

# 卷绕设备张力和线速度的协调控制

万伯任 刘丁  
(陕西机械学院)

## 摘要

本文介绍一种张力、线速度的解耦控制系统,给出了控制对象的数学模型;证明了卷绕设备中张力和线速度之间存在耦和作用。作者利用计算机仿真设计了解耦网络,并将其应用于实际设备,其效果良好。

**关键词**——张力,线速度,解耦,反馈。

## 一、引言

工业生产中有许多工艺过程是卷绕过程,它们要求同时对线速度和张力进行控制。如造纸工业中的复卷机、钢铁工业中的卷取机、印染工业中的卷染机等,这些设备在稳态运行时要求维持线速度和张力恒定;在动态过程中要求输出量之间互不影响。采用传统的控制方式对前一项要求是可以满足的<sup>[2]</sup>,而对消除动态过程中输出量之间的相互影响,效果不甚理想<sup>[3]</sup>。本文对此进行了一些分析,提出一种动态解耦方案,基本解决了上述问题。

## 二、数学模型的建立和分析

本文以印染设备中亚漂机的反应箱内两个布辊的拖动电机作为分析对象。为了突出主要问题,将原系统简化为图1所示系统。图中 $Z_1$ ,  $Z_2$ 为两台同容量的他激直流电动机, $Z_1$ 经变速器后与布辊 $I$ 联结。设 $I$ 为卷取辊, $Z_1$ 作电动机运行,调节其转速以维持线速度恒定。 $Z_2$ 经变速器与布辊 $J$ 联结。设 $J$ 为开卷辊, $Z_2$ 作制动运行,其制动力矩作用在布辊上,阻碍其运动,从而建立织物的张力。调节制动力矩即可调节张力。这两台电机虽分别驱动两个布辊,但它们由织物连成一个整体,如以织物的线速度和张力作为系统的被控量,形成了一个典型的双变量控制

