

一种新型实用的无刷直流电动机调速系统

张震宇,蒋惠忠

(浙江科技学院 信息与电气工程学系,浙江 杭州 310012)

摘 要:介绍了一种以 AT90S8535 单片机为控制核心、结合专用芯片 LM621 的新型无刷直流电动机调速系统,给出了系统的硬件构成和软件设计方案。通过实验证明该系统切实可行且制作成本较低,是一种实用的无刷直流电动机调速系统。

关键词:无刷直流电动机;单片机;调速系统

中图分类号:TM33

文献标识码:A

文章编号:1671-8798(2003)04-0214-05

自 1962 年问世的无刷直流电动机利用电子换向器取代了有刷直流电动机的机械电刷和机械换向器,这种电动机不仅保留了有刷直流电动机的线性机械特性、宽的调速范围、大的启动转矩等优点,而且具有交流电动机的结构简单、运行可靠、维护方便等优点,因此,一经出现就获得迅猛的发展。目前,无刷直流电动机广泛应用于计算机外围设备(如软驱、硬盘、光驱等)、家电产品(如洗衣机、空调器等)、办公自动化设备(如打印机、复印机等)、电动车等方面和领域。

AT90S8535 单片机是 ATMEL 公司于 1997 年推出的全新配置的精简指令集(RISC)单片机,内部接口丰富、功能全,性价比高。和以往的无刷直流电动机调速系统使用的单片机相比,AT90S8535 单片机速度更快、功能更强、控制更容易。它有 2 路 10 位和 1 路 8 位的 PWM 脉宽调制输出,可以很方便地实现无刷直流电动机的调速。有看门狗定时器,便于程序抗干扰,防止程序跑飞。此外,还有许多功能模块,比如 ADC、DAC、UART 异步串口等,很容易实现对整个系统功能的升级和扩展^[1]。同时,从无刷直流电动机换相控制的方便和快速出发,本系统选用了 NS 公司的 LM621 芯片。

本文以高性能的 AT90S8535 单片机为控制核心,结合无刷直流电动机的专用控制芯片 LM621,设计了一套无刷直流电动机的调速系统,该系统具有硬件结构简单、软件设计灵活、适用面广、价格低廉等优点,有一定的实用价值。

1 系统的硬件设计

整个系统主要包括转子位置检测电路、测速电路、单片机控制电路、LM621 接口电路、MOSFET 全桥电路、限流电路等。其原理框图如图 1 所示。

1.1 转子位置检测电路

在本设计方案中,无刷直流电动机有 2 对磁极,定子绕组采用三相星接法,3 个霍尔位置传感器的空间间距为 60°,即电角度 120°。由于系统使用了专用芯片 LM621,因此,3 个霍尔传感器的输出 H_1 、 H_2 、 H_3 可以分别直接接到 LM621 的 5、6、7 脚。

