

# 高速同步摄影控制系统

杨兴轩

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 简述了锁相伺服系统的工作原理。对检测环节、鉴相器、功率级做了介绍, 讨论了锁相环, 列举了抗干扰措施。

**关键词:** 高速检测, 锁相伺服系统

## 1 引言

经纬仪是用于靶场测量目标参数的大型精密仪器。常用方法是把测得的各种数据记录在胶片上, 以便事后判读保存。摄影系统的任务就是拍摄合格胶片。

同步摄影系统由摄影机和电控部分组成, 能自动完成对目标数据的拍照。本系统在长春光机所研制经技术鉴定和外场实验, 各项技术指标均已达到国内同类产品的先进水平。

## 2 工作原理

同步摄影系统指摄影机由时统脉冲启动, 在指定的摄影频率上, 实现摄影机快门开口角中心线与时统脉冲前沿同步。确切地说, 一是保持快门的旋转频率与时统脉冲的频率相同, 二是保证摄影机快门开口角中心线与时统脉冲前沿的相位相同。这一要求可用锁相伺服系统完成。

锁相伺服系统由双回路组成, 一是调速回路, 二是锁相回路。调速回路是保证同频运行, 锁相回路是保证同相运行。系统的方框原理图如图1所示。

调速回路是锁相伺服系统的基础。锁相环的精度分析表明, 相位误差主要来自系统的速度误差, 消除或降低速度误差是保证系统同步精度的关键, 也是设计的基本出发点。速度误差主要来自如下几个方面: a 速度基准信号的漂移; b 测速信号的漂移; c 放大器的漂移; d 负载力矩的变化。这些都与环境温度的变化、电源电压的波动有关。

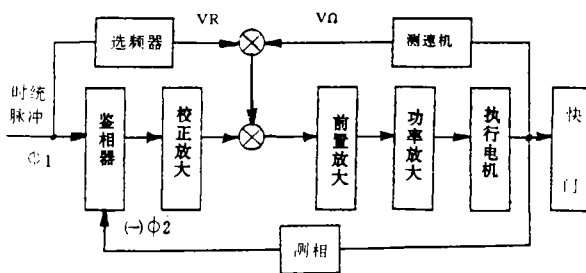


图1 锁相伺服系统方框原理图

采用 PID 调节器做成二阶无静差系统较为理想。本系统采用有差调节,即稳定速度基压和测速电压,提高系统开环放大倍数,同时通过调节速度基压补偿速度误差,由此实现等效二阶无静差系统,较好地满足了指标要求。

## 2.1 检测、执行元件及主要单元电路

### 2.1.1 测速机、测相器及执行电机

系统中采用无触点光电测速、测相装置。由于摄影机的快门与执行电机为 1:1 联结,因此将测速、测相合为一体做成一个装置,它与电机同轴连接,结构紧凑,调整方便。园形调制盘分成三个信道,最外边均匀开 120 个槽供测速用,中间开 180 度槽做测相用,最里边开 20 度槽做不同步指示用。

调制盘每转一周产生 120 个测速脉冲、一个占空比为 1:1 的测相方波、一个供不同步指示用的 20 度宽脉冲。测相方波的一个沿与快门开口角中心线对齐做为相位零点,±180 的方波与快门的机械角度 360 度相对应。

快门最高转速 12000r/min,系统选用高速直流电动机做为执行电机,额定功率 500W,额定电压 220V,额定电流 3.5A,额定转速 15000r/min。

### 2.1.2 测速单元

测速单元是个线性的频率—电压转换器。测速脉冲经放大整形、定宽定幅、积分放大得到直流测速电压。它是一个惯性环节,传递函数为

$$W_c(S) = K_c / (T_c S + 1) = 0.016 / (0.005S + 1) \quad (1)$$

光电测速机无触点、线性好、测速范围宽,适于数字系统与高转速测量。

### 2.1.3 鉴相器

鉴相器是锁相回路的重要环节,系统中选用性能优良的脉冲数字型鉴相器,其方框原理图如图 2 所示。

时统脉冲经 768 倍频后送调制器,比相器把时统脉冲与测相方波的相位差取出以调宽脉冲的形式送调制器,按 ±180°分成两路,已调制脉冲经计数器、锁存器、D/A 变换、复合放大得到有极性的相位误差电压输出。鉴相器属于采样保持环节,其传递函数可近似的表示为

