

Dr. Szegedi Péter

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP NEMIRÁNYÍTOTT OLDALIRÁNYÚ MOZGÁSÁNAK VIZSGÁLATA

A cikkben a Szojka-III pilóta nélküli repülőgép repülésmechanikai matematikai modelljei vizsgálatának eredményeit mutatja be a szerző. A pilóta nélküli repülőgép méreteit, tehetetlenségi nyomatékait, a statikus stabilitási tényezőket, valamint a dinamikus modellek állapotegyenleteit a [3] szakirodalom tartalmazza. A vizsgálatokat állandó tömegű ($m=135$ kg), állandó magasságon (400 m), 110, 130, 150, 170, 190 km/h sebességgel repülő repülőgépen végezte.

A ROBOTPILOTÁK IRÁNYÍTÁSTECHNIKAI MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEI

A pilóta nélküli repülőgépek repülésszabályozó rendszereinek előzetes tervezése a repülőgép identifikált repülésmechanikai matematikai modelljeire épül. A teljes állapotvisszacsatolású robotpilóták szabályozója tervezésének fontos feltétele, hogy a szabályozott szakasz állapotváltozói érzékelőkkel mérhetőek legyenek. A szabályozótervezés további szükséges és elégséges feltétele, hogy a repülőgép repülésmechanikai matematikai modellje teljesen megfigyelhető, és teljesen irányítható legyen.

A szabályozási rendszerekkel szemben támasztott alapvető követelmény a szabályozott jellemző elvárt időkéésés és hiba nélküli alapjel-követése a rendszerre ható külső és belső zavaró jellemzőktől függetlenül. Ez a követelmény valós rendszerekben nem, vagy csak bizonyos hibával valósul meg. A szabályozás minőségét e hiba alkalmasan megválasztott mutatóival lehet jellemezni. A hiba két részre bontható. A statikus hibára (az ideális állapottól való eltérést mutatja állandósult állapotban), és a dinamikus hibára (az ideális kimeneti jeltől való eltérés a tranziens alatt). A szabályozási rendszer tervezése során fontos szempont az állandósult állapotbeli (maradó) szabályozási hiba minimalizálása. A [11] irodalom a pilóta nélküli repülőgépek légi alkalmassági és biztonsági minőségi követelményeire a pilóta által vezetett repülőgépekre vonatkozó FAA 23 AC 23.13.09-1C (Equipment, Systems and Installations) szabvány alkalmazását javasolja. Mivel a Szojka-III repülőgép alapvetően katonai alkalmazásokat támogat, ezért a pilóta nélküli repülőgépek kormányozhatósági-, irányíthatósági-, valamint irányítástechnikai minőségi követelményeinek meghatározására a Magyarországon is rendelkezésre álló, nem minősített katonai szabványgyűjteményeket alkalmaztam, a [5, 6, 7] irodalmakban megfogalmazott irányítástechnikai minőségi követelményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Az oldalirányú mozgás minőségi követelményei

Bedöntési szög stabilizálás csillapítási tényezője		$0,6 \leq \xi < 1,2$
Bedöntési szögstabilizálás pontossága (statikus hiba)	Turbulencia mentes légkör esetén	$\pm 1^\circ$
	Turbulencia esetén	$\pm 10^\circ$
Írányzög-stabilizálás pontossága (statikus hiba)	Turbulencia mentes légkör esetén	$\pm 0,5^\circ$
	Turbulencia esetén	$\pm 5^\circ$
Csillapított repülőgép időállandója		$\tau_\gamma = 1,4 - 3 \text{ sec}$
Dőlési csillapító automata túlszabályozása		$< 60^\circ$
bedöntési szög 30° -ra beállítás		$\leq 3,9 \text{ sec}$
Holtidő		$t_h \leq 0,2 \text{ sec}$
Erősítési tartalék		$> 8\text{dB}$
Fázis tartalék		$> 60^\circ$

A szabályozótervezés célja, hogy adott irányítástechnikai minőségi követelményeknek megfelelő szabályozási rendszert hozzunk létre, amely magába foglalja a szabályozási struktúra, a szabadon választható jelek és paraméterek alkalmas megválasztását. A tényleges szabályzó kialakítását természetesen ezeken kívül számos más (pl.: eszközméretezés, energiafelhasználás, üzemi környezet, technológia, gazdasági és üzembiztonsági szempontok stb.) tényező is befolyásolja [2].

