

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0351-04

高速扫描振镜伺服电路设计

叶乔¹, 汪盛烈¹, 赵学民¹, 杨海¹, 何云贵¹, 苏季平²

(¹华中科技大学激光加工国家工程研究中心, 湖北 武汉 430074; ²河南羚锐制药股份有限公司, 河南 新县 465550)

摘要 振镜式激光扫描器在现代工业中具有广泛用途, 为保证激光扫描器在各种工作状况下都能实现高速度和高重复性扫描, 应从扫描器工作原理入手设计匹配的运动控制器。基于这一思想, 设计了伺服系统原理图, 对位置调节器进行整定并建立了完整的闭环控制的位置随动控制系统。实验证明系统是可行的。

关键词 激光应用; 振镜式激光扫描器; 位置随动系统; 自动增益控制

中图分类号 TN249

文献标识码 A

Investigation of Galvanometer Scanner Servo

YE Qiao¹, WANG Sheng-lie¹, ZHAO Xue-min¹, YANG Hai¹, HE Yun-gui¹, SU Ji-ping²

(¹National Engineering Research Center for Laser Processing, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, 430074, China;

²Henan Lingrui pharmaceutical Co., Ltd., Xinxian, Henan 465550, China)

Abstract In this paper, the theory of galvanometer servo system is investigated, the system construction diagram is given, alternating position regulator is designed and the position following control system, which adopts closed-loop control, is completed. In the experiment, effectiveness of this system is satisfying.

Key words laser application; galvanometer scanner; position following control; automatic gain control

1 引言

检流计式激光扫描器(振镜)具有速度快、精度高等优点, 广泛应用于激光打标、信息存储和处理、生物医学检测等诸多领域, 是一种较理想的光学扫描器。随着国民经济的发展, 对光学扫描器的性能提出了更高的要求。本文详细讨论了振镜伺服驱动电路的工作原理和设计方法。

2 振镜伺服电路工作原理

振镜的基本工作过程是接受来自计算机系统的位置指令信号, 按比例驱动反射镜转动一定的角度, 以实现对其工作范围的扫描。振镜包括扫描电机和振镜伺服电路两部分。扫描电机是系统的执行机构, 反射镜就固定在扫描电机轴上, 它是一种冲击式有限转动伺服电机^[1]; 振镜伺服电路是一个位置随动控制系统, 它的作用是实现对扫描电机对输入位置指令的准确跟踪。

位置随动控制系统包括位置检测器, 信号调节器, 可逆功率放大器三部分。位置检测器将扫描电机的转动角度转换为相应的电信号, 作为位置信号

反馈到信号输入端。在设计控制系统时要求根据系统性能指标采用合适的控制策略, 信号调节器就是实现控制策略的电子电路。为了推动随动系统的执行机构, 只有电压放大是不够的, 还必须有功率放大, 可逆功率放大器接收位置信号, 输出一个足以驱动执行机构的电压信号。

在振镜扫描系统中, 角度传感器集成在扫描电机里, 伺服电路主要实现信号调节和功率放大, 其中根据电机特性设计合适的控制策略是整个设计工作的难点所在。图1为振镜扫描控制系统的原理图。

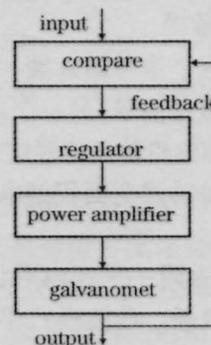


图1 伺服系统原理图

Fig.1 Servo system theory

3 振镜伺服电路设计

3.1 扫描电机数学描述

扫描电机从结构上可分为动圈式、动磁式、动铁式三种,它们的数学模型比较类似^[2],以动圈式扫描电机为例

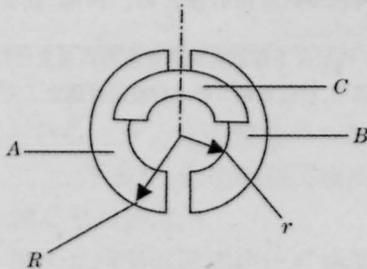


图2 电容传感器

Fig.2 Capacitance sensor

电枢回路电压平衡方程为

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + E_a \quad (1)$$

u 为电枢电压, i 为电枢电流, E_a 为电枢反电势;

电机轴上的转矩平衡方程:

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + f\omega(t) = M_m(t) - M_c(t) \quad (2)$$

J 为转动惯量, f 为粘性摩擦系数;

