

# 采用可变光阑的自动调光系统的稳定性分析

董莉莉 金 宏

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 简要介绍了一种采用可变光阑的自动调光系统的工作原理,并对整个控制系统的稳定性进行了详细分析。通过探寻自振现象产生的原因,为提高调光系统工作的可靠性提供了依据。

**关键词** 可变光阑 自动调光系统 非线性

## 1 引言

提供合适的像面照度,保证相机在能够自动适应景物照度变化的情况下,实现最佳“曝光”,这是获得清晰图像的前提,也是摄像机自动调光系统所要完成的任务。针对用户不同要求,调光系统的工作方式可以有多种。在这里,我们介绍一种常见的自动光圈调光系统,它通过改变光阑的通光孔径来调节像面照度。由于其易于实现,并可与 CCD 摄像机电子快门的调光方式相组合,获得较大的调光范围。因此,被广泛应用于小型电视摄像系统中。

然而,在背景光不均匀,像面照度发生明显变化的情况下,尤其是处于小光阑的工作状态时,这种自动光圈系统常常会出现“自激”现象,在监视器上则表现为被照景物图像发生一明一暗的变化,光阑片则做接近等幅的振动,而无法自动停止。如何克服或减轻这一不稳定现象,已成为提高调光系统精度的关键,对自激现象产生的原因及其解决办法的探讨则更具有重要意义。

## 2 调光系统工作原理

如图1所示,被摄景物的入射光经光学镜头,可变光阑,成像在 CCD 像面上,摄像机输出的视频信号可以直接送监视器显示,也可作为被检和被控信号,通过视频放大,直流电平恢复,由射随器输出。该信号经滤波器输出与 CCD 像面照度成比例的直流电平。滤波器的时间常

数较大,对调光电机平稳工作有利。它输出的直流电平与参考电平进行差分放大、驱动电机带动齿轮付和可变光阑的活动环转动,改变通光孔径,达到调节像面照度的目的,使摄像机输出的视频信号平均值(或峰值)与参考电平设定的期望值相等,在监视器上重现清晰的景物图像。

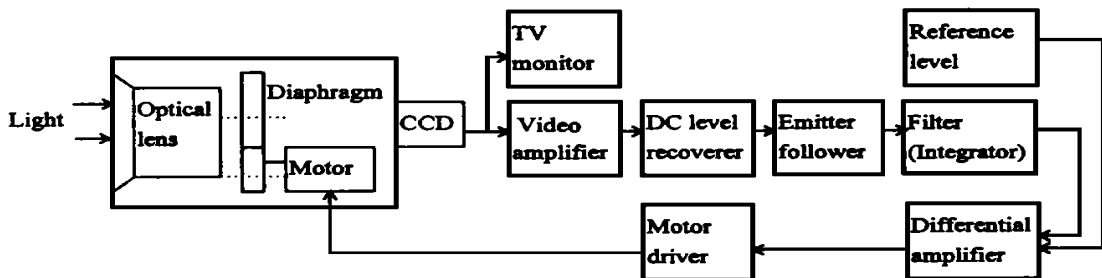


Fig. 1 The working principle of adjustable optical intensity system

由于一般镜头光圈指数在  $F2 \sim F22$  之间,该系统调光动态范围较小,需与电子快门组合,以适应变化很大的入射光。

### 3 系统稳定性分析

#### 3.1 调光控制系统的基本组成

由于光阑的转动,改变了通光孔径的大小,使 CCD 像机输出视频信号发生变化,则整个调光系统为一闭环控制系统,其方框图如下:

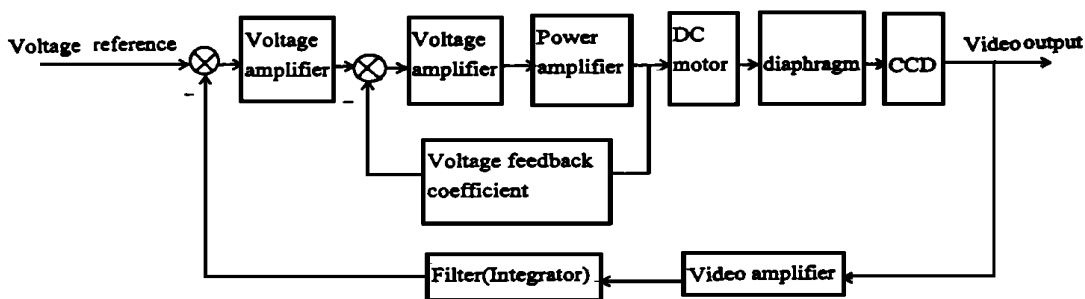


Fig. 2 Closed loop control system block diagram

其中,在直流电机控制环节,由于我们采用电压负反馈代替转速负反馈的作用,仅用一个起分压作用的分压器作为反馈检测元件,省掉了测速发电机,故使电路简化。

电压放大,功率放大为比例环节,滤波器和直流电机为惯性环节,它们都是典型的线性环节。光阑的传输特性则呈非线性关系。

对于常用的可变光阑(结构图见参考文献[3]第162页),其光阑片一端固定,另一端则在活动环槽内移动,当活动环旋转时,光阑片则以固定端为支点摆动,光阑孔随活动环转动而改变通光孔径,达到调节像面照度的目的。活动环旋转角度  $\theta$  与通光孔径  $\rho$  之间的关系可表示为:

$$\theta = 4 \arcsin((r_m - \rho) / 2r)$$

$r_m$  —— 光阑片内曲率半径

$r$  —— 光阑片固定端所在圆周半径

其中  $r_m$  与  $r$  为定值, 则:

$$\rho = r_m \quad 2r \sin(0.25\theta)$$

又输出视频电压  $U_v$  与通光量成正比, 则

$$U_v = K \rho^2 = K (r_m \quad 2r \sin(0.25\theta))^2$$

上式即为光阑的输入输出关系表达式, 把它展开, 得:

$$U_v = K r_m^2 + 4K r^2 \sin^2(0.25\theta) \quad 4K r r_m \sin(0.25\theta)$$

当系统工作在大光阑时,  $\theta \rightarrow 0$ , 即  $\sin^2(0.25\theta) \rightarrow 0$ ,  $\sin(0.25\theta) \rightarrow 0.25\theta$ , 则上式可简化为:

$$U_v = K r_m^2 + K r r_m \theta$$

此时, 可认为输出视频电压  $U_v$  与输入角  $\theta$  近似成线性关系。

### 3.2 系统数学模型的确立

由以上分析, 当光阑通光孔径很大时, 通光量的大小与光阑片转角之间的关系可近似看作是线性的, 即可认为输出视频电压随输入角  $\theta$  呈线性变化, 该系统是最小相位系统, 于是整个控制系统可根据线性系统开环传递函数的幅频特性曲线来分析。其开环传递函数为:

$$G_k(s) = \frac{K}{s(T_m s + 1)(T_s s + 1)}$$

其波特图如图 3(a):

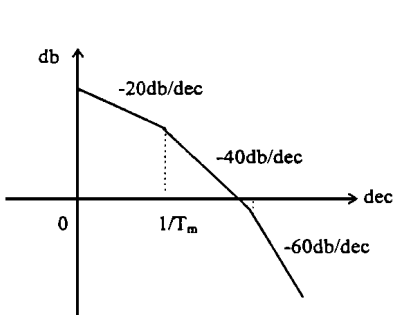


Fig. 2(a) Bode diagram before correction

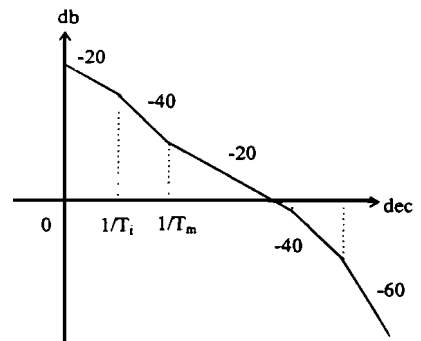


Fig. 3(b) Bode diagram after correction

若要系统稳定, 则幅频特性曲线应以  $-20$  dB/dec 穿越  $0$  分贝线, 加入 PID 校正环节后, 可保证系统的稳定, 如图 3(b)。

以上为一般控制系统问题, 不做详细分析。当通光孔径逐渐减小时, 光阑的非线性特性则不容忽略。由于整个闭环系统的线性部分为含有两个惯性环节的一阶系统, 具有良好的低通滤波特性。因此, 我们可以忽略高次谐波的影响, 近似地用描述函数来表示非线性环节的特征。

### 3.3 自激振荡的确立

对于图 2 所示的非线性系统, 设非线性环节的描述函数为  $N(X)$ , 线性部分的频率特性为  $G(j\omega)$ , 则可以写出闭环系统的特征方程为:

$$1 + G(j\omega)N(X) = 0$$

$$G(j\omega) = 1/N(X)$$

其中  $1/N(X)$  为非线性环节的负倒相对描述函数,由  $U_V = K(r_m - 0.5r\theta)^2$ , 可得:

$$1/N(X) = \frac{\pi X}{2r_m^2 - 0.5r_m r X + 1/3r^2 X^2}$$

线性部分频率特性方程为:

$$G(jw) = \frac{K}{jw(T_m jw + 1)(T_s jw + 1)}$$

在复平面内,系统中如有近似于正弦形式的振荡,它的参数可由  $G(jw)$  幅相特性曲线与  $1/N(X)$  曲线的交点来确定。振幅  $X$  由  $1/N(X)$  曲线决定,而振荡频率  $w$  由  $G(jw)$  决定。对于具体的调光系统,其参数是随用户要求的不同而变化的,我们在此仅做定性分析。在复平面内,  $G(jw)$  与  $1/N(X)$  的曲线可近似表示如图4所示:

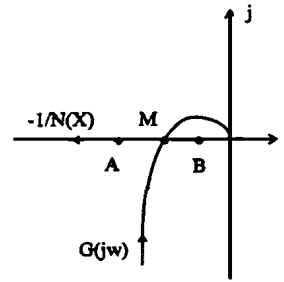


Fig. 4  $G(jw)$  and  $1/N(X)$  curves

其中,  $1/N(X)$  线的箭头表示幅值变量  $X$  增加的方向。两条曲线在  $M$  点相交,表明可能有  $X_m \sin w_m t$  的周期运动发生。

由于系统的自激振荡是一稳定的周期运动,要判明系统是否存在自振,还须研究周期运动的稳定性。假定系统最初工作在  $M$  点,做  $X_m \sin w_m t$  的周期运动,给其一个轻微扰动,使非线性系统的输入幅度稍微增大,即工作点移到了  $A$  点,  $A$  点相当于线性系统的  $(-1, j0)$  点,而  $G(jw)$  不包含这一点,则表明系统运动是收敛的,非线性特性的输入振荡要减小。反之,若所加扰动是使输入幅度减小,即工作点移到  $B$  点,则相当于  $G(jw)$  包围  $(-1, j0)$  点,表明系统运动是发散的,使振幅增大,这就意味着  $M$  处的振荡对扰动保持了稳定性。周期运动相当于平面上稳定的极限环,所以  $M$  点对应的是一个自激振荡。

### 3.4 自激振荡对系统的影响及其消除(解决)办法

在实际调试中,我们会观察到,在背景光不均匀(如黑白对比强烈),或像面照度突变的情况下,监视器上被摄景物图像常出现忽明忽暗的波动,光阑挡片则左右摆动,做近似等幅振动,无法得到稳定清晰的图象。由以上分析,我们可知这种现象主要是由系统的非线性特性引起的,在自动控制领域我们称其为自激振荡,在工程中,则常称其为“自振”。

自振使调光系统的可靠性降低,调光范围变窄。视频输出电压总在参考电平附近跳动,使系统无法正常工作。

为减轻自振,国外曾采用中性减光膜镀在入瞳附近的镜片中心区域表面来缓解它的非线性。我们也可根据自控原理在其前向通道加入超前校正环节,则在复平面内得到两条不相交的曲线。如图5。

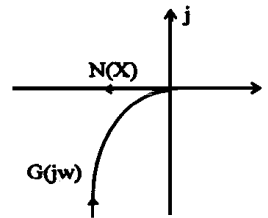


Fig. 5  $G(jw)$  and  $1/N(X)$  curves after correction

因为  $G(jw)$  与  $1/N(X)$  曲线无交点,则系统不存在周期运动解,可达到减轻自振的目的。

## 4 结 束 语

实验证明, 只要根据自振现象产生的原因, 采取相应措施, 在一定程度上可以减轻或克服自振, 自动光圈系统仍不失为一简单、稳定的调光系统。

### 参 考 文 献

- 1 胡寿松主编. 自动控制原理(修订版). 北京: 国防工业出版社, 1991
- 2 王岚, 于慧珠. 跟踪测量电视的自动调光系统. 光学精密工程, 1994, 2(5): 86 ~ 92
- 3 光学仪器设计手册(下册). 北京: 国防工业出版社, 1971
- 4 陈伯时主编. 电力拖动自动控制系统. 北京: 机械工业出版社, 1991

## The Stabilization Analysis of Automatically Adjustable Optical-intensity System Using Iris Diaphragm

DONG Li Li, JIN Hong

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

### Abstract

This paper introduces simply the principle of automatically adjustable optical intensity system using iris diaphragm, and analyses the stabilization of the whole control system in detail. By looking for the cause of "self oscillation," the paper provides basis for improving the working reliability of the adjustable optical intensity system.

**Key words:** Iris Diaphragm, Automatically adjustable optical intensity system, Nonlinear feature

董莉莉 女 1974年生。1996年毕业于吉林工学院自动化系, 获学士学位。同年进入中国科学院长春光机所攻读机电控制及自动化专业硕士学位, 1998年提前攻读博士学位, 主要从事光电位移转换技术及电视摄像系统方面的研究。