

A folyamatműszerezés érzékelői

Dinamikus modellezés AHK-módszerrel – 7.

Dr. Fock Károly

Az Analóg Helyettesítő Képek módszerét bemutató cikksorozat befejező részében elsőként a nyomásmérési gyakorlatban meghatározó jelentőségű, befogott peremű síkmembránt modellezzük, majd a módszer előnyeinek és használhatóságának demonstrálására egy összetett áramlási-elektromechanikai rendszert – egy követő rendszerű úszós szintmérőt – elemzünk.

Befogott peremű síkmembrán analóg helyettesítő képe

A nyomásmérési gyakorlatban az egyik legelterjedtebb mechanikai-áramlási átalakító a befogott peremű síkmembrán. A feladatban célunk az, hogy a membránra érvényes rugalmassági összefüggések felhasználásával meghatározzuk a szóban forgó érzékeltőre érvényes analóg helyettesítő képet.

A 1. ábra vázlatából látható, hogy a szilárdan befogott perem miatt a membrán hogyan deformálódik, ha a membrán közepére erő hat. A mechanikai szakkönyvekben található táblázatos összefüggések felhasználásával a kör alakú membrán sugártól függő deformációja a középpontban ható F erő hatására:

$$\frac{x_F(r)}{x_{0F}} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 - 2\left(\frac{r}{R}\right)^2 \ln \frac{r}{R}, \text{ ahol } x_{0F} = \frac{R^2}{16\pi N} F,$$

ill. p nyomás hatására:

$$\frac{x_p(r)}{x_{0p}} = \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]^2, \text{ ahol } x_{0p} = \frac{R^4}{64N} p.$$

Az egyenletekben N az E és ν rugalmassági tulajdonságoktól, valamint a membrán h vastagságától függő tényező, amelynek kifejezése a 1. ábrán látható.

A 2. ábra analóg helyettesítő képe elemeinek számítása befogott peremű síkmembrán esetén¹:

$$\varphi = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \frac{x_F(r)}{x_{0F}} 2\pi r dr = 0,25,$$

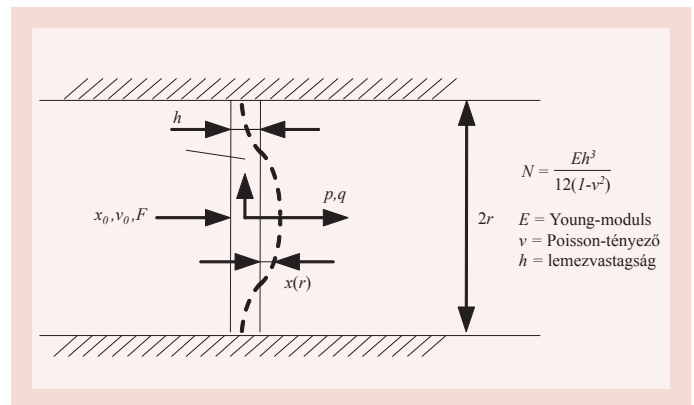
$$C_{Aii} = \frac{x_{0p}}{p} \int_0^R \frac{x_p(r)}{x_{0p}} 2\pi r dr = \frac{\pi}{3} \frac{R^6}{64N},$$

$$n_k = \frac{R^2}{16\pi N},$$

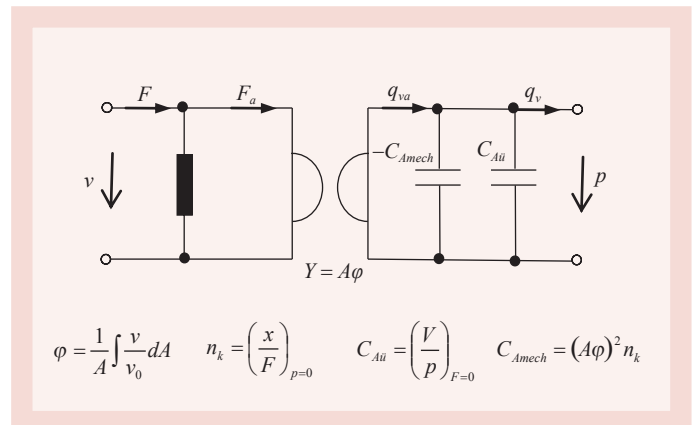
$$C_A = C_{Aii} - (A\varphi)^2 n_k = \frac{\pi R^6}{12 \cdot 64N}.$$

Ezeket az értékeket kell a 2. ábra elemeinek a kiszámításához behelyettesíteni.

