



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104483502 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 01

(21) 申请号 201410807143. 3

(22) 申请日 2014. 12. 23

(71) 申请人 三明学院

地址 365004 福建省三明市三元区荆东路
25 号

(72) 发明人 任雯 赖森财

(74) 专利代理机构 福州元创专利商标代理有限
公司 35100

代理人 蔡学俊

(51) Int. Cl.

G01P 3/44(2006. 01)

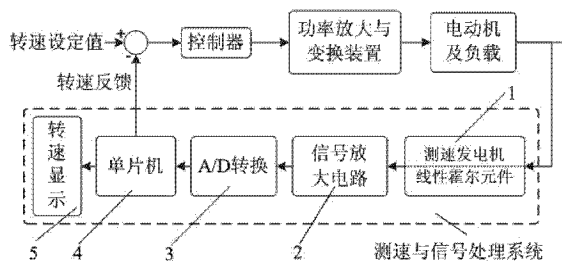
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法。所设计的测速系统包括测速发电机或线性霍尔元件、信号放大模块、A/D 转换模块、单片机处理模块以及速度输出显示模块。根据测速发电机或线性霍尔元件输出的正弦感应电动势，采用运行于单片机模块的数字算法直接估计出被测电机的精确实时转速，主要解决了传统模拟测速电路出现低转速反馈盲区的问题，实现了宽范围的被测电机连续实时转速精确测量。



1. 一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,其特征在于:包括如下步骤,

(1-1) 提供一基于单片机的电机测速装置,该电机测速装置包括依次连接的测速模块、信号放大模块、A/D 转换模块、单片机处理模块和速度输出显示模块;

(1-2) 通过测速模块测量被测电机的转速,并通过信号放大、A/D 转换及单片机处理模块处理获得测速模块的输出电压正弦波形的变化规律;

(1-3) 结合测速模块的输出感应电动势的特征,采用离散形式的测速模型,精确计算被测电机的实时转速。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,其特征在于:所述测速模块为测速发电机,所述步骤(1-2)的具体实现过程如下,

(2-1) 设 A/D 转换模块的采样周期为 $T_s=1/f_s$, 令离散步长 $\Delta t=T_s$, 则时刻 $k \triangleq t, k+1 \triangleq t+T_s$, 可得测速发电机输出感应电动势实时正弦离散时间序列为

$$e(k) = E_m(k) \sin \omega(k)k$$

式中: $\omega(k)=2\pi f(k)T_s=2\pi f(k)/f_s$ 为相对输出离散感应电动势的圆周频率,是相对离散信号 $e(k)$ 的频率变量; $f(k)$ 为第 k 步相对于连续信号 $e(t)$ 的连续频率变量; $E_m(k)$ 为电动势的幅值;

(2-2) 根据测速发电机绕组和磁路之间的关系,在被测电机与测速发电机同轴联接时,被测电机的实时转速 $n(k)$ 与测速发电机输出正弦波的幅值 $E_m(k)$ 成线性关系;通过实时测量值 $e(k)$, 估计得到 $\omega(k)$, 进而估计出 $n(k)=A_1\omega(k)$, 其中 A_1 为常数。

3. 根据权利要求 1 所述的一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,其特征在于:所述测速模块为线性霍尔元件,所述步骤(1-2)的具体实现过程如下,

(3-1) 设 A/D 转换模块的采样周期为 $T_s=1/f_s$, 令离散步长 $\Delta t=T_s$, 则时刻 $k \triangleq t, k+1 \triangleq t+T_s$, 可得线性霍尔元件输出感应电动势实时正弦离散时间序列为

$$e(k) = E_m(k) \sin \omega(k)k$$

式中: $\omega(k)=2\pi f(k)T_s=2\pi f(k)/f_s$ 为相对输出离散感应电动势的圆周频率,是相对离散信号 $e(k)$ 的频率变量; $f(k)$ 为第 k 步相对于连续信号 $e(t)$ 的连续频率变量; $E_m(k)$ 为电动势的幅值;

