# 基于 TMS320F2812 的 SVPWM 变频调速的研究

唐友怀 张海涛 姜 喆 罗 珊 王乃飞
(解放军理工大学 南京 210007)

**摘 要**:文章论述了一种基于 DSP 的双 PWM 变频调速系统,设计了双 PWM 变频调速系统的硬件电路,该系统与传统的模拟型调速系统相比,具有控制灵活、功率因数高、回馈节能、谐波污染小、维护方便、成本低等特点。文章利用 TMS320F2812 的强大运算能力和快速实时处理能力,使得变频器中复杂的控制算法更加容易编程实现,完全实现了异步电动机高性能控制,仿真表明系统具有优良的动态特性和抗干扰特性。基于产生异步电机圆形磁场的 SVPWM 控制,减少了电机的转矩脉动和铁损。

**关键词**:双 PWM 变频调速;矢量控制;数字信号处理器(DSP);电压空间矢量(SVPWM)
**中图分类号**: TP212 **文献标识码**: B

# Research of PWM variable frequency speed regulation based on TMS320F2812

Tang Youhuai Zhang Haitao Jiang Zhe Luo Shan Wang Naifei
(PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007)

**Abstract**: A system using dual-PWM variable frequency speed regulation based on DSP is stated in this paper, and the hardware circuit is designed, too. Compared with the traditional analog speed regulation systems, the system stated by the paper has many advantages such as flexible control, high power-factor, power saving with feed-back, no harmonic waves pollution, easy maintaining, and low cost. The DSP TMS320F2812's advantages like high mathematical operation ability and fast real-time processing ability are used to make the complex algorithm easier to program in the variable frequency system, and the high performance control of the asynchronous motor is totally realized by the system. The simulation specifies that the system has good dynamic feature and high anti-jamming feature. At last, the SVPWM control based on the asynchronous motor circular magnetic field reduces the electrical machinery torque pulsation and the iron loss.

**Keywords**: dual-PWM variable frequency speed regulation; vector control; digital signal processor(DSP); volt space vector (SVPWM)

## 0 引 言

近几年来,科学技术的迅速发展为交流调速技术的发展创造了极为有利的技术条件和物质基础。交流电动机的调速系统不但性能同直流电动机的性能一样,而且成本和维护费用比直流电动机系统更低,可靠性更高。目前,国外先进的工业国家生产直流传动的装置基本呈下降趋势,而交流变频调速装置的生产大幅度上升。因此,采用高效率经济型的交流调速系统来取代原有的直流电动机调速系统,是电机调速技术发展的新动向。

矢量控制技术的出现以及电力电子技术的发展,使得在高性能要求场合下异步电机调速系统的广泛应用成为可能。矢量控制理论解决了异步电动机的转矩控制问题,应用坐标变换将三相系统等效为两相系统,再经过按转子磁场定向的同步旋转变换后实现了定子电流励磁分量与转矩分量的解耦,从而达到对异步电机的磁链和转矩分别控制的目的。因而获得了与直流调速系统同样优良的静、动态性能。

## 1 电压空间矢量法(SVPWM)原理及控制算法

交流异步电动机用电机统一理论和 3/2 坐标变换后得到 $\alpha-\beta$ 轴系的磁链方程:

$$\begin{bmatrix}\Psi_d\\ \Psi_q\end{bmatrix}=\frac{\sqrt{3}U_\Phi}{\omega}\begin{bmatrix}\sin\omega t\\ \sin(\omega t-\frac{\pi}{2})\end{bmatrix}=$$

**作者简介**:唐友怀(1974-),讲师,主要研究方向为电力工程及其自动化、氢能发电、机电一体化等。

维普资讯 http://www.cqvip.com



$$\Psi_m\begin{bmatrix}\sin\theta\\ \sin(\theta-\frac{\pi}{2})\end{bmatrix}=\frac{U}{f}\begin{bmatrix}\sin\theta\\ \sin(\theta-\frac{\pi}{2})\end{bmatrix} \quad (1)$$

式中：

$\Psi_m$——磁链半径；

$f$——电源电压频率；

$U$——电机线电压有效值；

$\theta$——电角度。

由式(1)可以知道，只要电源电压频率 $U/f$ 常数，磁链圆的半径 $\Psi_m$ 就是常数。这样随着 $\theta$ 的变换，磁链矢量 $\Psi$ 就形成了一个以 $\Psi_m$ 为半径，以 $\omega$ 为角速度的圆形轨迹，即得到一个理想的磁链圆。

