

文章编号: 2095-2163(2019)03-0201-04

中图分类号: TM343+.2

文献标志码: A

# 三相交流电机 SPWM 变频调速系统设计与仿真

庞丽坤, 吴钦木

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 随着微电子技术和电力电子技术的发展,以及计算机控制技术的应用,变频调速技术日益成熟,SPWM 信号的产生方法及实现技术至关重要。基于以上特点,设计了一种三相交流电机 SPWM 变频调速系统。文中,首先阐述了 SPWM 变频调速的基础技术,然后介绍了变频调速系统的硬件及软件设计,最后在 Matlab 中进行仿真研究,证明了变频调速的可行性。

**关键词:** 交流电机; SPWM; 变频调速; 单片机; 正弦脉宽调制

## Design and simulation of three-phase AC motor SPWM frequency conversion speed regulation system

PANG Likun, WU Qinmu

(The Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**[Abstract]** With the development of microelectronics and power electronics technology, as well as the application of computer control technology, frequency conversion speed regulation technology is becoming increasingly mature. SPWM signal generation method and implementation technology is crucial. Based on the above characteristics, a three-phase AC motor SPWM frequency conversion speed regulation system is designed. First of all, the basic technology of SPWM frequency conversion speed regulation is described, then introduces the hardware and software design of the frequency conversion speed regulation system. Finally, the feasibility of variable frequency speed regulation is proved by the simulation in Matlab.

**[Key words]** AC motor; SPWM; frequency conversion speed regulation; single chip microcomputer; sinusoidal pulse width modulation

## 0 引言

在变频调速系统中,直流调速与交流调速是电机调速系统的两大门类。与直流电机相比,交流电机具有质量偏轻、体积较小,不需要换向器和电刷、转动惯量小、成本低等许多优点,使得其在变频调速系统中应用广泛<sup>[1]</sup>。交流变频技术近年来不断取得突破性进展,一直受到人们的广泛关注,与此同时人们也在不断发现控制性能更好的控制方法。其中,有基于 SPWM 的控制方法、基于 SVPWM 的控制方法以及与矢量控制相结合的方法对电机进行控制<sup>[2-3]</sup>。

由于各种电力半导体的发展和各种高性能微处理器的应用,交流电动机的速度控制方面也发生了一场革命,相应的高频正弦脉宽调制技术 SPWM 也在电机调速中得到了广泛应用<sup>[4]</sup>。SPWM 虽然和其他一些控制方法相结合后的控制性能没有 SVPWM 好,但其实现较为简单,成本较低,在对性

能要求不高的情况下具有较好的使用价值,适用范围较广。

SPWM 的实现方式有 4 种,分别是:模拟控制、自然采样法、规则采样法以及 SPWM 专用集成电路芯片与微处理器<sup>[5]</sup>。本设计采用第四种方法,即以 80C196MC 单片机为核心实现 SPWM。该方法具有较高的运算速度、能完成复杂运算的指令、内存容量较大,能方便地用于开发基于 SPWM 控制技术的电动机变频调速系统。

## 1 SPWM 变频调速技术

### 1.1 SPWM 的产生原理

SPWM 正弦脉宽调制技术以正弦电压作为电压型逆变器期望输出波形,以频率比正弦波高得多的等腰三角波作为载波,并用频率和期望输出频率相同的正弦波作为调制波。调制波与载波相交时会产生一系列的交汇点,由这些交点确定逆变器开关器件的通断时刻,从而可以获得正弦调制波半个周期

