

数控 XY 平面的双步进机正弦波细分驱动集成系统

胡金高

(福州大学电气工程与自动化学院, 福建 福州 350002)

摘要: 介绍一个集成了双三相混合式步进电动机驱动系统. 该系统采用正弦波细分的驱动方式, 通过在电机内形成一个幅值基本不变的圆形旋转磁场, 不但可以改善平面运动轨迹, 还可使平面的 X、Y 双轴易于同步和协调.

关键词: 步进机; 正弦波细分; SPWM; 单片机

中图分类号: TP215

文献标识码: A

SIN - subdivide driving system for double three - phase hybrid stepping motor

HU Jin - gao

(College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: The paper introduces an integrated dual - system with three - phase step motor driver. The system uses a micro - step breakdown of the sine wave - driven approach. Through the formation of a round rotation magnetic field which forms a constant torque in a motor, it can not only improve the flat trajectory, and also the XY plane biaxial can be easy to synchronize and coordinate.

Keywords: stepping motor; sine subdivide; SPWM; microprocessor control

步进电机是一种将电脉冲信号转换为角位移或直线运动的执行机构. 混合式步进电机兼有反应式和永磁式的优点^[1]. 步进电机的这种步距值不受各种干扰因素的影响、误差不积累、控制性能好等优点使其广泛应用于工业数控平面的 XY 定位运动系统中. 但是, 步进电机由于其本身结构的限制, 步距角不可能做得很小, 输出转矩存在明显波动, 电机振动、噪音十分明显, 这些缺陷都严重影响了步进电机在性能要求较高的精密控制系统中的应用. 采用细分驱动技术可以大大地改善步进电机的运行品质, 减少转矩波动, 抑制振荡, 降低噪音, 提高步距分辨率.

1 正弦波细分驱动的应用

从应用的角度来看, 严重制约步进电机的两个问题是失步和振荡. 由于步进电机在大多数情况下采用开环运行的方式, 它的主要运行性能完全依赖于驱动器、负载和电机本身. 有多种情况会产生失步, 比如起动或停止频率超过突跳频率、电机高速运行的脉冲频率超过了最大运行频率、所带负载转矩超过了起动转矩以及共振等. 通过改善驱动器的性能, 可以减小运行中失步的可能. 步进电机的低频振荡是另一个需要解决的问题. 步进电机在极低频率下做连续步进运行, 即每改变一次通电状态, 转子转过一个步距角. 如果阻尼较小, 这种运动是一个衰减的振荡过程, 转子是按自由振荡频率振荡几次才衰减到新的平衡位置而停止下来. 每来一个脉冲, 转子都从新的转矩曲线的跃中获得一次能量的补充, 这种能量越大, 振荡越厉害. 当脉冲频率等于或者接近于电机的自由振荡频率时电机会出现严重的机构振动, 甚至失步导致无法工作, 这就是步进电机的低频共振现象. 从驱动器的方面来看, 使用细分驱动技术可以有效的克服低频共振的危害. 步进电机的细分控制方法, 是通过控制步进电机各相绕组中的电流, 使其按一定的规律阶梯上升或下降, 即每次只改变绕组电流的一部分, 从而获得从零到最大相电流的多个稳定的中间电

收稿日期: 2008 - 06 - 13

作者简介: 胡金高 (1962 -), 男, 副教授.

基金项目: 福州大学科技发展基金资助项目 (2006 - XQ - 03)

流状态;相应的磁场矢量也就存在多个中间状态,这样合成磁场也将有多个稳定的中间状态,转子就沿着这些中间状态以几乎连续的微步距转动,并且合成磁场矢量的幅值就决定了转距的大小,相邻两条合成磁场矢量的夹角决定了微步距的大小.