¹ V.ö.: Dr. Fock Károly: Dinamikus modellezés AHK-módszerrel – 6. Magyar Elektronika 2011/1-2, 43. old.



1. ábra Befogott peremű síkmembrán rugalmas deformációja

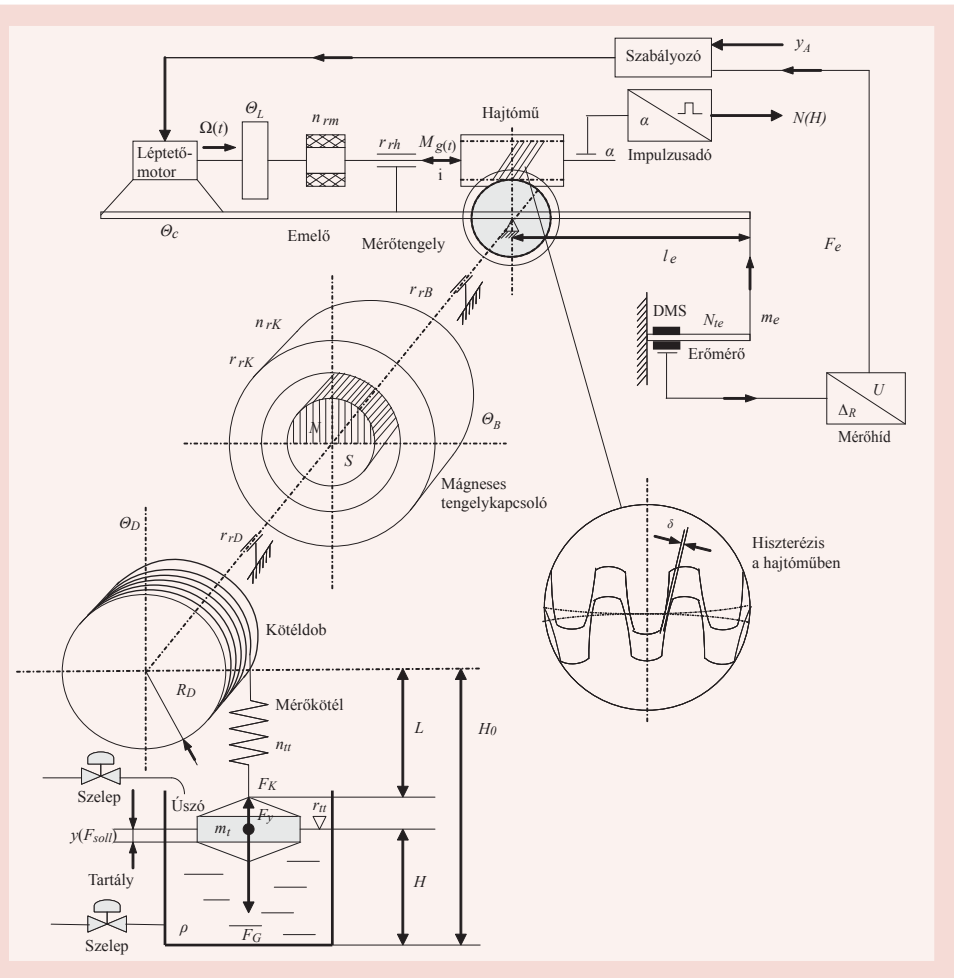


2. ábra Valódi mechanikai-áramlási (akusztikai) átalakító analóg helyettesítő képe

Nagy pontosságú úszós szintmérő identifikációja

A kőolajfeldolgozó ipar üzemének fontos részei a nagyméretű tárolóartályok, amelyben a kőolajszármazék szintjét – a szintváltozás 10 m nagyságrendű is lehet – mm-es pontossággal kell mérni. Ennek a nagy pontosságot igénylő mérési feladatnak bevált eszköze a követő rendszerű, úszós szintmérő. Mint ismert, az úszó mindenkorli helyzetéből lehet a folyadékszint magasságára következtetni. Az úszó csak akkor képes a folyadékszint változását hűen követni, ha az úszóra ható erők folyamatosan egyensúlyban vannak. Ezt a feltételt csak automatikus kompenzációs módszerrel lehet megvalósítani.