(3-2) 当线性霍尔元件在被测电机外壳的安装位置确定的情况下, $E_m(k)$ 不变,为常数 E_m' ; 被测电机的实时转速 $n(k)$ 与线性霍尔元件输出正弦波的角度 $\omega(k)$ 成线性关系;通过实时测量值 $e(k)$, 估计得到 $\omega(k)$, 进而估计出 $n(k)=A_2\omega(k)$, 其中 A_2 为常数。

4. 根据权利要求 2 所述的一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,其特征在于:所述步骤(1-3)的具体实现过程如下,

(4-1) 所述测速发电机输出感应电动势离散差分方程为

$$e(k+1) = e(k) + \frac{\Phi}{2T_s} (\omega(k+1) - \omega(k)) \sin(\omega(k)k) + \frac{\Phi\omega(k)}{2T_s} [k(\omega(k+1) - \omega(k)) + \omega(k)] \cos(\omega(k)k)$$

(4-2) 由上述差分方程式, 可导出初值 $\omega(0) = \sqrt{\frac{2(e(1) - e(0))T_s}{\Phi}}$ 以及 $\omega(k)$ 的递推计算表达式如下

$$\omega(k+1) = \frac{2T_s}{\Phi [\sin(\omega(k)k) + k\omega(k) \cos(\omega(k)k)]} \left[e(k+1) - e(k) + \frac{\Phi}{2T_s} \omega(k) \sin(\omega(k)k) - \frac{\Phi}{2T_s} \omega^2(k)(1-k) \cos(\omega(k)k) \right]$$

(4-3) 重复上式的递推计算过程, 根据测量值 $e(k)$, 在各个采样时刻可得 $\omega(1), \omega(2)$ 至 $\omega(n)$ 的值, 从而计算出被测电机的实时转速。

5. 根据权利要求 3 所述的一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法, 其特征在于: 所述步骤(1-3)的具体实现过程如下,

(5-1) 所述线性霍尔元件输出感应电动势离散差分方程为

$$e(k+1) = e(k) + E'_m [k(\omega(k+1) - \omega(k)) + \omega(k)] \cos(\omega(k)k)$$

(5-2) 由上述差分方程式, 可导出初值 $\omega(0) = \frac{e(1) - e(0)}{E'_m}$ 以及 $\omega(k)$ 的递推计算表达式如下

$$\omega(k+1) = \frac{1}{E'_m k \cos(\omega(k)k)} [e(k+1) - e(k) - E'_m (1-k) \omega(k) \cos(\omega(k)k)]$$

(5-3) 重复上式的递推计算过程, 根据测量值 $e(k)$, 在各个采样时刻可得 $\omega(1), \omega(2)$ 至 $\omega(n)$ 的值, 从而计算出被测电机的实时转速。

一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法

技术领域

[0001] 本发明属于机电控制领域,涉及一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,适用于各类以测速发电机和线性霍尔元件作为测速装置的闭环调速控制系统。

背景技术

[0002] 测速发电机和线性霍尔元件作为常用的两种模拟测速装置,都能够将被测电机的机械转速转换为电气信号,广泛地应用于各种速度或位置控制系统。测速发电机和线性霍尔元件的测速原理分别为:(1)测速发电机的绕组和磁路经精确设计,在被测电机与测速发电机同轴联接时,被测电机的转速与测速发电机输出正弦波的幅值成线性关系,与相位角无关;(2)根据霍尔效应原理,当线性霍尔元件在被测电机外壳的安装位置确定的情况下,被测电机的转速与线性霍尔元件输出正弦波的角速度成线性关系,而与幅值无关。