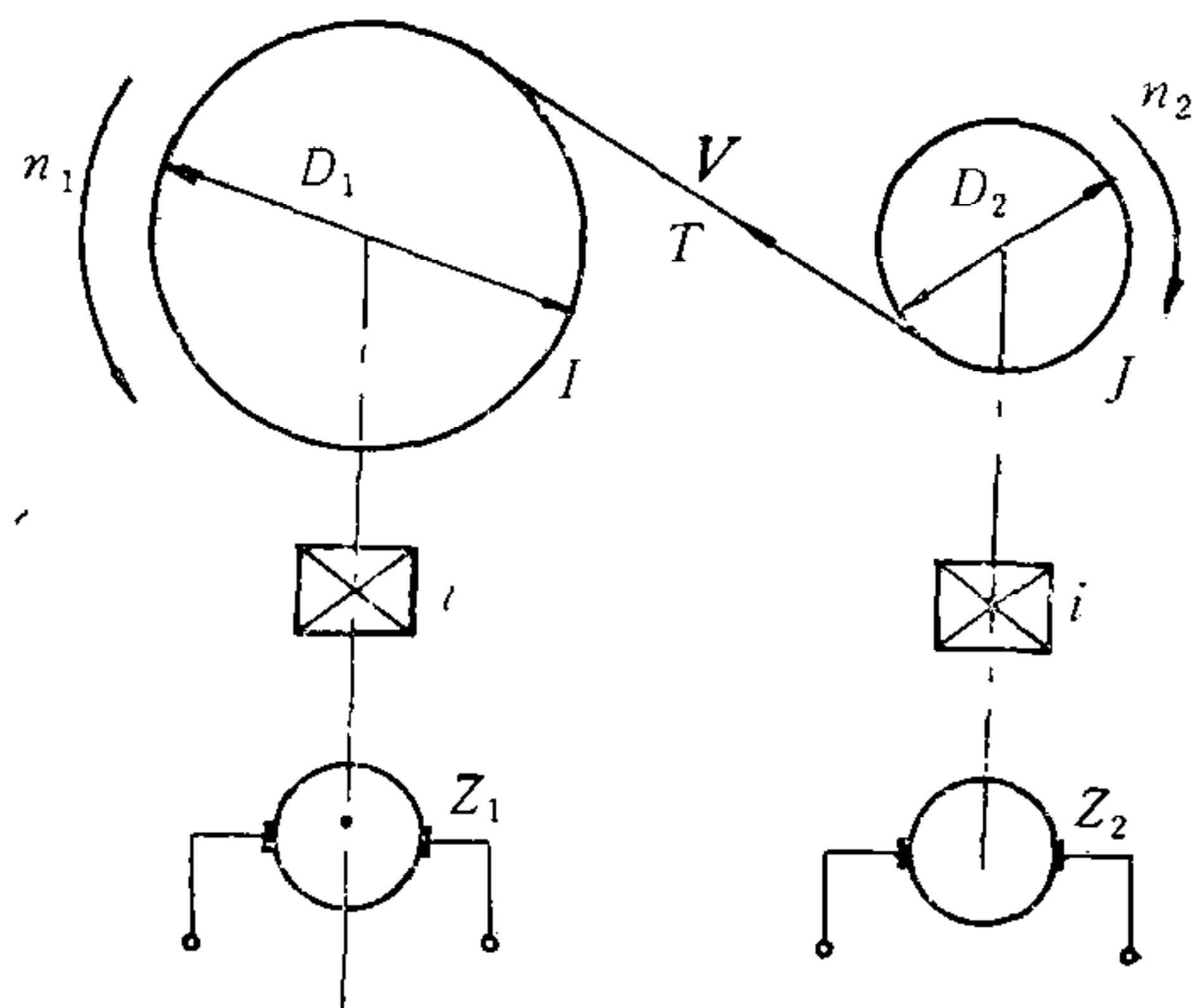


图1 物理模型

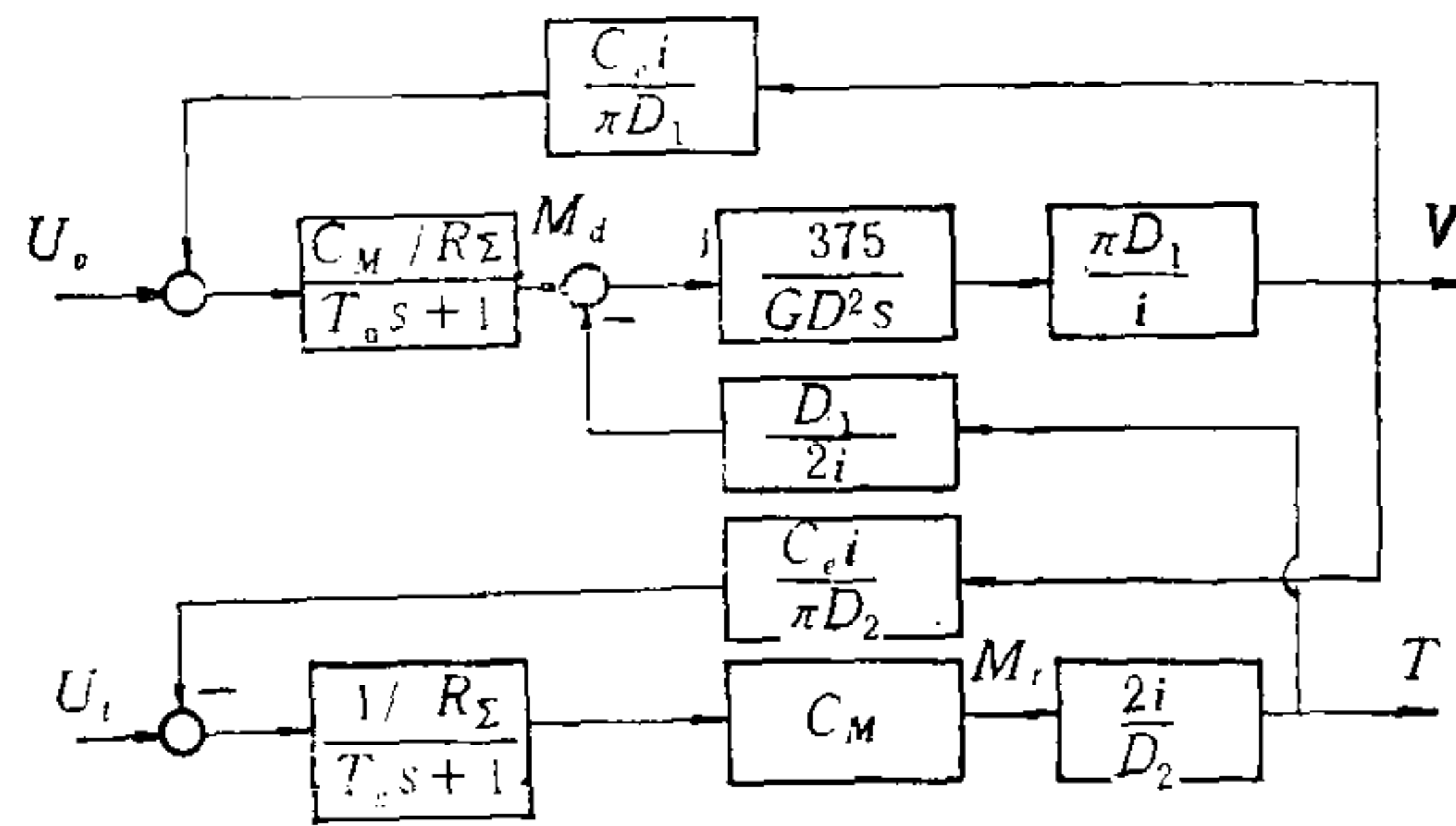


图2 耦合对象结构图

系统,其数学模型可用结构图来表示(图2)。

图中  $U_v$  为施加在电机  $Z_1$  电枢上的电压;  $U_t$  为施加在电机  $Z_2$  电枢上的电压;  $M_d$  为电机  $Z_1$  的电磁力矩;  $M_r$  为电机  $Z_2$  的电磁力矩;  $i$  为变速比;  $D_1, D_2$  为卷取辊和开卷辊的辊径。  $C_e, C_M$  分别为电动机的电势常数和转矩常数;  $R_\Sigma$  为电机电枢回路的总电阻;  $T_e$  为电枢回路的时间常数;  $GD^2$  为折算到电机轴上的转动惯量。由图2可以清楚地看出本系统控制对象具有如下特点:

1) 两台电机由织物连成一体后,它们之间存在关联作用,表现在电机  $Z_2$  的电磁力矩经过变速器和织物传到电动机  $Z_1$  的轴上,起阻碍运动的作用,从而形成张力。而相对于驱动电机  $Z_1$  而言,它是一种外扰作用,影响着织物的线速度。当线速度发生变化时,制动电机的电势也将发生变化,这又使得织物的张力难以维持恒定。

2) 由于在系统工作过程中,卷径  $D_1$  和  $D_2$  是时变的,所以,该系统又是时变的,在线速度较低,织物较薄的生产过程中,可以认为动态过程中卷径近似不变。至于在稳态情况下,卷径的变化对系统性能的影响,则可利用各被控量的闭环调节作用加以克服。

为了分析问题方便,可令

$$A_{11} = \frac{C_M/R_\Sigma}{T_e s + 1}, \quad A_{22} = \frac{2i C_M/R_\Sigma}{D_2(T_e s + 1)}, \quad A_{12} = \frac{C_e i}{\pi D_2},$$

$$A_{21} = \frac{D_1}{2i}, \quad A_{10} = \frac{C_e i}{\pi D_1}, \quad A_{01} = \frac{375 \pi D_1}{GD^2 i S}.$$

