Dr. Pokorádi László mk. százados, főiskolai docens

ÜZEMI PARAMÉTERELTÉRÉSEK HATÁSAINAK VIZSGÁLATA A REPÜLŐGÉP PNEUMATIKUS RENDSZER MATEMATIKAI MODELLJÉNEK FELHASZNÁLÁSÁVAL

a szerző

PERIODICA POLYTECHNIKA[1] Proceedings of the 1st Mini Conference on Vehicle System Dynamics and Identification

tematikus kiadványban megjelent

STUDY OF INFLUENCES OF DEVIATIONS IN OPERATIONAL PARAMETERS BY USING A MATHEMATICAL MODEL OF THE AIRPLANE PNEUMATIC SYSTEM

című cikkének magyar nyelvű változata.

Az előadás bemutatja miként lehet a repülőgép pneumatikus rendszer matematikai modelljét felhasználva megvizsgálni az üzemi paraméter eltérések hatását.

A repülőgép üzemeltetése során rendszereit különféle, az üzemeltetési körülményektől függő, egymással bonyolult kölcsönhatásban lévő és egyszerűen nem meghatározó véletlen hatások érik. Ezek hatására a repülőtechnika műszaki állapota folyamatosan és halmozottan változik. A műszaki állapot az üzemeltetés során általában negatív, míg javítás, karbantartás alkalmával pozitív irányba változik.

Az említett változások nagyságát, a rendszer műszaki állapotát az úgynevezett belső paraméterek változásával tudjuk azonosítani. Ezen belső jellemzőket azonban a gyakorlatban vagy nem, vagy csak nagy költségráfordítással tudjuk közvetlenül meghatározni. Ezért a rendszer működésére, illetve a

1 A Budapesti Műszaki Egyetem idegen nyelvű tudományos folyóirata.

helyettük mért, velük kapcsolatban lévő, mérhető úgynevezett külső üzemi jellemzőkre gyakorolt hatásukat sem tudjuk mérésekkel pontosan meghatározni.

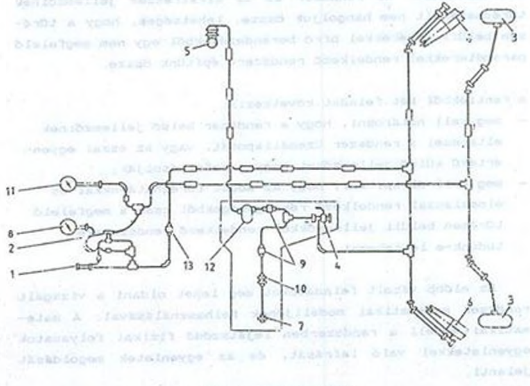
A repülőgépek gyártásakor a rendszerek részegységeinek, illetve alkatrészeinek műszaki jellemzői meghatározott értékű, empirikusan megállapítható eloszlású szóráson belül találhatók. Természetesen, ha a rendszereket a gyártás során más-más jellemzőkkel rendelkező részegységekből állítjuk össze, maguk a rendszerek is különféle műszaki paraméterekkel fognak rendelkezni. A tervezés folyamán meg kell vizsgálni a rendszer, valamint a részegységek jellemzőinek tűrésértékeit. Ha rendszer és az alkatrészek jellemzőinek tűréshatárait nem hangoljuk össze, lehetséges, hogy a tűrésen belüli értékekkel bíró berendezésekből egy nem megfelelő paraméterekkel rendelkező rendszert építünk össze.

A fentiekből két feladat következik:
- meg kell határozni, hogy a rendszer belső jellemzőinek eltérései a rendszer üzemállapotát, vagy az ezzel egyenértékű külső jellemzőket hogyan befolyásolják;
- meg kell állapítani, hogy az adott tűréshatárokkal és eloszlással rendelkező részegységekből csak a megfelelő tűrésen belüli jellemzőkkel rendelkező rendszereket tudunk-e létrehozni.