[0003] 传统测速模拟电路的实现方法是:(1)测速发电机输出的正弦电压波经单相桥式可控整流电路以及滤波电路转换为反映被测电机转速的平均模拟电平信号;(2)线性霍尔元件输出的正弦电压波经无源低通滤波电路、比较整形电路转换为同频率的脉冲方波信号。从上述两种传统测速方法的描述可看出,其转速测量值与一个或几个半波特特性相关,不能准确反映在半波内某一点的实时转速值。此外,在被测电机处于低速运行情况下,测速发电机的输出电压受整流电路中晶体二极管和滤波电路参数的影响较大。因此,上述传统模拟测速方法一般只适用于电机高转速测量和控制。

[0004] 由上面的分析可知,使用测速发电机或线性霍尔元件采用传统模拟测速方法测量被测电机低速运行状态时,将出现转速反馈盲区,闭环调速系统中的电机会出现抖动甚至失控现象,严重时会使整个控制系统失稳。因此,在设计以测速发电机或线性霍尔元件作为反馈传感器的电机控制系统时,需要一种宽范围的电机实时转速精确测速方法,从而保证控制系统的性能和稳定性。

发明内容

[0005] 为克服现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,提高测速精度。

[0006] 为实现上述目的,本发明的技术方案是:一种基于单片机的电机实时转速宽范围精确测速方法,其特征在于:包括如下步骤,

(1-1) 提供一基于单片机的电机测速装置,该电机测速装置包括依次连接的测速模块、信号放大模块、A/D 转换模块、单片机处理模块和速度输出显示模块;

(1-2) 通过测速模块测量被测电机的转速,并通过信号放大、A/D 转换及单片机处理模块处理获得测速模块的输出电压正弦波形的变化规律;

(1-3) 结合测速模块的输出感应电动势的特征,采用离散形式的测速模型,精确计算被测电机的实时转速。

[0007] 在本发明实施例中,所述测速模块为测速发电机,所述步骤(1-2)的具体实现过程

如下,

(2-1) 设 A/D 转换模块的采样周期为 $T_s=1/f_s$, 令离散步长 $\Delta t=T_s$, 则时刻 $k \triangleq t, k+1 \triangleq t+T_s$, 可得测速发电机输出感应电动势实时正弦离散时间序列为

$$e(k) = E_m(k) \sin \omega(k)k$$

式中: $\omega(k)=2\pi f(k)T_s=2\pi f(k)/f_s$ 为相对输出离散感应电动势的圆周频率, 是相对离散信号 $e(k)$ 的频率变量; $f(k)$ 为第 k 步相对于连续信号 $e(t)$ 的连续频率变量; $E_m(k)$ 为电动势的幅值;

(2-2) 根据测速发电机绕组和磁路之间的关系, 在被测电机与测速发电机同轴联接时, 被测电机的实时转速 $n(k)$ 与测速发电机输出正弦波的幅值 $E_m(k)$ 成线性关系; 通过实时测量值 $e(k)$, 估计得到 $\omega(k)$, 进而估计出 $n(k)=A_1\omega(k)$, 其中 A_1 为常数。

[0008] 在本发明实施例中, 所述测速模块为线性霍尔元件, 所述步骤(1-2)的具体实现过程如下,

(3-1) 设 A/D 转换模块的采样周期为 $T_s=1/f_s$, 令离散步长 $\Delta t=T_s$, 则时刻 $k \triangleq t, k+1 \triangleq t+T_s$, 可得线性霍尔元件输出感应电动势实时正弦离散时间序列为

$$e(k) = E_m(k) \sin \omega(k)k$$

式中: $\omega(k)=2\pi f(k)T_s=2\pi f(k)/f_s$ 为相对输出离散感应电动势的圆周频率, 是相对离散信号 $e(k)$ 的频率变量; $f(k)$ 为第 k 步相对于连续信号 $e(t)$ 的连续频率变量; $E_m(k)$ 为电动势的幅值;

(3-2) 当线性霍尔元件在被测电机外壳的安装位置确定的情况下, $E_m(k)$ 不变, 为常数 E'_m ; 被测电机的实时转速 $n(k)$ 与线性霍尔元件输出正弦波的角度 $\omega(k)$ 成线性关系; 通过实时测量值 $e(k)$, 估计得到 $\omega(k)$, 进而估计出 $n(k)=A_2\omega(k)$, 其中 A_2 为常数。

