

动基座光电平台伺服系统扰 动力矩抑制能力仿真与分析

孔德杰^{1,2}, 程志峰^{1,2}, 沈宏海¹, 戴明¹

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2.中国科学院 研究生院, 北京 10039)

摘要: 为了提高动基座光电平台视轴稳定精度, 必须提高伺服系统对抗动力矩抑制的能力。针对这种情况, 提出了在伺服系统中引入加速度反馈闭环来抑制扰动力矩。仿真、分析结果表明, 加速度反馈闭环的引入有效增强了动基座光电平台伺服系统的力矩刚度, 极大的抑制了扰动力矩, 将动基座光电平台视轴稳定精度由 177.8 μ rad 提高至 8.5 μ rad。
关键词: 加速度反馈; 扰动力矩; 加速度计; 扰动观测器

中图分类号: TM351

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2011)02-0067-03

Simulation and Analysis of Resisting Disturbance Moment of Servo System of Moving Base Electro-Optical Platform

KONG Dejie^{1,2}, CHENG Zhifeng^{1,2}, SHEN Honghai¹, DAI Ming¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: To improve the stabilization of line of sight (LOS), high dynamic stiffness is required in the servo system of moving base Electro-Optical Platform. Therefore, an acceleration feedback loop is presented for classical servo system as an inner loop. The simulation results and analysis show that the acceleration feedback loop enhances the dynamic stiffness of servo system of Electro-Optical Platform and improves stabilization of LOS from 177.9 μ rad to 8.5 μ rad under the condition of disturbances.

Key words: acceleration feedback; disturbance moment; accelerometer; disturbance observer

在动基座光电平台视轴稳定跟踪时, 尤其是在长焦距跟踪目标时, 由于风阻、载体晃动、摩擦等所带来的扰动力矩影响, 平台视轴晃动量比较大, 导致成像质量下降, 甚至造成跟踪失败。动基座光电平台伺服系统在正常工作时, 处于频繁地起、制动状态中, 对动态性能要求很高, 需要具有较强的动态抗扰性能, 而在实际平台伺服系统设计中, 带有电流环、速度环的传统双闭环调速系统难以克服扰动力矩这一关键影响因素。因此, 在设计动基座光电平台伺服系统回路时, 需要把扰动转矩也看作输入, 则调速系统是双输入(速度和扰动力矩)、单输出(转速)系统^[1]。充分考虑这一性

质, 并采取有效策略对抗动力矩加以抑制。

1 扰动力矩抑制策略

为了使扰动力矩作用下的动基座光电平台的系统跟踪误差尽可能小, 就要相应提高其伺服系统的刚度。在传统的电流、速度双闭环调速系统中, 通过提高速度或位置反馈增益, 虽然可以提高伺服系统的刚度, 但伺服系统带宽也相应地增大, 从而使得系统无法有效抑制噪声干扰, 甚至造成伺服系统的不稳定。目前, 对抗动力矩常用的有效控制策略是在电流、速度双闭环调速系统的基础之上增加加

收稿日期: 2011-03-11

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目(2008AA121803)

作者简介: 孔德杰(1978-), 男, 博士研究生, 主要从事机载光电平台伺服控制方面的研究, E-mail:kongdejie@mail.sdu.edu.cn.

速度环,即引入加速度反馈闭环。采用加速度反馈的方法,则可以在不改变速度和位置环带宽的情况下提高伺服系统的总体动态刚度^[2]。

2 扰动力矩抑制分析

如图 1 所示, $G_c(s)$ 为电流环校正传递函数, K_e 为反电动势, T_e 为电磁时间常数, R 为电机内阻。从图 1 可以看出, K_e 位于电流环内, 可以被抑制。

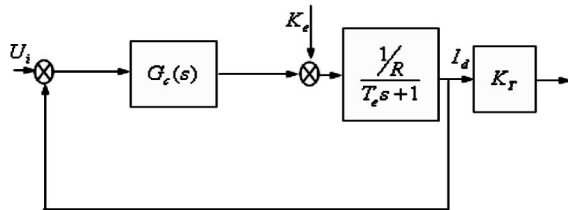


图 1 电流环原理框图

Fig.1 Current loop principle schematic diagram

反电动势对电流环来说只是一个变化缓慢的扰动作用,所以在忽略电动势影响下,电流环闭环传递函数为:

$$G_i = \frac{G_c(s) \cdot \frac{1/R}{T_e s + 1}}{1 + G_c(s) \cdot \frac{1/R}{T_e s + 1}} \cdot K_T \quad (1)$$