Ez előbb vázolt feladatokat meg lehet oldani a vizsgált rendszer matematikai modelljének felhasználásával. A matematikai modell a rendszerben lejátszódó fizikai folyamatok egyenletekkel való leírását, és az egyenletek megoldását jelenti.

A pneumatikus rendszerek felaldata a vezérelt berendezések kivánt mértékű és sebességű működtetéséhez szükséges energia biztosítása, valamint a működtetés végrehajtása.

A levegő rendszer előnyét jelenti az, hogy a munkaközeget nem kell visszavezetni, a nem tökéletes tömítésekből származó szivárgási veszteségek könnyen pótolhatók. A fedélzeti sűrítettlevegő tartályok felhasználhatók tábori üzemeltetés esetén is. Hátrányát képezi, hogy nem biztosítható a munkadugattyú szabályozott sebességű elmozdulása, illetve tetszőleges helyen való rögzítése, mivel a közeg összenyomhatósága következtében a terheléstől függ annak elmozdulási sebessége. Általában pneumatikus fékrendszereket alkalmaznak, illetve a dugattyús motorral rendelkező repülőgépek indító rendszeréhez, a vész futómozgató rendszerhez használnak sűrített levegőt.



1. ábra Levegőrendszer

1 - nyomáscsökkentő szelep; 2 - redukciós gyorsító; 3 - fékmunkahengerek; 4 - nyomásautomata; 5 - légsűrítő; 6 - tartályok; 7 - földi csatlakozó; 8 - nyomásmérő; 9 - egyirányú szelep; 10 - levegőszűrő; 11 - nyomásmérő; 12 - ülepítőszűrő 13 - levegőszűrő.

A matematikai modell felállítását a rendszer funkcionális egységekre történő felbontásával kell kezdeni. Ekkor a rendszer mindegyik részegységét megvizsgáljuk a rendszerben elfoglalt helye, a rendszerben játszott szerepe alapján. Az 1. ábra a vizsgált rendszer elvi rajzát mutatja.

Az így kapott önálló egységeket külön-külön vizsgálat alá kell venni. Meg kell határozni a be-, illetve kimenő jellemzőket. Majd feltárni a köztük lévő kapcsolatot és azt leírni matematikailag. Pneumatikus rendszerek esetén ezen egyenletek alapvetően a szabályzást, vezérlést végző berendezések elemeire ható erők vagy nyomatékok egyensúlyát, illetve a tárolóelemek esetén az anyagmegmaradás elvét leíró egyenletek lesznek. Az így kapott egyenletrendszer nem lesz lineáris, ezért – a későbbi felhasználhatóság érdekében – az egyenleteket linearizálni kell. Jelen esetben célszerű a logaritmikus linearizálást választani.

A változókat ezután szétválasztjuk ($\delta \underline{x}$) független-, illetve ($\delta \underline{y}$) függő változókra. Ennek alapján rendezzük át az egyenletrendszert – melynek lineáris volta miatt – röviden az alábbi formában írható le:

$$\underline{\underline{A}}\, \delta \underline{x} = \underline{\underline{B}}\, \delta \underline{y} \ . \qquad (1)$$

Ez az egyenlet a rendszer lineáris modellje, ahol $\underline{\underline{A}}$ és $\underline{\underline{B}}$ a független és a függő változók együtthatómátrixai, $\delta \underline{x}$, illetve $\delta \underline{y}$ pedig a független és a függő változók relatív változásainak vektora. Átrendezve a mátrixegyenletet:

$$\delta \underline{y} = \underline{\underline{B}}^{-1}\, \underline{\underline{A}}\, \delta \underline{x} = \underline{\underline{D}}\, \delta \underline{x} \qquad (2)$$

ahol:

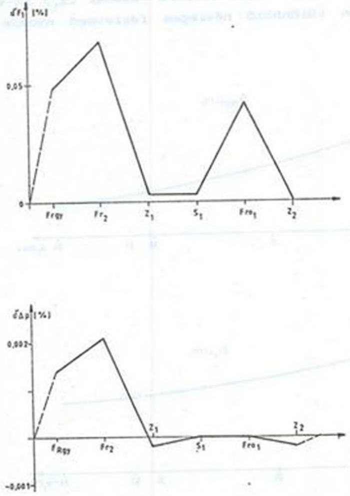
$\underline{\underline{B}}^{-1}\, \underline{\underline{A}} = \underline{\underline{D}}$ – a rendszer hibaegyüttható vagy diagnosztikai mátrixa.