**基金项目:** 贵州省自然科学基金(黔科合基础[2018]1029)。

**作者简介:** 庞丽坤(1994-),女,硕士研究生,主要研究方向:计算机控制、控制理论与控制工程;吴钦木(1975-),男,博士,教授,主要研究方向:计算机控制、电机控制、控制理论等。

收稿日期: 2019-03-16

内呈现两边窄、中间宽的一系列等幅不等宽的矩形波<sup>[6]</sup>。输出的矩形波如图1所示。

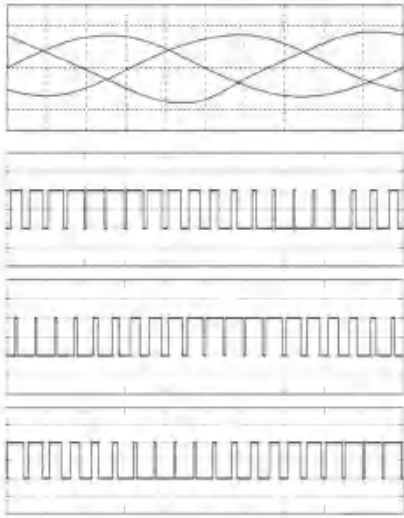


图1 输出矩形波图

Fig. 1 output rectangular wave diagram

### 1.2 SPWM 变频调速原理

SPWM 变频调速原理为:单片机生成三相 SPWM 控制脉冲,通过驱动电路放大,进而控制 6 个主开关的通断,同时将整流滤波后的单相直流电压逆变为三相交流电压,即可拖动异步电动机,通过改变调制信号的周期与幅值,实现电机的 VVVF 控制。研究给出如下数学公式:

$$n = \frac{60f(1 - s)}{p} \tag{1}$$

由式(1)可知,随着输入频率的改变,电动机的转速也随之变化,即达到了变频调速的目的。

## 2 SPWM 变频调速系统实现

SPWM 变频调速系统是以 80C196MC 单片机为核心构成的 SPWM 控制电路,其设计原理如图 2 所示。系统由主电路和控制电路组成,主电路由整流器、滤波器及逆变器组成<sup>[7]</sup>,控制电路包括 80C196MC 单片机、存储器、键盘、显示器及等待延时电路,信息的传递通过主电路和控制电路之间的光电隔离。文中拟对此展开研究论述如下。

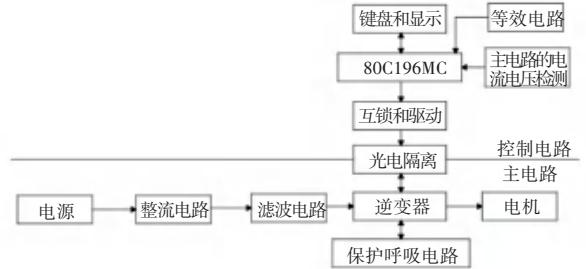


图2 变频调速系统原理框图

Fig. 2 Principle block diagram of frequency conversion speed regulation system

### 2.1 SPWM 变频调速系统的硬件设计

在进行 SPWM 变频调速系统的硬件电路设计时,需采用 Intel80C196MC 单片机作为控制电路的 CPU,完成系统的硬件设计,主要包括主电路和控制电路两部分。

系统的主电路主要由整流、滤波和逆变等部分组成,采用交-直-交变频器结构,电路采用的是三相不可控整流电路,整流后经过大电容滤波环节,从而得到直流电压,如图 3 所示。

