



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115173752 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 11

(21) 申请号 202210575506.X

(22) 申请日 2022.05.24

(71) 申请人 广州启明星机器人有限公司

地址 510799 广东省广州市黄埔区茅岗路
828号自编29号楼2楼

(72) 发明人 曹一波 肖应旺

(74) 专利代理机构 广州蓝晟专利代理事务所

(普通合伙) 44452

专利代理师 欧阳凯

(51) Int.Cl.

H02P 6/08 (2016.01)

H02P 6/18 (2016.01)

H02P 6/182 (2016.01)

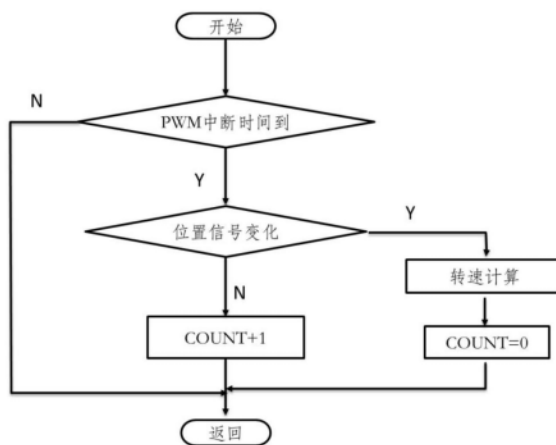
权利要求书2页 说明书12页 附图9页

(54) 发明名称

一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,包括如下步骤:S1、定时器模块的定时值用于对电机转子速度进行计算来完成定时功能;S2、A/D模块是对电机端电压和相电流进行采样,然后转换成对应的线值,用于转子位置计算;S3、PWM模块根据检测出来的转子位置信号,得出换相逻辑信号,发出相应驱动信号,控制电机换相实现对换相驱动信号的控制功能;本发明在一定的时间内,通过对反电势过零点数量的计数值除以极数获得电机转速,可以灵活调节电机理想的空载转速点。当电机处于负载条件下,同样可以通过调节转速,从而达到控制电机输出转矩的目的,提高换相的精确度。



1. 一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,其特征在于:包括如下步骤:

S1、定时器模块的定时值用于对电机转子速度进行计算来完成定时功能;

S2、A/D模块是对电机端电压和相电流进行采样,然后转换成对应的线值,用于转子位置计算;

S3、PWM模块根据检测出来的转子位置信号,得出换相逻辑信号,发出相应驱动信号,控制电机换相实现对换相驱动信号的控制功能;

S4、启动函数弥补无位置传感器在静止或低速时无法检测到反电动势过零点的缺点,实现电机软启动。

2. 根据权利要求1所述的一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,其特征在于:所述无位置传感无刷直流电机的精确换相控制系统包括无刷直流电机本体,转子位置检测单元,控制器,逆变器和直流电源;

直流电源通过逆变器电性连接于无刷直流电机本体,无刷直流电机本体通过转子位置检测单元连接于控制器,控制器电性连接于逆变器;

无刷直流电机本体的转子位置信号通过转子位置检测单元传递给控制器,控制器输出触发脉冲驱动逆变器,使无刷直流电机本体的绕组按规律通电,无刷直流电机本体的转子的磁场和由电流产生的磁场经过合成电磁转矩,从而带动无刷直流电机本体的正常运转。

3. 根据权利要求1所述的一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,其特征在于:所述步骤S1中,对电机转子速度进行计算包括如下步骤:

由转子转过60电角度的时间对应着两个相邻反电势过零点的间隔,利用定时器模块,确定相邻2次反电势过零点之间的时间算出转子速度;

电机转速计算为: $n = \frac{10f_{PWM}}{p \cdot COUNT}$ (转/分钟), 其中, f_{PWM} 表示PWM信号的频率; p 表示极对数; $COUNT$ 表示一个60度电角度内PWM定时计数器的计数值;

当检测到相邻2次反电势过零点时,就读取COUNT计数值并清零,COUNT再重新计数。

4. 根据权利要求2所述的一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,其特征在于:所述步骤S3中,换相逻辑信号由反电势过零信号经过逻辑处理而得到的,具体包括:转速通过负反馈与给定转速进行比较后,进行转速PI调节;

将输出作为电流环的给定值,与输出相电流进行比较后,经过电流环进行PI调节输出,其中经过限幅和整流处理后,就可以调节PWM的占空比,其占空比值输出和逻辑开关信号做与处理,得到逆变桥模块gate信号输入作用于逆变器,间接控制了电机能得到的平均电压。

5. 根据权利要求1所述的一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,其特征在于:所述步骤S5中,电机软启动具体包括:首先用转子预定位法定位后,接着封死全部的驱动信号,使电机处于断电的状态;

再采用同样的方法进行转子预定位来实现电机的准确定位,该预定位的位置是要在第一次预定位的定位基础上,将导通步向前或向后发生一次换相;

将电机转子定位到特定位置,然后按照直流无刷电机的换向顺序对电机进行换向,这是三段式启动法的第二阶段,即外同步加速法;

当转子定位完成后,按照电机的转动方向在使用长脉冲给电机加速的同时,使用短脉冲检测转子位置信号;

施加换相信号作用于电机定子绕组上时,一方面,换相信号要根据六步通电换相顺序来施加驱动信号到逆变管上,另外要逐步提高PWM信号的占空比,不断增加六步通电顺序的换相频率,从而使得定子绕组电压能增大到预期的频率,使得电机能达到一定转速,其中的反电势信号增大到能够检测出来。

一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于电机技术领域,具体涉及一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法。

背景技术

[0002] 无刷直流电机因其运行效率高,调速性能好,结构简单,并且方便维护等诸多优点已在航空航天,过程控制,电子设备,地下矿井作业,家用电器等广泛应用。其换相由于受到换相延时、电机工作是否负载等影响,无法在一定时间内准确获得电机转速,且转子的实时位置确定困难,不能准确得到下一个换相点,影响换相的精确度。为此,我们提出一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,以解决上述背景技术中提到的问题。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,以解决上述背景技术中提出的技术问题。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,包括如下步骤:

[0005] S1、定时器模块的定时值用于对电机转子速度进行计算来完成定时功能;

[0006] S2、A/D模块是对电机端电压和相电流进行采样,然后转换成对应的线值,用于转子位置计算;

[0007] S3、PWM模块根据检测出来的转子位置信号,得出换相逻辑信号,发出相应驱动信号,控制电机换相实现对换相驱动信号的控制功能;

[0008] S4、启动函数弥补无位置传感器在静止或低速时无法检测到反电动势过零点的缺点,实现电机软启动。

[0009] 所述无位置传感无刷直流电机的精确换相控制系统包括无刷直流电机本体,转子位置检测单元,控制器,逆变器和直流电源;

[0010] 直流电源通过逆变器电性连接于无刷直流电机本体,无刷直流电机本体通过转子位置检测单元连接于控制器,控制器电性连接于逆变器;

[0011] 无刷直流电机本体的转子位置信号通过转子位置检测单元传递给控制器,控制器输出触发脉冲驱动逆变器,使无刷直流电机本体的绕组按规律通电,无刷直流电机本体的转子的磁场和由电流产生的磁场经过合成电磁转矩,从而带动无刷直流电机本体的正常运转。

[0012] 所述步骤S1中,对电机转子速度进行计算包括如下步骤:

[0013] 由转子转过60电角度的时间对应着两个相邻反电动势过零点的间隔,利用定时器模块,确定相邻2次反电动势过零点之间的时间算出转子速度;

[0014] 电机转速计算为:
$$n = \frac{10 f_{PWM}}{p \cdot COUNT} \text{ (转/分钟)}$$
, 其中, f_{PWM} 表示PWM信号的频率; p 表

示极对数;COUNT表示一个60度电角度内PWM定时计数器的计数值;

[0015] 当检测到相邻2次反电势过零点时,就读取COUNT计数值并清零,COUNT再重新计数。

[0016] 所述步骤S3中,换相逻辑信号由反电势过零信号经过逻辑处理而得到的,具体包括:转速通过负反馈与给定转速进行比较后,进行转速PI调节;

[0017] 将输出作为电流环的给定值,与输出相电流进行比较后,经过电流环进行PI调节输出,其中经过限幅和整流处理后,就可以调节PWM的占空比,其占空比值输出和逻辑开关信号做与处理,得到逆变桥模块gate信号输入作用于逆变器,间接控制了电机能得到的平均电压。

[0018] 所述步骤S5中,电机软启动具体包括:首先用转子预定位法定位后,接着封死全部的驱动信号,使电机处于断电的状态;

[0019] 再采用同样的方法进行转子预定位来实现电机的准确定位,该预定位的位置是要在第一次预定位的定位基础上,将导通步向前或向后发生一次换相;

[0020] 将电机转子定位到特定位置,然后按照直流无刷电机的换向顺序对电机进行换向,这是三段式启动法的第二阶段,即外同步加速法;

[0021] 当转子定位完成后,按照电机的转动方向在使用长脉冲给电机加速的同时,使用短脉冲检测转子位置信号;

[0022] 施加换相信号作用于电机定子绕组上时,一方面,换相信号要根据六步通电换相顺序来施加驱动信号到逆变管上,另外要逐步提高PWM信号的占空比,不断增加六步通电顺序的换相频率,从而使得定子绕组电压能增大到预期的频率,使得电机能达到一定转速,其中的反电势信号增大到能够检测出来。

[0023] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明提供的一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,本发明在一定的时间内,通过对反电势过零点数量的计数值除以极数获得电机转速。将速度PI的输出反馈到了电流PI输入端,再将检测到的相电流输出值经过STM32的A/D模块进行转换后,与输出值进行比较,再以偏差的形式通过电流PI构成电流环控制。电流PI模块输出能控制PWM占空比的信号,再通入驱动电路达到控制功率管的通断来达到调节转子电压的大小,也就可以灵活调节电机理想的空载转速点。当电机处于负载条件下,由电压和电流,电流与输出转矩的关系,同样可以通过调节转速,从而达到控制电机输出转矩的目的,完成双闭环控制。

[0024] 无刷直流电机控制系统的控制实现过程,实验平台介绍,对功能单元电路分别进行设计,兼顾了额定工作电压和输出电流指标。本发明借鉴步进电机的开环运行方式启动电机工作,然后加速,再平稳切换到过零检测的闭环运行,其中,闭环运行程序中分为:反电势过零检测、转速计算等部分。另一部分是整个算法最重要的部分,即启动过零检测后,单片机要正确检测出过零点,这是换相的基础,就能得到转子实时位置,再经过延时计算,得出下一个换相点,驱动换相,提高换相的精确度。

附图说明

[0025] 图1为转速计算程序流程图;

[0026] 图2为无位置传感无刷直流电机的精确换相控制系统示意图;

- [0027] 图3为无刷直流电机的机械特性曲线图；
- [0028] 图4为BLDCM双闭环控制系统框图；
- [0029] 图5为BLDCM驱动电路硬件图；
- [0030] 图6为IRF540NS的特色参数示意图；
- [0031] 图7为电源电路设计图；
- [0032] 图8为总线电压和环境温度检测电路示意图；
- [0033] 图9为反电势过零位置检测电路示意图；
- [0034] 图10为软件系统程序流程图；
- [0035] 图11为主程序流程图；
- [0036] 图12为A/D中断程序流程图；
- [0037] 图13为电机启动控制流程图；
- [0038] 图14为电机换相流程图；
- [0039] 图15为闭环运行程序流程图；
- [0040] 图16为电机PWM驱动程序流程图。

具体实施方式

[0041] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 无刷直流电机具有和有刷直流电机一样的机械特性,也就是负载转矩在一定的直流电压下随转速的升高而减小,两者是反比例关系。其中,其特性曲线如图3。

[0043] 理想的空载转速在负载一定的条件下会随着供电电压的增大而增大,两者是同比关系,因此,无刷直流电机调速的主要方式即为调节施加在电机上电压的大小,这种方式用稳压源来进行脉冲宽度调制控制实现的。

[0044] 在一定的时间内,通过对反电势过零点数量的计数值除以极数获得电机转速。将速度PI的输出反馈到了电流PI输入端,再将检测到的相电流输出值经过STM32的A/D模块进行转换后,与输出值进行比较,再以偏差的形式通过电流PI构成电流环控制。

[0045] 电流PI模块输出能控制PWM占空比的信号,再通入驱动电路达到控制功率管的通断来达到调节转子电压的大小,也就可以灵活调节电机理想的空载转速点。

[0046] 当电机处于负载条件下,由电压和电流,电流与输出转矩的关系,同样可以通过调节转速,从而达到控制电机输出转矩的目的,完成双闭环控制。由BLDCM速度主环和电流副环组成的双闭环系统控制系统如图4所示。

[0047] 无刷直流电机无位置传感器控制系统的设计实现硬件部分电路有以下组成:主控制电路MCU、由功率管组成的主电路和驱动芯片电路以及具有检测,保护功能的辅助单元等。其中,主控制电路选择的是STM32F103ZETT6作为MCU,在编译环境MDK5中进行程序的编译与调试。

[0048] 一般功率器件单元的驱动电压通常为+10~20V,但本设计中,由于采用+3.3V供电的微控制器芯片且要求较高,所以我们采用了IR2110S芯片作为功率驱动部分的转换芯片。

采用IRF540NS来分立MOSFET功率逆变器功率部分。检测电路可采用电阻分压来降低系统成本。

[0049] (1) 驱动电路设计:

[0050] BLDCM驱动电路硬件图如图5所示。首先是六个桥臂的驱动,驱动板选择的MOS管型号是:IRF540NS,贴片封装,如有需要可以自行加散热片。IRF540NS的特色参数如图6所示。

[0051] IR的HEXFET功率场效应管IRF540NS采用先进的工艺技术制造,具有极低的导通阻抗。IRF540NS这种特性,加上快速的转换速率,和以坚固耐用著称的HEXFET设计,使得IRF540NS成为极其高效可靠、应用范围超广的器件。简单来说,IRF540NS性能优越。

[0052] (2) 电源电路设计:

[0053] 为了供电简单方便,通用性增强,作为整个控制系统能量的唯一来源,电源电路要使整个控制系统的外接接口尽可能地少,其电源均由逆变器直流母线电源直接或间接获得。这里用到15V和5V电源,考虑到PMSM电机的驱动,我们这里还设计了3.3V的电源部分。15V电源使用线性稳压芯片LM317得到,该芯片最大输入电压为37V,该芯片在正常工作中发热属于正常现象,如有需要可以自行加散热器辅助散热。5V电源由LM2596-5.0芯片得到,3.3V使用AMS1117-3.3得到。电源电路设计图如图7所示。

