

文章编号: 1000-5013(2008)03 0364-03

色选系统中 PWM 调速系统的设计

施金前, 郑力新, 周凯汀

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 在传统的增量 PID 控制算法的基础上, 提出改良的 PID 控制算法. 设计一种基于单片机控制的、低分辨率脉冲测速和脉宽调制(PWM)驱动的数字式闭环调速系统. 系统的测速环节由 U GN- 3020 霍尔传感器和电机主轴上的 6 孔圆盘组成, 电机每转动一周可检测到 6 个检测脉冲, 送入单片机的计数器计数, 每 0. 2 s 读取计数值, 经计算可得电机的转速. 系统具有无级调速、速度显示及较强的抗负载扰动能力, 在控制精度要求不高的情况下, 可以实现对速度的稳定控制.

关键词: 脉宽调制驱动; 闭环调速; 低分辨率; PID 控制算法; 单片机

中图分类号: TM 761; TP 273+ 5 文献标识码: A

在许多简易机电系统中, 直流调速系统一般都采用开环控制, 而且调速方法也较为简单, 即采用皮带轮切换变速法或多抽头变压器整流滤波电路切换法. 它们不同程度都存在如下 3 个缺点^[1]. (1) 无法实现无级调速, 变速过程较繁琐. (2) 速度易受负载影响(开环结构的缺点). (3) 速度无法直接显示, 不能直观地查看设备的运行情况. 一些成熟的设计方法^[2-3]解决了这些问题, 但检测电路与控制算法都较为复杂, 成本也较高, 对于改造中低档设备并不合适. 本文设计一种基于单片机控制的、低分辨率脉冲测速和脉冲宽度调制(PWM)驱动的数字式闭环调速系统, 并提出相应的控制算法.

1 方案设计

改造小功率直流简易调速系统, 控制方案如图 1 所示. 系统控制核心采用 STC89C51 单片机, 其价格低廉, 具有 3 个定时/ 计数器和在系统编程(ISP)的功能, 便于升级. 采用 PWM 驱动, PWM 波形如图 2 所示. 高电平时, 电机开通; 低电平时, 电机关断. 电机获得的直流平均电压为

$$\overline{U_d} = \frac{t_1}{(t_1 + t_2)} U_d = t_1 f_{PWM} U_d.$$

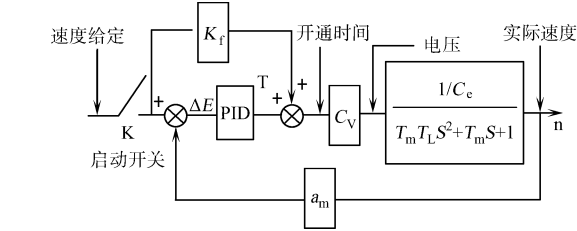


图 1 系统控制框图

Fig. 1 System control flow diagram

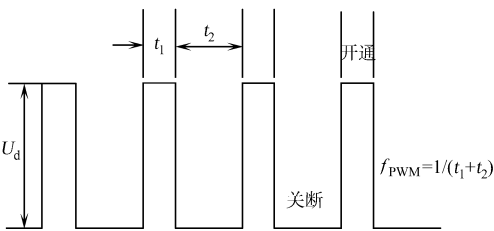


图 2 PWM 输出波形

Fig. 2 PWM output waveform

当 f_{PWM} 与 U_d 不变时, 改变 t_1 就能达到无级调速的目的. 图 2 中 $f_{PWM} = 2\text{ kHz}$, K_f 为前馈放大倍数, C_v 为“开通时间”与电压的转换系数, $(1/C_e)/(T_m T_L S^2 + T_m S + 1)$ 为电路数学模型(忽略负载电

流)。基本控制流程是: 速度设定后, 合上 K 启动电机, 通过 K_f 的作用, 电机转速迅速上升到一定数值。根据 ΔE 控制前馈量 T 相应地增加或减少, 以控制 PWM 波形的 t_1 长短, 达到 ΔE 趋于零的目的。

