

混合式步进电动机正弦波微步驱动设计

赵克, 高晗瓊, 李建超, 刘大为
(哈尔滨工业大学, 黑龙江哈尔滨 150001)

Design of Sine-wave Current Microstep Drive for Hybrid Stepping Motor

ZHAO Ke, GAO Han-ying, LI Jian-chao, LIU Da-wei
(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

摘要:介绍了基于单片机的三相混合式步进电动机系统。系统采用电流跟踪 PWM 方式使混合式步进电动机的各相绕组电流接近正弦波,从而在电机内部形成幅值基本不变的圆形磁场,既提高了混合式步进电动机的分辨率,又解决了低频振荡问题。

关键词:混合式步进电动机;微步驱动;单片机;死区

中图分类号: TM 383.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1004-7018(2006)02-0025-03

Abstract: A control system of three-phase hybrid stepping motor based on AT89C51 is introduced in this paper. With current-tracing PWM method, the current of three-phase windings was controlled to close sinusoidal wave, thus round magnetic field with approximate constant amplitude in the electrical machinery can be formed. By the sine-wave microstep method, resolution ratio of hybrid stepping motor can be improved and low-frequency vibration can be weakened synchronously.

Keywords: hybrid stepping motor; microstep drive; single-chip microcomputer; dead zone

1 引言

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成角位移或线位移的控制电机。混合式步进电动机开环运行时可以通过改变输入脉冲的频率实现调速,但由于步进电动机有低频振荡和失步等缺点,因此限制了其应用领域^[1]。本文通过采用正弦波微步控制技术设计了一种混合式步进电动机微步驱动器,从而提高了混合式步进电动机的分辨率,并有效地改善了它的低频运行特性。

2 混合式步进电动机正弦波驱动的工作原理

混合式步进电动机通常只有整步和半步两种工作方式,当要求更小的步进角和更高的分辨率时,可通过改变定子绕组电流来实现。绕组电流给定采用经量化处理后的正弦波并分段切入,将绕组电流给定与反馈进行比较,并根据比较结果决定该相绕组的通断,最终得到正弦化的定子绕组电流^[3]。

下面以三相混合式步进电动机为例说明正弦波微步驱动的工作原理。设三相绕组电流分别为

$$\left. \begin{aligned} i_a &= I_m \sin \omega t \\ i_b &= I_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ i_c &= I_m \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

以 i_a 为参考坐标,则合成的电流矢量 i 为

$$i = i_a + i_b + i_c = \frac{3}{2} I_m e^{-j\omega t} \quad (2)$$

这是一个以 $\frac{3}{2} I_m$ 为幅值、 $-\omega t$ 为幅角的逆时针旋转矢量。当按照式(1)对 A、B 和 C 相绕组电流进行控制,每当参数 ωt 发生变化时,则混合式步进电动机的转子将相应转过一个电角度。这样当电机运行时在每个电流阶梯给定的电流过冲减小,从而使转子的旋转过程更加细腻平滑。

3 混合式步进电动机正弦波微步驱动的实现

基于单片机的三相混合式步进电动机控制系统结构框图如图 1 所示,驱动器由正弦波阶梯电流给定、电流调节、逻辑合成以及功率驱动等环节组成。以下针对正弦波阶梯电流给定、电流调节等功能模块分别加以介绍。

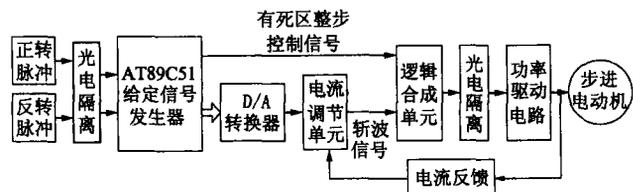


图 1 控制系统结构框图

3.1 正弦波阶梯电流给定的形成

电动机运行时所需的微步数将绕组电流给定分成若干台阶,由单片机数字量输出,经 8 位 D/A 转换器和运算放大器得到三相正弦波给定,给定电路如图 2 所示。

采用这种方法可以方便地得到整步信号和正弦阶梯波电流给定,但由于单片机顺序执行的特点不能保证三相正弦波给定的同步性。本系统利用了 DAC0832 的双缓冲特点,将数据锁存后统一输出。