A szabályzó előzetes méretezéséhez megfogalmazott általános elvárások:

- maradó hiba nélkül, vagy megengedett értékű statikus hibával kövesse az egyes repülési paraméterek alapjeleit;
- legyen képes kiszűrni, vagy csillapítani a zárt szabályozási rendszerre ható sztochasztikus zajokat és zavarásokat;
- a repülőgép robotpilótája, mint zárt szabályozási rendszer feleljen meg a [5, 6, 7] irodalmakban meghatározott minőségi követelményeknek.

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP IDŐTARTOMÁNYBELI ANALÍZISE

A pilóta nélküli repülőgép, mint nemirányított szakasz minőségi jellemzőinek megismerése, és összevetése a zárt robotpilóta rendszerekkel szemben támasztott minőségi követelményekkel, lehetőséget teremt az előírt irányítástechnikai minőségi követelmények biztosításához szükséges szabályozó megtervezésére.

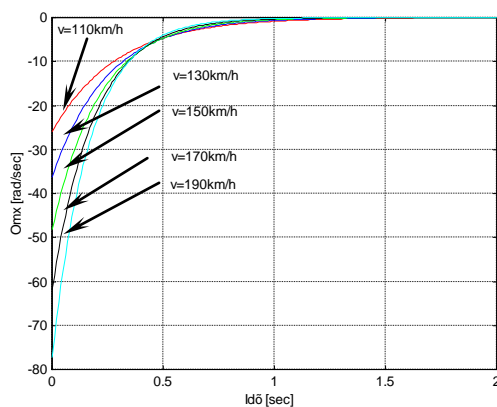
A robotpilótákkal szemben támasztott alapvető követelmény a megfelelő pontosságú alapjel-követés. A gyakorlatban a repülésszabályozó rendszerek alapjel-követését az alábbi bemenőjelekre szokás vizsgálni:

- $x_a(t) = \delta(t)$, Dirac-delta impulzus – a rendszer súlyfüggvényét határozhatjuk meg, és a zárt szabályozási rendszer (repülőgép) stabilitását vizsgálhatjuk [1, 9, 12].
- $x_a(t) = 1(t)$, egységugrás jel – a rendszer átmeneti függvényét ismerhetjük meg [10, 12].

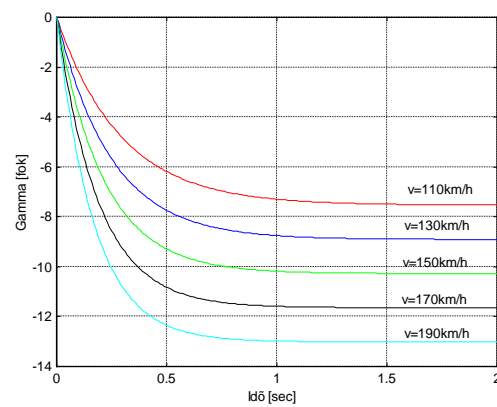
Gyors működésű kormányrendszerek esetén az egyes kormányfelületek meghibásodás miatt bekövetkező szögkitérés, valamint a pilóta által vezetett kiképző repülőgépek robotpilótája légi meghibásodásának imitálása során, az egyes kormányfelületeken létrehozott szögkitérések jó közelítéssel egységugrás jellegűeknek tekinthetők. A robotpilóta zárt szabályozási rendszerének irányítástechnikai minőségi jellemzőit az átmeneti függvényből szokás származtatni.

A pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozó rendszerének megtervezéséhez szükséges a nemirányított repülőgép hosszirányú- és oldalirányú mozgása minőségi jellemzőinek ismerete. Ebben a cikkben, a továbbiakban csak a repülőgép oldalirányú mozgásának minőségi jellemzőit vizsgálta a szerző.

A vizsgált repülőgép nem irányított oldalirányú mozgása, az orsózó szögsebesség (ω_x) és a bedöntési szög (γ) állapotváltozóinak tranziens analízise során a repülőgép bemeneti jele a csűrőlapok Dirac-impulzus jellegű kitérítése. A mozgás állapotváltozóinak viselkedése a 1. és a 2. ábrákon látható.