[0009] 在本发明实施例中, 所述测速模块为测速发电机, 所述步骤(1-3)的具体实现过程如下,

(4-1) 所述测速发电机输出感应电动势离散差分方程为

$$e(k+1) = e(k) + \frac{\Phi}{2T_s} (\omega(k+1) - \omega(k)) \sin(\omega(k)k) + \frac{\Phi\omega(k)}{2T_s} [k(\omega(k+1) - \omega(k)) + \omega(k)] \cos(\omega(k)k)$$

(4-2) 由上述差分方程式, 可导出初值 $\omega(0) = \sqrt{\frac{2(e(1)-e(0))T_s}{\Phi}}$ 以及 $\omega(k)$ 的递推计算表达式如下

$$\omega(k+1) = \frac{2T_s}{\Phi \left[\sin(\omega(k)k) + k\omega(k) \cos(\omega(k)k) \right]} \left[e(k+1) - e(k) + \frac{\Phi}{2T_s} \omega(k) \sin(\omega(k)k) - \frac{\Phi}{2T_s} \omega^2(k)(1-k) \cos(\omega(k)k) \right]$$

(4-3) 重复上式的递推计算过程, 根据测量值 $e(k)$, 在各个采样时刻可得 $\omega(1), \omega(2)$ 至 $\omega(n)$ 的值, 从而计算出被测电机的实时转速。

[0010] 在本发明实施例中, 所述测速模块为线性霍尔元件, 所述步骤(1-3)的具体实现过程如下,

(5-1) 所述线性霍尔元件输出感应电动势离散差分方程为

$$e(k+1) = e(k) + E_m' \left[k(\omega(k+1) - \omega(k)) + \omega(k) \right] \cos(\omega(k)k)$$

(5-2) 由上述差分方程式, 可导出初值 $\omega(0) = \frac{e(1) - e(0)}{E_m'}$ 以及 $\omega(k)$ 的递推计算表达式如下

$$\omega(k+1) = \frac{1}{E_m' k \cos(\omega(k)k)} \left[e(k+1) - e(k) - E_m' (1-k) \omega(k) \cos(\omega(k)k) \right]$$

(5-3) 重复上式的递推计算过程, 根据测量值 $e(k)$, 在各个采样时刻可得 $\omega(1), \omega(2)$ 至 $\omega(n)$ 的值, 从而计算出被测电机的实时转速。

[0011] 相较于现有技术, 本发明具有以下有益效果:

(1) 直接测量实时转速: 传统模拟测速电路输出的转速测量值与一个或几个半波特性相关, 反映一个或几个半波的平均转速, 不能准确反映在半波内某一点的实时转速值; 本发明提出的电机测速方法能够直接准确测量实时转速;

(2) 测速范围宽: 本发明提出的测速方法能够克服传统模拟测速方法的低速测速反馈盲区问题, 在高、低转速状态都适用;

(3) 工程应用范围广: 本发明专利提出的数字测速方法对各类基于测速发电机或线性霍尔元件的测速装置都适用; 并提出了一种简单、有效的宽范围转速测量工程算法。

附图说明

[0012] 图 1 是闭环调速系统原理框图。

[0013] 图中: 1- 测速发电机(或线性霍尔元件), 2- 信号放大模块, 3-A/D 转换模块, 4- 单片机处理模块, 5- 速度输出显示模块。

具体实施方式

[0014] 下面结合附图, 对本发明的技术方案进行具体说明。

[0015] 下面以测速发电机和线性霍尔元件作为实施例来说明本专利的算法特征和核心内容, 如图 1 所示, 但不作为对本发明的限定。图 1 中虚线框标识部分为本专利所述测速与信号处理系统硬件架构实施例: 测速发电机(或线性霍尔元件) 1 将机械转速转换为电气信

