

文章编号 :1009-038X(2000)03-0287-05

96 单片机生成 SPWM 的软硬件策略*

陆 楨, 纪志成, 沈艳霞

(无锡轻工大学信息与控制工程学院, 江苏无锡 214036)

摘要:利用 96 单片机的高速输出 HSO 生成 SPWM 波, 配置极少的外围器件, 实现 SPWM 控制的变频调速. 介绍了该系统的硬件配置, SPWM 算法, 及主要软件. 功率器件采用了 IGBT.

关键词:逆变器, 等效面积法, 96 单片机

中图分类号: TM921.51

文献标识码: A

The Principle to Generate SPWM by Using Microprocessor 96

LU Zhen, JI Zhi-chen, SHEN Yan-xia

(School of Information and control system, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract: The SPWM wave is generated by using high speed output (hso) of microprocessor 96 in the VVVF speed adjusting system. A few units are used in the system. Hardware, software and SPWM principle of the system are introduced. IGBT power circuits are used as the voltage type inverters.

Key words: inverter; Area equivalent principle; microprocessor 96

近年来,随着自关断器件的不断发展,正弦波脉宽调制(SPWM)的逆变器得到了广泛应用. IGBT 作为新一代全控型电力电子器件,综合了 MOSFET 和 GTR 的优点,开关频率高、驱动功率小,由它构成的功率变换器输出电压纹波小,线路简单,是当今最具有应用前景的功率器件. 早期主要是使用硬件获得 SPWM 波形. 20 世纪 80 年代以来,研究重点转移到以单片机为基础的数字方案. 作者以 96 单片机的 6 路高速输出输出 SPWM 波形,采用了目前较为先进的等效面积法. 该系统具有成本低,结构简单,性能较好的特点.

1 SPWM 波形生成策略

SPWM 波形产生的方法有很多种,例如自然采样法、规则采样法和直接面积等效法等^[1]. 目前等

效面积 SPWM 算法与其它算法相比,具有谐波小、程序量少、占用计算机内存少、可动态在线进行实时运算等突出优点. 运用该算法研制的变频器,输出电压波形接近正弦程度更高,谐波更小.

1.1 等效面积法

把一个正弦半波分为 N 等份,然后每一等份的正弦曲线与横轴所包围的面积都用一个与此面积相等的等高矩形脉冲来代替,矩形脉冲的中点与正弦波每一等份的中点重合,这样,由 N 个等幅而不等宽的矩形脉冲所构成的波形就与正弦半波等效,显然这一系列脉冲波形的宽度或开关时刻可以严格地用数学方法计算得到^[2].

如图 1(a)所示,在区间 $[t, t + \Delta t]$ 正弦波面积为 S_1 .

$$S_1 = M \times U_s \int_t^{t+\Delta t} \sin \omega t dt =$$

* 收稿日期:1999-11-23,修订日期:2000-03-08.

作者简介:陆楨(1976年1月生)男,江苏无锡人,控制理论与控制工程硕士研究生.

$$\frac{M}{\omega} \times U_s |\cos \omega t - \cos(t + \omega t)| \quad (1)$$

式中： M 为调制度； U_s 为直流电源电压。

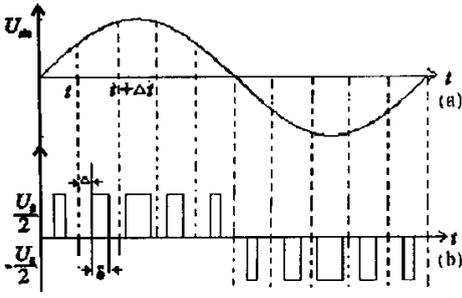


图 1 面积等效法生成 SPWM 原理图

Fig.1 Area equivalent principle

对应图 1(b) 的脉冲面积 S_2 为

$$S_2 = \delta \times \frac{U_s}{2} \quad (2)$$

将正弦信号的正半周 N 等分, 则每份为 $\frac{\pi}{N}$ 弧度, 由图 1 知脉冲高度为 $U_s/2$, 设脉冲宽度为 δ_k . 第 K 份正弦波面积与对应的第 K 个 SPWM 脉冲面积相等, 解得

$$\delta_k = \frac{2M}{\omega} \left(\cos\left(\frac{K-1}{N}\pi\right) - \cos\left(\frac{K}{N}\pi\right) \right) = \frac{M}{\pi f} \left(\cos\left(\frac{K-1}{N}\pi\right) - \cos\left(\frac{K}{N}\pi\right) \right) \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{1}{2}(\Delta t - \delta_k) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2 \times f \times N} - \delta_k \right) \quad (4)$$

