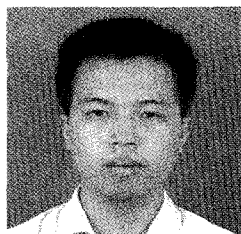


基于 DSP 的纺织横机变频器设计

设计了以 TMS320LF2401A DSP 为控制核心的变频器，以满足全自动计算机纺织横机控制系统对电动机运行状态快速、平滑切换的要求。详细介绍了硬件设计以及 SPWM 调制和电流连续切换算法流程。实际运行结果表明，该设计能满足全自动纺织横机对变频器的要求。

张祖勋 王志强/华南理工大学电力学院雅达电源实验室

随着我国针织行业的快速发展，为了提高针织品的质量和生产效率，减轻工人的劳动强度，一般的普通横机已经不能满足生产需要，必须采用计算机自动横机进行生产。自动横机的电动机在工作过程中需要频繁地切换转向和转速，切换的过程既要快速，又要尽可能地减少冲击，否则就会造成断线、断针，严重影响产品质量。因此必须采用变频器来控制电动机。现在越来越多的变频器采用数字信号处理器（DSP）作为控制核心，本设计采用德州仪器公司 TMS320LF2401A DSP 作为控制核心。



张祖勋

硬件设计

1. 系统框架

变频器的整体结构如图 1 所示。单相交流电经二极管整流模块和滤波电容之后形成直流母线电压，逆变桥在 DSP 输出的 PWM 脉冲作用下，向电动机提供正弦电流。根据系统的容量和过载能力，逆变桥采用 6 个飞兆半导体公司型号为 G10N60 的 IGBT。

2. 控制芯片

TMS320LF2401A 是 TI 公司推出的一款基于 TMS320C2XX 内核的电动机控制点 DSP 芯片，其 CPU 时钟频率可达 40 MHz，内部集成了 8 K × 16 bit Flash

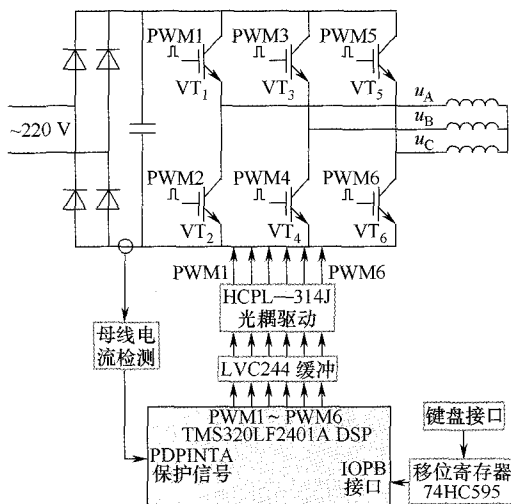


图 1 系统整体结构

ROM, 512 B SARAM, 544 B DARAM。该芯片还集成了适用于电动机控制的片内外设：①两个 16 B 通用定时器，1 个看门狗定时器。②7 通道 16 B PWM 发生器，1 个捕获单元。③可编程序死区时间控制器。④5 通道 10 位 A/D 转换器，最小转换时间为 500 ns。⑤13 个独立可编程序通用 I/O 端口（GPIO）。⑥串行通信接口（SCI）。

TMS320LF2401A 采用微型四方扁平封装（LQFP），引脚数仅为 32 个^[1]。由于引脚数的限制，常需要和移位寄存器配合使用，以扩展 I/O 端口，本设计使用 74HC595 移位寄存器来扩展键盘接口。

3. 驱动电路设计

逆变器的主电路和控制电路之间需要隔离，传统的隔离驱动常使用脉冲变压器。脉冲变压器的漏感很难消除，直接影响驱动脉冲的边沿陡峭程度，绕组的寄生参数会导致驱动脉冲产生振荡，不利于开关器件可靠工作^[2]。而光耦已越来越多地应用于隔离驱动电路中。安捷伦公司推出

关键词/Keywords
纺织横机变频器 ·
SPWM ·
DSP ·
电流连续切换算法 ·

了 HPCL 系列用于 IGBT 和 MOSFET 的光耦隔离驱动芯片, 该系列芯片的最大驱动电流可达 2 A, 直接驱动 IGBT 或者 MOSFET, 不需要信号放大电路, 从而大大简化了驱动电路的设计。本设计采用的驱动芯片为 HCPL-314J, 单个 HCPL-314J 可以驱动同一桥臂上、下两个开关管, 三相逆变电路共需要三个 HCPL-314J。HCPL-314J 的一个不足之处是驱动同一桥臂上下两个开关管时, 需要两个不共地的 +15 V 电源为其供电。如果采用自举浮充电路, 则只需要单个 +15 V 电源供电即可。HCPL-314J 的内部结构以及所构成的驱动电路如图 2 所示。