Az előbb leírt módon felállított hibaegyütthatő mátrix többek között felhasználható a rendszer érzékenység vizsgálatának elvégzésére. Ezen vizsgálat lényege, hogy a független változók értékeinek megváltoztatásával szimuláljuk az adott részegység meghibásodását, üzemi elhasználódását, vagy a gyártási eltéréseket. A (2) egyenlet alapján meghatározható, hogy miként fog változni a függő változók vektora, azaz a szimulált változásokra mennyire érzékenyek az adott függő változók.

Ha egyszerre csak egy független változó értékét változtatjuk, egyparaméteres, ha egyszerre több értéket változtatunk, többparaméteres érzékenység vizsgálatról beszélünk. Az így kapott eredményeket mátrixba rendezve megkapjuk a rendszer érzékenységi mátrixát. Mivel az eredeti egyenletrendszer nem lineáris, a mátrixokat csak a munkapont vagy annak közelében lehet jó pontossággal használni.

A fenti módon megkapott egyparaméteres érzékenységi mátrix alapján a 2.ábrán mutatom be, hogy az egyik fékpofa fékereje (F_1), illetve a féklevegő rendszer levegő fogyasztása (Δp) hogyan változik néhány belső jellemző 1%-s csökkenése esetén, ha a féklevegő nyomása eléri a maximális névleges (31 bar) értéket.

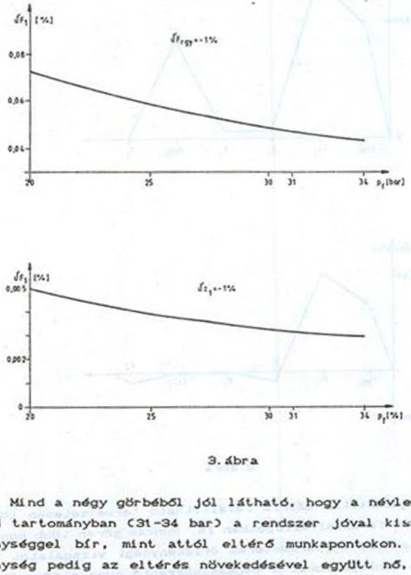
A 2.ábra görbéin jól látható, hogy a fékerő nagysága, illetve a rendszer levegőfogyasztására legjelentősebben a vezérlő berendezések alkatrészeinek üzemi (F_{rgy} ; F_{r2}) jellemzői vannak hatással. Bár az ábrából nem tűnik ki, de a vizsgált fékpofa fékerejére hatást gyakorol egy másik fékpofa fékrésének eltérése. Ez az érték 1%-s fékrés csökkenés esetén $-6\cdot10^{-6}$% . Végül ezen görbéből leolvasható információ az is, hogy a vizsgált rendszer nagyon érzéketlen az üzemeltetési jellemzők eltéréseire. Ez az üzemeltetés szempontjából jó, mivel az üzemeltetés során a belső jellemzők nagy eltérései engedhetők meg, azaz hosszabb javítás, karbantartás közi üzemidőt lehet meghatározni.



2. ábra

A diagnosztikai mátrix felállítható természetesen több, állandósult fékezési állapotban is. Munkám során több munkaponthoz tartozó egyparaméteres érzékenységi vizsgálatot végeztem. A munkapontokat a nyomáscsökkentő rugó előfeszítési erejével (F_{r1}), illetve a - névleges belső paraméter esetén - hozzátartozó féklevegő nyomással (p_f) határoztam meg.

