

一种新型间歇式同步摄影机控制系统

翟林培 李兴华

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文介绍了一种新型间歇式同步摄影机控制系统。新系统工作稳定,同步精度高,使用前无须任何调整自动同步,并实现摄影过程中任意改变摄影频率,所研制的系统已投入实际使用。

1 前言

间歇式同步摄影机是电影经纬仪的重要组成部分,最重要的信息源之一,其性能好坏直接影响经纬仪的使用。但多年来间歇式同步摄影机的控制系统始终存在系统同步稳定性差、同步精度低等问题,成为国产电影经纬仪长期未解决的薄弱环节。为此,我们从1989年开始了同步摄影机新型控制系统的研究,三台新型控制系统于1990年底已成功地应用在160电影经纬仪上,使用单位提供的使用报告中指出“我们认为这是摄影放大器的一次革命。”

新系统工作稳定,同步精度高,使用前无须做任何人工调整自动同步,并首次实现了摄影频率从1周/秒到80周/秒范围内连续可调,在摄影过程中可任意改变摄影频率等。

2 系统的结构与工作原理

系统的构成如图1所示。

系统使用具有零位光栅的光栅盘 G 做为位置与速度检测元件,光栅盘 G 与电动机 D 同轴安装,安装时调整零位脉冲 θ_0 的上升沿位置,使之与摄影机快门开口角中心线对齐。输入信号 θ_i 即为摄影脉冲信号,其频率表示摄影频率,脉冲上升沿表示快门开口角中心线应在的位置。倍频器 N 将输入信号 θ_i 倍频,倍频后的信号为 f_i ,信号 f_i 经分频器 I 分频,分频数为 n_0 ,分频后的信号为 f_i' ,信号 f_i' 作为速度回路的顺馈输入信号。光栅盘的输出信号 f_0 经分频器 I 分频,分频数为 n_0' ,分频后的信号为 f_0' ,信号 f_0' 作为速度回路的反馈信号。单片机 M_1 作为速度回路的误差检测器闭合速度回路。光栅盘 G 输出的零位脉冲 θ_0 送给单片机 M_2 ,单片机 M_2 完成系统位置误差的检测与位置回路校正,其输出信号 $\Delta n_0'$ 控制分频器 I 的分频数实现锁相控制。

系统为一采样控制系统,提高采样频率对提高采样控制系统的精度是十分重要的,特别是

在本系统中,最低摄影频率可能仅为 0.5 周/秒,因此提高采样频率更是必须的和尤为重要的。由图 1 不难看出本系统将速度回路的采样频率增大了 $\frac{N}{n_0}$ 倍,例如选 $N=512, n_0=8$, 则 $\frac{N}{n_0}=64$ 。然而位置回路的采样频率却等于摄影频率。当摄影频率较低时,系统将不能很好地克服干扰力矩的影响。尽管事实上速度回路已使干扰力矩的影响大为减小,较低的采样频率也不是不可以,但系统的响应时间将大大加长,精度也要变差,因此回路采样频率也应适当增加。由图 1 不难看出,当倍频数 N 和光栅数 N' 相等时,则位置给定与位置反馈具有同样的度量尺度,采用多参考点例如 $0^\circ、90^\circ、180^\circ、270^\circ$ 、四参考点,这样位置采样频率可提高四倍,等。

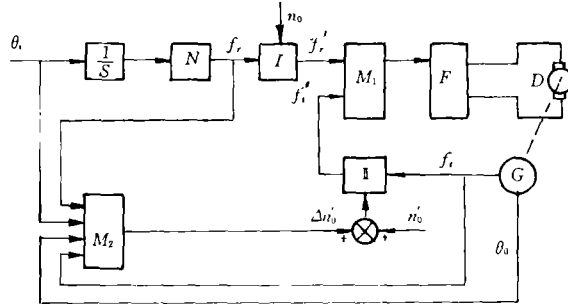


图 1

3 对速度回路的分析

系统的速度回路由数字频率比较器 M_1 、校正环节、功率放大与电机、测速光栅盘 N' 与分频器 I 等部分组成。(见图 1)。

数字频率比较器的工作原理示于图 2。输入信号 f_r 使计数器的计数增加,反馈信号 f_i 使计数器的计数减少,计数的差值送数模转换器 D/A。设数模转换器的输出信号为 $V(t)$ 。