收稿日期:2003-05-13

作者简介:张震宇(1976—),男,浙江兰溪人,助教,硕士,主要从事电机及其控制技术的教学和科研工作。

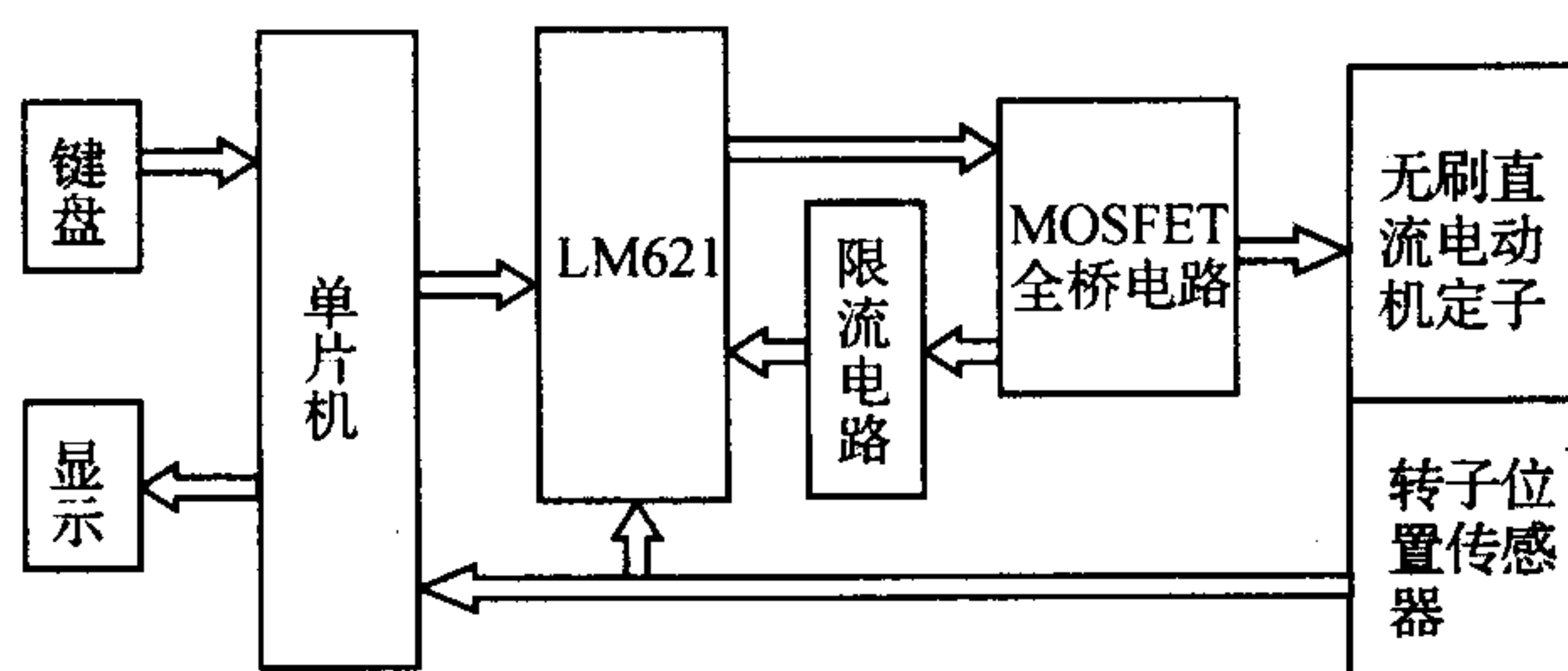


图1 无刷直流电动机调速系统原理框图

1.2 测速电路

要对无刷直流电动机的转速进行准确的控制,首先要准确地测量出它的转速。无刷直流电动机调速系统的部分原理电路图见图2。为节省系统的成本,本文直接利用转子位置传感器的输出脉冲信号 H_1 来反映电动机的转速。将位置传感器信号 H_1 接至单片机的 PD₅ 脚,随着电动机的转动,PD₅ 将不断接收到脉冲信号。当 PD₅ 接收到一个上升沿时开始启动定时器 T_0 计时,直到接收到下一个相邻的上升沿为止,定时器 T_0 的计时结果便是电动机转动一圈所需的时间,据此可以很容易地计算出电动机的转速。

