



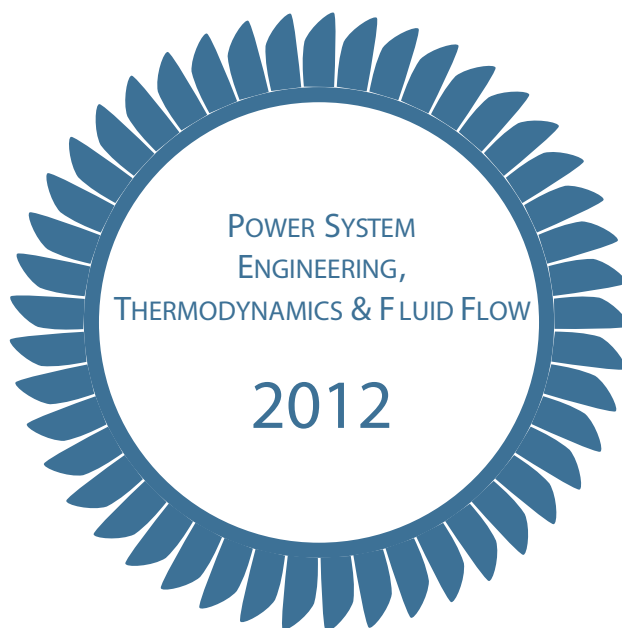
ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ



KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI



JEDNOTLIVÝ PŘÍSPĚVEK ZE SBORNÍKU



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MATEMATICKÝ MODEL MOTORA MPM 20 AKO SYSTÉMU S DVOMA STUPŇAMI VOĽNOSTI

GÁŠPÁR Roman

The engine parameters prognosis is important point in the jet engine and it's control system design. The post deals with mathematical modeling mainly focused to the engine management of the complex system such as engine MPM 20 with two degrees of freedom. The post analytically examines the impact of changes in the engine control system to monitored parameters such as the temperature and revolutions.

Klíčová slova: prúdový motor, systém riadenia, matematický model

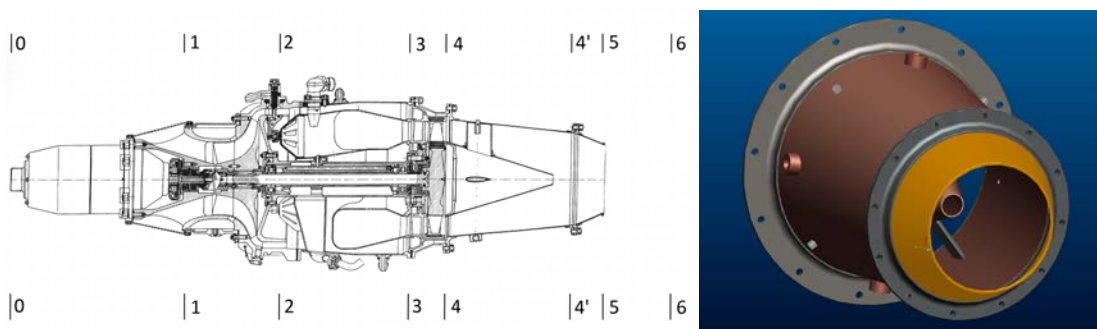
Úvod

Matematický popis systémov je už v technickej praxi všeobecne známy. Zložitý systém ako motor MPM 20 sa skladá z veľkého počtu elementov a tieto sú pospájané navzájom nelineárnymi väzbami.

Uvedený príspevok rieši matematickým modelovaním takéhoto zložitého systému so zreteľom na riadenie motora MPM 20 ako systému s dvoma stupňami voľnosti. Riadenie motora pomocou dvoch stupňov voľnosti je komplexnejšie a ponúka viac možností pri tvorbe riadiacich programov, no zle zvolený program riadenia môže mať rad negatívnych vplyvov na motor. Prognózovanie dopadu zmien v riadení na skúmané veličiny motora je kľúčovým bodom a zároveň hlavným prínosom tejto práce.

Motor MPM 20

MPM 20 je jednoprúdový, jednohriadeľový LTKM s jednostupňovým, radiálnym kompresorom, združenou spaľovacou komorou, jednostupňovou, nechladenou plynovou turbínou a s pevnou výstupnou dýzou. Principiálna schéma MPM20 je na Obr. 1.



Obr. 1 Motor MPM 20 [1]

Systém riadenia leteckého motora

Systém riadenia motora zabezpečuje ovládanie a reguláciu režimov práce motora, pričom režim práce motora si volí pilot. V prípade automatického ovládania to robí autopilot v závislosti na vonkajších poruchách. Režim práce motora je charakterizovaný radom termodynamických parametrov LTKM, ktoré charakterizujú tepelné a mechanické namáhanie motora [2].