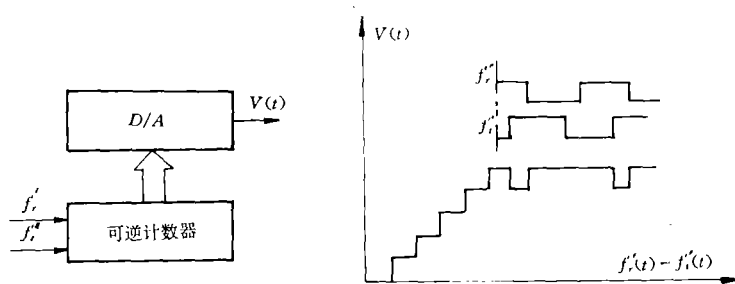


图 2

图 3

$$V(t) = K_{D/A} \cdot \int (f_r' - f_i') dt \quad (1)$$

式中 $K_{D/A}$ 为数模转换器的增益系数。对上式进行拉氏变换,

$$V(s) = \frac{K_{D/A}}{s} [F_r'(s) - F_i'(s)] \quad (2)$$

式中 $F_r'(s)、F_i'(s)$ 分别为 f_r' 和 f_i' 的拉氏变换式。数模转换器的输出信号 $V(t)$ 如图 3 所

示。系统稳态时 $V(t)$ 信号经常出现一个码的波动,产生这一现象的原因是由于对应于电机的某一转速、可逆计数器没有一个整数值恰好与之对应。

电机与其功率放大级的原理图示于图 4。

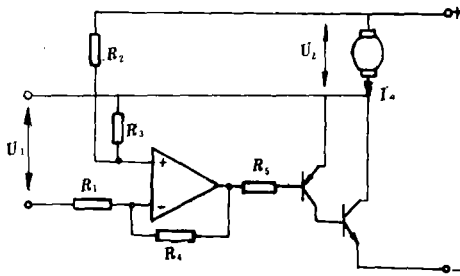


图 4

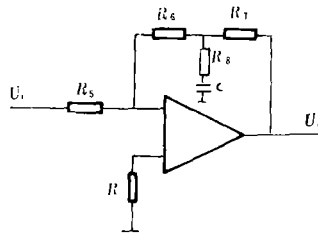


图 5

描述系统动态特性的方程如下:

$$\begin{cases} \left(\frac{R_4}{R_2}u_2 - \frac{R_4}{R_1}u_1\right) \cdot \frac{\beta}{R_5} = I_a & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_2 = L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a + K_b \frac{d\theta_o}{dt} & (4) \end{cases}$$

$$\begin{cases} J \frac{d^2\theta_o}{dt^2} + f \frac{d\theta_o}{dt} = K_M I_a & (5) \end{cases}$$

式中 β 为晶体管电流放大倍数;

K_M 为电机力矩常数;

K_b 为电机反电势常数;

J 为折合到电机轴上的转动惯量;

f 为折合到电机轴上的粘性摩擦系数;

L_a 为电枢绕组电感;

R_a 为电枢绕组电阻。

对(3)、(4)、(5)式进行拉氏变换并整理:

$$\frac{\theta_o(s)}{V_1(s)} = \frac{K_M \cdot \frac{R_4}{R_2} \cdot \beta}{s \left[\frac{R_4}{R_2} \beta L_a J s^2 + \left(\frac{R_4}{R_2} \beta R_a J + \frac{R_4}{R_2} \beta f L_a - J R_5 \right) s + K_M \frac{R_4}{R_2} K_b \beta + \frac{K_4}{R_2} \beta R_a f + R_5 f \right]}$$

通常 L_a 比较小可以忽略,上式简化为:

$$\frac{\theta_o(s)}{V_1(s)} = \frac{K_1}{s(\pi s + 1)}$$

式中

$$K_1 = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{K_M}{R_a f + K_M K_b - \frac{R_5}{R_4} \cdot R_2 \cdot \frac{f}{\beta}}$$

$$T_1 = \left(1 - \frac{R_5}{\frac{R_4}{R_2} \cdot R_a \cdot \beta}\right) \frac{R_a J}{R_a f + K_M K_b - \frac{R_5}{R_4} \cdot R_2 \cdot \frac{f}{\beta}}$$

校正网络采用了图 5 所示的超前—滞后型校正网络,其传递函数为:

$$W(s) = K_2 \frac{1 + T_3 s}{1 + T_2 s} \quad (6)$$

式中

$$K_2 = \frac{R_6 + R_7}{R_5};$$

$$T_2 = R_8 \cdot c;$$

$$T_3 = \left(\frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7} + R_8\right) c.$$