经化简转换为传递函数形式

$$G = \frac{\theta}{E_i} \frac{K_T}{(LS+R)(JS^2+fS+g)+K_TK_bS} \quad (3)$$

其中 θ 是电机轴的偏转角, E_i 表示线圈输入电压, g 为电子扭力棒的弹性系数, K_T 为转矩系数, K_b 为反电势常数。

为便于伺服系统的工程设计,扫描电机的传递函数还可以简化为

$$G = \frac{\theta}{E_i} = \frac{K/R}{JS^2+fS+g+(KK_b/R)S} = K \frac{\omega_n^2}{S^2+2\xi\omega_n S+\omega_n^2} \quad (4)$$

其中 K 为系统放大倍数, ξ 为阻尼系数, ω_n 为自由振荡频率。

3.2 输入信号的取得

振镜电路有两个信号输入端,一个接受来自计算机系统的位置指令信号;另一个接受从位置传感器反馈回来的扫描电机转角位置信号。振镜中的位置传感器是一种差动式变面积型电容传感器,它的结构如图2所示。

图2中 A, B 为同一平面内形状和尺寸均相同且互相绝缘的定极板。动极板 C 平行于 A, B , 并在自身平面内绕轴摆动,从而改变极板间覆盖的有效面积,传感器电容随之改变。 C 的初始位置必须保证与 A, B 的初始电容值相同。在图2中

$$C_{AC_0} = C_{BC_0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (R^2 + r^2)}{\delta_0} \alpha \quad (5)$$

式中 δ_0 为极板间垂直距离, ϵ_r 为极间介质的相对介电常数, α 为初始位置时一组极板相互覆盖有效面积所包的角度。

当动极板 C 随角位移输入而摆动时,两组电容值一增一减,差动输出,加在两极板上的高频激励电压幅值随之发生正负变化。经过二极管检波和滤波电路,获得的电压变化量与振镜转角成线性关系^[3]。

3.3 伺服电路设计

在本伺服系统中,输出响应的快速性、灵活性、准确性成了主要的性能指标。为了同时解决稳、准、快、抗干扰等互有矛盾的静、动态性能要求,设计工作分两步:第一步先解决主要矛盾—快速性和稳态精度,第二步再进一步满足其他动态性能指标^[4]。

为保证系统的稳定性和稳态精度,信号调节器采用闭环反馈控制策略。在振镜伺服系统设计中采用的是位置闭环结构及较大的开环放大倍数,既满足了系统稳态精度的要求,又保持了整个随动系统的快速性。

采用较大的开环放大倍数可以提高伺服系统的稳态精度,但同时又会降低系统的动态稳定性,所以系统设计的第二步就是系统的动态校正。由于电机中电感的存在,导致电流相对电压滞后,为提高电机响应速度,取一部分电机电流负反馈到功率放大电路的输入端,形成电流反馈。线圈的电流信号与电机转动加速度成线性关系,在转速反馈中,电流信号通过一个PI环节而转换成电机转速信号再反馈到增益放大级的输入端,同时PI调节器也提高了系统的高频阻尼。位置调节器采用PID调节器,根据扫描电机的数学模型对调节器的参量进行了整定,使I部分发生在系统频率特性的低频段,以提高系统的稳态性能;而使D部分发生在系统频率特性的中频段,以改善系统的动态性能。完整的振镜伺服系统结构如图3所示。

随动控制系统的稳定性和快速性是一对互斥的特性,为了满足实践生产中对稳定性和快速性的不同需求,设计了两种各有侧重的位置调节器,可通过跳线选择不同的控制模式。

模式1中的位置调节器包括微分器、比例放大器、积分器。这种调节器的优势在于控制系统的高精确性和高重复性,明显减轻机械摩擦,外部扰动等恶劣工作状况的影响。它面向那些对扫描系统的稳定性和精确性有特别要求的应用场合。

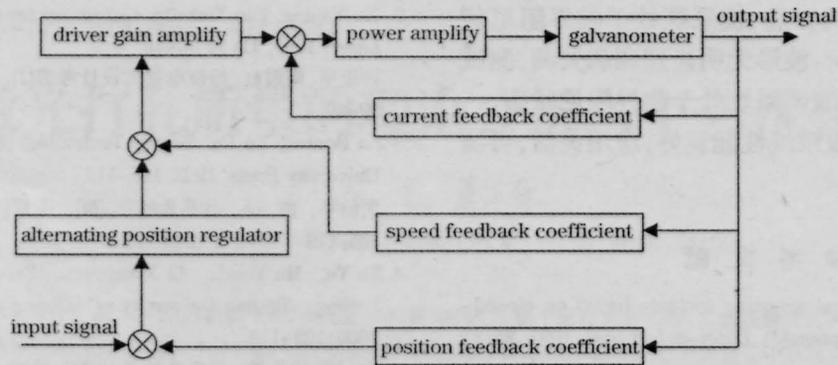


图 3 振镜伺服系统结构

Fig.3 Galvanometer servo construction

模式 1:

$$V(t) = A_1 \times \frac{d[V_{pos}(t)]}{dt} + A_2 \times V_{pos}(t) + A_3 \times \int Error(t) dt + A_4 \times \int I(t) dt \quad (6)$$

