

北京航空学院

科学报告会论文集

庆祝建校三十周年

第三分册 自动控制类

1982.10

前 言

建校三十年来,我院科研工作遵循党的方针政策,密切结合教学,取得不少成果,在此基础上,总结出了一批有一定理论价值与实践意义的学术论文。

战斗在祖国各地的校友们,在为实现我国四个现代化这一伟大历史任务的过程中,同样做出了可喜的成绩,此次他们热情响应母校三十周年校庆征稿的号召,把自己多年来从事教学、科研与工程技术实际工作中所积累起来的宝贵经验,进行理论总结,书写成文,投寄我院。

为隆重纪念我院三十周年校庆日,加强院内外的学术交流与联系,我处特编辑这套校庆论文集。文集刊载本院与校友近期科研成果或技术总结的详细文摘。为节省篇幅,在编辑时将作者原列参考文献删去。

论文按专题分类出版:

1. 材料科学与工程类
2. 无线电电子学类
3. 自动控制类
4. 发动机类
5. 飞行器与力学类
6. 计算机类、管理工程类、情报学类
7. 制造工程类
8. 数理类
9. 机械设计类
10. 医疗类、体育类
11. 社会科学类
12. 大学生论文集

由于编辑出版力量有限,时间也较仓促,难免有遗漏和不妥之处,欢迎批评指正。

北京航空学院 科研处

1982年10月

第三分册 自动控制类

目 录

1. 变参数系统的动态分析方法	姚玉云 (1)
2. 线速度和张力复合控制系统的研制	张汝惠等 (10)
3. 对“某号飞机”使用的变流机改善精度的几个问题	段永福 (16)
4. 现代飞行模拟器设计中对大气扰动的一种模拟方法	赵震炎 (22)
5. 计算机实时控制/仿真系统	王行仁 罗炳海 冯 勤 (28)
6. 线性系统最优输出反馈设计的一种算法	毛剑琴 (35)
7. 动基座上二自由度陀螺的运动学漂移	以光衢 (43)
8. 动力调谐陀螺多位置试验的研究	刘复若 范跃祖 (53)
9. 算法误差最小的捷联式矩阵最佳正交化	陈 哲 (66)
10. 干式调谐陀螺仪接头的设计	鄢吉臣 (73)
11. 系统可靠性预测研究及其在航空航天中的应用	自动控制系余度小组 (80)
12. 液压系统管路动态分析研究综述	《液压系统动态研究》课题小组 (87)
13. 闭端液压管路谐振的实验研究	任玉鉴执笔 (94)
14. 航空助力器的优化设计	刘长年 (100)

15. 飞机固态电气逻辑 (SOSTEL) 系统的设计特点	丁大新 (107)
16. 利用稀疏矩阵和迭代算法的节点分析程序	张存潜 (114)
17. 对磁粉离合器运转状态下磁粉性能的研究	赵典军 (120)
18. 非线性方程参数的数字机估计	钱振雄 韩成业 沈颂华 (128)
19. 三轴液压飞行模拟转台位置控制系统的低速平稳性研究	尔联洁 执笔 (138)
20. 动静压模拟器系统特点分析与调试	王文舜 (146)
21. 二次型最优控制用于飞行控制系统设计的经验和问题	冯毓江 (158)
22. 伺服控制框架系统的数字仿真	张仲麟 (167)
23. 最优二次型渐近设计方法	姜玉宪 (176)
24. 参数插入法在解 Riccati 代数矩阵方程中的应用	路精保 (183)
25. TCH—1000 与长城 203 机输入接口设计	李行善等 (191)
26. 傅里叶变换无混迭快速算法	黄俊钦 孙贤主 (198)
27. WDS—1 中超低频移相网络的设计和调试	姚康乐 (209)
28. 多变量系统识别的若干算法	王纪文 (221)
29. 数字飞行控制系统中采样频率的选择	张洪铨 (228)
30. 自适应解耦控制	马文贵 (233)
31. 当代歼击机的仪表导航系统和惯性导航系统	田凤先 (242)

32. 多项式逐次回归分析法	冯一明 黄俊钦 (247)
33. 可控硅激磁调压器在飞机上应用的探讨	吴宝昌 (257)
34. 二自由度浮子陀螺全浮温度的设计与测定	匡正芳 (266)
35. 参量谐振式传感器原理探讨	宋 毅 (274)
36. 空战射击火控仿真用的飞行系统数学模型及其计算系统仿真研究	李浩水 (281)
37. 直升机(过渡型)电气系统设计的改进——电气系统设计方法改进探讨	邹书富 凌德麟 (295)
38. 电流矩在飞机馈电网设计中应用初探	程奕隆 (301)
39. 继电采样系统	孙森林 (310)
40. 电容分相单相异步电动机过渡过程的分析	张志国 (321)
41. 用最佳控制理论计算SAS反馈的方法研究	卿理勋 (330)