为了使电流矢量实现幅值恒定的旋转运动,需要在各相绕组中通以正弦电流.以三相混合式步进电动机为例,三相绕组 A、B、C在空间相差 120°(假设绕组 A、B、C按逆时针相差 120°),电流相位也相差 120°.设各相电流为:

$$i_a = I_m \sin \omega t, \quad i_b = I_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad i_c = I_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

合成电流矢量为 (以 i_a 为参考):

$$\vec{I} = \vec{i}_a + \vec{i}_b + \vec{i}_c = \frac{3I_m}{2} e^{j\omega t}$$

可见当各相绕组通以正弦电流时,电流矢量可实现幅值恒定的旋转运动,使步进电机的恒转矩微步运行.

2 平面 XY 双驱动集成

采用两个步进电机集成于一个驱动器内,既部分地节省了主电路和控制电路,又使双轴 XY之间可以同步协调地运行.在平面运动中,X和Y经常会出现不同长度的移动,(如水平走,垂直走等),而为防止失步,通常步进电机电流往往偏大,为减少电机低效的发热,采用运动全流,而停止半流的策略,这样一来可减少步进电机长期运行的发热与老化.通常运动停止延时 5~20 ms后,自动地进入半流(见实验波形),这样 XY合在一起,可以通过控制使 X及 Y沿运动较长的轴来自动半流切换,以抑制较短程轴定位过程中因抖动引起的定位偏差.其系统框图如图 1所示.

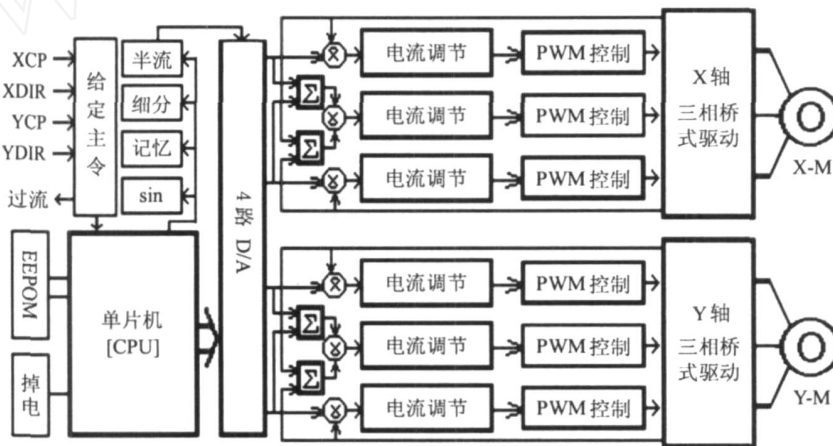


图 1 系统结构总框图

Fig 1 Structure of the driver system

3 控制系统的实现

本系统提出的正弦波细分驱动系统主要由三相桥主回路、细分波形发生环节、电流跟踪驱动环节以及相位锁存、保护等其他辅助功能部分构成.

3.1 逆变供电主电路

供电采用集中的直流母线,相对于 H 逆变桥绕组驱动,使用三相逆变桥电路可以较少一半的功率器件.输出端的控制逻辑由给定的正弦电流信号与实测的步进电动机电流信号相比较的差值决定.若实际电流值大于给定值,则通过相应功率开关器件的动作使之减少;反之则使之增加.这样,实际输出电流将基本按照给定的正弦波电流变化.由于三相电流的平衡关系,因此仅对 A、C两相进行电流跟踪控制,而 B相给定与反馈均由对 A、C两相运算得到,通过调节器设计也平衡三相步进机的中点电位(图 2)^[3].

