

# 跟瞄伺服快速调转的数字控制

徐 佰 军

**摘要:** 针对形如  $K/[(TS+1)S]$  的跟瞄伺服系统在大角度偏差时, 提出一种用数字的方法实现快速调转的双模算法。最后给出了实验结果。

## 一、导 言

对动态系统来说, 一个重要的指标就是完成给定任务所需的时间, 特别是对跟瞄这类武器系统来说, 快速反应是它们的致命点, 而大角度调转时间占武器系统反应时间的一大部分, 可见如何使快速调转在工程上得以实现是个很有现实意义的问题。实践表明: 靠模拟系统来完成快速调转是相当困难的, 一般都得采用数字的方法。

现代控制理论已证明, 由传递函数

$$\frac{Q(S)}{\mu(S)} = \frac{K}{(TS+1)S} \quad (|\mu| < \mu_0)$$

所描述的对象快速控制规律是继电型的, 也就是说控制信号的幅值始终取最大值, 而信号的符号最多转换一次。考虑到客观存在的物理限制, 尽可能将系统的控制作用维持在其极值, 以使系统的设备能力得到充分发挥。这样设计的系统在现实的基础上是最快的系统。这就是所谓的继电型控制思想(也叫“砰 砰”控制)

## 二、双 模 算 法

从理论上讲, 按继电型原理设计的系统, 跟踪速度最快, 但是要设计好一个“砰, 砰”控制器要进行一些精确的计算, 特别是开关线的计算, 开关线设计的好坏会影响到整个系统的指标。此外, 任何实际系统都存在一定的开关延时, 所以按这种方法设计的系统在定位附近就会产生极限环, 导致自振荡。

为了避免开关时滞所造成的振荡, 本文采用了非线性“砰, 砰”控制和线性控制相结合的双模控制, 图 1 是原理图。即在大角度偏差状态时, 作为开始一段粗定位, 采用“砰, 砰”控制, 这样能保证系统定位的快速性; 当系统的偏差进入很小范围时再使控制器由开关控制转换成线性控制, 这样既保证了系统的定位精度又避免了自振荡。

双模控制的好坏关键在于三个数值的计算, 既“砰、砰”控制中的控制信号变号的开关切换线, 双模转换的误差准则和速度准则, 下面分别加以简介。

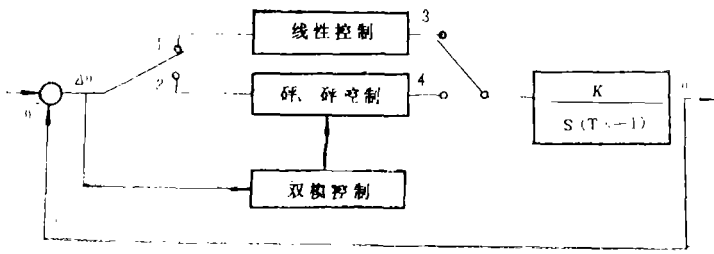


图1 双模控制原理图

(1) 开关切换线的计算

因为我们的控制对象的等效传递函数可写为  $\frac{\theta(S)}{\mu(S)} = K/[S(TS+1)]$  的形式，设  $x_1 = \theta$ ，

$x_2 = x'_1 = \dot{\theta}$ ，则有矩阵形式

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K}{T} \end{pmatrix} \mu$$

当  $t = 0$  时，令  $\theta(0) = \theta_0, \theta'_0(0) = \dot{\theta}_0$  则方程的解为：

$$\theta(t) = \theta_0 - T(K\mu - \theta'_0) + T(K\mu - \theta'_0)e^{-\frac{t}{T}} + K\mu t \tag{1}$$

显然有：

$$\theta'(t) = -(K\mu - \theta'_0)e^{-\frac{t}{T}} + K\mu \tag{2}$$

将 (1) 式和 (2) 式联立消去  $t$ ，则可得对象的相轨迹方程为

$$\frac{\theta - \theta_0}{K\mu T} + \frac{\theta' - \theta'_0}{K\mu} = \ln \left[ \frac{(1 - \frac{\theta'_0}{K\mu})}{(1 - \frac{\dot{\theta}}{K\mu})} \right] \tag{3}$$

