

·测试、试验与仿真·

基于PSD的快速反射镜系统设计与仿真

王 凯, 王 巾

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘 要:介绍一种基于PSD位置传感器的快速反射镜系统,并且对快速反射镜的机械结构进行了分析和设计;采用不完全微分PID算法作为控制策略,消除了快速反射镜的低频机械谐振峰,从而实现快速反射镜的快速、高带宽控制。经仿真验证,校正后系统阶跃响应时间短,跟踪精度高。

关键词:PSD;快速反射镜系统;不完全微分PID;快速、高带宽

中图分类号:TP212.9

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-02-0076-04

Design and Simulation of FSM System Based on PSD

WANG Kai, WANG Jin

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: A fast mirror (FSM) system based on position sensitive detector (PSD) is introduced. The mechanical structure of the system is analyzed and designed. Incomplete differential proportional-integral-differential (PID) algorithm is used as a control strategy to remove the mechanical resonant peak with low frequency from FSM system. So the functions of fast response and wide bandwidth control of the FSM are realized. The corrected system has the characteristics of short step response time and high tracking precision through simulation verification.

Key words: position sensitive detector (PSD); fast mirror (FSM) system; incomplete differential proportional-integral-differential (PID); fast response; wide bandwidth

快速反射镜系统是光电精密跟踪系统中必不可少的一部分,主要用于校正主系统的跟踪误差及风矩、大气等干扰引起的视轴抖动。由于干扰因素的多样复杂性,所以对快速反射镜系统的控制带宽及相应速度都有很高的要求。

快速反射镜系统是采用反射镜面在光源和接收器之间控制光束的一种装置,与大惯量主系统共同构成复合轴跟踪系统,在各种光学系统中用于驱动和稳定光束^[1]。由于其结构有谐振频率高、响应速度快、动态滞后误差小等优点,弥补了主视轴系统的不足,而其工作范围小的缺点由主轴系统予以补偿,两者作用合成,便可实现大范围的快速高精度跟踪^[2]。

光束信号检测采用PSD器件,比目前的CCD测角仪具有更快的响应速度、更高的灵敏度、更高的可靠性及稳定性等优点,进一步提高了快速反射镜系统的动态性能。

1 基于PSD的快速反射镜系统工作原理

基于PSD的快速反射镜系统与大惯量伺服框架结构中的光学系统相结合,通过控制光束和接收器之间位置偏差进而控制反射镜面偏转,最终实现驱动和控制光束的目的。快速高精度光束控制系统一般由反射镜体、位置探测单元、控制单元、驱动单元、执行机构等部分组成,如图1所示。

快速反射镜系统工作原理是:控制单元启动位置敏感探测器(PSD),对光束进行探测,并输出二维脱靶量信息,同时根据脱靶量偏差信号控制驱动单元,产生具有一定幅度、频率和方向的驱动电流,控制音圈电机产生精确的推拉作用力,控制快速反射镜实现两个方向的偏转,从而实现光束对目标快速、精确的跟踪。

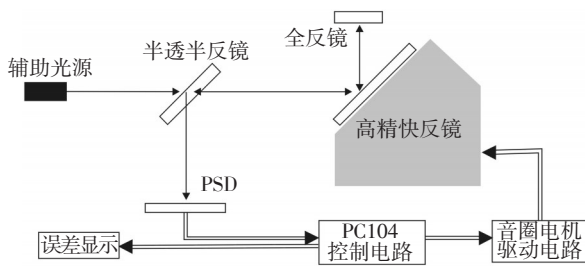


图1 快速反射镜系统工作原理

2 快速反射镜的结构设计

快速反射镜机械结构由基座、镜架、反射镜片、四个音圈电机、弹簧片及支柱组成。其结构图如图2所示。

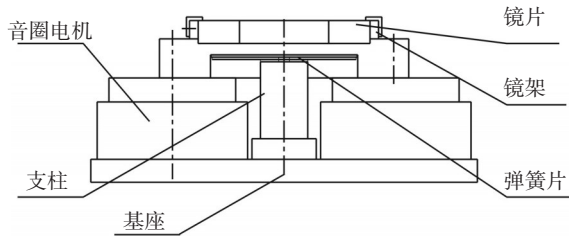


图2 快速反射镜机械结构组成

弹簧片、支柱和基座构成快速反射镜的柔性支撑系统。柔性支撑系统维持反射镜的支撑方式、分配应力变形并将反射镜限制在两个自由度上的运动^[3]。因此,柔性支撑系统要有足够的刚度,从而使快速反射镜获得需要的快速响应性,同时又要有足够的柔度,防止驱动器过载或达不到快速反射镜角度倾斜的范围。