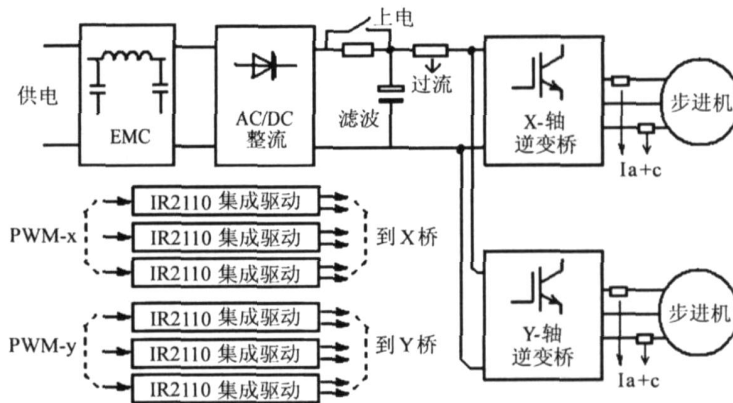


图 2 系统逆变主电器

Fig 2 Supply circuit of system

3.2 细分正弦波的产生

首先对一个周期的正弦波进行 200 步以上的角度均分，算出正弦值并进行二进制量化处理，并把细分正弦波量化数值存入相应的控制存储空间，中心控制器根据脉冲输入，查表确定相应步进的正弦波数值并输出，再经模数转换得到相应角度的正弦波，即步进电机相电流给定波形。

3.3 电流跟踪驱动环节

步进电机绕组电流采用电流跟踪控制方式。电流跟踪驱动控制环节包括电流检测反馈、比较、调制、整形、防上下桥臂直通的互锁、功率驱动等部分。三相桥主电路的每个桥臂用一片国际整流器公司的驱动芯片 IR2110 驱动。IR2110 是利用一种自举技术由固定的电源得到悬浮电源的高电压、快速的功率 MOSFET 和 IGBT 驱动芯片，有两个独立的输入输出通道且有防桥臂直通的互锁功能，使得主电路工作更为可靠^[2]。

步进电机绕组实际电流的检测要求是：运行时高低频正弦波电流，停止时通常要有停止位角度定位的半流功能，即直流电流，显然选用磁平衡 LEM 传感器是通常的选择，但 LEM 通常体积大、价格贵，本文选用了带过流检测的隔离放大器 HCPL - 788J，见图 3。其价格低廉，体积小小到贴片封装 SO - 16 脚，而精度可达 0.4% 以下，实验证明可很好的满足了这个系统的稳态精度与动态品质需求。

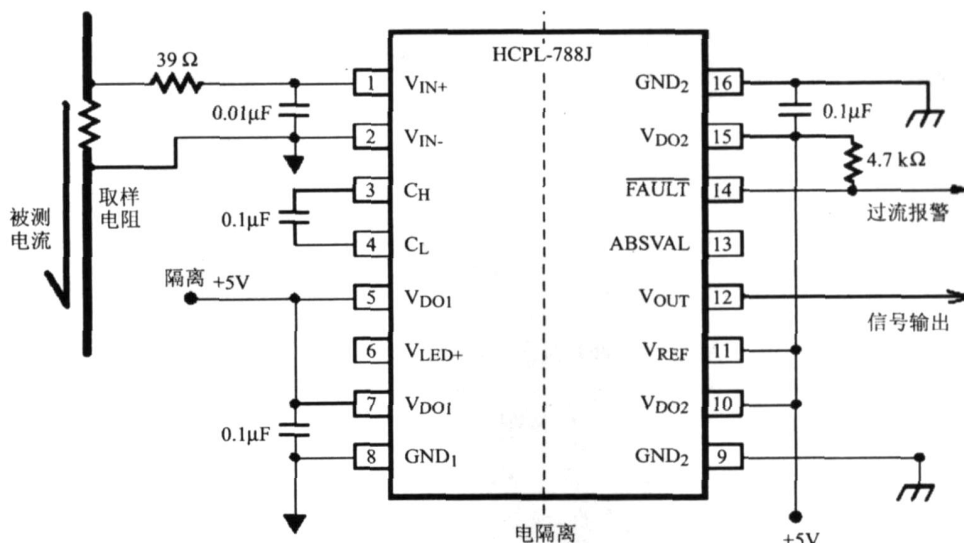


图 3 集成相电流检测电路

Fig 3 Detection on phase current

3.4 停止位半流锁定

如前所述,为防止步进电机开环定位运动的失步问题,通常电机的电流(相应转矩)留有足够的余量,显然一直通过高的电流会使电机严重发热而影响绕组绝缘,轴承损坏等,驱动器在 5~20ms内未接收到 XY任何步进脉冲,就自动进入半流状态. XY一体化,可综合控制,以抑制较短程轴定位过程中因抖动引起的定位偏差,使之定位更可靠.

