

## 某航空发动机油泵调节器电动油门控制系统 设计与实现

蔡开龙, 赵东运, 谢寿生

(空军工程大学工程学院, 陕西西安 710038)

**摘要:**提出了一种某航空发动机油泵调节器电动油门控制系统的设计方案。介绍了电动油门控制系统工作原理和各组成部分的设计过程, 给出了油门手柄角位移信号与模拟电压信号 $U_x$ 的对应关系, 分析了计算机控制系统控制步进电机工作的过程, 通过步进电机与油泵调节器的联轴器设计实现了油门手柄对油泵调节器油门开度的控制。试验证明: 本文提出的电动油门控制系统的设计方案行之有效, 它能有效地调节油门开度的大小, 而且调节的精度较高。

**关键词:**电动油门; 计算机控制系统; 油泵调节器; 步进电机

**中图分类号:** V23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)03-0004-03

### 1 电动油门控制系统的工作原理

电动油门控制系统是在实验室条件下模拟油门手柄对油泵调节器油门开度的控制, 它通过油门机构把推拉油门手柄的角位移信号转换为模拟电压信号, 然后由计算机控制系统把模拟电压信号转换为脉冲频率信号, 最后由脉冲频率信号通过步进电机驱动器驱动步进电机工作实现对油泵调节器油门开度的调节。其工作原理框图见图1。

### 2 电动油门控制系统的设计与实现

#### 2.1 油门机构的设计与实现

由于油门机构是把推拉实物油门手柄的 $\alpha$ 转换为 $U_x$ 的机构, 因此可以把它当作一个“角位移传感器”来设计, 它是通过一个阻值在 $0 \sim 3.35 \text{ k}\Omega$ 、可旋转 $330^\circ$ 的高精密的滑动可变电阻器来感受油门手柄转动。其实现的电路原理见图2。

