

基于 DSP 变频器的 SPWM 控制算法

The arithmetic of the SPWM of transducer with SPWM control based on the DSP

(湖南铁道职业技术学院)陈湘令 张莹
CHEN XIANGLING ZHANG YING

摘要:在本文中提出一种基于数字信号处理器(DSP)的变频器,利用 SPWM 控制技术,实现变频器的三相交流电压输出。本文的重点是 SPWM 控制的算法。

关键词:变频器;DSP;SPWM

中图分类号:TP301.4 文献标识码:B

Abstract:In this design, we will present a kind of transducer based on the DSP, which uses SPWM control to realize the three phases AC voltage output. The importance of this paper are the arithmetic of the SPWM control.

Key words:Transducer,DSP,SPWM

技
术
创
新

1 引言

在变频器的控制中引入 DSP 等 32 位微型计算机,不仅在于能大大缩小变频器的体积,更重要的是能利用 DSP 的诸多优点来实现变频器控制的全数字实现。本文拟采用 TI 公司的 TMS320F240 DSP 来完成变频器的 SPWM 变频控制,此变频器的变频范围为 1-500Hz;额定频率为 50Hz;额定三相交流输出线电压为 380V(额定相电压为 220V)。

2 不可控整流 SPWM 调压调频方式

不可控整流器整流,脉冲宽度调节型(SPWM)逆变器同时实现调压调频方式,主电路结构图如图 1 所示。整流侧采用二极管整流,输入功率因数提高。输出侧采用桥式电路,使用智能功率模块(IPM),门极触发信号来自 DSP 的控制模块,按 SPWM 控制规律分配给 6 个 IGBT 管,来实现三相交流的输出。高开关频率的逆变器(IGBT)模块,使输出谐波成分很少。此电路中,对 6 个 IGBT 管的门极的 SPWM 控制是控制的关键所在。

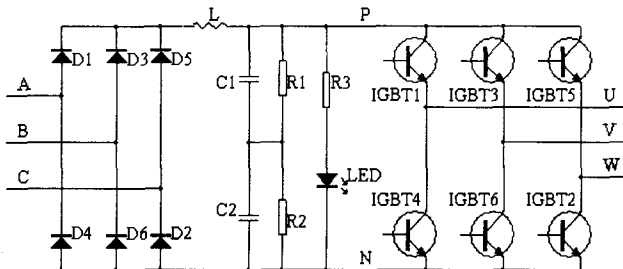


图 1 主电路结构图

3 基于 DSP 的 SPWM 波算法

此变频器的系统结构示意图如下图 2 所示。

其中,三角载波可以由 TI 公司的 TMS320F240 的内部计数器

(T1)生成,此芯片是 TI 公司专门为电机的智能控制而设计的。TMS320F240 内含 ROM 和 RAM,不需要另外扩展外部存储器;内含 10 位 16 路 A/D 转换器,可直接用来采集输出电压信号和电压频率给定信号,大大降低了控制系统的结构;TMS320F240 芯片内有三个 16 位计数器,一个全比较模块,一个简单比较模块,片上集成了 PWM 生成电路,可以比较简单地生成 6 路 PWM 波用来驱动 IPM 模块。TMS320F240 芯片使用的晶振频率为 10MHz,所以其 CPU 主频有 20MHz,CPU 周期为 50ns,能快速完成大量计算。计数器 T1 工作在连续加/减模式,计数周期 T1PR 为三角载波周期的一半。正弦调制波可以由 (TMS320F240)内部存储器预先存储的一个幅值为 1 的离散正弦波。正弦波的幅值(即调制比 M)根据实际需要改变,正弦波的周期通过给定频率计算出并存储在 TMS320F240 的内部计数器 T2 之中。SPWM 波可以由 (TMS320F240)的事件管理器模块的全比较单元产生的。SPWM 波的生成采用随时算法。即事先在 ROM 中存储一个幅值为 1 的基准正弦波,运行时根据需要对正弦波的频率和幅值加以调整。现就随时算法来生成 SPWM 波。

