

大功率三相 PWM 整流器的研究与实现

成兰仙¹, 权运良²

(1.海华电子企业(中国)有限公司, 广东 广州 510656; 2.华南理工大学, 电力学院, 广东 广州 510640)

摘要:建立了同步旋转坐标系下三相电压型脉宽调制(PWM)整流器数学模型,提出一种基于电压外环滑模变结构控制(SMVSC)和电流内环前馈解耦比例积分(PI)控制的策略,并结合硬件空间矢量脉宽调制(SVPWM)算法,运用数字信号处理器(DSP)数字化实现了大功率样机,其性能稳定,运行可靠。该样机证明了提出的控制策略可行,并实现了输入电流正弦化、功率因数高、谐波含量小和母线电压稳定等性能。
关键词:整流器; 功率因数; 空间矢量脉宽调制
中图分类号:TM461 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-100X(2013)08-0035-03

Research and Implement of High-power Three-phase PWM Rectifier

CHENG Lan-xian¹, QUAN Yun-liang²

(1.Haihua Electronics Enterprise(China) Corporation, Guangzhou 510656, China)

Abstract:A mathematical model of three-phase voltage source pulse width modulation(PWM) rectifier is established in the rotating frame.A sliding-mode variable structure control(SMVSC) algorithm for the out-voltage-loop and a novel current feed forward decoupled proportional integral(PI) control algorithm for the current-loop are proposed.The arithmetic output is educed by using the hardware combing space vector pulse width modulation(SVPWM).The prototype experimental results show that the output voltage is controlled stably and a satisfied power factor correction result is got.
Keywords:rectifier; power factor; space vector pulse width modulation

1 引言

随着电力电子技术的发展,对电力电子装置的要求越来越高。传统二极管整流会造成网侧输入电流畸变,产生很大的谐波,对电网的污染比较严重。为解决该问题,越来越多的学者研究并提出 PWM 整流技术,它具有体积小、重量轻、功率因数高、输入电流谐波含量小和输出电压可调,动态响应速度快等优点。

根据 SMVSC 原理^[1],设计了基于 SMVSC 的电压外环控制,与常规 PI 控制的电流内环组成的双闭环控制器。由于空间矢量控制能提高整流器的电压利用率和动态响应性能,因此电流控制策略采用 SVPWM 控制,并在实际编写 DSP 控制程序时,运用五段式硬件 SVPWM,简化了程序。大功率样机的性能测试证明控制策略可行,并实现了输入电流正弦化、功率因数高、谐波含量小和母线电压稳定等性能。

2 三相 PWM 整流器的数学建模

图 1 为三相 PWM 整流器原理图。其中, $e_k(k=$

$a, b, c)$ 为三相电网电压, L_k, R_k 为三相输入滤波电感和等效电阻, V_{kp} 为上桥臂器件, V_{kn} 为下桥臂器件, R_L 为直流侧负载, C 为直流电容。

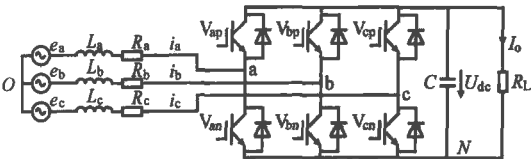


图 1 三相电压型 PWM 整流器原理图

Fig. 1 Three-phase voltage-type PWM rectifier schematic diagram

定义开关函数:当 V_{kp} 导通, V_{kn} 关断时, $S_k=1$; 当 V_{kp} 关断, V_{kn} 导通时, $S_k=0$ 。根据基尔霍夫电压定理,以电感电流和电容电压为变量,状态方程为:

$$\begin{cases} L_k di_k/dt = -R_k i_k - (u_{kN} + u_{NO}) + e_k \\ CdU_{dc}/dt = S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c - I_o \end{cases} \quad (1)$$

在实际应用中三相平衡电路有: $R_a=R_b=R_c=R$, $L_a=L_b=L_c=L$, 由开关函数可知整流器网侧电压与直流侧电压的关系为 $u_{kN}=S_k U_{dc}$ 。根据三相电网电压电流平衡对称对式(1)第 1 式计算可得: $u_{NO}=-(S_a + S_b + S_c) U_{dc}/3$, 再将 $I_o=U_{dc}/R_L$ 代入可得:

$$\begin{cases} L di_a/dt = -R i_a - (2S_a - S_b - S_c) U_{dc}/3 + e_a \\ L di_b/dt = -R i_b - (-S_a + 2S_b - S_c) U_{dc}/3 + e_b \\ L di_c/dt = -R i_c - (-S_a - S_b + 2S_c) U_{dc}/3 + e_c \\ CdU_{dc}/dt = S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c - U_{dc}/R_L \end{cases} \quad (2)$$

定稿日期: 2013-06-30
作者简介: 成兰仙(1981-), 女, 浙江义乌人, 硕士, 工程师, 研究方向为大功率开关电源。

后确定相应的基本矢量 $U_x, U_{x+\theta_0}$ 。再求出此时 u_α, u_β 和 $U_x, U_{x+\theta_0}$ 的等效关系值, 转换成程序中的两个匹配值 T_1, T_2 , 零矢量的作用时间 $T_0 = T_s - T_1 - T_2, T_s$ 为周期值。再将 $T_1/2, (T_1+T_2)/2$ 赋值给 CMP1, CMP2 即可自动生成所需 SVPWM 波形^[7]。

