(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102082535 B
(45)授权公告日 2013.04.03

(21)申请号 200910220202.6

(22)申请日 2009.11.27

(73)专利权人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街 114 号

(72)发明人 郭威 王明明

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002
代理人 李晓光

(51)Int.Cl.
*H02P 6/16*(2006.01)
*H02P 6/08*(2006.01)

(56)对比文件
CN 101188393 A,2008.05.28,
CN 201569663 U,2010.09.01,
郭崇军等．基于 C8051 的无刷直流电机控制系统．《机电工程》.2007, 第 24 卷（第 09 期），全文．
郭崇军等．基于 C8051 的无刷直流电机控制系统．《机电工程》.2007, 第 24 卷（第 09 期），全文．
程善美等．MLX90316 在无刷直流电动机控制中的应用．《微电机》.2008, 第 41 卷（第 11 期），
皇甫宜耿等．窗口过滤测速法在无刷直流电机测控系统中的应用．《测控技术》.2006, 第 25 卷（第 09 期），全文．
王锋等．基于 MC56F8323 的直流无刷电机调速控制系统．《仪器仪表用户》.2007,（第 03 期），全文．
刘广珠．电动车无刷直流电动机驱动电路及其速度控制．《微电机》.1999, 第 32 卷（第 06 期），全文．

审查员 刘志聪

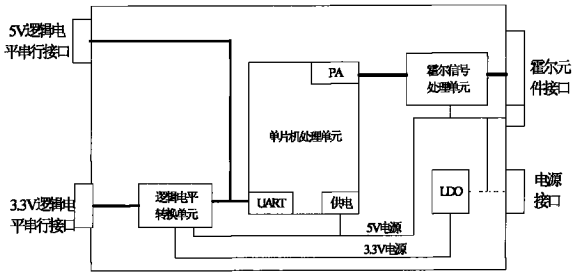
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 4 页

(54)发明名称

一种基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置及其控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置及其控制方法，包括：霍尔信号处理单元接收无刷直流电机的霍尔元件输入的霍尔信号进行滤波整形后输出至单片机处理单元；单片机处理单元对霍尔信号处理单元输入的信号进行核心算法处理后通过对外接口单元输出速度信息；对外接口单元具有 5V 和 3.3V 逻辑电平对外输出串行接口；方法包括：进行设备初始化；当有串口中断请求时，执行串口中断服务程序；当有定时器请求时执行定时器中断服务程序；如有结束命令则结束循环控制过程。本发明将利用霍尔元件测速的功能提炼出来，专门的测速模块，对外通过串口传递信息，便于系统的集成，较好的解决了测速波动的问题，具备故障报告机制，通用性较好。




CN 102082535 B

1. 一种基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置的控制方法，其特征在于包括以下步骤：

启动程序，进行设备初始化；

判断是否有串口中断请求或定时器中断请求；

当有串口中断请求时，执行串口中断服务程序；

当有定时器请求时，执行定时器中断服务程序；

如果有结束命令，则结束循环控制过程；

所述定时器中断服务程序包括以下步骤：

检测霍尔信号的状态；

根据上述信号状态进入相应状态的处理单元，进行电机转速的计算和处理；

保存当前状态值，退出中断；

所述霍尔信号的状态为 6 个，对应 6 个处理单元，状态处理单元程序具体流程是：

将当前状态值与前状态值进行比较，如果两者相等，转速的方向和大小保持不变；

如果前状态值与前序状态值相等，计算转速的大小设置方向为正向；

如果前状态值与当前状态值的后序状态值相等，计算转速的大小，设置方向为反向；

如果为其他值则设定为故障状态；

所述电机转速的通过以下方法计算：经过整形，霍尔信号传感器发出 HA、HB、HC 信号是三路相差 120° 的低频脉冲，这三路信号在 360° 电角度内组成了 6 个不同的代码，形成六种不同的状态，这六个代码依次是 101，100，110，010，011，001；正转时按照这个次序依次变化，反转时逆着这个次序依次变化，所以这三路信号包含着转速和转向的信息；如果电机磁极对数是 $N_0$，则电机每转一圈就会有 $N_0$ 组 6 个不同的状态，设定一个时钟频率是 $f_0$ 的计数器，电机每运行到一个状态，记录计数器的值为 $m_i$，则电机此时的转速为