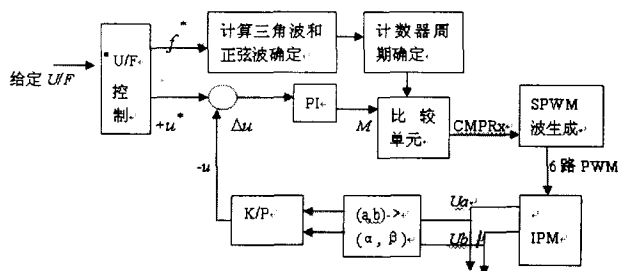


图 2 变频器的系统结构示意图

由于 DSP 内部的信号都是离散的数字信号,对称规则采样法是指经过采样的正弦波(实际上是正弦波的等效阶梯波)与三角波相交,由交点决定脉冲宽度的一种方法。由于等效阶梯波可在一个采样周期内维持恒值,从而解决了交点的数学计算问题,故能适应于微机的软件计算。在图 3 中,需在三角载波的顶点(也可在三角波的底点)处对正弦调制波采样形成等效阶梯波,等效阶梯波再与三角载波相交确定出脉冲宽度,脉冲在一个采样

陈湘令:讲师 工程师

周期内位置是对称的。在时刻 C 时对应的正弦波作一水平直线与三角波交于两点,在交点处形成等效的矩形波,正弦值大于三角波值时矩形波取高,否则矩形波取低。在利用 DSP 芯片内部的全比较单元生成 SPWM 波时,三角波是由计数器 T1 产生,那么控制的关键是对存入比较单元的时间 T1 的计算。其中正弦波的表达式为 $U_r \sin(\omega t)$,三角载波的幅值为 U_t ,周期为 T_t 。

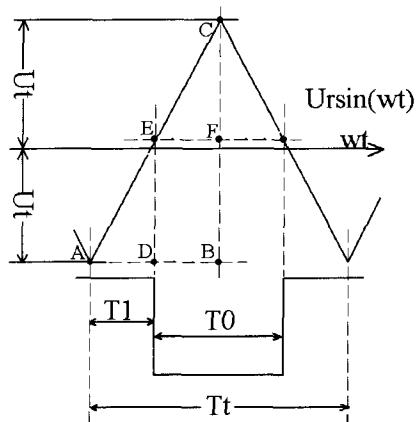


图3 对称规则采样法

根据三角形面积相似原理有: $\frac{DE}{AD} = \frac{CB}{AB}$ (1)

$$\frac{U_r \sin(\alpha t) + U_t}{T1} = \frac{2U_t}{\frac{1}{2}T_t} = \frac{4U_t}{T_t} \quad (2)$$

故可得到时间 T1 为: $T1 = \frac{T_t}{4} [\frac{U_r}{U_t} \sin(\alpha t) + 1]$ (3)

则脉冲关断时间 T0 为: $T0 = T_t - 2T1 = \frac{T_t}{2} [1 - \frac{U_r}{U_t} \sin(\alpha t)]$ (4)

其中取三角波的幅值为 1,调制比: $M = \frac{U_r}{U_t}$ (5)

则有 SPWM 波的占空比: $\alpha = 2T1/T_t = [M \sin(\alpha t) + 1]/2 \in [0,1]$ (6)

由于正弦波在 DSP 内是离散的,有:

$$M \sin(\alpha t) = M \sin(\frac{360^\circ}{N} kt) = M \sin(kt) \quad (7)$$

其中 N/t 为载波比,取 N 值为 360。K 为采样次序, $K=0,1,2 \dots N/K-1$ 。所以上式变为:

$$T1 = \frac{T_t}{4} [M \sin(kt) + 1] \quad (8)$$

而载波频率 F_c 与调制信号频率 F_r 之比称为载波比: $N/t = F_c/F_r$ (9)

采用分段同步调制方式时,在输出频率较低时取较大的 N/t 值,以使载波频率不致过低而产生大量谐波分量;在输出频率较高时取较小的 N/t 值以使载波频率不致过高,限制在功率开关元件允许范围内。各频率段内的载波比 N/t 取值及频率分段如下表所示。

频率分段与载波比取值

频率 F(Hz)	载波比 N/t	频率 F(Hz)	载波比 N/t
1-20Hz	180	100-200Hz	45
20-50Hz	90	200-500Hz	36
50-100Hz	60		

