

电液比例阀控制系统的研究设计

陈斌, 杨安平

(长沙理工大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 实现了基于 PID 算法的电液比例阀控制系统, 系统可以有效解决传统比例阀技术的问题, 其控制功能强大、维护成本低、系统控制精度高且结构相对比较简单。在系统电路设计中, 以单片机控制系统、数字 PID 算法和 PWM 技术为研究对象, 设计了系统电路和功率放大电路, 并编写了系统控制程序。

关键词: PID 算法; 脉宽调制; 电液比例阀; 功率放大

中图分类号: TH137.52

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)07-0082-03

Research and design of electrohydraulic proportional valve control system

Chen Bin, Yang Anping

(School of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: This paper studies the PID algorithm based on electro-hydraulic proportional valve control system, it is a kind of software instead of part of the complex hardware control system, this system can effectively solve the traditional proportional valve technical problems, and its strong control function, low maintenance cost, the control system has high control precision and system structure is relatively simple. In the circuit design of the system, the single chip microcomputer control system, the digital PID algorithm and PWM (pulse width modulation) technology as the research object, designs the system circuit and the power amplification circuit, and writes the system control program.

Key words: PID algorithm; PWM; electro-hydraulic proportional valve; power amplifier

传统的电液比例阀控制系统大都采用硬件电路控制, 其系统设计需要专家设计、专家维护, 并且成本很高, 控制精度不是很理想, 所以传统的电液比例阀系统的应用受到限制^[1]。因此新型比例阀的设计一直成为研究的热点。本文设计了一种用单片机控制的电液比例阀, 其以软件代替部分复杂的硬件电路, 并且结合了 PID 算法, 使系统的控制精度和响应速度大大提高, 其维护简单, 适合广泛应用, 值得推广。

1 PID 控制器概述

PID 控制器问世至今已有近 70 年历史, 它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。PID 控制器是根据系统的误差, 利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制的。

在模拟控制系统中, 控制器最常用的控制规律是 PID 控制, 模拟 PID 控制系统原理框图如图 1 所示, 系统由模拟 PID 控制器和被控对象组成。

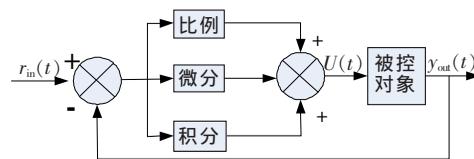


图 1 模拟 PID 控制系统原理框图

PID 控制器是一种线性控制器, 它根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成偏差:

$$ek(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t) \quad (1)$$

PID 控制规律为:

$$U(t) = K_p ek(t) + \frac{1}{T} \int_0^t ek(t) dt + \frac{T_D dk(t)}{dt} \quad (2)$$

写成传递函数的形式为:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_s} + T_D s \right) \quad (3)$$

式中, K_p 为比例常数, T_i 为积分时间常数, T_D 为微分时间常数。

计算机控制是一种采样控制,它只能根据采样时刻的偏差值计算控制量,因此,连续PID控制算法不能直接使用,需要采用离散化的方法。在计算机PID控制中,使用的是数字PID控制器。

按模拟PID控制算法,以一系列的采样时刻点 KT 代表连续时间 t ,以矩形法数值积分近似代替积分,以一阶后向差分近似代替微分,可得离散PID表达式:

$$U(t) = K_p e_k(k) + K_i \sum_{j=1}^k e_k(j)T + K_D \frac{ek(k) - ek(k-1)}{T} \quad (4)$$

式中, $K_i = \frac{k_p}{T_i}$, $K_D = K_p T_D$, T 为采样周期, k 为采样序号, $k = 1, 2, \dots$, $ek(k)$ 和 $ek(k-1)$ 分别为第 k 和第 $k-1$ 时刻所得的偏差信号。

数字式PID控制系统框图如图2所示。

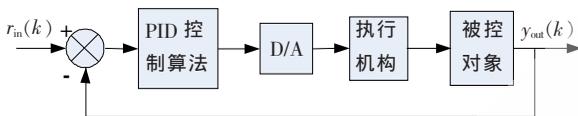


图2 数字式PID控制系统框图

模拟的PID控制器不容易实现,原因是没有可靠的、精确的和电子的可重构模拟阵列。由于PID的参数必须根据设备来进行调整,所以控制器必须可以重构。系统的可重构精度和范围必须有足够的灵活性,这样才能控制各种不同的设备。

数字PID算法中,用比例消除大偏差,用积分消除小偏差,可完全消除积分饱和现象;各参数容易整定,易实现系统稳定;超调量大大减小,改善了调节品质。由于数字PID控制器是由计算机编程实现,其外围器件少,所以它的重复精度高、可以移植性强、系统体积小、功耗低、集成度高、对应用环境的要求低,因此数字PID控制器相对模拟的PID控制器适用性要强,因而本系统采用数字的PID控制器。

