

电液位置伺服系统新的校正方法

白国长 韩丰田

尚志国

(郑州工业大学机电一体化研究所)(煤碳部郑州设计研究院, 450007)

摘 要 通过理论分析和大量数字仿真研究在电液位置伺服系统中采用 PDFSV 控制的合理性、良好的鲁棒性及广阔的应用前景。

关键词 电液位置伺服控制;PDFSV 控制;鲁棒控制

中图分类号 TN820.3

0 引言

PDFSV(伪微分反馈次变量控制)是一种构思新颖、性能优良、实现简单的新的控制方法。理论、仿真及实践表明:它在保持最快的响应速度和极高的控制精度的同时可以做到无超调,同时具有很强的鲁棒性,被誉为工程控制的最佳模式^[1]。电液伺服系统具有动态响应速度快、精度高等优点,但也存在着参数变化范围大、非线性和外界干扰引起的不定性问题,导致设计困难。随着对电液伺服系统精度和响应速度要求的提高,这些不定性问题显得更加突出,这样,常用的经典控制方法,如 P 或 PI 就很难满足要求了。更为严重的是,由于这些控制方法的影响,往往使得液压伺服系统本身所固有的高响应性能不能充分发挥,所以在电液伺服系统中采用新的控制方法是当代流体动力技术发展的方向之一^[3]。到目前为止,自适应控制、模糊控制、变结构控制及神经网络控制等新的控制方法已开始研究运用于电液伺服系统,但这些控制方法比传统的 PID 要复杂得多,限制了它们的推广使用。而在电液位置伺服系统中采用 PDFSV 控制简单易行且精度很高,其良好的鲁棒性能弥补液压伺服系统参数变化范围大等特点,有望成为电液位置伺服系统主导的调节方法。

1 数学模型的处理及简化方法

对电液位置伺服系统,由于存在着伺服阀的频宽远高于被控对象,伺服阀的动态性能对系统影响很小,故其开环传递函数可简化为:

$$G_h = \frac{K_h}{s} \left[\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\zeta_h s}{\omega_h} + 1 \right] \quad (1)$$

收稿日期:1997-09-04

第一作者 男 1968 年 11 月生 硕士学位 讲师

式中： K_v ——系统开环的总增益。包括伺服放大器的增益、电液伺服阀的流量增益、被控对象的增益和位置传感器的增益。

ω_h ——被控对象的固有频率。

ζ_h ——执行机构与负载的阻尼比。一般 $\zeta_h=0.1\sim0.3$

由于 *PDFSV* 控制直接适用于二阶及以下被控对象,对上述三阶被控对象需采用合适的简化方法简化为二阶被控对象才能采用,经研究发现:对电液位置伺服系统若采用 *PDFSV* 控制方法,简化为如下所示的形式:

$$G_h(S) = \frac{K_n}{S^2}$$

(2)

以此形式为数学模型,采用 *PDFSV* 控制计算控制系数时取:

$$I = 1/(1-8) K_v$$

(3)

对 I 的取值,可根据伺服阀的动态特性取大或小的值。经大量的数字仿真及研究发现:一般来说对频宽比较高的伺服阀 I 的值取小一点反之则大一点。由此为依据,代入以速度为次变量的公式^[1],求得各控制系数,再把简化前原模型代入仿真可得到理想的结果。其结构如图 1 所示:

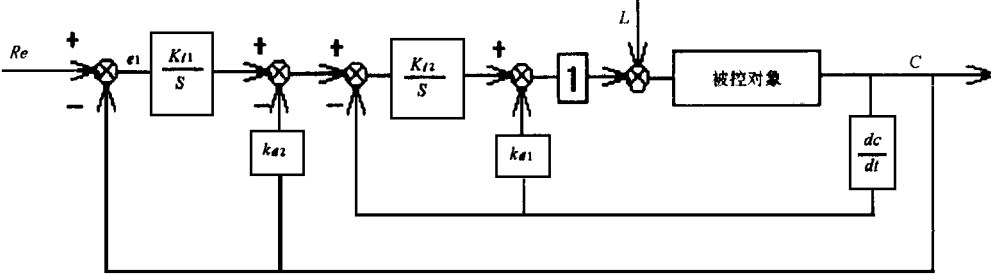


图 1 以速度为次变量的 *PDFSV* 控制

各控制系数的计算采用陈方法,公式如下:

$$K_{i1} = f_{i1} M_{max}/(IR_0)$$

(4)

$$K_{i2} = f_{i2} M_{max}/R_0$$

(5)

$$K_{d11} = f_{d11}(M_{max}/(IR_0))^{0.5}$$

(6)

$$K_{d12} = f_{d12}(M_{max}/R_0)^{0.5}$$

(7)

$$f_{i1} = 1.2683 B^{0.0089} F^{0.0634}$$

(8)

$$f_{i2} = 0.5933 B^{-0.0032} (13.8526 + 5.7836 F)$$

(9)

$$f_{d11} = 1.7736 B^{0.0053} F^{0.044}$$

(10)

$$f_{d12} = 0.7513 B^{-0.0619} (4.9858 + 1.3814 F)$$

(11)

式中

M_{max} ——末级控制元件的最大功率输出

R_0 ——系统能线性响应的最大参考输入

B ——调整带宽,本系统取 $B=0.01$

I ——模型系数

F ——特征根参数, $F=10$

2 理论分析和仿真研究

由图 1 可看出, $PDFSV$ 控制形式上类似为一个串—并联的综合校正系统,但这和一般的串—并联校正系统有着本质的区别。这个系统是一有机的相对固定的整体,各环节控制系数相互联系,由公式(4~11)计算出来,一般不需现场调试即可,这弥补了一般串—并校正各环节参数不易确定,各反馈内环稳定性差的缺点。由于一般的串—并联系统是在仅串联不能满足要求的情况下所采用方法,所需计算量很大,需经反复试凑才能成功。在液压伺服系统中采用 $PDFSV$ 控制首先能大大降低设计者的工作量,以速度为次变量还能起到增大系统谐振频率,以加速度为次变量能增大系统的阻尼降低非线性环节对系统影响的作用,其良好的鲁棒性能正好弥补液压伺服系统参数变化范围大的不足;设计时考虑了末级功率元件的输出,避免了系统的饱和和非线性增大了系统的可控性;由阶跃参考输入作用的仿真结果可知, $PDFSV$ 控制系统允许末级元件经历一段时间逐渐达到最大值,这就降低了液压伺服系统中电液伺服阀的频宽要求,下面的仿真研究证明了这些。

对一具体的电液位置伺服系统,采用液压缸—负载系统,传递函数为:

$$G_h(S) = \frac{13.79}{S \left(\frac{S^2}{179^2} + \frac{0.4S}{179} + 1 \right)} \tag{12}$$