变参数系统的动态分析方法

飞行器设计研究所 姚玉云

前 言

我院飞行器设计研究所与某厂合作,由我院负责自控系统设计,工厂负责生产,于80年—81年完成了自动放线车的研制任务,并于81年通过国家鉴定。该放线车的研制成功,在一定程度上解决了通讯兵收放军用通讯线路的机械化自动化问题,不仅可使通讯兵从极艰苦的人力收放线工作中解放出来,并提高了收放线速度和质量,对我军战斗力的提高有一定意义。为适应野外工作的多变条件,该系统采用了调速方案,系统的主要参数,如线盘直径和转动惯量等在系统工作时一直是变化的,是非线性变参数系统。众所周知,古典控制理论仅适用于线性定常系统的分析,而用现代控制理论对此类问题又没有通用的解法,所以在该系统设计时,考虑到放线车控制系统的调节周期不超过二秒钟,在过渡过程中各参数值变化不大,因此假定它们是常数,即将其系数固化后用古典控制理论分析了其动态特性,而未能按变参数系统对其进行分析。本文在以前工作的基础上,根据收放线车自控系统的具体条件,应用状态空间表达式导出了一个能应用于此类非线性变参数系统任意状态下动态过程分析的方法,得到了放线车非线性变参数自控系统的动态特性解析式,并在特殊点上用古典理论校对了其正确性。文中错误之处,欢迎批评指正。

一、自动收放线车自控系统工作原理简介

自动收放线车控制系统采用了闭口调速方案,它根据车速调节线盘转速,其执行元件为磁粉离合器及磁粉制动器,它们的控制线圈由功率放大器供电,功率放大器的前置级为信号综合放大器。磁粉制动器安装在放线盘的转轴上,转轴的另一端通过链条传动与磁粉离合器从动轴相连接,在加速与减速时它们交替工作,以实现系统的无级调速。其原理如图1:

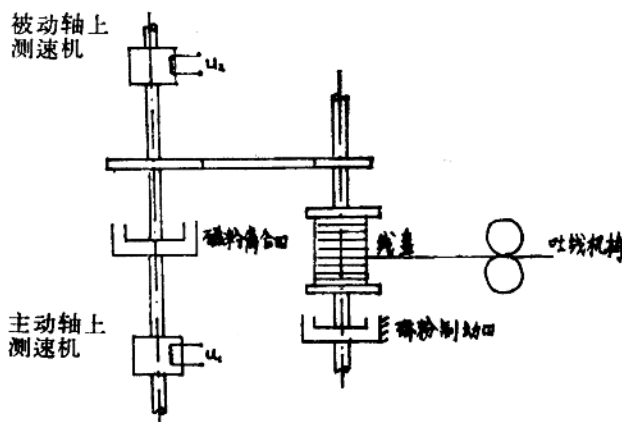


图1 自动收放线系统工作原理图

二、自动收放线车参数变化规律

1. 线盘半径 R 随时间的变化特性

线盘外形图如图 2 :

导线直径 $d=0.01$ 米。放线平均速度 $\bar{V}=7.5$ 米/秒。

设第一排放线时间为 T_0 , 则:

$$\bar{V} \cdot T_0 = 2\pi R_0 \cdot \frac{H}{d}$$

$$T_0 = 2\pi R_0 \cdot \frac{H}{d \cdot \bar{V}}$$

第二排放线时间

$$T_1 = T_0 + 2\pi(R_0 - d) \cdot \frac{H}{d \cdot \bar{V}}$$

以此类推得

$$T_k = T_{k-1} + 2\pi(R_0 - kd) \cdot \frac{H}{d \cdot \bar{V}}$$

其中 $k=1, 2, \dots, 12$

T_k 为从开始 $t=0$ 到 $(N-1)$ 排线放完的总时间。 $R_0=0.219$ 米。

$$\Delta T_k = T_k - T_{k-1} = 2\pi \cdot \frac{H}{d \cdot \bar{V}} (R_0 - kd) = 36(0.219 - 0.01k) \text{ 秒} \quad (1)$$