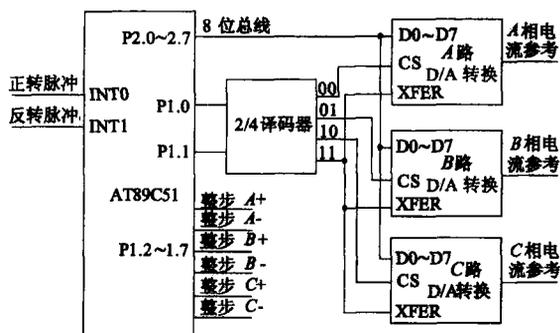


图 2 正弦波给定电路

这样就保证三相绕组电流给定的同步,从而避免了电机运行时因此产生的振荡。

在三相桥式电路中为避免同一桥臂上下开关管的直通必须设置足够的死区时间。根据本系统绕组正弦阶梯波给定的特点,在软件中设计了一种新颖的死区设置方法。将电流给定值为零的那一个台阶设定为上下管都关断的死区,即在六个功率开关管的整步信号中去掉电流给定值为零的那一个台阶。在不同频率下的 A 相整步信号 A+和正弦阶梯波给定如图 3 所示,在不同频率下 A 相整步信号 A+和 A-如图 4 所示。

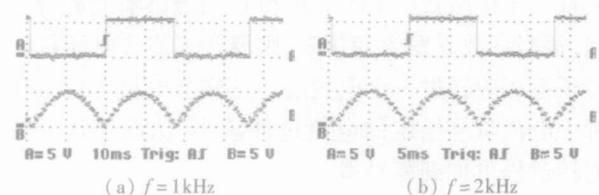


图 3 不同频率下 A 相整步信号 A+ 和正弦波电流给定

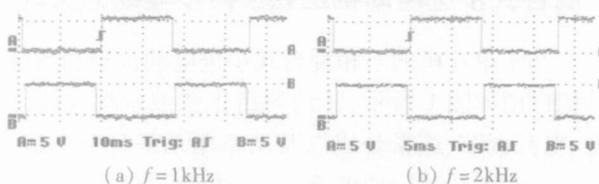


图 4 不同频率下 A 相整步信号 A+ 和 A-

3.2 电流调节单元

绕组电流控制采用专用脉宽调制芯片 TL494 实现。当 4 脚外加低于 -0.3V 电压时该芯片的占空比可达到 100%。该芯片内部误差放大器将电流给定与电流反馈进行比较,经过电流 PI 调节后输出 PWM 信号。将该信号与经过死区处理后的整步信号进行逻辑处理,然后进行功率放大。图 5 为 A 相绕组的电流 PI 调节单元,其中由 R_{19} 、 C_{11} 确定斩波频率为 20 kHz。将由电流霍尔传感器得到的电流反馈 I_a 经精密全波整流和低通滤波后连接至误差放大器 +N1 端,电流给定 REFA 接 -N1 端。当电流反馈大于电流给定时,经过电流 PI 调节后 8 脚和 11 脚输出的占空比增大,经 IC7B 取反后占空比减小,整步信号与此控制信号相与后取反,即占空比增大,并最终使绕组电流减小;反之当电流反馈小于电

流给定时,通过电流 PI 调节将使绕组电流增大。

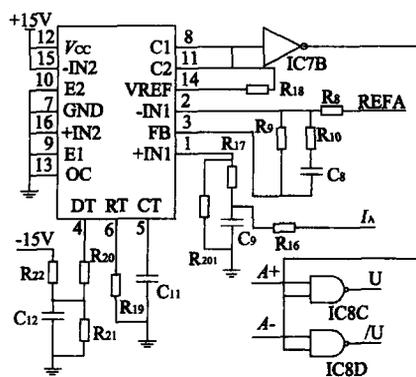


图 5 电流 PI 调节电路

4 系统的软件设计

系统软件包括主程序和中断子程序两部分。主程序采用查询方式对电动机的转速进行显示;子程序采用外部中断 INT0 和 INT1 对正转脉冲和反转脉冲进行计数,同时利用 P1.0 和 P1.1 和 2/4 译码器 74LS139 发出选通信号。当 P1.0 和 P1.1 分别为 (0,0)、(0,1) 和 (1,0) 时,可以作为三片 DAC 的一级选通信号;当 P1.0 和 P1.1 为 (1,1) 时发出三片 D/A 转换器二级选通信号,同时输出六路整步信号。通过采用这种处理方式保证了三相控制信号的同步。系统的中断子程序流程图如图 6 所示。

