

基于 DSP 的三相 SPWM 逆变系统的设计

陈曦, 马江华, 杨振兴, 柳国辉

(河北工业大学 电气与自动化学院, 天津 300130)

摘要:描述了 TI 芯片 TMS320F2812 的 PWM 工作模块及 SPWM 的产生方法, 利用事件管理器的全比较功能通过对称规则采样法产生三相 SPWM, 并给出了逆变系统的结构设计和一些源程序代码及实验结果。实验结果表明, 利用对称规则采样法产生三相 SPWM 能满足逆变系统的需要, 具有良好的特性。

关键词: DSP; TMS320F2812; SPWM; 对称规则采样法; 逆变系统

中图分类号: TM464; TN787

文献标识码: A

Design of three-phase SPWM inverter system based on DSP

CHEN Xi, MA Jiang Hua, YANG Zhen Xing, LIU Guo Hui

(School of Electrical and Automation, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: This paper describes the basic structure of the chip TMS320F2812 of TI and the SPWM production method, produces three-phase SPWM using the event supervisor entire comparison function through the symmetrical regular sampling law. And it has given the structure and design of inverter system, some source program code and the experimental results. The experimental results show that the three-phase SPWM which is produced by symmetrical regular sampling law can meet the needs of the inverter system and have good feature.

Key words: DSP; TMS320F2812; SPWM; symmetrical regular sampling law; inverter system

脉冲宽度调制 PWM (Pulse Width Modulation), 就是对脉冲宽度进行调制的技术。即通过一系列脉冲的宽度进行调制, 来等效地获得所需要的波形。在调制信号为正弦波时, 所得到的就是 SPWM 波。DSP 具有运算速度快、编程方便、稳定性及可重复性好、精度高、集成方便等优点, 这使得 DSP 的应用十分广泛。本文用 TI 公司的专用芯片 TMS320F2812, 通过事件管理器中的 3 个全比较器用对称规则采样法来输出高精度的三相 SPWM 波, 使之应用到逆变系统中去。

1 对称规则采样法

按照 SPWM 的基本原理, 在正弦波和三角波的自然交点时刻控制功率开关器件的通断, 这种生成 SPWM 波形的的方法称为自然采样法。但这种方法求解复杂难以在实时控制中在线计算, 因而在工程中实际应用不多。本文采用的是对称规则采样法, 规则采样法是一种应用较广的工程使用方法, 其效果接近自然采样法, 但计算量却比自然采样法小得多。图 1 为对称规则采样法说明。

取三角波两个正峰值之间为一个采样周期 T_c 。在自然采样法中, 每个脉冲的中点并不和三角波一周期的中点(即负峰点)重合。而规则采样法使两者重合, 也就是

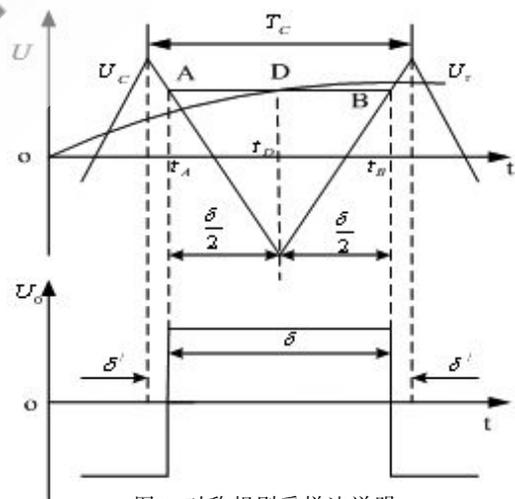


图 1 对称规则采样法说明

使每个脉冲的中点都以相应的三角波中点为对称, 这样就使计算大为简化^[1]。如图 1 所示, 在三角波的负峰时刻 t_b 对正弦信号波采样而得到 D 点, 过 D 点作一水平直线和三角波分别交于 A 点和 B 点, 在 A 时刻 t_A 和 B 点时刻 t_B 控制功率开关器件的通断。可以看出, 用这种规则采样法得到的脉冲宽度 δ 和用自然采样法得到的