A 3. ábrán egy ilyen szintmérő berendezés mechanikai vázlatát látható. Az úszó állandó bemenülési szintjét egy kötéldobra csévelt huzal folyamatos utánaengedésével szabályozzuk. Kiegyenlítetlenség esetén az úszót tartó kötél erő és ennek hatására a kötéldobra ható nyomaték is megváltozik, ami a kétkarú emelőt egyensúlyi helyzetéből kimozdítja. Az elfordítás hatására az emelő végén ható erőt egy nyúlásmérő ellenállásos erőmérő méri. Kimeneti feszültsége – egy szabályozó ellenőrző jeleként – a szabályozó beavatkozó jelét úgy változtatja meg, hogy az működésbe hozza egy léptetőmotort, ami egy mechanikai láncon keresztül az emelőt ismét egyensúlyi helyzetbe hozza. Az úszó bemenülési szintjét a szabályozó alapjelével lehet beállítani, az úszó H helyzete pedig (a kötélnél L hossza) a léptetőmotor tengelyére szerelt impulzusadóval mérhető (a kimeneti impulzusok száma $N(H)$). A berendezés működésének lényeges elemeit képezi még a kötéldob és a csigahajtás közé szerelt mágneses tengelykapcsoló, valamint a léptetőmotorra szerelt lendítőkerek és a motor tengelykapcsolója. A működés elemzése során számolnunk kellett a hajtómű fogaskerekeinek fogprofiljai közötti hézaggal mint hiszterézissel.



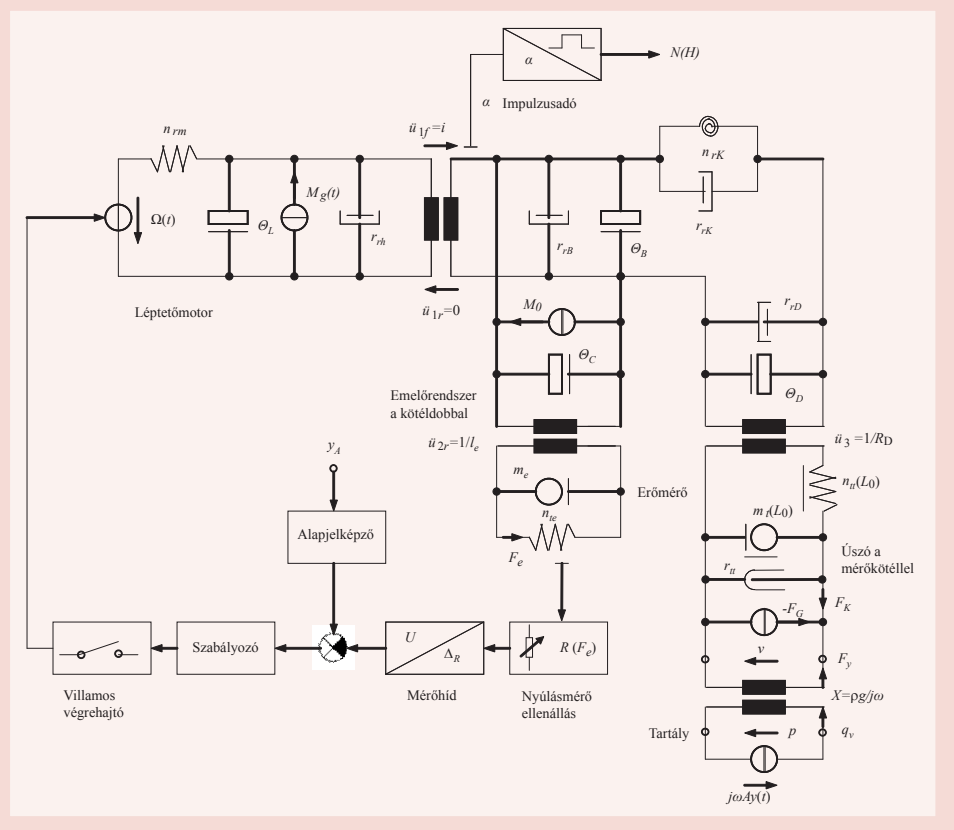
3. ábra Nagypontosságú úszós szintmérő felépítése