由 (1) 式可以看出,在不影响仿真的情况下,假设 $G_c(s)$ 设计的理想,则电流环化简为理想的比例环节 K_T 。

未引入加速度反馈闭环的传统伺服系统原理框图如图 2 所示。

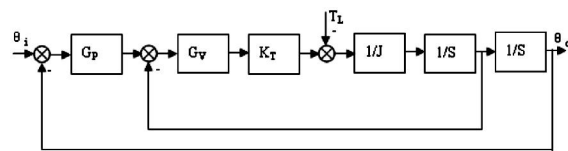


图 2 无加速度反馈闭环的伺服系统框图

Fig.2 Servo system without acceleration loop

图 2 中, T_L 为扰动力矩; G_v 为速度环校正参数; G_p 为位置环校正参数。

未引入加速度反馈闭环时,伺服系统动态力矩刚度为

$$\frac{T_L}{\theta_o} = JS^2 + G_v K_T S + G_p G_v K_T \quad (2)$$

引入加速度反馈闭环的伺服系统原理框图如图 3 所示。

引入加速度反馈闭环时伺服系统动态力矩刚度为

$$\frac{T_L}{\theta_o} = (J + G_a K_T) S^2 + G_v G_a K_T S + G_p G_v G_a K_T \quad (3)$$

由图 2、图 3 可以看出,扰动力矩在电流环之外,加速度环、速度环内。这说明加速度环、速度环对扰动力矩都有抑制作用。

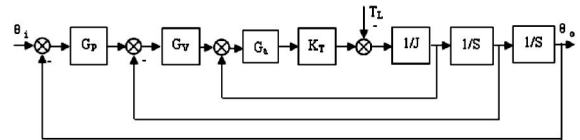


图 3 带有加速度反馈闭环的伺服系统框图

Fig.3 Servo system with acceleration loop

将加速度环简化为 P (比例) 控制,则 $G_a = K_A$, 代入 (3) 式可得

$$\frac{T_L}{\theta_o} = (J + K_A K_T) S^2 + G_v K_A K_T S + G_p G_v K_A K_T \quad (4)$$

由 (2)、(4) 式比较可以看出,加速度反馈闭环的引入使被控对象的转动惯量增加了 $K_A K_T$, 增大了伺服系统的力矩刚度。

3 仿真

利用 Matlab 中的 Simulink 建立了带有加速度反馈闭环的伺服系统仿真模型,如图 4 所示

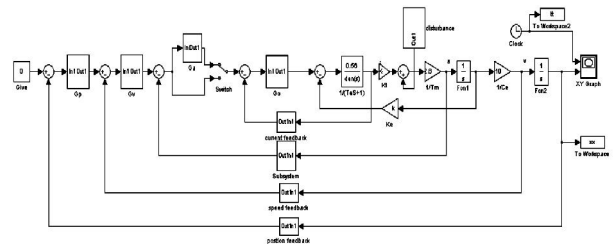


图 4 伺服系统仿真模型

Fig.4 Simulation of servo system

图 4 中,该模型闭环回路由外向里共分为四环,分别是位置环、速度环、加速度环、电流环。

被控对象模型参数选取某型动基座光电平台的实际参数。其中,位置环校正传递函数取为 $G_p = 90 \times \frac{0.417s+1}{2.632s+1}$,速度环校正传递函数取为 $G_v = 2500 \times \frac{(0.0562s+1)^2}{(2.083s+1)^2}$,加速度环校正传递函数取为纯比例,即 $G_a = 50$,电流环校正传递函数取为 $G_c = 1000 \times \frac{(0.00033s+1)^2}{(0.00068s+1)^2}$ 。基于该仿真模型,对动基座光电平台伺服系统扰动力矩抑制性能进行了仿真实验。

3.1 突加扰动力矩抑制

在突加 $0.1N \cdot m$ 阶跃扰动输入的情况下,动基座光电平台伺服系统仿真模型的视轴稳定情况,如图 5 所示

图 5 中,(a)为带有加速度反馈闭环的伺服系

统;(b)为无加速度反馈闭环的传统伺服系统。

由仿真结果可以看出,对于恒定的扰动力矩,两种伺服系统抑制能力相当。但对于阶跃扰动力矩由0到 $0.1\text{N}\cdot\text{m}$ 过渡过程中突变扰动力矩,引入加速度反馈闭环后的伺服系统的抑制能力更为明显。