式中： δ_k 为开启相对时间； ϵ 为关断相对时间。

1.2 控制规律

在 $f \geq 50$ Hz 与 $f \leq 10$ Hz 范围内采用恒功率控制, 其它范围则采用恒转矩控制, 采取这种方式, 控制相对较为简便, 在高频和低频段采用恒功率控制可加大调速范围. 为使输出波形对称性好, 谐波分量小, 系统采用分段同步调制, 以保证整个变频范围内的开关频率变化不是很大.

1.3 余弦计算

现采用分段同步调制, 每个频段载波比 N 为恒定值, 不同频段 N 不同. 为了计算快速, 余弦计算采用查表方式, 为了保证三相互差 120° , N 应设成 3 的倍数, 调制比最大 180, 所以将 $\pi/180, 2\pi/180 \dots \pi$ 的余弦值算好, 每个余弦值占 2 个字节, 制成 360 个字节的表, 当调制比 N 不同时, 每隔 $360/N$ 个字节查一次.

1.4 定时值设定

若采用 12 MHz 晶振, 每次计数时间为 $2 \mu s$, 定时相对计数值并启时段为 $\delta_k \times 10^6/2$, 关断时段 $\epsilon \times$

$10^6/2$.

2 硬件概述

本系统以“87C196”为核心, 见图 2. 6 路高速输出口 HSO 输出 6 路三相脉宽调制 SPWM 波, 分别控制智能驱动单元“EXB840”的光耦, 以驱动 6 个 IGBT 功率元件“1MBH60D-100”, 耐压可达 1kV, 最大承受电流 60 A. 本系统利用“EXB840”的过电流保护, 监视 IGBT 的过电流情况, 一旦同一桥臂上的 IGBT 同时导通; EXB840 发出过流信号给 96 单片机, 外部中断 EXINT, 同时封锁输出, 保护 IGBT. 系统还对输出电压电流, 通过霍尔元件进行 AD 采样, 根据系统对电压电流的要求, 一旦超限就封锁输出. 系统采用“8279”作为键盘显示扩展接口, 可实现对键盘/显示器的自动扫描, 并识别键盘上闭合键的键号, 大大节省了 CPU 对键盘/显示器的操作时间, 从而减轻 CPU 的负担, 而且显示稳定, 程序简单. 在强电 (IGBT) 部分, 输入信号通过三极管组成的 OCL 输出, 提高了信号的驱动能力, 也保证了系统的响应速度. 信号输入至“EXB840” (IGBT 的专用驱动模块). 另外, 用继电器作为强电开关, 提供加在 IGBT 两端的电压, 以保证 IGBT 的安全. 电机绕组采用 Y 联结, 当逆变器任一相导通时, 电机绕组上所获得的相电压为 $U_s/2$, 在单极性调制中 (见图 3), 当 A 相处于正半周时, V_1 反复通断输出单极性 SPWM 波形, 而 V_4 始终关断; 正半周结束进入负半周时, V_4 反复导通, V_1 关断. 同理 B 相是由 V_3, V_6 , C 相是由 V_5, V_2 交替导通控制.

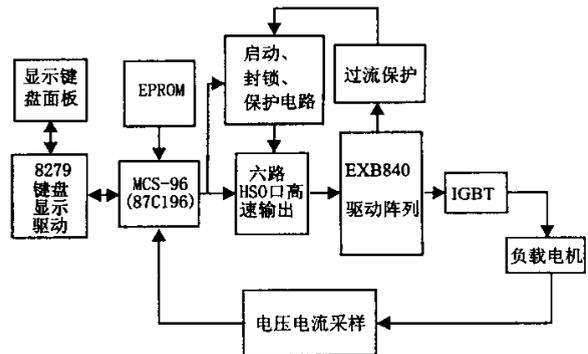


图 2 SPWM 变频调速系统

Fig.2 SPWM VVVF speed adjusting system

3 软件说明

3.1 主程序

见图 4, 在主程序内主要完成显示及键盘控制, 以及 AD 采样监控电压电流的功能.