2 比例阀控制系统原理

由于传统的电液比例阀控制系统中,其PID的调节是由外围的硬件电路来完成,当其参数一旦给定后,其整个控制过程都是固定不变的,所以传统的电液比例阀控制系统缺乏灵活性,并且由于模拟器件本身的误差,其控制效果很难达到最佳状态,而且硬件成本高。本文中设计的系统是以数字的PID控制器代替了外围的硬件电路,其参数可以根据需要随意调整,重复精度高,减少了外围器件,节约了系统的设计成本。

根据数字PID控制器的特性,本文设计了电液比例阀电路,其系统设计框图如图3所示。MCU选用飞思卡尔微控制器,MCU启动后将接收控制信号,信号经过内部处理后发出相应的PWM控制信号,然后经由比例放大器^[2],对电控制信号进行处理、运算和功率放大,经过电流采样,再驱动电液比例阀。反馈电路是在电流采样之后,把采样电流信号转化为电压信号,然后经过DC

放大,再反馈给MCU,MCU内部根据反馈信息对输出的PWM信号进行PID调整,从而使整个系统构成一个闭环的控制系统。

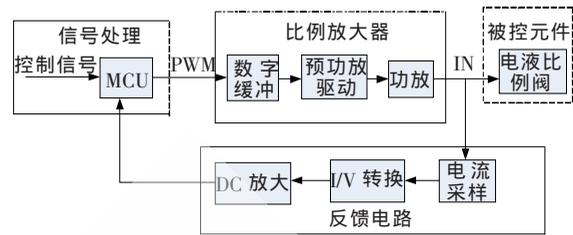


图3 系统框图

本系统中的比例放大器包括数字缓冲、预功放驱动、功率放大三个部分^[5],其内部不包括反馈单元,所以它是开环控制的,由PWM式脉冲电压控制,因此它工作在开关状态,它是数字式的比例放大器。其中数字缓冲模块是为预功放驱动模块做准备,由于MCU的处理速度比后面的电路处理速度快,所以控制信号从MCU出来后进行缓冲,预功放模块接收到缓冲后的数据为后面的功率放大模块进行预处理,最后再进行功率放大。这样控制信号经过比例放大器后就能有足够的功率驱动比例阀,其整个过程其实就是实现电压信号到电流信号的转换,并提供与输入电压成比例且功率足够的控制电流,实现从电压信号到电流信号的转换,提供与电压信号成比例的阀控压力。比例阀芯的运动主要依靠比例电磁铁的出力控制。电磁铁的出力与输入电磁铁的电流成比例,所以得到与控制信号成比例的电流是比例放大器的主要任务。

3 数字PID与PWM控制单片机实现

本设计中单片机选用的是飞思卡尔微控制器MC9S12DG128B^[4],MC9S12DG128B是一款增强型16bit微控制器,集成度高,片内总线时钟频率最高可达到25MHz。MC9S12DG128B单片机中的PWM模块有8个输出通道,每一个PWM的输出通道都有一个使能位。本系统设计中,PWM各通道的时钟频率为2MHz^[4];PWM输出信号的脉宽可通过PWMDTY_x脉宽控制器来设定,PWMPER_x表示某一通道的周期寄存器,相应通道的占空比 a 的计算公式如下:

$$a = \frac{\text{PWMDTY}_x}{\text{PWMPER}_x} \times 100\% \quad (5)$$

PWM控制电路部分电路原理图如图4所示。

单片机产生的PWM信号电流非常小,不足以驱动比例阀。本系统电路设计中选用了摩托罗拉生产的MC33883芯片作为系统电路的驱动器,其适应电压最大为55V。PWM信号进入MC33883之后,经过放大,MC33883驱动一个N沟道的场效应管Q1,然后利用场效应管的开关特性来调制固定电压的直流电源,在图4中Q1的load端可以直接驱动比例阀。PWM按一个固定的频率来接通和断开,并根据需要调整占空比控制寄存

