, 将三相对称静止  $a-b-c$  坐标系转换成两相同步速旋转  $d-q$  坐标系, 并采用小信号扰动方法将非线性模型转化为线性模型, 最终得到整流器在  $d-q$  坐标系中的数学模型如图 2 所示<sup>[1-2]</sup>。

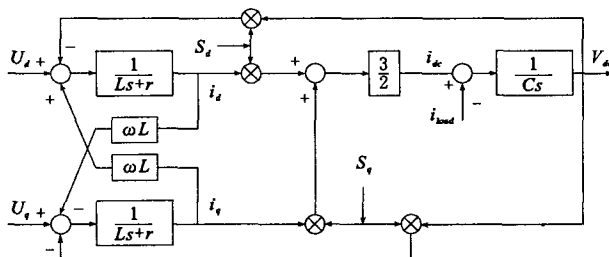


图 2 三相 PWM 整流器数学模型

矢量控制具有直接电流控制的动态响应快、稳态性能好、自身有限流保护能力等优点, 并且还可以消除电流稳态误差, 使系统得到较好的动静态性能<sup>[3-4]</sup>。

本文采用基于  $d-q$  坐标变换的矢量控制策略, 利用双闭环控制方法, 电流内环通过对 PWM 整流器有功和无功电流的控制, 以及对电流状态反馈进行解耦和电网扰动的补偿, 达到控制输入电流的目的。电压外环控制器输出有功电流给定, 为保证整流器的功率因数为 1, 无功电流给定为 0。

整个系统的控制模型如图 3 所示。

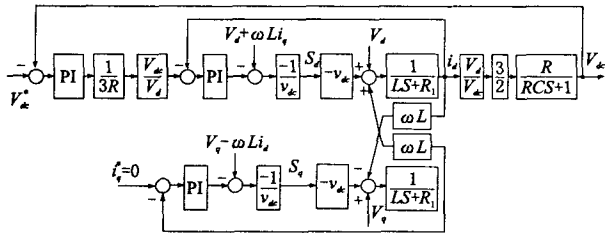


图 3 三相 PWM 整流器控制模型

由控制器得到控制量  $S_d, S_q$ , 然后通过 SVPWM 调制算法, 即可生成相应 6 路脉冲控制三相桥功率开关的开通与关断。

## 2 数字控制器的硬件构成

### 2.1 数字控制核心单元

TMS320F28335 数字信号处理器是 TI 公司最新推出的 32 位浮点 DSP 控制器。与 TMS320F2812 定点 DSP 芯片相比, 增加了单精度浮点运算单元 (FPU); 高精度 PWM; Flash 增加了 1 倍; 增加了 DMA 功能, 能够将 ADC 的转换结果等直接存入 DSP 的任一存储空间; 增加了 1 个 CAN 通讯模块; 增加了 1 个 SCI 接口; 增加了 1 个 SPI 接口<sup>[5]</sup>。

其它特性: 最高 150 MHz 主频、外部存储扩展接口、看门狗技术、3 个定时器、18 个 PWM 输出、16 通道的 12 位 AD 转换器。

基于 TMS320F28335 数字控制系统的硬件电路主要包括电压、电流检测, PWM 信号输出, SCI 及 CAN 通讯等。DSP 的作用就是把由传感器测得的信号进行数字滤波, 再经控制算法计算, 得到一个与输入量相对应的 PWM 信号, 由事件管理器 EV 产生这个信号输出给开关管的驱动电路。EV 模块的设置很关键, 在此选用全比较单元 1, 2, 3 (CMPR1, CMPR2, CMPR3)。它采用连续增减计数模式, 产生对称的 PWM 波, 这样可减少谐波。另外还设置了相应的死区单元, 以避免上下 2 个开关管导通。TMS320F28335 自带 ADC 模块, 使系统简单,

而且抗干扰能力增强。

### 2.2 信号调理电路

由传感器检测到的电压电流信号在输入到 DSP 的 ADC 时, 必须在 DSP 可接收的范围, 即 0~3 V 以内, 因此需要信号调理电路。它的作用就是把传感器的输出经电平变换, 换到 ADC 的接收范围之内。其电路如图 4 所示。

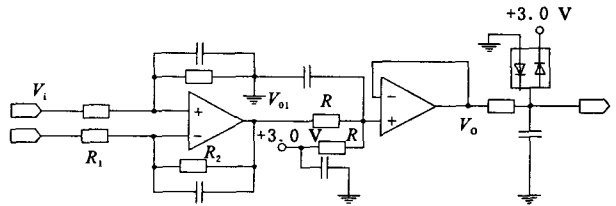


图 4 信号调理电路

电路由 2 级运放构成, 第 1 级为差分放大器, 第 2 级运放为电压跟随器, 可以提高输入电阻, 降低输出电阻, 真实地将输出信号传递给负载, 而向负载索取的电流极小, 且反馈系数为 1, 反馈深度很大, 输出电压与输入电压同相位, 提高了带负载能力。第 2 级正输入端加的 3.0 V 电压是为了对第 1 级电路的输出进行电平移动。

