

文章编号: 1000-8055(2000) 03-0328-03

航空发动机非理想解耦自适应控制

樊 丁 梁春燕²

¹(西北工业大学 709 教研室, 陕西 西安 710072)

²(上海交通大学 自动化研究所, 上海 20030)

摘要: 本文对航空发动机的双变量控制方法进行了研究, 提出了一种非理想解耦自适应控制方法, 各子系统之间部分残余的相互耦合和非线性影响就通过自适应律本身的鲁棒性来解决。仿真结果表明该控制系统实现了解耦控制, 对发动机模型参数在大范围内的变化均有良好的控制效果。

关键词: 航空发动机; 解耦; 自适应控制

中图分类号: V 233.7

文献标识码: A

1 航空发动机双变量解耦自适应控制器设计

本文在航空发动机双变量控制系统中^[1], 采用了非理想解耦的设计方法, 相应存在的不完全解耦问题则通过一种新的、具有好的鲁棒性的自适应控制器^[1]来适应与消除。

通过相对增益法分析发动机各变量间的耦合

作用^[2], 按选定的变量之间的配对关系来描述发动机双变量小偏离模型的传递函数矩阵可写为:

$$\begin{bmatrix} \Delta N_L \\ \Delta T_4^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta A_e \\ \Delta m_f \end{bmatrix} \quad (1)$$

然后采用对角矩阵法对系统进行解耦。其设计思想是: 在控制系统中, 加入合适的补偿装置, 使得系统的传递函数矩阵为对角阵。以 P 规范解耦环节进行前馈解耦设计, 发动机的理想解耦矩阵为:

$$F(s) = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} = \frac{G_{11}G_{22}}{G_{11}G_{22} - G_{12}G_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{G_{12}}{G_{11}} \\ -\frac{G_{21}}{G_{22}} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

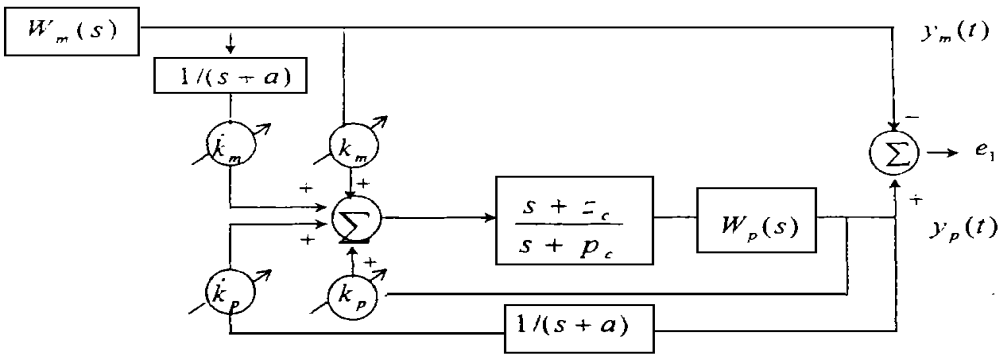


图 1 发动机双变量解耦控制系统结构图

从式(2)可以看出, $F(s)$ 依赖于特定的数学模型, 而当飞行条件或工况改变时, 描述发动机模型的参数就要发生变化, 显然理想解耦矩阵 $F(s)$ 的变化规律比较复杂, 在线修正难度较大, 甚至可能是物理不可实现环节, 这是理想解耦设计的难点。但是, 考虑到发动机的调节器将采用模型参考自适应控制方法设计, 其本身就具有一定的自适应能力, 所以在发动机双变量控制系统中, 我们对非理想解耦的方法进行了探讨, 即令:

$$\left. \begin{aligned} F_{11} &= 1 & F_{12} &= - (G_{12}/G_{11}) \\ F_{21} &= - (G_{21}/G_{22}) & F_{22} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

在解耦矩阵 $F(s)$ 的计算中, 只保留其常数项, 这样化简以后, 系统显然没有完全消除耦合作用, 但解耦装置简单, 设计过程得到了简化, 实现起来比较容易。而且飞行条件或发动机的工作状态变化后, 只需适当地(分档)变换 F_{12} , F_{21} 即可。

对于解耦后的转速和温度控制子系统分别采用新的自适应控制方法^[1,3]进行设计。发动机双变量解耦自适应控制系统结构如图 1 所示。

显然, 系统采用的是非理想解耦, 但由于对每一个回路都采用了自适应控制方法, 所以, 各子系统之间部分残余的相互耦合和非线性影响就可望通过自适应律本身的鲁棒性来解决。

2 仿真结果

发动机双变量解耦自适应控制研究采用的某型双转子涡喷发动机的线性模型为:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + as + b} \times \begin{bmatrix} a_{11}s + a_{10} & a_{21}s + a_{20} \\ a_{32}s^2 + a_{31}s + a_{30} & a_{42}s^2 + a_{41}s + a_{40} \end{bmatrix}$$

