

高速开关阀控制的电液式节气门执行器*

黄建明, 苏玉刚, 杨志刚, 曹长修

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

摘要:研究了一种利用高速开关阀对节气门进行电子控制的系统方案。使用电液式执行器作为节气门控制的执行机构,利用高速开关阀对执行器进行连续的流量控制。建立了控制系统的数学模型。关于高速开关阀的开启时间所引起的精确定位问题,通过在控制器中加入非线性补偿环节的方法予以补偿。文中还对节气门位置控制中,被控对象的主要影响参数进行了讨论。数字仿真和装车道路试验,证明了该控制系统的实用性和可行性。

关键词:节气门; 液压执行器; 高速开关阀; 数学模型

中图分类号:TP271.32

文献标识码:A

高速开关阀早期主要应用在一些要求快速操作的液压系统。其后,由于数字化的特征使其在计算机控制的液压系统中受到重视。高速开关阀与脉冲宽度调节(PWM)控制相结合后,人们发现只需控制脉冲频率或脉冲宽度,高速开关阀就能象其它的数字流量阀一样,对流量进行连续的控制,从而使高速开关阀成为一种有前途的数字阀^[1]。随着微电子技术在车辆上的广泛应用,以及发动机电子控制与传动系统电子控制等的需要,节气门电子控制已经得到越来越多的应用。目前应用较为广泛的节气门电子控制的执行器有:步进电动机式、直流可逆伺服电机式、线性电磁铁式和真空膜片式等几种类型,这些都有各自的特点和使用局限性^[2]。高速开关阀具有结构简单、成本低、对油液污染不敏感、易于维修、可靠性高等特点,因而可在恶劣环境下工作。对于高速开关阀控制的电液式执行器,控制节气门的电子控制单元的一个开关型信号,就可以控制一个高速开关阀,致使控制硬件电路特别简单。在有液压源的车辆中,通过高速开关阀控制电液式执行器的方式,控制节气门具有许多优点。由于液压系统的液压源压力变化、油的粘度受温度的影响、控制阀的启闭特性受蓄电池电压波动的影响、负载波动、液压执行机构的摩擦力等因素的影响,因此能否控制节气门,使跟踪车辆加速踏板的节气门的控制精度、快速性及其平稳性,以期满足车辆应用的要求,将成为本文中所要讨

论的内容。

1 系统原理

电液式节气门控制系统原理如图1所示。控制节气门的电子控制单元,使用Intel公司的80C196KC作为CPU,利用80C196KC具有的8路10位逐次比较型A/D端口中的2路进行模拟输入信号采集,5路可以产生PWM信号的高速输出端口中的2路进行开关型输出信号控制。液压执行器为一单作用液压缸,由推杆、回位弹簧和活塞组成。利用两个二位二通常闭型高速开关阀,对液压缸的位移进行控制。

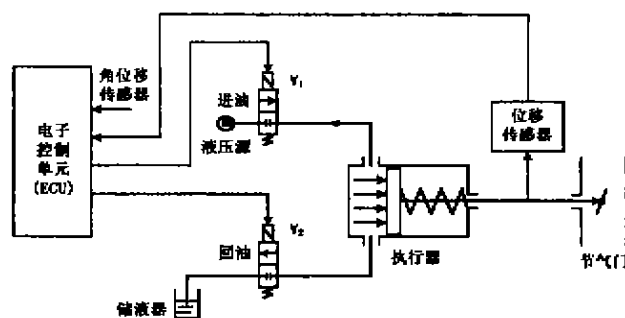


图1 控制系统原理图

当高速开关阀 V_1 通电、 V_2 断电时,液压源的液压压力克服液压执行器的弹簧力及节气门的弹簧力,使推杆右移将节气门打开, V_1 与 V_2 均断电时,活塞的推杆

• 收稿日期:2001-10-19

基金项目:国家教委博士点基金资助(97061104)

作者简介:黄建明(1965-),男,重庆合川人,副研究员。主要从事控制理论的应用、计算机控制、汽车电子控制等方面的研究工作。

不动,节气门保持原有位置不变;当高速开关阀 V_2 通电、 V_1 断电时,在液压执行器的回位弹簧力及节气门的回位弹簧力的作用下,使推杆左移将节气门关闭。 V_1 与 V_2 均断电时,活塞的推杆不动,节气门保持原有位置不变。节气门的实际开启大小,用安装在节气门上的位移传感器测量。节气门开启大小的设定值,根据驾驶员踏下加速踏板的量(由安装在加速踏板上的角位移传感器测量)来确定。