## 3 软件设计

TMS320F28335 由于增加了单精度浮点运算单元 FPU, 使得用户不仅可以用高级语言来实现系统控制软件, 而且可以用 C/C++ 语言实现复杂的数学算法。它可以有效地处理数学运算和系统控制任务, 而以往系统控制软件需要另一个微控制器来完成, 这对于需要 2 个处理器的系统来说, 无疑带来很大的好处。TMS320F28335 含有  $32 \times 32$  位的乘法器, 具有 64 位的处理能力, 可以有效地处理高数字分辨率问题。除此之外, 它能够快速反应中断, 并自动保存关键寄存器的当前数据, 因此可以在非常小的延迟下处理很多同步发生的事件。

系统软件属于实时控制软件, 因此, 设计软件时既要考虑硬件的配置和特点, 也要考虑软件的快速性和功能性。软件分为主程序部分和中断程序部分。系统的主程序部分主要是进行初始化, 设置 TMS320F28335 的各种功能模块, 以设定系统各功能模块的工作方式。初始化工作完成后, 系统进入等待状态, 等待中断产生, 进入中断服务子程序。

本设计采用定时器中断, 每  $52 \mu\text{s}$  执行一次, 在

中断服务子程序中完成直流侧电压软启动、AD 转换、AD 校准、坐标变换和控制算法的实现,最终产生 PWM 信号,达到控制主电路的目的。软启动程序的作用是为了使直流侧电容电压逐渐升高,以防止电容电压过快升高而使电容损坏。在中断中设标志位,每次芯片上电时,进行初始化,开始执行软启程序,使得直流侧电压每 20 ms 上升 1 V,达到设定电压后,在下次中断开始执行控制程序。同时在中断服务子程序中还包括了电路中的过压、过流保护程序。中断子程序的流程如图 5 所示。

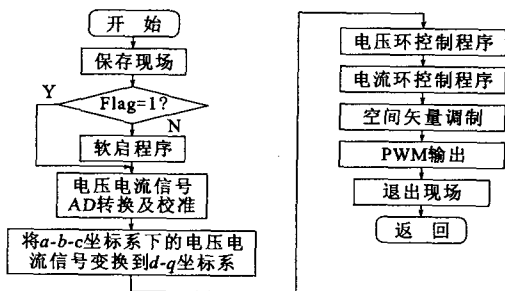


图 5 中断子程序流程

## 4 实验结果

实验参数如下:输入交流线电压 160 V,输出直流电压 280 V,输入电感 1.2 mH,直流输出侧电容为 3 400  $\mu$ F。实验测得波形如图 6~图 8 所示。

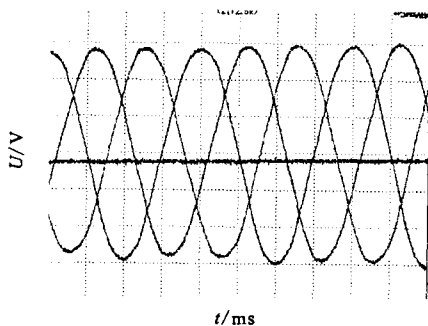


图 6 稳态波形

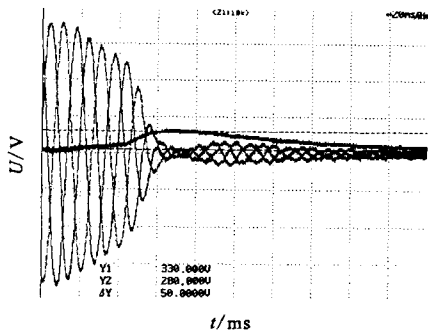


图 7 投载波形

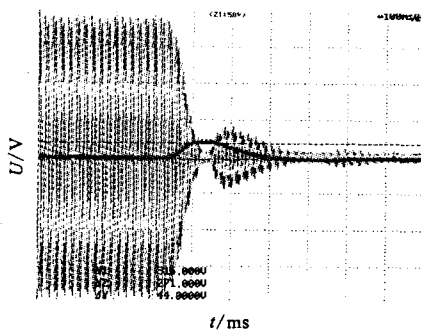


图 8 卸载波形

图 6 为稳态时三相输入电流及直流侧电压波形,图 7 和图 8 为动态波形,从图中可以看到,投载与卸载时,电压瞬态跌落与上升为 42 V。用功率表测得功率因数为 98.9%,基本实现了单位功率因数。用频谱分析仪测得的输入电流总畸变率 THD 为 2.0%~2.1%。系统的稳态和动态性能都比较理想。

## 5 结束语

设计了三相 PWM 整流器,编写了相应的控制程序。该 PWM 整流器具有控制电路简单、响应速度快和电力谐波少的优点,实验结果表明,该系统实现了单位功率因数控制,并具有较好的动静态性能,因此具有很好的推广实用价值。

### 参考文献:

- [1] Bose B K. Modern Power Electronics and AC Drives [M]. Beijing: Machine Industry Publishing House, 2003.
- [2] 邓卫华,张波,丘东元,等.三相电压型 PWM 整流器状态反馈精确线性化解耦控制研究[J].中国电机工程学报,2005,25(7):97-103.
- [3] Jaslanski M, et al. Fuzzy logic current controller for PWM rectifiers[A]. IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society[C]. 2002. 1300-1305.
- [4] 董晓鹏,王兆安.三相电压型单位功率因数 PWM 整流器的研究[J].电力电子技术,1997,(4):39-41.
- [5] TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332 Digital Signal Controllers(DSCs) Data Manual[Z]. TI Company, 2007.

作者简介:宫鑫 (1980-),山西繁峙人,硕士,研究方向为电力电子及电力传动;宋稳力 (1980-),山东济宁人,硕士,研究方向为高频开关电源。