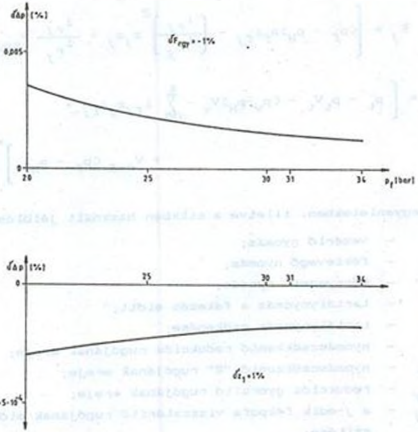
A 3. és 4. ábrán a korábban szemléltetett jellemzők változását ábrázolom a redukciós gyorsító rugójának (F_{rggy}) ereje, valamint az adott fékpofa résének (z_1) 1%-s csökkenése esetén különböző névleges féklevegő nyomás értékek esetén.



3.ábra

Mind a négy görbéből jól látható, hogy a névleges üzemmód tartományban (31-34 bar) a rendszer jóval kisebb érzékenységgel bír, mint attól eltérő munkapontokon. Az érzékenység pedig az eltérés növekedésével együtt nő, de ekkor is viszonylag kicsi értékű marad.

A matematikai modell felhasználható a rendszer műszaki állapotának pontos megállapítására, a rendszer paramétereinek identifikációjára is. Ezen feladat megoldásában jelenleg az adatok gyűjtésével foglalkozom, így még közlésre érdemes eredménnyel nem rendelkezem[2].



4. ábra

2 A cikk a címben szereplő konferencián 1988 novemberében tartott előadás anyaga. Az előadás megtartása óta a fenti kérdést a szerző megoldotta, melyről ezen folyóirat 1990/4 számában be is számolt.

A vizsgált rendszer matematikai modellje:

$$p_v = \frac{F_{r1} - F_{r2} + A_d p_H - A_k(p_t - \Delta p)}{A_d} \tag{3}$$

$$p_f = \frac{p_v A_1 - p_H A_2 - F_{rgy}}{A_3} \tag{4}$$

$$F_j = \left[(p_f - p_H) A_f i_{fj} - \left(\frac{i_{rj}}{i_{r_j}} \right)^2 z_j s_j - \frac{i_{rj}}{i_{r_j}} F_{roj} \right] \mu_j \tag{5}$$

$$\Delta p = \left[p_t - p_t V_t - (p_v - p_H) V_v - \sum_{j=1}^{4} i_{fj} z_j A_{fj} + V_{cső} (p_f - p_H) \right]^{\varkappa} p_t^{1-\varkappa} V_t^{\varkappa} \tag{6}$$

Az egyenletekben, illetve a cikkben használt jelölések:

p_v — vezérlő nyomás;
p_f — féklevegő nyomás;
p_H — környezeti nyomás;
p_t — tartálynyomás a fékezés előtt;
Δp — tartálynyomás csökkenése;
F_{r1} — nyomáscsökkentő redukciós rugójának ereje;
F_{r2} — nyomáscsökkentő "2" rugójának ereje;
F_{rgy} — redukciós gyorsító rugójának ereje;
F_{roj} — a j-edik fékpofa visszatérítő rugójának előfeszítése;
s_j — a j-edik fékpofa visszatérítő rugójának merevsége;
A_d — nyomáscsökkentő dugattyú felülete;
A_k — nyomáscsökkentő kis beeresztő szelepének felülete;
A_j — redukciós gyorsító j-edik dugattyú felülete;
z_j — a j-edik fékpofa rése;
i_{fj} — a j-edik fékpofa "dugattyú-fékpofa" áttétele;
i_{rj} — a j-edik fékpofa "dugattyú-rugó" áttétele;
μ_j — a j-edik fékpofa súrlódási tényezője;

V_t – a tartály térfogata;
V_v – vezérlőnyomású rendszerrész térfogata;
$V_{cső}$ – csővezeték térfogata;
$\varkappa$ – a levegő adiabatikus kitevője.

Felhasznált irodalom:

1 — Szűcs Ervin: Hasonlóság és modell. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.

2 — dr. Szabó Imre: Gépészeti rendszertechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.