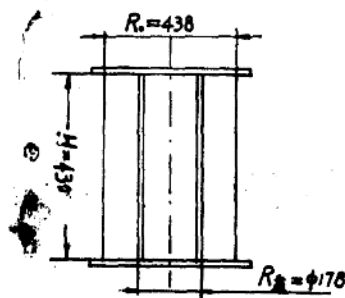


图 2 线盘外形图

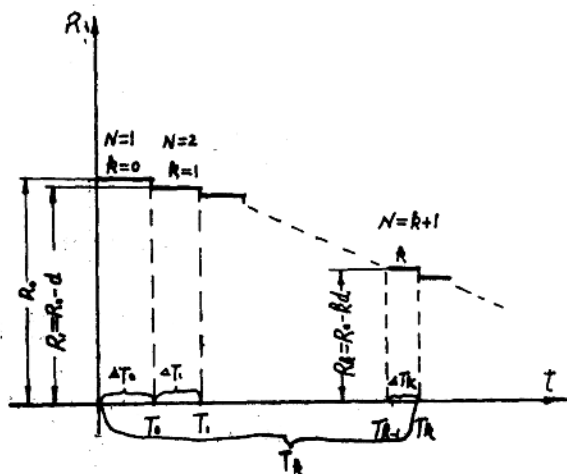


图 3 线盘半径随时间的变化示意图

2. 转动惯量随时间的变化特性

($N-1$) 排总转动惯量为:

$$J_k = (J_{\text{盘}} + J_{\text{导}}) \times 1.05$$

其中: $J_{\text{盘}}$ ——盘的转动惯量, $J_{\text{盘}} = 0.0122 \text{ 公斤米} \cdot \text{秒}^2$

$J_{\text{导}}$ ——导线转动惯量。

1.05——考虑其它因素的系数。

a, ($N-1$) 排满排时导线的转动惯量最终表达式为:

$$J_{\text{导}k} = 58.0071(R_k^4 - R_{\text{盘}}^4) \quad (2)$$

其中: $R_k = R_0 - k \cdot d$

$R_{\text{盘}}$ ——盘轴半径, $R_{\text{盘}} = 0.089 \text{ 米}$

b, ($N-1$) 排导线的转动惯量随时间的变化量 $\Delta J_{\text{导}k}$ 最终表达式为:

$$\Delta J_{\text{导}k} = 0.0253(R_k^2 + R_{\text{盘}}^2) \cdot \Delta T_k \quad (3)$$

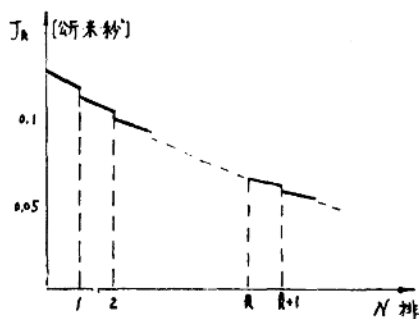


图4 转动惯量随时间的变化示意图

三、連續——時間状态方程的离散化

由以上二参数变化规律可看出: 如果要解此非线性变参数系统, 不仅必须将参数离散化, 而且采样时间间隔不等。

设: 有连续——时间状态方程为

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A} \mathbf{X} + \mathbf{B} \mathbf{U}$$

其离散化的表达式为

$$\dot{\mathbf{X}}[(N+1)\Delta T] = \mathbf{G}(T) \mathbf{X}(N\Delta T) + \mathbf{H}(\Delta T) \mathbf{U}(N\Delta T)$$

如果采样周期 ΔT 固定不变, 那么 $\mathbf{G}$, $\mathbf{H}$ 为常系数矩阵。

其中:

$$\mathbf{G}(T) = e^{\mathbf{A}\Delta T}$$

$$\mathbf{H}(T) = \left(\int_0^{\Delta T} e^{\mathbf{A}t} dt \right) \mathbf{B}$$