号,输出表现形式为正弦电压波,正弦电压波经信号放大模块 2 放大,放大后的正弦电压波采用 A/D 转换模块 3 变换为数字信号提供给单片机处理模块 4,单片机处理模块 4 将计算得到的电机转速反馈到闭环调速控制系统,并通过输出显示模块 5 实时显示。下面对采用测速发电机和线性霍尔元件作为测速装置的测速方法分别说明。

[0016] 1、本专利涉及的测速发电机测速原理可以描述如下：

[1.1] 测速发电机输出感应电动势实时值为

$$e(t) = E_m(t) \sin(\Omega(t)t) \quad (1)$$

式中： t 表示时间； $\Omega(t)$ 和 $E_m(t)$ 分别为感应电动势的连续角频率（单位： rad/s ）和最大值（单位： V ）。

[0017] [1.2] 假定本实施例的测速发电机有 p 对主磁极,电枢旋转的转速为 $n(t)$ （单位： r/min ）。由测速发电机基本工作原理可知,电枢绕组每经过一对主磁极,其中的感应电动势便经历一个周期,因此感应电动势的实际频率 $f(t)$ （单位： Hz ）为

$$f(t) = \frac{pn(t)}{60} \quad (2)$$

[1.3] 感应电动势的最大值 $E_m(t)$ 为

$$E_m(t) = \pi \Phi f(t) \quad (3)$$

式中： Φ 为气隙磁通量（单位： Wb ）。

[0018] [1.4] 由式 (2) 和式 (3) 中可得 $n(t)$ 和 $E_m(t)$ 的关系为

$$n(t) = \frac{60}{\pi p \Phi} E_m(t) \quad (4)$$

从式 (4) 可以看出,测速发电机输出感应电动势的最大值 $E_m(t)$ 和电枢旋转转速 $n(t)$ 成正比。

[0019] [1.5] 由于 $\Omega(t) = 2\pi f(t)$,可知 $E_m(t) = \Phi \Omega(t) / 2$,则进一步推导出

$$n(t) = \frac{30}{\pi p} \Omega(t) \quad (5)$$

因此,通过实时检测 $\Omega(t)$ 就可以确定被测电机的实时转速 $n(t)$,实现测速。

[0020] 2、由于本专利提供的测速算法运行于单片机处理模块 4,因此需要将测速发电机的测速模型转换为离散形式,具体如下：

[2.1] 根据 $E_m(t) = \Phi \Omega(t) / 2$,可将式 (1) 重写为

$$e(t) = \frac{\Phi \Omega(t)}{2} \sin(\Omega(t)t) \quad (6)$$

[2.2] 假定 A/D 转换模块 3 的采样周期为 $T_s = 1/f_s$,令离散步长 $\Delta t = T_s$,则时刻 $k \triangleq t$, $k+1 \triangleq k+T_s$,则可得测速发电机输出感应电动势实时正弦离散时间序列为

$$e(k) = \frac{\Phi \omega(k)}{2T_s} \sin(\omega(k)k) \quad (7)$$

式中： $k=0, 1, 2, \dots$, $\omega(k)=2\pi f(k)T_s=2\pi f(k)/f_s$ 为相对输出离散感应电动势的圆周频率（单位： rad ），是相对离散信号 $e(k)$ 的频率变量； $f(k)$ 为 k 时刻相对于连续信号 $e(t)$ 的连续频率变量； $T_s=1/f_s$ 为 A/D 转换模块 3 的采样周期。

[0021] [2.3] 为了避免传统模拟测速电路的缺陷，本专利通过实时测量测速发电机输出感应电动势的实时值（测量值） $e(k)$ 来估计 $\omega(k)$ ，从而得到被测电机的转速为

$$n(k) = \frac{30}{\pi p} \omega(k) \quad (8)$$

3、采用测速发电机作为测速装置，所述单片机处理模块 4 中运行的本发明专利提出的易于工程实现、简单测速算法流程为：

[3.1] 定义如下方程：

$$\begin{cases} \Delta e(k) \triangleq e(k+1) - e(k) \\ \Delta \omega(k) \triangleq \omega(k+1) - \omega(k) \\ \Delta k = 1 \triangleq \Delta t = T_s \end{cases} \quad (9)$$