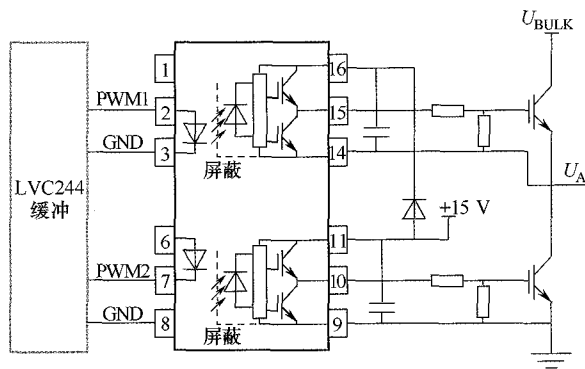


图 2 IGBT 驱动电路

软件设计

1. SPWM 原理

在 SPWM 的几种采样方法中, 规则采样可以大大简化计算, 提高系统的实时性。不对称规则采样法所产生的阶梯波比对称规则采样时更接近正弦波, 从减少谐波的角度考虑, 实际中常用不对称规则采样法^[3]。不对称规则采样法既在三角载波的定点位置又在底点位置对正弦波采样, 如图 3 所示。可见, 在一个三角波周期内形成的两个开通时间 t_{on1} 和 t_{on2} 是不相等的, 因此称为不对称规则采样。

由图 3 根据三角形相似可求出一个载波周期内器件的开通时间为

$$\begin{cases} t_{on1} = \frac{T_{carr}}{4}(1 + m \sin \omega t_1) \\ t_{on2} = \frac{T_{carr}}{4}(1 + m \sin \omega t_2) \end{cases} \quad (1)$$

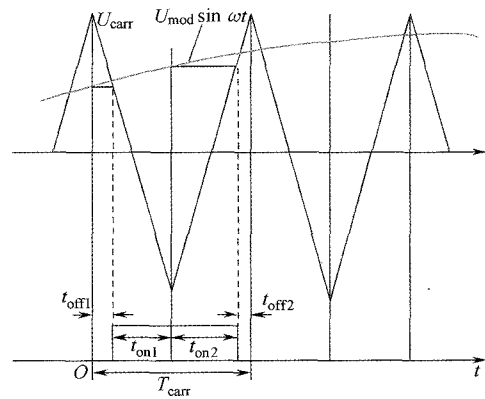


图 3 不对称规则采样原理

式中, m 为调制比。

每个载波周期采样两次, 所以

$$\begin{cases} t_1 = \frac{T_{carr}}{2}k \quad (k = 0, 2, 4, \dots, 2N-2) \\ t_2 = \frac{T_{carr}}{2}k \quad (k = 1, 3, 5, \dots, 2N-1) \end{cases} \quad (2)$$

式中, N 为载波比; k 为采样点。则

$$\begin{cases} t_{on1} = \frac{T_{carr}}{4} \left(1 + m \sin \frac{\pi k}{N} \right) \quad (k = 0, 2, 4, \dots, 2N-2) \\ t_{on2} = \frac{T_{carr}}{4} \left(1 + m \sin \frac{\pi k}{N} \right) \quad (k = 1, 3, 5, \dots, 2N-1) \end{cases} \quad (3)$$

三相 SPWM 波是由三条相位互差 120° 的正弦波与同一条三角载波相交接, 因此有

$$\begin{cases} t_{Aon1} = \frac{T_{carr}}{4} \left(1 + m \sin \frac{\pi k}{N} \right) \\ t_{Bon1} = \frac{T_{carr}}{4} \left[1 + m \sin \left(\frac{\pi k}{N} + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (k = 0, 2, 4, \dots, 2N-2) \\ t_{Con1} = \frac{T_{carr}}{4} \left[1 + m \sin \left(\frac{\pi k}{N} + \frac{4\pi}{3} \right) \right] \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} t_{Aon2} = \frac{T_{carr}}{4} \left(1 + m \sin \frac{\pi k}{N} \right) \\ t_{Bon2} = \frac{T_{carr}}{4} \left[1 + m \sin \left(\frac{\pi k}{N} + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (k = 1, 3, 5, \dots, 2N-1) \\ t_{Con2} = \frac{T_{carr}}{4} \left[1 + m \sin \left(\frac{\pi k}{N} + \frac{4\pi}{3} \right) \right] \end{cases} \quad (5)$$