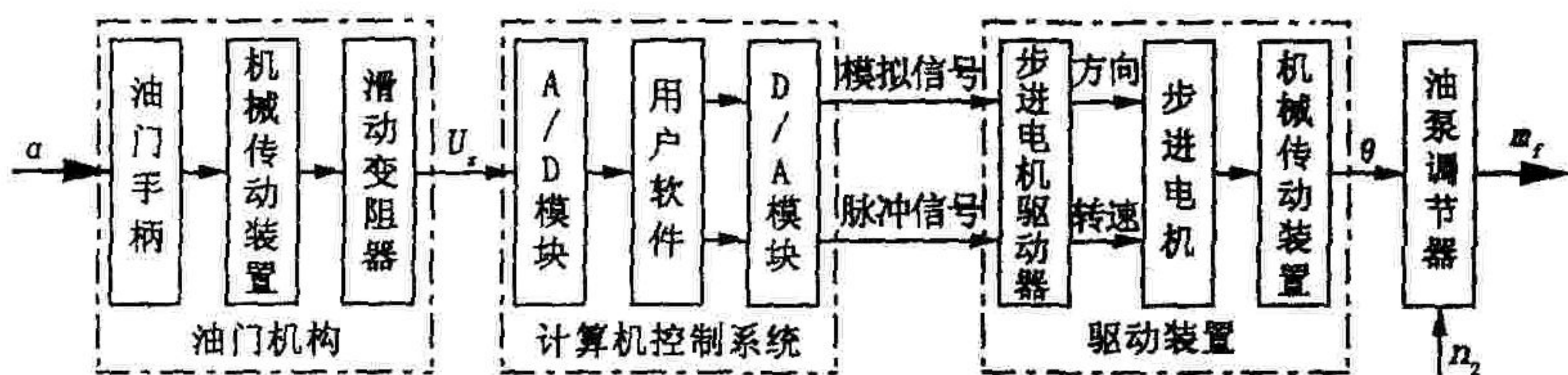


图1 电动油门控制系统的工作原理框图

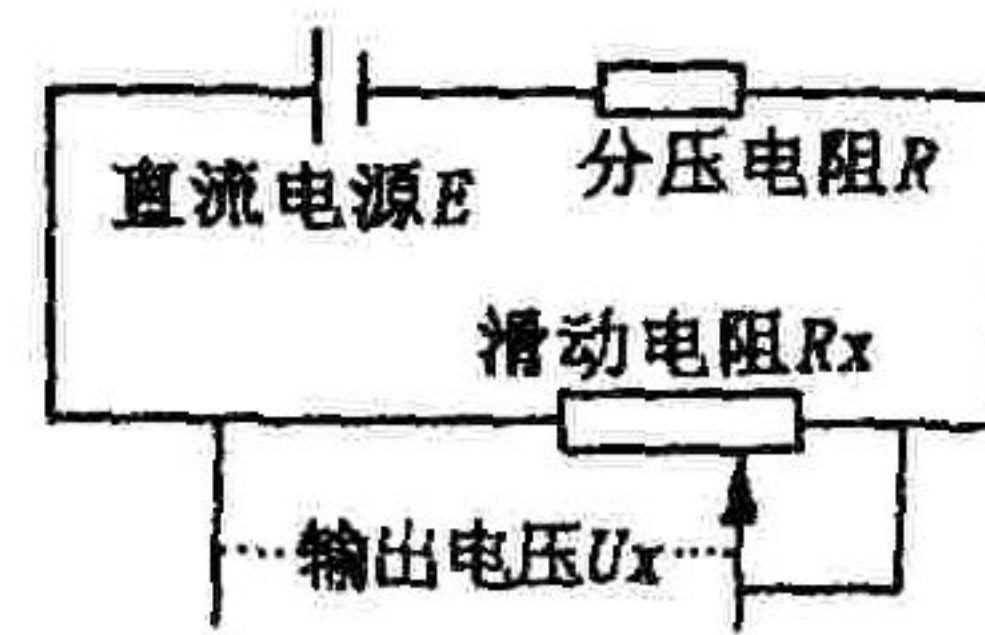


图2 转换电路原理

图2中, 取分压电阻的阻值 $R = 3 \text{ k}\Omega$ , 取恒压直流电源 $E = 10 \text{ V}$ , 滑动电阻 $R_x$ 选用 $0 \sim 3.35 \text{ k}\Omega$ 的可旋转 $330^\circ$ 的高精度滑动可变电阻器。则由电路知识可得输出电压: $U_x = E/(R + R_x)R_x$ 。由于本文中滑动变阻

收稿日期: 2004-09-01

基金项目: 军队2110工程项目

作者简介: 蔡开龙(1979-), 男, 江西上饶人, 博士生, 主要从事航空发动机控制与状态监控研究。



器的旋转的范围是 $0^\circ \sim 120^\circ$ ,因此可以认为 $R_x \ll R$ ,即 $U_x$ 与 $E$ 成线性关系。

为了实现“角位移传感器”,油门手柄与滑动可变电阻器的连接采用了滑动可变电阻器与油门手柄“同轴心”的安装方法,并通过连杆固定连接,油门手柄通过四根螺栓可靠地连接在实验平台上。

### 2.2 计算机控制系统的设计与实现

计算机控制系统是根据采集到的 $U_x$ 发送脉冲频率信号和 $U$ 以驱动步进电机转动和控制步进电机的转动方向<sup>[1-3]</sup>。其中,脉冲信号用以控制步进电机的转动角位移, $U$ 用以控制步进电机的转动方向。主要的控制特性如下: $U_x$ 与 $\alpha$ 的特性关系为 $U_x = f_1(\alpha)$ 或 $\Delta U_x = f_2(\Delta\alpha)$ 。 $\Delta U_x$ 与 $U$ 和步进电机转动方向的特性关系为 $\Delta U_x > 0, U$ ,为正,电机正转; $\Delta U_x < 0, U$ 为负,电机反转; $\Delta U_x = 0, U$ ,不变,电机静止。脉冲频率信号的发送数目与 $\Delta U_x$ 的特性关系为 $N = f_3(\Delta U_x)$ 。

### 2.3 驱动装置的设计与实现

由图1可知,驱动装置由步进电机驱动器、步进电机以及机械传动装置组成。其中,步进电机驱动器是按一定的运行方式送入脉冲信号以驱动步进电机工作,它与步进电机是一个有机的整体;步进电机是一种将电脉冲信号转换成相应角位移或线位移信号的电执行元件,每外加一个控制脉冲电机就运行一步;机械传动装置实现了步进电机输出的角位移 $\theta$ 到油泵调节器的油门开度的机械传动。

