

## 无传感器无刷直流电机控制系统及其起动分析

李强, 林明耀, 李海文, 杨沛淇

(东南大学, 江苏 南京 210096)

**摘要:**介绍了一种无位置传感器无刷直流电机控制系统的硬件结构和控制软件, 并对电机的起动过程进行了分析。该系统以 Motorola MC68HC08MR32 单片机为核心, 主回路开关器件采用 IGBT, 用 IR2135 驱动, 组成功率变换电路, 转子位置使用“反电势法”检测。

**关键词:**无刷直流电机; 无位置传感器控制; 起动过程

**中图分类号:** TM301.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6848(2003)03-0033-03

## Control System of Sensorless BLDCM and Analysis of Start Process

LI Qiang, LIN Ming-yao, LI Hai-wen, YANG Pei-qi

(Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** A control system of sensorless Brushless DC Motor (BLDCM) is presented in this paper. The hardware and software are introduced, and the start process is analyzed. In the system, Motorola MC68HC08MR32 is used as MCU, the IGBTs are used to build the main power switch circuit, and drive circuit is consisted of IR2135. The rotor position is detected by the Zero-cross of Back-EMF.

**Key words:** BLDCM; position sensorless control; start process

## 1 引言

随着磁性材料、电力电子器件和控制技术的发展, 无刷直流电机的应用越来越广泛。无刷直流电机与直流电机和交流异步电机相比, 具有调速特性好、无换相器和效率高的特点。因为无刷直流电机没有换相器, 需要采取一定措施获取转子位置信息。有两类方法可以获取转子位置信息。一类是采用传感器获取转子位置, 这类方法简单易行, 但传感器易受环境影响, 在高温等环境下, 性能会变坏, 甚至失效, 同时连接线较多。另一类是利用测量得到的电流、电压、电机的基本方程、观测器和电机的反电势等获得转子位置信号。第二类方法中, 利用电机反电势过零点获得转子位置信息的“反电势法”简单可行, 但电机在静止或转速较低时, 反电势为零或较小, 无法通过检测反电势的零点来判定转子的位置, 故电机的起动是使用该方法的难点之一。文中基于“反电势法”设计了一种用于变频空调的无位置传感器无刷直流电机控制系统, 并对难点之一的起动过程进行了分析研究。

## 2 系统框图及硬件组成

无位置传感器无刷直流电机控制系统由 Motorola MC68HC08MR32 单片机控制器、功率和驱动变换电路、反电势检测电路、保护与检测电路和串行通讯接口组成, 其系统框图如图 1 所示。

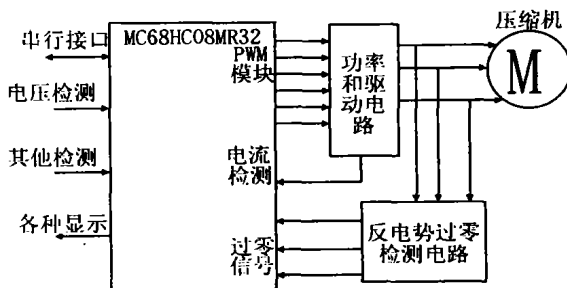


图 1 系统框图

## 2.1 单片机控制器

单片机控制器采用 Motorola 公司的 MC68HC908MR32, 该控制器具有以下主要特征: ① 32K 字节的内部程序 FLASH; ② 768 字节 RAM; ③ 6 通道 12 位的 PWM 电机控制模块, 可作为 3 路互补 PWM 信号输出, 或作为 6 路独立 PWM 信号输出, PWM 波极性控制, PWM 输入软件控制和可编程故障保护, 作为互补输出时可以插入死区时间; ④ SPI 和 SCI 接口各 1 个; ⑤ 6 通道 16 位的定时器模块, 可以分别定义成输入捕捉、输出比较和 PWM

收稿日期: 2003-01-06

基金项目: 东南大学南瑞继保基金资助(1116000019)

三种功能,在作为输入捕捉功能时,可以捕捉上升沿脉冲、下降沿脉冲或两者同进捕捉,此功能为检测反电势过零点提供了便利;⑥10 通道 10 位 AD 转换器<sup>[1]</sup>。

## 2.2 功率和驱动电路

功率器件采用 IR 公司的 IGBT — IRG4BC30UD。IRG4BC30UD 自带快恢复续流二极管,在硬开关的状态下,可以在开关频率 8~40 k 之间工作。开通时,集电极和发射极之间的典型压降为