4 VVVF 控制的实现

通过 TMS320F240 采样获取所需频率和电压,实现变频器的

VVVF 控制。电压和频率的关系如图 4 所示。

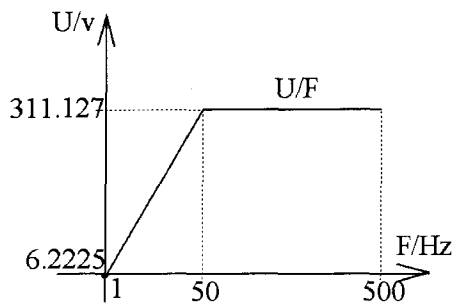


图4 电压频率关系图

其中电压和频率满足以下关系:

$$\frac{uref}{fref} = \frac{220 * \sqrt{2}}{50} = 4.4 * \sqrt{2} = 6.2225 \quad (10)$$

其中 $uref$ ——三相输出交流相电压的给定峰值, $fref$ ——三相输出的给定频率。

当频率 $fref$ 小于等于 50Hz 时电压和频率保持同步变化,而当频率取值大于 50Hz 时则输出电压相取值为 220V 不变。所以对频率和电压的开始取值 $fref$ 分别为 1Hz 和 6.2225V。采样 U_f 取值为 0-5V,即 U_f 的取值为 0V 时对应给定频率取值为 1Hz, U_f 取值为 5V 时对应给定频率 $fref$ 取值为 500Hz。这样,频率的表达式为:

$$fref = 1 + \frac{500-1}{5-0} uf = 1 + 99.8uf \quad (11)$$

电压给定值 $uref$ 的表达式为:

$$uref = 6.2225 fref = 6.2225 + 621.0055uf \quad (12)$$

变频器的频率控制采用开环控制,所以 TMS320F240 的频率采样 $fref$ 直接作为三相交流输出的频率,并由此值计算出正弦调制波和三角载波的周期。变频器三相输出的电压大小取决于调制比 M 的取值大小,而对 M 的取值实际 PI 调节,所以变频器的电压控制为闭环控制。设变频器输出电压的峰值为 U,则有电压误差:

$$\Delta U = Uref - U \quad (13)$$

当电压误差 ΔU 大于零时,则增大调制比 M 值;当电压误差 ΔU 小于零时,则减小调制比 M 值;当电压误差 ΔU 等于零时,则调制比 M 值不变。而在 TMS320F240 DSP 内部则表现为计算出正确的计数器周期和全比较单元的比较寄存器值。计数周期可由给定频率直接确定;而比较寄存器值则必须在电压闭环调节确定调制比的基础上,结合计数器周期来确定。

5 电压闭环控制

由于输出电压的大小正比于调制比 M,当调制比 M 为 0 时,输出电压为 0V;当调制比 M 为 1 时,输出电压达到最大值。电压的 PI 调节系统图如图 5 所示。

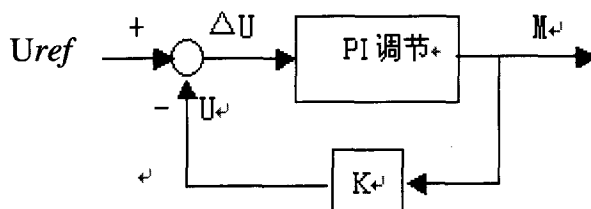


图5 电压 PI 调节系统图

首先应取得实际三相电压输出的幅值。由(a,b,c)→(α,β)变换获取,三相和二相坐标关系如图6所示,α轴与电压U_a轴重合,β轴逆时针方向绕α轴旋转90度,则电压U_a,U_b,U_c与电压U_α,U_β满足如下所示的关系:

$$\begin{cases} U_{\alpha} = \frac{2}{3}(U_a - \frac{1}{2}U_b - \frac{1}{2}U_c) \\ U_{\beta} = \frac{2}{3}(\frac{\sqrt{3}}{2}U_b - \frac{\sqrt{3}}{2}U_c) \end{cases} \quad (14)$$

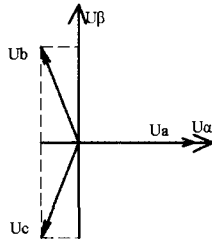


图6 三相两相变换图

为了减少DSP采样时间和简化变换,将上式进行简单的变换,把下式

$$U_c = -(U_a + U_b) \quad (15)$$

代入式(14)中去,则式(14)可以简化为如下所示:

$$\begin{cases} U_{\alpha} = U_a \\ U_{\beta} = (2U_b + U_a) / \sqrt{3} \end{cases} \quad (16)$$