2 硬件电路的实现

考虑成本和加工难度等因素, 测速机构采用 UGN-3020 霍尔传感器和电机主轴上的 6 个圆形磁钢组成, 故存在较大的检测误差, 导致电机转速的输出波形不太稳定。(1) 速度显示. 由 P1 口完成, P1.0~P1.3 输出速度 BCD 码经 7448 译成七段码驱动 LED, P1.4~P1.5 经 74LS139 译码选择对应数码管。(2) 速度给定. P3.4 脚与 555 振荡电路一起构成速度给定设定电路. 555 振荡电路第 3 脚输出脉冲频率 $f_c = 1.44/[2\pi C_1(R_1 + 2R_2 + 2R_w)]$, 频率可由 R_w 调节, 代表着转速的设置值. P1.7 与开关 K 相当于图 1 中的启动开关 K。(3) 速度检测. UGN-3020 是一个霍尔开关集成电路, 当外部磁钢靠近它时, 3 脚输出高电平; 如果外部磁钢远离它, 则输出低电平. 测速时, 在电机主轴上同心地安装一个直径约 7 cm 的圆盘, 在其边缘处每隔 60° 嵌入一小块圆形磁钢, 让电机在旋转过程中使磁钢逐一经过 UGN-3020 表面. 这样电机每转动一圈可产生 6 个脉冲, 并经 P3.5 内部计数器 T_1 计数。(4) PWM 输出. P1.6 在程序控制下输出如图 2 所示的 PWM 波形, 经光电耦合器与达林顿管 2N6059 放大后驱动直流电动机. R_4 , C_3 可起到保护达林顿管的作用. STC89C51 可通过 MAX232 与计算机通讯, 在必要时, 单片机程序可通过串口从计算机机下载到单片机中, 达到升级单片机程序的目的^[4]。

3 改良的控制算法

采用改良型 PID(比例积分微分)算法结合 C_v 来产生 PWM 波形. 在启动时, 为了使速度尽快上升, 程序对速度给定进行了前馈放大(K_f). 启动后, T_0 , T_1 分别对各自的输入脉冲进行计数, 时间间隔 ΔT 为 0.2 s. T_0 与 T_1 的计数值相减来形成 ΔE , 由改进型 PID 算法控制产生输出并与前馈量结合产生 T , 由 T 控制开通时间的长短. 电机每转动一周, 检测到 6 个检测脉冲, 送入单片机的计数器 1 计数, 每 0.2 s 读取计数值, 经计算可得电机的转速。

改良的 PID 控制算法的基本思想: 当转速偏差在 $N(t)/a$ (a 为一个自适应的系数) 之内变化时, PID 调节算法不起作用, PID 输出维持原值; 当转速误差在 $N(t)/a$ 以外时, PID 调节起作用, 从而体现了此 PID 算法的“自适应性”. 至于 a 的取值, 可先根据调试情况列一张表供需要时查询, $N(t)$ 越大, a 的取值越大, 当经验值 $N(t)$ 取 $1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, a 取 5; $N(t)$ 取 $600 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, a 取 3. 修改后的 PID 算法能使 PID 输出较稳定, 较好地解决了问题. 改良型 PID 算法有如下 6 个步骤. (1) 给定初始条件. $e(k-1) = e(k-2) = u(k-1) = 0$. (2) 取得所设定转速 $N(k)$ 的值, 并根据 $N(k)$ 的大小查表得到 a . (3) 取得所测量的转速值 $n(k)$, 并计算 $e(k) = N(k) - n(k)$. (4) 比较 $e(k)$ 与 $N(k)/a$ 的大小. 当 $e(k) > N(k)/a$ 时, 执行第 5 步; 否则, 执行第 6 步. (5) 执行经典增量 PID 算法^[3]. $u(k) = u(k-1) + K_p(e(k) - e(k-1)) + K_i e(k) + K_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2))$. (6) 存储数据. $e(k-2) = e(k-1)$, $e(k-1) = e(k)$, $u(k-1) = u(k)$, 转到第 2 步. 系统流程图如图 3 所示。