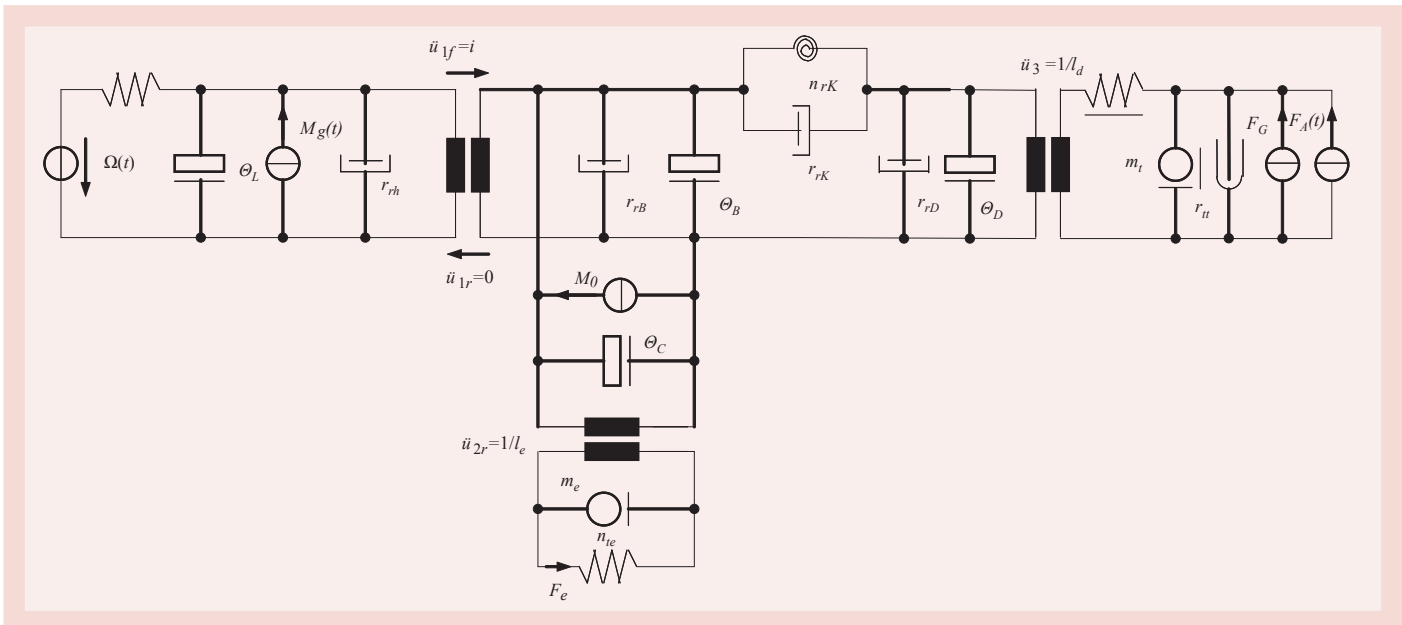
A vázolt szintmérő rendszer kísérleti példányát nem teljesítette az előírt pontossági követelményeket. Működés közben lengett, ezért az azonosítási feladat során ennek okát kellett kideríteni és javaslatot adni a helyes beállításra [6]. A feladat itt kapcsolódik az analóg helyettesítő képek módszeréhez. A translációs, valamint rotációs mechanikai és az áramlási rendszerek közötti kapcsolatok bonyolult dinamikai viszonyait legcélszerűbben így lehetett modellezni.

A 3. ábrán a mérőrendszer szabályozási körét felépítő elemeket és változókat is feltüntettük az AHK-rendszerben definiált jelölésekkel. Jelentésük az ábra alapján egyértelmű, külön felsorolásukat terjedelmi okok miatt mellőzzük. Az ábrából követhető, hogy a mindenkori H szintmagasságot az L kötélnél hosszúsággal mérjük, amit a kompenzációs mérőrendszer egy impulzusadó $N(H)$ impulzusaivá alakítja át.