定义如下式的 $X$、$Y$、$Z$ 3 个变量则：

$$X=\frac{\sqrt{6}}{3}V_{\beta ref}$$

$$Y=\frac{\sqrt{6}}{6}V_{\beta ref}+\frac{\sqrt{2}}{2}V_{\alpha ref}$$

$$Z=\frac{\sqrt{6}}{6}V_{\beta ref}-\frac{\sqrt{2}}{2}V_{\alpha ref} \quad (2)$$

一般而言，可以用矢量 $V_{ref}$ 的 $(\alpha,\beta)$ 轴分量 $V_{\alpha ref}$ 和 $V_{\beta ref}$ 来表示矢量本身，将 $V_{\alpha ref}$ 和 $V_{\beta ref}$ 通过 2/3 变换得到 3 个参量 $V_{ref_1}$、$V_{ref_2}$、$V_{ref_3}$，其关系如下

$$V_{ref_1}=\sqrt{\frac{2}{3}}V_{\beta ref}$$

$$V_{ref_2}=-\frac{1}{\sqrt{6}}V_{\alpha ref}+\frac{\sqrt{2}}{2}V_{\beta ref}$$

$$V_{ref_3}=-\frac{1}{\sqrt{6}}V_{\alpha ref}-\frac{\sqrt{2}}{2}V_{\beta ref} \quad (3)$$

定义如下的占空比参数 $t_{aon}$、$t_{bon}$、$t_{con}$：

$$t_{aon}=\frac{PWMPRD-t_1-t_2}{2}$$

$$t_{bon}=t_{aon}+t_1$$

$$t_{con}=t_{bon}+t_2 \quad (4)$$

式中：$PWMPRD$ 是 TMS320F2812 周期寄存器的值。最后可以确定实际控制所需的三相 PWM 波的占空比 $T_a$、$T_b$、$T_c$。其中 DSP 比较寄存器 CMPR1、CMPR2、CMPR3 分别存入 $T_a$、$T_b$、$T_c$ 的值。

综上所述，在实现矢量控制变频调速时，经逆变换得到 $\alpha-\beta$ 坐标系中的输出量 $V_{\alpha ref}$ 和 $V_{\beta ref}$，利用上面的公式(2)计算 $X$、$Y$、$Z$；然后利用公式(3)和 $N=4\times c+2\times b+a$ 计算出 $N$ 和扇区数；再利用所求得的扇区数分别求得在各自扇区里的作用时间 $t_1$、$t_2$，最后利用公式(4)计算得到不同扇区下的三相 PWM 波的占空比 $T_a$、$T_b$、$T_c$。