$$n_i = \frac{60 f_0}{m_i - m_{i-6N_0}} \qquad (1)$$

考虑到计数器溢出，数值过大等问题时，可以对公式 (1) 进行变形，由于

$$m_i - m_{i-6N_0} = \sum_{j=i}^{i-6N_0+1} (m_j - m_{j-1}) \qquad (2)$$

令 $T_i = m_i - m_{i-1}$，(1) 式可变为

$$n_i = \frac{60 f_0}{\sum_{j=i}^{i-6N_0+1} T_j} \qquad (3)$$

所述采用滑动窗口求和算法将 $6N_0$ 次求和转化为两次求和；

对测得的转速进行平均值滤波，得到理想的电机转速；

所述串口中断程序包括以下步骤：

外部单片机发送表示通信开始的字符给单片机模块表示开始接收数据；

单片机模块接收到表示通信开始的字符后，开始发送速度数据的高位字节；

外部单片机接收到高位字节后，发送表示开始接收高位字节数据的字符给单片机模块，表示高位字节收到，开始接受低位字节；

单片机模块接收到表示开始接收高位字节数据的字符后，发送低位字节；

外部单片机接到低位字节后，把高位字节低位字节组合为完整的速度信息，然后提取速度的大小，方向，故障的信息，通信结束。

# 一种基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置及其控制方法

## 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电机测速技术，具体的说是一种基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置及其控制方法。

## 背景技术

[0002] 永磁无刷直流电机具有良好的调速性能，如无级调速、调速范围宽、高效率等，近年来广泛应用于水下机器人推进器驱动系统中。考虑到简化推进器机械结构的设计，一般直接采用电机自身的霍尔检测器的信号进行位置和速度反馈，不增加其他的位置和速度检测元件。采用霍尔信号对转速进行测量通常采用两种方法：一种是使用一路霍尔信号进行测量，由于单路信号分辨率比较低，反馈周期比较长，通常用在高速控制领域；一种是利用三路霍尔信号，通过逻辑电路或算法，产生 6 倍于一路霍尔信号频率的倍频信号，然后对其进行测量。但这两种方法对霍尔传感器在电机定子圆周上的定位有严格的要求，当霍尔传感器在电机定子圆周上定位有误差时，相邻两个正脉冲的宽度就会不一致，导致测得的转速波动很大。

## 发明内容

[0003] 针对现有技术中存在的上述不足之处，本发明要解决的技术问题是提供一种模块化、接口简单且测速波动较小的基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置及其控制方法。

[0004] 为了实现上述目的，本发明采用的技术方案是：

[0005] 本发明基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置包括霍尔信号处理单元、单片机处理单元以及对外接口单元，其中霍尔信号处理单元接收无刷直流电机的霍尔元件输入的霍尔信号，进行滤波整形后输出至单片机处理单元；单片机处理单元对霍尔信号处理单元输入的信号进行核心算法处理后，通过对外接口单元输出速度信息；对外接口单元具有 5V 和 3.3V 逻辑电平对外输出串行接口。

[0006] 所述霍尔信号处理单元具有阻容滤波电路和施密特反相器，其中阻容滤波电路的输入端接有霍尔元件输入的霍尔信号，输出端接至施密特反相器的输入端，施密特反相器将整形后的信号输出至单片机处理单元。

[0007] 本发明装置还具有逻辑电平变换单元，包括稳压模块和逻辑电平转换模块，稳压模块将外供电源转换成逻辑电平转换模块需要的工作电源，逻辑电平转换模块为对外接口单元提供逻辑电平对外输出串行接口。

