

# 基于 CPLD 的步进电机细分复合控制器

李超彪 张赤斌 王兴松 田梦倩

东南大学, 南京, 210096

**摘要:**提出了一种新的实现方法, 利用 CPLD 将细分、恒流控制等功能集成在一片芯片中。给出了集远控解码、细分、BANG-BANG 恒流控制于一体的复合控制器实现方法。该方法大大简化了细分驱动电路的结构, 降低了成本, 同时也具有更大的灵活性。

**关键词:**细分; 步进电机; CPLD; 恒流控制

**中图分类号:** TM383.6

**文章编号:** 1004-132X (2005)18-1647-04

## CPLD Based Microstepping Complex Controller of Stepper Motors

Li Chaobiao Zhang Chibin Wang Xingsong Tian Mengqian

Southeast University, Nanjing, 210096

**Abstract:** A new method of integrating functions of microstepping and constant current control in one chip by using CPLD technology was introduced. The realization principles of the complex controller, which integrated the functions of remote decode, microstepping and Bang-Bang current controls, were presented. This approach greatly simplifies the realization of microstepping drive circuit. In addition, it is more cost-effective and more flexible.

**Key words:** microstepping; stepper motor; CPLD; constant current control

### 0 引言

步进电机主要优点是响应速度快、定位精度高、无累计位置误差、驱动线路简单、控制方法简单, 缺点是转动不够平稳, 运行时会发生振荡现象, 它将影响系统的正常稳定运行。目前步进电机的控制电路实现方法较多, 普遍认为最有效的解决方法是细分法。目前常用的细分方法是采用单片机实现或将细分参数存在 EEPROM 等存储器通过逻辑电路实现细分输出, 恒流控制用 DAC 与用专用 PWM 芯片共同实现。随着电子技术的发展, 尤其是硬件描述语言的出现, 解决了传统电路原理图设计系统工程的诸多不便, 目前已有将 CPLD/EPLD 用于步进电机细分控制器的尝试<sup>[1]</sup>。本文提出了一种采用 CPLD 实现细分及恒流控制的步进电机细分驱动电路, 为解决此类问题提供一个新思路。

### 1 细分原理

步进电机内合成磁场的幅值及两相邻合成磁场夹角决定了步进电机旋转力矩的大小及步距角的大小。通过对步进电机励磁绕组中电流加以控制, 使步进电机内部的合成磁场形成幅值不变、均匀的圆形旋转磁场, 便可实现步进电机恒力矩及步距角均匀细分控制。因此, 要实现步进电机恒

力矩细分控制必须通过合理控制步进电机内各项绕组中的励磁电流。对三相反应式步进电机实现均匀细分比较简便可行的方法是采用如图 1 所示波形的绕组电流<sup>[2]</sup>。

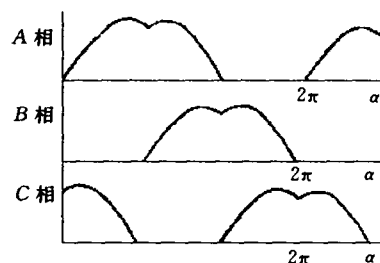


图 1 三相反应式步进电机绕组电流波形

绕组 A 电枢电流随相位变化的函数如下:

$$i_A = \begin{cases} I_m \sin \alpha & 0 \leq \alpha < \frac{2\pi}{3} \\ I_m \sin(\frac{2\pi}{3} - \alpha) & \frac{2\pi}{3} \leq \alpha < \frac{4\pi}{3} \\ 0 & \frac{4\pi}{3} \leq \alpha < 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\alpha$  为电机转子偏离参考点的角度;  $i_A$  为绕组 A 电枢电流;  $I_m$  为电枢电流幅值。

绕组 B 电枢电流  $i_B$  滞后  $i_A$   $\frac{2}{3}\pi$ , 绕组 C 电枢

电流  $i_C$  超前  $i_A$   $\frac{2}{3}\pi$ , 这样合成电流矢量  $I = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m e^{-j\alpha}$ , 在电机内部便形成场强恒定的旋转磁场。

由于磁饱和、气隙空间形状等原因,步进电机实际的矩相特性曲线  $T = f_i(\theta)$  并不呈现完全的正弦特性<sup>[2]</sup>。可以通过实验方法获取更加精确的细分电流数据,对误差进行插值补偿。本文采用式(1)进行 8 细分电流阶梯化,将具体细分电流参数存入 CPLD 中。