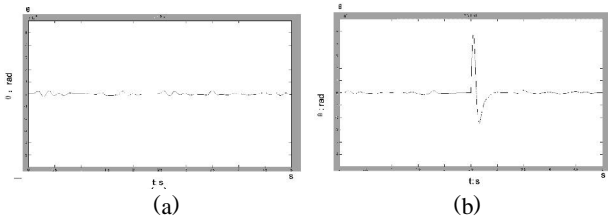


图5 阶跃扰动时视轴稳定
Fig.5 Stabilization of LOS when step disturbance moment

3.2 周期、摩擦、随机扰动力矩抑制

作用于电机轴上的扰动力矩为周期性扰动力矩、随机扰动力矩和摩擦扰动力矩。其中各扰动力矩最大幅值均为 $0.1\text{N}\cdot\text{m}$,周期性扰动力矩为频率1Hz的正弦扰动力矩。

动基座光电平台伺服系统仿真模型的视轴稳定情况,如图6所示。

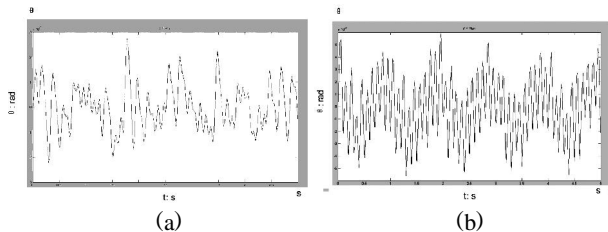


图6 周期、摩擦、随机扰动时视轴稳定
Fig.6 Stabilization of LOS under disturbances moment of periodic, of friction, of random

图6中,(a)为带有加速度反馈闭环的伺服系统;(b)为无加速度反馈闭环的传统伺服系统。

仿真统计数据结果表明,当由周期性扰动、随机扰动、摩擦力矩扰动等各种扰动力矩同时作用于电机轴时,带有加速度反馈内环的伺服系统的优势更加明显,抑制扰动能力比只带有电流、速度双闭环的传统伺服系统提高了一个数量级,仿真结果中视轴稳定精度分别为 $8.5\mu\text{rad}$ 、 $177.8\mu\text{rad}$ 。

4 加速度反馈的实现途径

加速度反馈实现方法有两种,分别为直接加速度反馈和基于扰动观测器的负载转矩抑制。

4.1 直接加速度反馈

直接加速度反馈又分为对转速进行微分获得加

速度信号和采用加速度计直接获得加速度信号。

4.1.1 转速微分反馈

转速微分反馈本质是引入了加速度反馈。但速度微分信号直接加在速度反馈环节,也就是说没有构成独立一环,对速度环带来很大影响,产生了较大的相位滞后,影响到速度环的快速响应性能;加速度的获得是用速度微分计算得来,而微分运算容易引入干扰,所以具体实现有较大困难^[3]。

4.1.2 加速度计

采用加速度计直接获得加速度信号是比较可行的一种方法,但由于高精度、宽带宽、体积合适的角加速度计在国内很难得到,所以一般加速度信号的取得,还是由线加速度计组合得到。

4.2 扰动观测器

扰动观测器的本质是设计一个等效的加速度反馈闭环,即在速度环和电流环之间引入等效的加速度负反馈^[4]。在实际设计中,需要建立较为准确的电机模型、传感器模型,从而使伺服系统具有较好的扰动力矩抑制特性^[5]。

5 结论

加速度反馈闭环只要采用合适的带宽,对外环带宽不会产生影响;加速度反馈闭环在没有增加外环带宽的情况下,增大了伺服系统的动态力矩刚度,抑制了扰动力矩,改善了动基座光电平台的视轴稳定性能。以下两个方面作为今后具体实现加速度反馈控制两种途径需要解决的问题:

- 1.采用线加速度计来直接获得线加速度信号。涉及到线加速度信号采集以及角加速度的计算和处理。
- 2.设计扰动观测器。需要建立较为准确的电机模型、传感器模型等被控对象模型。

参考文献

- [1] 杨耕,罗应立.电机与运动控制系统[M].北京:清华大学出版社,2006,161-174.
- [2] 王忠山,付强,曾鸣,等.仿真转台周期性扰动抑制的研究[J].航空精密制造技术,2006,42(3):21-23,27.
- [3] 陈伯时.电力拖动自动控制系统—运动控制系统[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] Peter B Schmidt, Robert D Lorenz. Design Principles and Implementation of Acceleration Feedback to Improve Performance of DC Drives[J].IEEE,1992,28(3):422-427.
- [5] George Ellis.控制系统设计指南[M].北京:电子工业出版社,2006.