

AZ RD-33-AS HAJTÓMŰ CENTRIFUGÁLIS FORDULATSZÁM - SZABÁLYZÓJÁNAK MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

Ailer Piroska
egyetemi hallgató
Budapesti Műszaki Egyetem
Közlekedésmérnöki Kar
Repülőgépek és Hajók Tanszék

A szabályozástechnikában használatos modellezési módszer alkalmas arra, hogy egy teljes szabályozási kör idő függvényében történő, átmeneti (transziens) folyamatait és frekvencia függvényében történő, stabilitási vizsgálatát elvégezzük. A következőkben egy hajtóművet és centrifugális fordulatszám-szabályozóját, mint szabályozási kört vizsgálunk.

1. A HAJTÓMŰ SZABÁLYOZOTT JELLEMZŐI

A MIG-29-es vadászrepülőgép hajtóműve (RD-33) egy kis kétáramúági fokú, kéttengelyes, változtatható geometriájú, utánégetéssel gázturbinás sugárhajtómű. [2]
Ennek megfelelően számos szabályozott - szabályozásnak alávetett - paraméterrel rendelkezik a következők szerint [6]:

Beavatkozó jellemző		Szabályozott jellemző
$m_{\text{üz,fs}}$ a fő égéstérbe betáplált tüzelőanyag mennyisége	→	n_2 a nagynyomású forgórész fordulatszama
A_{kr} a fűvőcső kritikus keresztmetszete	→	n_1 a kisnyomású forgórész fordulatszama
A_{ki} a fűvőcső kilépő keresztmetszete	→	P_{i2} e keresztmetszetben lévő kilépő nyomás
$\varphi_{\text{ú165}}$ nagynyomású kompresszor első három fokozata állólápátjainak állásszöge	→	$\Delta k_y, \eta_k$ nagynyomású kompresszor gázdinamikai stabilitása és hatásfoka
$m_{\text{üz,u}}$ az utánégető térbe betáplált tüzelőanyag mennyisége	→	T_u gáz hőmérséklet az utánégető térben utánégetéskor

A hajtómű ezenkívül néhány határolt paraméterrel is rendelkezik a szerkezet szilárdságának, a hőterhelés minimalizálásának, az égés feltételeinek biztosítása érdekében (pl.: a kompresszor utáni maximális nyomás, a turbina utáni maximális hőmérséklet, a fő égésterbe betáplált minimális tüzelőanyag mennyiség...)

2. A NAGYNYOMÁSÚ FORGÓRÉS Z FORDULATSZÁMÁNAK SZABÁLYOZÁSI RENDSZERE

A rendszer elemei:

- alacsony nyomású rendszer:
 - DCN-78: beszállító centrifugál-szivattyú
 - tüzelőanyag-szűrő
 - tűzcsap
- szivattyúvezérlő és tüzelőanyag betápláló rendszer
 - NR-59: fő tüzelőanyag-szabályzó szivattyú
 - KSzO-59: tüzelőanyag betáplálást megszállító és leállító egység
 - TMR: tüzelőanyag-olaj radiátor
 - fő égőtér tüzelőanyag fűvókái

3. AZ NR-59 SZIVATTYÚ HIDROMECHANIKUS VEZÉRLÉSE

Alapeleme a változtatható szállítóképességű, búvárdugattyús szivattyú, melynek feladata a fő égéster tüzelőanyaggal való ellátása.

Vezérlőelemek:

- adagoló szelep

- állandó nyomáskülönbséget biztosító szelep, amely állandó (5 bar) nyomásesést hoz létre az adagoló szelepen. Mivel:

$$m_{\text{sz}, \beta} = \rho \cdot \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{\text{sz}}}{\rho}}, \quad (3.1)$$

így a tüzelőanyag-mennyiség megváltoztatása az adagoló szelep átbocsátó keresztmetszetének változtatásával történik.