## 2 双 PWM 变频调速系统的设计

### 2.1 系统总体设计

本文以 TI 公司的 TMS320F2812 型 DSP 为控制核心构建双 PWM 变频调速系统，其框图如图 1 所示。

系统构成的 2 个主要部分是 PWM 整流器和 PWM 逆变器，这其中包括了交流侧电感、直流侧电容、整流桥、逆变桥及交流电动机。

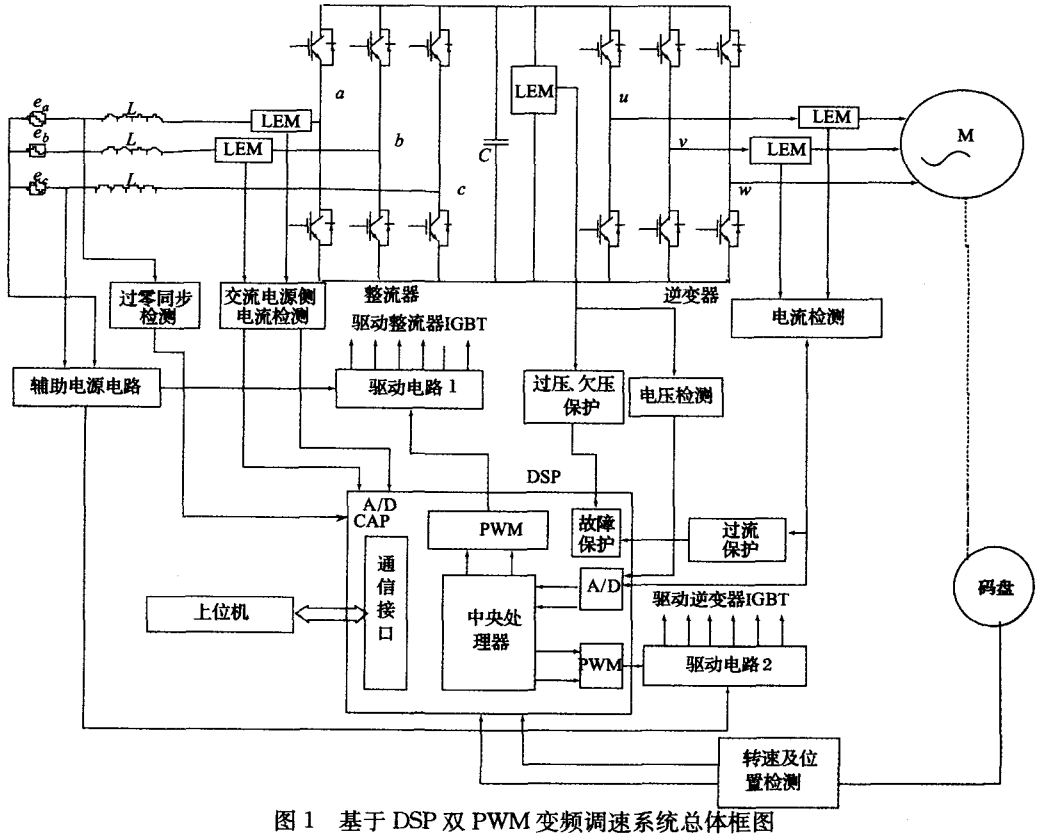



图 1 基于 DSP 双 PWM 变频调速系统总体框图

系统保护电路包括过压、欠压保护、过流保护及提升机控制系统的其他保护。过压、欠压保护是利用电压传感器采集母线电压，与规定值相比较，超过规定电压值，进行相应的过压和欠压保护；过流保护是把电流传感器采集的电流信号与放大器的规定值比较。综合各路故障信号形成总的故障信号送入 DSP 的故障中断入口，进而把 PWM 波封锁，并断开主电路。

控制回路包括 DSP 最小系统电路、PWM 信号发生电路；电压、电流、转速检测电路、过零同步检测电路；系统故障保护电路等。最小系统由 DSP 本身或 EEPROM、复位电路、晶振管、译码电路组成；PWM 信号发生电路是 TMS320F2812 内部事件管理器 EVA 和 EVB 可产生 12 路具有可编程死区和可变输出极性的 PWM 信号，在此事件管理器 EVA 产生的 6 路 PWM 信号驱动 PWM 整流器的 IGBT，事件管理器 EVB 产生的 6 路 PWM 信号驱动 PWM 逆变器的 IGBT；电压、电流、速度检测电路为调速系统提供所需的反馈信号；系统故障保护电路完成提升系统各种故障保护、功率器件 IGBT 的保护等。

### 2.2 电压空间矢量法的 DSP 实现

TMS320F2812 为电机控制设计了专门的 PWM 硬件电路，如图 2 所示。从片内生成 PWM 的硬件结构图可以看出，PWM 的生成由特定的寄存器分别控制。

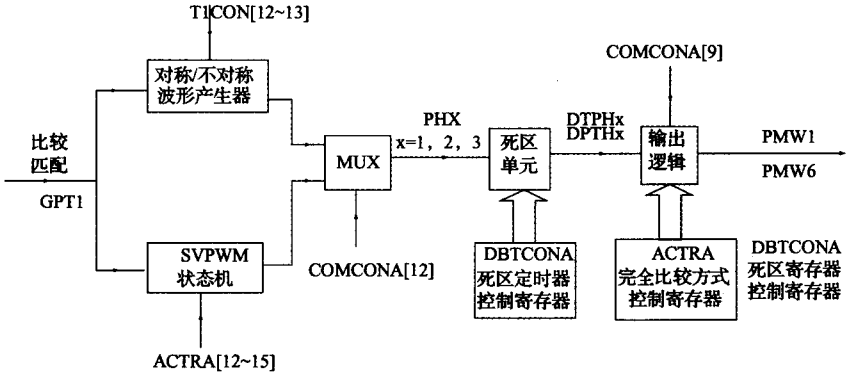



图 2 DSP 内部 PWM 电路结构框图

T1CON[12～13]计数模式，选择控制生成对称或不对称的 PWM 波形，死区时间设置 DBTCON，在时钟为 50 ns时，设置的死区时间范围为 0～102.4 μs；ACTRA[12～15]中是当前矢量，根据 $V_{sref}$ 的位置写入相应的值，采用 HWSVPWM 时使用；COMCONA[9]控制 PWM 输出或高阻态输出，可用于系统出现故障时及时保护；COMCONA[12]控制 PWM 输出是常规比较控制 PWM 方式(SWSVPWM)，还是硬件 SVPWM 方式(HWSVPWM)；