采用铸造工艺使基座具有足够的刚度以保证驱动器的反作用力不激发基座的振动模态,同时,吸收外界的振动,防止振动传导到快速反射镜上,对快速反射镜造成振动干扰。

3 伺服设计

快速反射镜由机座、镜框、反射镜、四个音圈驱动器及柔性弹性支撑结构四部分组成。驱动器采用移动音圈的方式,这样可减小整个移动惯量,从而降低反作用力矩。通过呈正交分布的两对驱动器的推拉作用,来实现对反射镜倾斜控制。

在一维方向上校正转台可看作单自由度的扭振系统,其力矩平衡方程可表示为

$$M=(J+2m_cL^2)\theta''+2CL^2\theta'+2KL^2\theta \quad (1)$$

式中, M 为施加的力矩, J 为倾斜镜的转动惯量, θ 为

倾斜镜的偏转角, K 为驱动器与弹性支撑的合成刚度, C 为等效阻尼系数, L 为驱动器作用点到转轴的距离, m_c 为音圈的质量^[4]。将其转化为偏转角与力矩之间的传递函数为

$$G(S)=\theta(S)/M(S)=[S^2+2CL^2S/(J+2m_cL^2)+2KL^2/(J+2m_cL^2)]^{-1} \quad (2)$$

由式(2)知,快速反射镜机械结构部分为典型的二阶振荡环节,谐振峰主要由该环节带来,再加上电路一阶惯性的影响,整个快速控制反射镜为三阶系统^[5]。

通过对快速反射镜的机械结构分析可知,谐振峰主要由二阶振荡环节引起的,在控制系统中二阶微分环节是一种幅频、相频特性与二阶振荡环节互补的典型环节,因此在控制系统中可以引入与振荡环节互补的二阶微分环节消除谐振峰的影响。而平常所用的PID控制器的传递函数为

$$G_C(S)=K_P+(K_P/T_I)/S+K_P T_D S=[K_P T_D(S^2+1/T_D \times S+1/T_D T_I)]/S \quad (3)$$

式中, K_P 为比例系数, T_I 、 T_D 分别为积分、微分系数^[6]。控制器可为系统引入一个二阶微分环节,如果 T_I 和 T_D 选择适当,该环节可与校正转台中的二阶振荡环节相消,起到消除谐振峰的作用。另外,控制器为系统引入一个坐标原点上的极点,使系统成为一阶无差系统,位置稳态误差为零。这样只用PID控制器,就可以按照设计要求增加系统开环增益,提高系统的控制带宽,而不必考虑结构谐振频率对控制器设计的限制。但在实际应用中,控制器中微分的作用会放大误差信号中高频噪声,使系统不稳定,改进使用不完全微分PID控制算法,即将低通滤波器直接加于微分环节上,可使系统稳定^[7]。

不完全微分结构的传递函数为

$$G_C(S)=K_P+K_P/T_I/S+K_P T_D S/(T_f S+1)=K_P(T_f+T_D)[S^2+S(T_I+T_f)/T_I(T_f+T_D)+1/T_I(T_f+T_D)]/S(1+T_f S) \quad (4)$$

式中, T_f 为低通滤波器的时间常数,其余参数同式(3)。采用不完全微分PID法不仅使原微分系数降低,降低微分的放大作用,而且为系统增加一个实负极点,使校正环节的分子分母阶数相同,增加系统稳定性^[8-9]。