机械传动装置实际上是用步进电机带动油泵调节器的旋转摇臂旋转,从而控制油泵调节器油门开度大小,控制供油量大小。把步进电机的转角 $\theta$ 转换为油泵调节器旋转摇臂的转角 $\theta_1$ 可以采用摇臂、齿轮、联轴器三种连接方式,权衡这三种连接方法的利弊,突出低成本、高精度、设计实现容易并兼顾到油泵实验台的油泵实际位置情况,采用了联轴器连接方式;并且,在设计中针对可能出现的安装误差进行了“三维”消除误差设计,即使电机固定架可以在 $x, y, z$ 轴三个方向上调整电机的位置,保证电机与旋转摇臂可靠连接。

## 3 电动油门控制系统的试验分析

### 3.1 $U_x$ 与 $\alpha$ 特性关系的试验分析

为了分析 $U_x$ 与 $\alpha$ 特性关系,采用正向推和反向拉油门手柄的方法分别记录两个方向输入 $\alpha$ 角位移下的电压 $U_x$ 的输出值,每个状态重复5次,记录 $U_x$ 的静态数据,并分别计算正、反行程模拟电压的平均值 $\bar{U}_{x正}$ 、 $\bar{U}_{x负}$ 以及总平均值 $\bar{U}_{x总} = (\bar{U}_{x正} + \bar{U}_{x负})/2$ ,然后用最小二乘法拟合 $U_x$ 与 $\alpha$ 的线性关系式。5次重复试验的 $U_x$ 数据如表1所示。

表1 5次重复试验的 $U_x$ 数据和处理结果列表

$j$		1	2	3	4	5
$\alpha$		$3.5^\circ$	$16^\circ$	$71^\circ$	$78^\circ$	$116^\circ$
行程1	正向	3.81	4.00	4.63	4.75	5.13
	反向	3.82	4.01	4.62	4.76	
行程2	正向	3.81	4.01	4.62	4.75	5.12
	反向	3.83	4.00	4.63	4.76	
行程3	正向	3.82	4.02	4.63	4.75	5.12
	反向	3.81	4.00	4.62	4.77	
行程4	正向	3.82	4.01	4.63	4.75	5.13
	反向	3.82	4.01	4.64	4.76	
行程5	正向	3.83	4.01	4.63	4.74	5.12
	反向	3.81	4.02	4.62	4.75	

先计算物理量“迟滞”: $\delta_H = |\Delta H_m|/Y_{F,S} \times 100\%$  ( $|\Delta H_m|$ 表示同一输入量时对应正、反行程输出量的最大差值; $Y_{F,S}$ 表示输入量的范围长度),它表征测量系统在全量程范围内,输入量由小到大(正向)或由大到小(反向)变化时两者静态特性不一致的程度。

由表1可知: $\delta_H = |\Delta H_m|/Y_{F,S} \times 100\% = |4.77 - 4.75|/(116 - 3.5) = 0.01778\%$ 。这表明:系统正、反行程的静态特性一致程度较好,即使用根据模拟电压值大小来调节油泵调节器油门开度大小的方案可行。

由表1分别计算正、反行程模拟电压的平均值 $\bar{U}_{x正}$ 、 $\bar{U}_{x负}$ 以及总平均值 $\bar{U}_{x总} = (\bar{U}_{x正} + \bar{U}_{x负})/2$ 后拟合 $U_x$ 与 $\alpha$ 的线性关系式为: $U_x = 3.7963 + 0.011735\alpha$ (正向推); $U_x = 3.8079 + 0.01156\alpha$ (反向拉)。

### 3.2 脉冲信号发送量与模拟信号变化量 $\Delta U_x$ 之间的特性关系的试验分析

本文所选用的步进电机的步距角为 $1.8^\circ$ ,步进电机驱动器选择的细分数为4,即一个脉冲使步进电机旋转 $1.8^\circ/4 = 0.45^\circ$ 。因此,在发动机的各状态下推拉油门手柄所需要的脉冲数见表2( $E$ 为10V)。

表2 在发动机各状态下推拉油门手柄所需要的脉冲数列表

手柄位置	对应角度 $U_x/V$ (正推)	脉冲数 $N$	$U_x/V$ (反拉)	脉冲数 $N$	
1	$3.5^\circ$	3.81	28	3.82	28
2	$16^\circ$	4.00	122	4.01	122
3	$71^\circ$	4.63	16	4.62	16
4	$78^\circ$	4.75	85	4.76	85
5	$116^\circ$	5.13		5.12	