Parametrami, ako dodávka paliva od hlavnej spaľovacej komory, alebo veľkosť prietochných plôch je možné pôsobiť na termodynamický cyklus motora a teda aj na režim chodu LTKM. Tieto parametre sa nazývajú *regulačnými parametrami*. Akčný zásah týchto parametrov sa prejaví na tzv. *regulovaných parametroch*.

MPM 20 jako systém s dvoma stupňami voľnosti

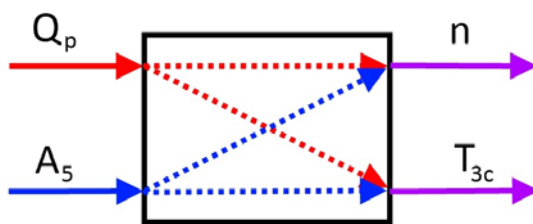
Z predchádzajúceho je možné vydedukovať, že opisovaný systém, MPM20 ako systém s dvomi stupňami voľnosti, bude mať dva regulačné a dva regulované parametre. Uvažovanými regulačnými parametrami budú dodávka paliva do hlavnej spaľovacej komory Q_p a zmena kritického prierezu výstupnej dýzy A_5 . Regulovanými parametrami budú uvažované teplota pred plynovou turbínou T_{3c} a otáčky motora n .

Pôvodná konštrukcia už v sebe zahrňovala riadenie otáčok na základe dodávky paliva, takže párovanie parametrov sa odohrávalo podľa nasledujúceho kľúča.

$$\begin{matrix} Q_p \rightarrow n \\ A_5 \rightarrow T_{3c} \end{matrix}, \quad (a)$$

Pri takomto spôsobe riadenia je nutné si ujasniť vplyvy jednotlivých regulačných parametrov. Treba si uvedomiť, že dodávka paliva do HSK charakterizuje prívod energie do motora pričom kritický prierez výstupnej dýzy charakterizuje prerozdelenie tejto energie medzi jednotlivými časťami motora [3].

Zohľadnenie krížových väzieb medzi jednotlivými parametrami hrá tiež kľúčovú rolu pri riadení LTKM. Každý z regulačných parametrov ovplyvňuje oba regulované parametre. U motorov s regulovateľnou výstupnou dýzou budú krížové väzby zohľadnené obdobne, ako na Obr. 2.



Obr. 2 Krížové väzby v jednorotorovom LTKM s regulovateľnou VD [3]

Vplyv regulačných parametrov

Dodávka paliva primárne ovplyvňuje otáčky. Ale pri zvyšovaní dodávky paliva Q_p sa zvyšuje aj teplota pred plynovou turbínou T_{3c} . Vplyv dodávky paliva na otáčky je popísaný vzťahom:

$$T_p \frac{d\bar{n}}{dt} + \bar{n} = k_p \bar{Q}_p, \quad (1)$$

Kde:

T_p - časová konštanta prúdového motora

\bar{n} - pomerná zmena otáčok

\bar{Q}_p - pomerná zmena dodávky paliva

k_p - súčiniteľ zosilnenia prúdového motora

Vplyv dodávky paliva na teplotu pred plynovou turbínou je popísaný vzťahom:

$$T_p \frac{d\bar{T}_{3c}}{dt} + \bar{T}_{3c} = \bar{Q}_p (l_{Q_p} + k_p l_n) + T_p l_{Q_p} \frac{d\bar{Q}_p}{dt}, \quad (2)$$

Kde:

\bar{T}_{3c} - pomerná zmena teploty pred plynovou turbínou

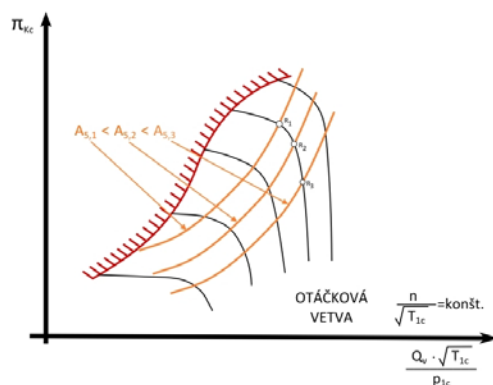
l_{Q_p} - súčiniteľ zosilnenia hmotnostného toku

l_n - súčiniteľ zosilnenia otáčok

Pri systémoch s dvoma stupňami voľnosti, ako je aj popisovaný systém pre MPM20 vplýva na otáčky aj zmena kritického prierezu výstupnej dýzy.