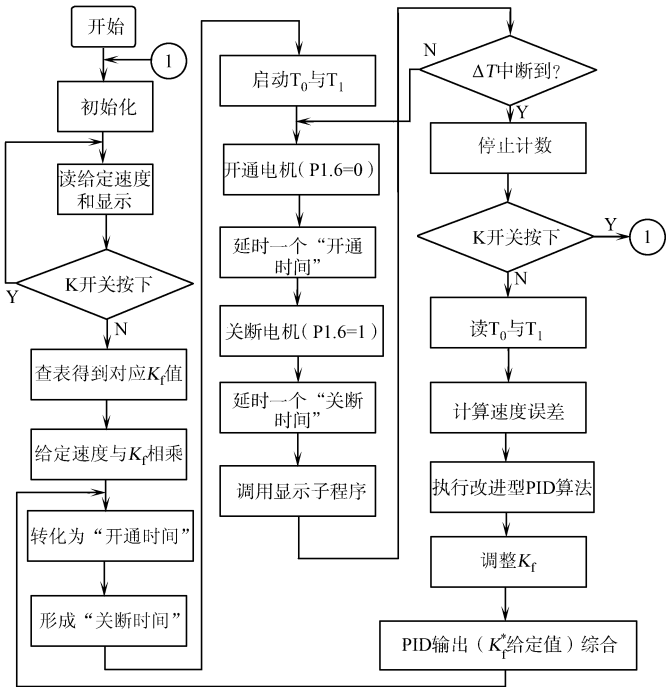


图 3 系统流程图

Fig.3 System flow chart

4 结 论

将 ST C89C51 通过 MAX232 与 PC 机通讯, 并通过 Lab Windows/ CVI^[6] 编写一个测速程序来测得输出响应曲线, 如图 4 所示. 此时, 波特率的产生由定时器 0 提供, P3.4 不再与 555 振荡器连接, 转速设定值由程序直接给定, 这也是调试时为了节省定时器资源的需要. 从图 4 中可看到, 在传统的增量 PID

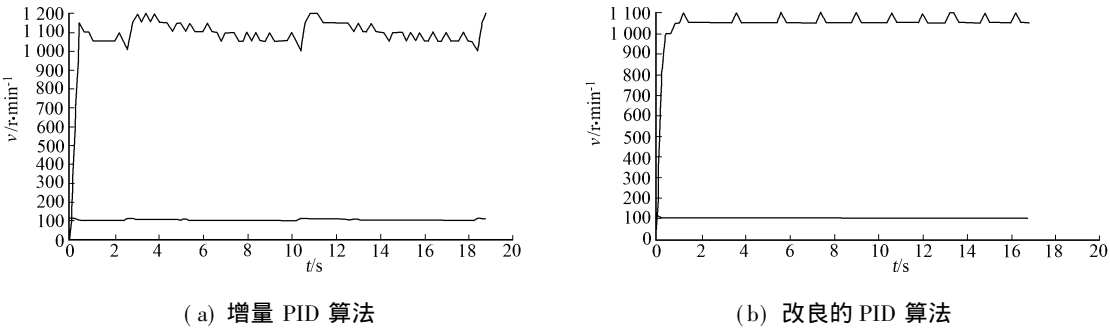


图 4 PID 算法控制下的电机响应曲线

Fig. 4 Motor speed under PID control

控制下, 稳定后波形有很大的振荡; 而改良型 PID 控制下的转速输出波形有轻微的锯齿, 当采用高精度的稳压电源作为电机的输入时, 仍会有这种轻微的锯齿. 说明, 本现象不是由电机不稳定造成的, 而是由于低分辨率的脉冲测速偶尔会漏掉一个检测脉冲所造成的. 可见, 在低分辨率脉冲测速的情况下, 改良型 PID 算法比增量 PID 算法更好地实现了对直流电机的稳定控制. 值得一提的是 ΔT 的取值, 它影响到对电机的滞后控制. 若 ΔT 取值过大, 测量值与瞬时值的偏差可能很大, 系统对电机的控制效果将大大滞后; 若 ΔT 取值过小, 定时器的取值比较小, 对误差的敏感度可能降低. 本系统中 ΔT 取值为 0.2 s.

参考文献:

[1] 孔凡才. 自动控制原理与系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 2 3.
[2] 陈伯时. 自动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
[3] 余永权, 李小青, 陈林康. 单片机应用系统的功率接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1992: 186 217.
[4] 魏 东. 设计自己的 ISP 程序[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2004(12): 70 71.
[5] 章兼源. 微机控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 264 265.
[6] 张毅刚, 乔立岩, 著. 虚拟仪器软件开发环境 Lab Windows/ CVI 6.0 编程指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 106 115.

Design of Embedded DC PWM Adjustable-Speed System

SHI Jin-qian, ZHENG Li-xin, ZHOU Kai-tin

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Based on traditional increasing proportionat integral derivative (PID), a refined PID is given. A digital close loop speed control system based on single chip computer with low resolution of speed testing pulse and pulse width modulation (PWM) driver is designed. The speed feedback structure is composed of UGN- 3020 Hall sensor and six hole plate on the shaft. In every circle, six pulses can be received by the counter of the single chip computer which is read every 0.2 s. The rotation speed of the motor can be calculated by the counting. The system possessed the ability of smooth speed adjusting, speed display and anti disturbance of which speed can be stably controlled in the case of low precision demand.

Keywords: pulse width modulation; close loop adjustable speed; low-resolution; PID control algorithm; single chip computer

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 吴逢铁)