- leállító szelep, mely biztosítja a hajtómű leállítását
- állandó nyomást biztosító szelepek (22 ill. 10 bar), melyek feladata az automatika ellátása, táplálása állandó nyomású tüzelőanyaggal
- indító automata mely biztosítja a megfelelő mennyiségű tüzelőanyag indítás közbeni adagolását magasság szerinti korrekcióval
- n_2 fizikai fordulatszámadó, melynek feladata az n_2 -vel arányos vezérlő jel biztosítása a gyorsító automata és az állólapátokat állító mechanizmus számára
- centrifugális fordulatszám szabályzó melynek feladata:
 - az n_2 fordulatszám állandó értéken tartása állandósult üzemmódokon
 - az n_2 fordulatszám megadott értékének kialakítása a gázkar helyzetének, a T_0^* belépő torlóponthi hőmérsékletnek és a T_{sz} tüzelőanyag hőmérsékletnek megfelelően
- TDK kapszulás hőmérséklet-adó, amely a T_0^* -nak megfelelő vezérlőjelet biztosít a centrifugális fordulatszám szabályzó és a kompresszor állólapátok szabályzója számára
- gyorsító automata, melynek feladata a hajtómű felgyorsulásakor a tüzelőanyag megfelelő adagolása az n_2 , T_0^* , p_2^* függvényében
- kompresszor állólapátok szabályzója, melynek feladata az állólapátok állítása a nagy nyomású forgórész átszámított fordulatszámának függvényében
- határolás: $m_{\text{sz}, \beta}$, p_2^*

4. A SZABÁLYOZÁSTECHNIKAI MODELL

A szabályozástechnikában használatos modell [1, 3, 4] jellemzői:

- az egyes elemek be- és kimenetén folytonos, analóg jelek vannak
- minden elemnek egyetlen bemenete és egyetlen kimenete van
- a kimeneti és bemeneti jel között lineáris kapcsolat áll fenn, ha nem, akkor azt linearizáljuk

A modell alkotása: a szabályozásban szereplő elemekre felírt egyensúlyi (erő vagy nyomaték) egyenletekkel történik. Az átviteli függvény:

$$W = \frac{X_{ki}}{X_{be}} \quad (4.1)$$

X_{be} , X_{ki} : bemeneti ill. kimeneti jel, vagy

$$W(s) = \frac{X_{ki}}{X_{be}} \quad (4.2)$$

X_{be} , X_{ki} : bemeneti ill. kimeneti jel Laplace-transzformáltja

A modell célja: különböző vizsgálójelek (egységimpulzus, egységugrás, tiszta szinuszos jel) segítségével a szabályozási kör mennyiségi és minőségi analízise, valamint stabilitásának vizsgálata.

5. A CENTRIFUGÁLIS FORDULATSZÁM-SZABÁLYZÓ ELEMEINEK VIZSGÁLATA

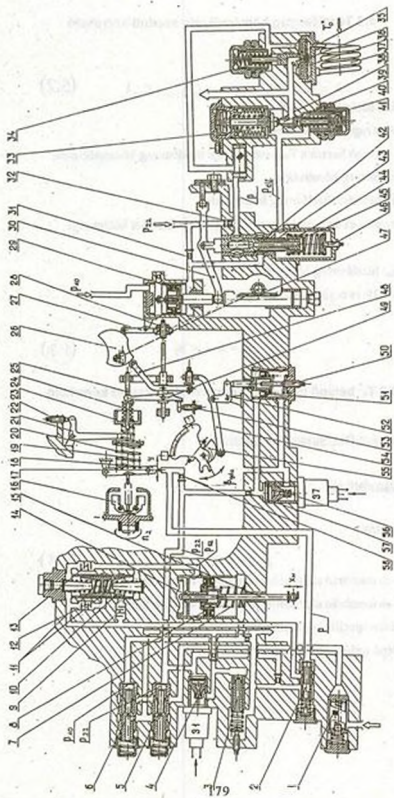
5.1 A gázkar helyzete szerinti korrekció

A korrekció a profilozott tárcsán és himbákon (55, 54, 48, 49-es számú elemek) keresztül egy arányos tagot valósít meg.