[0008] 本发明基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置的控制方法包括以下步骤：

[0009] 启动程序，进行设备初始化；

[0010] 判断是否有串口中断请求或定时器中断请求；

[0011] 当有串口中断请求时，执行串口中断服务程序；

[0012] 当有定时器请求时，执行定时器中断服务程序；

[0013] 如果有结束命令，则结束循环控制过程。

[0014] 所述定时器中断服务程序包括以下步骤：

[0015] 检测霍尔信号的状态；

[0016] 根据上述信号状态进入相应状态的处理单元，进行电机转速的计算和处理；

[0017] 保存当前状态值，退出中断。

[0018] 所述霍尔信号的状态为 6 个，对应 6 个处理单元，状态处理单元程序具体流程是：

[0019] 将当前状态值与前状态值进行比较，如果两者相等，转速的方向和大小保持不变；

[0020] 如果前状态值与前序状态值相等，计算转速的大小设置方向为正向；

[0021] 如果前状态值与当前状态值的后序状态值相等，计算转速的大小，设置方向为反向；

[0022] 如果为其他值则设定为故障状态。

[0023] 所述电机转速的通过以下公式计算：

[0024] $$n_i = \frac{60 f_0}{\sum_{j=i-6N_0+1}^{i} T_j} \quad (3)$$

[0025] 其中 $f_0$ 为计数器的时钟频率，$T_i = m_i - m_{i-1}$，$m_i$ 为第 i 次状态变换时计数器的读数，$N_0$ 为电机磁极对数。

[0026] 所述串口中断程序包括以下步骤：

[0027] 外部单片机发送表示通信开始的字符给单片机模块表示开始接收数据；

[0028] 单片机模块接收到表示通信开始的字符后，开始发送速度数据的高位字节；

[0029] 外部单片机接收到高位字节后，发送表示开始接收高位字节数据的字符给单片机模块，表示高位字节收到，开始接受低位字节；

[0030] 单片机模块接收到表示开始接收高位字节数据的字符后，发送低位字节；

[0031] 外部单片机接到低位字节后，把高位字节低位字节组合为完整的速度信息，然后提取速度的大小，方向，故障的信息，通信结束。

[0032] 采用滑动窗口求和算法将 $6N_0$ 次求和转化为两次求和，电机转速公式处理算法如下：

[0033] 定义全局数组 A[$6N_0$]，全局变量 bcnt，atop，sum，局部变量 T，并将它们初始化为 0；

[0034] 执行 $T = m_i - bcnt$，$bcnt = m_i$，$sum = sum - A[atop] + T$，$A[atop] = T$，$atop = atop + 1$，假如 $atop = 6N_0$，则 $atop = 0$，当前速度 $= 6f_0/sum$；$m_i$ 为记录计数器的值；$N_0$ 为电机磁极对数；$f_0$ 为计数器的时钟频率；

[0035] 对测得的转速进行平均值滤波，得到理想的电机转速。

[0036] 本发明与现有技术相比，更具有如下优点：

[0037] 1. 功能模块化，接口简单。本发明将利用霍尔元件测速的功能提炼出来，设计了专门的测速模块，对外通过串口传递信息，便于系统的集成。

[0038] 2. 测速波动较小。对原有的倍频测速方法进行了改进，针对普通无刷直流电机霍尔传感器在电机定子圆周上定位有误差的问题提出了解决方法，从而较好的解决了测速波动的问题。

[0039] 3. 具备故障报告机制。当霍尔元件出现问题，测速功能出现问题时模块会上传故障信息，当短暂的故障消除时测速模块具备自动恢复功能，上传正确速度信息。

[0040] 4. 通用性较好。该发明通用性较强，也可用于各种普通无刷直流电机测速领域。

## 附图说明

[0041] 图 1 为本发明装置结构框图；

[0042] 图 2 为本发明装置整体电路原理图；

[0043] 图 3A 为发明控制方法主程序流程图；

[0044] 图 3B 为发明控制方法中中断请求过程流程图；

[0045] 图 4 为本发明控制方法中的定时器中断服务程序流程图；

[0046] 图 5 为本发明控制方法中的状态处理单元程序流程图。

## 具体实施方式

[0047] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0048] 如图 1 所示，本发明一种基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置包括霍尔信号处理单元、单片机处理单元以及对外接口单元，其中霍尔信号处理单元接收无刷直流电机的霍尔元件输入的霍尔信号，进行滤波整形后输出至单片机处理单元；单片机处理单元对霍尔信号处理单元输入的信号进行核心算法处理后，通过对外接口单元输出速度信息；对外接口单元具有 5V 和 3.3V 逻辑电平对外输出串行接口。