应用奇葩

Example of Application

脉冲宽度非常接近。设正弦调制信号波为：

$$u_r = a \sin \omega_r t \quad (1)$$

式中, a 称为调制度, $0 \leq a < 1$; ω_r 为正弦信号波角频率。

从图 1 中可得如下关系式：

$$\frac{1 + a \sin \omega_r t_D}{\delta/2} = \frac{2}{T_C/2} \quad (2)$$

因此可得：

$$\delta = \frac{T_C}{2} (1 + a \sin \omega_r t_D) \quad (3)$$

在三角波的一周期内, 脉冲两边的间隙宽度

$$\delta' = \frac{1}{2} (T_C - \delta) = \frac{T_C}{4} (1 - a \sin \omega_r t_D) \quad (4)$$

在 A 相中一个周期内取 N 个采样点, 则第 i 个脉冲的占空比为：

$$q_A = \frac{1}{2} (1 + M \sin(1 \times 2\pi/N)) \quad (5)$$

其中 N 为载波比, $i = [0, N-1]$ 。

对于三相 SPWM 波形三角波载波是公用的, 三相调制波相位依次相差 120° 所以 B 相第 i 个脉冲的占空比为：

$$q_B = \frac{1}{2} (1 + M \sin(\frac{2}{3} \pi + i \times 2\pi/N)) \quad (6)$$

C 相第 i 个脉冲的占空比为：

$$q_C = \frac{1}{2} (1 + M \sin(\frac{4}{3} \pi + i \times 2\pi/N)) \quad (7)$$

本文采用双极性同步调制, 即载波比 N 为常数并在变频时载波与信号波同步。为了使三相输出波形严格对称公用一个三角载波且取载波比为 3 的整数倍即取 60 个点。以此产生与电网同频率的正弦波。

2 TMS320F2812 的 PWM 工作模块

与比较单元相关的脉冲宽度调制 (PWM) 电路可以产生 6 路 PWM 输出 (每个事件管理器), 还可以带有可编程死区和输出极性控制^[2]。事件管理 EVA 模块功能框图如图 2 所示。

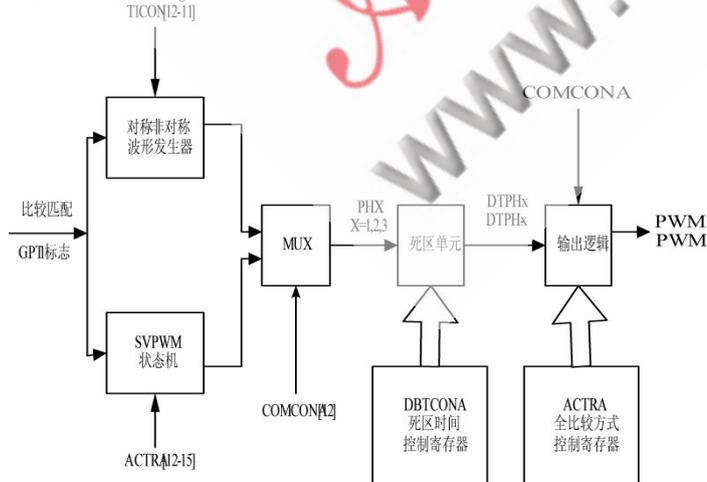


图 2 EVA 模块功能框图

本文使用 TMS320F2812 的 EVA 模块, 采用连续增/减计数模式, 以通用定时器 1 做为时间基准。通用定时器 1 的计数器不断与比较寄存器的值进行比较, 当发《微型机与应用》2010 年第 02 期