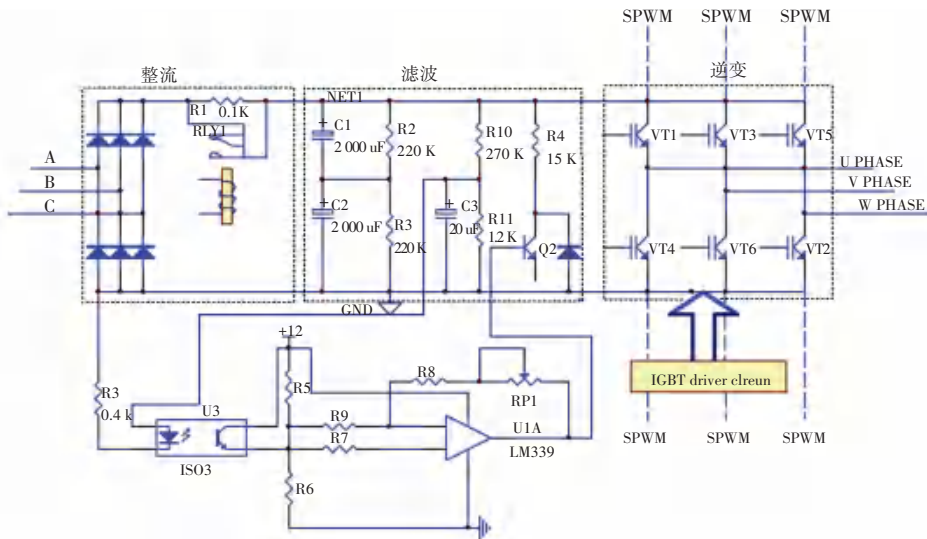


图3 主电路图

Fig. 3 Main circuit diagram

本变频调速系统采用开环控制,控制电路原理图如图4所示。该系统是以80C196MC单片机为核心控制部分的系统。该系统的主要界面电路是8155可编程并行I/O界面,由其提供与键盘、显示器和CPU的联系。

为方便运行状态以及故障观测的呈现,选择4个八位数码管,由于LED数码管所需的电流较大,因此在数码管的段选及位选通口处附加驱动电路。

数码管的相应数码段连接在一起,由CPU的D0~D7经74LS573锁存控制,同时采用8155芯片作为可编程并行I/O口的扩展。

在单片机系统中,键盘可发出指令,调整控制系统的工作状态以及数据输入,本系统共13个按键,其中包含复位键。由于变频调速系统的实时性很高,所以采用中断式按键的工作方式,除复位键外,其他任何一个按键闭合,都将使回应中断。