2 控制系统建模

图1中,节气门的开启和关闭,分别受液压力和弹簧的作用力控制,因而节气门开启和关闭时,执行器-节气门部分的作用力不同。执行器-节气门部分的动态方程可以表示为:

高速开关阀 V_1 通电、 V_2 断电:

$$m\ddot{x} + f_N(\dot{x}) + (K_t + K_a)x + F_0 = PA \quad (1)$$

高速开关阀 V_2 通电、 V_1 断电:

$$m\ddot{x} + f_N(\dot{x}) + (K_t + K_a)x + F_0 = 0 \quad (2)$$

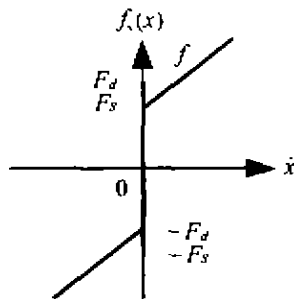


图2 摩擦力模型

上述的(1)与(2)式中 $f_N(\dot{x})$ 代表液压执行器、节气门和机械联结部件几部分一起产生的摩擦力,由图2和下面的方程式表示^[3]:

$$f_N(\dot{x}) = f\dot{x} + f_0 \quad (3)$$

$$f_0 = \begin{cases} F_d & (\dot{x} > 0) \\ -F_s \sim F_s & (\dot{x} = 0) \\ -F_d & (\dot{x} < 0) \end{cases} \quad (4)$$

(1)~(4)式中:

F_s —系统的静止摩擦力

P —液压力

f —粘性摩擦系数

x —执行器位移(与节气门位置对应)

F_d —库仑摩擦力

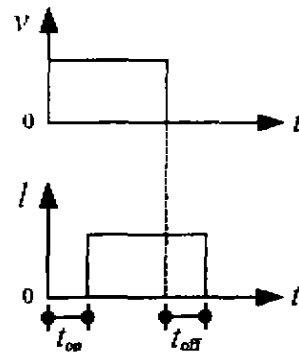
A —活塞面积

F_0 —节气门与执行器弹簧的预紧力

K_a —执行器回位弹簧刚度

m —运动质量

K_t —节气门回位弹簧刚度



t_{on} —开启时间 t_{off} —关闭时间

图3 高速开关阀响应特征

对于高速开关阀,当输入脉冲宽度小于开启时间 t_{on} 时,高速开关阀不能被打开;当输入电压去除后,高速开关阀延迟 t_{off} 后关闭。因此高速开关阀的数学模型可用图3所示的阀芯位移响应特性表示^[4]。

3 节气门位置控制

上节对图1中的控制系统建立了执行器-节气门部分以及高速开关阀的数学模型,在此基础上给出控制器的控制算法,就可以对控制系统进行数字仿真、道路试验与分析研究,讨论液压力变化、负载波动等因素对节气门位置控制响应特性的影响。

节气门位置控制系统方框图如图4所示。

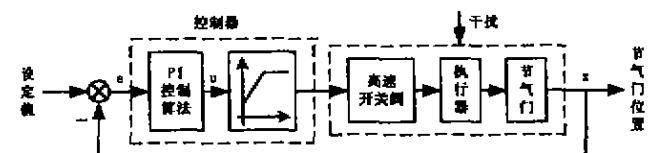


图4 节气门位置控制系统

车辆中节气门的位置控制,要求快速跟踪希望位移、超调量小、很少振荡(振荡频繁将造成发动机转速脉动,振荡振幅过大造成发动机转速波动及传动系统载荷过大等),有较高的控制精度。在数字仿真研究与实际应用中控制器使用了下面简单的PI控制算法:

$$u = \begin{cases} u_{\max} & |e| \geq E_1 \\ k_p \left\{ |e| + \frac{1}{T_i} \int |e| dt \right\} & E_2 \leq |e| \leq E_1 \\ 0 & |e| \leq E_2 \end{cases} \quad (5)$$

在(5)式中,当 $|e|$ 较大时,阀全开,使输出以最快的速度趋近输入,提高节气门快速跟踪加速踏板的响应能力;当 $|e|$ 较小时,采用比例积分调节规律进行调

