

基于单片机 PID 算法的无刷直流电机控制系统的研究

张红涛, 闫林, 徐晓辉, 温阳

(河北工业大学 信息工程学院 天津 300130)

摘要: 为了实现无刷直流电机的控制数字化和精确可控性, 以及解决普通 PID 算法在无刷直流电机应用中出现的问
题, 分析了一种以单片机为核心的硬件控制系统方案。该控制系统由无刷直流电机、IR2130、IRF540 等构成, 以 AT89C51 为
核心, 控制算法采用变速积分 PID 算法。仿真结果证明成功解决了普通 PID 算法中的积分饱和现象, 系统响应速度快, 稳定
性好, 提高了无刷直流电机的可控性。

关键词: 无刷直流电机; 单片机; PID; PWM

中图分类号: TM33, TP273

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2007)10-052-03

Research on Brushless DC Motor Control System Based on PID and SCM

ZHANG Hongtao, YAN Lin, XU Xiaohui, WEN Yang

(The School of Information and Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin, 300130, China)

Abstract: It analyzes scheme of control system organization based on SCM, to realize digital of measurement and precious
controlling in brushless DC motor, and to resolve the questions which appear in BLDC PID regulator. The control system is
consists of IRF540, IR2130, a BLDC and so on. In this system AT89C51 is adopted as the core controller. The digital PID control
algorithm with the variable-integrator is used in this system, the simulation and experiment results show that the algo-
rithm can successfully be used to free from the integral saturation of common PID, and the system has such features as real
time, stability, measurement performance and etc.

Keywords: brushless DC motor; single chip; PID; PWM

传统的无刷直流电动机控制系统是主要由模拟器件构成的模拟系统, 但模拟系统存在着器件易于老化, 器件随温度变化造成参数漂移, 系统可靠性下降及系统升级困难等缺点, 成为制约其发展的瓶颈。随着微处理器和大规模集成电路的发展, 无刷直流电动机控制器正从模拟走向数字, 从而可以完成许多复杂控制, 应用前景更加广阔^[1]。本文以单片机 AT89C51 为核心, 设计了一种数字的无刷直流电机控制系统, 利用电机本身的位置传感器信号倍频后作为速度反馈, 用脉冲信号作为速度给定信号, 用改进的数字 PID 算法进行速度控制, 获得了较好的控制效果。

1 系统的控制方案

系统主要由微处理器、给定电路、驱动电路、电源变换电路、主功率电路、保护电路、检测电路、隔离电路、显示电路以及看门狗电路等组成。其整个控制系统的基本结构框图如图 1 所示。

为了充分利用电机的功率容量和最大转矩, 本文研究的是三相无刷直流电机, 以星型连接全桥驱动, 采用 PWM 调制控制速度, 通电方式采用两两通方式。电机控制系统

采用速度环和电流环双闭环控制, 如图 2 所示。速度环为控制系统外环, 负责对参考转速与实测转速进行比较, 再通过速度调节器对转速差进行 PID 调节, 得到电流环调节所需要的电流参考值与实测电流之差进行考值, 对电流 PID 调节, 完成双闭环控制。

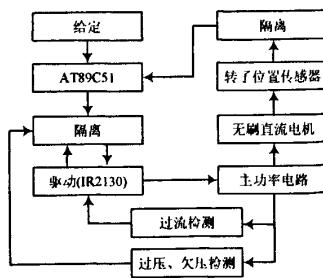


图 1 系统框图

速度给定信号通过两种方式传给单片机: 通过单片机串口; 通过给单片机一个与给定速度相同的周期脉冲信号, 单片机计算该脉冲的频率或周期作为给定转速。在本文中采用 Phillips Semiconductor 公司生产的 SE555 定时器电路, 他是 8 脚芯片, 具有关断时间小于 $2 \mu\text{s}$, 最大工作频率大于 500 kHz , 温度系数稳定, 只有 $0.005\% / ^\circ\text{C}$, 而且

外围电路比较少,经实验产生的 PWM 波形适合需要。通过调节电位计的电阻大小,使得 555 定时器输出的 PWM 波形的周期和占空比发生改变,利用单片机的中断和定时器/计数器采集 PWM 波形的周期作为电机转速给定值^[2]。