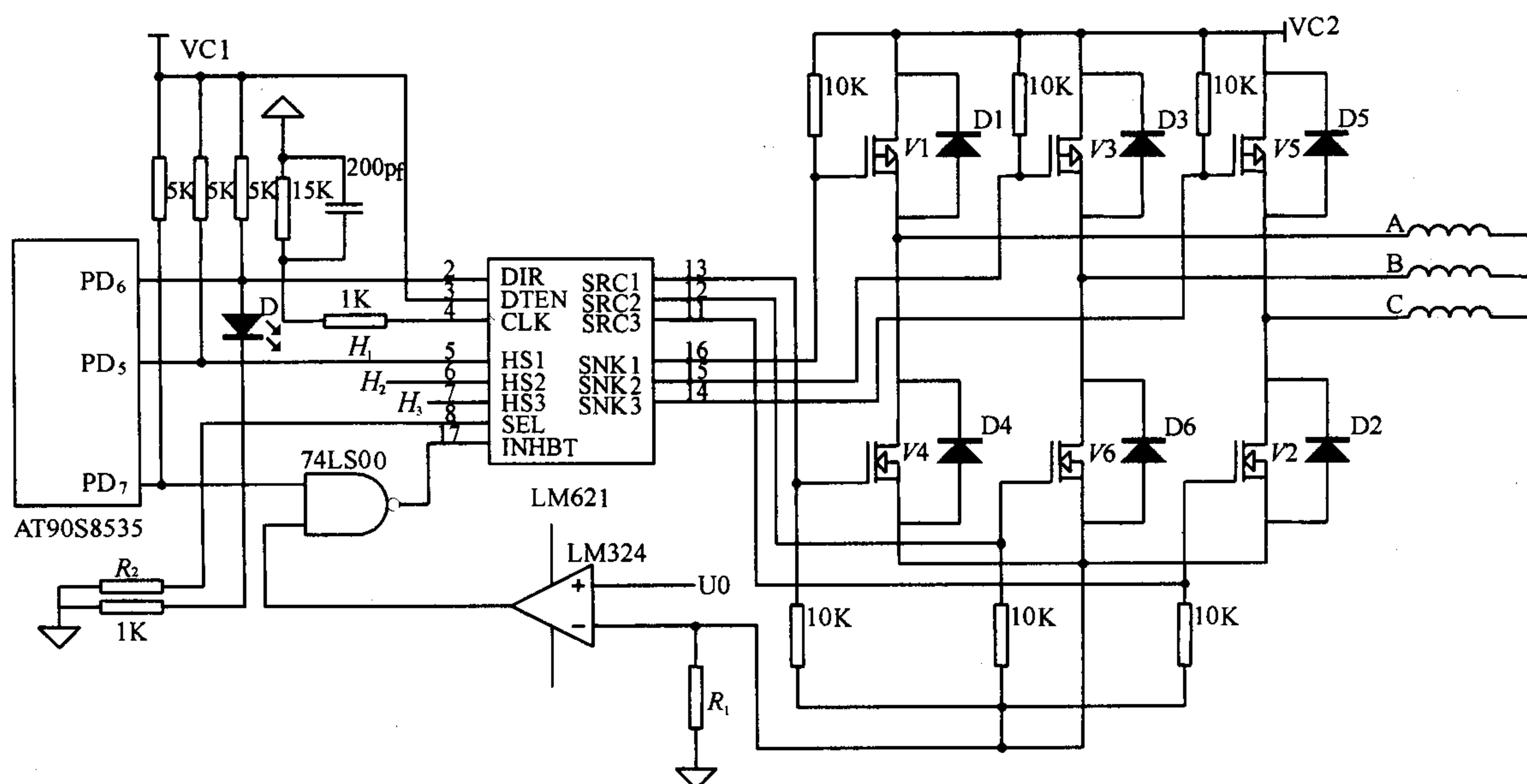


图2 无刷直流电动机调速系统的部分原理电路图

1.3 单片机控制电路

单片机控制电路是整个系统的控制核心。作为 CPU 的 AT90S8535 单片机具有的功能特点使它非常适合作为无刷直流电动机的控制器。AT90S8535 因为采用了精简指令集,因此具有足够快的运行速度;有 PWM 输出口,可用于自动产生可调占空比的 PWM 波;带 ADC 和 DAC 转换,可直接输入模拟量和输出数字量;有 UART 异步串口,便于实现 RS-232 和 RS-485 通信接口;内部带有 4K 的 flash 程序存储器和 512B 的 SRAM,对一般的系统已足够;有看门狗电路,一旦程序进入死循环能自动复位,保证系统工作的可靠性;有空闲、省电、掉电 3 种低功耗方式,可适合低功耗系统的要求。

在本系统中,可反映转速的位置传感器信号 H_1 接至单片机的 PD₅ 脚,单片机软件可据此得到电动机的实时转速。单片机的 PD₇ 脚输出可调占空比的 PWM 信号,这个信号和来自限流电路 LM324 比较器的输出信号一起作为与非门 74LS00 的输入。在限流电路不工作的情况下,在每个 PWM 信号周期的高电平状态,LM621 输出封锁;在每个 PWM 信号周期的低电平状态,LM621 的输出不封锁。因此,通过调节单片机 PWM

信号的占空比,最终可改变加在电动机定子绕组上的电压,从而实现电动机的调速。 PD_6 脚接至 LM621 的 2 脚,用以控制转向。此外,单片机还要接收键盘指令以及显示实时的转速值。