由图2得

$$V = \frac{1}{1 + A_{10} A_{01} A_{11}} (A_{11} A_{01} U_v - A_{21} A_{01} T), \quad (1)$$

$$T = A_{22} U_t - A_{12} A_{22} V. \quad (2)$$

将上式整理成为矩阵形式,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V \\ T \end{bmatrix} &= \frac{1}{1 + A_{11} A_{10} A_{01} - A_{11} A_{12} A_{21} A_{22}} \begin{bmatrix} A_{11} A_{01} & -A_{11} A_{21} A_{22} \\ -A_{12} A_{22} A_{11} A_{01} & A_{22} (1 + A_{10} A_{01} A_{11}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_v \\ U_t \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_v \\ U_t \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式即为本系统对象的数学模型。很显然,由于  $G_{12}$  和  $G_{21}$  均不为零,故系统存在耦

合<sup>[4]</sup>。在传统的设计中,将这种多变量系统中的耦合现象看成一种扰动,即把速度的变化看成对张力的扰动;把张力的变化看成对速度的扰动,然后按单变量系统的扰动补偿原则进行处理<sup>[1]</sup>。我们认为,这样做存在以下问题:第一,将一个多变量控制系统视为一单变量系统进行分析,这本身具有很大的近似性,由此而产生的偏差有时是不容忽略的,所以控制效果不会太好;第二,扰动补偿量应加在哪里?什么时候加?加多少?一般都不能精确确定,只能凭经验和现场调试解决,因而带有一定的盲目性。本文所述系统采用了反馈解耦设计方法。

### 三、协调控制

要消除控制对象之间的耦合作用,必须采用解耦的方法<sup>[4]</sup>。由图 2 知,本系统属  $V$  规范耦合对象,一般认为,利用前馈解耦的方法对这类系统不能实现输出量对输入量及干扰的全解耦<sup>[5]</sup>。要解决这类问题,可采用反馈解耦方式,此时,系统结构如图 3 所示。