2 系统构成与实现

细分驱动电路主要由细分、恒流控制、功率放大三部分组成。目前一般的做法多采用单片机和

专用 PWM 驱动芯片、DAC 等构成,系统构成较为复杂。步进电机的功率放大器的控制信号需要良好的实时性与并行、同步性能,而采用 CPLD 可以很好地解决此类问题。我们将细分与恒流控制电路集成在一片芯片上,可大大提高集成度、简化步进电机细分驱动电路。图 2 为该系统结构组成原理实现简图。细分复合控制器由细分模块、用于恒流控制的 Bang-Bang 控制器及与采用串行接口的 TLC5620 (DAC) 实现通讯的通讯模块构成。

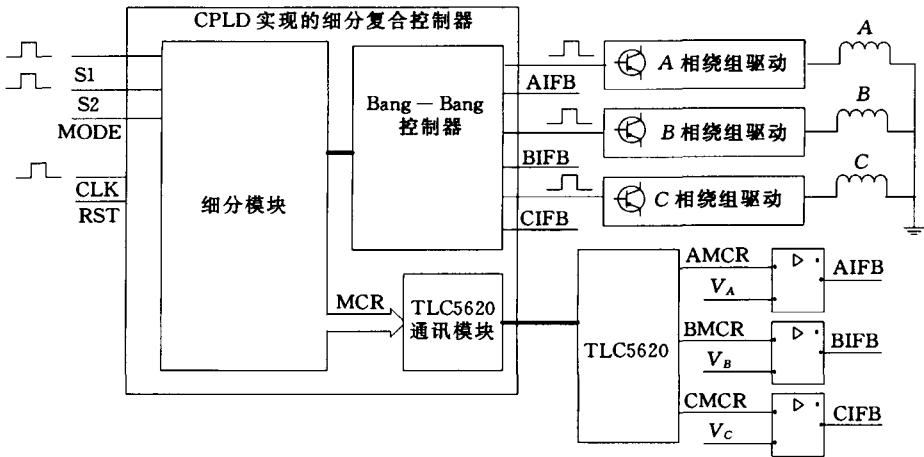


图 2 步进电机细分驱动电路原理简图

图中, S1、S2 为远程控制信号, MODE 为远程信号类型设置, CLK 为时钟输入端, RST 为复位端, AIFB、BIFB、CIFB 为电枢电流超过设定值的反馈信号, AMCR、BMCR、CMCR 为各项绕组电流的设定值,  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$  为各项电流的反馈电压信号。

2.1 细分模块

细分模块由远控信号解码编码功能模块、细分状态控制器、细分表三部分组成。图 3 为细分模块构成原理简图。

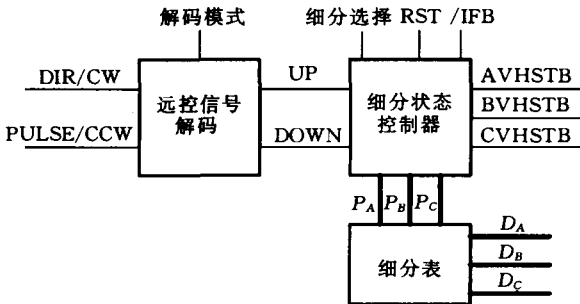


图 3 细分模块原理图

图中, PULSE/DIR 为脉冲/方向信号, CW/CCW 为正向/反向控制信号, UP/DOWN 为正向/反向控制信号,  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$  为三相绕组电流的节拍计数,  $D_A$ 、 $D_B$ 、 $D_C$  为三相绕组输出电流设定

值, AVHSTB、BVHSTB、CVHSTB 为高压输出控制信号, RST 为复位反馈信号, /IFB 为反馈信号。

2.1.1 远控信号编码

该功能模块可支持 PULSE/DIR (脉冲/方向) 模式与 CW/CCW (正向/反向) 模式两种脉冲输入信号<sup>[3]</sup>。两种脉冲输出方式如表 1 所示。在模块内部逻辑中采用 UP/DOWN 模式, 即 CW/CCW 模式。

表 1 脉冲/方向信号波形

脉冲输出模式 MODE	驱动方向	输出信号波形	
		S1 (CW/DIR)	S2 (CCW/PULSE)
0——CW//CCW	正方向驱动输出		Low 电平
	负方向驱动输出	Low 电平	
1——PULSE/DIR	正方向驱动输出	Low 电平	
	负方向驱动输出	Hi 电平	

下面程序段为 S1、S2、MODE 信号转化为 CW、CCW 脉冲输入的采用 Verilog 语言的解码程序。

```
wire UP, DOWN;  
assign UP = MODE ? (~S1) & S2 : S1;
```

```
assign DOWN = MODE ? S1&&S2 : S2;
```