[0049] 所述单片机处理单元通过运行负责核心算法的实现，通过运行电机测量装置的控制程序来实现测速过程。

[0050] 霍尔信号处理单元具有阻容滤波电路和施密特反相器，其中阻容滤波电路的输入端接有霍尔元件输入的霍尔信号，输出端接至施密特反相器的输入端，施密特反相器将滤波整形后形成的标准的方波信号输出至单片机处理单元。

[0051] 还具有逻辑电平变换单元，包括稳压模块和逻辑电平转换模块，稳压模块将外供电源转换成逻辑电平转换模块需要的工作电源，逻辑电平转换模块为对外接口单元提供逻辑电平对外输出串行接口。

[0052] 对外接口单元包括 5V 逻辑电平串行接口，3.3V 电平逻辑串行接口，电源接口和霍尔信号接口，本发明电机测速装置通过电平逻辑串行接口对外进行串行通信，电源接口接 5V 电源；霍尔信号接口接电机霍尔元件输出的 5 根线。

[0053] 本发明电机测速装置的电气原理图如图 2 所示，5V 电源通过第 1 端子 J1 的第 4、5 管脚给整个电机测速装置供电，5V 电源经过稳压模块 U3(SPX1117-3.3V) 变换成 3.3V，给第 1、2 逻辑电平转换 U12_1、U12_2 供电；霍尔信号 HA、HB 和 HC 经过第 1 端子 J1 的 1、2 和 3 管脚，然后经过第 1 ～ 6 电阻 R1 ～ R6 和集成在一个 74HC14 施密特反相器中的第 1 ～ 6 反相器模块 U1A ～ U1F 组成的滤波整形电路后，接入到单片机处理单元的单片机模块 U2(ATMEGA8515L) 的 PA 口。单片机模块 U2 的串口引脚连接到第 2 端子 J2 的管脚，对外进行串行通信，输出为 5V 逻辑信号。单片机串口引脚模块经过第 1、2 逻辑电平转换模块 U12_1、U12_2 进行电平变换后连接到第 3 端子 J3 的管脚，对外进行串行通信，输出的是 3.3V 逻辑信号。

[0054] 如图 3A、3B 所示，本发明基于霍尔元件的无刷直流电机测速装置的控制方法包括以下步骤：

[0055] 启动程序，进行设备初始化后进入循环状态；

[0056] 判断是否有串口中断请求或定时器中断请求；

[0057] 当有串口中断请求时，执行串口中断服务程序；

[0058] 当有定时器请求时，执行定时器中断服务程序；

[0059] 如果有结束命令，则结束循环控制过程。

[0060] 所述中断处理程序主要执行 2 个中断服务程序，分别为 50us 定时器中断和串口中断。在定时器中断服务程序中，根据霍尔信号的状态计算出转速信息；在串口中断服务程序中，实现所述测速装置与外部单片机进行握手通信的功能。

[0061] 如图 4 所示，所述定时器中断服务程序包括以下步骤：

[0062] 检测霍尔信号的状态；

[0063] 根据上述信号状态进入相应状态的处理单元，进行电机转速的计算和处理；

[0064] 保存当前状态值，退出中断。

[0065] 电机转速的通过以下公式计算：

[0066] $$n_i = \frac{60 f_0}{\sum_{j=i-6N_0+1}^{i} T_j} \qquad (3)$$

[0067] 其中 $f_0$ 为计数器的时钟频率，$T_i = m_i - m_i - 1$，$m_i$ 为第 i 次状态变换时计数器的读数，$N_0$ 为电机磁极对数，j 为中间变量。

[0068] 如图 5 所示，所述霍尔信号的状态为 6 个，对应 6 个处理单元，其中第 1 状态处理单元 0 程序具体流程是：

[0069] 将当前状态值与前状态值 (st0) 进行比较，如果两者相等，转速的大小和方向保持不变；

[0070] 如果前状态值与前序状态值 (st5) 相等，计算转速的大小设置方向为正向；

[0071] 如果前状态值与当前状态值的后序状态值 (st1) 相等，计算转速的大小，设置方向为反向；

[0072] 如果为其他值则设定为故障状态。

[0073] 状态 st0-st5 分别与代码 101，100，110，010，011，001 相对应。

[0074] 其他状态处理单元的程序流程与第 1 状态处理单元的程序流程类似，只需要根据当前状态值修改它的前序状态值和后序状态值便可，例如对于第 2 状态处理单元 1，当前状态值是 st1，它的前序状态值是 st0，，它的后序状态值是 st2，依次类推。