系统还有一些外围电路控制电机的起停、正反转等辅助功能。

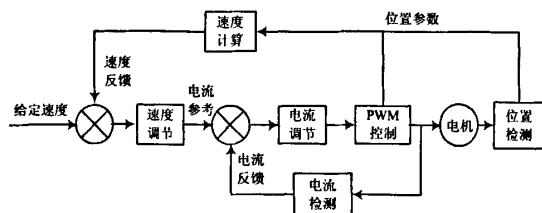


图2 电机控制系统

2 硬件系统

整个控制系统以单片机 AT89C51 为核心,单片机负责系统的控制工作。利用单片机的引脚 12(INT0)对 SE555 发出的脉冲进行采样,获取脉冲的周期,作为转速给定值;同样利用引脚 13(INT1)对位置传感器中的一组(本控制器中取得是 HA)进行采样,获取周期值,作为电机实际转速值;对给定值和实际值进行比较,确定电机的调速,通过脉宽调制,改变 PWM 波的占空比,改变加在电机上的电压,达到调压调速的目的;从 HA, HB, HC 获取电机的位置,根据确定的开关管导通顺序从 AT89C51 的 P2.2~P2.7 向 IR2130 输出功率 MOS 管(IRF540)的驱动信号。IR2130 从输入端口得到驱动信号,并从 6 路输出口驱动功率 MOS 管;IR2130 根据采样电阻上的电压值,判断电路是否过流,并向单片机的引脚 17(OC)发出信号;引脚 10(WDG)向看门狗电路输出控制信号,在单片机正常工作时,看门狗电路不产生使单片机复位的信号;引脚 22(BH)输出保护信号,过压、欠压、过流中有任一情况发生时,在该引脚产生保护信号;引脚 19(X1),18(X2)接晶振频率为 11.059 2 MHz 外部晶振电路。AT89C51 根据过流信号决定电机是否需要保护,根据方向信号和霍尔位置传感器信号决定电机的运行方向和换向信号,并且向看门狗输出反相信号。最终整个处理反映在输出驱动信号,当电机需要工作时,按照设定好的逻辑关系使电机换相运行等,当电机处于截至时,输出全为高,这样电机就不会运行。

系统电机的额定参数是 24 V/120 W。主电路为三相全桥结构,无刷直流电机以“两相导通三相六状态”方式运行,即每一状态中有两相绕组导通,电机每转过 360°电角度,共有 6 种磁势状态。三相开关电路上桥臂的开关管使用 IRF9540,这是一种 P 沟道 MOSFET,大多与 IRF540

成对使用,具有 100 V 的耐压和 20 A 电流容量。由于 P 沟道 MOSFET 是负电压开通,不用为上桥臂提供独立的驱动电源,使驱动系统结构大大简化。功率开关电路的三相下桥臂采用 IRF540。在本控制系统中,电机电压只有 24 V,额定工作电流不超过 0.7 A,工作开关管承受最高电压时上下臂管关断瞬间,此刻电压为 $24 + 24/2 = 36$ V,从最大电压和最大电流选择开关管,IRF540 都是合适的。下桥臂 MOSFET 驱动电路栅极中的串联电阻对 MOSFET 栅极有保护作用,同时也是为了防止过高的 du/dt ^[3]。与电阻反向并联的快速恢复二极管是为了达到更快的反向关断时间,在本系统中采用的是快速恢复二极管 FR107。

3 变速积分 PID 算法

PID 控制器具有算法和结构简单、工作稳定、物理意义明确、鲁棒性强,稳态无静差等优点,在自动控制系统中一直处于主导地位。由于电机转速与电枢外加电压的大小基本上成正比,这就构成了 PID 调节的基础。由于计算机只能识别数字量,不能对连续的控制算式直接进行运算,在计算机控制系统中必须对控制规律进行离散化的算法设计。电机控制系统为时间离散控制系统,本电机控制系统应用的是数字 PID 算法。离散形式的 PID 表达式为:

$$P(k) = K_p E(k) + K_i \sum_{j=0}^k E(j) + K_d [E(k) - E(k-1)]$$

其中: K_p, K_i, K_d 分别为调节器的比例、积分和微分系数; $E(k), E(k-1)$ 分别为第 k 次和 $k-1$ 次时的期望偏差值; $P(k)$ 为第 k 次时调节器的输出^[4]。