Zväčšenie kritického prierezu A_5 bude mať za následok zníženie tlaku za plynovou turbínou p_{4c} a zároveň zväčšenie tlakového spádu na turbíne π_{Tc} a teda narastie aj celková práca turbíny W_{Tc} . Táto skutočnosť spôsobí, že bod rovnovážneho chodu bude mať tendenciu posunúť sa do oblasti akcelerácie. Aby sme však dosiahli rovnovážneho režimu, musíme zaistiť rovnováhu momentov na turbíne a kompresore $M_k = M_T$. Táto rovnováha sa dosahuje spravidla pri nižších teplotách T_{3c} , k čomu odpovedá aj nižší hmotnostný tok paliva Q_p .

Pri znížení kritického prierezu bude celý tento dej prebiehať opačne a čiara rovnovážnych chodov sa posunie smerom k pumpovnej hranici Obr. 3 [3].



Obr. 3 Vplyv zmeny kritického prierezu na čiaru rovnovážnych chodov [3]

Pre každú hodnotu A_5 je možné teda dostať jednu čiaru rovnovážnych chodov. Vynesím týchto čiar do jednej charakteristiky dostávame už spomínanú plochu rovnovážnych chodov (Obr. 4)

Matematický popis vplyvu priemeru výstupnej dýzy na teplotu pred turbínou je popísaný nasledujúcimi vzťahom:

$$T_p \frac{\overline{T}_{3c}}{dt} + \overline{T}_{3c} = \overline{Q}_p (l_{Q_p} + k_p l_n) + T_p l_{Q_p} \frac{\overline{Q}_p}{dt}, \quad (3)$$

Kde:

\overline{T}_{3c} - pomerná zmena teploty pred plynovou turbínou

l_{Q_p} - súčiniteľ zosilnenia hmotnostného toku

l_n - súčiniteľ zosilnenia otáčok

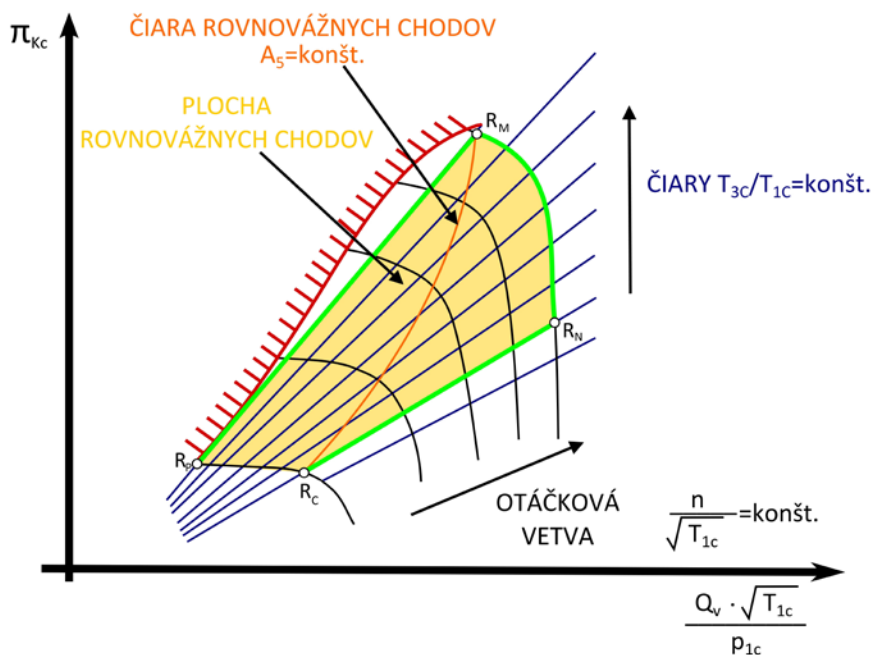
Matematický popis vplyvu priemeru výstupnej dýzy otáčky je popísaný nasledujúcimi vzťahom:

$$T_p \frac{d\overline{n}}{dt} + \overline{n} = k_{A5} \overline{A}_5, \quad (4)$$

Kde:

\overline{A}_5 - pomerná zmena kritického prierezu výstupnej dýzy

k_{A5} - koeficient zosilnenia pre zmenu A_5

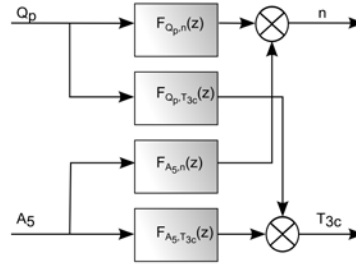


Obr. 4 Závislosť stupňa stlačenia na parametri otáčok [3]