设电机转速为 m (转/秒),则光栅盘的输出信号 f_i 为:

$$f_i = N' \cdot m \quad (\text{Hz}) \quad (7)$$

式中 N' 为光栅盘的光栅数。反馈信号 f_i' 为:

$$f_i' = \frac{f_i}{n_o} \quad (8)$$

在没有位置控制作用时分频器 I 的分频数为 n_o' 。对(7)、(8)式作拉式变换得:

$$\frac{F_i(s)}{m(s)} = N' \quad (9)$$

$$\frac{F_i'(s)}{F_i(s)} = \frac{1}{n_o} \quad (10)$$

$$\frac{F_i'(s)}{m(s)} = \frac{N'}{n_o} \quad (11)$$

速度回路的方框图如图 6 所示。

4 位置回路分析

位置回路的输入信号 $\theta_i(t)$ 即摄影脉冲信号,脉冲的上升沿表示快门中心应在的位置,脉冲的一个周期代表快门中心转过 360° 角。

$$\theta_i(t) = 2\pi f t \quad (12)$$

式中 f 为摄影脉冲频率。如前所述,光栅零位脉冲的位置在安装光栅盘时就已使其与快门开口角中心线对齐,因此光栅零位脉冲 $\theta_o(t)$ 的上升沿就是快门开口角中心线实际所在位置。

$$\theta_o(t) = 2\pi m t \quad (13)$$

式中 m 为电机转速(转/秒)。位置差 $\Delta\theta(t)$:

$$\Delta\theta(t) = \theta_i(t) - \theta_o(t) \quad (14)$$

相位差检测由单片机 M_2 完成,位置回路的校正环节也通过 M_2 来实现,通过改变分频 I 的分频数来实现位置控制,

$$\Delta n_o'(s) = W(s) \Delta\theta(s) \quad (15)$$

式中 $W(s)$ 为位置校正环节的传递函数。

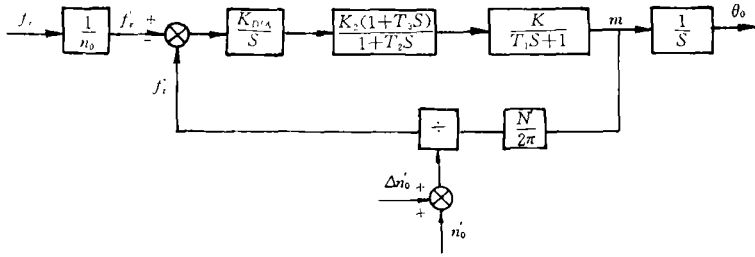


图 6

对图 6 进行等效变换,并注意到 $N=N' n_0=n_0'$ 且 $n_0' \gg \Delta n_0'$ 和(15)式,我们可以得到控制系统的等效框图,并示于图 7。由图 7 可以看出系统为一具有速度反馈的复合控制系统,因而系统具有较高的稳态精度。另外,由图 7 也不难看出,位置回路的放大倍数与摄影频率成比例,但单片机能自动识别摄影频率,因而采用变增益控制是方便的。

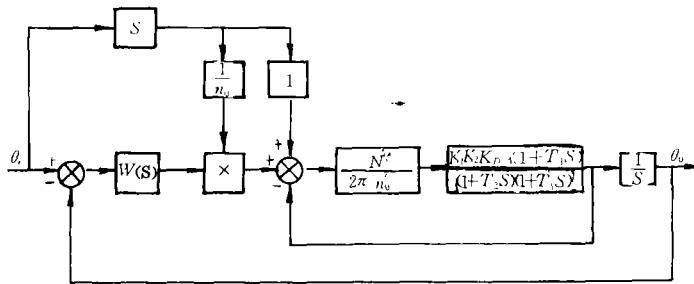


图 7

5 实验结果

实验结果如表 1 所示。

表 1

典型频率 (c/s)	同步精度(≤)单位:度				同步时间(≤)单位:秒			
	第一台	第二台	第三台	平均	第一台	第二台	第三台	平均
1	2°	4°	4°	3.3°	6	3	6	6
2	3°	3°	3°	3°	5	6	2.5	4.5
4	2°	1.5°	1°	1.5°	2	3.7	3	2.9
10	3°	1.5°	2.5°	2.3°	1.5	2.5	2	2
20	2°	2°	2°	2°	2.5	3	1.5	2.3
40	2.5°	1.5°	1°	1.7°	2	2.5	2.7	2.4
80	1°	2.5°	1°	1.5°	1.8	3	2.4	2.4
100				2°				2.8

表中 100c/s 时的数据为实验室测试结果,而其他摄影频率的测试结果是出厂时的检测结

果,同步精度用示波器检测,同步时间用秒表检测。

A New Synchro—control System of Intermittent Cine—camera

Zhai Linpei, Li Xinghua

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

Abstract

In this paper a new synchro — control system for intermittent cine — camera is introduced. This system has advantages of high stability, high synchronous precision, no adjusting necessary before operating and change able working frequency while running. This new control system has been put in the practical uses.