### 2.1.2 细分状态控制器及细分表

对于实现  $m$  细分的三相反应式步进电机, 一个电角度周期可细分为  $6m$  节拍。根据 UP/DOWN 信号增减节拍位置, 若 A 相的节拍位置为  $P_A$ , 则根据 B 相滞后 A 相  $\frac{2}{3}\pi$ , C 相超前 A 相  $\frac{2}{3}\pi$ , 可计算出 B 的节拍位置  $P_B$ , C 相节拍位置  $P_C$ 。按照式(1) 计算出 A 相各节拍参考电流参量存入细分表中,  $D_A$ 、 $D_B$ 、 $D_C$  分别为节拍位置  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$  所对应的电流参量。图 3 中, AVHSTB、BVHSTB、CVHSTB 为高压驱动回路驱动选通信号。电机电枢驱动电路采用高低压法, 其基本思路是, 不论工作频率如何, 在绕组电枢驱动电路采用高低压法, 不论工作频率如何, 在绕组通电的开始用高压供电, 使绕组中的电流迅速上升, 而后用低压来维持绕组中的电流。这样每次换相相对于刚开始充电的绕组, 该相的高压驱动选通信号有效, 维持很短的一段时间后使该信号无效, 由该相的低压回路选通信号控制电枢回路电流<sup>[4]</sup>。

### 2.2 Bang-Bang 恒流控制器

电流跟踪控制的思路比较简单, 即当前周期的控制信号总是要使当前电流趋向参考电流。如果当前周期的参考电流与采样电流的偏差小于零, 则立即关断相应相主开关, 反之, 则立即开通相应相主开关, 故又叫 Bang-Bang 控制。电流跟踪控制与常用的电流滞环斩波控制是相同的, 只是前者只有一个参考电流值, 并在一定程度上相当于后者两个参考电流上下限值的平均值。从控制效果来说, 显然电流跟踪控制更能准确地实现电流目标值, 斩波频率更高, 有利于电机的高效与低噪<sup>[4]</sup>。开关周期应远小于电机电气时间常数, 为了获得良好的系统动态与静态性能, 在本设计中开关周期选用  $5\mu\text{s}$ 。三相电流参考电压  $A_{\text{mcr}}$ 、 $B_{\text{mcr}}$ 、 $C_{\text{mcr}}$  由 TLC5620 产生, 电枢电流经过电流电压放大器产生分别对应于三相电流的变换电压  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ , 见图 1。各项的参考值与实际值通过比较器比较产生 AIFB、BIFB、CIFB, 结果送入 Bang-Bang 控制器, 决定下一开关周期驱动电路通断。该功能实现代码如下:

```
always @(posedge CLK)
begin
if (RESET) begin outA<=1'b1; outB<=1'b1;
outB<=1'b1; cnt<=4'h0; end
else
begin
```

```
if (cnt==PERIOD)
```

```
begin outA<=AIFB;outB<=BIFB; outB<=BIFB
```

```
; cnt<=4'h0; end
```

```
else
```

```
cnt<=cnt+4'h1;
```

```
end
```

```
end
```

### 2.3 TLC5620 通讯模块

TLC5620 采用串行口通讯的 4 通道 8 位数模转换器, 为恒流控制电路提供参考电压。该通讯模块主要用于将三相参考电压值通过串行编码送入 TLC5620 从而产生三相参考电压。下面程序段为 SD 通讯线的相关实现代码:

```
assign dout[10:9]=ch,dout[8]=1'b0;
```

```
assign dout[7:0]=(ch==2'h0)? Amcr;
```

```
((ch==2'h1)? Bmcr;Cmcr);
```

```
assign SD=ack? dout[cnt]:1'b1;
```

图 4 为输出其中一路参考电压的实现原理框图。

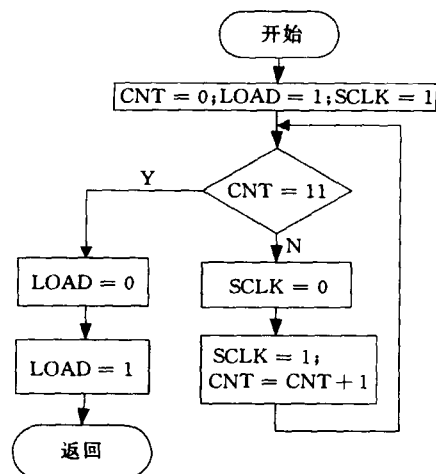


图 4 原理框图

图 5 为采用 Quartus II 仿真与 TLC5620 通讯的输出波形, 其中电流参量  $A_{\text{mcr}}$  为 0x31,  $B_{\text{mcr}}$  为 0x00,  $C_{\text{mcr}}$  为 0xf1。