Bemenet: β_{gkz} : az 55-ös tárcsa elfordulása

Kimenet: h_1 : a 19-es rugó hossz-változása

$$W_1 = A_1 \quad (5.1)$$



1. ábra
Centrifugális fordulatszám-szabályzó

5.2 Tüzelőanyag hőmérséklete szerinti korrekció

$$h_2 = \Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T_{üz} = \alpha \cdot l_0 \cdot (T_{üz} - T_{üz0}) \quad (5.2)$$

α - lineáris hőtágulási együttható;

h_2 - a 19-es rugó hossz-változása;

l_0 - a 24-es rugó hossza a $T_{üz0}$ viszonyítási tüzelőanyag-hőmérsékleten;

$T_{üz}$ - tüzelőanyag hőmérséklet;

$T_{üz0}$ - viszonyítási tüzelőanyag hőmérséklet;

$\Delta T_{üz}$ - a valós és a viszonyítási tüzelőanyag hőmérséklet különbsége;

Bemenet: $T_{üz}$: tüzelőanyag hőmérséklet

Kimenet: h_2 : a 19-es rugó hossz-változása

$$W_2 = \alpha \cdot l_0 = A_2 \quad (5.3)$$

5.3 T_0^* belépő torlóponthi hőmérséklet szerinti korrekció

Az egyes elemekre felírt egyensúlyi egyenletek:

36-os membrán alatti tér:

Ideális gáztörvény:

$$p \cdot v = R \cdot T_0^* \quad (5.4)$$

p - a 36-os membrán alatti héliummal töltött tér nyomása;

v - a 36-os membrán alatti héliummal töltött tér fajtérfogata;

R - a hélium specifikus gázállandója;

T_0^* - belépő torlóponthi hőmérséklet;

36-os membrán feletti tér:

Bé- és elvezetett térfogatáramok azonossága: $Q_{be} = Q_{el}$, azaz

$$p_{be} = \left(1 + \frac{\alpha_2^2 \cdot A_2^2}{\alpha_1^2 \cdot A_1^2} \right) \cdot p - \frac{\alpha_2^2 \cdot A_2^2}{\alpha_1^2 \cdot A_1^2} \cdot p_{st} \quad (5.5)$$

p - a membrán egyensúlya miatt a membrán alatti és feletti tér nyomása megegyezik;

p_{st} - stabilizált elfolyó ági nyomás (5,5 bar);

p_{be} - bevezető ági nyomás;

A_1, α_1 - bevezető ági nyílás keresztmetszete és átfolyási tényezője;

A_2, α_2 - elvezető ági nyílás keresztmetszete és átfolyási tényezője;

44-es csésze egyensúlya:

Erőegyensúly:

$$p_{be} \cdot A_{cs} = F_{r0} + c_r \cdot x_{cs} \quad (5.6)$$

A_{cs}, x_{cs} - a 44-es csésze belső felülete és a csésze elmozdulása;

F_{r0}, c_r - a 45-ös rugó előfeszítése és rugóállandója;

29-es szervodugattyú alatti tér:

Bé- és elvezetett térfogatáramok azonossága: $Q_{be} = Q_{el}$, azaz

$$p_d = \frac{\alpha_1^2 \cdot A_1^2 \cdot p_{22} + \alpha_2^2 \cdot x_{cs}^2 \cdot b^2 \cdot p_{3,5}}{\alpha_1^2 \cdot A_1^2 + \alpha_2^2 \cdot x_{cs}^2 \cdot b^2} \quad (5.7)$$

Linearizálva:

$$p_d = \frac{2 \cdot \alpha_1^2 \cdot A_1^2 \cdot \alpha_2^2 \cdot b^2 (p_{3,5} - p_{22}) \cdot x_{cs0}}{(\alpha_1^2 \cdot A_1^2 + \alpha_2^2 \cdot b^2 \cdot x_{cs0}^2)^2} \quad (5.8)$$