实际上,目前本系统用到的单片机功能模块并不太多,之所以要选用 AT90S8535 作为 CPU,主要是考虑到便于系统今后的升级改造。

1.4 LM621 接口电路

LM621 是专用于带霍尔位置传感器的三相或四相无刷直流电动机控制的集成电路芯片,具有比较全面的功能。电动机的位置传感器信号可以直接接至芯片上,它的输出端可以提供 35mA 的基极电流,可以直接驱动双极型功率晶体管或功率 MOSFET 管。由于 LM621 可以直接与外部 PWM 信号连接,因此,可以十分方便地实现对电动机的调速控制。另外,它还有转向控制功能,便于对电动机进行正反转的控制。有死区调节功能,可以有效地避免 MOSFET 管在“开”与“关”切换的延时过程中以及电动机突然改变转向过程中极易出现的上、下桥臂开关管直通现象。在保护功能方面,LM621 内部设计有过流保护和欠压保护^[2]。当然,LM621 最重要的作用就是具有自动换相功能,这样它可以把单片机从不断的换相操作中解放出来,从而使单片机有更多的时间进行通讯、检测、故障诊断等其他工作,为系统今后的升级提供了条件。

LM621 的 2 脚是转向控制端的,高电平时电机正转,低电平反转,在本系统中交由单片机的 PD_6 脚控制,正转时点亮发光二极管 D 作为指示。8 脚是 30/60 选择端,接高电平表示选择使用空间间隔的位置传感器,低电平表示 60°,本系统中将 8 脚接成低电平。3 脚是死区功能允许端,高电平启用,由于在本系统中启用了死区功能,必须设置死区时间。通过将 4 脚外接 RC 振荡电路,可以为死区发生器提供振荡时钟,死区时间应是振荡周期的 2 倍,振荡周期, $T_{CLK} = (R + 1k\Omega)C \times 0.756 \times 10^{-3} \mu s$ 。这里 R 的单位是 k Ω , C 的单位是 pF。本系统中死区时间设计为 4.8 μs 。LM621 的 17 脚是输出禁止端,高电平时关闭输出。

1.5 MOSFET 全桥电路

MOSFET 全桥电路由 6 只 MOSFET 管构成,如图 2 所示。3 只 P 沟道的 MOSFET 管 V_1 、 V_3 、 V_5 构成上桥臂,低电平导通;3 只 N 沟道的 MOSFET 管 V_4 、 V_6 、 V_2 构成下桥臂,高电平导通。由于 LM621 芯片可以直接驱动 MOSFET 管,因此可将其 16、15、14 引脚接至上桥臂 V_1 、 V_3 、 V_5 的控制极,13、12、11 引脚接至下桥臂 V_4 、 V_6 、 V_2 的控制极。由于 LM621 内部设计有自动换相电路,MOSFET 全桥的控制变得非常简单,可以完全由 LM621 自动完成,因此在设计单片机软件时无需考虑换相问题。

1.6 限流电路

与普通的直流电动机一样,在无刷直流电动机启动时,由于转速较低,转子磁通切割定子绕组所产生的反电动势很小,可能产生过大的电流,因此必须加限流电路^[3],如图 2 所示。主回路中流过无刷直流电动机三相定子绕组的电流最终通过电阻 R_1 接地,因此,电阻上的压降正比于电动机电流,当此电阻上的压降大于比较器 LM324 的正端给定电位 U_0 时,比较器输出低电平,从而使与非门 74LS00 输出高电平,于是 LM621 封锁输出,起到限流保护作用。当压降小于 U_0 时,限流电路不起任何作用。

2 系统的软件设计

考虑到系统控制软件升级的方便,整个系统的软件设计采用模块化的方法设计。主程序流程图如图 3 所示,主要包含按键子程序、测速子程序、显示子程序等。

2.1 按键子程序

本系统的键盘主要包括设定键、转速增键、转速减键、转向选择键、启动键、停车键 6 个按键。考虑到编程实现的方便,在按键子程序中采用了程序嵌套的方法^[4],即分别设计了对应于上述 6 个按键的子程序,每个按键功能的完成可以通过各自的子程序来实现。