[0054] (3) 总线电压和温度传感器电路的设计:

[0055] 其目的是减少或避免这些均会使系统不能正常工作,甚至损坏电路的事件发生。系统的保护可分类为硬件的保护和软件的保护。硬件保护则是直接由硬件产生保护动作来封死驱动系统的运行输出,而不需要经过程序判断环节达到保护目的。但是,系统一般是先发生软件保护,当软件保护无效后,才启动硬件保护。一个优质的控制系统,即使软件保护和硬件保护相互配合、协调作用,也不能使其免受任何事件带来的破坏后果。

[0056] 总线电压和环境温度检测电路如图8所示,它能起到过,欠电压保护和高温保护等,当然这些都是需要程序编程支持的。

[0057] (4) 反电势过零检测电路的设计:

[0058] 反电势过零位置检测电路如图9所示,该电路主要分为PWM脉冲比较器参考电压设置,反向电压比较,上拉电路三部分。当上桥臂功率管为PWM-ON时,单片机就开启反电势过零捕获端口。此时,PWM端输出高电平,三极管Q1、Q2饱和导通,R3近似接地。由于 $R_2 = R_3$,故将反向电压比较器的参考端电压值设成二分之一的电源电压。将端电压与参考电压两者进行比较,当两者相等时,比较器输出电平翻转并通过捕获端口输入给单片机,再进行30电角度延迟,得到转子的准备换相位置。当功率开关在PWM-OFF期间,转子位置检测分析与此类似。

[0059] (5) 版图设计:

[0060] 由于本驱动器集成了大电流的驱动电路和高速的单片机数字电路,其中的寄生参数对电源回路会产生较大影响,甚至其引起的电源尖峰可能破坏电路,因此在版图设计时,要尽可能减少寄生参数对电源回路的影响。

[0061] 其中的版图设计应符合规则如下:

[0062] 1. 为了有效减小寄生参数对电容的影响,电容滤波电路应尽可能靠近器件管脚,才能缩短电容到管脚的距离。

[0063] 2. 为了避免功率MOS管开关器件在输出大电流时,在寄生电感的作用下产生尖峰

电压,必须采用星型接地。星型接地即以功率MOS管回路的地为参考,所有地线都以此作为参考。

[0064] 3.由于电阻具有一定的感性以及回路寄生电感的影响,在采样电阻上,开关电流可能产生较大的感应电压,从而引起小信号回路逻辑紊乱,因此电流采样电阻应尽可能靠近低边MOS管的源极和参考地。

[0065] 4.因为两条靠近的走线或层间走线之间存在寄生电容,可能造成信号线不稳定。要注意走线的方向,尽可能避免寄生电容的影响,如小信号回路走线应与功率电源回路走线分离。

[0066] 5.功率电源回路相当于一个线圈,其面积应尽可能小。因为功率电源回路包含的面积内会产生电磁场可能影响小信号回路,因此功率电源回路面积设计要尽可能小到不要与小信号回路发生交叉。

[0067] 本发明提供了如图1-16的一种无位置传感无刷直流电机精确换相控制方法,包括如下步骤:

[0068] S1、定时器模块的定时值用于对电机转子速度进行计算来完成定时功能;

[0069] S2、A/D模块是对电机端电压和相电流进行采样,然后转换成对应的线值,用于转子位置计算;

[0070] S3、PWM模块根据检测出来的转子位置信号,得出换相逻辑信号,发出相应驱动信号,控制电机换相实现对换相驱动信号的控制功能;

[0071] S4、启动函数弥补无位置传感器在静止或低速时无法检测到反电动势过零点的缺点,实现电机软启动。

[0072] 所述无位置传感无刷直流电机的精确换相控制系统包括无刷直流电机本体,转子位置检测单元,控制器,逆变器和直流电源;

[0073] 直流电源通过逆变器电性连接于无刷直流电机本体,无刷直流电机本体通过转子位置检测单元连接于控制器,控制器电性连接于逆变器;

[0074] 无刷直流电机本体的转子位置信号通过转子位置检测单元传递给控制器,控制器输出触发脉冲驱动逆变器,使无刷直流电机本体的绕组按规律通电,无刷直流电机本体的转子的磁场和由电流产生的磁场经过合成电磁转矩,从而带动无刷直流电机本体的正常运转。

[0075] 所述步骤S1中,对电机转子速度进行计算包括如下步骤:

[0076] 由转子转过60电角度的时间对应着两个相邻反电势过零点的间隔,利用定时器模块,确定相邻2次反电势过零点之间的时间算出转子速度;

[0077] 电机转速计算为:
$$n = \frac{10 f_{PWM}}{p \cdot COUNT} \text{ (转/分钟)}$$
 其中, f_{PWM} 表示PWM信号的频率; p 表示极对数; $COUNT$ 表示一个60度电角度内PWM定时计数器的计数值;

[0078] 当检测到相邻2次反电势过零点时,就读取COUNT计数值并清零,COUNT再重新计数。

[0079] 所述步骤S3中,换相逻辑信号由反电势过零信号经过逻辑处理而得到的,具体包括:转速通过负反馈与给定转速进行比较后,进行转速PI调节;

[0080] 将输出作为电流环的给定值,与输出相电流进行比较后,经过电流环进行PI调节

输出,其中经过限幅和整流处理后,就可以调节PWM的占空比,其占空比值输出和逻辑开关信号做与处理,得到逆变桥模块gate信号输入作用于逆变器,间接控制了电机能得到的平均电压。

[0081] 所述步骤S5中,电机软启动具体包括:首先用转子预定位法定位后,接着封死全部的驱动信号,使电机处于断电的状态;

[0082] 再采用同样的方法进行转子预定位来实现电机的准确定位,该预定位的位置是要在第一次预定位的定位基础上,将导通步向前或向后发生一次换相;

[0083] 将电机转子定位到特定位置,然后按照直流无刷电机的换向顺序对电机进行换向,这是三段式启动法的第二阶段,即外同步加速法;

[0084] 当转子定位完成后,按照电机的转动方向在使用长脉冲给电机加速的同时,使用短脉冲检测转子位置信号;

[0085] 施加换相信号作用于电机定子绕组上时,一方面,换相信号要根据六步通电换相顺序来施加驱动信号到逆变管上,另外要逐步提高PWM信号的占空比,不断增加六步通电顺序的换相频率,从而使得定子绕组电压能增大到预期的频率,使得电机能达到一定转速,其中的反电势信号增大到能够检测出来。

[0086] 控制系统的软件设计:

[0087] 控制系统设计完成后,还需要对软件进行设计。本论文采用单片机主要完成实现位置传感器功能的工作,单片机的软件设计是整体设计的核心,因而单片机的算法是否有效,能否稳定工作是系统能否实现正常工作的关键。

[0088] 软件控制系统中,包括主程序、启动程序、闭环运行程序、中断服务程序等。其中,要实现电机的正常启动,整个控制程序分为两部分。本设计先借鉴步进电机的开环运行方式启动电机工作,然后加速,再平稳切换到过零检测的闭环运行,其中,闭环运行程序中分为:反电势过零检测、转速计算等部分。另一部分是整个算法最重要的部分,即启动过零检测后,单片机要正确检测出过零点,这是换相的基础,就能得到转子实时位置,再经过延时计算,得出下一个换相点,驱动换相。软件系统程序流程图如图10所示。