- p_4 - a dugattyú alatti térben kialakuló nyomás;
- p_{22} - bevezető ági nyomás (22 bar + fojtás);
- $p_{5,5}$ - elvezető ági nyomás (5,5 bar);
- b - a 42-es tolattű kerülete;
- A_1, α_1 - bevezető ági nyílás keresztmetszete és átfolyási tényezője;
- A_2, α_2 - elvezető ági nyílás keresztmetszete és átfolyási tényezője;
- x_{c40} - a 44-es csésze elmozdulásának munkapontja (a linearizálás e pont kis környezetében végezhető el);

29-es szervodugattyú egyensúlya:

Erőegyensúly:

$$(p_{10} - p_4) \cdot A_4 = m \cdot \frac{d^2 x_d}{dt^2} + \mu \cdot \frac{dx_d}{dt} \quad (5.9)$$

p_{10} - a dugattyú feletti tér nyomása (10 bar);

A_4 - a dugattyú felülete;

m - a dugattyú tömege;

μ - súrlódási tényező;

x_d - a dugattyú elmozdulása;

Visszacsatolás:

A 30-as himbán keresztül történik, így ez egy arányos tagot valósít meg

A további elemek (fogaskerék (47), tárcsa (26), himbák(48, 49)) mindegyike egy-egy arányos tagot valósít meg.

A teljes rendszer:

Bemenet: T_0^* : belépő torlóponyi hőmérséklet

Kimenet: h_3 : 19-es rugó hossz-változása

$$W_3(s) = \frac{A_3}{A_4 \cdot s^2 + A_5 \cdot s + 1} \quad (5.10)$$

5.4 Centrifugális fordulatszám-szabályzó

Dinamikai egyenlete:

$$\frac{m}{c_r - b \cdot n_{20}^2} \cdot \frac{d^2 \Delta x_{k1}}{dt^2} + \frac{\mu}{c_r - b \cdot n_{20}^2} \cdot \frac{d \Delta x_{k1}}{dt} + \Delta x_{k1} = \frac{2 \cdot n_{20} \cdot (a + b \cdot x_{k10})}{c_r - b \cdot n_{20}^2} \cdot \Delta n_2 - \frac{c_r}{c_r - b \cdot n_{20}^2} \cdot \Delta h \quad (5.11)$$

m - a centrifugális fordulatszám-szabályzó forgó tömegre redukált tömege;

μ - súrlódási tényező;

a, b - a centrifugális fordulatszám-szabályzóra jellemző állandók ($F_{cp} = (a + b \cdot x_{k1}) \cdot n_2^2$)

c_r - a 18-as rugó rugóállandója;

x_{k1} - a 17-es inga középső pontjának elmozdulása;

n_{20}, x_{k10} - munkaponti fordulatszám, elmozdulás;

Bemenet: Δn_2 : fordulatszám-változás

Kimenet: x_{k1} : a 17-es inga középső pontjának elmozdulása

$$W_4(s) = \frac{A_4}{A_4 \cdot s^2 + A_1 \cdot s + 1} \quad (5.12)$$

Bemenet: Δh : a 19-es rugó hossz-változása

Kimenet: x_{k1} : a 17-es inga középső pontjának elmozdulása

$$W_5(s) = \frac{A_5}{A_4 \cdot s^2 + A_1 \cdot s + 1} \quad (5.13)$$

5.5 Inga

Az inga működése és alsó végének lineáris letörése arányos tagot jelent.

Bemenet: az inga középső pontjának elmozdulása

Kimenet: az inga alsó pontjának elmozdulása

$$W_6 = A_{10} \quad (5.14)$$

Bemenet: az inga alsó pontjának elmozdulása

Kimenet: az inga alsó pontjának távolsága a fűvókától

$$W_7 = A_{11} \quad (5.15)$$

5.6 Ingaszelep (torlólapos erősítő)

Be- és elvezetett térfogatáramok azonossága: $Q_{be} = Q_{el}$, azaz

$$p = \frac{\alpha_1^2 \cdot A_1^2 \cdot p_{22} + \alpha_2^2 \cdot b^2 \cdot x_{inga}^2 \cdot p_{ef}}{\alpha_1^2 \cdot A_1^2 + \alpha_2^2 \cdot b^2 \cdot x_{inga}^2} \quad (5.16)$$