在自动收放线控制系统中, $\mathbf{A}$ 为时变矩阵, 采样周期也是变值。

考虑到在 $(N-1)$ 任意排上, R_k 为定值, 且 J_k 的变化量 ΔJ_k 不大 (主要是 ΔJ_k 的变化, 为便于说明方法, 我们忽略这一变化, 即近似认为 J_k 在每排上为常数, 则 $\mathbf{A}(k)$ 在各 ΔT_k (变量) 中将为常系数矩阵, 从而使问题大大简化。由此:

$$\mathbf{G}(T) = e^{\mathbf{A}(k)\Delta T_k}$$

按上述假设当 k 一定时, $\mathbf{A}(k)$ 为常系数矩阵。

$$\mathbf{H}(T) = \left(\int_0^{\Delta T_k} e^{\mathbf{A}(k)t} dt \right) \mathbf{B}(k)$$

$$\mathbf{G}_1(T) = e^{\mathbf{A}(0)\Delta T_0} \quad \text{即 } R_k = R_0, k=0$$

$$\mathbf{G}_2(T) = e^{\mathbf{A}(1)\Delta T_1} \quad \text{即 } R_k = R_1 = R_0 + d, k=1$$

$$\mathbf{H}_1(T) = \left(\int_0^{\Delta T_0} e^{\mathbf{A}(0)t} dt \right) \mathbf{B}(0)$$

$$\mathbf{H}_2(T) = \left(\int_0^{\Delta T_1} e^{\mathbf{A}(1)t} dt \right) \mathbf{B}(1)$$

$$\mathbf{H}_N(T) = \left(\int_0^{\Delta T_k} e^{\mathbf{A}(k)t} dt \right) \mathbf{B}(k) \quad N=k+1$$

在采样间隔 ΔT_k 内 $\mathbf{A}(k)$ 为一常数矩阵, 但在不同的采样间隔 (不同 k 值) $\mathbf{A}(k)$ 值不同, 则 $\mathbf{G}(T)$, $\mathbf{H}(T)$ 值也不同。

用递推法求:

$$k=0 \quad N=1 \quad \mathbf{X}(1) = \mathbf{G}_1(T) \mathbf{X}(0) + \mathbf{H}_1(T) \mathbf{U}(0) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} k=1 \quad N=2 \quad \mathbf{X}(2) &= \mathbf{G}_2(T) \mathbf{X}(1) + \mathbf{H}_2(T) \mathbf{U}(1) \\ &= \mathbf{G}_2(T) [\mathbf{G}_1(T) \mathbf{X}(0) + \mathbf{H}_1(T) \mathbf{U}(0)] \\ &\quad + \mathbf{H}_2(T) \mathbf{U}(1) \\ &= \mathbf{G}_2(T) \mathbf{G}_1(T) \mathbf{X}(0) + \mathbf{G}_2 \mathbf{H}_1 \mathbf{U}(0) + \mathbf{H}_2 \mathbf{U}(1) \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k=2 \quad N=3 \quad \mathbf{X}(3) &= \mathbf{G}_3(T) \mathbf{G}_2(T) \mathbf{G}_1(T) \mathbf{X}_0 \\ &\quad + \mathbf{G}_3(T) \mathbf{G}_2(T) \mathbf{H}_1(T) \mathbf{U}(0) \\ &\quad + \mathbf{G}_3 \mathbf{H}_2(T) \mathbf{U}(1) + \mathbf{H}_3(T) \mathbf{U}(2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k=3 \quad N=4 \quad X(4) &= G_1(T)G_2(T)G_3(T)G_4(T) \\
&+ G_4(T)G_3(T)G_2(T)H_1(T)U(0) \\
&+ G_4G_3H_2(T)U(1) + G_4(T)H_3(T)U(2) \\
&+ H_4(T)U(3) \\
k=N-1 \quad X(N) &= G_1G_2^{(1)} \cdots G_N X_0 + U(0)H_1^{(3)}(T) \\
&\cdot G_2G_3 \cdots G_N + U(1)H_2^{(4)}(T)G_3 \cdots G_N \\
&+ \cdots + G_N H_{N-1}^{(2)} U(N-2) \\
&+ U_{(N-1)}^{(5)} H_N \\
X(N) &= \prod_{N-1}^N G_N^{(1)} X_0 + G_N \{ H_{N-1}^{(2)} U(N-2) \\
&+ G_{N-1} [H_{N-2} U(N-3) + G_{N-2} \\
&(H_{N-3} U(N-4) + \cdots + G_3 \\
&\cdot H_2^{(4)} U(1) + G_2 H_1^{(3)} U(0))] \} + H_N^{(5)} U(N-1)
\end{aligned} \quad (6)$$

式(6)即为适用于放线车这一变参数系统任意状态的动态过程解析式

1. 求系统状态方程

为了求出系统的状态方程,先写出系统传递函数

$$W(P) = \frac{k_i k_M k'_w}{T_i J_k P^2 + J_k P + k_i k_M k'_w}$$

式中 k_i ——信号综合放大器放大倍数;

k_M ——磁粉离合器之传递函数;

k'_w ——测速机之传递函数;