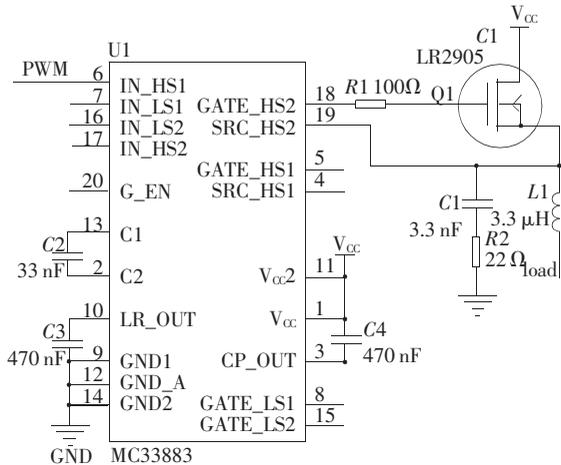


图4 PWM控制电路原理示意图

器 PWMDTY_x 的值来改变一个周期内接通和断开时间的长短,从而改变系统的输出电流。用这种快速通断的电流来驱动电液比例阀,使阀芯处于微震状态。这样系统无需另加振颤信号,可使系统的抗干扰能力强、滞后时间短、重复精度高。由于脉冲周期远小于阀芯的响应周期,所以阀芯的运动只响应 PWM 信号平均值,即电流大小与矩形波的平均值有关。因为阀的开度与送入电磁铁的电流成比例,所以控制阀的开度就是控制 PWM 波的平均值。PWM 波的电压平均值表示为(为 PWM 波的占空比):

$$\bar{U} = \frac{\text{PWMDTY}_x}{\text{PWMPER}_x} U_s = a U_s \quad (6)$$

结合以上所选择的单片机,设计了一套简单实用的单片机程序。其 PID 的调节控制是在定时器中断中进行的,定时器中断程序流程图如图 5 所示。

本程序中主要是调整 PWM 的占空比 DTY。PID 的计算是在定时器里面完成,间隔 50 ms 调用一次 PID 函数,调节 PWM 的占空比。定时器中断计数器是自动重载的,所以每次响应中断之后不必再置定时器初值。主程序里面主要的工作是进行系统参数的初始化、PID 参数设置,然后根据定时器里面计算出来的 PWM 值来控制电液比例阀的输出。

4 仿真效果

本系统的仿真是在 MATLAB 的 SIMULINK 环境下进

行的^[7],系统的时间电流仿真曲线如图 6 所示。曲线 Y3 是理想状态下系统的响应曲线;曲线 Y1 是数字 PID 调节后的响应曲线;曲线 Y2 是模拟 PID 调节后的响应曲线。从图中可以看出,系统数字 PID 响应曲线刚开始时冲击比较大,大概在 400 ms 之后系统就进入稳定状态,而模拟的 PID 响应曲线达到稳定状态的调节时间要约为 6 s 的时间,其响应时间远远慢于数字 PID 的调节。因此本系统中的数字 PID 调节达到了预期效果。

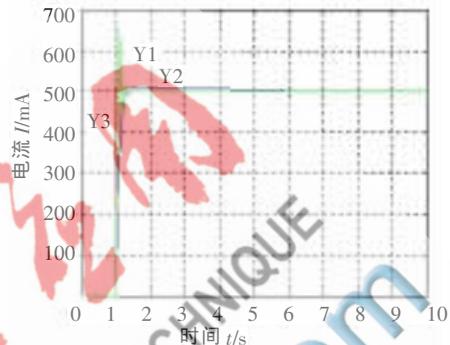


图6 系统时间-电流仿真曲线图

本文运用现代设计方法和计算机技术,设计出一种新型电液比例阀控制系统,并对比例阀系统的稳态与动态性能做了初步研究与测试。经实践证明,系统运行状态良好,已应用在泵车起重机等项目中,其阀的工作状态稳定,响应速度快,因此本系统有着广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 张利平. 液压阀原理、使用与维护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 许益民. 电液比例控制系统分析与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [3] 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(8): 72-74.
- [4] 王威. HCS12 微控制器原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [5] CAPTUTO D. Electrohydraulic proportional valves in crease system efficiency[J]. Hydraulic & Pneumatics, 1996(1): 34-38.
- [6] TROSTMANN E. water hydraulics control technology. New York: Marcel Dekker, Inc. 1996.
- [7] 王中鲜. MATLAB 仿真与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

(收稿日期: 2011-12-13)

作者简介:

陈斌, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式自动控制。

杨安平, 男, 1965 年生, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向: 人脸识别, 图像处理。

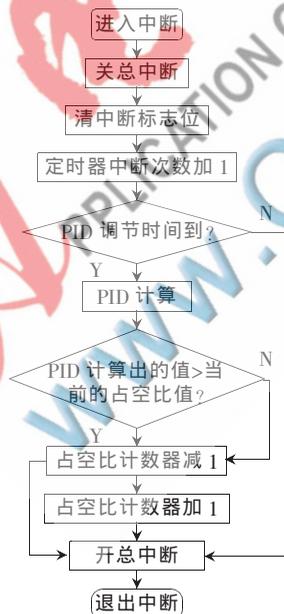


图5 定时器中断函数流程图