画出它的相轨迹图，不难得出  $\mu$  正负变化时切换线方程为：（令  $|\mu| \leq 1$ ）

$$\theta = -T\dot{\theta} + TK \ln(1 + \frac{|\theta'|}{K}) \text{sgn } \dot{\theta} \tag{4}$$

式中  $\text{sgn } \dot{\theta} = \begin{cases} +1, & \theta' > 0 \\ 0, & \theta' = 0 \\ -1, & \theta' < 0 \end{cases}$

当采用反馈控制时， $\Delta\theta = \theta_i - \theta$ ，令  $\theta_i = 0$  即  $\Delta\theta = -\theta$  将此代入 (4) 式，得反馈控制的切换方程：

$$\Delta\theta = T\dot{\theta} - KT \ln(1 + \frac{1}{K}|\theta'|) \text{sgn } \dot{\theta} \tag{5}$$

采样控制形式为：

$$\Delta\theta'_n = T\dot{\theta}'_n - KT \ln(1 + \frac{1}{K}|\theta'_n|) \text{sgn } \theta'_n \tag{6}$$

(2) 双模转换的误差准则值 $\theta_L$ 的计算

当  $\Delta\theta_n \geq \theta_L$  时为非线性控制, 当  $\Delta\theta_n \leq \theta_L$  时为线性控制。因为本文在线性控制时, 位置环采用PI串联校正  $K_p(T_i+1)/S$ , 速度环采用滞后—超前校正, 所以  $\theta_L$  的值根据速度回路的最大转入 $\mu_s$ , 即位置回路的饱和输出值算出

$$\theta_L = \mu_s / (K_p T_i)$$

(3) 速度准则值 $\theta'_L$ 的计算

$$\theta'_L = K \mu_s [(1 - e^{-\frac{t_i}{T_i}}) / (1 + e^{-\frac{t_i}{T_i}})]$$

式中  $T_i$  为采样周期

$T_v$  为速度回路等效时间常数。

### 三、实验和结果

本文中所研究的控制系统, 全部控制功能都是由 AST 286 完成的, 程序是用C语言写成, 其流程图如图2所示

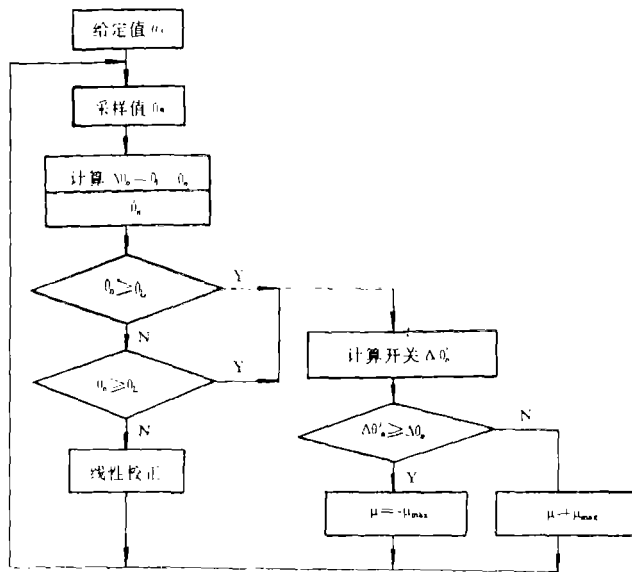


图2 程序流程图

系统具有 $60^\circ/s^2$ 的加速度情况下测得的结果如下表1所示。

表 1

调 转 角 度	调 转 时 间	定 位 精 度
180°	5.15 s	<1'
90°	3.61 s	<1'
15°	2.71 s	<1'
22.5°	2.00 s	<1'

结果表明,大角度偏差调转时间符合最短调转时间理论值 $(1-\epsilon)\sqrt{\frac{4g_0}{\omega_0^2}}$  而且定位精度较高。

## Digit Control of High-speed Transfer in Tracking and Pointing Servo System

Xu Youjun

### Abstract

A dual-model control algorithm is presented for a digital realization of high-speed transfer of the tracking and pointing servo system in the condition of large angle error. The responsible experimental result is also given in the end of this paper.