[0075] 所述串口中断服务程序包括以下步骤：

[0076] 外部单片机发送设定的表示通信开始的字符（本实施例为字符“#”）给单片机模块 U2 表示开始接收数据；

[0077] 单片机模块 U2 接收到“#”后，开始发送速度数据的高位字节；

[0078] 外部单片机接收到高位字节后，发送设定的表示开始接收高位字节数据的字符（本实施例为字符“1”）给单片机模块 U2，表示高位字节收到，开始接受低位字节；

[0079] 单片机模块 U2 接收到“1”后，发送低位字节；

[0080] 外部单片机接到低位字节后，把高位字节低位字节组合为完整的速度信息，然后提取速度的大小、方向以及故障的信息，通信结束。

[0081] 采用两个字节来表示速度信息，第 1 位表示电机旋转的方向，第 2 位表示测速故障状态，后 14 位表示速度的大小，速度最大值是 16837 转每分。

[0082] 本发明电机测速的基本原理是：无刷直流电机一般采用霍尔开关型的转子位置检测器，通常用霍尔位置信号进行电机换向控制。经过整形，霍尔信号传感器发出 HA、HB、HC 信号是三路相差 120° 的低频脉冲，这三路信号在 360° 电角度内组成了 6 个不同的代码，形成六种不同的状态，这六个代码依次是 101，100，110，010，011，001。正转时按照这个次序依次变化，反转时逆着这个次序依次变化，所以这三路信号包含着转速和转向的信息。如果电机磁极对数是 $N_0$，则电机每转一圈就会有 $N_0$ 组 6 个不同的状态，设定一个时钟频率是 $f_0$ 的计数器，电机每运行到一个状态，记录计数器的值为 $m_i$，则电机此时的转速为

[0083] $$n_i = \frac{60 f_0}{m_i - m_{i-6N_0}} \qquad (1)$$

[0084] 所述测速装置的具体程序设计思想是：考虑到计数器溢出，数值过大等问题时，可以对公式 (1) 是进行变形，由于

[0085] $$m_i - m_{i-6N_0} = \sum_{j=i}^{i-6N_0+1} (m_j - m_{j-1}) \qquad (2)$$

[0086] 令 $T_i = m_i - m_{i-1}$，(1) 式是可变为

[0087] $$n_i = \frac{60 f_0}{\sum_{j=i}^{i-6N_0+1} T_j} \qquad (3)$$

[0088] 为了加快计算速度必须减少求和次数，采用滑动窗口求和算法将 $6N_0$ 次求和转化为两次求和，计算电机转速的处理算法如下：

[0089] (1) 定义一个全局数组 A[$6N_0$]，全局变量 bcnt，atop，sum，局部变量 T，并把他们初始化为 0，当前计数器的读数为 $m_i$；

[0090] (2) 执行 T = $m_i$-bcnt，bcnt = $m_i$，sum = sum-A[atop]+T，A[atop] = T，atop = atop+1，假如 atop = $6N_0$，则 atop = 0，当前速度 = $60f_0$/sum；$m_i$ 为记录计数器的值；$N_0$ 为电机磁极对数；$f_0$ 为计数器的时钟频率；