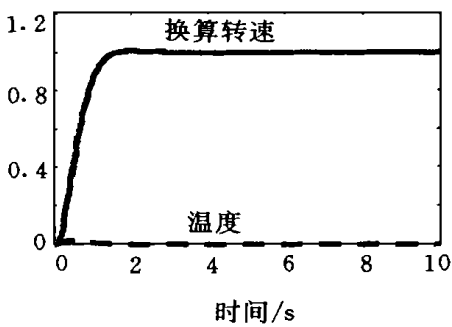


图 2 $N_{Lr} = 1$ 和 $T_{4r}^* = 0$

发动机的工况及飞机的飞行条件不同, a, b, a_{ij} 的取值也不同。参考模型的参数选择阻尼比 0.86, 自然振荡频率 3.08 rad/s。系统输入均采用

单位阶跃信号。选择合适的解耦矩阵数据, 并整定自适应控制器参数, 在地面标准状态下的控制结果见图 2 和图 3。仿真结果表明这种双变量解耦自适应控制方法对发动机的控制效果很好, 基本消除了变量间的耦合关系。

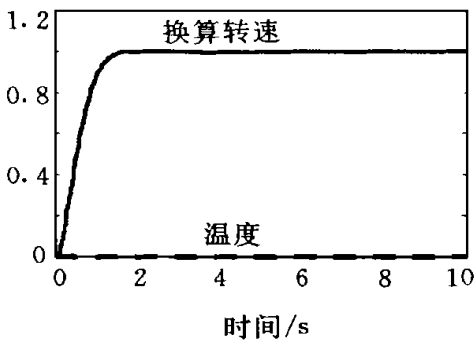


图 3 $N_{Lr} = 0$ 和 $T_{4r}^* = 1$

当飞行条件改变后, 描述发动机模型的参数也要发生变化, 解耦矩阵 F 在一定范围内起到了解耦作用, 再加上自适应控制器的控制作用, 仍能获得较为满意的指标。解耦矩阵 F 不变, 发动机在高度 $H = 5$ km, 马赫数 $Ma = 1$ 状态时仿真结果见图 4 和图 5, 在高度 $H = 6$ km, 马赫数 $Ma = 0.8$ 状态时仿真曲线见图 6 和图 7。

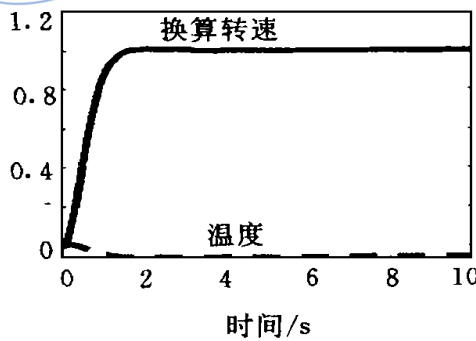


图 4 $N_{Lr} = 1$ 和 $T_{4r}^* = 0$

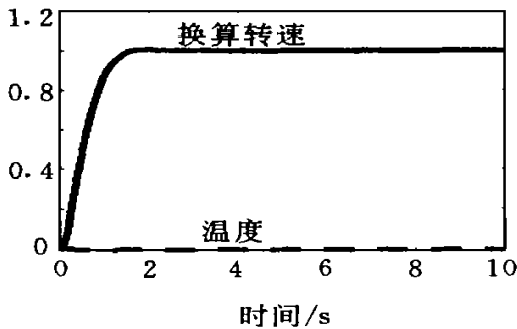


图 5 $N_{Lr} = 0$ 和 $T_{4r}^* = 1$

如果发动机的参数变化非常大, 采用一组解

耦矩阵的控制效果不太好,则可以计算出一些典型状态点的解耦矩阵,然后将 F 分成若干组(尽

量少),在控制中 F 的值根据参数变化进行变换。控制器的参数可先根据其中间状态点的模型来设计,再进行整定,使其适应整个过程。

3 结束语

本文设计的发动机双变量非理想解耦自适应控制器具有如下特点:

- (1) 能逐渐消除多变量系统中较强的耦合作用。
- (2) 对发动机模型的不确定性具有良好的鲁棒性。
- (3) 可望仅用少数几组常数解耦矩阵 F 即可解决全飞行包线范围内的精确控制问题。

参 考 文 献

- 1 梁春燕,樊丁.新的模型自适应控制方法在航空发动机中的应用[J].航空动力学报,15(1):93~95
- 2 刘晨辉.多变量控制系统解耦[M].北京:水利电力出版社,1984
- 3 Annaswamy A M, Aziz A. An Adaptive Controller for Aerospace Vehicles[P]. AIAA-92-4413-CP

(责任编辑 王震华)

Incompletely Decoupled Adaptive Control in Aeroengine System

Fan Ding¹, Liang Chunyan²

¹(7th Dept. Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

²(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: An incompletely decoupled model reference adaptive control method is proposed for aeroengine binary control system. A new adaptive control method is applied to every incompletely decoupled subsystem, then remains of coupling and nonlinear influence can be resolved by adaptive principle robustness. This binary decoupled adaptive controller can diminish the coupling gradually and has excellent robustness to model uncertainty and external disturbances. Simulation results demonstrate the effectiveness of the incompletely decoupled adaptive controller.

Key words: aeroengine; coupling; adaptive control