

# Parametrizácia prechodovej charakteristiky režimu akcelerácie leteckého motora

Radoslav Makovník, Ondrej Líška

## Abstrakt

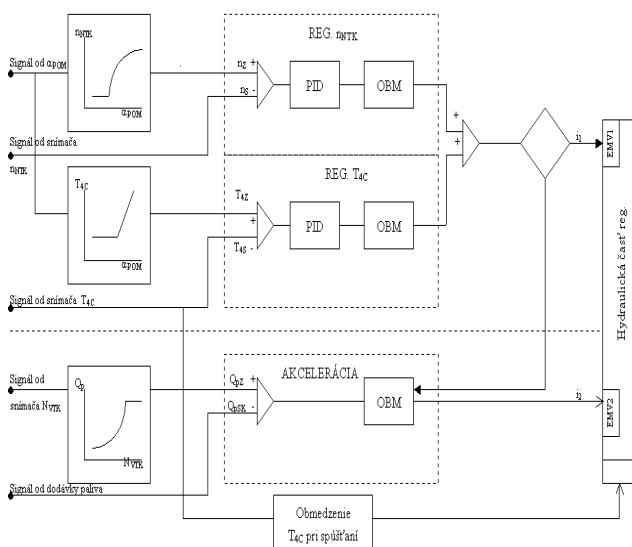
Použitie deterministických vstupných signálov pri experimentálnej identifikácii vedie k získaniu odoziev, ktoré buď priamo predstavujú niektorú neparametrickú charakteristiku systému, alebo po vyhodnotení odozvy vieme zostrojiť pomocou vhodných postupov neparametrickú charakteristiku. Priebeh neparametrickej charakteristiky môžeme ďalej parametrizovať pomocou viacerých parametrizačných postupov. V tomto článku je použitá pre parametrizáciu režimu akcelerácie leteckého motora metóda plôch.

**Kľúčové slová:** experimentálna identifikácia, metóda plôch, aproximácia prechodovej charakteristiky, verifikácia modelu

## Úvod

Cieľom tohto článku je aplikácia experimentálnej identifikácie pre regulačný systém zjednodušeného leteckého turbokompresorového motora. Tento model bude slúžiť pre vykonávanie simulačných experimentov s cieľom otestovať metódu experimentálnej identifikácie s voľbou testovacích signálov. Základný program regulácie je zložený z regulácie akcelerácie a regulácie ustálených režimov. Pre verifikáciu modelu so skutočnou charakteristikou je použitá parametrizácia metódou plôch.

V prvej časti je popis a analýza simulačných schém systému regulácie. Základný program regulácie je zložený z regulácie akcelerácie a regulácie ustálených režimov. Tieto programy vychádzajú zo základnej schémy, ktorá je na obr.1



Obr.1 Program základného systému regulácie  
Fig.1 Program of basic regulation system

## 1. Elektronický regulačný systém

V tomto systéme dochádza hlavne k porovnávaniu žiadaných hodnôt dodávky paliva, otáčok v nízkotlakovej časti kompresora a teploty za turbínou so skutočnými hodnotami týchto veličín. Tieto regulácie môžeme rozdeliť do dvoch prevádzkových režimov:

A: Akcelerácie motora (dodávka paliva),

B: Ustálený režim, kde sa regulujú

- otáčky  $n_{ntk}$

- teplota  $T_{4c}$

Na predpísané (žiadané) hodnoty okrem iných pôsobia aj tieto vplyvy :

a.) Nastavenie hexadecimálnych prepínačov

– regulačných prvkov

b.) nastavenie parametrov v pamäti

konštánt motora

c.) vonkajšie atmosférické poruchy.

## 2. Aplikácia experimentálnej identifikácie

Rozdelenie identifikačných metód:

Základné rozdelenie identifikačných metód je podľa typu použitého vstupného signálu a podľa typu matematického modelu. Ďalej môžeme metódy rozdeľovať podľa spôsobu vyhodnotenia kvality modelu a identifikovaného modelu, spôsob merania a vyhodnotenia dát a použitých algoritmov spracovania dát.