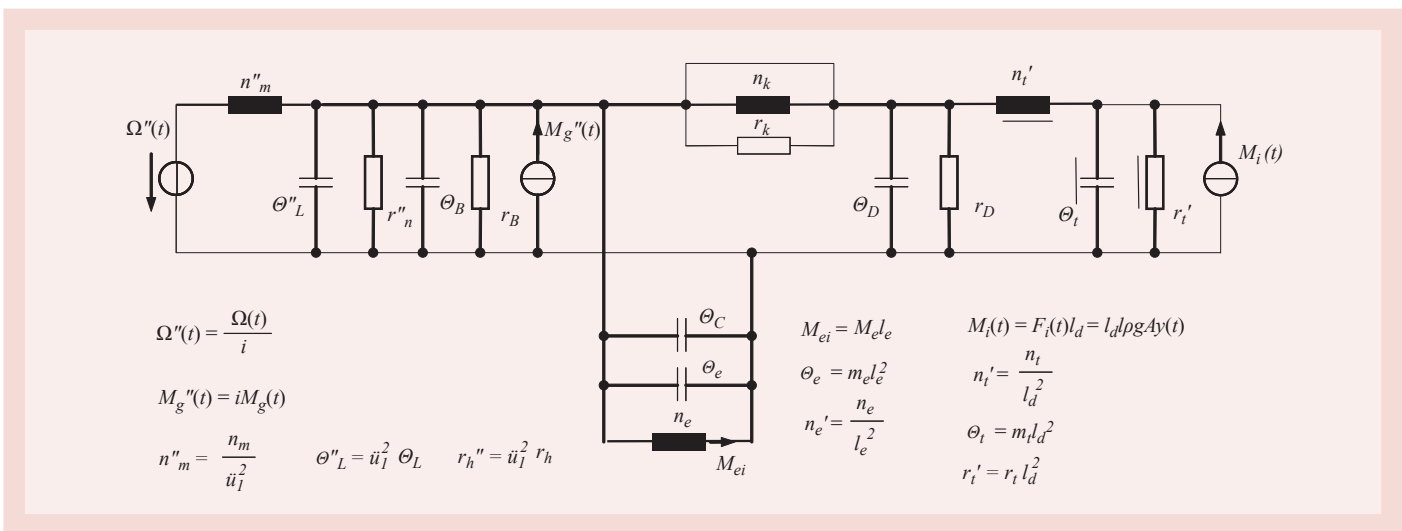
A szabályozási kör a 4. ábrán ismételtelen látható, amelyen a szabályozott szakaszt a dinamikus vizsgálatok megkönnyítésére – az analógia alapját ké-

4. ábra Úszós szintmérő dinamikus modellje (A szintmérő szabályozási köre az úszó y bemenülését állandó értéken tartja)





5. ábra Szintmérő készülék mechanikai sémája



6. ábra A szabályozott szakaszdinamikus viselkedésének villamos analóg képe

pező mechanikai sémával ábrázoltuk. A szabályozott szakasz főbb működési egységeit transzformátorok kapcsolják össze. Érdekesség (és a működés szempontjából alapvető), hogy a csigahajtás a csiga → fogaskerék irányban önzáró – ami azt jelenti, hogy a motort a kétkarú emelő forgatni nem tudja. Az úszó transzformátoráttele csak az AHK-változóinak megválasztása miatt komplex mennyiség. A vázlatban az úszó F_G súlyát és az emelő M_0 statikus nyomatékát a dinamikus vizsgálatokból úgy lehet kihagyni, hogy áramgenerátorait szakadással helyettesítjük.

Az impedanciaelemek közül a mérőkötél n_t jelű rugómerve-sége és m_t tömege nemlineáris, az L kötélfhosszúság függvénye. A linearizálás érdekében a vizsgálatokat mindig egy L_0 hosszúságnál tudjuk csak a modell segítségével elvégezni. Az analízis során derül csak ki, hogy a különböző L_0 kötélfhosszúságok milyen hatással vannak a szintmérő működésre.