1.95 V;器件表面温度不超过 100 C 时,可以 12 A 的电流连续工作。

驱动电路采用 IR 公司的高压浮动栅极驱动电路 IR2135。IR2135 为三相桥式驱动电路,输出管脚的最大输出电流达 200 mA,最大注入电流达 420 mA;开关时间为 700 ns,死区时间为 200ns。IR2135 既可以三相组合使用也可以单相单独使用,具有低电压和过电流闭锁功能,同时具有输入失调保护。IR2135 还带有一个运算放大器。

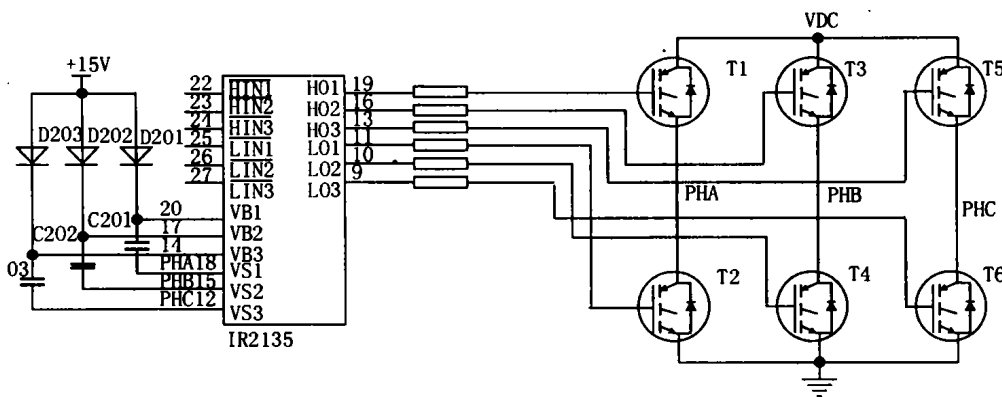


图 2 驱动和功率电路

## 2.3 反电势过零检测部分

无位置传感器无刷直流电机控制系统中,检测转子位置的方法主要有:①通过测量得到电机的电流、电压,根据电机的基本方程,通过运算得出结果;②构造观测器,估测转子位置,观测器种类有卡尔曼滤波器、非线性观测器、降阶观测器和滑模观测器等;③利用反电势检测的方法。反电势法又可分为端电压法、3 次谐波法、续流二极管电流法和反电势积分法等。在以上的转子位置检测方法中,反电势法中的端电压法由于简单可行,目前应用十分广泛。

端电压法的基本思想是检测非导通相绕组的反电势,并从中得到过零点。因为难以直接测得绕组的反电势,对于没有中点引出线的 Y 形连接的无刷直流电机,从非导通相取得导通相在中点的电压和非导通相反电势叠加电压。在取得的叠加电压中,存在高次谐波,需通过低通滤波器对其进行滤波。图 3 为文中采用的低通滤波和过零点检测线原理路。

图 3 的低通滤波器包括三部分:①R0、R1、C1 组成分压和阻容滤波电路;②R2、C2 组成隔直滤波电路;③R3、C3 组成阻容滤波电路。基准电压  $V_{ref}$  为隔直后的信号经由对称星形连接的电阻网络的中心

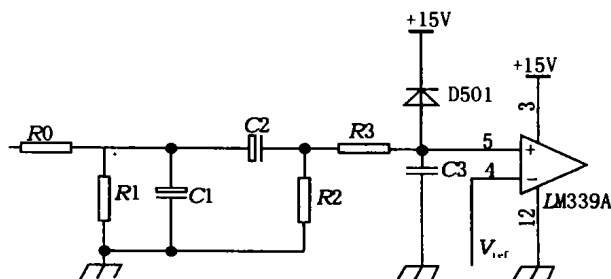


图 3 低通滤波和过零检测

点电平。

端电压通过分压、隔直和滤波,与基准电压相比较,得到三相绕组的反电势过零点信号。将过零点信号输入到单片机控制器,由软件对此信息进行修正和处理,判断转子的位置和速度,决定换相时刻和相应的导通电枢绕组。

## 3 电机的起动

### 3.1 电机的起动

无位置传感器无刷直流电机的起动是该控制系统中的难点之一。电机在静止或转速较低时,由于反电势为零或较小,无法通过检测反电势的过零点来判定转子的位置,故需采用一定的起动方法使电机