Vstupné signály môžu byť signály, ktoré sa bežne vyskytujú v prevádzke a pôsobia na systém počas jeho prevádzky (riadiace signály, prevádzkové šumy a pod.). Pokiaľ tieto signály svojimi vlastnosťami neumožňujú previesť identifi-

kačný experiment, napr. majú malú amplitúdu, nevhodné frekvenčné spektrum, používajú sa umelo vytvorené vstupné signály, tzv. testovacie signály, ktoré

- dokážeme jednoducho opakovane generovať,
- matematicky popísať,
- realizovať pomocou akčných členov (fyzikálna realizovateľnosť signálov)
- môžeme použiť pre daný proces (systém je možno vybudíť daným signálom),
- dostatočne vybudí systém vzhľadom k jeho dynamike.

Pri simulačných experimentoch boli volené nasledujúce typy signálov dostupných v programe Matlab-Simulink:

-- deterministické signály:

- Step (skoková zmena)
- Ramp
- Konštantný signál

-- stochastické signály:

- Biely šum
- Kmitočtový signál

Pre generovanie žiadaných hodnôt sa použilo týchto 5 druhov signálov. Použili sa v kombinácii aj pre ustálený režim aj pre akceleračný režim. Na základe výsledkov simulácii napr. ustáleného režimu môžeme jednoznačne povedať, že obecný signál Chirp a jeho simulácia dosahujú výstupné charakteristiky, ktoré sa najviac približujú reálnym grafickým výstupom..

Na obr. 2 žltá charakteristika znázorňuje otáčky nízkotlakového kompresora, ktoré dosahujú úroveň 16070 ot/min. a fialová charakteristika predstavuje otáčky vysokotlakového kompresora, ktorých úroveň je 19320 ot/min.

Regulačný systém motora najlepšie reagoval na tento typ signálu, ktorý generuje sínusovú vlnu so stúpajúcou frekvenciou, čím sa potvrdilo, že tento blok je veľmi výhodné použiť pre spektrálne analýzy nelineárnych systémov.

### 3. Verifikácia simulačného modelu

#### 3.1 Aproximácia prechodovej charakteristiky akcelerácia

Ale nielen ustálený režim bol testovaný, ale aj režim akcelerácie. Bola uskutočnená verifikácia simulačného modelu navrhnutého v programe Matlab-Simulink s reálnymi hodnotami, ktoré boli graficky spracované.

$$\text{Prenos sústavy je } G(s) = \frac{K}{(T_s + 1)^n} \quad (1)$$

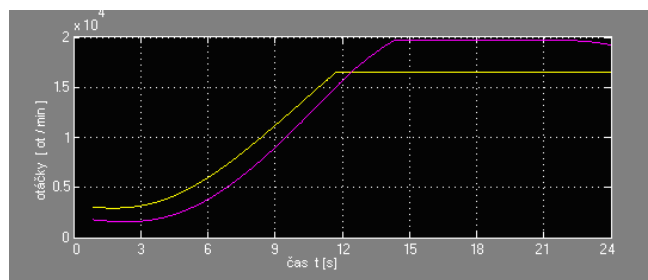
$$K = \frac{y_\infty}{u_\infty} = 1,68 \quad (2)$$

$$T = \frac{T_i - T_d}{n-1} = \frac{3-0,75}{2-1} = 2,25 \quad (3)$$

$n = 2$

Po dosadení a výpočtoch potom výsledný obrazový prenos má tvar:

$$G(s) = \frac{1,68}{(2,25s + 1)^2} \quad (4)$$



Obr.2 Priebehy jednotlivých odsimulovaných otáčok pri signáli chirp

Fig.2 Course of individual simulated rotation speed by signal chirp

#### 3.2 Parametrizácia prechodovej charakteristiky akcelerácia

Parametrizácia sa uskutočňuje pomocou metódy plôch a jej cieľom je porovnanie plôch simulovaných regulovaných veličín s veličinami známymi.