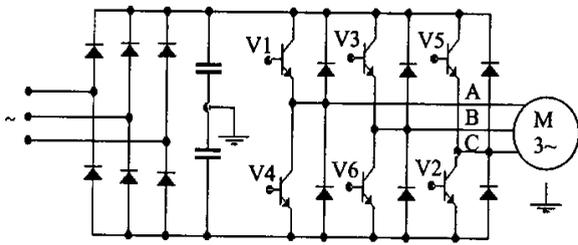


图 3 功率驱动电路原理图

Fig.3 Power electronics topology

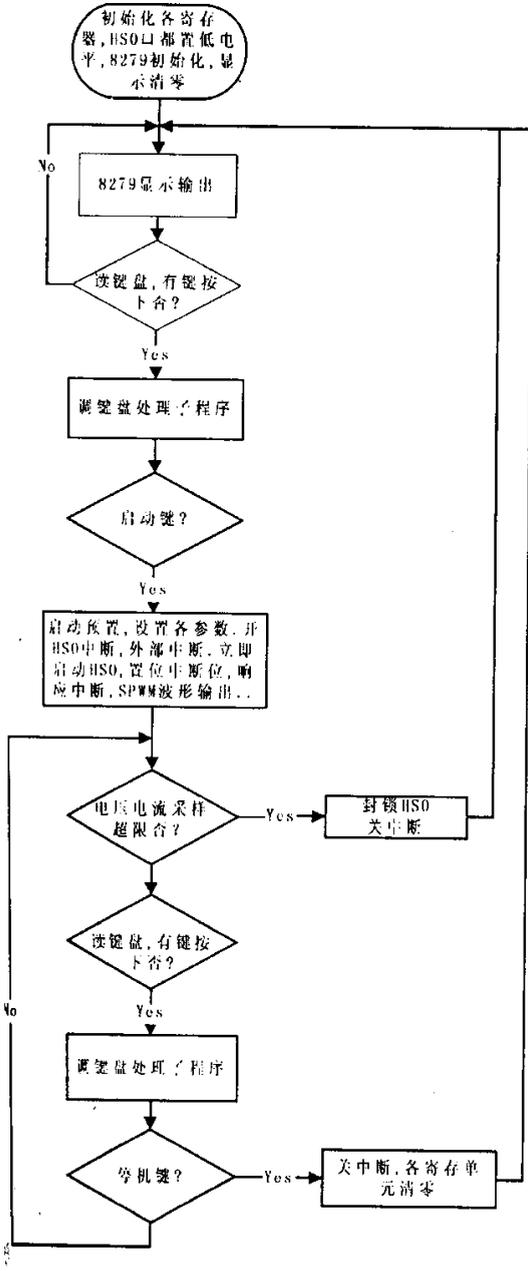


图 4 主程序流程图

Fig.4 Main programme flowchart

见图 5 键盘设有启动、停止、控制电机的起停；上升、下降键控制电机的转速。

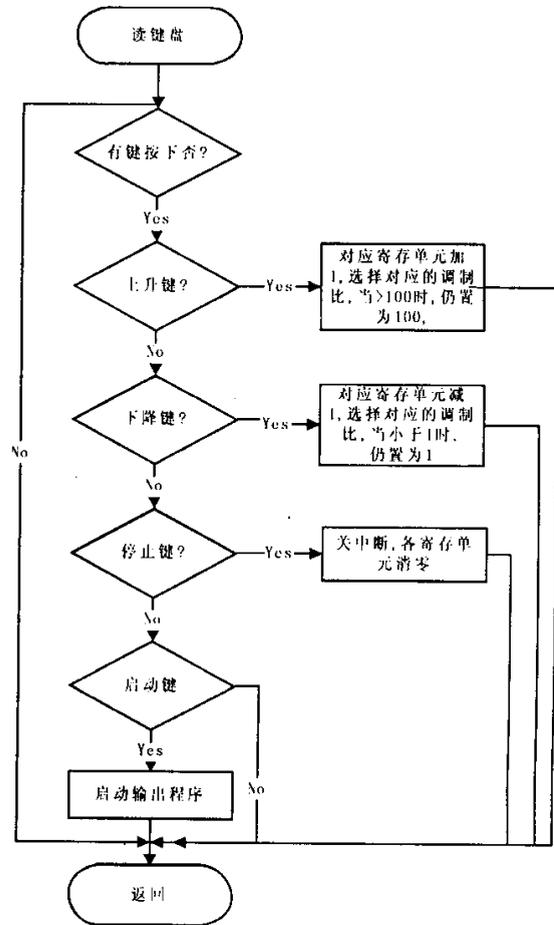


图 5 键盘显示子程序流程图

Fig.5 Keyboard and display Flowchart

3.2 外部中断服务程序

当 IGBT 上发生过电流，“EXB840”立即向 96 单片机申请中断，CPU 马上发出指令封锁所有的输出，有效地保护各功率器件。

3.3 HSO 中断服务程序

见图 6，为了生成 SPWM 波形，利用了 HSO 中断，每一个脉冲是由两个脉宽相同的低电平和一个高电平组成，在最后一个低电平周期结束时，设置一个 HSO 中断，当这次脉冲输出完成后响应这个中断，而后再设置下一个脉冲定时，由于高速输出口 HSO 的定时事件的发生都是相对于定时器 T₁ 的相对时间，定时器 T₁ 为 16 位计数器，每 8 个状态周期其计数值增 1，正常工作时一直在循环计数，没有终止或启动操作，所以设置一 16 位寄存器，将定时相对时间计数值不断累加，这样就可以设置相对时间。