首先,设定键的功能是给定初始转速值 n_s ,一定数值的 n_s 对应于一定占空比 ρ 的 PWM 输出波。设定 n_s 后按启动键,电动机开始启动。在整个启动过程中,单片机将不断地比较 n_i 和测速子程序得到的电动机实时转速值 n_i ,若比较到 $n_i < n_s$,则单片机软件减小 PWM 输出波的占空比 ρ 以提高电动机转速;反之,若 $n_i > n_s$,则增大 ρ 以降低电动机转速,最终当电动机的转速达到稳态时,应有 $n_i = n_s$ 。上述过程可用图 4 来表示。同

理,按下转速增或转速减键时单片机软件的处理方法也是一样的。这样相当于实现了转速闭环控制,有利于保持转速的稳定性。

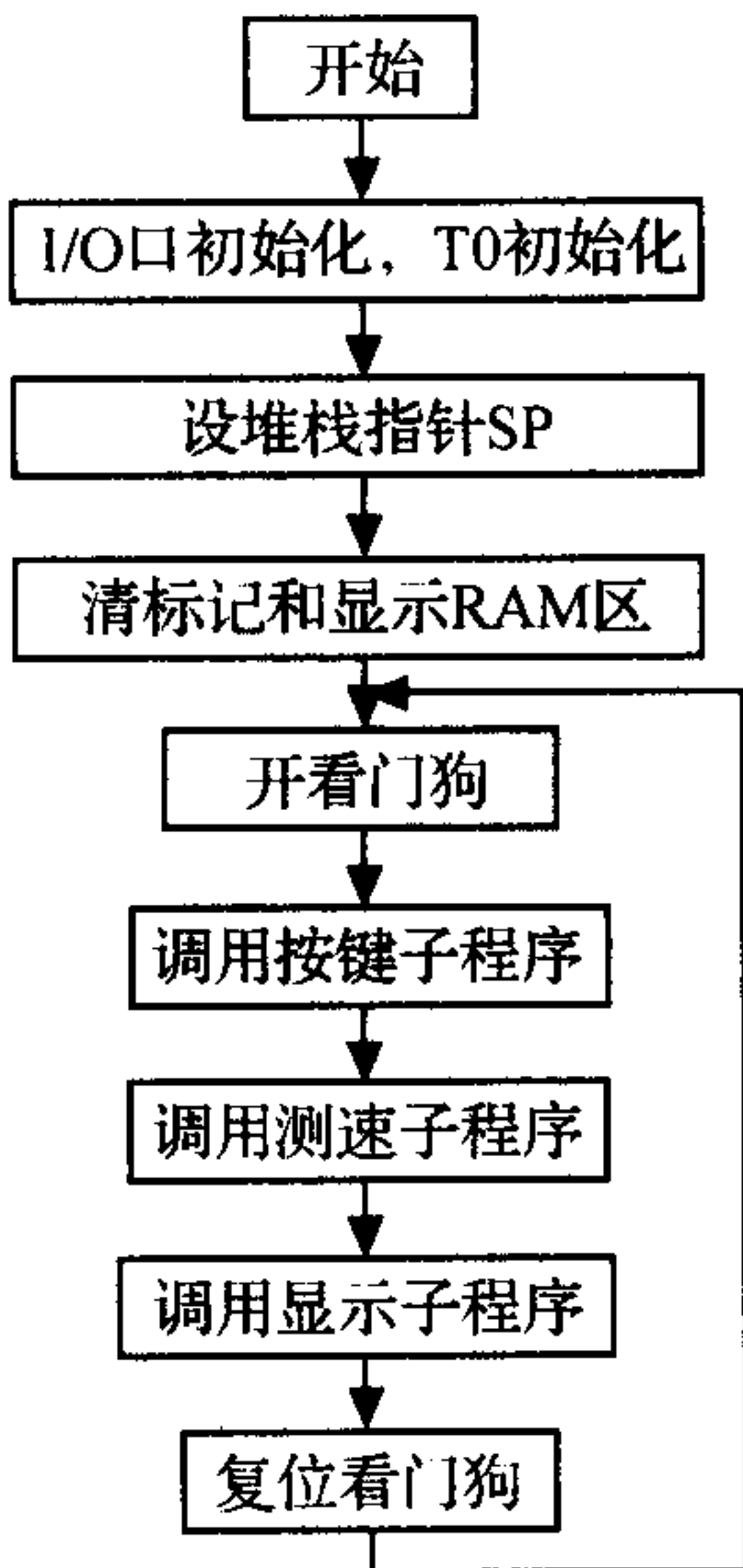


图 3 主程序流程图

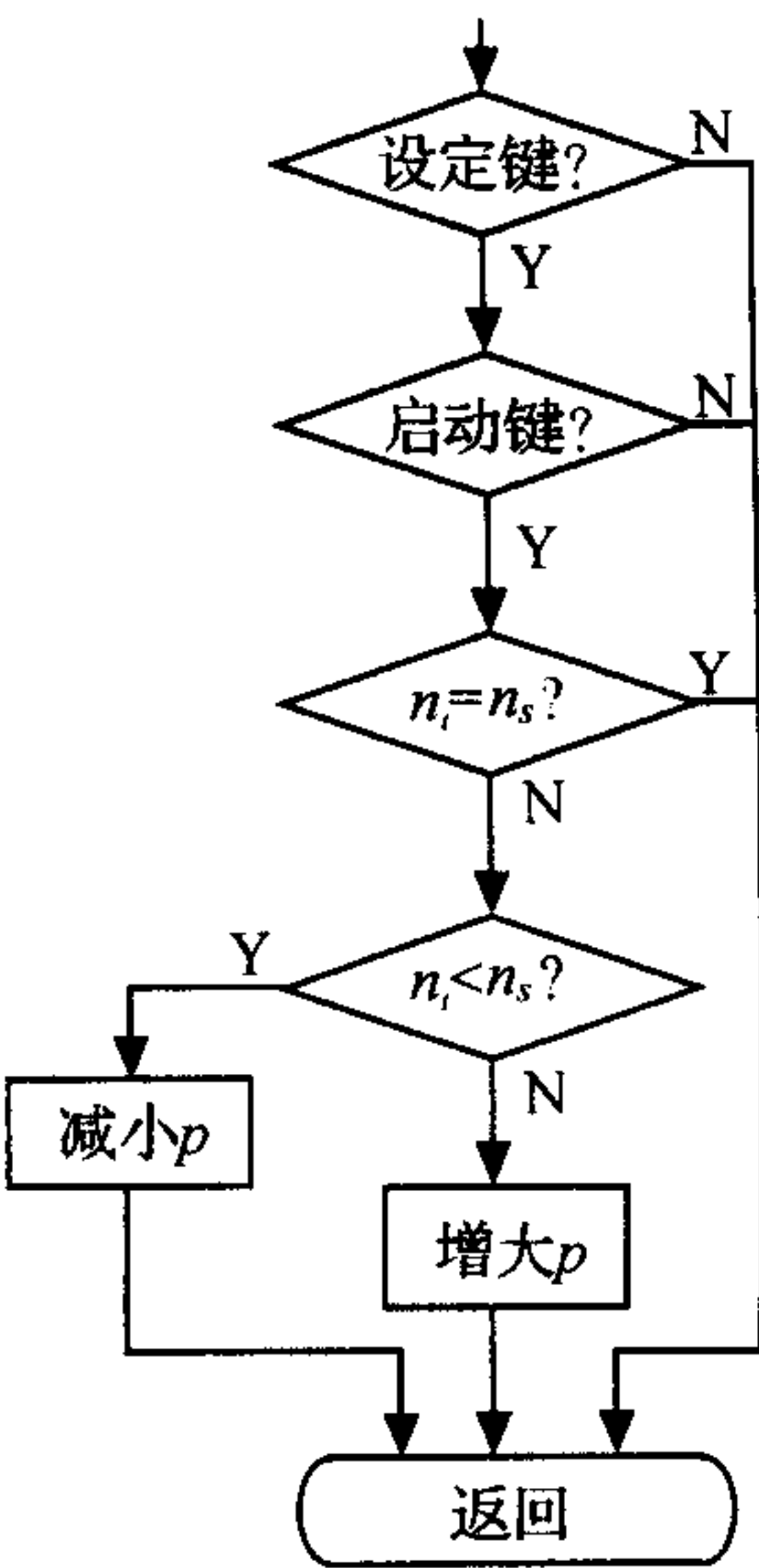


图 4 转速设定流程图

其次,对于转向选择键,单片机软件根据电动机状态的不同作了相应的处理。在电动机启动之前按下此键,可以直接设定电动机转向的正反;若在电动机以一定转速 n_{st} 稳定运行时按下此键,单片机软件先使电动机停车,接着反向启动,直到达到 n_{st} 。这样做的目的是为了保护电动机,避免在电动机运转时直接反向带来的破坏。

