

一种非线性转速控制系统的 稳态误差仿真计算与分析

南京航空学院 胡世民

对发动机的非线性转速控制器(图1)进行计算机仿真。对仿真结果可作以下分析:

1. 输入量大小与误差关系

(1) 当输入量比较小时,使非线性活门的位移 Z 始终小于死区 C_1 ,即 $Z \leq C_1$ 。仿真结果表明,当输入量 Δn_0 较小时,系统的稳态误差与输入量大小成正比,而相对误差 $e_{ss}/\Delta n_0$ (或 $e_{ss}/\Delta p_H^*$)保持不变。

当输入量较小时($Z \leq C_1$),稳态误差 e_{ss} 与 Δn_0 成正比关系。这是由于输入量较小时,当系统受干扰量作用下的整个调节过程中,反馈活塞即非线性活门的位移量 Z 始终小于死区 C_1 ,中腔 C 油路始终关闭,因而随动活塞和反馈活塞象一个刚性活塞一样,以同一速度和方向运动。在这种情况下,非线性控制系统实际上相当线性比例反馈系统,对系统阶跃响应是有误差的。

(2) 当输入量 Δn_0 较大时,使反馈活门的位移量最大值 Z_{max} 大于死区 C_1 ,小于饱和值 m ,仿真结果示于图2,当干扰量 Δn_0

较大,系统整个调节过程可以分为三个阶段:①比例反馈阶段(ot_1),由于 $Z < C_1$,非线性反馈活门未打开,中腔 C 未进油,随动活塞和反馈活塞如同一个活塞一样运动,反馈套筒位移与随动活塞位移成比例关系,所以(ot_1)阶段属于比例反馈。②柔性反馈阶段(t_1t_2),这里 $C_1 < Z < m$,非线性反馈活门已打开,中腔 C 已进油,随动活塞和反馈活塞以不同速度运动,此时反馈套筒与随动活塞的位移不成比例,称之为柔性反馈(速度反馈)。③比例反馈阶段(t_2t_3),这里 $Z < C_1$,非线性反馈活门已关闭,同①阶段,仍属比例反馈阶段。

由于整个调节过程最后阶段属于比例反馈,所以这种带柔性反馈的控制系统仍然是有静差的,且稳态误差 e_{ss} 与 Δn_0 大小有关,稳态误差 e_{ss} 随着 Δn_0 增大而增大,相对误差 $e_{ss}/\Delta n_0$ 随着 Δn_0 增大而减小。若干扰量 Δp_H^* 较大时,使 $C_1 < Z_{max} < m$,其仿真结果示于图3。

当 Δp_H^* 较大时,系统在干扰量 Δp_H^* 作用下,整个系统的过渡过程仅仅分为二个阶段

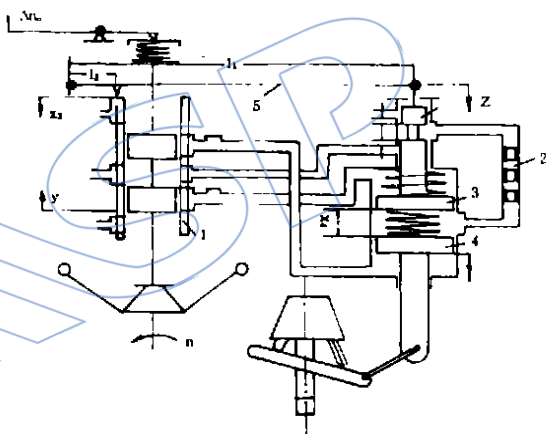


图1 控制器原理 (1. 反馈套筒; 2. 层板节流器; 3. 反馈活塞; 4. 随动活塞; 5. 反馈杠杆; 6. 反馈活门)

①比例反馈 ($ot1$); ②速度反馈 ($t1t2$)。系统在不同 Δp_H^* 作用下, 过渡过程结束时, $Z = C_1$, 因此系统的稳态误差 e_{ss} 相等。这说明了, 引入柔性反馈使系统对干扰量 Δp_H^* 的稳态误差 e_{ss} 保持不变, 且系统稳态误差 e_{ss} 取决于死区大小。因此在设计控制系统时, 可以通过控制死区大小和饱和值达到控制系统误差的目的。

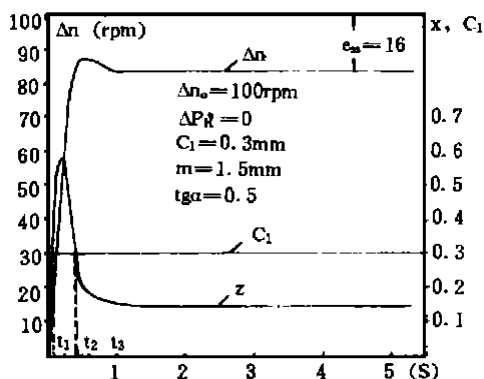


图 2 干扰量 Δn_0 较大时系统瞬态响应

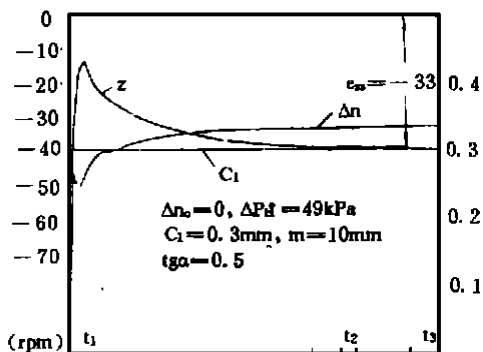


图 3 ΔP_H^* 较大时系统瞬态响应

由上所述可知, 当干扰量比较大时, 系统变化比较复杂, 系统过渡过程结束时, 反馈活塞的终值必然是死区端点或死区内, 即 $0 < Z \leq C_1$, 因为只有在死区内或死区端点, 中腔 C 油路才能关闭, 这是系统达到稳态的必要条件。但 $Z = 0$ 是不可能的。因为系统从 $Z = C_1$ 开始, 并逐渐减小过程中, 系统纯属比例反馈, 系统必然存在静差, 即分油活门, 反馈套筒和反馈活塞均不能回到原位 ($Z \neq 0$)。