生匹配时, 比较单元的两个输出将根据方式控制寄存器 (ACTRA) 中的位进行跳变^[3]。当通用定时器 1 的计数器和比较单元的比较寄存器之间发生匹配且比较使能时, 比较单元的比较中断寄存器将被置位。如果中断没有被屏蔽, 则产生外设中断请求信号。程序中使用周期中断, 每调用一次中断服务子程序得到一个新的占空比, 从而可以实时地改变脉冲宽度。且有死区设置以防三相逆变器中开关件器件的直通^[4]。系统硬件及 PWM 初始化其程序如下：

```

InitSysCtrl();           /* 初始化系统
DINT;
IER = 0x0000;           /* 关中断 */
IFR = 0x0000;
InitPieCtrl();          /* 初始化 PIE 控制寄存器 */
InitPieVectTable();     /* 初始化 PIE 矢量表 */
EALLOW;
GpioMuxRegs.GRAMUX.all = 0x00ff; // 配置 GPIO 口为 PWM 口
EDIS;
EvaRegs.ACTRA.all = 0x0666; // 设置比较模式控制寄存器 PWM1,3,5 为高 2,4,6 为低
EvaRegs.DBTCNA.all = 0x0ffc; // 设死区
EvaRegs.CMPR1 = 195;     // 比较寄 1 寄存器初值
EvaRegs.CMPR2 = 195;     // 比较寄 2 寄存器初值
EvaRegs.CMPR3 = 195;     // 比较寄 3 寄存器初值
EvaRegs.COMCONA.all = 0xcae0; // 使能比较和全比较输出
EvaRegs.TIPR=390;       // PWM 周期设置
// PWM 周期设置
EvaRegs.TICNT = 0;      // 计数器从 0 开始计数
EvaRegs.TICONA=0x0d41; // 设置定时器 1 的控制寄存器
EvaRegs.EVAIMRA.bit.T1PINT=1; // 使能 EVA 模块的定时器 1 的周期中断
EvaRegs.EVAIFRA.bit.T1PINT=1;
    
```

3 软件设计

DSP 控制系统程序主要有主程序和中断服务子程序。如图 3、图 4 所示, 主程序中包括系统硬件及与 PWM 有关的各寄存器的初始化, 根据标志位来判断是否已完成一个周期的操作, 如果一个标志位已置 1 则清

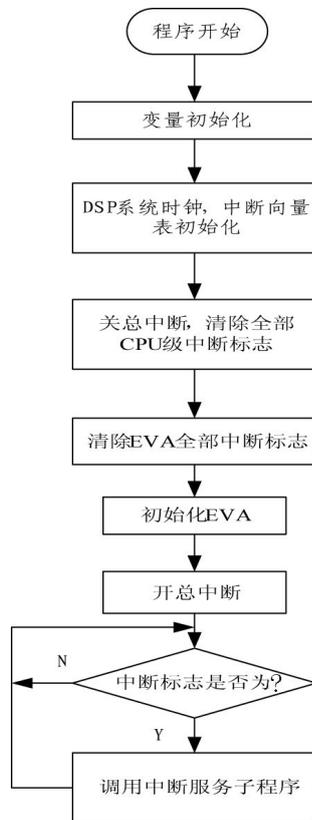


图 3 主程序流程图

应用奇葩

Example of Application

除标志位,调用计算占空比子程序,然后进入等待状态,如果标志位未被置1,则直接进入等待状态。

根据公式 $CMPR_x=(1-q_x)TIPR$ 以及设定的 GPT1 的周期寄存器的值 TIPR 就可以在占空比计算子程序中计算出三相 SPWM 波每个脉冲所需的比较寄存器的值。在周期中断服务子程序中将计算所得的比较寄存器的值送入 EVA 的 3 个比较寄存器 CMPR1、CMPR2、CMPR3 中,并且对相应的标志位置1,以便返回主程序后能进行下一个脉冲宽度的计算。

为了产生完整的正弦信号,必须从 $0^\circ\sim 360^\circ$ 按照一定的递增角度进行计算。在计算正弦信号的幅值时有两种方法:直接计算和查表。因 2812 是定点处理器而 $\sin x$ 函数是浮点函数,在编译简单的正弦运算需要产生很多汇编指令,执行速度慢。因而本文采用查表法,一个正弦周期取 60 个点,间隔的步进角为 6° 可列以正弦表。又三相 120° 对称,制作一张正弦表即可包括所有正弦值,既节省了空间又提高了运算速度^[9]。其中断服务子程序流程图如图 4 所示。