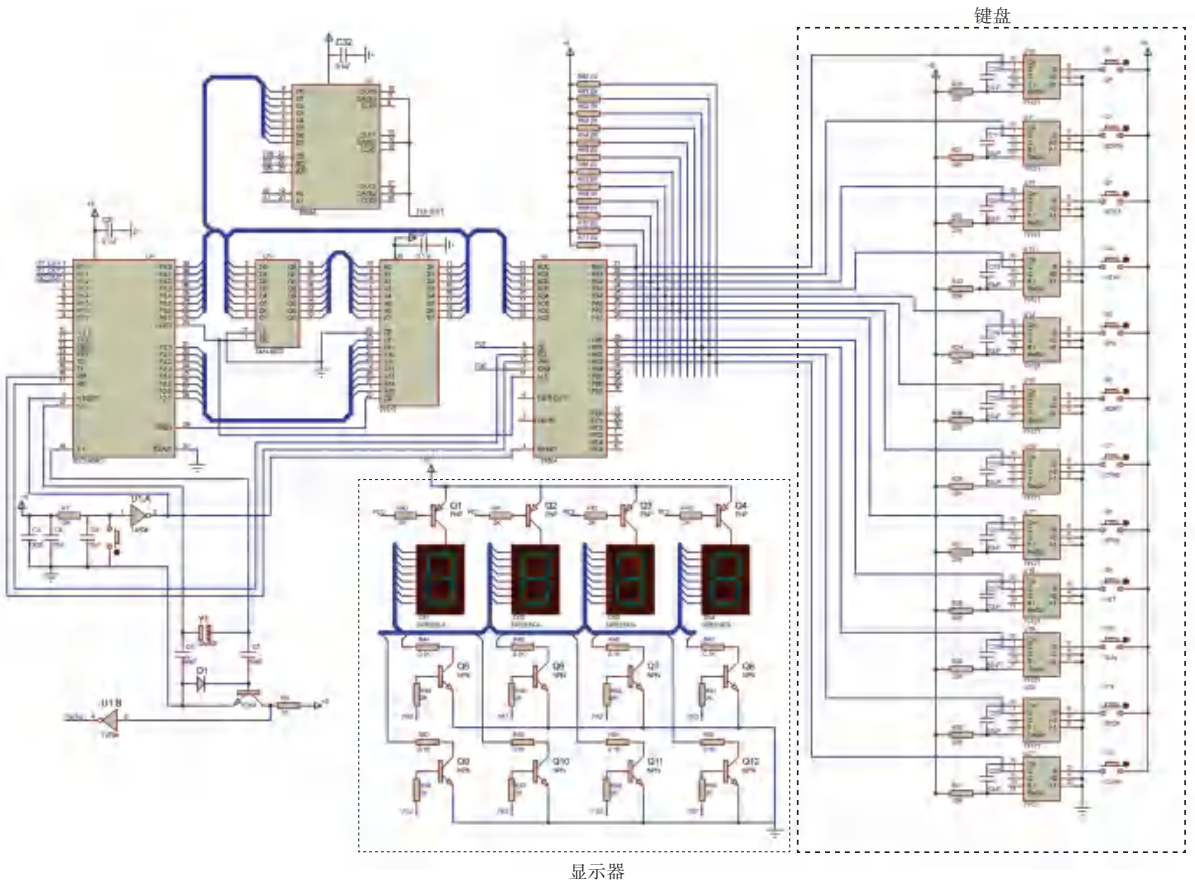


图4 控制电路图

Fig. 4 Control circuit diagram

### 2.2 SPWM 变频调速系统的软件设计

本变频调速系统中采用80C196MC作为CPU。80C196是16位单片机,其地址总线和数据总线都为16位,晶振频率可达16M,有64K字节的程序存储器和64K字节的数据存储器,寻址能力为64KB,因此直接选用64KB的EPROM27512,数据动态存储器则直接采用片内RAM<sup>[8-9]</sup>。本次研究得到的软件设计流程如图5所示。

### 3 仿真建模及结果

系统采用SPWM逆变电路生成三相交流电源,其中逆变电路模块选用全控型器件IGBT<sup>[10]</sup>来完成。这种设计的优点是可以调节外加直流电源的设定值来输出理想的交流电压源幅值,达到变压的目的;其次,为了实现系统变频调速,还需要加入时间设定速度环节,同时配合U/f曲线、SPWM调制与驱动等一起来搭建此次设计仿真。原理设计如图6所示,仿真模型如图7所示。