[0091] (3) 在电机转速的测量中，由于转速本身的脉动，随机干扰存在，对测得的转速进行平均值滤波，就会达到比较好的效果。

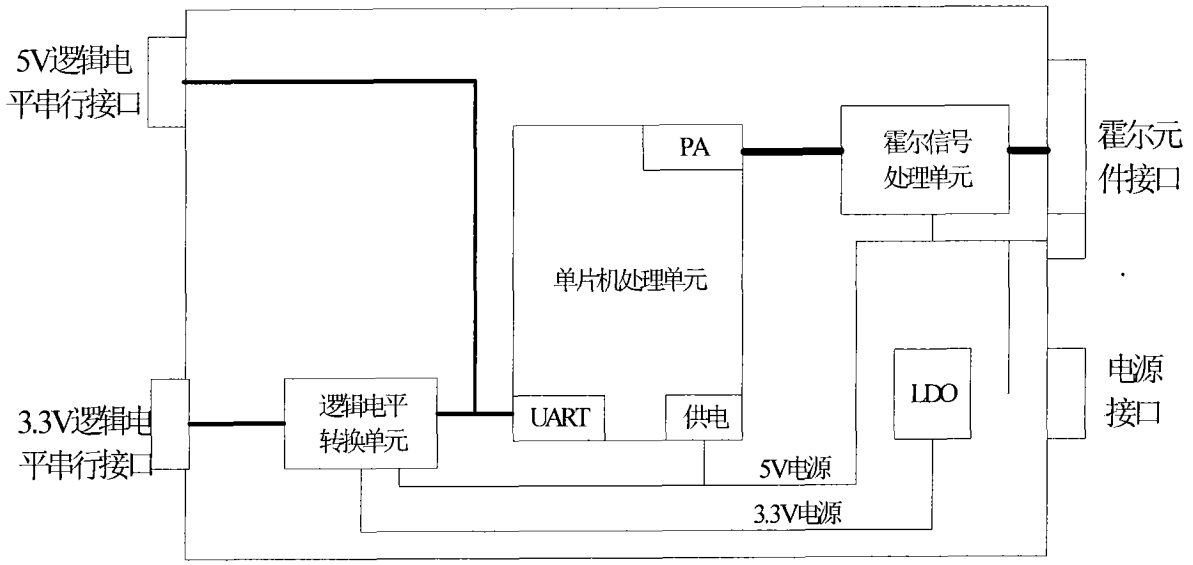

5V逻辑电平串行接口
3.3V逻辑电平串行接口
逻辑电平转换单元
单片机处理单元
PA
UART
供电
霍尔信号处理单元
LDO
5V电源
3.3V电源
霍尔元件接口
电源接口