控制系统框图如图3所示。

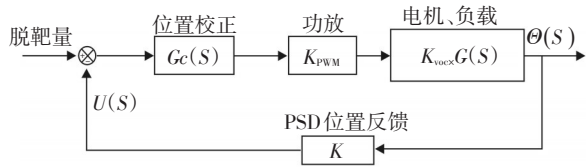


图3 控制系统框图

4 仿真分析

控制对象传递函数：
$$\frac{K_p}{s^2 + 0.0838s + 0.00466}$$

K_p 值的确定： $K_p > (0.287/0.00278) = 104$ ，考虑到摩擦和其他非线性因素的影响，取 $K_p = 470$ 。

由图4所示，待校正系统幅值裕度小于0，系统性能差。

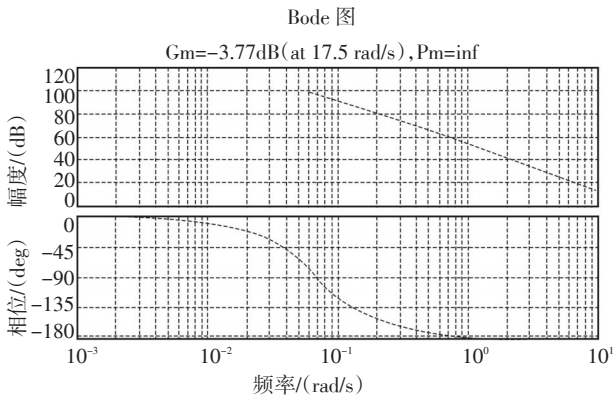


图4 待校正系统bode图

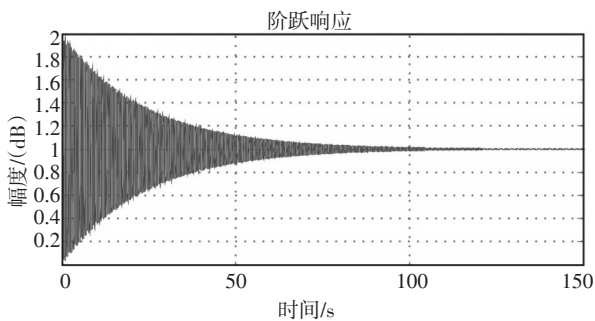


图5 待校正系统阶跃响应

选取低通滤波器的截止频率为500 Hz，通过计算得到不完全微分结构为

$$K \frac{(s^2 + 0.0838s + 0.00702)}{s(0.002s + 1)} \quad (5)$$

Matlab仿真结果如图6~图8所示。

校正后相角裕度和剪切频率均满足系统设计要求^[10]。

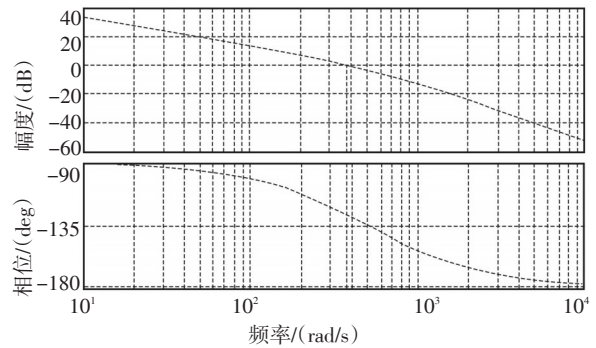


图6 校正后系统开环频率特性图

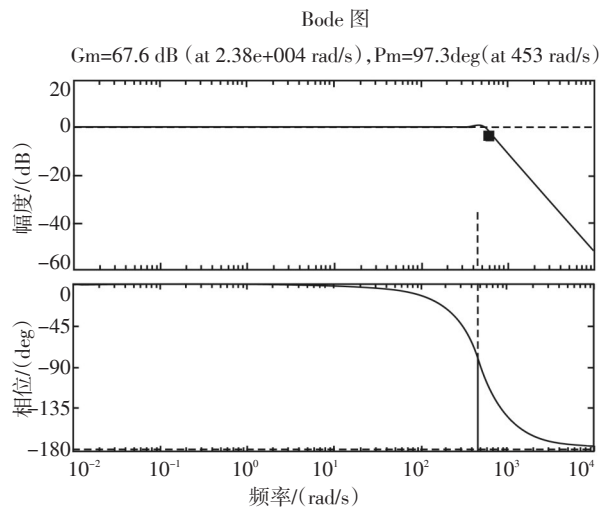


图7 校正后系统闭环频率特性图

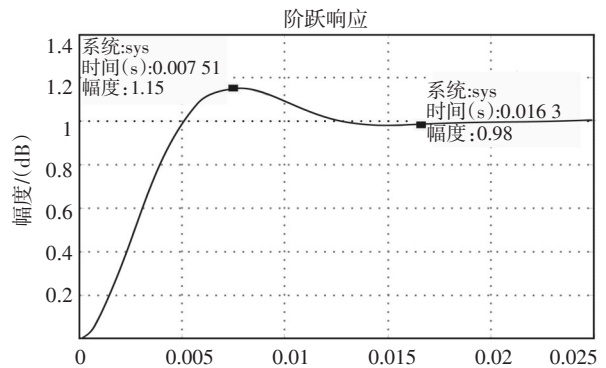


图8 校正后系统阶跃响应曲线

如图8所示，阶跃响应超调量满足要求，调节时间短，结果理想。

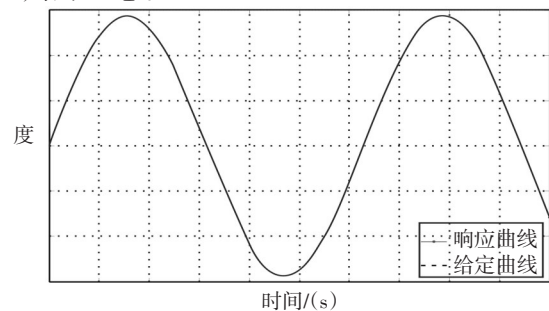


图9 位置跟踪曲线

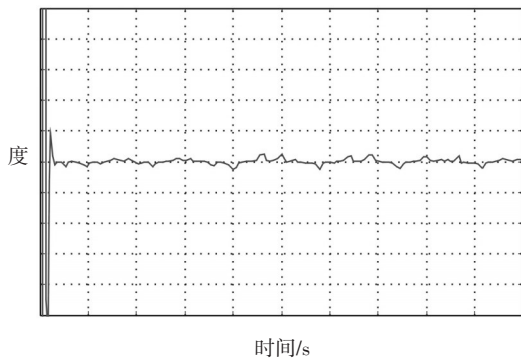


图10 正弦跟踪误差曲线

由仿真结果可以看出,基于PSD的快速反射镜系统采用不完全微分PID控制算法对其进行控制,校正后比校正前的相角裕度得到明显提高,保证了系统的稳定性,校正后的系统带宽和阶跃响应时间理想,实现了系统的高带宽和快速性,由位置跟踪曲线和误差曲线可知,系统跟踪良好,实现了系统的精确跟踪。

5 结束语

设计系统相比其他使用CCD作为位置反馈器件的快速反射镜系统,有着更高的性价比、稳定性和跟踪精度,但在实际应用中,仍有不足之处,例如:辅助光源的稳定性不够和PSD位置探测器受外界可见光

干扰,造成PSD读数有波动,影响位置闭环的跟踪精度;还有,快速反射镜的柔性支撑系统可重复性能差,不能每次回到相同的初始零位位置,需要反复更改初始零位;通过选取光功率稳定性更高的辅助光源,PSD位置探测器加装遮光罩,在快速反射镜的柔性支撑系统材料和加工工艺上采取措施,将使此系统的跟踪精度和稳定性得到进一步提高。

参考文献

- [1] 王强,陈科,傅承毓.基于闭环特性的音圈电机驱动快速反射镜控制[J].光电工程,2005,32(2):9-11.
- [2] 屈玉宝,丛龙洋.稳像振镜系统的设计[J].光电技术应用,2010,25(6):25-30.
- [3] 庞怀玉.机械制造工程学[M].北京:机械工业出版社.
- [4] 胡寿松.自动控制原理[M].北京:科学出版社,2007.
- [5] 郑彬,凌宁.高速倾斜镜的频率响应函数测量[J].光电工程,1999,26(5):59-63.