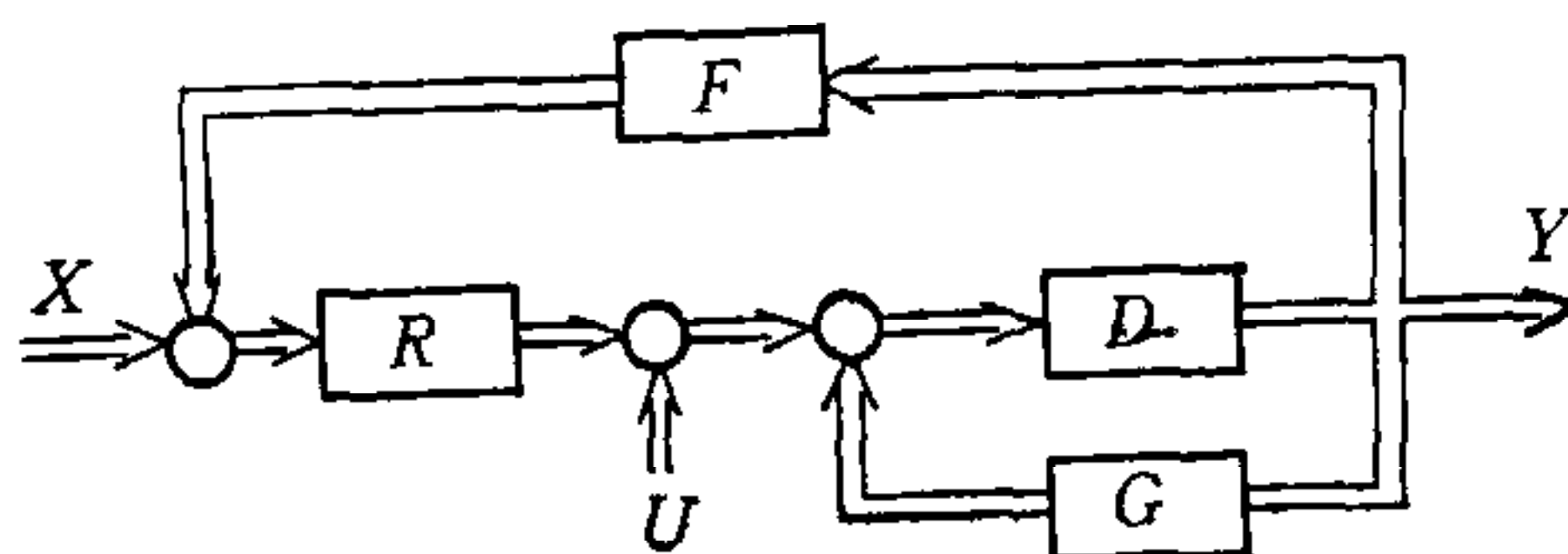


图 3 输出反馈解耦系统

由上图可得

$$Y = D(U + RX + \dot{G}Y - RFY). \quad (4)$$

若令

$$A = RF - G \quad (5)$$

为对角矩阵时,则

$$Y = (I + DA)^{-1}(DRX + DU). \quad (6)$$

其中

$$D = \begin{bmatrix} G_{11} & 0 \\ 0 & G_{22} \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} 0 & G_{12} \\ G_{21} & 0 \end{bmatrix}.$$

$U$  为扰动输入矩阵,  $F$  为反馈矩阵。

由于  $D$  阵、 $A$  阵和  $R$  阵均为对角阵,所以  $Y$  阵亦为对角矩阵,故系统实现了对给定和干扰的全解耦。

在令  $A$  阵为对角矩阵的前提下,由(5)式可确定  $F$  阵的元素:

$$\left. \begin{aligned} F_{ii} &= \frac{A_{ii}}{R_{ii}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ F_{ik} &= \frac{G_{ik}}{R_{ik}}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq k. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

为了简化系统,可令  $A_{ii} = R_{ii}$  亦即  $F_{ii} = 1$ , 将本系统的实际参数代入(7)式,可得

$$G_{11} = \frac{60}{(s+46)(s+5)}, \quad G_{22} = \frac{150}{s+50},$$

$$G_{21} = \frac{-150 \times 60 \times 3.1}{(s+50)(s+46)(s+5)}, \quad G_{12} = 0.$$