由式 (4) 和式 (5) 可得每相开通时间为

$$\begin{cases} t_{Aon} = t_{Aon1} + t_{Aon2} \\ t_{Bon} = t_{Bon1} + t_{Bon2} \\ t_{Con} = t_{Con1} + t_{Con2} \end{cases} \quad (6)$$

2. 系统程序结构

主程序循环检测键盘的状态，根据键盘的输入状态设置电动机的运行频率和转向标志。主程序流程如图 4 所示。定时器溢出中断服务程序中，根据式 (4) ~ 式 (6) 分别计算出下一个开关周期的比较寄存器的比较值，其流程如图 5 所示。

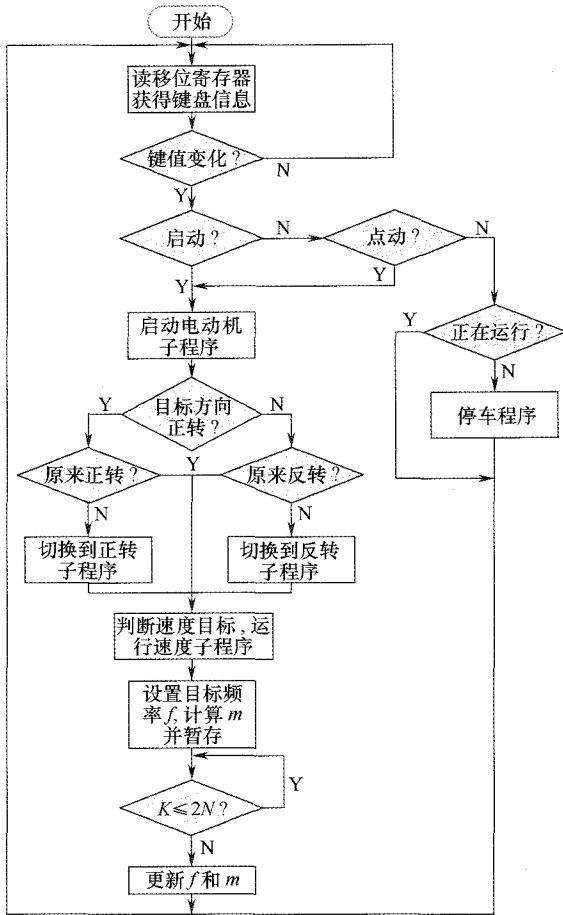


图 4 主程序流程图

3. 电流连续切换算法

为了实现速度切换时冲击尽可能小，应当在当前频率下电流波形刚好形成一个完整周期时切换到新的运行频率，切换过程冲击很大，电流波形如图 6 所示。电流波形达到一个完整周期，对应 SPWM 采样点 k 达到当前频率下的最大值 $k_{max} = 2N$ 。

实验结果

图 7 a 所示为 DSP 输出的 PWM 波，开关频率

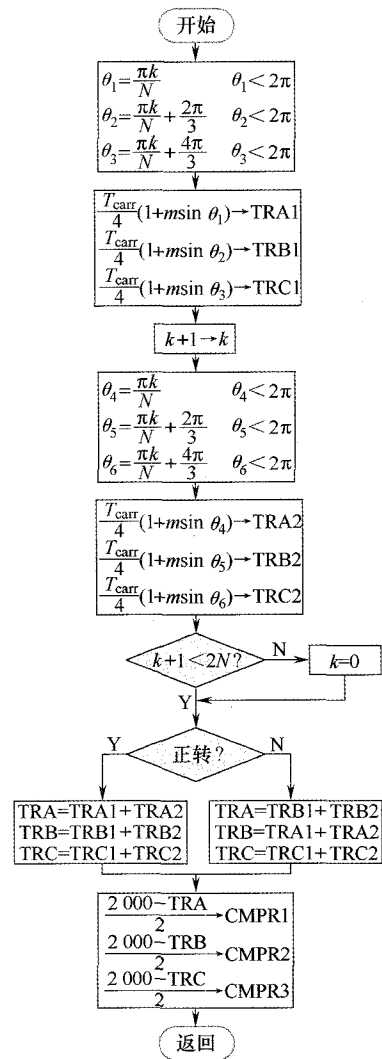


图 5 定时器溢出中断服务程序流程图

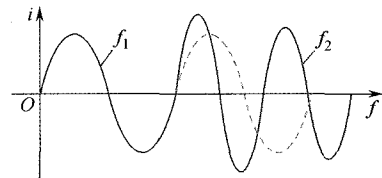
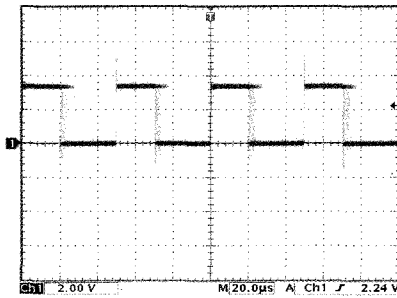