[0089] 主程序设计:

[0090] 主程序设计主要完成的是对STM32微处理器的初始化配置和电机自启动的实现等。初始化配置包括系统工作时钟配置、I/O端口配置、全局变量赋初值,配置定时器模块、配置A/D模块、电机驱动PWM发生模块配置和软件保护实现等。在模块配置中,还有定时器中断开关和优先级的设定、A/D采样中断优先级配置等对应的中断服务程序配置。定时器模块的定时值用于对电机转子速度进行计算来完成定时功能;A/D模块是对电机端电压和相电流进行采样,然后转换成对应的线值,用于转子位置计算;PWM模块根据检测出来的转子位置信号,得出换相逻辑,发出相应驱动信号,控制电机换相实现对换相驱动信号的控制功能。启动函数主要是弥补无位置传感器在静止或低速时无法检测到反电动势过零点的缺点,实现电机软启动。

[0091] 主程序流程主要是完成初始化,负责各个程序、寄存器的初始化。单片机上电后,主程序作为入口程序,首先,要对寄存器资源进行分配。程序开始后,本程序主要对PWM模块和ADC模块进行配置。除此之外,还要申明各个变量和初始化程序。初始化后,对电机的六个运行状态进行排序,并把当前状态装载进PWM输出寄存器中,程序进入循环等待,直到采样

和PWM调制触发中断,才改变输出状态。程序流程图图11所示。

[0092] 主要初始化程序如下:

[0093] TIMx输出PWM信号初始化,其中,只要调用这个函数TIMx的四个通道就会有PWM信号输出:

```
void BLDC_TIMx_PWM_Init(void)
{
```

[0094] BLDC_TIMx_GPIO_Config();

```
BLDC_TIMx_Configuration();
```

```
}
```

[0095] 将初始化中涉及的GPIO,DMA,ADC的时钟打开:

[0096] /*打开ADC IO端口时钟*/

[0097] ADC_GPIO_APBxClock_FUN(ADC_GPIO_CLK,ENABLE);

[0098] /*打开DMA时钟*/

[0099] RCC_AHBPeriphClockCmd(ADC_DMA_CLK,ENABLE);

[0100] /*打开ADC时钟*/

[0101] ADC_APBxClock_FUN(ADC_CLK,ENABLE);

[0102] A/D中断程序设计:

[0103] A/D中断程序的主要目的,一方面是采样电机三相绕组的端电压和相电流,另一方面是采样直流侧电压,A/D中断程序流程图如图12所示。在A/D中断中,其主要作用是对采样值进行数字滤波,并用滤波器进行反电动势估算,同时也用于系统的软件保护,如果系统发生过流、欠压和过压等情况,可通过程序立即关闭PWM信号输出,实现软件保护作用。

[0104] TIMx,x[6,7]中断优先级配置:

```
void BASIC_TIMx_NVIC_Configuration(void)
{
```

[0105]

```
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
```

```
/* 设置中断组为 0 */
```

```
    NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_0);  
    /* 设置中断来源 */  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = BASIC_TIM_IRQ;  
    /* 设置主优先级为 0 */  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;  
[0106]    /* 设置抢占优先级为 3 */  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 3;  
    /* 允许中断*/  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;  
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);  
}  
[0107] 配置ADC工作模式的优先级设置代码:  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel =DMA1_Channel1_IRQn;  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority=0x03;  
    // 抢占优先级 , 高优先级(数值小)可抢断低优先级(数值大)  
[0108]    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority=0x00;  
    // 子优先级, 同时发生则分先后, 但不抢断  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;  
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

[0109] 电机启动程序设计:

[0110] 启动程序构成无刷直流电机控制的重要组成部分,它的成功与否也关系到后续无位置传感器控制技术的实现。由于无法获得电机转子的初始位置,所以本设计采用二次定位法来获得转子的初始位置,既能保证电机可靠启动,又能保证电机在启动时,不会像传统有刷直流电机启动时产生过电流冲击,当有紧急情况发生时,软件能够及时做出响应。电机启动控制流程图如图13所示。

[0111] 图13中所示采用两次预定位的三段式启动法,实现了电机由静止状态的强迫启动。这种方法既能有效实现电机启动,又能避免电机启动时间过长。采用的二次定位法也避免了转子磁极与定子磁势两极对调而导致一次定位失败的问题。在保证换相频率和PWM占空比为定值的同时,根据设置好的导通顺序来改变逆变器开关器件的导通,保证电机能匀

加速运行。其中,控制加速运行的时间根据电机本体而各不相同。配置好PWM占空比和PID的参数值后,开启换相控制中断,先为自运行做好准备,同时调整好加速阶段的电机导通步数,当检测到三相端电压时,即可切换到自同步运行阶段。启动程序中的循环启动计数,一方面是用来实现电机实现软启动;另一方面是避免启动时间过长、施加的电压过大,能有效地保护电机。当电机软启动成功后,启动程序结束,电机平稳切换到了无位置传感器控制方式。

[0112] 电机换相程序设计:当检测到反电势过零点信号时,将其输入到单片机的捕获端口,在发生电平跳变时,进入中断,清中断标志,关闭中断,相位延时30电角度时间后,即为转子换相时刻。电机换相流程图如图14所示。

[0113] 电机换相设置程序代码如下:

```
void Drv_SetStep(void)
{
    if(giStep < 6)
    {
[0114]         giStep ++;
    }
    else
    {
        giStep = 1;
    }
[0115] }
```

[0116] 闭环运行程序设计:在闭环控制系统中,通过检测装置将系统的输出量引入系统的输入端,输出信号作为反馈信号与输入量比较,从而得到两者的偏差信号。调节器通过纠正偏差,产生对被控对象的控制作用,偏差趋于减小,使输出无限接近于输入。闭环系统不仅增强了系统的抗干扰能力,也提高了系统控制精度,从而在电机控制系统中广泛应用。

[0117] 电机启动完毕,就进入了自同步运行状态,即可根据不同的设定速度配置相应的PID参数。双闭环运行控制包括速度环和电流环两部分。在实际运行中,一般都采用PI控制,将微分参数设为0。PID控制器参数设计一般步骤为:先设计比例常数,再设置积分常数,最后整定微分常数。转速反馈与转速设定比较后,经转速PI输出电流参考值,再与反馈电流比较,经电流PI输出PWM占空比。本设计的整定是先将积分环节设置为零,调节比例参数直到系统稳定,再来调节积分参数。其中,调节积分参数是用于改善系统的静态稳定和动态响应。闭环运行程序流程图如图15所示。

[0118] 转速计算:在双闭环设计,反馈转速的计算是首要解决的问题。我们可以由转

子转过60电角度的时间对应着两个相邻反电势过零点的间隔,来利用定时器,确定相邻2次反电势过零点之间的时间算出转子速度。

[0119] 由推导可得,电机转速计算为: $n = \frac{10f_{PWM}}{p \cdot COUNT}$ (转/分钟)。

[0120] 其中, f_{PWM} 表示PWM信号的频率; p 表示极对数; $COUNT$ 表示一个60度电角度内PWM定时计数器的计数值。当程序检测到相邻2次反电势过零点时,就读取 $COUNT$ 计数值并清零, $COUNT$ 再重新计数。转速计算程序流程图如图1所示。

[0121] 电机PWM驱动程序设计:只有上述启动程序、中断服务程序、反电动势估算函数以及转速和位置估算程序都能正常运行,才能真正发出无刷直流电机的驱动信号,正确的PWM驱动信号作用于主电路逆变桥,才能导致电机的最终运行。因此,电机PWM驱动信号的发出,需要在启动程序、中断子程序、及其它保护程序的相互配合下完成。在电机驱动程序中,先依据检测的电机转子的具体位置,再通过查表,在开关向量表中找到相应驱动顺序,发出无刷直流电机驱动信号。电机PWM驱动程序流程图如图16所示。

[0122] 配置TIMx输出的PWM信号的模式,如周期、极性、占空比等,程序代码如下:

```
TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_TimeBaseStructure;

TIM_OCInitTypeDef TIM_OCInitStructure;

TIM_BDTRInitTypeDef TIM_BDTRInitStructure;

NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;

/* 定时器基本参数始终 */

TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = BLDC_TIM_PERIOD;

/* 设置预分频: 不预分频, 即为 72MHz */

TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = BLDC_TIM_PRESCALER;

[0123] /* 设置时钟分频系数: 不分频(这里用不到) */

TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = TIM_CKD_DIV1 ;

/* 向上计数模式 */

TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;

/* 重复计算器 */

TIM_TimeBaseStructure.TIM_RepetitionCounter = 0; // 重复计数器的值 , 仅 tim1, tim8 有此功能

TIM_TimeBaseInit(BLDC_TIMx, &TIM_TimeBaseStructure);

/* 定时器输出通道 1 模式配置 */
```

```

/* 模式配置: PWM 模式 1 */
TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_PWM1;

/* 输出状态设置: 使能输出 */
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;

/* 互补通道输出状态设置: 使能输出 */
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputNState =
TIM_OutputNState_Enable;

/* 设置跳变值, 当计数器计数到这个值时, 电平发生跳变 */
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 0;

/* 当定时器计数值小于 CCR1_Val 时为高电平 */
[0124] TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_High;
TIM_OCInitStructure.TIM_OCNPolarity= TIM_OCNPolarity_High;
TIM_OCInitStructure.TIM_OCIdleState = TIM_OCIdleState_Set;
TIM_OCInitStructure.TIM_OCNIdleState = TIM_OCNIdleState_Set;

/* 初始化定时器通道 1 输出 PWM */
TIM_OC1Init(BLDC_TIMx, &TIM_OCInitStructure);

/* 初始化定时器通道 2 输出 PWM */
TIM_OC2Init(BLDC_TIMx, &TIM_OCInitStructure);

/* 初始化定时器通道 3 输出 PWM */
TIM_OC3Init(BLDC_TIMx, &TIM_OCInitStructure);

TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_Toggle;//
TIM_OC4Init(BLDC_TIMx, &TIM_OCInitStructure);//adc

```

[0125] 综上所述,与现有技术相比,本发明在一定的时间内,通过对反电势过零点数量的计数值除以极数获得电机转速。将速度PI的输出反馈到了电流PI输入端,再将检测到的相电流输出值经过STM32的A/D模块进行转换后,与输出值进行比较,再以偏差的形式通过电流PI构成电流环控制。电流PI模块输出能控制PWM占空比的信号,再通入驱动电路达到控制功率管的通断来达到调节转子电压的大小,也就可以灵活调节电机理想的空载转速点。当电机处于负载条件下,由电压和电流,电流与输出转矩的关系,同样可以通过调节转速,从

而达到控制电机输出转矩的目的,完成双闭环控制。

[0126] 无刷直流电机控制系统的控制实现过程,实验平台介绍,对功能单元电路分别进行设计,兼顾了额定工作电压和输出电流指标。本发明借鉴步进电机的开环运行方式启动电机工作,然后加速,再平稳切换到过零检测的闭环运行,其中,闭环运行程序中分为:反电势过零检测、转速计算等部分。另一部分是整个算法最重要的部分,即启动过零检测后,单片机要正确检测出过零点,这是换相的基础,就能得到转子实时位置,再经过延时计算,得出下一个换相点,驱动换相,提高换相的精确度。

[0127] 最后应说明的是:以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

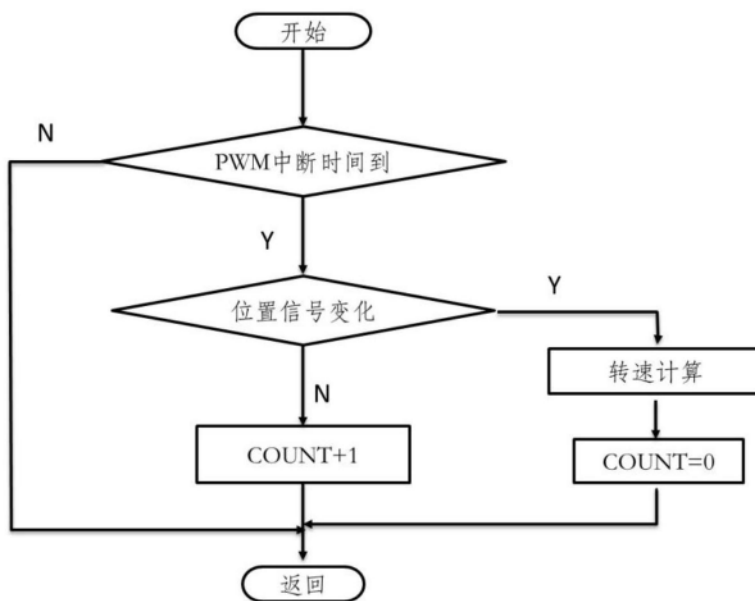


图1

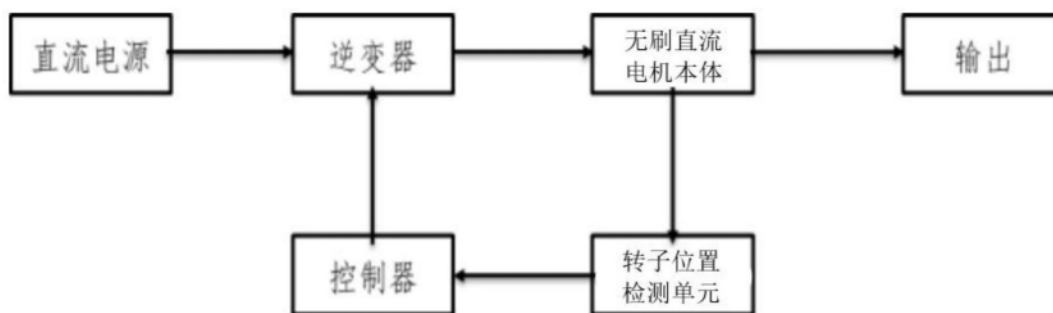


图2

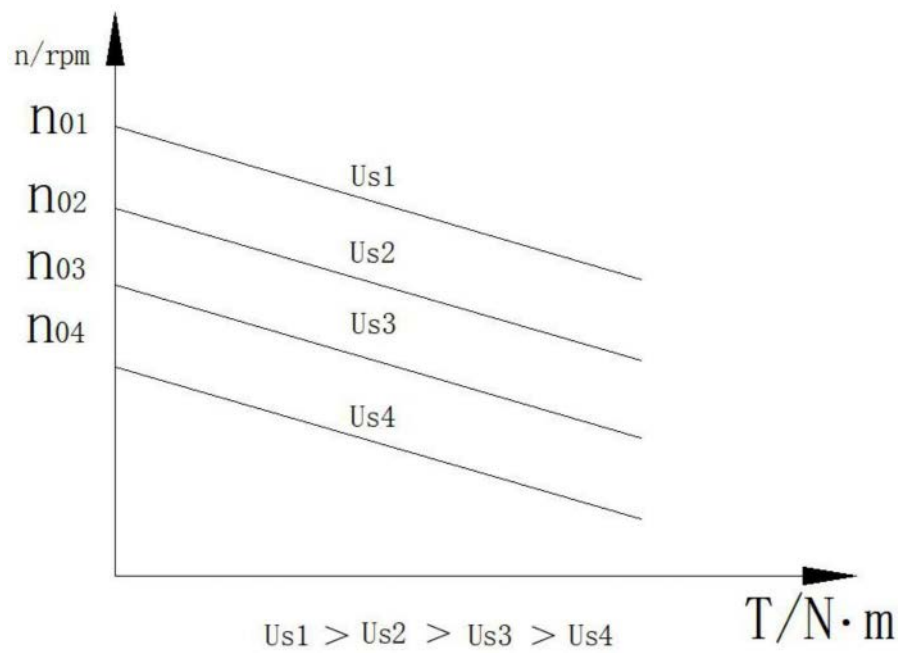


图3

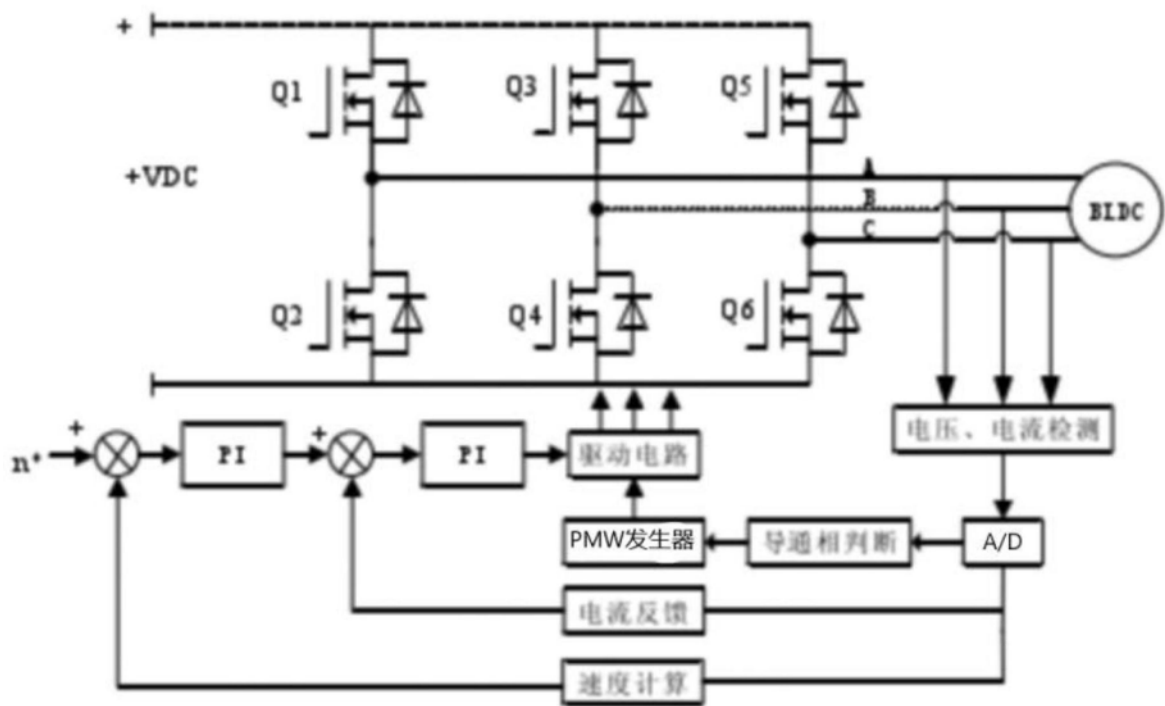


图4

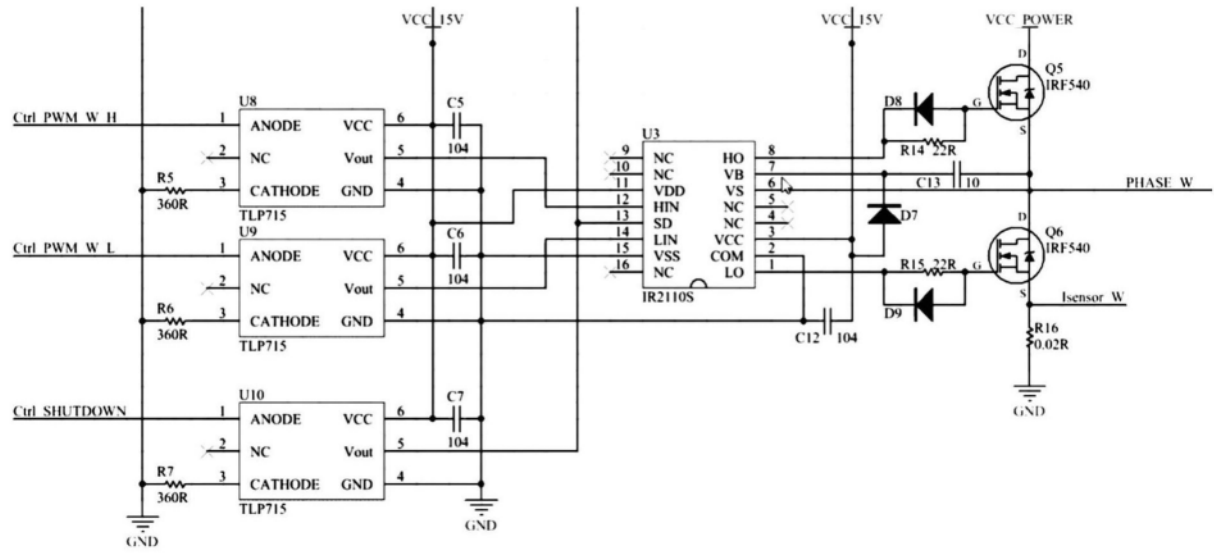


图5

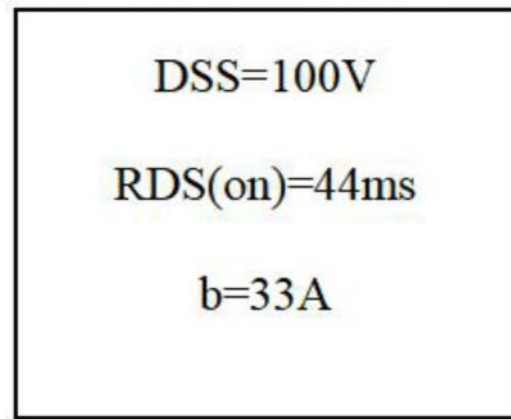