Linearizálva:

$$p = \frac{2 \cdot \alpha_1^2 \cdot A_1^2 \cdot \alpha_2^2 \cdot b^2 \cdot (p_{ef} - p_{22}) \cdot x_{inga0}}{(\alpha_1^2 \cdot A_1^2 + \alpha_2^2 \cdot b^2 \cdot x_{inga0}^2)^2} \quad (5.17)$$

p - elvezető ági nyomás;

p_{22} - bevezető ági nyomás (22 bar + fojtás);

p_{ef} - elfolyó ági nyomás;

A_1, α_1 - bevezető ági nyílás keresztmetszete és átfolyási tényezője;

A_2, α_2 - elvezető ági nyílás keresztmetszete és átfolyási tényezője;

b - a fűvóka sugarának kerülete;

x_{inga} - az inga alsó pontjának távolsága a fűvókától;

x_{inga0} - e távolság munkaponti értéke (a linearizálás e pont kis környezetében végezhető el);

Bemenet: x_{inga} : az inga alsó pontjának távolsága a fűvókától

Kimenet: p : elvezető ági nyomás

$$W_1 = A_{12} \quad (5.18)$$

5.7 Statikus dugattyú (10)

Alaphelyzetben, amikor sem a gyorsító, sem a lassító fojtótétét nem működik:

$$p_{\text{szervo}} = p - \Delta p_{\text{fojtás}} \quad (5.19)$$

$\Delta p_{\text{fojtás}}$ - a 13-as általános fojtótétén kialakuló nyomásesés;

p_{szervo} - a 15-ös szervodugattyú feletti térben kialakuló nyomás;

Bemenet: p : a centrifugális fordulatszám-szabályzó elvezető ági nyomása

Kimenet: p_{szervo} : a 15-ös szervodugattyú feletti térben kialakuló nyomás

$$W_9 = 1 \quad (5.20)$$

5.8 A szervodugattyú (15)

Erőegyenlet:

$$(p_{\text{szervo}} - p_{10}) \cdot A_d = F_{r0} + m \cdot \frac{d^2 x_{31}}{dt^2} + \mu \cdot \frac{dx_{31}}{dt} + c_r \cdot x_{31} \quad (5.21)$$

p_{10} - a 15-ös szervodugattyú alatti tér nyomása;

A_d - a szervodugattyú felülete;

m - a szervodugattyú tömege;

μ - súrlódási tényező;

F_{r0} , c_r - a 7-es rugó előfeszítése és rugóállandója;

x_{31} - a szervodugattyú elmozdulása;

Bemenet: p_{szervo} : a 15-ös szervodugattyú feletti térben kialakuló nyomás

Kimenet: x_{ki} : a szervodugattyú elmozdulása

$$W_{10}(s) = \frac{A_{13}}{A_{14} \cdot s^2 + A_{15} \cdot s + 1} \quad (5.22)$$

5.9 Kapcsolat a szervodugattyú és az adagolószepel között

A szervodugattyút és az adagolószepelt összekapcsoló elemek átviteli függvénye arányos tagnak feltételezett, valamint az adagolószepel működése a (3.1)-es összefüggésből következően szintén arányos típusú.

Bemenet: x_{ki} : a szervodugattyú elmozdulása

Kimenet: $m_{szl,fb}$: a fő égésterbe betáplált tüzelőanyag mennyisége

$$W_{11} = A_{16} \quad (5.23)$$

5.9 A hajtómű átviteli függvénye

Dinamikai egyenlete [5]:

$$T_1 \cdot T_2 \cdot \frac{d^2 \Delta n_2}{dt^2} + (T_1 + T_2) \cdot \frac{d \Delta n_2}{dt} + (1 - k_{n1} \cdot k_{n2}) \cdot \Delta n_2 = k_{n2} \cdot T_1 \cdot \frac{d \Delta m}{dt} + (k_{n2} + k_{n1} \cdot k_{n2}) \cdot \Delta m \quad (5.24)$$