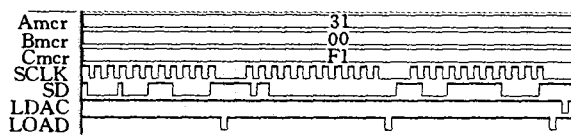


图 5 采用 Quartus II 仿真与 TLC5620 通讯的输出波形

### 3 结论

本文提出的采用 CPLD/EPLD 作细分编码器, 充分利用了 CPLD/EPLD 强大的实时、并发处理能力。与传统采用单片机、DAC、专用步进电机驱动芯片相比, 系统构成更为简单、成本更

# 基于神经网络PID的轧机AGC力控制

王益群 王海芳 高英杰 朱丹丹

燕山大学,秦皇岛,066004

**摘要:**以PID控制器为基础,辅助以神经网络的自学习、自适应能力,将神经网络和PID控制融合为一体,设计出一种神经网络PID控制器,应用于具有高度非线性、时变性的板带轧机AGC力控制系统,仿真结果表明,能有效改善系统的动态品质,并具有良好的适应能力。

**关键词:**PID控制;神经网络;BP算法;液压AGC

**中图分类号:**TG333.11

**文章编号:**1004—132X(2005)18—1650—04

## Hydraulic AGC Press System Based on NNPID Controller

Wang Yiqun Wang Haifang Gao Yingjie Zhu Dandan

Yanshan University, Qinhuangdao, 066004

**Abstract:** A new neural network PID (NNPID) controller, which was based on PID by means of NN's ability of self-learning and adaptive, was presented. The NNPID controller was designed by combining neural network with PID control strategy. An improved BP algorithm was used in the NN. This paper presented the control for high nonlinear, time-varying hydraulic AGC of rolling mills based on the NNPID controller. The simulations show that dynamic quality of the system is improved, and NNPID has good adaptability.

**Key words:** PID control; neural network; BP algorithm; hydraulic AGC

## 0 引言

由于轧机自动化水平及对板带材的质量要求越来越高,对轧机执行机构及控制系统性能的要求也越来越高。液压AGC(automatic gauge control)是现代化轧机设备的核心技术,构成一个完整液压AGC力系统的6种主要动态元件具有高度非线性的特点,其系统必然也具有高度非线性的特点,液压AGC系统运行状态的好坏,直接决定了轧机的工作状态。对轧机AGC力系统进行

精确控制非常必要。

PID控制应用领域十分广泛,其优点是算法简单,鲁棒性强,可靠性高,动态和静态特性良好。但是,PID控制器主要的局限性在于对控制对象的依赖性,一般需要知道被控对象的传递函数才能进行设计,这对复杂系统往往难以做到,常规PID控制器难于达到理想控制效果,实际调试过程中采用试凑法,进行多次试验加以整定,一般很难达到最优。

近年来,神经网络在控制领域的应用得到广泛的重视并取得不少研究成果。人工神经网络具有很强的信息综合、学习记忆和自适应能力以及

收稿日期:2004—10—26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60474044);河北省自然科学基金资助项目(E2004000221)

低、使用更为灵活、运行更稳定。可以根据细分数的不同要求,简单的修改相关程序代码,便可实现16细分、32细分甚至更高,也很容易实现其他步进电机的细分控制器。目前本控制器已用于某专用车床的数控改造,运行状况良好,证明本控制器设计合理。

Step Motor Controllers. IEE Conference Publication, London, 1990

[3] Magellan Motion Processor User's Guide Revision 1.0. <http://www.pmdcorp.com> Performance Motion Devices, Inc., 2003

[4] 邱亦慧,詹琼华,马志源. 基于DSP的开关磁阻电机数字电流控制研究. 微特电机, 2001, 29(2): 19~21

(编辑 马尧发)

## 参考文献:

- [1] Armando A. Reconfigurable Microstepping Control of Stepper Motors Using FPGA Embedded RAM. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), Roanoke VA United States, 2003
- [2] Rahman M F. Design Approaches for Microstepping

作者简介:李超彪,男,1972年生。东南大学机械工程系讲师。研究方向为控制理论及数控技术应用,测试理论及智能仪器技术。张赤斌,男,1968年生。东南大学机械工程系副教授。王兴松,男,1965年生。东南大学机械工程系教授、博士研究生导师。田梦倩,女,1971年生。东南大学机械工程系副教授。