Mint a bevezetőben már említettük, a szintmérő kísérleti példánya a pontossági követelményeket nem teljesítette, stabilitási problémák voltak, a mérőrendszer 10 Hz-hez közeli frekvenciával viszonylag kis csillapodással lengett.

A hiba kijavításának első lépése a szabályozott szakasz dinamikus identifikációja volt. A vizsgálat során kialakított dina-

mikus modellből egyrészt ötleteket kaphatunk arra, hogy mely paraméter(ek) módosításával lehet a lengési hajlamot csökkenteni, ill. hogyan kell a szabályozó paramétereit a stabilitás elérése érdekében beállítani.

A cikk célja az analóg helyettesítő képek módszere használhatóságának bemutatása. Ezt a célt legszemléletesebben úgy érjük el, hogy megadjuk az AHK alapján számított és a kísérleti modellben elvégzett mérések eredményeinek összehasonlítását.

Az elméleti vizsgálat lépései a 4. ábrából kiindulva:

- **Az AHK felrajzolása:** Az 5. ábrán a szabályozott szakasz mechanikai sémája látható, amelyből úgy kapjuk a 6. ábrán látható villamos analóg képet, hogy azt az emelőrendszerre transzformáljuk át. A transzformálás eredményeként kapott változókat és mennyiségeket az ábrán feltüntettük.
- **Átviteli karakterisztikák meghatározása:** Az AHK-ból is látható, hogy a szabályozott szakasznak több bemeneti jele is van ($\Omega(t)$, $M_g(t)$, $y(t)$), kimenetnek az F_e erőt tekintjük. Mivel a rendszer lineáris, (illetve adott L_0 kötélfhosszúságnál linearizált) a szuperpozíció felhasználásával számíthatók az egyes bemenő mennyiségekre vonatkozó, átviteli karakterisztikák, a $|W(j\omega)|$ amplitúdó, ill. az $\arg W(j\omega)$ fáziskarakterisztikák.

• időtartománybeli viselkedés számítása:

- $s=j\omega$ helyettesítéssel meghatározzuk a $W_i(s)$ átviteli karakterisztikákat,
- kiszámítjuk az $\Omega(s)$, $M_g(s)$ és $y(s)$ gerjesztések Laplace-transzformáltjait,
- képezzük az F_{ei} kimeneti jelek Laplace-transzformáltjait, vagyis az

$$F_{e1}(s) = W_1(s)\Omega(s) \quad , \quad F_{e2}(s) = W_2(s)M_g(s) \quad \text{és az}$$

$$F_{e3}(s) = W_3(s)y(s)$$

függvényeket,

- a kimeneti jeleket az inverz Laplace-transzformációval az időtartományba transzformáljuk.

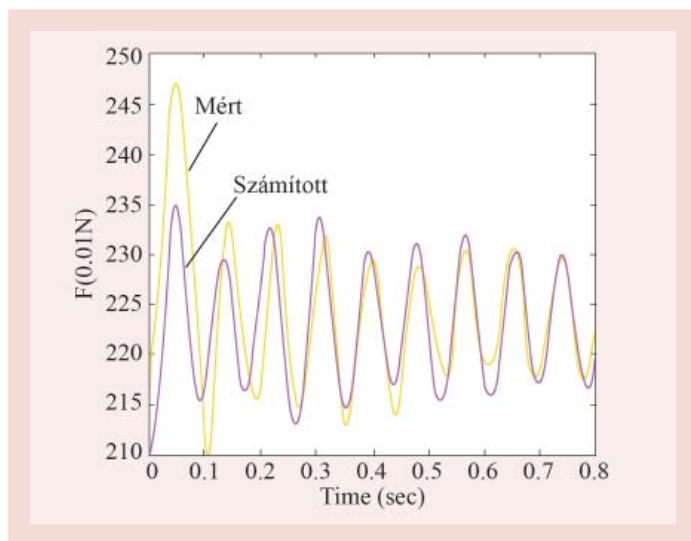
Az elméleti eredményeknek a kísérleti berendezéssel való összehasonlíthatósága érdekében a következő lépés az egyes elemek numerikus kiszámítása. A hálózat bonyolultsága miatt a számítás elég hosszadalmas, a $W_i(j\omega)$ frekvenciakarakterisztikák képletei is eléggé áttekinthetetlenek, ezért közlésüktől terjedelmi okok miatt eltekintünk.