4 逆变系统结构

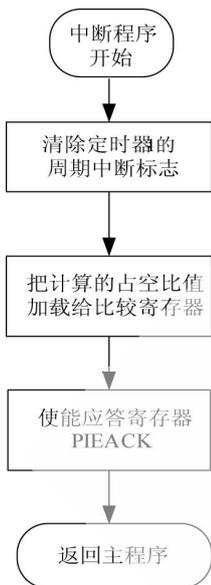


图 4 中断服务子程序流程图

本系统采用电压型逆变系统,其结构如图 5 所示,其中 DSP 生成的三相互补 SPWM 波经放大隔离和驱动电路来控制主电路中 IGBT 的开关。直流侧用一整流模块为电容充电。IGBT 选用英飞凌公司的主电路由英飞凌生产的 IGBT 器件 FF300R12KS4,其开关频率可达 40 kHz 完全能满足系统的需要。驱动模块选用了瑞士 CONCEPT 公司的 SCALE 系列 IGBT 专用集成驱动模块 2SD315A。

5 实验结果

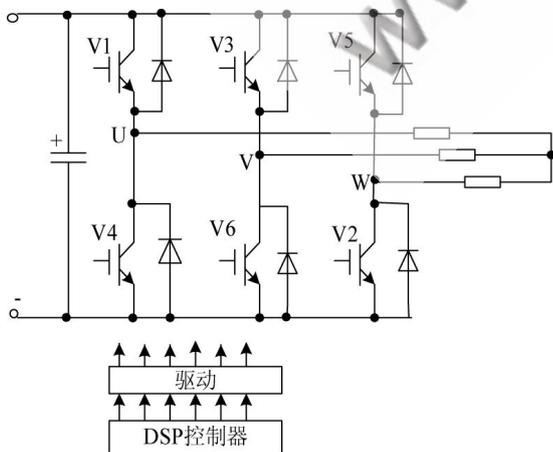


图 5 三相电压型逆变系统结构图

图 6 为 PWM1 和 PWM2 通道实测的互补 SPWM 波形。从图中可以看出其脉宽随正弦变化,满足了上下桥臂脉冲互补,验证了设计思想的正确性。

图 7 为实测的 u_{UV} 波形。从图中可以看出经过逆变变成正负相交的交流电,若加上滤波则变成正弦波。

本文介绍了 SPWM 波德生成方法及逆变系统的结

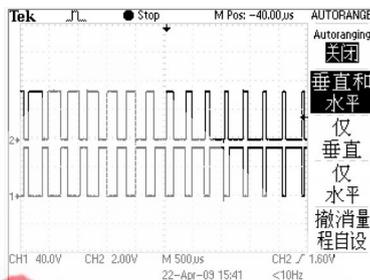


图 6 带有死区的 SPM 输出波形

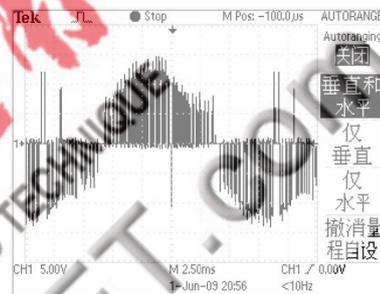


图 7 实测的 u_{UV} 波形

构。利用 DSP 本身的 PWM 电路产生 PWM 波,硬件结构简单,产生 SPWM 波源程序代码较小。由于 DSP 有高速运算能力改变采样点个数既可改变输出 SPWM 波频率,其应用在逆变系统中具有很大的实用性和可操作性。

参考文献

- [1] 王兆安,黄俊. 电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 刘和平,邓力,江渝,等.数字信号处理器原理、结构及应用基础—TMS320F28X[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 王君,叶敦范.DSP 实现 SPWM 波发生的软件开发与应用[J].信阳师范学院学报,2004,17(2):228-231.
- [4] 苏奎峰,吕强,常天庆,等.TMS320X281X—DSP 原理及 C 程序开发[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [5] 卢慧芬.基于 DSP 的 SPWM 控制波形生成的一种方法[J].机电工程,2002,19(5):30-34.

(收稿日期:2009-09-24)

作者简介:

陈曦,男,1963 年生,硕士生导师,博士,主要研究方向:自动化检测技术、计算机控制技术及现场总线技术等。

马江华,男,1983 年生,硕士,主要研究方向:智能检测与智能系统。

杨振兴,男,14982 年生,硕士,主要研究方向:智能检测与智能系统。