图 1

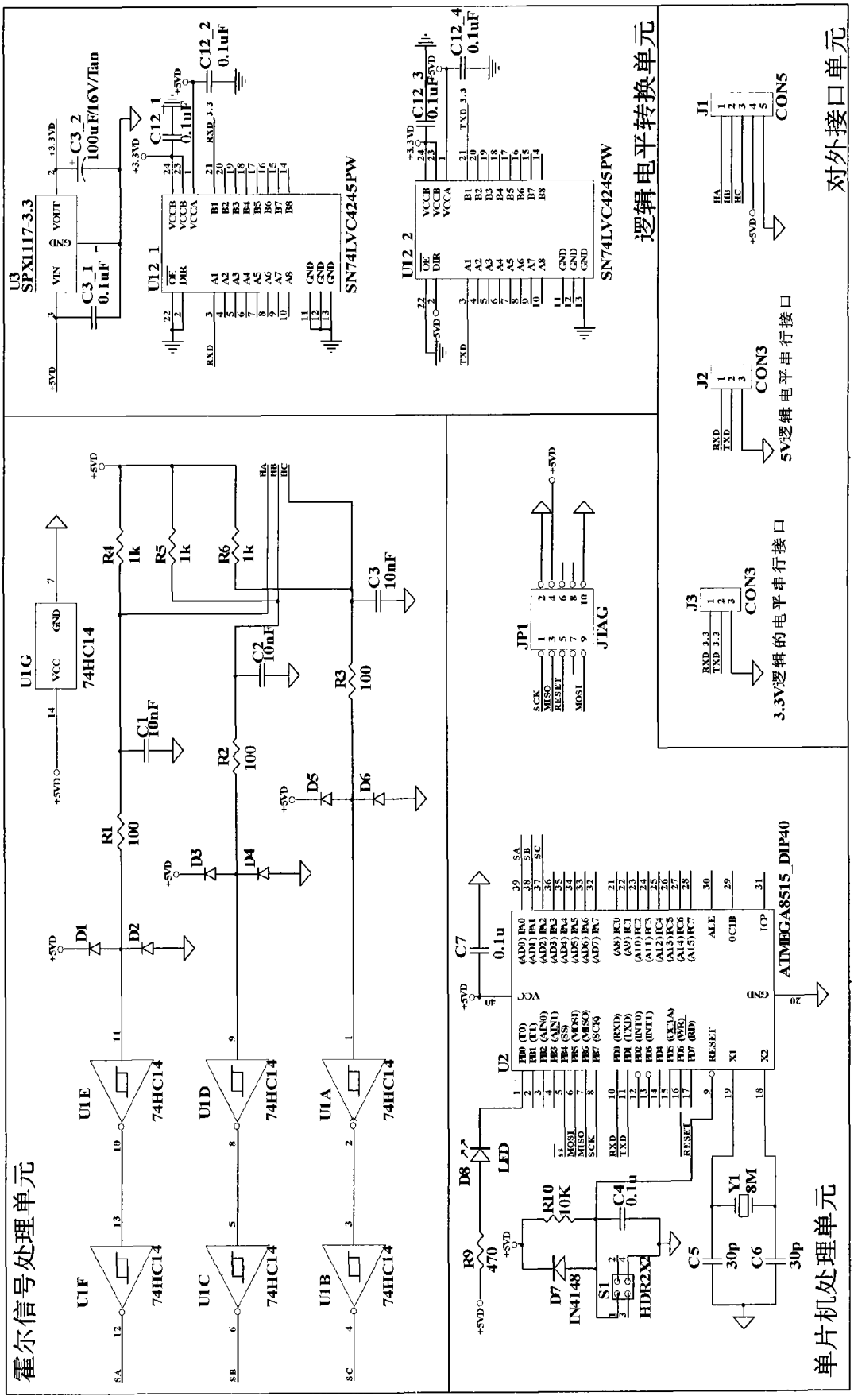

霍尔信号处理单元
逻辑电平转换单元
对外接口单元
单片机处理单元
U3
SPX1117-3.3
U12_1
U12_2
SN74LVC4245PW
U1G
74HC14
U1F
U1E
U1D
U1C
U1B
U1A
ATMEGA8515_DIP40
JP1
JTAG
J1
CON5
J2
CON3
5V逻辑电平串行接口
J3
CON3
3.3V逻辑的电平串行接口
S1
HDR2X2
D7
IN4148
LED
Y1
8M