3.5 掉电停止位记忆

设计相位记忆环节,一是可保持上次的最后精密定位,二是避免驱动器掉电后再加电时因初始相位不一致引起的电机抖动. 当主控制单片机每接收到一个脉冲信号后,正弦波相位就需进行修正,并将相位输出锁存起来;掉电后再上电时,首先从锁存存储器中读出上次掉电前的相位值,输出控制使步进电机的相位不会产生突变,从而消除电机抖动并保持上次的精密定位位置.

4 实验结果

实践中,电机型号 110BYG3502,相数 3,步距角 0.6°;电压 220V,相电流 3A,最大静转矩 21 N·m,最后空载启动频率 1600Hz,运行最高频率 30kHz,转子转动惯量 15.8 kg·cm²,绕组电感 14.1mH.

该 XY平面双步进机正弦波细分驱动集成系统具有较好的三相正弦输出波形:图 4~图 7给出了实际不同工作状态下的电机电流波形. 试验运行表明,在低频、高频时也都具有良好的运行性能.

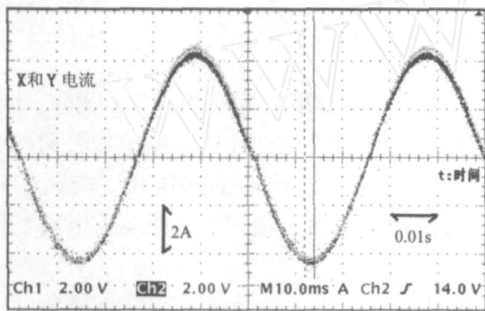


图 4 细分下的 XY 步进机双驱动电流.
Fig. 4 X and Y driver current on microstep

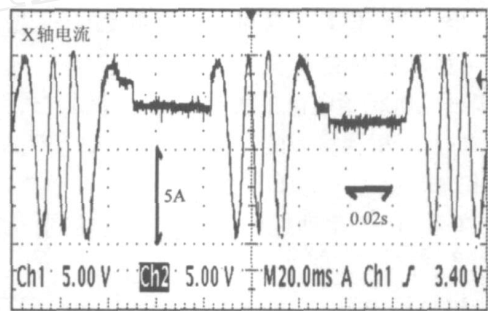


图 5 高速往复定位运动下的电机电流(含半流)
Fig. 5 Driver current on fast reciprocating motion

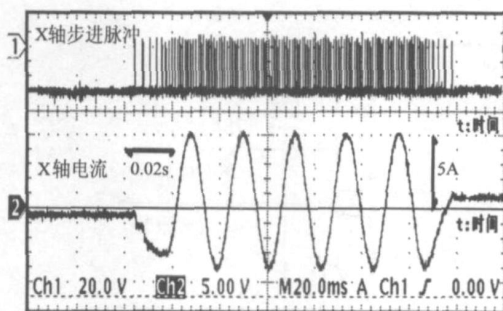


图 6 高速较长定位下的电机电流(含启停 S 升降曲线)
Fig. 6 Motor current on fast long point position

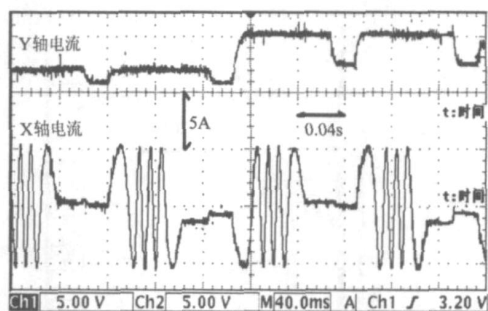


图 7 XY 不同定位长度下的自动半流配合
Fig. 7 Auto-half current control on X and Y variant position

参考文献:

- [1] 史敬灼. 步进电动机伺服控制技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 谭建成. 电机控制专用集成电路 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [3] 陈伯时, 陈敏逊. 交流调速系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

(责任编辑: 杨青)