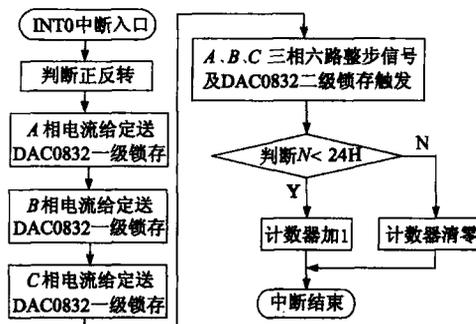


图 6 中断子程序流程图

5 实验研究

本系统采用三相混合式步进电动机 110BYG 350A 进行了实验研究,电机参数为:额定电流 2.4 A、转子 50 齿、输出转矩 $8\text{N}\cdot\text{m}$ 。采用单片机 AT89C51 和 TL494 为核心控制芯片对三相混合式步进电动机进行电流控制,采用直流电压为 80 V,实现六细分控制。图 7 为在不同频率下一相绕组电流给定与电流反馈,其中 A 路为电流给定, B 路为电流反馈;图 8 为在不同频率下 A、B 相绕组电流反馈;图 9 为在不同频率下 A、C 相绕组电流反馈。由实验结果可见,混合式步进电动机绕组电流按给定正弦阶梯波电流进行斩波,系统具有较好的电流跟随特性。