(3) 当输入量更大时, 非线性活门位移 Z 的最大值大于饱和值 m , 无论 Δn_0 或 Δp_H^* 的干扰, 整个过渡过程只分为二个阶段, 即比例反馈和速度反馈。过渡过程结束时, 总是 $Z = C_1$, 因此系统的稳态误差 e_{ss} 必定相同, 且稳态误差 e_{ss} 与干扰量种类无关, 仅仅取决于死区大小。

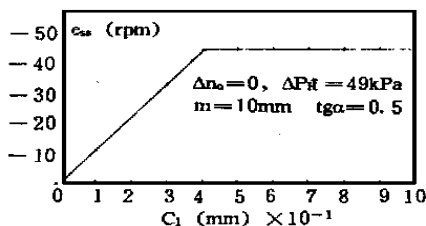


图 4 死区 C_1 大小与稳态误差关系

2. 死区大小对稳态误差的影响

死区 C_1 大小对稳态误差 e_{ss} 的影响示于图 4。由图可知: (1) 当死区 $C_1 = 0$ 时, 系统稳态误差 $e_{ss} = 0$ 。因为死区 $C_1 = 0$, 饱和值 m 较大, 此系统实际上就是线性速度反馈控制系统, 故系统是无静差的。(2) 当死区 $C_1 \neq 0$ 时, 且 $C_1 < Z_{max} < m$, 随着死区 C_1 增大, 柔性反馈影响减小, 比例反馈影响加强, 稳态误差 e_{ss} 增大。(3) 当死区 $C_1 \neq 0$ 时, 且死区 C_1 大于死区临界值 C_{1cr} (或 C_{2cr}), 但反馈活塞位移的最大值 $Z_{max} < C_1$, 整个系统成为线性比例反馈控制系统, 继续增大死区 C_1 , 并不能改变比例反馈的性质, 所以系统稳态误差 e_{ss} 保持不变。

结论 (1) 带柔性反馈的转速控制系统本质上有差, 误差 e_{ss} 大小取决于死区 C_1 大小、干扰量大小、种类以及饱和值大小。适当设置死区 C_1 大小和饱和值 m , 可以控制系统误差和系统的快速性。(2) 按系统反馈的性质, 可以把系统整个调节过程划分为三种形式: ①比例反馈; ②比例/速度/比例反馈; ③比例/速度反馈。(3) 这种调节器主要特点, 在小扰动时, 只有比例反馈, 抑制干扰能力强; 大扰动时, 由于速度反馈和饱和作用减小系统的稳态误差。

参加仿真计算还有蔡玉仁。

OPTIMIZATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF VENTILATING FANS

Jiang Zhenliang (*Nanjing Aeronautical Institute*)

ABSTRACT

Centrifugal and axial ventilating fans are optimized by using different objective functions, different variables of design, different constraint forced conditions, different methods of optimization. The results show that they have common features. The efficiency of the optimized design is 5–10% higher than the traditional design. If the static pressure total-effectiveness is chosen as the objective function, the results will be more satisfactory. This procedure of optimization may be modified easily to be applicable to a blower and a compressor.

TECHNICAL NOTES

WJ5A MODIFICATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

Li Jinghai (*Nanhua Power Plant Research Institute*)

ABSTRACT

WJ5A compressor has been modified. The performance data obtained in testing prior to and after the modification of the compressor are compared. Test results indicate that the performance of the modified compressor is greatly improved. In the case of the relative corrected speed $N_{np1} = 1.0$, the maximum isentropic efficiency of the modified compressor $\eta_{\max}$ is increased by 3.6%. When $N_{np1} = 0.70 \sim 0.90$, $\eta_{\max}$ is increased by over 15%. The pressure ratio and the mass flow are changed only a little at all speeds. When $N_{np1} > 1.0$, there is no evident variation in the compressor performance.

A POWER CORRECTION FORMULA FOR PISTON AEROENGINES

Lu Ziyang (*Nanhua Power Machinery Company*)

ABSTRACT

A new formula to correct the power for piston aeroengines is presented. It has the advantage of considering the influence of humidity on power in the simplified calculation. Theoretical analysis and test data show that this new formula is more accurate than that used before.

SIMULATION CALCULATION AND ANALYSIS OF STEADY ERRORS IN A NONLINEAR SPEED CONTROL SYSTEM

Hu Shiming (*Nanjing Aeronautical Institute*)

ABSTRACT

A method of the digital simulation is used to analyse the steady characteristics of the nonlinear speed control system with dead zone and saturation in detail. The correlations of the system steady errors with the dead zone, ramp segment, saturation and disturbance are considered separately. It is pointed out that the steady errors are essential in the nonlinear control system substantially. According to the characters of the system in the whole control process. There are three feedbacks: First is proportion/velocity/proportion feedback, second is proportion and velocity feedback, third is only direct feedback, when disturbance is small.