图 2

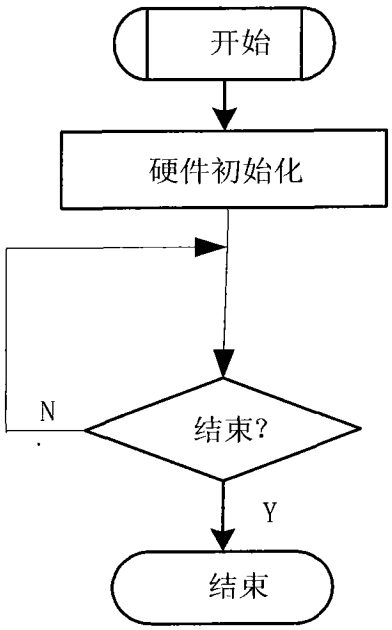

开始
硬件初始化
N
结束?
Y
结束

图 3A

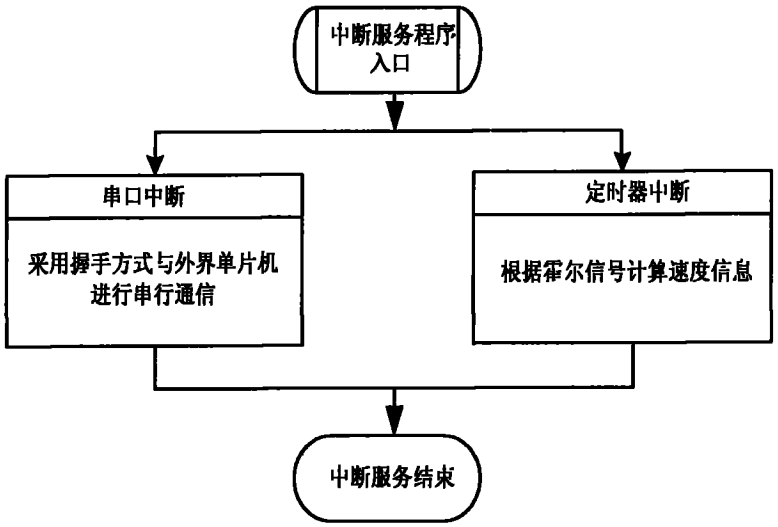

中断服务程序入口
串口中断
采用握手方式与外界单片机进行串行通信
定时器中断
根据霍尔信号计算速度信息
中断服务结束

图 3B

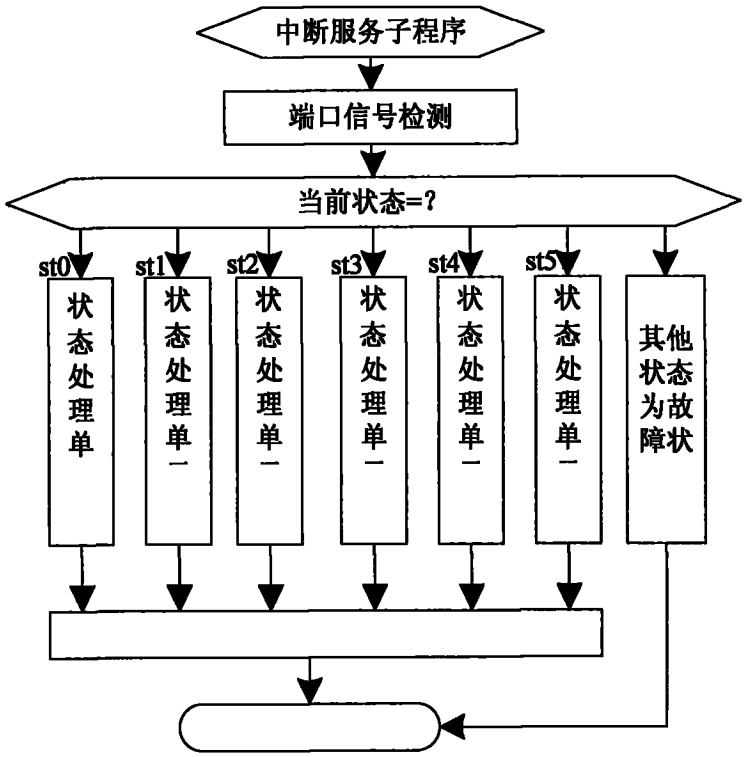

中断服务子程序
端口信号检测
当前状态=?
st0
状态处理单
st1
状态处理单一
st2
状态处理单一
st3
状态处理单一
st4
状态处理单一
st5
状态处理单一
其他状态为故障状

图 4

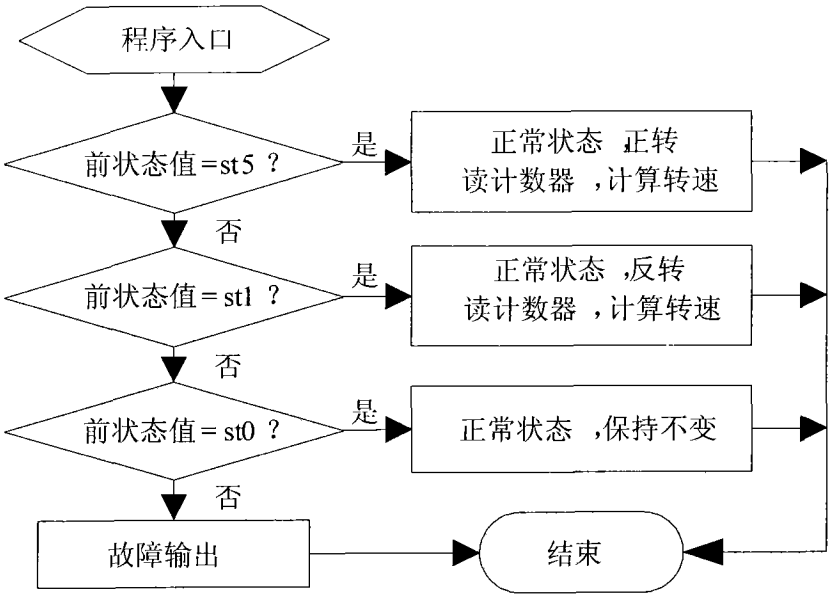

程序入口
前状态值=st5 ？
是
正常状态 ,正转
读计数器 ,计算转速
否
前状态值=st1 ？
是
正常状态 ,反转
读计数器 ,计算转速
否
前状态值=st0 ？
是
正常状态 ,保持不变
否
故障输出
结束

图 5