[3.2] 根据式 (7) 可得测速发电机输出感应电动势离散差分方程为

$$\Delta e(k) = \frac{\Phi}{2T_s} \Delta \omega(k) \sin(\omega(k)k) + \frac{\Phi \omega(k)}{2T_s} [k \cdot \Delta \omega(k) + \omega(k) \cdot \Delta k] \cos(\omega(k)k) \quad (10)$$

[3.3] 将方程式组 (9) 代入式 (10) 可得：

$$\begin{aligned} e(k+1) = e(k) + \frac{\Phi}{2T_s} (\omega(k+1) - \omega(k)) \sin(\omega(k)k) \\ + \frac{\Phi \omega(k)}{2T_s} [k(\omega(k+1) - \omega(k)) + \omega(k)] \cos(\omega(k)k) \end{aligned} \quad (11)$$

[3.4] 当 $k=0$ 时，由式 (11) 可得初始值

$$\omega(0) = \sqrt{\frac{2(e(1) - e(0))T_s}{\Phi}} \quad (12)$$

从式 (12) 可以看出，初始值 $\omega(0)$ 在 $k=0$ 时无法得到，需要在 $k=1$ 时测得 $e(1)$ 后从式 (12) 求出。

[0022] [3.5] 在确定初值 $\omega(0)$ 后，根据测量值 $e(k)$ ，由式 (11) 可导出 $\omega(k)$ 的计算表达式如下

$$\begin{aligned} \omega(k+1) = \frac{2T_s}{\Phi [\sin(\omega(k)k) + k\omega(k) \cos(\omega(k)k)]} [e(k+1) - e(k) \\ + \frac{\Phi}{2T_s} \omega(k) \sin(\omega(k)k) - \frac{\Phi}{2T_s} \omega^2(k)(1-k) \cos(\omega(k)k)] \end{aligned} \quad (13)$$

重复式 (13) 的递推计算过程，在各个采样时刻可得 $\omega(1), \omega(2), \omega(3), \dots$ ，从而计算出被

测电机的实时转速。

[0023] 4、线性霍尔元件与测速发电机的测速原理相似,说明如下:

[4.1] 线性霍尔元件输出感应电动势实时正弦离散时间序列为

$$e(k) = E'_m \sin(\omega(k)k) \quad (14)$$

式中: $k=0, 1, 2, \dots$, $\omega(k)=2\pi f(k)T_s=2\pi f(k)/f_s$ 为相对输出离散感应电动势的圆周频率(单位:rad),是相对离散信号 $e(k)$ 的频率变量; $f(k)$ 为 k 时刻相对于连续信号 $e(t)$ 的连续频率变量。

[0024] [4.2] 当线性霍尔元件在原动机外壳的安装位置确定的情况下,输出正弦电压波最大幅值为常数 E'_m 。在工程实践中,需通过实验确定线性霍尔元件在原动机外壳的安装位置以获得最佳的输出电压信号。被测电动机的实时转速 $n(k)$ 与线性霍尔元件输出正弦波的角速度 $\omega(k)$ 成线性关系。本专利通过实时测量线性霍尔元件的输出感应电动势实时值 $e(k)$, 计算得到 $\omega(k)$, 进而得到被测电机转速为

$$n(k) = \frac{30}{\pi} \omega(k) \quad (15)$$

5、采用线性霍尔元件作为测速装置,所述单片机处理模块4中运行的本发明专利提出的易于工程实现、简单测速算法流程为:

[5.1] 根据式(14)可得线性霍尔元件输出感应电动势离散差分方程为

$$\Delta e(k) = E'_m [k \cdot \Delta \omega(k) + \omega(k) \cdot \Delta k] \cos(\omega(k)k) \quad (16)$$