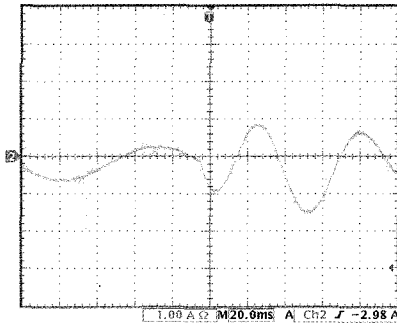
图 6 切换过程理想的电流波形

为 20 kHz，图 7 b 所示为速度切换时的 A 相电流波形。

实验结果表明所生成的 PWM 波频率稳定，不同速度之间切换时，变频器输出电流波形连续，电动机的转矩冲击很小。现场运行表明，该变频器能够满足全自动电脑横机控制系统对变频器的要求，已经应用于实际生产。



(a) DSP 输出的 PWM 波形



(b) 速度切换时的电流波形

图 7 速度切换时的波形

结束语

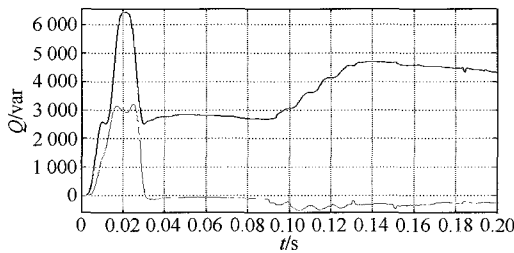
本文详细介绍了一种纺织横机变频器的设计方法，提出了电流连续切换算法流程。实验和现场运行的结果表明，采用该算法能够实现电动机转速快速平稳切换，完全满足全自动纺织横机控制系统对变频器的动态响应的要求。

参考文献

[1] 马德中, 金阳, 等. 一种高性能用于电机控制的嵌入式 DSP 芯片 TMS320LF2401A [J]. 电气传动, 2003 (4): 34-36.
 [2] 王凤岩, 等. 基于 TMS320F28XX + UCD8K + HCPL-315J 的两级逆变器 [J]. 国外电子元器件, 2007 (8): 21-24.
 [3] 王晓明, 王玲. 电动机的 DSP 控制—TI 公司 DSP 应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

(收稿日期: 2008-05-12) EA

(上接第 61 页)



(c) 滞环控制下 Q 变化波形

图 10 t=0.08 s 发生激励后的 Q 变化波形

为一个周期的时间。结论是滞环比较控制方式的动态响应能力要优于三角波控制方式。

结束语

(1) 电流直接控制中，滞环瞬时值比较控制方法算法简单、容易实现且输出波形中不含特定频率谐波。但跟踪误差比较大，整体容量增量一般^[6,7]。

(2) 与瞬时值比较方式相比，三角波比较控制方式具有输出电压所含谐波少、器件开关频率固定、抗扰动等优点，但也有输出含有特定频率谐波、电流响应慢等缺点。

参考文献

[1] 罗承廉, 纪勇, 刘遵义. 静止同步补偿器 (STATCOM) 的原理与实现 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
 [2] 王兆安, 杨君, 刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2005.
 [3] 孙晓娟, 高高, 敬伟. STATCOM 的系统仿真 [J]. 微计算机信息, 2005, 21 (10-1): 170-172.
 [4] 李可, 卓放, 李红雨, 等. 直接电流控制的静止无功发生器研究 [J]. 电力电子技术, 2003, 37 (3): 8-11.
 [5] 栗春, 姜齐荣, 王仲鸿. SVG 电压控制系统性能分析 [J]. 电机工程学报, 20 (8): 46-50.
 [6] 王充, 解大, 陈陈. 三种谐波和无功电流检算法的综合性能比较 [J]. 电力电容器, 2003 (3).
 [7] Watanabe E H, Stephan R M, Aredes M. New concepts of instantaneous active and reactive powers inelectrical systems with generic loads [J]. IEEE Transactions Power Delivery, 1993, 8 (2): 697-703.

(收稿日期: 2008-04-07) EA