CMPR$X$ ($X$=1,2,3)3 个比较积存器分别对应何时开通 $a,b,c$ 三相，其值的大小由主、辅矢量和零矢量的作用时间决定，采用 SVPWM 时使用。本文采用软件生成 SVPWM 的过程是：当定时器的计数器累加到等于 CMPR$X$($X$=1,2,3)的值时，就会改变空间矢量对应的控制信号输出。

## 3 SVPWM 及 PWM 逆变器矢量控制仿真实现

SVPWM 仿真模型的建立，必须首先确立合成电压空间矢量 $V_{ref}$ 以及确定其所在的扇区，然后根据电压空间矢量所在的扇区，计算出非零矢量的作用时间和零矢量的作用时间；计算出矢量的切换点；进而可以生成 SVPWM 波形。如图 3 所示，扇区切换正常，表明 SVPWM 输出波形是正确的。

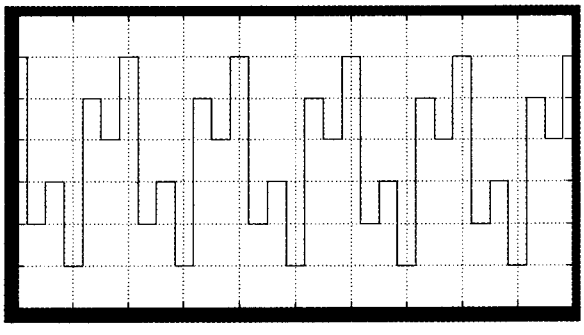


图 3 SVPWM 扇区切换波形

仿真时选用的三相鼠笼电动机参数为：电动机型号：$Y_3$-200$L_1$-2；接法：Y 接；$n_N$=2 970 r/min，$U_N$=380 V，$I_N$=55.4 A，$P_N$=130 kW，$L_{ir}$=0.8 e−3 H，$L_m$=34.7 e−3 H，$f$=50 Hz，$J$=1.622 kgm$^2$，$R_s$=0.087 Ω，$L_{1s}$=0.8 e−3 H，$R_r'$=0.228 Ω。PI 调节器参数通过计算进行调整。仿真模型进行以下 2 种类型的实验：给定频率变化时的系统性能实验；负载变化时的系统性能实验。实验得到波形如图 4 所示(此波形为 Scope 测量到的定子线电压、定子线电流、电动机的电磁转矩和转子转速)。

(1)$t$=0.5 s，给定速度分别为 $\omega$=25 rad/s 跳变到 $\omega$=125 rad/s；在 $t$=2 s 负载转矩 100 N·m 突加 150 N·m。(仿真开始时间 0，结束时间 3 s，如图 4(a)所示。

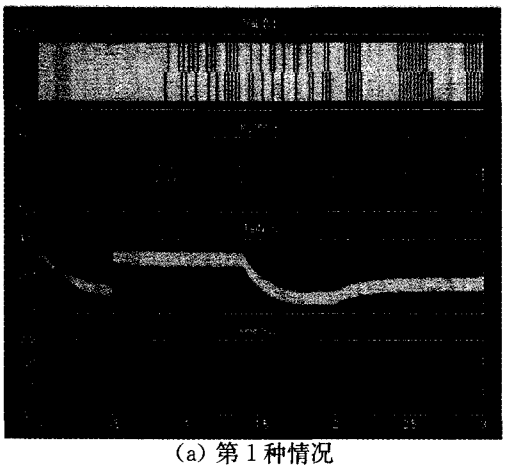
(2)在 $t$=5 s，给定速度 $\omega$=160 rad/s 跳变到 $\omega$=283

