Kiss Lajos mk. százados

A REPÜLŐGÉP HOSSZIRÁNYÚ STABILITÁSA ÉS KORMÁNYOZHATÓSÁGA FEL- ÉS LESZÁLLÁSKOR

A repülőgépek repülés közbeni stabilitásáról, kormányzásáról idáig elég sok tanulmány, cikk jelent meg. A fel- és leszállás közbeni hosszirányú stabilitásról és kormányozhatóságról, miközben a repülőgép a főfutókon gurul, jelentőségéhez képest kevés anyag áll rendelkezésünkre. Ebben a publikációban erről a problémáról szeretnék néhány gondolatot irni.

A repülőgép főfutókon való egyenesvonalú haladáskor— figyelmen kivül hagyva a futószár deformációját— a haladó mozgás a következő egyenletekkel irható fel:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} (F_p \cos \alpha_p - F_x - F_s) \qquad (1)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{m\,v} (F_p \sin \alpha_p + F_y - G + F_N) \qquad (2)$$

$$I_z \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_{zo} + (x_{sp} - x_F) F_y + M_z^{\omega_z} \omega_z + M_z^{\alpha} \alpha + M_z^{\varphi} \varphi +$$

$$+ F_p y_p - F_N x_N - F_s y_s \qquad (3)$$

ahol: $\theta = \theta + \alpha$

Az egyenletek elemi függvényekkel nem adnak megoldást, ezért a főfutókon való mozgás vizsgálatakor a következő egyszerűsítéseket alkalmazzuk:

1. Ismeretes, hogy $\mu > 1$ tolóerő-súly viszonyú repülőgépeknél az összes ellenállási erő $(F_x + F_s)$ közel 20 %-a a tolóerőnek. Kis állásszög változás esetére, nekifutáskor a gyorsító erő alig változik.

$$F_{gyors} = F_p \cos \alpha_p - (F_x + F_s) \tag{4}$$

Ez az egyszerűsítés lehetővé teszi az (1) egyenlet megoldását adott állásszögön $\alpha = \alpha_{felsz}$.

2. A repülőgép súlypontjának pályája nekifutáskor gyakorlatilag egyenesvonalú, ezért az (2) egyenlet is egyszerűsithető:

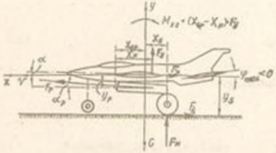
$$F_p \sin \alpha_p + F_y - G + F_N = 0 \tag{5}$$

Igy az egyszerűsitésekkel a negyedfokú nonlineáris egyenletrendszer másodfokú egyenletre csökkent. Igy adott v(t) felszállósebességgel vizsgálható a repülőgép hosszirányú stabilitása és kormányozhatósága.

Az egyenesvonalú pálya esetén adódik, hogy:

$$\theta = \alpha, \quad \Delta\theta = \Delta\alpha, \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\alpha}{dt} = \omega_z \tag{6}$$

Ismerve, hogy kis α_p esetén: $\sin \alpha_p \approx \alpha_p = \alpha + \varphi_{hmű}$. Felhasználva az (5) egyenletet, az (3) egyenletből kiejtjük az F_N és F_s erőket, alkalmazva az (6) összefüggést, a nyomatéki egyenlet a következő lesz:



1. ábra

$$I_z \frac{d^2\alpha}{dt^2} = M_{zo} + (x_{sp} - x_F)\, F_y + (M_z^{\omega_z} + M_z^{\alpha}) \frac{d\alpha}{dt} + M_z^{\varphi}\, \varphi +$$

$$+ F_p\, y_p + (x_s + f\, y_s)\, F_y - (x_s + f y_s)\, F_p\, \alpha - (x_s + f y_s)$$

$$(F_p\, \varphi_{hmű} - G) \qquad (7)$$

A megoldás tovább egyszerűsithető, ha feltételezzük, hogy kis Δt időintervallumban a sebesség gyakorlatilag nem változik. Taylor sorba fejtve, majd linealizálva és a tagokat csoportositva kapjuk:

$$\frac{d^2\Delta\alpha}{dt^2} - \frac{1}{I_z} (M_z^{\omega_z} + M_z^{\alpha}) \frac{d\Delta\alpha}{dt} - \frac{1}{I_z} \Big[M_z^{\alpha} + (x_s + f y_s)$$

$$(q\, A\, C_y^{\alpha} + F_{po}) \Big]\, \Delta\alpha = \frac{1}{I_z} M_z^{\varphi}\, \Delta\varphi \qquad (8)$$

Felhasználva a csillapitási tényezőt, valamint a saját lengés fogalmát, megkapjuk a repülőgép főfutón való mozgásának egyenletét:

$$(D^2 + 2\,n_o D + \Omega_o^2)\,\Delta\alpha = n_{3\varphi}\,\Delta\varphi \tag{9}$$

ahol: D - differenciálási operátor;

$2\,n_o = -\frac{1}{I_z}\,(M_z^{\;z} + M_z^{\;\alpha})$ - csillapitási tényező;