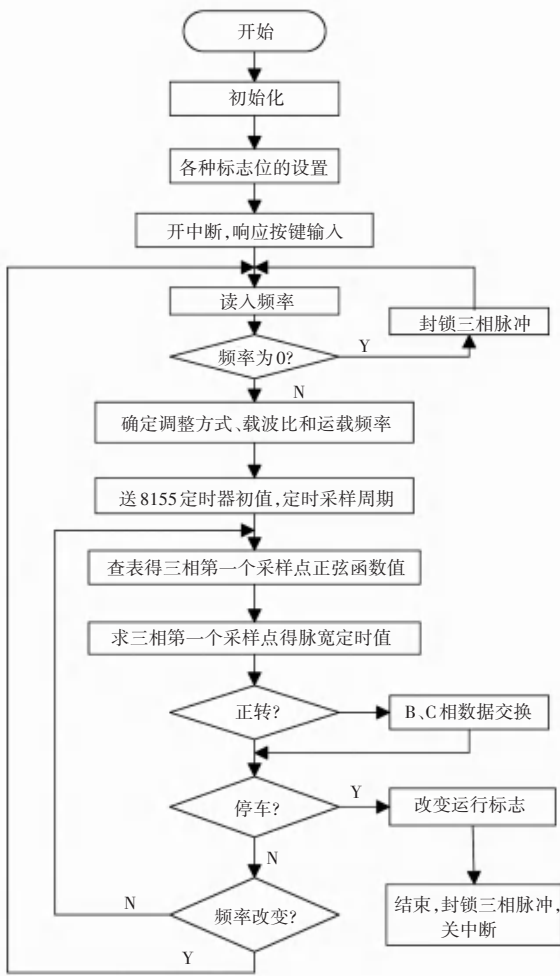


图5 主系统流程图

Fig. 5 Main system flow chart

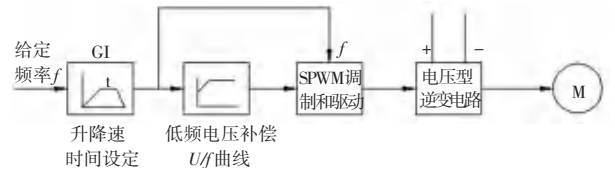


图6 系统原理图

Fig. 6 Schematic diagram of the system

图8、9分别为频率10 Hz、30 Hz时,  $n$  示波器所显示的图形, 由图8、图9可知, 随着输入频率的减小, 电动机的转速也随之减少,  $f = 30, s = 800; f = 10, s = 400$ 。即实现了变频调速的目的。由公式(1)可知, 转速与输入频率成正比, 即实际与理论符合, 且速度较稳定, 证明了变频调速的可行性。

#### 4 结束语

本文基于 SPWM 控制技术的特点, 设计了一个以 80C196MC 为 CPU, 开环运行的交流变频调速系统, 并具体阐述和分析了其软硬件设计, 最后通过仿真得出系统有较好的稳定性, 与实际相符, 具有一定的理论意义与研究价值。