Po dosadení dostávame:

$$h(s) = \frac{1,68}{(2,25s + 1)^2} \cdot \frac{1}{s} \quad (5)$$

Rozklad na parciálne zlomky

$$\frac{1,68}{(2,25s + 1)^2} \cdot \frac{1}{s} = \frac{A}{(2,25s + 1)^2} + \frac{B}{(2,25s + 1)} + \frac{C}{s} \quad (6)$$

Prenos po Laplaceovej transformácii má tvar:

$$h(t) = 0,747 \cdot t \cdot e^{-0,44t} + 0,745 \cdot e^{-0,44t} - 1,68t \quad (7)$$

Plocha prvého rádu je definovaná ako:

$$S_1 = \int_0^{\infty} [K - h(t)] dt \quad (8)$$

Po následnom dosadení, dostaneme tvar pre výpočet plochy  $S_1$ :

$$S_1 = \int_0^{25} [1,68 + 0,747 \cdot t \cdot e^{-0,44t} + 0,745 e^{-0,44t} - 1,68t] dt \quad (9)$$

$$S_1 = 5,669$$

Pre koeficient  $a_1$  platí:

$$a_1 = \frac{S_1}{K} = \frac{5,669}{1,68} = 3,374 \quad (10)$$

Zadanú prechodovú charakteristiku môžeme teraz aproximovať pomocou odozvy modelu prvého rádu

$$G_1(s) = \frac{K}{a_1 s + 1} = \frac{1,68}{3,374s + 1} \quad (11)$$

Pomocou prechodovej funkcie  $h_1(t)$

$$h_1(t) = \left[ \frac{K}{as + 1} \cdot \frac{1}{s} \right] \quad (12)$$

Prenos po Laplaceovej transformácii ma tvar:

$$h_1(t) = 0,2te^{-0,29t} \quad (13)$$

definujeme plochu druhého rádu

$$S_2 = \int_0^{25} \int_0^t [h_1(t) - h(t)] \cdot dt. \quad (14)$$

Po následnom dosadení, dostaneme tvar pre výpočet plochy  $S_2$

$$S_2 = \int_0^{25} \int_0^t [0,2te^{-0,29t} - 0,747te^{-0,44t} - 0,745e^{-0,44t} + 1,68t] dt \quad (15)$$

$$S_2 = 3,9791$$

## Záver

Získané výsledky z parametrizácie nám slúžia k verifikácii odsimulovaného modelu s reálnymi parametrami publikovanými v literatúre [6]. Porovnaním plôch prechodových charakteristík skutočnej a odsimulovanej akcelerácie dostávame hodnoty  $S_2$  a  $S_3$ . Plocha nad skutočnou charakteristikou má hodnotu  $S_3=3,2514$  a je menšia od plochy získanej simuláciou v tejto práci o 0,7277 jednotiek. Môžeme povedať, že plochy sú svojou veľkosťou takmer totožné a na základe tohto porovnania sa odsimulovaný model približuje reálnemu systému.

## Literatúra

[1] Kovalčík, T.: Aplikácia experimentálnej identifikácie pre regulačný systém. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2006

[2] Makovník, R.: Matematické modelovanie vybraných veličín leteckého turbokompresorového motora. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2004

[3] Martinec, F.: Elektrické automatické systémy leteckých turbokompresorových motorov. VVLŠ SNP, Košice, 1992

[4] Noskivič, P.: Modelování a identifikace systému, Ostrava, 1999, str.170-196

[5] Noskivič, P.: Simulace systému, VŠB TU Ostrava, 1996, ISBN 80-7078-112-2

[6] Pawlak, W. – Wiklik, K. – Morawski, J.: Synteza i badanie ukladow sterowania lotniczych silnikow turbinowych metodami symulacji komputerowej, Biblioteka Naukowa Instytutu Lotnictwa, Warszawa, 1996, ISBN 83-904367-3-6.

## Abstract

Using deterministic incoming signal by experimental identification leads us to receiving responses, which straight introduce some non-parametric system performance, alternatively after interpretation responses we know how construct through possible method non-parametric characterization. Course non-parametric performance can we next edit through the several parametrization technique. In this contribution is using for parametrization mode of acceleration aero engine surface method.

## Ing. Radoslav Makovník

Technická univerzita  
Strojnícka fakulta/Ústav špeciálnych technických vied  
Katedra Automatizácie a riadenia  
Park Komenského 8  
042 00 Košice  
e-mail: Radoslav.Makovnik@tuke.sk

## Doc. Ing. Ondrej Líška, CSc.

Technická univerzita  
Strojnícka fakulta/Ústav špeciálnych technických vied  
Katedra Automatizácie a riadenia  
Park Komenského 8  
042 00 Košice  
e-mail: Ondrej.Liska@tuke.sk