节,使控制系统具有消除静差的能力;当 $|e|$ 很小时,为避免执行器脉动而不输出控制信号,在本文中 E_2 取满量程的0.5%。

由图3所示高速开关阀响应特性可知,高速开关阀存在一个开启时间 t_m ,即存在一个不灵敏区,因此按(5)式计算得到的 u 较小时,利用 u 直接控制高速开关阀,高速开关阀将不能被打开。这就使 $|e|$ 较小时位置控制响应很慢,不能快速准确地定位。为了提高控制灵敏度和响应快速性,在PI调节与高速开关阀之间加入了一个非线性环节进行补偿。非线性环节如图5所示,这里 t_m 设置为稍小于高速开关阀开启时间的值,斜线的斜率 k 等于1,当 u 大于或等于控制周期的值时,非线性环节的输输出被限幅为控制周期的值。非线性环节的输输出为一个控制周期中阀打开的控制时间(控制时间除以控制周期即为占空比),采用PWM调节方式控制高速开关阀 V_1 或 V_2 。当偏差 $e > 0$ 时,控制器控制高速开关阀 V_1 ,使液压执行器进油。当偏差 $e < 0$ 时,控制器控制高速开关阀 V_2 ,使液压执行器回油。

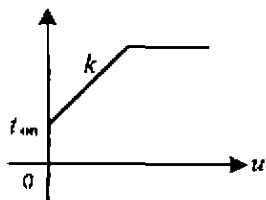


图5 非线性环节

4 试验研究

对于图1所示的控制系统,节气门位移传感器采用WDL50型直滑式导电塑料电位器,加速踏板角位移传感器采用WDD35D精密导电塑料电位器。高速开关电磁阀采用二位二通电磁球阀,启闭响应时间为:开启时间 < 3.5 ms、关闭时间 < 2.5 ms。液压执行器与节气门构成的广义对象参数,由设计参数和试验确定为: $m = 0.51$ kg, $x = 0 \sim 4.4$ cm, $P = 3$ MP, $A = 1.13$ cm², $K_t = 1.2$ kgf/cm, $K_a = 1.05$ kgf/cm, $F_0 = 2.8$ kgf, $f = 0.09$ kgf·s/cm, $F_1 = 1.17$ kgf, $F_d = 0.83$ kgf。

在第2节建立的控制系统模型基础上,对图4所示的节气门位置控制系统进行了数字仿真研究。图6至图8为节气门位置(x /cm)控制在各种阶跃变化给定下的响应特性,以及节气门位置控制中的两个主要影响参数变化时对应的响应特性。由图6可知,节气门打开(开一部分或全开)的调节时间不超过180 ms,节气门关闭(关一部分或全关)的调节时间不超过300 ms,动态响应过程超调量很小,定位精度达到满量程的 $\pm 0.5\%$,即

位移 ± 0.022 cm,完全能够满足车辆上节气门响应加速踏板的跟踪速度和控制精度要求。图7示出了液压系统工作压力分别为3 MP、3.3 MP、2.7 MP时节气门位置控制的阶跃响应特性,图8示出了执行器-节气门部分回位弹簧的弹性系数为实测值、增加20%、减少20%时,节气门位置控制的阶跃响应特性。图7和图8将时间轴坐标缩短为300 ms,更能清楚地观察参数变化对位置控制的影响。响应曲线表明,参数变化对控制精度和超调量影响不大、对快速性有一定的影响。图9绘制了在车辆道路试验中的节气门位置(x /cm)给定(图中的节气门位置给定信号与根据角位移传感器测量获得的加速踏板信号相对应)与位置响应的特性曲线。图9表明节气门位置控制能够使节气门快速准确地跟踪加速踏板的位置变化。