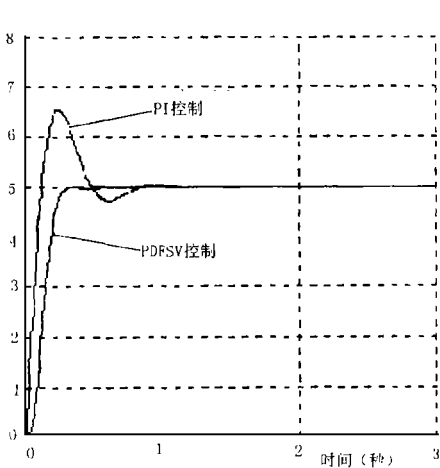


图 2 阶跃响应曲线

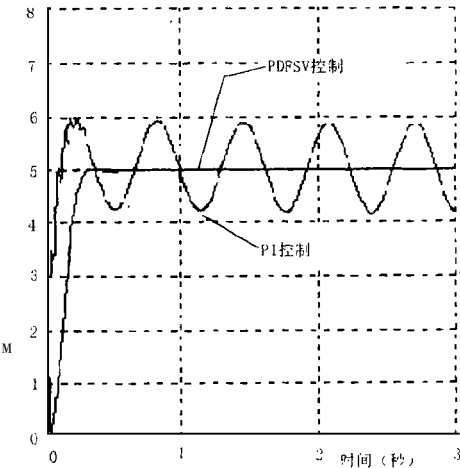


图 3 干扰作用下的响应曲线

$M_{max}=5$ $R_0=5$ 取 $B=0.01$ $f=1$ 由式(3)取 $I=0.01$ 代入式(4~11)得:

$K_{i1}=140.87$, $K_{i2}=71.64$, $K_{d11}=19.15$, $K_{d12}=1.878$ 代入图 1 所示的模型,图 2 为对

对本系统使用 $PDFSV$ 控制和 PI 控制的阶约响应曲线仿真阶跃响应曲线,其优点显而易见,做到了设计简单,无超调量,且响应时间短。

$PDFSV$ 控制的优点还表现在其良好的鲁棒性上,这对液压伺服系统特别适用。由式

(3)可知, I 的选取是一个范围值, 可见它并不依赖于精确的数学模型, ζ_h 和 ω_h 对系统的影响也不大, 经仿真研究发现: 当 ζ_h 从 0.1 到 0.3 和 ω_h 从 130 到 400 变化其阶跃响应曲线基本上没变化。图 3 为相同的干扰作用在 PI 控制系统和 $PDFSV$ 控制系统下的结果, 显然, PI 控制系统已无法正常工作, 而 $PDFSV$ 控制的系统几乎毫无影响。图 4 为加入死区非线性环节后的仿真结果, 值得一提的是, PI 调接系统按原控制系数已发散无法工作, 图 4 所示的为改变系数后的最优结果。

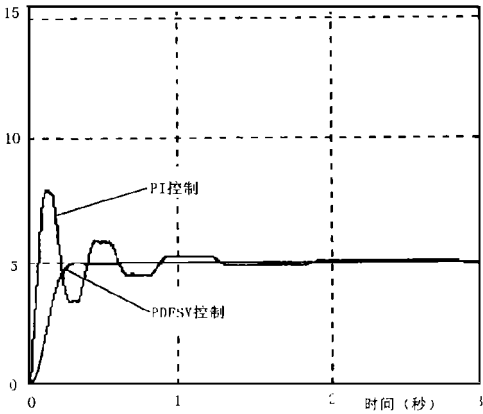


图 4 加入死区非线性
环节后的响应曲线

3 小结与展望

由以上分析仿真可知: 对电液位置伺服系统完全可以采用 $PDFSV$ 控制, 其设计实现简单, 性能优良, 其良好的鲁棒性能很好地解决液压伺服系统参数变化范围大, 非线性因素多和不定性等这些古典控制器难以解决的问题。

参考文献

1 Liu Chen. Application of Root Configuration Theory in Dynamic System Designs , Asme, 345E. 478t, N. Y. 1987
2 李洪人. 液压控制系统: 国防工业出版社. 1990
3 李运华. 流体动力技术的现状与发展. 机床与液压. 1994(4)
4 白国长. 电液伺服系统 $PDFSV$ 控制器的研究. 西南交通大学硕士论文

A new Control Method to Electro—hydraulic
Position Servo System

Bai Guochang Han Fengtian
(Zhenzhou University of Technology)
Shang Zhiguo

(Coal Industry Department , Zhengzhou Designing and Research Institute , 450007)

Abstract In this paper, emphasis has been given to theoretical analysis and digital simulation. It shows that electro—hydraulic position servo system with $PDFSV$ control has feasibility, good control quality and high robust performance.

Keywords electro—hydraulic position servo control; $PDFSV$ control; Robust control