一旦响应 HSO 中断，进入中断服务程序，立即判断 A 相标志位，该标志位是表明工作在正半周还是负半周，当标志位为 1，说明在正半周运行，控制 V₁ 的“HSO0”工作，而控制 V₄ 的“HSO1”关断。

设一脉冲计数器,初始时设调制比为 N ,每完成一个脉冲,计数值减 1,当减为 0 时,说明半周工作结束,重新设置调制比, A 相标志取反.其它各相依此类推,只是相应相位差 120° .

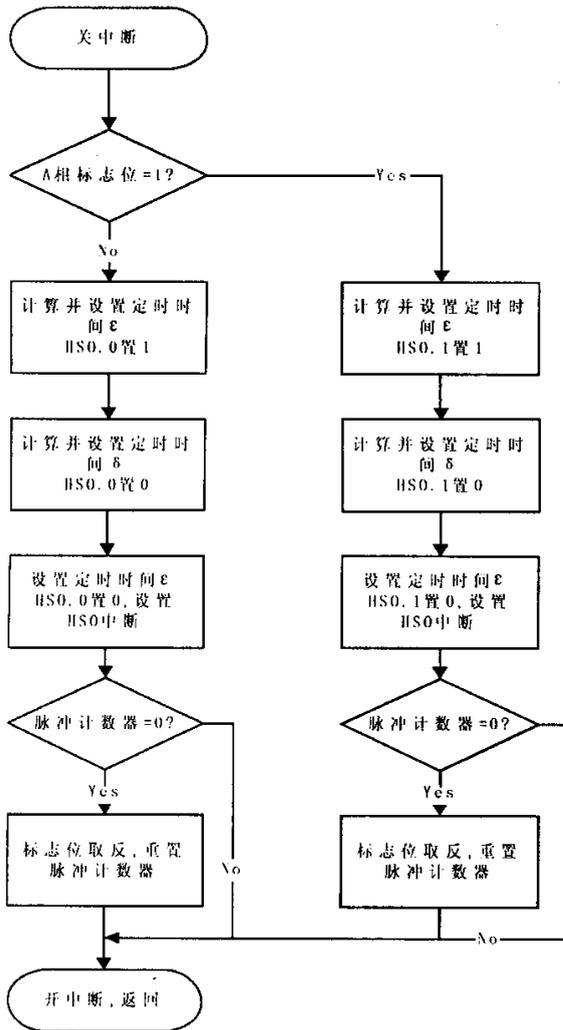


图 6 HSO 中断服务程序流程图(A相)

Fig.6 HSO interrupt flowchart (Phase A)

4 实际应用

为防止意外,在程序中设有 WATCHDOG,一旦程序跑飞可及时恢复.在使用“EXB840”时应注意输入输出电路应分开,以保证有适当的绝缘强度和高的噪音阻抗.IGBT 的栅射极回路的接线长度一定要小于 1 m,且应使用双绞线.关于死区问题,传统上为了防止同一桥臂的同时导通导致短路,在 IGBT 切换时应设一死区.但是在本设计中不必专门设置死区时间,因为响应中断时电平始终是低电平,也就是说切换时另一路也必然是低电平,而且为了保证 IGBT 能够及时响应,所有小于 $10 \mu s$ 的

定时时间全部被削去,这样也就有足够的时间使切换顺利进行.