$$W_\phi(S) = K_\phi / (\frac{T_c}{2} S + 1) = 17 / (0.008S + 1) \quad (2)$$

此鉴相器在工作频率范围内,不需任何调整,均保持相同的比例系数,一致的线性,无基波分量,性能优良。

### 2.1.4 驱动功率级

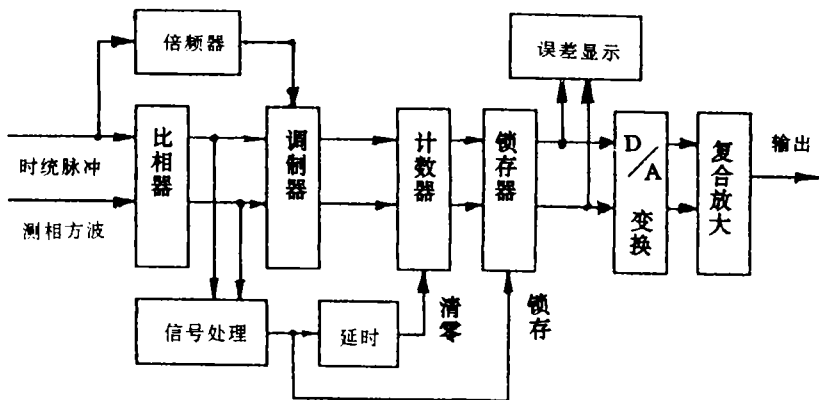


图 2 鉴相器方框原理图

系统采用高压直流电动机。由于摄影机是单向运行,使用单向驱动方式即可满足要求,本系统采用单向直流脉冲调宽的驱动方式。实现高压大电流驱动对晶体三极管而言是个难题,本级应用桥式自平衡的原理,以大功率三极管并、串联的形式组成了可靠的高压开关电路,输出电压 230V,输出电流 7A。用电流非线性负反馈实现电机软起动,电路安全可靠,很好地满足了系统的要求。

2.2 调速回路

调速回路是实现同步控制的基础,在锁相环中相当可控振荡器,其性能直接影响系统的指标,一个稳定快速的调速回路是必不可少的。系统中采用同轴测速机闭环,用直流脉冲调宽的驱动方式进行有差调节,取得满意的结果。

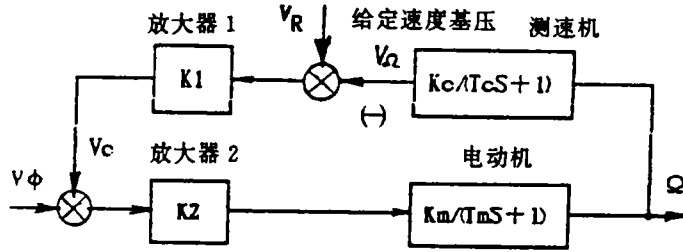


图 3 调速回路方框原理图

调速回路简化方框原理图如图 3 所示。图中

$K_1, K_2, K_c, K_m$  为传递系数;

$T_c$  为测速机时间常数;

$T_m$  为机电时间常数;

由图 3 可得调速回路闭环近似传递函数  $W_v(S)$

$$W_v(S) = K_y(Z_y S + 1) / (T_y S + 1) = 6.78 \times (0.005S + 1) / (0.02S + 1) \quad (3)$$

式中

$K_y$  为等效传递系数

$Z_y, T_y$  为等效时间常数

2.3 锁相回路

2.3.1 回路组成

锁相回路包括鉴相器、校正放大器、闭环调速回路三部分,其简化方框原理图示于图 4。由原理图得系统控制对象的传递函数

$$W_{\varphi}(S) = \frac{K_y \cdot K_{\varphi}(Z_y S + 1)}{S(T_y S + 1)(\frac{T_r}{2} S + 1)} \quad (4)$$

值得注意的是时间常数  $\frac{T_r}{2}$ ,它是鉴相器滞后时间常数。 $T_r$ 为采样周期,即摄影频率的周期,周期越长滞后越大,对系统的影响越大。考虑到滞后的影响,系统按 4c/s(包括 10c/s)和 20c/s 以上两档进行综合。

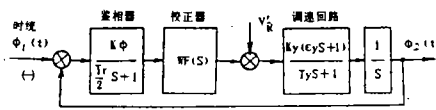


图 4 锁相回路简化方框原理图

2.3.2 系统通频带的估算

考虑到同步时间与系统稳定性的要求,系统开环截止频率可按下式估算

$$\omega_{cp} \leq \frac{M}{1+M} / \left( \frac{T_r}{2} + \sum T_i \right) \quad (5)$$

式中:  $M$  为振荡指标, 取  $1.1 \sim 1.3$ ;