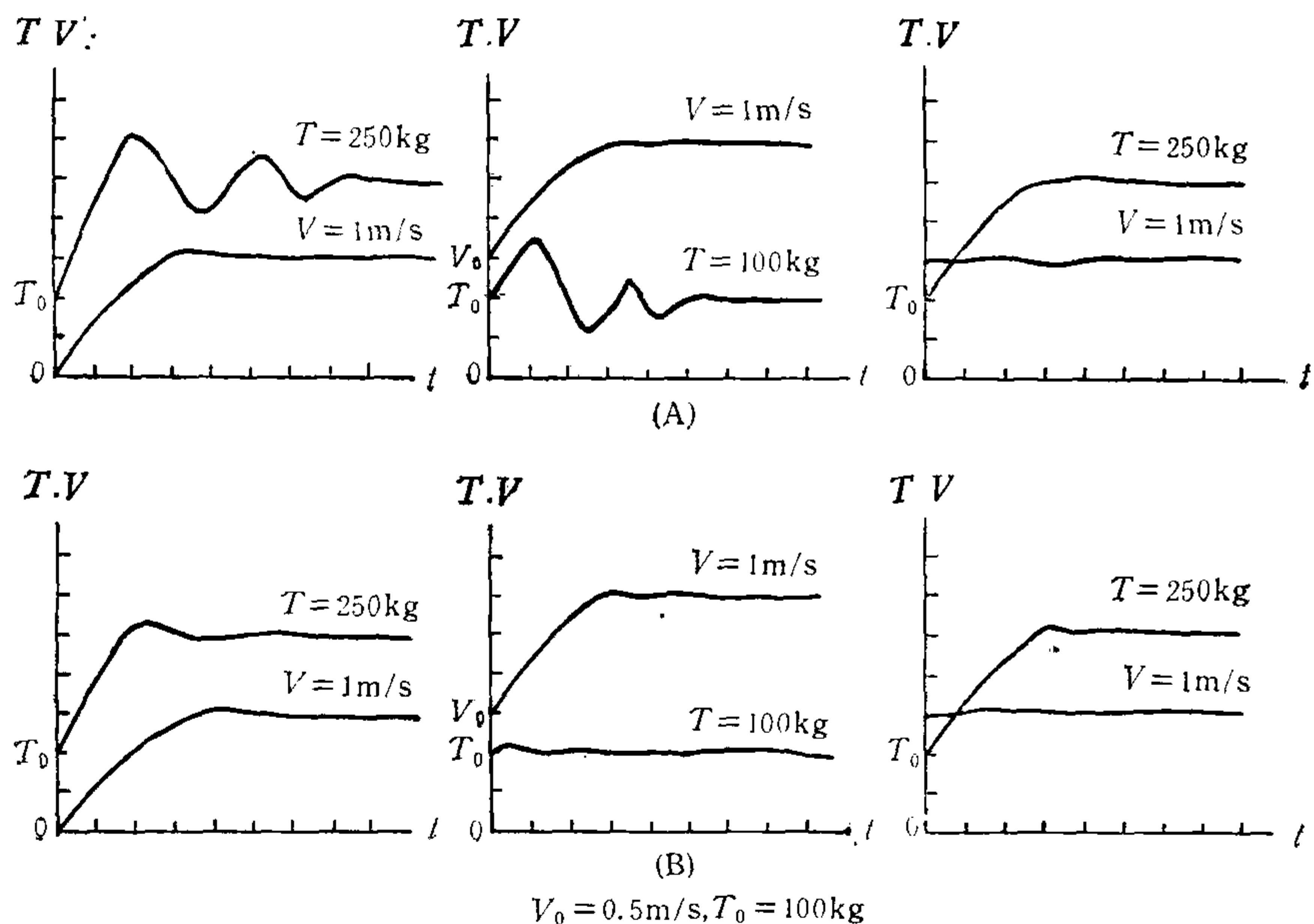
又取

$$R_{22} = \frac{1}{s(s+50)}, \quad R_{11} = \frac{0.1}{0.2s}.$$

则

$$f_{21} = \frac{G_{21}}{R_{22}} = -\frac{150 \times 180s}{(s+46)(s+5)}, \quad f_{12} = 0.$$

这样就完成了对此系统的反馈解耦设计,对该解耦系统进行计算机仿真,并将其结果绘制如图 4 所示.



A—解耦前对不同情况的仿真曲线 B—解耦后对不同情况的仿真曲线

图 4 解耦前后系统仿真结果

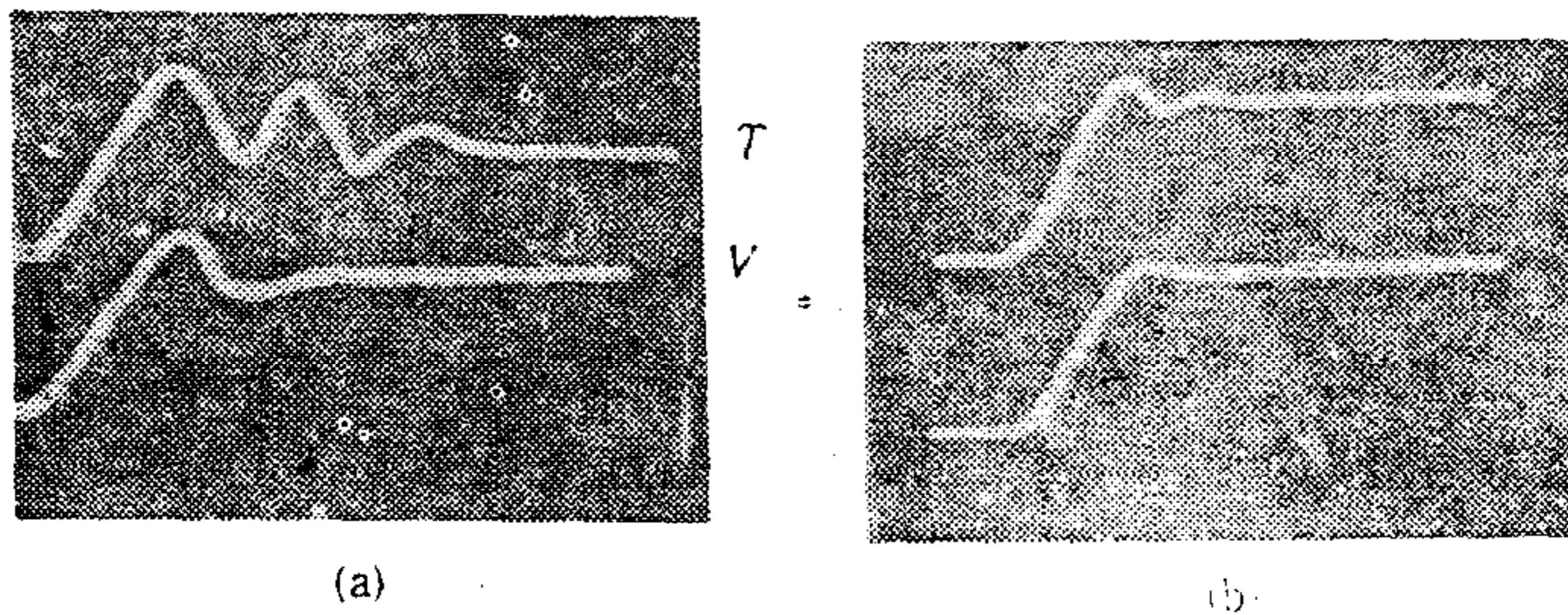
通过仿真,可以看到:

- 1) 在动态过程中,张力和线速度之间存在耦合作用;在稳态时,由于闭环调节作用,张力和线速度均能基本保持其给定值不变.
- 2) 张力和线速度的耦合程度各不相同,在本实验所取的参数条件下,线速度对张力的影响较为明显;张力对线速度的作用很弱,可以略去.
- 3) 在仿真时,没有考虑时变参数的影响,如果在高速时,卷径的变化很快,则这种耦合作用将会更加明显.

分析结果表明,按传统的设计方法,不考虑系统内部存在的耦合作用,不可能得到很好的动态性能,难以实现高质量的张力、线速度协调控制.系统实现解耦控制以后,动态

性能变好,耦合作用基本消除。

根据上述分析的结果,我们对一实际生产设备进行了张力、线速度的解耦控制,将原系统的速度、电流、电势调节器系统简化为速度、电流系统并加入了相应的解耦网络。这样,不仅使系统结构大为简化,而且得到了与数字仿真相符合的结果。图 5 给出实际设备采用解耦前后的张力,线速度曲线。另外,为了解决卷径变化而带来的时变参数问题,在系统中增加了自适应控制,结果也是令人满意的。



(a) 解耦前

(b) 解耦后

T: 张力 100kg→250kg V: 线速度 0m/s→1m/s

图 5 解耦前、后实际响应

## 结 束 语

对生产实际中存在着的张力要求和线速度恒定的控制系统,采用输出反馈进行解耦,实践证明是可行的。解耦后的系统可以基本保证在系统动态过程中张力和线速度互不影响。本文方法为实现高质量的张力控制提供了一条途径。

## 参 考 文 献

- [1] 高 龙等,现代控制理论在工程中的应用,科学出版社,1985.
- [2] 王 炎等,铝箔合卷机电气自动控制系统,自动化学报 7(1981), No. 1.
- [3] 杨 芳等,纺织电气自动控制系统,纺织工业出版社,1982.
- [4] Falb, P. L. and W. A. Wolovich, Decoupling in the Design and Synthesis of Multivariable Control Systems, *IEEE Trans. AC-12*(1967), DEC.
- [5] 刘晨晖,多变量过程控制系统的解耦理论,水利电力出版社,1984.

# DECOUPLING CONTROL OF TENSION AND LINEAR VELOCITY IN WINDING MACHINERY

WAN BOREN LIU DING

(Shaanxi Institute of Mechanical Engineering)

## ABSTRACT

A linear velocity and tension control system is presented in this paper. The mathematical model of the controlled plant is also given, which shows that there are interaction between linear velocity and tension in winding machinery. By means of computer simulation, the decoupling network is designed, and is already used in the rolling mill.

**Key words** —— Tension; linear velocity; decoupling; feedback.