$\Omega_o^2 = -\frac{1}{I_z}\left[M_z^{\;\alpha} + (x_s + f\,y_s)(F_{yo}^{\;\alpha} + F_{po})\right]$ - saját lengés négyzete;

$n_{3\varphi} = \frac{M_z^{\;\varphi}}{I_z}$ - stabilizátor hatásosságának tényezője;

Mivel nekifutáskor a repülőgép sebessége az idő függvényében növekszik, ezért az n_o, Ω_o^2 szintén a sebesség négyzetével arányosan változik. Az (9) egyenlet az előbbiek alapján másodrendű, inhomogén, változó együtthatójú differenciál egyenlet. Az egyenlet együtthatóinak bonyolultsága nem teszi lehetővé sem a partikuláris, sem az általános megoldást. Ezért úgy járunk el, hogy egy tetszőleges t_o - időhöz kiszámitjuk a megfelelő repülési sebességet, az ehhez tartozó $2n_o$, Ω_o^2 és $n_{3\varphi}$ értékeket s az adott Δt időintervallumon belül ezeket változatlannal tekintjük. Értelemszerűen a következő Δt időintervallumban a sebesség más lesz, következésképpen $2n_o$, Ω_o^2 és $n_{3\varphi}$ is más lesz.

Amennyiben az (7) egyenletben az együtthatók állandóak, akkor a következő feladatokat lehet megoldani:

1./ Jellemezhető a repülőgép dinamikai tulajdonsága pl. megzavart áramlásban (állásszög alapján) s főfutón való haladáskor;

2./ Jellemezhető a stabilizátor kitéritésének átmeneti függvénye (állásszög alapján) fokozatos (lépcsős) $\Delta\varphi$ kitéritéskor;

3./ Meghatározható a szükséges stabilizátor-kitérités az α_{felsz}-hoz,

$$\Delta\varphi = \frac{\Omega_o^2}{n_{3\varphi}} (\alpha_{felsz} - \alpha_o);$$

4./ Adott $\Delta\varphi$ értéknél értékelhető az az idő, amig a repülőgép α_o -ból α_{felsz} -ra ér.

A vizsgálatok során kiderült, a csillapitási tényező $2n_o$ a repülőgép földön történő mozgásakor mindig kisebb, mint repüléskor. Nekifutáskor $n_{2\alpha} = 0$, ezért az α és θ szerinti zavarások lassabban csillapodnak a földön, mint a levegőben. Repüléskor Ω_o^2 nagyob, mint a földön történő mozgáskor, a csillapitási tag kiegészitése miatt, azaz:

$$\frac{F_{yo}^{\alpha} + F_p \cos \alpha_p}{m\, v_o} \quad \frac{M_z^{\omega_z}}{I_z}$$

Ezen kivül földön történő mozgáskor Ω_o^2 tovább csökken az $(x_s + fy_s)(F_{yo}^{\alpha} + F_{po})$ tag hatására. Ez abból következik, hogy $x_s > 0$, $y_o > 0$, illetve $F_{yo}^{\alpha} + F_{po} > 0$. A fenti tagok egyenlő mértékben csökkentik a repülőgép statikus stabilitását is (állásszög alapján).

Ilyenformán megállapitható, hogy a repülőgép főfutóin történő mozgása alatt a repülőgépnek kisebb a hosszirányú stabilitási tartaléka, mint repüléskor.

Ismerve Ω_o^2 jelentését, megállapithatjuk, hogy a repülőgép főfutókon való stabil mozgásához

$$(\bar{x}_F - \bar{x}_{sp}) > (x_s + f\, y_s)\,(1 + \frac{F_{po}}{F^{\alpha}_{yo}}) \quad \text{szükséges.}$$

Ehhez viszont, hogy ez teljesüljön rendkivül nagy statikus stabilitás szükséges (n_y szerint).

Nézzük meg a repülőgép hosszstabilitás csökkenésének okát: - Amikor a repülőgép a főfutóin mozog, az ábrán látható erők és nyomatékok hatnak. F_N és F_o erők orrnehéz nyomatékot hoznak létre. Tételezzük fel, hogy az állásszög megnő $\Delta\alpha$ -val. Az F_y, ΔF_y-al való növekedése miatt F_N és F_s erők ΔF_N és ΔF_s-el csökkennek. Ezek az erők a repülőgép súlypontja körül farnehéz nyomatékot hoznak létre, amely tovább növeli az állásszöget. Amennyiben az állásszög $\Delta\alpha$-val csökken, a helyzet forditva igaz.

Összességében elmondható, a repülőgép mozgása nekifutáskor (illetve leszálláskor) a főfutókon nem stabil, de a művelet igen rövid ideje miatt nem tűnik veszélyesnek.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

1./ Taraszenkov, Braga, Taranyenko: Dinamika paljota i boevova manevriroványijá letatyelnih apparatov
1984, Zsukovszkij Akadémia

2./ Nyeljvkov, Novad: Dinamika paljota i boevova manyevrirovanyijá letatyelnih apparatov
1990, Zsukovszkij Akadémia