T_i ——放大器的时间常数;

J_k —— $(N-1)$ 排转动惯量。

$$\begin{aligned}
X &= \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k_i k_M k'_w}{J_i J_k} & -\frac{1}{T_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_i k_M k'_w}{T_i J_k} \end{bmatrix} U
\end{aligned}$$

$$y(k) = [1 \quad 0] X(k)$$

$$y(1) = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \end{bmatrix}$$

当 $k=0$ 时; $k_i=7$ $k'_{w0}=0.091$ 伏秒 $J_0=0.149$ 公斤米·秒² $T_i=0.05$ 秒

$$k_M = 4.5 \frac{\text{公斤米}}{\text{安}} R_0 = 0.219 \text{ 米}$$

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -385 & -20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 385 \end{bmatrix} U = A X + B U \quad (7)$$

$$y(1) = [1 \quad 0] X = X_1(1)$$

$$A(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -385 & -20 \end{bmatrix} \quad B(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 385 \end{bmatrix}$$

2. 求转移阵 $e^{A(0)t}$

$$e^{A(0)t} =$$

$$\begin{bmatrix} e^{-10t} \cos 16.882t + \frac{10}{16.882} e^{-10t} \sin 16.882t & \frac{1}{16.882} e^{-10t} \sin 16.882t \\ -\frac{385}{16.882} e^{-10t} \sin 16.882t & e^{-10t} \cos 16.882t - \frac{10}{16.882} e^{-10t} \sin 16.882t \end{bmatrix} \quad (8)$$

3. 用递推法求系统的动态过程 (由于篇幅所限仅给出前二排的动态过程)

(a) 由公式 (4) 可知, 第一排的动态过程方程为,

$$X(1) = G_1(T) X(0) + H_1(T) U(0)$$

$$X(0) = X(t) \Big|_{t=0} = 0$$

$$U(k) = U(0) = 1$$

$$\therefore X(1) = H_1(T) U(0)$$

$$X(1) = \int_0^{T_1} e^{A(0)t} \cdot B(0) \cdot U(0) dt$$

$$= \int_0^{T_1} \begin{bmatrix} e^{-10t} \cos 16.882t + \frac{10}{16.882} e^{-10t} \sin 16.882t \\ -\frac{385}{16.882} e^{-10t} \sin 16.882t \end{bmatrix} dt$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{16.882} e^{-1.0t} \sin 16.882t \\ & e^{-1.0t} \cos 16.882t - \frac{10}{16.882} e^{-1.0t} \sin 16.882t \end{aligned} \right\}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 385 \end{bmatrix} dt = \begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \end{bmatrix}$$

输出方程:

$$y(1) = C X(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \end{bmatrix} = x_1(1)$$

$$X(1) = H_1(T) U(0) = \begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_1(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - e^{-1.0 \Delta T_0} (\cos w \Delta T_0 + 0.5923 \sin w \Delta T_0) \\ 22.8054 e^{-1.0 \Delta T_0} \sin w \Delta T_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

当 $\Delta T_0 = 7.884$ 时

$$x(1) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

其输出方程为:

$$y(1) = x_1(1) = [1 - e^{-1.0 \Delta T_0} (\cos w \Delta T_0 + 0.5923 \sin w \Delta T_0)] \quad (10)$$

其中: $w = 16.882$

此方程即为第一排时的动态过程方程。而 $x_2(1) = x_1(1)$ 为动态过程的加速度方程。

为了证实 $x_1(1)$ 的正确性, 下面用古典法来校对一下。

当 $R = R_0$ 时, 其传递函数为:

$$W_0(P) = \frac{k_{i0} k_M k'_{w0}}{T_i J_0 P^2 + J_0 P + k_{i0} k_M k'_{w0}}$$

$$k_{i0} = 7 \quad k_M = 4.5 \quad J_0 = 0.149 \quad T_i = 0.05 \quad k'_{w0} = 0.091$$

将这些参数代入得:

$$W_0(P) = \frac{2.8665}{0.00745 P^2 + 0.149 P + 2.8665}$$

在单位阶跃输入下

$$V_{\text{线}}(t) = 1 - e^{-10t} (\cos w_d t + 0.5923 \sin w_d t) \quad (11)$$

其中:

$$w_d = 16.8825$$

比较式(10)和式(11)可见, 求出的 $V_{\text{线}}(t)$ 线与用状态空间法求出的 $x_1(1)$ 完全一致, 说明 $x_1(1)$ 就是单位阶跃信号下的动态过程关系式。