能够运转到可以稳定获得反电势过零点的速度。起动方法主要有：①通过机械或其他方法，使电机从已知的位置起动或在特定的位置停止；②对于凸极电机，可以采用对特定绕组施加电压，并观测其电流的询问法；③采用如卡尔曼滤波器的方法，通过电流检测转子位置；④开环起动技术<sup>[2]</sup>。

开环起动技术现在通常被称为“三段式”起动技术，即首先对转子进行定位，然后采用外同步的方式，使电机逐步加速至预定速度，当可以稳定得到反电势过零点信号时，切换到自同步方式进行<sup>[3]</sup>。其过程为：

(1)定位：导通预定绕组，并控制电流，使转子转动到预定位置。

(2)加速：按适当的顺序导通绕组，控制电压和换相时间，使电机转速逐步上升。

(3)切换：即将电机从外同步方式切换到自同步方式，当电机的转速达到可以稳定检测反电势过零点时，就可以按照控制策略切换到自同步状态。

### 3.2 切换

在外同步方式运行时，若施加的电源电压不同，即使转速保持恒定，反电势也会发生变化，其滤波后的波形也不同。检出的过零点的位置，会因为这种差异而偏移，如果偏移过大，会导致外同步向内同步切换失败。图 4a、b 和 c 分别表示电压较低、适中、较高时经过上述滤波电路滤波后反电势的波形（转速 600 r/min）。图 4b 的信号经与基准信号  $V_{ref}$  比较后产生过零信号，其相位滞后基本与理论值  $81.9^\circ$  相符，图 4a 与图 4c 的信号则会产生较大的偏差。

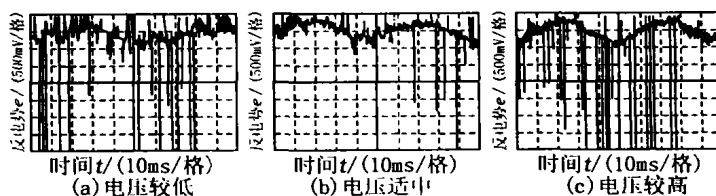


图 4 起动时的反电势波形

从波形可以看出，电压较低时，反电势波动较大，在系统调试中也表明，电机的运行很不平稳。起动时，应该施加稍高的电压；当到达切换速度时，应调整电压，使经滤波产生的过零信号的相位滞后与理论值差值最小，避免切换失败。

### 3.3 软件编制

控制软件中主要部分是电机的调速部分，需控制电机完成起动和正常运行，当切换完成后，电机的运行与有位置传感器无刷直流电机相似。切换时，通过软件调整运行电压，使切换时刻最佳。控制无刷直流电机起动的软件流程图如图 5 所示。

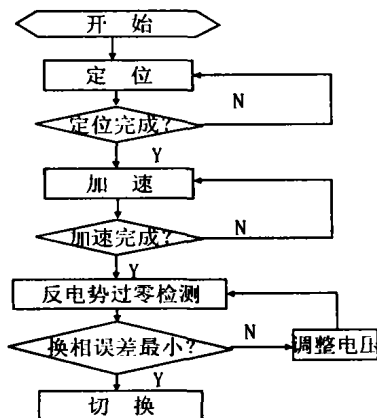


图 5 起动软件流程图

## 4 结语

该课题所控制的无刷直流电机，额定输出功率为 650 W，4 极，额定转速为 3 600 r/min，运行转速范围为 600~5 700 r/min。采用文中所研制的系统硬件、控制软件和控制方法，可以对该电机实现平滑起动和调速运行控制，在确保功率器件良好的散热条件下，系统运行达到预期目标。

### 参考文献：

- [1] 68HC908MR32 Advance Information[M]. Motorola, 1999, 6.
- [2] Sensorless BLDC Motor Controller[J]. FAIRCHILD, 2000, 10.
- [3] 沈建新. 无传感器无刷直流电机三段式起动技术的深入分析[J]. 微特电机, 1998(5).
- [4] Leos Chalupa. Low Cost High Efficiency Sensorless Drive For Brushless DC Motor Using MC68HC(7) 05MC4[J]. Motorola, 1999.

作者简介：李强(1969—)，男，江苏南京人，博士研究生，研究方向为电机及其控制。