- [6] 范国滨.光束稳定与振动控制的光机电一体化系统研究[D].西安:西安电子科技大学,2004.
- [7] 张建民.机电一体化系统设计[M].北京:北京理工大学出版社.
- [8] 邓耀初,贾建援,陈贵敏,等.振动环境下的快速反射镜精确跟踪系统[J].激光与红外,2008,28(1):1-13.
- [9] 邓耀初.基于快速反射镜的光束指向稳定技术[D].西安:西安电子科技大学,2008.
- [10] 张志涌.MATLAB[M].北京:北京航空航天大学出版社.

(上接第66页)

- ber laser[J]. Optics Letters, 2000, 25(1): 37-39.
- [8] D C Brown, H J Hoffman. Thermal, stress and thermal-optic effects in high average power double-clad silica fiber lasers [J]. IEEE J. Quantum Electron, 2001, 37(2): 207-217.
- [9] Brahma N Upadhyaya, Arun Kumar, Usha Chakravarty, et al. Analysis of output pulse characteristics in Q-switched Yb-Doped Fiber Laser[J]. IEEE J Quantum Electron, 2011, 47(6):786-793.
- [10] J J Degnan. Theory of the optimally coupled Q-switched laser[J]. IEEE J. Quantum Electron, 1989, 25(2): 214-220.
- [11] G Xiao, M Bass. A generalized model for passively Q-switched lasers including excited state absorption in the saturable absorber[J]. IEEE J. Quantum Electron, 1997, 33(1): 41-44.
- [12] T Y Tsai, M Birnbaum. Characteristics of Co²⁺:ZnS saturable absorber Q-switched neodymium lasers at 1.3 [J]. Appl. Phys., 2001, 89(4): 2006-2012.
- [13] Y Wang, C Q Xu. Switching-induced perturbation and influence on actively Q-switched fiber lasers[J]. IEEE J. Quantum Electron, 2004,40(11): 1583-1596.
- [14] Huo Yanming, Peter K Cheo, George G King. Modeling of actively Q-switched Er³⁺/Yb³⁺-codoped clad-pumped fiber lasers[J]. IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics, 2005, 41(15):573-580.