(b) 由公式(5)可知, 第二排的动态方程为

$$\dot{X}(2) = G_1 G_2 X(0) + G_2 H_1 U(0) + H_2 U(1)$$

$$X(0) = 0 \quad U(k) = 1$$

$$\therefore \dot{X}(2) = G_2 H_1 U(0) + H_2 U(1)$$

$$G_2 = e^{A(1)}$$

$$H_2 = \left[\int_0^{A(1)} e^{A(1)} dt \right] B(1)$$

求 $A(1)$ 矩阵

$$W_1(P) = \frac{k_{i1} k_M k'_{w1}}{T_i J_1 P^2 + J_1 P + k_{i1} k_M k'_{w1}}$$

$$R_1 = R_0 - d = 0.209 \text{ 米} \quad J_1 = 0.1252 \quad k_M = 4.5$$

$$k_{i1} = 7 \frac{R_1}{R_0} = 7 \frac{0.209}{0.219} = 6.6804 \quad T_i = 0.05$$

$$k'_{w1} = k^*_{w0} R_1 = \frac{k w_0}{R_0} \cdot R_1 = \frac{0.091}{0.209} \cdot 0.209 = 0.0868$$

将以上参数代入 $W_1(P)$ 得:

$$W_1(P) = \frac{414.1905}{P^2 + 19.873P + 414.1905}$$

与前求 $A(0)$ 同理写出系统状态方程:

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -414.1905 & -19.8730 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ 414.1905 \end{bmatrix} U$$

$$= A(1)X + B(1)U$$

$$G_2 = e^{A(1)}$$

$$= \begin{bmatrix} e^{-0.0868t} \cos 17.7611t + 0.5595 e^{-0.0868t} \sin 17.7611t \\ -23.3201 e^{-0.0868t} \sin 17.7611t \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{17.7611} e^{-0.0868t} \sin 17.7611t$$

$$e^{-0.0868t} \cos 17.7611t - 0.5595 e^{-0.0868t} \sin 17.7611t$$

$$H_2 U(1) = \left[\int_0^{\Delta T_1} e^{A(1)} dt \right] B(1) U(1)$$

式中 $U(1) = [1]$, $B(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 414.1905 \end{bmatrix}$, 代入后

$$\begin{aligned} H_2 U(1) &= \int_0^{\Delta T_0} \begin{bmatrix} \frac{414.1905}{17.7611} e^{-0.0365t} \sin 17.7611t \\ 414.1905 [e^{-0.0365t} \cos 17.7611t \\ - 0.5595 e^{-10t} \sin 17.7611t] \end{bmatrix} dt \\ &= \begin{bmatrix} 1 - e^{-0.0365t} (\cos 17.7611t + 0.5595 \sin 17.7611t) \\ 23.3201 e^{-0.0365t} \sin 17.7611t \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\therefore X(2) = G_2 H_1 U(0) + H_2 U(1)$$

$G_2 H_1 U(0)$ ——由第一排所引起的动态过程

$H_2 U(1)$ ——在第二排上作用 $u(k) = 1$ 所引起的动态过程。

第一排的放线时间为 $\Delta T_0 = 7.884$ 秒, 如果在此期间第一排的过渡过程已基本结束则:

$$H_1 U(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \therefore X(2) &= \begin{bmatrix} e^{-0.0365 \Delta T_0} \cos 17.7611 \Delta T_0 + 0.5595 e^{-0.0365 \Delta T_0} \sin 17.7611 \Delta T_0 \\ - 23.3201 e^{-0.0365 \Delta T_0} \sin 17.7611 \Delta T_0 \end{bmatrix} \\ &\quad + \begin{bmatrix} 1 - e^{-0.0365t} (\cos 17.7611t + 0.5595t \sin 17.7611t) \\ 23.3201 e^{-0.0365t} \sin 17.7611t \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (12)$$

式中, t 从 0—7.524 秒

上式可以看出在放线过程中, 第一排对第二排的影响是改善了第二排的动态品质, 并以此类推 (这里不再推算证明), 而这种影响用古典理论是无法判断和分析的。

线速度和张力复合控制系统的研制

飞行器设计研究所 张汝惠 赵瀚昇 盛焕鸣 袁执盛

前 言

近几年来我国在张力控制系统和线速度控制系统方面有了较快的发展,这两种控制系统在使用上,由于生产机械的结构和运转形式不同,具有不同的控制方式。最初使用这两种系统都是借助生产机械内设有压紧的传动机构,隔断张力和线速度两个物理量的相互联系,从而进行分别控制。