[5.2] 将方程式组(9)代入式(16)可得:

$$e(k+1) = e(k) + E'_m [k(\omega(k+1) - \omega(k)) + \omega(k)] \cos(\omega(k)k) \quad (17)$$

[5.3] 当 $k=0$ 时,由式(17)可得初始值

$$\omega(0) = \frac{e(1) - e(0)}{E'_m} \quad (18)$$

从式(18)可以看出,初始值 $\omega(0)$ 在 $k=0$ 时刻无法得到,需要在 $k=1$ 时刻测得 $e(1)$ 后从式(18)求出。

[0025] [5.4] 在确定初值 $\omega(0)$ 后,根据测量值 $e(k)$,由式(17)可导出 $\omega(k)$ 的计算表达式如下

$$\omega(k+1) = \frac{1}{E'_m k \cos(\omega(k)k)} [e(k+1) - e(k) - E'_m (1-k) \omega(k) \cos(\omega(k)k)] \quad (19)$$

重复式(19)的递推计算过程,在各个采样时刻可得 $\omega(1), \omega(2), \omega(3), \dots$, 从而计算出被测电机的实时转速。

[0026] 以上以测速发电机和线性霍尔元件对本发明的具体实施过程进行了描述和说明,应该被认为只是示例性的,本发明的实施不限于此,本领域的技术人员能自然的将本发明的设计方法推广,用于解决各类宽范围、高精度测速问题。本发明应根据所附的权利要求进行解释。

[0027] 以上是本发明的较佳实施例,凡依本发明技术方案所作的改变,所产生的功能作用未超出本发明技术方案的范围时,均属于本发明的保护范围。

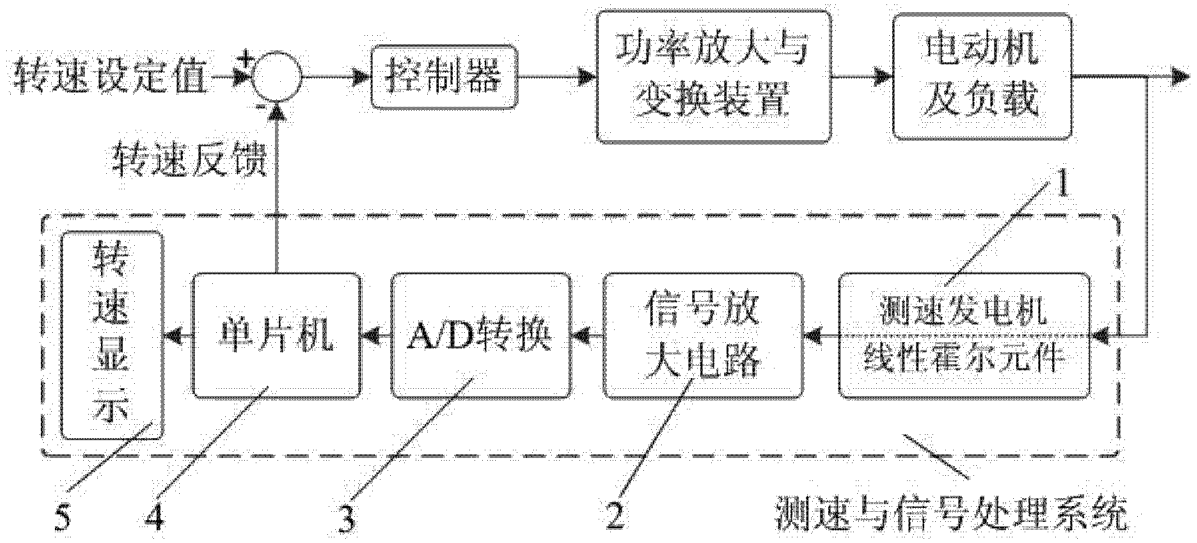


图 1