在此设计中, 要将 u_α, u_β 进行标么化, 因为基本矢量的模为 $2U_d/3$, 将 u_α, u_β 除以 $2U_d/3$ 求取标么值 u_α^*, u_β^* , 设: $X=2\sqrt{3}u_\beta^*/3, Y=u_\alpha^*+\sqrt{3}u_\beta^*/3, Z=u_\alpha^*-\sqrt{3}u_\beta^*/3$ 。在扇区 I ~ VI 内, u_α^*, u_β^* 和 $U_x, U_{x+\theta_0}$ 满足: $u_\alpha^*=f(U_x, T_1; U_{x+\theta_0}, T_2), u_\beta^*=f(U_x, T_1; U_{x+\theta_0}, T_2)$ (14)

由上式结合三角函数可求出 T_1, T_2 , 表 1 示出 T_1, T_2 与 X, Y, Z 的关系。

表 1 T_1, T_2 与 X, Y, Z 的关系

Table 1 Relationships between T_1, T_2 and X, Y, Z

扇区	I	II	III	IV	V	VI
T_1	$-Z$	Z	X	$-X$	$-Y$	Y
T_2	X	Y	$-Y$	Z	$-Z$	$-X$

将扇区对应的初始基本矢量、终止基本矢量、旋转方向和周期值赋值给相应寄存器, 再将计算出的 $T_1/2, (T_1+T_2)/2$ 赋值给 CMP1, CMP2。图 5 为扇区 I 的硬件 SVPWM 基本矢量等效和开关波形。

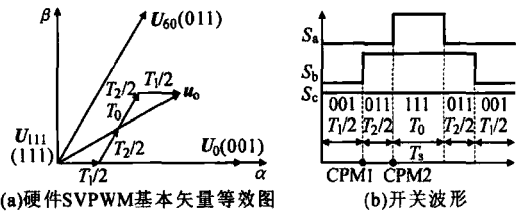


图 5 基本矢量等效图和开关波形

Fig. 5 Basic vector equivalent diagram and switching waveforms

5 实验验证

图 6 示出系统框图。各参数如下: 输入三相电压 380 V/50 Hz, 输入电感 4 mH, IGBT 参数: 1 200 V/150 A, 输出侧电容 2 350 μ F, 负载 31 Ω , 额定功率 13 kW, 输出电压 650 V。图 7 示出实验波形。

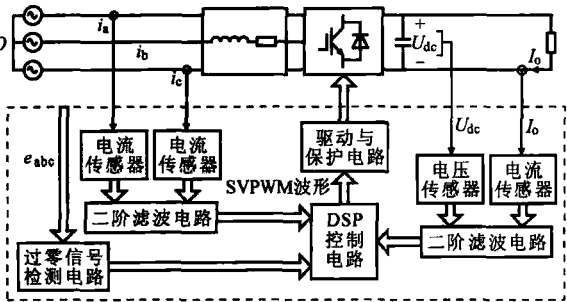


图 6 三相整流器系统框图

Fig. 6 Three-phase rectifier system block diagram

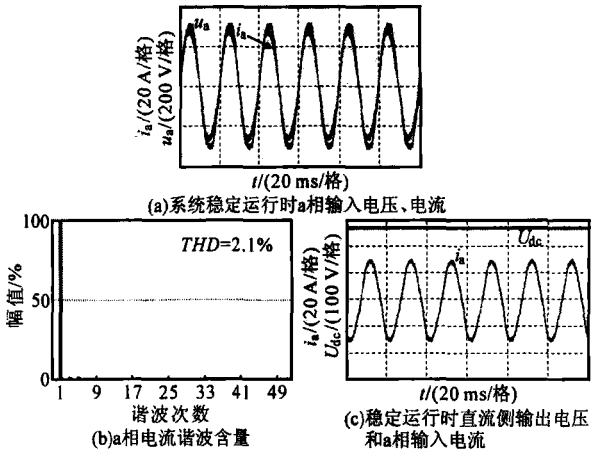


图 7 实验波形

Fig. 7 Experimental waveforms

由波形可见, 系统稳定运行时电流波形为正弦波, 且能很好地跟踪电压波形; 电流谐波含量也非常小, 母线电压稳定, 真正实现了绿色用电。

6 结论

分析了三相电压型脉宽调制整流器的建模, 提出了电压外环滑模变结构控制策略, 并结合硬件空间矢量控制算法, 运用数字信号处理器数字化实现了大功率样机, 该样机性能稳定, 运行可靠。该整流器实现了输入电流正弦化、功率因数高、谐波含量小和输出电压稳定等特性, 在电力电子领域有很好的应用前景。

参考文献

[1] J Fernando Silva. Sliding-mode Control of Boost-type Unity-power-factor PWM Rectifiers [J]. IEEE Trans. on Industry Electronics, 1999, 46(3): 594-603.

[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] 胡 庆, 于海雁, 夏桂文. 滑模变结构控制在三相整流器中的应用 [J]. 沈阳工业大学学报, 2002, 24(3): 139-142.

[4] Sabanovic A, Izosimov D B. Application of Sliding Modes to Induction Motor Control [J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 1981, IA-17(1): 41-49.

[5] 周 倩, 梁 辉. 三相 PWM 整流器的 PI 参数的设计分析 [J]. 电力电子技术, 2011, 45(2): 50-52.

[6] 周京华, 刘 坤. 三相电压源型 PWM 整流器的 DSP 控制 [J]. 电气传动, 2008, 38(6): 27-30.

[7] 苏奎峰. TMS320F2812 原理与开发 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.