随着我国国民经济的发展,对于微张力控制和小张力控制提出了新的要求,不仅要求对难于控制的微小张力进行自动控制,而且要求同时对被控对象的线速度也能自动加以控制。这种要求的特点在于被控对象在运行过程中不容许加有压紧的传动装置,在同一被控对象上不能隔断张力和线速度这两个物理量的联系,从而提出了“张力和线速度复合控制系统”的课题。

这种复合控制系统适用于国防工业和民用工业中的丝材、带材、塑料薄膜和游丝等加工设备。使用了这种系统后不论是对材料表面加工精度、粗细或薄厚的均匀度,还是提高产量等方面都能得到改善。

这种系统首先是应用于丝材加工设备上。它属于小张力控制范围即100克—300克之间,线材的运行速度为10米/分—40米/分。上述张力和线速度的运行控制量均为连续可调,当给定张力和给定线速度确定后,复合系统能够在给定误差下实现恒张力和恒速度控制。

复合控制系统的组成

根据目前国内丝材加工设备的需要,线速度和张力复合控制系统的第一阶段的结构方案,采用了模拟式控制,张力指示为模拟量显示,线速度指示为数字量显示。

这种复合控制系统主要由二部分组成:张力控制通道,线速度控制通道和频率—模拟量转换装置。

由于该系统应用于丝材加工装置上也是属于卷出卷进控制的类型,从调节角度看它属于变参数控制,所以如何将卷出卷进的变参数控制系统有效地组合起来加以应用,也是上述复合控制系统研制特点之一。

线速度和张力复合控制系统如图1所示:

从线速度和张力复合控制系统图中可以看出:线速度和张力两个物理量分别由各自通道加以控制,线速度 V 和张力 F 全作用在一根丝上,这两个物理量通过细丝交织在一起相互影响,所以各自身通道的组合方式,对于复合控制精度都有直接关系。

在线速度控制通道中为了减少对张力的影响和使细丝在运行过程尽可能低地减少力的干

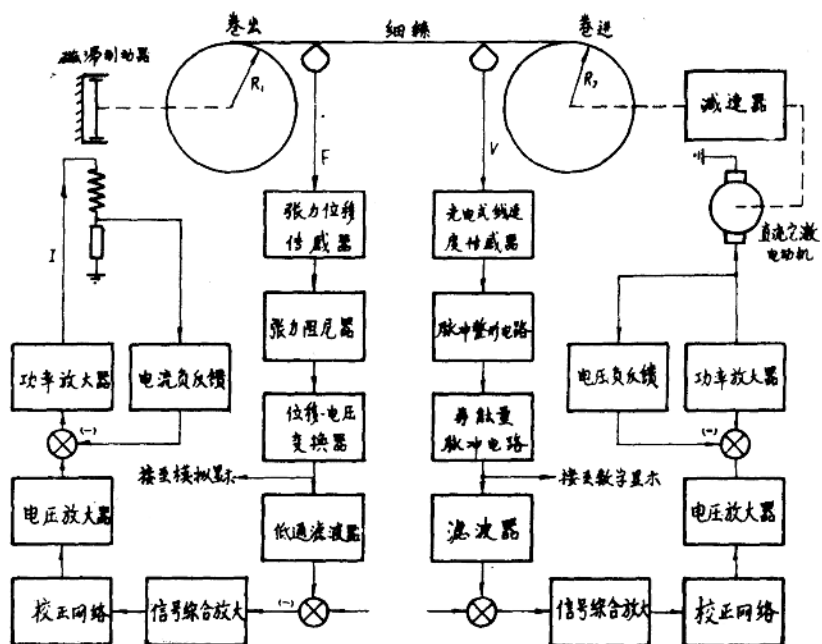


图1 线速度和张力复合控制系统图

扰, 将线速度测量环节设计成光电脉冲式, 这样将细丝的线速度转换成相应频率的脉冲, 并通过等能量脉冲电路、滤波器输出与相应频率脉冲呈比例的模拟信号 $u_{V,c}$, 这种线速度转换成脉冲的变换线路对线速度数字显示电路的正常工作也是需要的。实践证明: 这种设计方法是切实可行的, 运行效果也是令人满意的。