T_1 - a kisnyomású forgórész időállandója;

T_2 - a nagynyomású forgórész időállandója;

k_{n1} - a kisnyomású forgórész fordulatszám szerinti erősítési tényezője;

k_{n2} - a nagynyomású forgórész fordulatszám szerinti erősítési tényezője;

k_{m1} - a kisnyomású forgórész tüzelőanyag-tömegáram szerinti erősítési tényezője;

k_{m2} - a nagynyomású forgórész tüzelőanyag-tömegáram szerinti erősítési tényezője;

Δn_2 - a nagynyomású forgórész fordulatszám változása;

Δm - a tüzelőanyag-tömegáram változása;

Bemenet: Δm : a tüzelőanyag-tömegáram változása

Kimenet: Δn_2 : a nagynyomású forgórész fordulatszám változása

$$W_{12}(s) = \frac{A_{17} \cdot s + A_{18}}{A_{19} \cdot s^2 + A_{20} \cdot s + 1} \quad (5.25)$$

A teljes rendszer tehát arányos tagok, kéttárolós arányos tagok, valamint a hajtóműre jellemző, kéttárolós differenciálós és kéttárolós arányos tag-összeg szorzataként írható le. A szabályozási kör blokkdiagramja a 2-es ábrán látható.

A további vizsgálatok elvégzéséhez bizonyos egyszerűsítések végrehajtása szükséges. A továbbiakban a tömegerőket és a súrlódási erőket elhanyagoljuk, ezek a többi erőhöz viszonyítva elhanyagolható nagyságúak. Így a szabályozó egységben szereplő kéttárolós arányos tagok egyszerűbb, arányos tagokká alakulnak. A teljes rendszer ilyen módon arányos tagok és a hajtóműre jellemző tag-összeg szorzataként jellemezhető. Természetes módon ezzel az eljárással a negatív visszacsatolós kör teljes átviteli függvénye is módosul, egyszerűsödik.

$$W_{\text{új}} = \frac{A \cdot s + B}{C \cdot s^2 + D \cdot s + 1} \quad (5.26)$$

6. AZ ÁTVITELI FÜGGVÉNY VIZSGÁLATA

6.1 Az átmeneti függvény

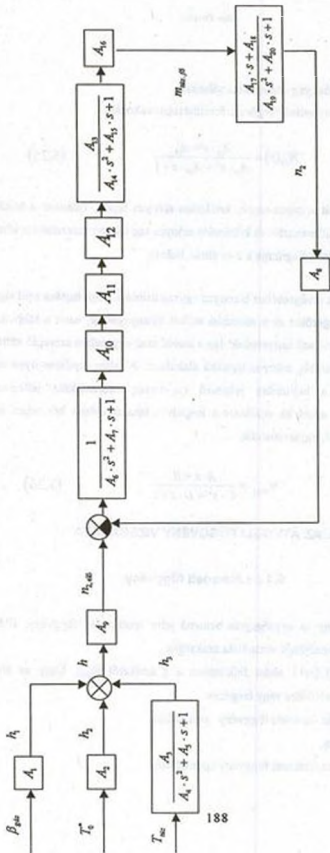
Az átmeneti függvény az egységugrás bemenő jelre adott válaszfüggvény. Ehhez az átviteli függvény nevezőjének vizsgálata szükséges.

A nevező: $T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T \cdot \xi \cdot s + 1$ alakú felírásában a ξ értéktől függ, hogy az átmeneti függvény jellege aperiodikus vagy lengéses.

Ha $0 < \xi < 1$, akkor az átmeneti függvény periodikus

$\xi = 1$: határeset,

$\xi > 1$ esetben az átmeneti függvény aperiodikus.