图 7~10 为示波器拍片、扫描所得图形.

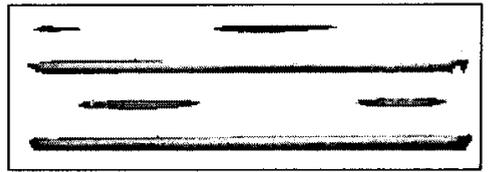


图 7 HSO 口输出电压波形

Fig.7 voltage output waveform from HSO

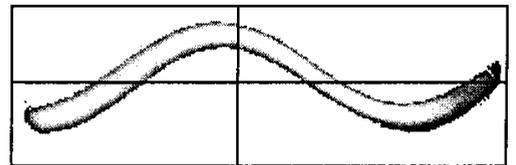


图 8 $f = 10 \text{ Hz}$ 输出电流 (i_{ab}) 波形

Fig.8 $f = 10 \text{ Hz}$ current (i_{ab}) output waveform

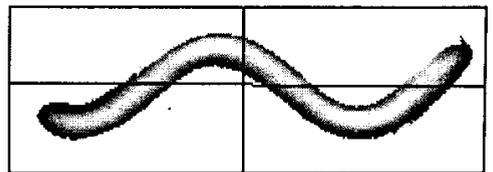


图 9 $f = 20 \text{ Hz}$ 输出电流 (i_{ab}) 波形

Fig.9 $f = 20 \text{ Hz}$ Current (i_{ab}) output waveform

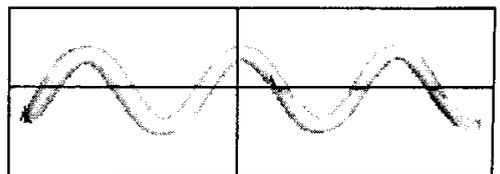


图 10 $f = 50 \text{ Hz}$ 输出电流 (i_{ab}) 波形

Fig.10 $f = 50 \text{ Hz}$ current (i_{ab}) output waveform

谐波系数 C_n , 频谱图 ($N = 9, 18, 36$) 如图 11 所示.随着 N 增大,同一个谐波系数减小,对 $2N - 1$ 次以下谐波具有较强的抑制能力.

经调试该系统的输出波形较好,谐波较小,接近正弦波程度高,有较好的实用价值.

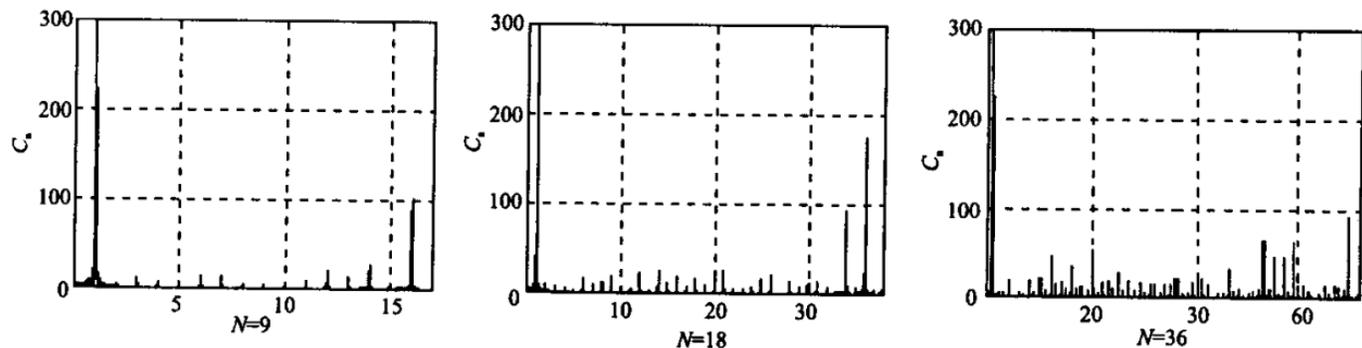


图 11 谐波分析

Fig.11 Harmonic analysis

参考文献

- [1] 黄俊, 王兆安主编. 电力电子变流技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993. 213~214
- [2] 钱福金, 钱昱明. 直接采用面积等效法生成 SPWM 波的变频调速系统[J]. 电气传动, 1995(1): 9.
- [3] 涂时亮, 姚志石. 单片微机 MCS-96/98 实用子程序[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1991. 9