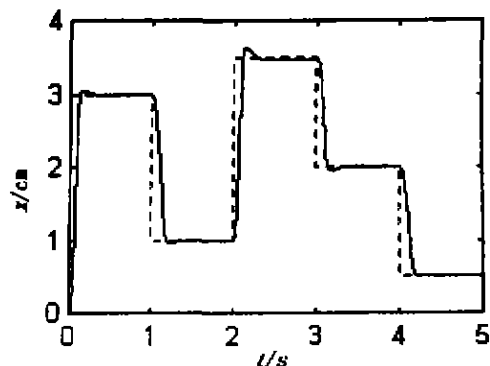


图6 各种阶跃变化给定下的响应

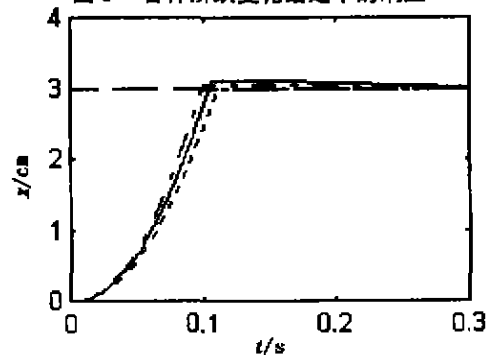


图7 压力波动对位置控制的影响

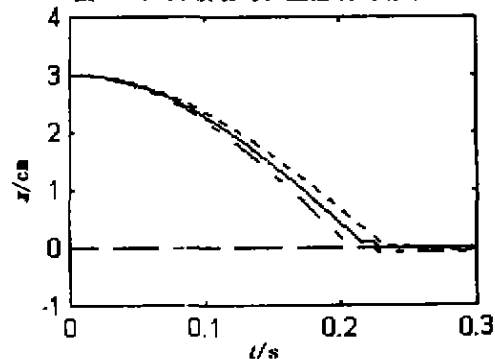


图8 弹簧弹性系数对位置控制的影响

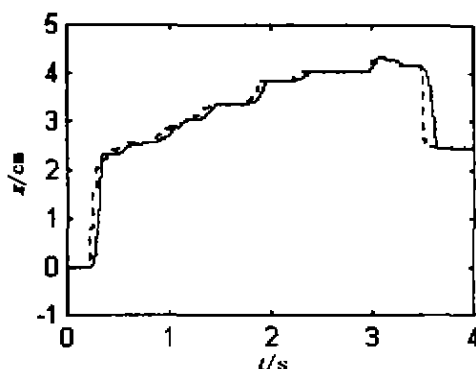


图9 车辆试验中的节气门跟踪控制

5 结束语

通过对车辆节气门电子控制的液压控制系统方案的数字仿真与装车道路试验研究,表明该控制系统能

够达到控制节气门快速跟踪加速踏板的变化、定位精度较高、节气门动作平稳的要求。经过2年多的装车道路试验,验证了本控制系统的可靠性与实用性。在有液压源的车辆中可作为节气门电子控制的一种实用方案。在有气压源的车辆中亦可用这种方案对节气门进行电子控制。

参考文献:

- [1] 黎柏. 电液比例控制与数字控制系统[M]. 北京:机械工业出版社, 1997.
- [2] 杨志刚, 苏玉刚, 金振远, 等. 电液式节气门执行器的多模式智能控制[J]. 汽车工程, 2001, 23(1): 49-52.
- [3] 杨清海, 河合素直, 曾祥荣. 气动位置伺服系统的高精度控制[J]. 液压与气动, 1994, (6): 11-14.
- [4] 俞宗强, 刘庆和. 高速开关阀电液式控制系统的特性研究[J]. 工程机械, 1990, 21(1): 40-44.

Electronically-controlled Hydraulic Throttle Actuator with High Speed On-off Valve

HUANG Jian-ming, SU Yu-gang, YANG Zhi-gang, CAO Chang-xiu

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper develops the control system of electronically-controlled throttle with high speed on-off valve. The electronically-controlled hydraulic actuator is used to control the throttle controlled by high speed on-off valve. The mathematical model of the control system is established. Because of the existing turn-on time of high speed on-off valve, the problem which throttle position is controlled actuately is solved by adding a nonlinear compensating block. Main parameters affecting throttle position control are discussed. Simulation research and road test prove that the control system is applicable and feasible.

Key words: throttle; hydraulic actuator; high speed on-off valve; mathematical model

(责任编辑 吕赛英)

(上接第17页)

Collaborative Work Team Grouping Strategy in Networked Virtual Enterprise

WAN Xi-yang, LIU Fei, YIN Chao, LIU Feng, ZHENG Hua-lin

(Institute of Manufacturing Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Grouping a virtual enterprise is a key technique of agile manufacturing formation. By analyzing the elements of the enterprise's resource and requirements and making use of the concept of resource index and the method of fuzzy judgement, the model of enterprise's resource is presented. The communication structure of collaborative work team is built by using the network infrastructure of COBRA. Also, team grouping process of collaborative work is discussed. Considering the enterprise's resource demands, the strategy of selecting partners based on the optimization of enterprises' resource is proposed.

Key words: resource modeling; collaborative work; virtual enterprise

(责任编辑 成孝义)