108

2. ábra

A teljes szabályozási kör blokkdiagramja

A visszacsatolt szabályozási kör átviteli függvénye:

Az eredő negatív visszacsatolós szabályozási kör átviteli függvényének felírásával az aperiodikusság feltétele:

$$A_4 \cdot E \cdot B \leq \frac{k_{a1} \cdot k_{a2}}{1 - k_{a1} \cdot k_{a2}} \quad (5.27)$$

A_4 - a visszacsatolási ágban lévő arányos tag

E - az előremenő ágban szereplő arányos tagok szorzata

$$B = \frac{k_{a2} + k_{a1} \cdot k_{a1}}{1 - k_{a1} \cdot k_{a2}}$$

A B- hajtóműre jellemző- számérték ismeretében a szabályozási kör A_4 és E átviteli tényezői a fenti feltétel alapján megválaszthatók, ill. ellenőrizhetők. Bizonyítható tehát, hogy a hajtómű paramétereitől függetlenül mindig készíthető olyan szabályozási kör, amely az aperiodikus átmeneti függvényt biztosítani képes.

6.2 Stabilitás

Nyquist stabilitási törvénye szerint: megszerkesztendő a felnyitott szabályozási kör eredő Nyquist diagramja. Ha ez nem veszi körül, vagy nem megy át az $(-1+0 \cdot i)$ ponton, akkor a rendszer stabilis.

A felnyitott kör eredő átviteli függvénye felbontható egy PD-tag és egy 2TP-tag szorzatára.

PD-tag: $\omega = 0$ esetén $\varphi = 0^\circ$

$\omega = \infty$ esetén $\varphi = 90^\circ$

2TP-tag: $\omega = 0$ esetén $\varphi = 0^\circ$

$\omega = \infty$ esetén $\varphi = -180^\circ$

E kettő szorzata (azonos ω értékeknél lévő φ értékek összeadódnak), azaz

$\omega = 0$ esetén $\varphi = 0^\circ$

$\omega = \infty$ esetén $\varphi = -90^\circ$

Belátható az is, hogy bármely köztes ω értéknél is igaz, hogy $\varphi > -180^\circ$. Ebből az is következik, hogy a Nyquist diagram nem fog IV. síknegyedbeli pontot tartalmazni. Így a görbe nem kerül meg a $(-1+0\cdot i)$ pontot. A teljes szabályozási kör (paramétereitől függetlenül) stabil, vagy másképpen strukturálisan stabil.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a -diplomatervnek készülő- munkában az RD-33-as hajtómű centrifugális fordulatszám-szabályozójának matematikai modelljét készítettük el. A modell érvényességi területe: utánégetés nélküli, átmeneti (alagáz és maximális gáz közötti) üzemmódok, nem túl nagy gyorsítást ill. lassítást feltételezve (a statikus dugattyú gyorsító és lassító fojtóbetétei még nem lépnek működésbe). A szabályozástechnikában használatos modellezéssel és bizonyos egyszerűsítésekkel a következő eredményekre jutottunk

- a hajtómű paramétereinek ismeretében az (5.27) feltételt teljesítő szabályozó egység biztosítani képes az aperiodikus átmeneti függvényt
- a konkrét adatoktól függetlenül minden esetben stabilis, azaz strukturálisan stabil a rendszer.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] - Dr. Kurutz Károly: Szabályozástechnika I., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994.
- [2] - Dr. Pásztor Endre: Repülőgép-hajtóművek elmélete I., Előadásvázlatok, 1996.
- [3] - Dr. Sánta Imre: Repülőgép-hajtóművek elmélete II., Előadásvázlatok, 1996.
- [4] - Dr. Sánta Imre: Gázturbinás hajtóművek termodinamikai modellezése és a modellek alkalmazása, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1993.
- [5] - Cserkaszov, B. A.: Avtomatika i regulirovanije V. R. D., Masinosztroenyie, Moszkva, 1988.
- [6] - Gazoturbinnój dvigatjel 88, Rukovodszta po techn. expl, 1986.

The method of modelling applied in theory of control is able to investigate transient and transfer functions and stability of the whole control loop. This paper deals with the analyses of the behaviour of gas turbine engine and its flight weight governor as a control loop.