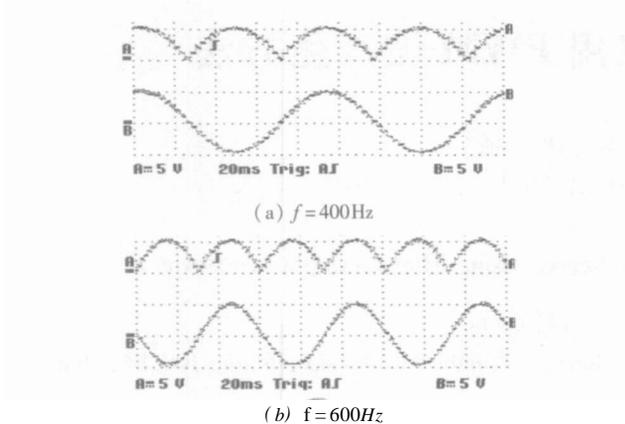


图 7 不同频率下正弦梯电流给定与电流反馈

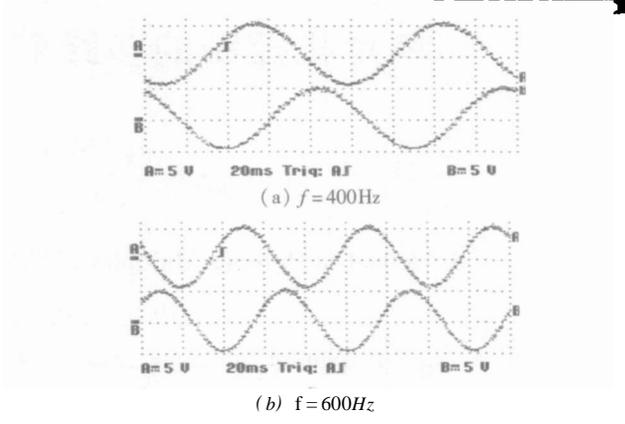


图 9 不同频率下 A、C相绕组电流反馈

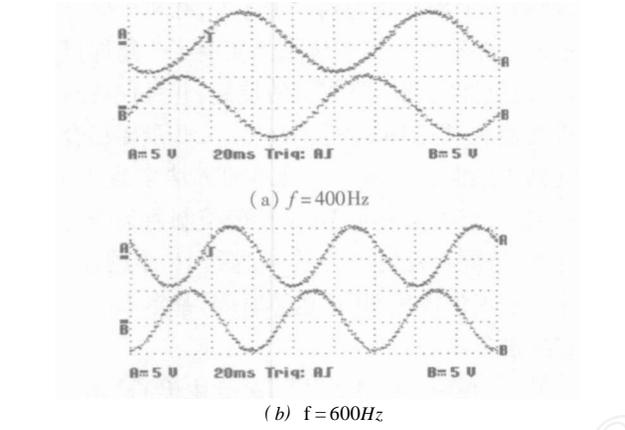


图 8 不同频率下 A、B相绕组电流反馈

参考文献

- [1] 李铁才,杜坤梅. 电动机控制技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社. 2002: 56 ~ 57
- [2] 刘宝廷,程树康. 步进电动机及其驱动控制系统 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社. 1997: 159 ~ 167
- [3] 林波,李兴根. 混合式步进电机 SPWM 微步驱动技术的研究 [J]. 微电机, 2000, 33(3): 16 ~ 20

作者简介:赵克(1973-),男,博士研究生,从事电力电子和电机控制方面的研究。

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:
有价值,请圈 15;没有价值,请圈 16。

(上接第 24 页)块, *Teta Calculation* 模块为转子磁场位置计算模块, *I_q Calculation* 模块为定子电流 *q* 轴分量给定计算模块, *abc - dq* 为坐标变换模块。

仿真的结果可以通过示波器清楚地反映各量的变化,也可将数据实时地存入文件或工作空间以便作具体分析。在 *MATLAB* 环境下进行的仿真结果如图 10 和图 11 所示。

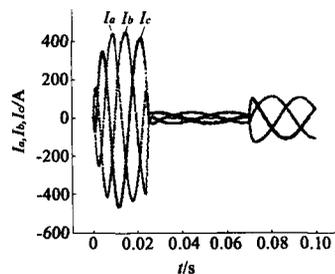


图 10 三相定子电流仿真波形

电机参数为: $P_N = 30 \text{ kW}$, $J = 0.162 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $p = 2$, $n = 1460 \text{ r/m in}$, $R_s = 0.087$, $R_r = 0.25$, $L_s = L_r = 35.5 \text{ mH}$, $L_m = 34.7 \text{ mH}$ 。在 0.07s 时突加 $200 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的负载,图 10 为电机定子

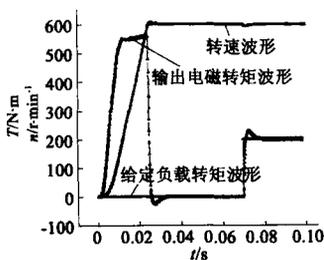


图 11 转速、负载转矩、输出电磁转矩仿真波形

三相电流波形,图 11 为转速、负载转矩给定、输出电磁转矩波形。

5 结 语

本文根据 *SVPM* 原理,采用基于 *SVPM* 控制技术,应用 *Matlab/Simulink* 仿真软件,建立的 *SVPM* 交流调速系统的仿真模型,提出的基于单神经元的速度调节器和负载转矩补偿在 *MATLAB 6.1* 下的仿真结果表明,设计的仿真模型是正确的,系统具有良好的鲁棒性和快速性,对电机参数变化不敏感,有效地提高了控制效果和系统性能。

参考文献

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 北京:机械工业出版社, 1999
- [2] 华风雷. 基于 *Matlab/Simulink* 语言的交流调速系统仿真 [J]. 包头钢铁学院学报, 1998, (1): 88 ~ 92
- [3] 薛定守. 反馈控制系统设计与分析 - *MATLAB* 语言应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000
- [4] 张燕实. *SPWM* 变频应用技术 [M]. 北京:科学出版社, 1999
- [5] Green A W BE, Boys J T. Hysteresis current Forced Three phase Voltage Sourced Reversible Rectifier [J]. *IEEE Trans Ins Appl*, 1989, 36(3): 113 ~ 120

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:
有价值,请圈 13;没有价值,请圈 14。

混合式步进电动机正弦波微步驱动设计