计算机控制系统是根据  $X$  值计算所要发送脉冲数多少的:当  $U_x = 3.81, N = 0$ ; 当  $3.81 < U_x \leq 4.00$  时,需要发送的脉冲数为  $N = \lfloor (28/0.19) \times |\Delta U_x| \rfloor$ ; 当  $4.00 < U_x \leq 4.63$  时,需要发送的脉冲数为  $N = \lfloor (122/0.63) \times |\Delta U_x| \rfloor$ ; 当  $4.63 < U_x \leq 4.75$  V 时,需要发送的脉冲数为  $N = \lfloor (16/0.12) \times |\Delta U_x| \rfloor$ ; 当  $4.75 < U_x \leq 5.13$  时,需要发送的脉冲数为  $N = \lfloor (85/0.38) \times |\Delta U_x| \rfloor$ 。(其中,符号  $\lfloor \rfloor$  表示取整)

### 3.3 电动油门控制系统的试验验证

在发动机各工作状态间重复 5 次推拉油门手柄,测量油门的开度,得到  $\theta$  的数据见表 3。

表 3 在不同  $\alpha$  下测得的  $\theta$  值列表

手柄位置	输入 $\alpha$	输出 $\theta+$	绝对误差	相对误差(%)	输出 $\theta-$	绝对误差	相对误差(%)
1	3.5°	3.35°	-0.15°	4.29	3.38°	-0.12°	3.43
2	16°	15.75°	-0.25°	1.56	15.77°	-0.23°	1.44
3	71°	71.17°	0.17°	0.24	71.19°	0.19°	2.68
4	78°	77.78°	-0.22°	0.28	77.81°	-0.19°	0.24
5	116°	116.23°	0.23°	0.2°	116.26°	0.26°	0.22

由表 3 可知:步进电机的计算机控制系统虽然存在误差,但其绝对误差的绝对值不超过 0.3°,最大相对误差也仅为 4.29%,由此可知电动油门的调节精度还较高的,完全能满足实验室模拟油门手柄试验需要。

## 4 结论

1) 采用滑动可变电阻器与油门手柄“同轴心”安装的方法实现了油门手柄角位移  $\alpha$  与滑动可变电阻器的输出模拟电压  $U_x$  之间的一一对应关系,而且试验表明使用该方法能较好地保证正向推和反向拉油门手柄时系统的静态特性;

2) 通过计算机控制系统实现了根据输入的模拟电压  $U_x$  自动控制步进电机的转动角度和转动方向,并最终实现了从输入油门手柄角位移  $\alpha$  到步进电机输出角位移  $\theta$  之间的控制;

3) 试验证明:本文设计实现的电动油门控制系统能可靠地控制油泵调节器油门的开度,并且控制的精度较高,完全能满足地面模拟油门手柄控制系统的需要。

### 参考文献:

- [1] Du Xu, Yongping Jiang. A Method and Implementation of Fully Digitized Continuous Microstep for Step Motor [A]. 1997 IEEE International Electric Machines And Drives Conference Record, held in Milwaukee, Wisconsin, USA, 1997.
- [2] 张喜斌, 柏 鹏, 张发启. 虚拟仪器技术在航空发动机稳定性测试中的应用[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(6): 1-3.
- [3] 蔡开龙. 发动机燃油综合控制系统半实物仿真试验平台设计研究[D]. 西安:空军工程大学工程学院, 2003.

(编辑:姚树峰)

Design and Realization of the Dynamoelectric Accelerograph Control

System of X -Aeroengine Oil Pump Modulator

CA[ Kai - long, ZHAO Dong - yun, XIE Shou - sheng

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710038, China)

Abstract: This paper proposes a design project of the dynamoelectric accelerograph control system of X - aeroengine oil pump modulator. It introduces the working principle and the design process of the control system, gives the connection between the angle displacement signal and simulation voltage signal  $U_x$ , analyzes the process of computer controlling the step and realizes that the accelerograph knob controls the degree of accelerograph opening of the oil pump modulator. The experiment shows that the proposed design is effective in adjusting the degree of accelerograph opening and is of relatively high precision in adjustment.

Key words: dynamoelectric accelerograph; computer control system; oil pump modulator; the step