在普通的 PID 控制算法中,由于积分系数 K_i 是常数,所以在整个控制过程中,积分增量不变。而无刷直流电机调速系统是一个多变量、强耦合的非线性系统,他要求系统偏差大时积分作用应减弱甚至全无,在偏差小时则应加强。当电机转速的设定值突然改变,或电机的转速发生突变时,会引起偏差的阶跃,使 $E(k)$ 增大, PID 的输出 $P(k)$ 将急剧增加或减小,以至于超过控制量的上下限 P_{max} ,此时的实际控制量只能限制在 P_{max} ,电机的转速 $M(k)$ 虽然不断上升,但由于控制量受到限制,其增长的速度减慢,偏差 $E(k)$ 将比正常情况下持续更长的时间保持在较大的偏差值,从而使得 PID 算式中的积分项不断地得到累积。当电机转速超过设定值后,开始出现负的偏差,但由于积分项已有相当大的累积值,还要经过相当一段时间后控制量才能脱离饱和区,这就是正向积分饱和,反向积分饱和与此类似。解决的办法:缩短 PID 的采样周期(这一点单片机往往达不到),整定合适的 PID 参数;对 PID 算法进行改进,可以采用变速积分 PID 算法。

变速积分 PID 算法的基本思想是:改变积分项的累加速度,使其与偏差大小相对应;偏差越大,积分越慢;反之

越快^[5]。为此,可以取非线性函数 $f[E(k)]$:

$$f[E(k)] = \begin{cases} 1 & |E(k)| \leq B \\ \frac{A - |E(k)| + B}{A} & B < |E(k)| \leq A + B \\ 0 & |E(k)| > A + B \end{cases}$$

这时 PID 算法可改进为:

$$P(k) = K_p E(k) + K_i \left\{ \sum_{j=0}^{k-1} f[E(j)] E(j) \right\} + K_d [E(k) - E(k-1)]$$

其中, f 的值在 0~1 区间变化,当偏差大于 $A+B$ 时,证明已进入饱和区,这时 $f = 0$,不再进行积分项的累加, $|E(k)| \leq A+B$ 时, f 随偏差的减小而增大,累加速度加快,直至偏差小于 B 后,累加速度达到最大值 1。这种算法对 A, B 两参数的要求不精确,当 A, B 的值选的越大,变速积分对饱和抑制作用越弱,反之越强。一般取 $A = 30\% [|E(k)|]_{\max}$, $B = 20\% [|E(k)|]_{\max}$ 为宜。

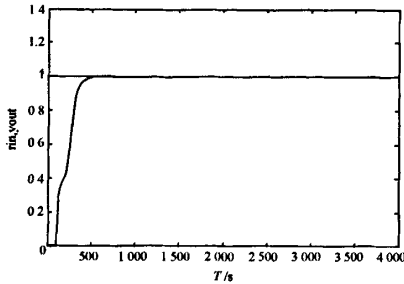


图 3 变速积分阶跃响应

4 结 语

在本文中采用 Matlab 语言对变速积分 PID 控制的性能进行了仿真^[6]。并对普通 PID 控制和变速积分 PID 控

作者简介 张红涛 男,1982 年出生,河北工业大学在读硕士研究生。主要研究方向是通信与电子测控技术。

(上接第 51 页)

中普遍存在的问题和作者经验教训积累的基础上,详尽分析了实现基于 Nand+Yaffs 根文件系统的主要技术,使得该根文件系统可以很好地支持目标平台,并且工作稳定。在论述过程中强调其原理与可操作性,对加深对于 Linux 内核、根文件系统理解和开发嵌入式系统是十分重要的,对于开发其他嵌入式系统具有参考意义。

参 考 文 献

[1] 毛勇强,黄光明. Yaffs 文件系统在嵌入式 Linux 上的实现

作者简介 刘振纲 男,1981 年出生,研究生。研究方向为嵌入式系统。

刘成安 男,1965 年出生,教授。主要研究方向为图像处理,嵌入式系统。

卢剑翔 男,1978 年出生,研究生。研究方向为嵌入式系统。

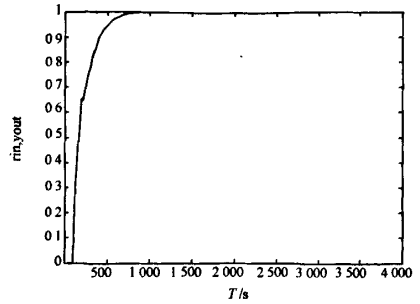


图 4 普通 PID 控制阶跃响应

制的性能做了比较。从图 3,图 4 可以看出:前者对积分项采用的是缓慢变化,而后者采用所谓的“开关”控制。变速积分用比例作用消除了大偏差,用积分作用消除了小偏差,可基本消除积分饱和现象,同时大大减小了超调量,提高系统稳定性,使调节质量更高。