线速度控制通道采用直流他激电动机加减速器做为执行机构。为了减少张力对速度控制的干扰和提高线速度控制的准确程度, 用提高减速器的减速比 (即大减速比之减速器) 和加大电动机容量的组合方法, 以减少电动机轴上的折合力矩, 并使控制电动机转速稳差度减小。此外通过加电压负反馈以降低功率放大器输出阻抗, 提高直流他激电动机的机械特性硬度。在实验和整个控制系统运行调试中也证明了这一组合方法不仅满足技术指标要求, 而且与理论分析结果相符合。

在张力控制通道中, 张力传感器的精度直接影响着张力控制系统的精度, 尤其是小张力控制系统这一点尤为重要。本系统中张力传感器设计成直线位移式并带有张力阻尼器, 通过该传感器中的高精密度电位计把张力转换成电信号, 张力传感器的特点是结构紧凑, 测量精度比较高。为了保证张力控制系统的动态稳定性和动态品质, 张力传感器必须配置阻尼器, 否则很难在卷出半径变化同时也伴随着转动惯量变化的情况下, 保持近似的动态品质。在张力控制通道中增加正向通道的校正网络和反馈通道的低通滤波器可进一步改善动态调节性能。

张力控制通道中, 控制张力的执行元件采用磁滞制动器。磁滞制动器是一种新型制动器, 其制动力矩可由磁滞制动器的控制线圈电流加以调节, 它的力矩特性和机械特性与磁粉制动器相似, 但不同之处在于磁滞制动器它的零位力矩很小。这一特点在微张力控制系统和

卷出半径小（指最后一层线的卷出半径）的小张力控制系统中应用是合理的，使微张力和小张力控制系统具备了一定的特色。

为了减小磁滞制动器控制绕组电磁惯性对张力控制通道的影响，在张力控制通道中引入了电流负反馈，使控制绕组的等效电磁时间常数减小，便于合理组成系统的频率特性。

复合控制系统的传递函数

在叙述复合控制系统的组合中已经对线速度—脉冲变换装置的组合内容作了说明。而在设计这种复合控制系统时对该装置的滤波器应要求有一个合理频率特性，等能量脉冲电路和滤波器实质上可等效为解调器，所以滤波器必须具有极陡的滤波特性，才能对光电脉冲量的频率进行滤波，而不影响线速度模拟调节频率。滤波器的对数幅频特性如图2所示。

图2中 f_v 为线速度模拟调节系统的频带宽度， f_0 为滤波器的截止频率。

从频率特性上可以看出：当线速度处于很低时，即低于最小要求线速度的情况下，调制线速度的光电脉冲量是可以通过滤波器进入线速度控制通道，从而形成有脉动的控制运动。但是在这一类复合控制系统所用的设备上，诸如起运之类的运动皆属准备工序，高于最小要求线速度时才要求有平稳和一定精度的控制，另外数字显示电路是对等能量脉冲电路输出的脉冲进行计数的，与滤波器无关。所以这种研制方案是在一定生产要求条件下较为全面的组合方案。

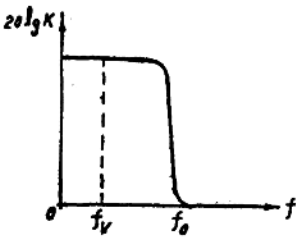


图2 滤波器的频率特性

明确线速度模拟调节的频率宽度后，可将线速度反馈通道的传递函数近似合理地写成为比例环节 K_v 。

复合控制系统的传递函数如图3：

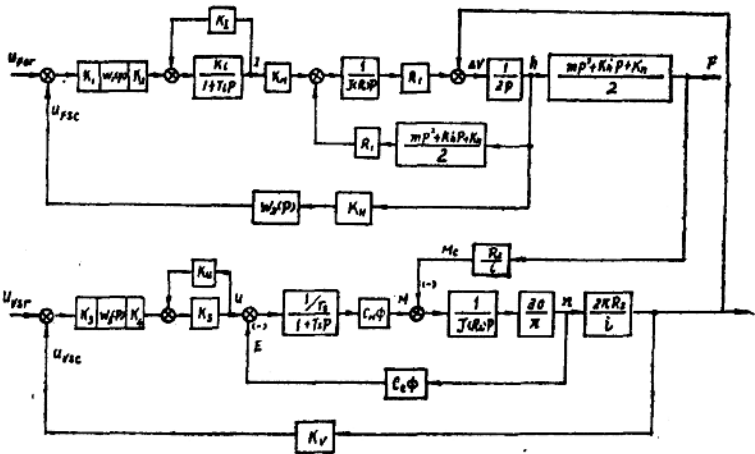


图3 复合控制系统的传递函数图