$T_r$  为最长采样周期

$\sum T_i$  为小时间常数之和, 取为  $0.01$

由(5)式得 高频档  $\omega_{cpH} \leq 37$

低频档  $\omega_{cpL} \leq 17$

### 2.3.3 系统的综合

因高低两档近似, 只讨论高频档。

由式(4)得控制对象传递函数

$$W_{\theta}(S) = \frac{114(0.005S+1)}{S(0.02S+1)(0.004S+1)} \quad (6)$$

采用对数频率法综合, 经实际调整得到二阶有源校正电路, 传递函数为

$$W_F(S) = 2.8(0.92S+1)^2 / (3.32S+1)^2 \quad (7)$$

校正后系统开环传递函数

$$W(S) = \frac{320(0.92S+1)^2(0.005S+1)}{S(3.32S+1)^2(0.02S+1)(0.004S+1)} \quad (8)$$

其对数幅频特性曲线示于图 5。

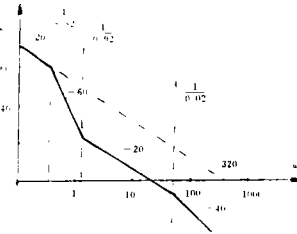


图 5 系统开环幅频特性曲线

## 3 系统中的关键技术及解决途径

实现高速同步摄影, 关键是高速检测, 高速电机的驱动及其对系统干扰的排除。

### 3.1 光电测速、测相机构

光电测速是实现高速测量的重要手段。光电信号的提取更为关键, 由于光电器件滞后效应十分明显, 高速时信噪比变坏。经反复实验确定了合理的机械结构, 对于光源、接收元件、调制盘形状等必须适当选择。调制盘开  $1:2$  的长槽最佳, 光栏孔径在  $1 \sim 1.5 \text{ mm}$ , 以红外光源及接收元件为好。

### 3.2 高压电机的驱动电路

驱动功率级是系统的重要环节之一, 它直接关系到系统的指标和可靠性。

传统的方法是用可控硅驱动, 一种是直流脉冲调宽, 另一种是交流  $50$  周点火角控制。前者可靠性差, 一旦失控可能造成严重后果, 后者的性能较差, 不能满足要求。用晶体三极管实现直流脉冲调宽较为理想, 但实现高压大电流开关电路是个难题。本系统以自平衡电桥的方式解决了大功率晶体管的串并联, 组成了可靠的高压开关电路, 实现了晶体三极管直流脉冲调宽驱动方式。

### 3.3 抗干扰措施

高压直流电动机采用直流脉冲调宽的驱动方式将产生强烈的电磁干扰, 在电机启动的瞬间尤为严重。如无适当的抗干扰措施系统将无法工作。本机采取如下措施有效的防止了干扰。

a 整机零点悬空, 功率级屏蔽接地; b 功率级与前级隔离; c 信号线及功率线加屏蔽; d 提高脉冲电路供电电压并加滤波器; e 一些易被干扰的脉冲电路均自己搭接, 提高抗干扰能力; f 加非线

性电流环调节,实现电机软启动,即降低干扰又实现了对功率级的保护。

## 4 结束语

本系统有如下特点:

- a. 采用同一放大器,实现宽调速。不加机械换档,可实现高低速的任意切换。
- b. 采用光电同轴测速测相方法,结构简单可靠,性能良好。
- c. 采用直流脉冲调宽驱动方式,确保了系统良好的动态特性。
- d. 采用脉冲数字型鉴相器,在各种频率下均保持一致的良好特性。
- e. 采用二阶校正,确保了系统的精度,系统一经调定,即能长期稳定工作。
- f. 抗干扰能力强,系统稳定可靠。

本系统使用的鉴相器在低频段时间滞后较大,使得系统在低频段的同步精度和同步时间变坏,同时给系统的综合造成麻烦,这是脉冲形鉴相器原理性不足所致。克服这一缺点的唯一办法是使用调制型鉴相器。采用微机控制实施起来更方便。

### 参考文献

- [1] B. A. 别塞克尔斯基著,冯明义译,自动调节系统的动态综合. 北京:科学出版社,1977
- [2] 威廉·F·依根著,张其善等译,锁相频率合成. 北京:人民邮电出版社,1984

## High-speed Synchro-photographing Control System

Yang Xingxuan

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

The principle of the phase-locked servo system is briefly related. The measure sub-element, the phase-comparator, and the power level are introduced. The phase-locked loop is discussed. And we put forward effective measures to overcome disturbance.

**Key words:** High-speed measurement, Phase-locked servo system