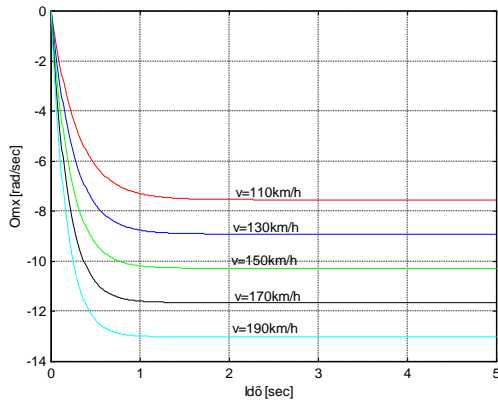
1. ábra. Az orsózó szögsebesség impulzusválasz függvénye



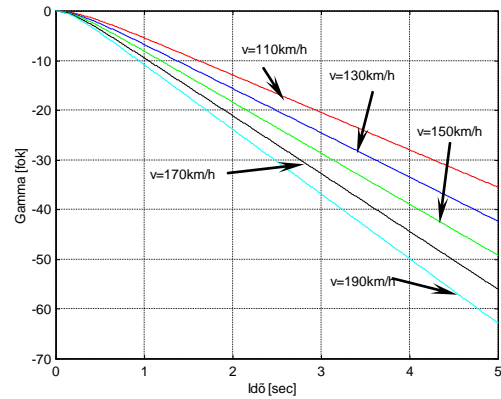
2. ábra. A bedöntési szög impulzusválasz függvénye

A 1. ábrán láthatjuk, hogy a nemirányított rendszer, orsózó szögsebesség, impulzusválasz függvénye kezdetben exponenciálisan változik, majd $t \rightarrow \infty$ estén zérushoz tart a vizsgált üzemmódokon. A 2. ábrán a nemirányított repülőgép válasza a Dirac-impulzus gerjesztésre kezdetben exponenciálisan változik, majd $t \rightarrow \infty$ esetén konstans értékre áll be a repülési sebesség függvényében.

A továbbiakban a Szojka-III repülőgép oldalirányú nem irányított mozgásának átmeneti függvényeit határozom meg. Az átmeneti függvény meghatározása során a repülőgép bemeneti jelének a csűrőlapok egységugrás jellegű kitérítését tekintem. A repülőgép oldalirányú nemirányított mozgása állapotváltozóinak tranziens viselkedése a 3., 4. ábrákon látható. A 3. ábrán az orsózó szögsebesség időbeli lefolyása kezdetben exponenciálisan változó jellegű, majd $t \rightarrow \infty$ esetén a repülési sebesség növekedésével növekvő abszolút értéket vesz fel. A 4. ábra alapján megállapítható, hogy a bedöntési szög időfüggvényei $t \rightarrow \infty$ esetén aperiodikusan széttartóvá válnak.



3. ábra. Az orsózó szögsebesség átmeneti függvénye



4. ábra. A bedöntési szög átmeneti függvénye

Az [3] szakirodalomban megadott identifikált repülésmechanikai matematikai modellek alapján a Szojka–III repülőgép nemirányított, oldalirányú mozgás irányítástechnikai minőségi jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. Az oldalirányú mozgás minőségi jellemzői

Sajátérték (λ)	Csillapítási tényező (ξ)		Sajátlengések körfrekvenciája (ω) [rad/sec]
	Valós érték	Előírt érték	
1. üzemmód: v=110 km/h, H=400 m, m=135 kg			
0	-1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	0
-3,44	1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	3,44
2. üzemmód: v=130 km/h, H=400 m, m=135 kg			
0	-1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	0
-4,07	1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	4,07
3. üzemmód: v=150 km/h, H=400 m, m=135 kg			
0	-1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	0
-4,69	1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	4,69
4. üzemmód: v=170 km/h, H=400 m, m=135 kg			
0	-1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	0
-5,32	1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	5,32
5. üzemmód: v=190 km/h, H=400 m, m=135 kg			
0	-1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	0
-5,94	1	$0,6 \leq \xi \leq 1,2$	5,94