维普资讯 http://www.cqvip.com

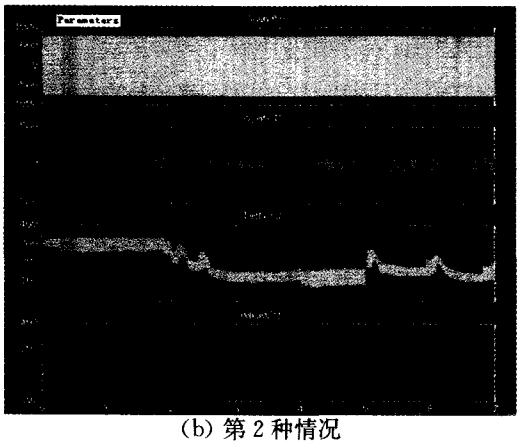


rad/s;在 $t=6$ s 负载转矩 100 N·m 突减 50 N·m。(仿真开始时间 0,结束时间 7 s,如图 4(b)所示。

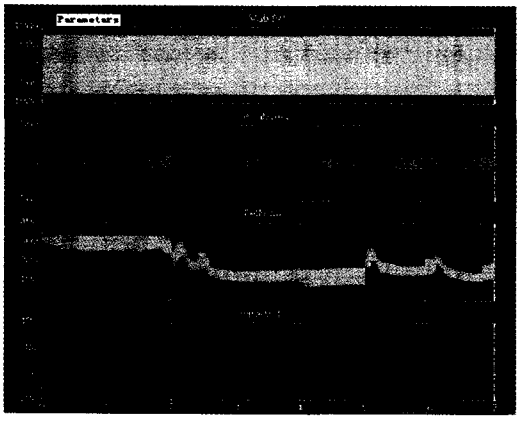
(3)$t=2.0$ s,给定速度 $\omega=-160$ rad/s 跳变到 $\omega=-283$ rad/s;在 $t=2.9$ s 负载转矩 $-100$ N·m 突加 $-150$ N·m。(仿真开始时间 0,结束时间 4 s,如图 4(c)所示。



(a) 第 1 种情况



(b) 第 2 种情况



(c) 第 3 种情况

图 4 实验所得波形

仿真结果表明:负载发生突变时,矢量控制系统有良好的抗干扰能力,而且转速环以内的所有扰动,该矢量控制系统都有良好的抵制能力;由于励磁环采用了闭环控制,则可靠的保证了异步电机合适的磁场;转矩电流环的闭环控制,使得矢量控制变频调速系统,有很硬的机械特性,成为一种优良的控制系统。

以上仿真实验结果还表明:本文研究的变频调速系统的矢量控制算法是成功的,利用矢量控制算法的变频调速系统具有优良的动态特性和抗干扰特性,采用矢量控制方式,实现励磁电流与转矩电流的独立控制,变频调速系统具有良好的起动、稳态和抗干扰性能,其电流、转速、转矩波形和直流电机的相应波形极为相似,这就表明异步电机矢量控制变频调速完全可以达到直流电机的调速性能。

## 4 结束语

速度调节器引入模糊控制,需利用 DSP 强大、灵活的编程和运算能力,编制性能优良的模糊控制算法,这方面有很大的研究空间。本文对以上问题进行了研究,还有很多地方没有涉及,如模糊控制、自适应控制等控制策略的引入等,高压大功率变频调速系统的研究是当前和今后一段时间调速系统研究的一个方向。上述方面的研究既依赖于电力电子技术的进步,也依赖于变频理论研究的新突破。因为伴随电力电子技术发展而出现的新型电力电子器件,将会在节省成本和优化设计方面,为变频电源的实现提供新的解决方案。变频理论研究的突破,如目前的矩阵变换理论等,则会给变频电源的开发应用提供新的思路。

### 参考文献

[1]刘和平,王维俊,江渝,等. TMS320LF240X DSP C 语言开发应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003:317-326.

[2]陈国呈. PWM 变频调速及软开关电力变换技术[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[3]史伟伟,蒋全,胡敏强. 三相电压型 PWM 整流器的数学模型和主电路设计[J]. 东南大学学报,2002,32(1):50-55.

[4]易军,王红蕾. 高功率因数 PWM 变流器仿真研究[J]. 贵州工业大学学报,2002,31(3):15-19.

[5]周有为,刘和平. 基于 TMS320F2812 的 SVPWM 的研究[J]. 电气传动,2005(2):43-46.

[6]李燕. 基于 DSP 的无速度传感器新型算法变频调速系统的研究[D]. 南宁:广西大学,2004.

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

[8]朱伟,马履中,谢俊. 用于磁流变减振的 PWM 控制器设计及实验分析[J]. 仪器仪表学报,2007,28(8):1405-1410.

[9]胡玉祥,田红芳. 一种基于 DSP 的 SPWM 波形生成新方法[J]. 仪器仪表学报,2006,27(9):1090-1095.

[10]岳建梅,李霁野. 基于 DSP 硬件平台语音滤波系统的快速实现[J]. 电子测量技术,2006,29(2):66-68.