图6

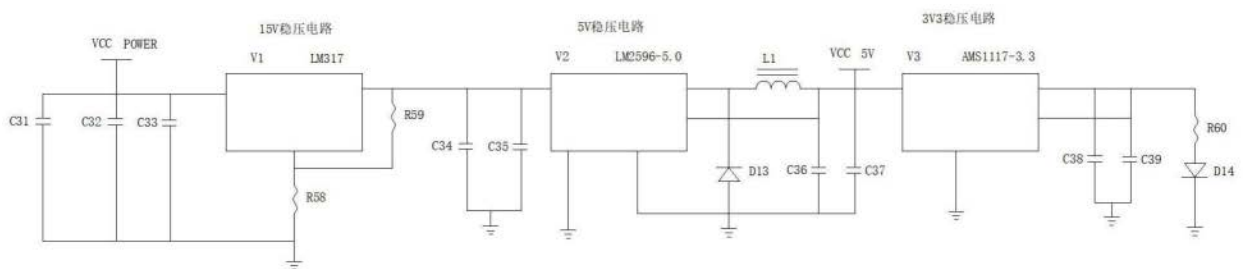


图7

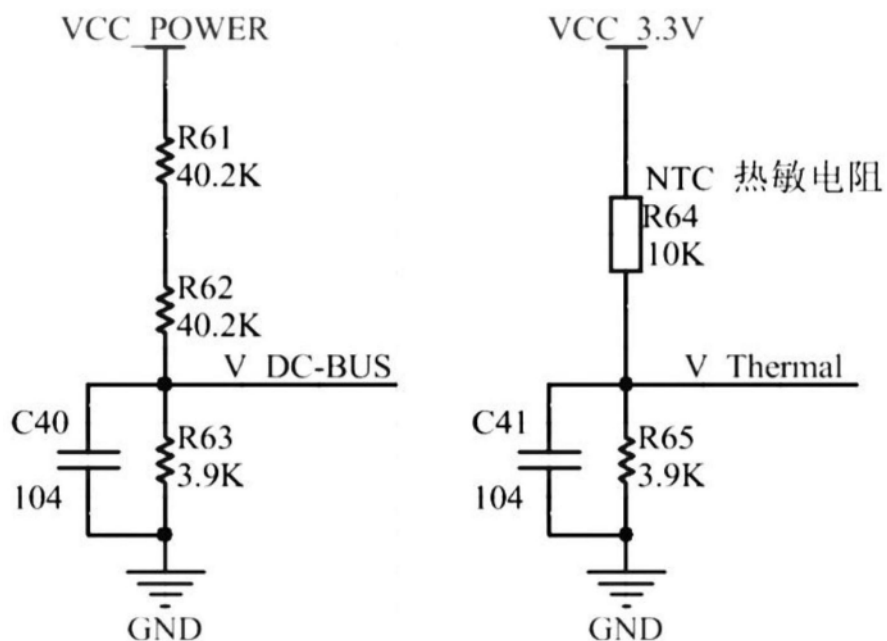


图8

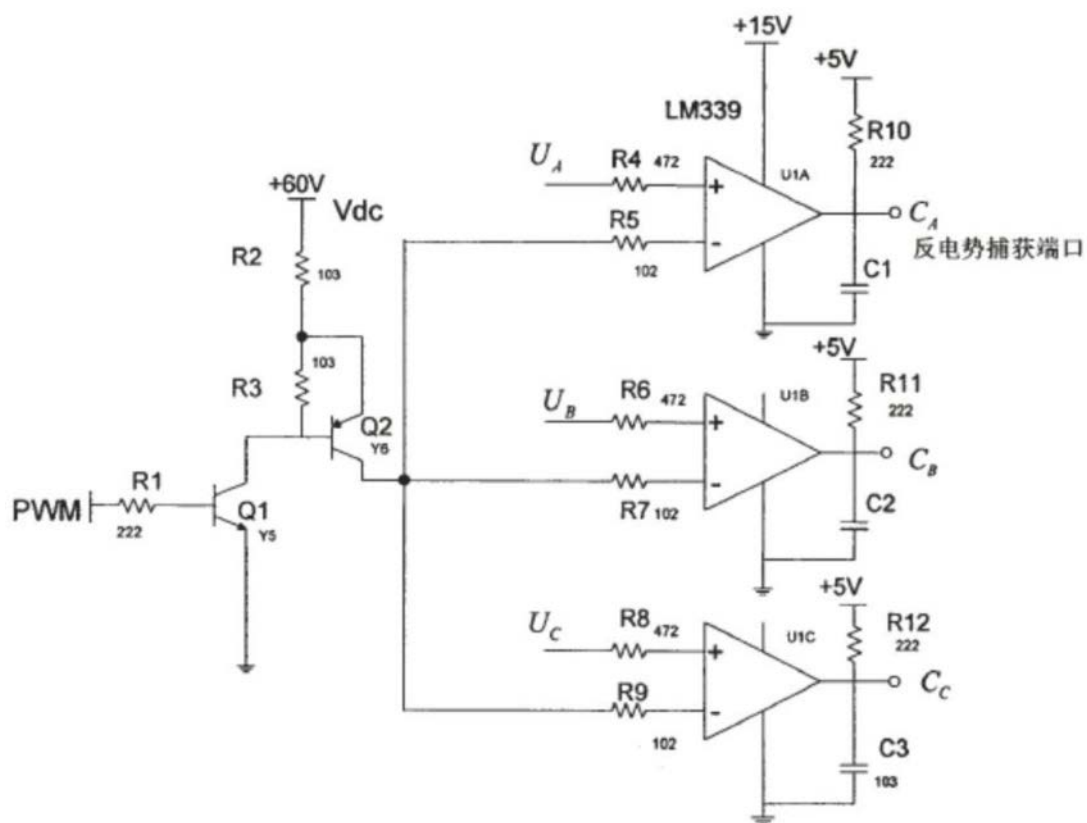


图9

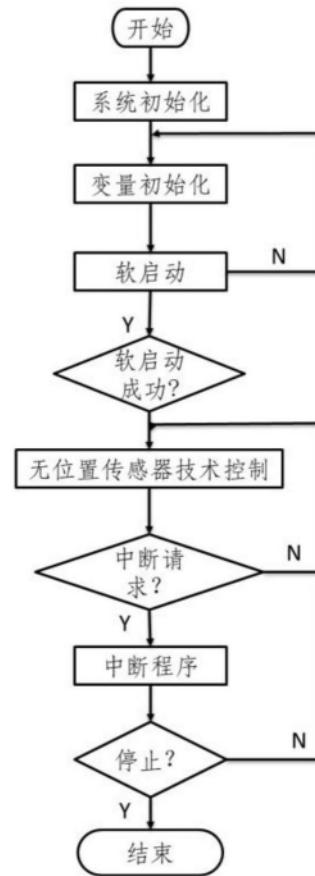


图10

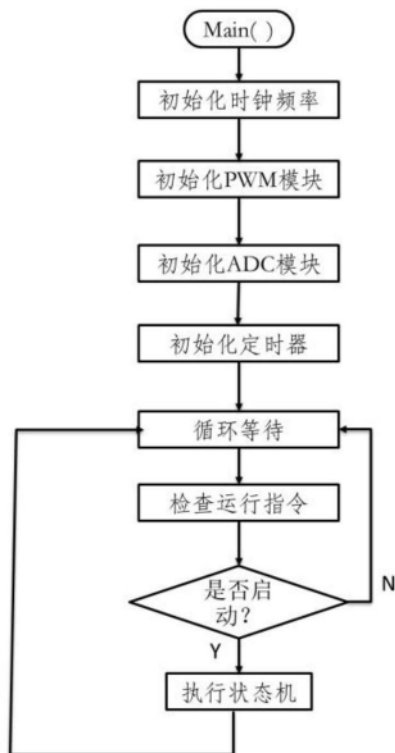


图11

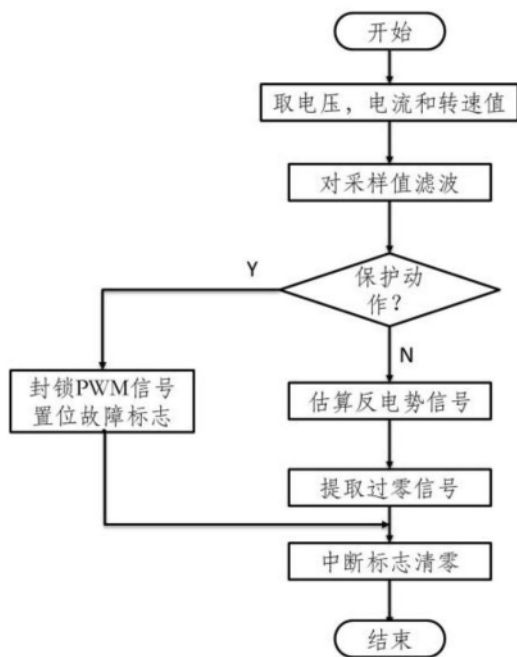


图12

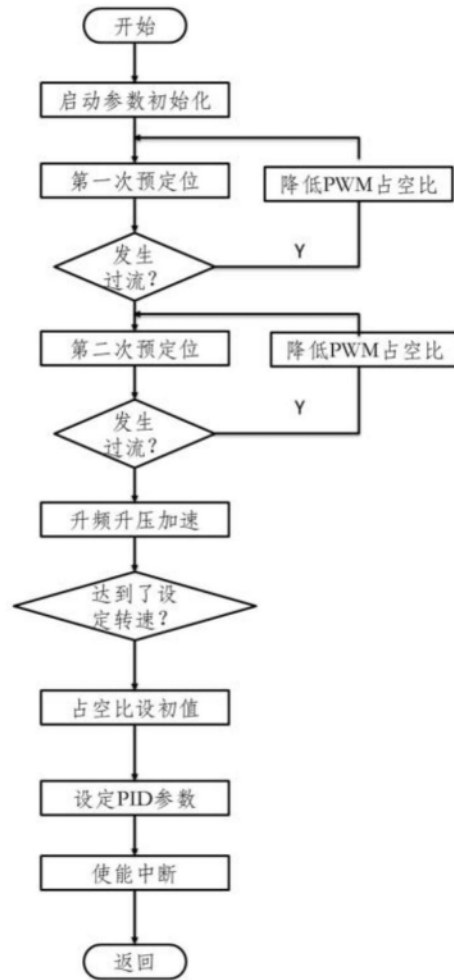


图13

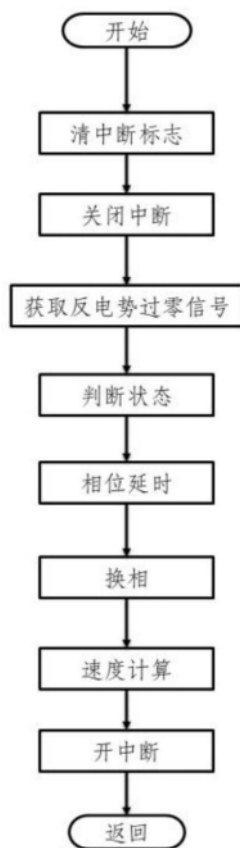


图14

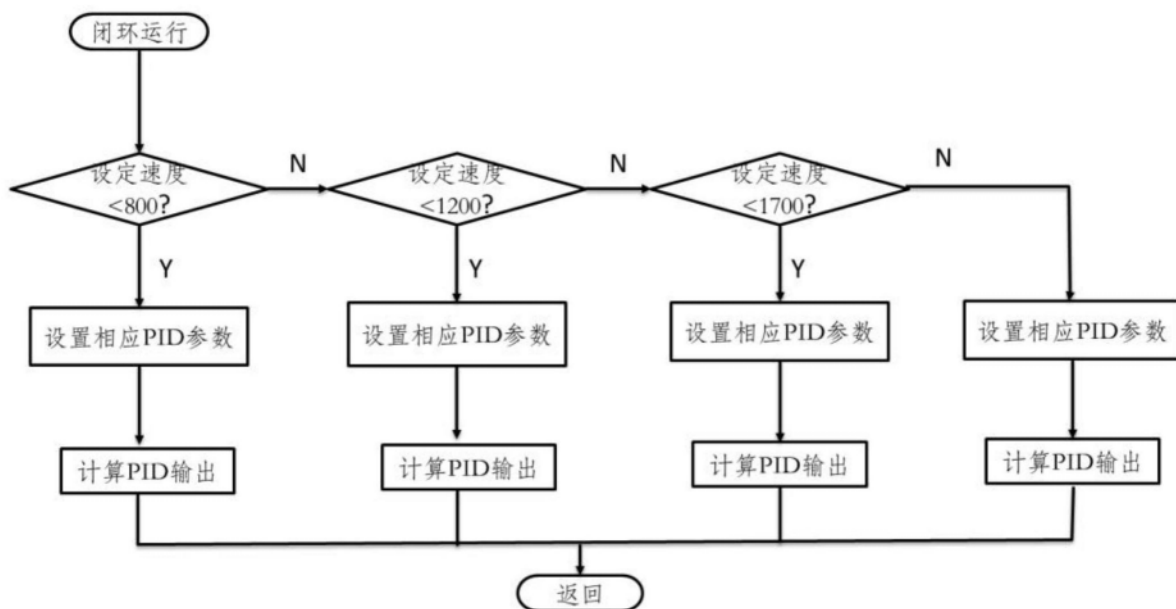


图15

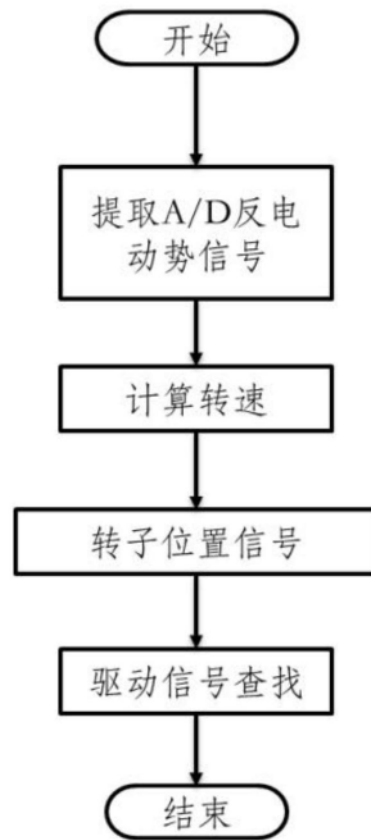


图16