参 考 文 献

[1] 郝晓弘,原学平,魏祥林. 无刷直流电机智能控制系统的研究控制工程[J]. 2003(10):75-77.
 [2] 羊彦,景占荣,毕强,等. 无刷直流电动机数字 PID 控制的研究[J]. 电机与控制学报,2004,7(4):299-302.
 [3] 胡楷,潘孟春,张忠怀. 全数字化无刷直流电机伺服系统[J]. 电产品开发与创新,2006,19(2):121-123.
 [4] 包松,鲍可进,余景华. 基于单片机 PID 算法的直流电机测控系统[J]. 微机发展,2003,13(8):72-74.
 [5] 谢世杰,陈生谭,楼顺天. 数字 PID 算法在无刷直流电机控制器中的应用[J]. 现代电子技术,2004,27(2):59-61.
 [6] 刘金琨. 先进 PID 控制 Matlab 仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

[J]. 电子设计应用,2006(1):96-98.

[2] 刘晶晶. 基于 ARM-Linux 嵌入式系统引导程序的设计[J]. 微计算机信息,2006,2(2):123-125.

[3] 徐虹. 操作系统实验指导[M]北京:清华大学出版社,2002.

[4] 杭州立宇泰电子有限公司. ARMsyst2410Linux 使用手册[Z]. 杭州立宇泰电子有限公司,2005.

[5] 孙天泽,袁文菊,张海峰. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

[6] Karim Yagbmour. Building Embedded Linux System[Z]. O'reilly Taiwan, Inc,2004,12:91-96,205-220.

基于单片机PID算法的无刷直流电机控制系统的研究

作者: [张红涛](#), [闫林](#), [徐晓辉](#), [温阳](#), [ZHANG Hongtao](#), [YAN Lin](#), [XU Xiaohui](#), [WEN Yang](#)
作者单位: [河北工业大学, 信息工程学院, 天津, 300130](#)
刊名: [现代电子技术](#) 
英文刊名: [MODERN ELECTRONICS TECHNIQUE](#)
年, 卷(期): 2007, 30(10)
被引用次数: 6次

参考文献(6条)

1. [胡楷](#); [潘孟春](#); [张忠怀](#) [全数字化无刷直流电机伺服系统](#) [期刊论文] - [电产品开发与创新](#) 2006(02)
2. [羊彦](#); [景占荣](#); [毕强](#) [无刷直流电动机数字PID控制的研究](#) [期刊论文] - [电机与控制学报](#) 2004(04)
3. [郝晓弘](#); [原学平](#); [魏祥林](#) [无刷直流电机智能控制系统的研究](#) [期刊论文] - [控制工程](#) 2003(10)
4. [刘金琨](#) [先进PID控制Matlab仿真](#) 2004
5. [谢世杰](#); [陈生谭](#); [楼顺天](#) [数字PID算法在无刷直流电机控制器中的应用](#) [期刊论文] - [现代电子技术](#) 2004(02)
6. [包松](#); [鲍可进](#); [余景华](#) [基于单片机PID算法的直流电机测控系统](#) [期刊论文] - [微机发展](#) 2003(08)

引证文献(6条)

1. [周德成](#); [岳玲玲](#); [卢雪艳](#); [赵金凯](#) [基于单片机的焊丝擦丝机电控系统的设计](#) [期刊论文] - [焊接技术](#) 2011(1)
2. [闫晓娟](#); [刘景林](#) [嵌入式无刷直流电机网络控制系统](#) [期刊论文] - [计算机测量与控制](#) 2010(6)
3. [李胤昌](#); [郑日荣](#) [基于PIC单片机的电动自行车控制系统设计](#) [期刊论文] - [现代电子技术](#) 2009(8)
4. [马西锋](#) [直流电机的复合PID控制系统研究](#) [期刊论文] - [甘肃科技](#) 2009(4)
5. [李超](#); [LI Bo](#) [一种实用型直流电机控制电路的设计](#) [期刊论文] - [现代电子技术](#) 2008(15)
6. [郭崇军](#); [李琦](#); [洪权](#); [许强](#) [基于C8051的无刷直流电机控制系统](#) [期刊论文] - [机电工程](#) 2007(9)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xddzjs200710019.aspx