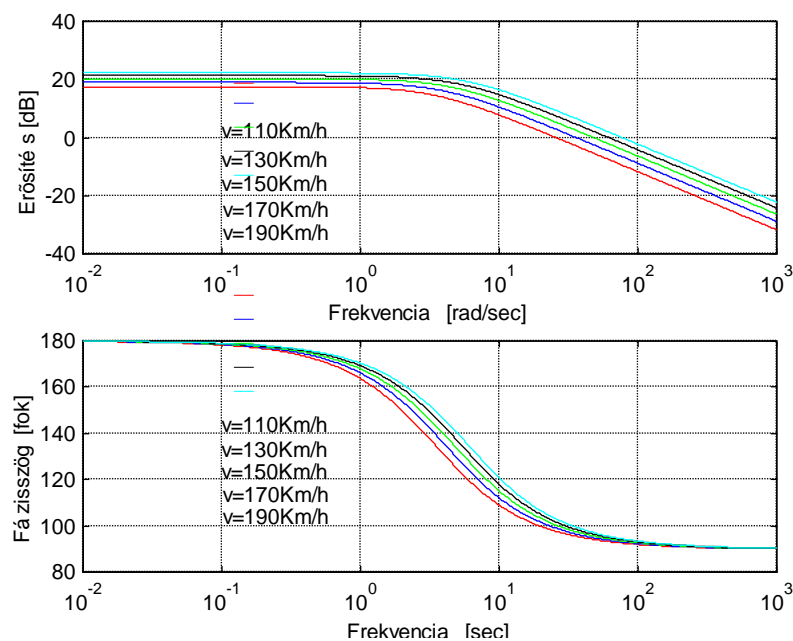
A 2. táblázatból kiolvasható, hogy az oldalirányú mozgás karakterisztikus egyenletei az origóban, és a negatív tengelyen elhelyezkedő pólusokkal rendelkeznek. A csillapítási tényező értéke -1 és 1.

A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP FREKVENCIATARTOMÁNYBELI ANALÍZISE

A stabilis működés feltételei sok esetben előnyösebben tisztázhatók frekvenciatartományban. A komplex frekvenciafüggvények ábrázolására több módszer ismert. A frekvencia diagram egyik legkönnyebben kezelhető formája a Bode–diagram.

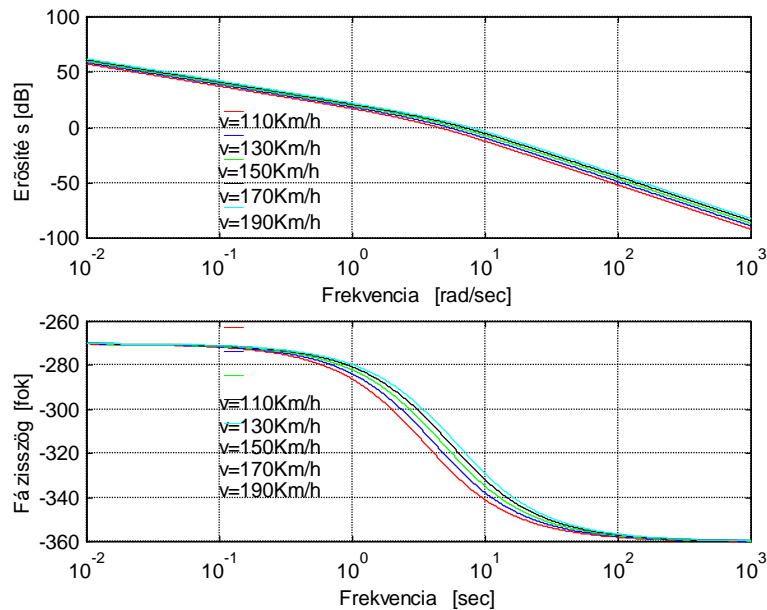
A repülőgépet térbeli mozgása során a frekvenciatartományban jól leírható külső és nagyfrekvenciás belső zavaró jelek gerjesztik. A fellépő külső és belső zajok repülőgépre gyakorolt hatásának ismerete szükséges, hogy a megfelelő minőségi jellemzőket biztosító szabályozási rendszert megtervezhessük [4, 10].