最后,停车键的功能是封锁 LM621 的输出,使电动机停止。

2.2 测速子程序

测速子程序的作用就是根据定时器的计时时间计算实时转速值。为了不占用主程序的运行时间,由定时器 T_0 的中断服务程序进行转速计算。如果无刷直流电动机转动一圈定时器 T_0 的计时结果为 T s,则电动机转速的计算式为

$$n = \frac{60}{T}(\text{r/min})$$

(1)

只要按这个算法设计,就可以得出无刷直流电动机的实时转速值。

2.3 显示子程序

显示子程序主要是显示实时转速值和电动机运行状态。从整体的经济性考虑,本系统采用了 4 只 7 段的 LED 管显示 4 位实时转速值。显示采用动态扫描,译码通过软件以查表的方式完成。当电动机停车时,4 只 LED 显示“STOP”字样。

3 实验结果和结论

根据上述的调速控制方案,选取额定电压为 24 V、额定功率为 120 W、额定转速为 400 r/min 的无刷直流电动机进行了实验。在实验运行过程中获得了良好的静动态特性,给电机施加恒定负载,当单片机 PWM 输出波的频率为 2 kHz 时,测得实验特性和理想特性基本吻合。

本文设计的 AT90S8535 单片机控制的无刷直流电动机调速系统在实验室已经调试成功,该系统非常适合于功率在 120 W 左右的无刷直流电动机的调速控制。实验证明该系统切实可行,且有一定的实用价值。该系统制作成本较低、软件设计灵活、硬件功能接口丰富,它为今后对系统的升级改造打下了很好的基础。

参考文献:

- [1] 丁化成. AVR 单片机应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [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] 让余奇, 蔡汉强. 基于双单片机通信的无刷直流电动机控制系统[J]. 电子技术应用, 2002, (3): 10 - 12.
- [4] 李先祥, 斯燕跃. 无刷直流电机的单片机监控系统的研制[J]. 中小型电机, 2002, 29(4): 24 - 26.

A new practical speed-adjustment system of the brushless DC motor

ZHANG Zhen-yu, JIANG Hui-zhong

(Dept. of Information and Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310012, China)

Abstract: By using the microcontroller AT90S8535 and the chip LM621, a new speed-adjustment system of the brushless DC motor is introduced in this paper, the hardware structure and software design are also given here. As a result, the system has been proved to be practical by experiments.

Key words: brushless DC motor; microcontroller; speed-adjustment system

(上接第 201 页)

参考文献:

- [1] 王国俊. 拓扑分子格理论[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1990.
- [2] 王国俊. S-闭对称拓扑分子格[J]. 延安大学学报(自然科学版), 1994, 31(3): 8 - 15.
- [3] 艾为鸿. 对称拓扑分子格中的可数 S-闭性[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1998, 23(1): 19 - 24.
- [4] 艾为鸿, 刘南根. 对称拓扑分子格中的仿 S-闭性[J]. 华东地质学院学报, 1998, 21(2): 194 - 199.
- [5] 艾为鸿, 方丽菁. 极不连通的对称拓扑分子格[J]. 广西民族学院学报(自然科学版), 1998, 4(2): 3 - 5.
- [6] 蒲义书. 广义拓扑分子格上的 S-闭性与 H-闭性(I)[J]. 汉中师范学院学报(自然科学版), 1995, (1): 1 - 5.
- [7] Engel King R. General Topology[M]. Warsaw: Pafistwowe Wydawnictwo Naukowe, 1997.
- [8] 蒲保明, 蒋继光, 胡淑礼. 拓扑学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.

Countable compactness in symmetric topological molecular lattices

AI Wei-hong

(Dept. of Science, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In this paper, the concepts of twelve countable compactness in symmetric topological molecular lattices are introduced. Their relations are established emphatically in extremally disconnected symmetric topological molecular lattices.

Key words: symmetric topological molecular lattices; countable compactness; (strongly or weakly) semiopen element; extremally disconnectedness