$V(t)$ 是驱动电路输入信号, $A_1 \sim A_4$ 是由各控制环节输出端电位器决定的系数。

模式 2 中的调节器包括微分器和放大器。在该模式下闭环伺服系统的带宽要高于模式 1, 代价是工作时无法消除机械摩擦和外部扰动的影响而产生稳态误差。它适用于一些特别强调扫描速度的场合。

模式 2:

$$V(t) = A_1 \times \frac{d[V_{pos}(t)]}{dt} + A_2 \times Error(t) dt + A_3 \times \int I(t) dt \quad (7)$$

伺服系统的驱动部分包括增益放大和功率放大。增益放大采用负反馈放大电路, 功放部分采用集成功率放大芯片 LM3886 作为振镜电机的功放元件。

鉴于激光扫描系统对安全性的特殊要求, 为保证扫描器在各种突发状况下仍能可靠的停止和启动, 设计了一系列的保护电路, 对振镜电机线圈温度, 电路板供电状况, 扫描电机偏角范围等进行全面监控, 从最大程度上保证了振镜扫描器的安全稳定运行。

4 伺服控制系统性能测试

伺服控制系统性能测试分为小转角测试和大转角测试两部分。在测试中采用方波信号作为输入信号。

4.1 小转角测试

在输入端引入一个 30 Hz, 峰-峰值为 1 V 的方波信号, 依次调节位置调节器中各环节参量和转速

反馈参量, 经反复调试, 使系统达到临界阻尼状态。系统输入、输出波形如图 4 所示。

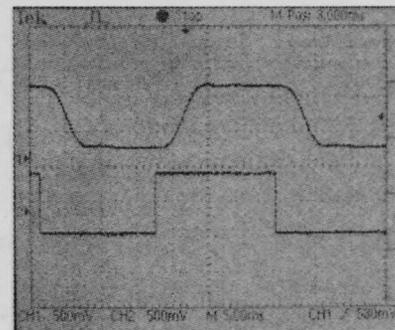


图 4 小转角测试

Fig.4 Small angle step test

CH_2 输入信号 V_i , 频率为 30 Hz, 峰-峰值为 1 V; CH_1 为振镜转角位置反馈信号 V_p , 频率为 30 Hz, 峰-峰值为 1 V, 调节时间低于 3 ms, 在示波器纵轴刻度为 500 mV/div 时, CH_1 中的方波信号上升沿和下降沿无明显超调, 表明系统处于临界阻尼状态, 小信号性能达到了设计要求。

4.2 大转角测试

在输入端引入一个 30 Hz, 峰-峰值为 1 V, 关于 0 V 对称的方波信号, 示波器两路通道分别接角位置反馈信号和电机输入信号。慢慢增加输入信号幅值, 使电机大角度(实验中设定为 $\pm 17^\circ$)转动, 并调

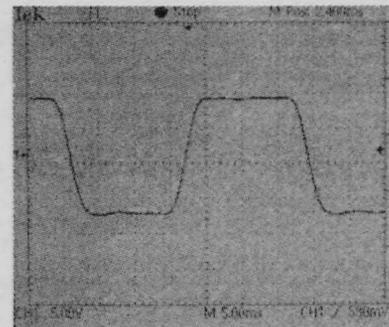


图 5 大转角测试

Fig.5 Large angle step test

节转换速率调节器的参量,使系统处于临界阻尼状态。波形如图5所示:波形无明显超调和欠调,测试时扫描器工作平稳,表明系统处于临界阻尼状态。

实验证明本伺服系统性能良好,应用灵活,可满足工业应用的需要。

参 考 文 献

- 1 Yang Shaochen. Optical scanning systems based on closed-loop galvanometer scanners[J]. *Laser & Infrared*, 1997, 25(3): 297~300
杨少辰. 对构成闭环振镜式光学扫描系统的研究[J]. *激光与红外*, 1997, 25(3):297~300
- 2 Xu Yaping, Tao Xiahong. Galvanometer circuit design[J]. *Appl. Laser*, 1999, 19(1): 39~40
许亚平,陶霞虹. 振镜电路的设计考虑[J]. *应用激光*, 1999, 19(1): 39~40
- 3 Jia Bonian, Yu Pu. Sensor Technology[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1992. 105~119
贾伯年,俞朴. 传感器技术 [M]. 南京:东南大学出版社,1992. 105~119
- 4 Jin Yu, Hu Youde, Li Xiangchun. Servo System Design [M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology Press, 2000. 103~112
金钰,胡佑德. 伺服系统设计[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2000. 103~112