Az 5. és a 6. ábrákon az oldalirányú mozgás állapotváltozóinak Bode–diagramjait látjuk. Az 5. ábra alapján könnyen belátható, hogy az amplitudó karakterisztika kis- és közepes frekvencia tartományon frekvencia független. A törésponti frekvenciától nagyobb frekvenciákon monoton csökkenő értékeket vesz fel. A repülési sebesség növekedésével az erősítés abszolút értéke nő. Az erősítés-, és fáziskarakterisztika egytároló jelleget mutat.



5. ábra. Az orsózó szögsebesség Bode–diagramja

A 6. ábrán a bedöntési szög amplitudó- és fázis karakterisztikái láthatók. Az erősítés karakterisztikák — a frekvencia növekedésével — monoton csökkenő jellegűek, kisfrekvenciás tartományban a repülési sebességtől függetlenül gyakorlatilag együtt futnak.



6. ábra. A bedöntési szög Bode-diagramja

A térbeli mozgás állapotváltozóinak minőségi jellemzői lényegében függetlenek a repülési sebességtől. Az amplitúdó-, és a fázistartalék az összes vizsgált repülési üzemmódon nulla [8].

KÖVETKEZTETÉSEK

A Szojka–III pilótánélküli repülőgép nemirányított oldalirányú mozgásának 1. táblázatban felsorolt és a [5, 6, 7] irodalmakban előírt irányítástechnikai minőségi követelmények az összevetéséből, illetve az elvégzett vizsgálatok és számítógépes szimulációk alapján a következő megállapításokra juthatunk:

- a repülőgép nemirányított oldalirányú mozgásának összetevője, a dőlési szög negatív csillapítási tényezővel rendelkezik;
- a nemirányított repülőgép a komplex síkon az origóban elhelyezkedő pólusokkal, valamint negatív értékű csillapítási tényezővel rendelkezik;
- a repülési sebesség növekedésével az erősítés, és a fázisszög értéke — állandó frekvencián — növekszik;
- a frekvencia növekedésével — állandó sebesség mellett — az erősítés, és a fázisszög értéke csökken;
- az összes vizsgált repülési üzemmódra az erősítési-, és a fázistartalékok kivétel nélkül zérusértékű, amelyek nem felelnek meg az előírt irányítástechnikai minőségi követelményeknek.
- a Szojka–III repülőgép oldalirányú nemirányított mozgása instabil;

A Szojka–III pilóta nélküli repülőgép kézi távvezérelt kormányzása, valamint az automatizált irányítása egyaránt megköveteli a stabilis működést. A biztonságos légi üzemeltetéséhez, a stabilitási problémák megoldására (előírt irányítástechnikai minőségi követelmények biztosítására), szükséges egy pólus áthelyezést megvalósító, teljes állapot–visszacsatolású zárt repülésszabályozó rendszer megtervezése indokolt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. CSÁKI F.: Automatika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1986.
- [2] TUSCHÁK R.: Szabályozástechnika 1. füzet, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1993.
- [3] SZOJKA-III/TV kooperációs fejlesztés tudományos technikai adatai, IV. fejezet, Zelong Instr., Brno, 1993.
- [4] SZABOLCSI R.—SZEGEDI P.: Pilóta nélküli repülőgép számítógépes analízise, Szolnoki tudományos konferencia MTESZ, Szolnok 2002. nov. 06. (CD-ROM).
- [5] MIL–C–18244A (AS) Control and stabilization system: automatic, piloted aircraft general specification for, 1992.
- [6] MIL–F–8785C Flying Qualities of Piloted Airplanes, 1996.
- [7] MIL–F–9490D Flight Control Systems – Design, Installation and test of piloted aircraft general specification for, 1993.
- [8] Control System Toolbox 5.1 for Use With MATLAB® (Release 12.1), User's Guide, The MathWorks, Inc., 2001.
- [9] TUSCHÁK, R. Szabályozástechnika, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994.
- [10] HELM, L. – MARTON, J. A szabályozástechnika elméleti alapjai (lineáris rendszerek) II. rész, kézirat, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest, 1965.
- [11] PELED, A. Advanced technologies and Approaches for next generation UAVs, ROBOT WARFARE 2, Conference, NDU, Budapest, 27.–28. 11. 2002.
- [12] FODOR, GY. Lineáris rendszerek analízise, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.