式(14)中电压U_a,U_b为三相输出的A,B两相电压,可由霍尔元件直接采样获得;电压U_α,U_β为三相电压在静止坐标系α轴和β轴上的分量。经变换得到电压U_α,U_β后,计算正切值并查反正切值表求角度,进而求出三相交流输出的幅值,公式如下所示:

$$\begin{cases} \lg \theta = \frac{|U_{\beta}|}{|U_{\alpha}|} \\ |U| = \frac{|U_{\beta}|}{\sin \theta} \end{cases} \quad (17)$$

最终求得电压的变化:ΔU = U_{ref} - U 据此来调节调制比M的值。

本文作者创新点:本文特别介绍利用TI公司TMS320F240的运算速度快,内含A/D转换模块和内置PWM波生成模块等功能,使低压变频器系统结构简单,控制方便。

参考文献:

- [1]廖晓钟,金英。一种改进的生成SPWM波形的等面积算法[J]。北京理工大学学报,2001,21(6):710-714。
- [2]李宏,焦振宏等。SPWM波形等面积动态递推算算法[J]。西北工业大学学报,2000,18(2):264-267。
- [3]毛晓波,赵文丽,黄俊杰段。微计算机信息 2005 年第二期 54-55 页《交流采样技术极其 DSP 实现方法》

作者介绍:陈湘令,湖南铁道职业技术学院电气系讲师、工程师;张莹 湖南铁道职业技术学院电气系 副教授。

Biography: chenxiangling, Lecturer, Engineer, Electrical engineering department of Hunan railroad professional technology institute; zhangying, professor, Electrical engineering department of Hunan railroad professional technology institute.

(412001 湖南 湖南铁道职业技术学院)陈湘令 张莹

通讯地址:(412001 湖南 湖南株洲湖南铁道职业技术学院电气工程系)陈湘令

(收稿日期:2007.1.12)(修稿日期:2007.2.15)

(上接第182页)

要求把显示在LED显示器上的两个数字(显示缓冲为41H和40H)保护到EEPROM内。它首先用写指令WRITE把数据写入SRAM,再利用存储指令STO把数据存入EEPROM。

```

保护:  MOV A, #WREN ;WREN为指令码 84H
        MOV R4, A
        SETB CE
        ACALL OUTBYT ;设置写允许
        CLR CE
        MOV A, 40H
        MOV R0, A ;低字节
        MOV A, 41H
        MOV R1, A ;高字节
        MOV R2, #1
        ACALL WRWORD ;写入 SRAM 的地址 1
        MOV A, #STO ;STO 为指令码 81H
        MOV R4, A
        SETB CE
        ACALL OUTBYT ;存入 EEPROM
        CLR CE
        AJMP MAIN3 ;返回主程序

```

4 结束语

X线胶片引字机已成功地利用X24C45芯片的特性实现了对重要数据的掉电保护。非易失性存储器芯片的数据保护功能可广泛地用于消费类电子产品、仪器和仪表及工业控制设备等领域。随着半导体技术的发展,出现了不同容量、不同类型的具有掉电保护功能的非易失性存储器[5],读者可以根据要保护的数据量和芯片的性价比等因素,合理选用。

本文创新之处在于:(1),选择性价比高、且有“自动存储”功能的存储芯片用于医学仪器,使仪器在正常时能高速存取数据,在掉电时能保护数据。(2),用状态图说明工作原理,一目了然。(3),硬、软件的有力措施保证了数据保护的可靠性。(4),提供的设计方法以及程序段经过实际应用,可供参考。

参考文献:

- [1]Intersil. X24C45 Data Sheet. FN8104.0. June 1,2005.
- [2]Intersil. X24C45 Application Note. AN56.0. April 27,2005.
- [3]Intersil. X24C45 Application Note. AN35.0. May 5,2005.
- [4]中国电子技术信息网。非易失存储器X24c45的使用技巧。2002.10.
- [5]刘德赞等。非易失性铁电存储器芯片FM1808原理及其应用[J]微计算机信息 2005.1

作者简介:茅力群,男,1968年生,汉族,副教授,博士,研究方向:信息处理和微机应用。

Biography: Mao, Liqun, male, 1968, Han nationality, associate professor, doctor, major in: information processing and computer application technology.

(310035 杭州 浙江工商大学信息与电子工程学院)茅力群
(Department of Information & Electronic Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China)

Mao, Liqun

通讯地址:(310012 浙江杭州翠苑一区53幢-3-602号)茅力群

(收稿日期:2007.1.12)(修稿日期:2007.2.15)