Matematický model systému s dvoma stupňami voľnosti

Pre opisovaný systém MPM20 a volené páry regulovaných a regulačných veličín bude mať zápis nasledujúci tvar:

$$\begin{bmatrix} n \\ T_{3c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{Q_p, n} & F_{Q, T_{3c}} \\ F_{A_5, n} & F_{A, T_{3c}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_p \\ A_5 \end{bmatrix}, \quad (5)$$



Obr. 5 Bloková schéma MPM 20 ako TITO systému

Zlúčením rovníc a dostávame tvar diferenciálnej rovnice pre výpočet pomernej zmeny otáčok v časovej oblasti.

$$T_p \frac{d\bar{n}}{dt} + \bar{n} = k_p \bar{Q}_p + k_{A_5} \bar{A}_5, \quad (6)$$

Z rovnice vyplýva, že ľavú stranu tvorí výstup zo systému. Pravá strana predstavuje vstup do systému, čo v tomto prípade bude pomerná zmena paliva a pomerná zmena kritického prierezu výstupnej dýzy.

Rovnicu pre výpočet pomernej zmeny teploty pred plynovou turbínou v časovej oblasti získame zlúčením rovníc (23) a (28):

$$T_p \frac{\bar{T}_{3c}}{dt} + \bar{T}_{3c} = \bar{Q}_p (l_{Q_p} + k_p l_n) + T_p l_{Q_p} \frac{\bar{Q}_p}{dt} + \bar{A}_5 (l_{A_5} + k_{A_5} l_n) + T_p l_{A_5} \frac{\bar{A}_5}{dt}, \quad (7)$$

Vstupno-výstupné veličiny sú usporiadané obdobne ako v prvom prípade. V tomto prípade sa však aj na vstupnej časti objavili časové derivácie. Tieto derivácie sú charakteristické pre opis teplôt pred plynovou turbínou. Pojednáva o skutočnosti, že veľkosť zmeny teploty nezávisí len od veľkosti vstupného parametra, ale aj od rýchlosti zmeny vstupných parametrov.

Po tejto úprave dostávame zápis systému s dvoma stupňami voľnosti tvare:

$$\begin{bmatrix} n(s) \\ T_{3c}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{k_p}{T_p s + 1} & \frac{k_A}{T_p s + 1} \\ \frac{(l_p + k_p l_n) + l_p T_p s}{T_p s + 1} & \frac{(l_A + k_A l_n) + l_A T_p s}{T_p s + 1} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Q_p(s) \\ A_5(s) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Kde matica:

$\begin{bmatrix} Q_p(s) \\ A_5(s) \end{bmatrix}$ tvorí maticu vstupov do systému

$\begin{bmatrix} n(s) \\ T_{3c}(s) \end{bmatrix}$ tvorí maticu výstupov zo systému a

$$\begin{bmatrix} \frac{k_p}{T_p s + 1} & \frac{k_A}{T_p s + 1} \\ \frac{(l_p + k_p \cdot l_n) + l_p T_p s}{T_p s + 1} & \frac{(l_A + k_A \cdot l_n) + l_A T_p s}{T_p s + 1} \end{bmatrix} \text{ tvorí maticu prenosov systému}$$

Týmto spôsobom je možný zápis systému s dvoma stupňami voľnosti v maticovom tvare, ktorý zohľadňuje aj krížové väzby vznikajúce v takomto systéme.

Záver

Vytvorením všeobecného modelu charakterizujúci systém s dvoma stupňami voľnosti sa otvorila cesta pre analytickú identifikáciu takýchto systémov a teda aj MPM20. Tento spôsob matematickej identifikácie umožňuje prognózovať správanie sa LTKM, dimenzovať motor a tiež ponúka možnosť skúmať odozvy motora bez jeho fyzickej existencie v celom rozsahu režimov a to dostatočnou presnosťou.

Na základe týchto znalostí môžeme využiť druhý stupeň voľnosti systémy ako pri ovládaní, tak pri regulácii LTKM. Pri rešpektovaní príslušných obmedzení môžeme LTKM riadiť tak, aby sme:

- Dosiahli maximálny možný ťah motora
- Dosiahli minimálnu možnú spotrebu paliva
- Skrátili dobu akcelerácie
- Skrátili dobu spúšťania motora

Literatura

- [1] HOCKO, Marián: Malý prúdový motor MPM 20. Košice: VLA-MRŠ, 2002
- [2] Považan, Jozef: Úvod do regulácie leteckých motorov. Košice: VVLŠ-SNP, 1985. 45 s. ISBN 80-8073-138-1
- [3] ŽELEZNÝ, Zdeněk: Řízení výstupných soustav leteckých proudových motorů. Brno, VA v Brne, 1997, 80s

PodĎakovanie

Výsledky vznikly v rámci projektu SGS-2012-072.