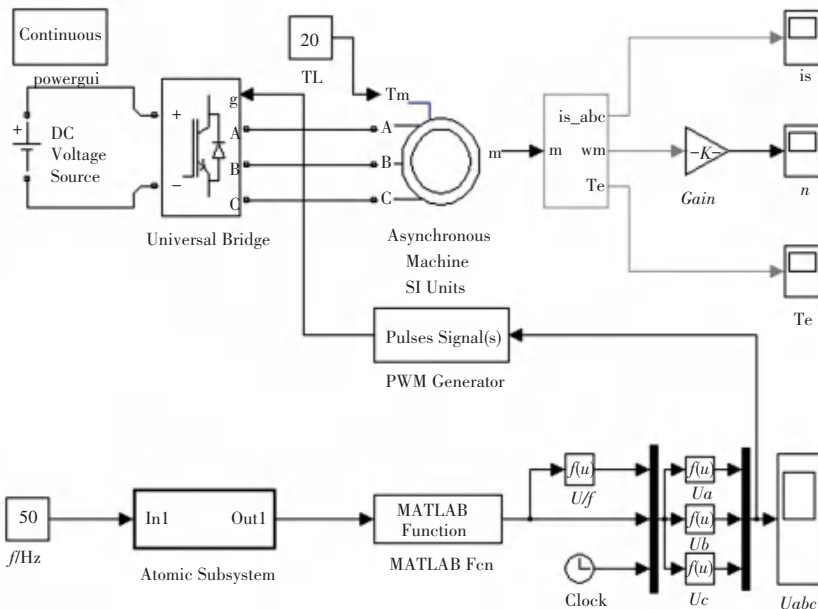


图7 系统仿真模型图

Fig. 7 System simulation model diagram



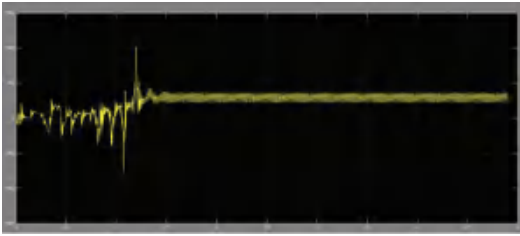


图 8 10 Hz 时  $n$  示波器图像

Fig. 8  $n$  oscilloscope image at 10 Hz

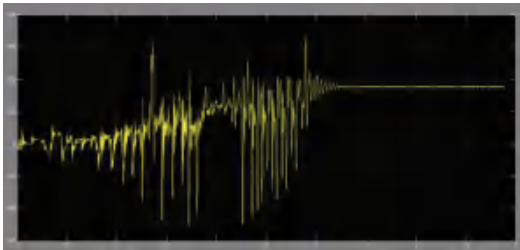


图 9 30 Hz 时  $n$  示波器图像

Fig. 9  $n$  oscilloscope image at 30 Hz

参考文献

[1] 王成元, 夏加宽, 孙宜标. 现代电机控制技术[M]. 北京: 机械

工业出版社, 2009.  
 [2] LI Xiaojing, ZHANG Zhaolong. SVPWM control of frequency-variable speed adjustable system [C]//2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation ( ICMA ). Takamatsu, Japan; IEEE, 2017: 113-118.  
 [3] LIU Jian, YAO Wenxi, LU Zhengyu, et al. Design and implementation of DSP based high frequency SPWM generator [C]// 2016 IEEE 8<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference ( IPEMC-ECCE Asia ). Hefei, China; IEEE, 2016: 597-602.  
 [4] 袁登科, 徐延东, 李秀涛. 永磁同步电动机变频调速系统及其控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.  
 [5] 陈伯时, 陈敏逊. 交流调速系统[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2013.  
 [6] 张燕宾. SPWM 变频调速应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.  
 [7] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.  
 [8] 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.  
 [9] 程军. Intel80C196 单片机应用实践与 C 语言开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.  
 [10] 王博. 基于 UC2844 的 IGBT 驱动电路设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2019(1): 42-45.

(上接第 200 页)

在图 5 中, 第一行调用了无参的函数 noparfunction; 第二行调用了 1 个参数的函数 oneparfunction, 参数值为 3; 第三行调用了 2 个参数的函数 twoparfunction, 其中 2 个参数都是字符串; 第四行同样调用了 2 个参数的函数, 但是其中的 2 个参数不再是字符串和数值, 而是分别调用了无参的函数和一个参数的函数。因此, 在 LaTeX 中, 一个函数可以作为另一个函数的参数。

2.3 函数的输出

综合前文研究后, 就是对 LaTeX 源文件进行编译, 然后输出到 pdf 文档。最终输出结果如图 6 所示。

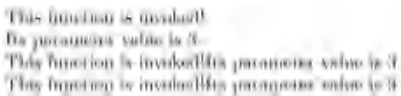


图 6 函数的输出结果

Fig. 6 Output result of functions

在图 6 中, 第一行是 noparfunction 的输出, 第二行是 oneparfunction 的输出。第三行是 twoparfunction 函数的输出, 且参数是 2 个字符串。第四行也是 twoparfunction 函数的输出, 但是 2 个参数分别是 noparfunction 和 oneparfunction。由图 6 看到, 第三行和第四行的输出是一样的, 因此, 通过函数的嵌套调用可以实现复杂的功能。

3 结束语

本文立足于程序员的思维角度来讨论 LaTeX 的学习, 以编程中最重要的 2 个概念—变量和函数, 作为本文的研究内容, 采用对比的方法, 阐明了在 LaTeX 中这 2 个概念与 Java 语言的异同点, 并通过案例说明了程序员如何高效地做出 LaTeX 的入门学习。下一步将继续按照该方法的思路, 深入探究 LaTeX 中其它知识的学习, 为更多的科技工作者快速掌握该知识提供借鉴。

参考文献

[1] KNUTH D E. The TEXbook, volume A of computers and typesetting [M]. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1984.  
 [2] LAMPORT L. LATEX: A document preparation system (user's guide and reference manual) [M]. 2<sup>nd</sup> ed. USA: Addison-Wesley Professional, 1994.  
 [3] 龙静, 尚婵好, 孙云志. 定制科技期刊 LaTeX 论文模板的思路和实践[J]. 中国科技期刊研究, 2015, 26(9): 975-980.  
 [4] 刘海洋. LATEX 入门[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.  
 [5] 马加佳. LaTeX 与 Word 文件的相互转换[J]. 中国科技期刊研究, 2014, 25(3): 378-382.  
 [6] 俞玲珍, 张林琳. LaTeX 软件在学术论文排版中的应用[J]. 价值工程, 2012, 31(35): 209-210.  
 [7] 赵新科. 浅析 LaTeX 在科技期刊与哲社期刊排版上的应用[J]. 大众科技, 2016, 18(1): 131-132.