A Bode-diagram, valamint az átmeneti függvény kiszámításához viszont a MATLAB ToolBox készletéből az IDENT-programrendszer eredményesen felhasználható, ezért a bonyolultság ellenére viszonylag egyszerűen lehet eredményt kapni.

A kísérleti berendezésen végzett mérések során az átmeneti függvények felvételére nyílt lehetőség, és itt demonstrációképpen a

$$W_1(j\omega) = \frac{F_e(j\omega)}{\Omega(j\omega)}$$

frekvenciakarakterisztikából számított és a méréssel felvett átmeneti függvényeket hasonlítjuk össze (7. ábra).



7. ábra A szabályozott szakasznak a léptetőmotor szögsebességére vonatkoztatott átmeneti függvényei ($L_0=1,6$ m, a közeg levegő)

A méréssel felvett átmeneti függvény jellegzetességei:

- a berendezésnek van egy kb. 12 Hz-es lengési alappfrekvenciája,
- a lengési amplitúdók csökkennek, de a csökkenés nem tisztán exponenciális, kb. 4 Hz-es, kisebb amplitúdójú lüktetés figyelhető meg rajta,
- feltűnő az átmeneti függvény első félperiódusának aránytalanul nagy amplitúdója. Minden valószínűség szerint ez a csigakerekes hajtómű foghézagából származó, induláskor bekövetkező ütés eredménye.

Látható, hogy a számított eredmények jól követik a méréssel felvett időfüggvényt. Az átviteli függvény pólusaiból számított frekvenciák: 11,74 Hz és 7,96 Hz, a kettő különbsége 3,78 Hz. Ezek a méréssel jól egyeznek, az amplitúdó lüktetése a két közelálló frekvencia interferenciájából ered.

Ha a belépő ugrás alakú jelhez még hozzáveszünk egy fél szinusz alakú impulzust is – szimulálva ezzel a foghézag hatását – ,akkor a számított időfüggvény első félperiódusa feltűnően nagy lesz, ami igazolja a jelenség feltételezett okát.

Összefoglalás

A cikksorozat keretében áttekintő összefoglalást adtunk az analóg helyettesítő képek módszeréről. A definíciók ismertetése után néhány mérés technikai vonatkozású példával szemléltettük a módszer használhatóságát. A különféle rendszereken belüli és a rendszereket összekötő elemek segítségével fontos dinamikai tulajdonságok határozhatók meg a villamos hálózatszámítás eszközeivel.

Természetesen az analóg helyettesítő kép elemeinek a definíciója és kialakítása, és a különféle rendszerek viselkedése és rendszerek közötti kapcsolatoknak a leírása során egy sor egyszerűsítő feltételezés felhasználásával kizárólag a fizikai folyamatokból szabad és kell kiindulni.

Az AHK-módszer „közös nevezője” az energetikai szemlélet, hiszen az energia az a mennyiség, ami minden rendszerben közös. Fontos feltétel volt a rendszerek kapcsolatának vizsgálata során, hogy az energia állapotfüggvény legyen. Folyamatosan feltételeztük a lineáris összefüggéseket. Ha a fizikai összefüggésekből, jelenségekből a lineáristól eltérő működés következett, akkor kis jelváltozásokra a munkaponti linearizálás módszerét követtük. A nemlineáris rendszer elemeket pedig – alkalmanként elég durva közelítésként – lineárisnak feltételeztük (pl. Coulomb-féle súrlódás).

A rendszerek kapcsolatát megvalósító eszközök – átalakítók, aktív érzékelők – tárgyalása csak a komplementer változópárokkal lehetséges. Nem komplementer változópárok használatával csak rendszeren belüli modellezést lehet megvalósítani.

Amennyiben az analóg helyettesítő kép – az ismertetett módszer alapján – egy villamos hálózat, annak az az előnye, hogy a modellezésbe bevont minden rendszer egyfajta – a villamos hálózatszámításhoz kidolgozott – módszer és számítástechnikai eszköztár felhasználását igényli, legyen az „papír–ceruza” technika, vagy pedig speciális programrendszereken alapuló, számítógépen lefuttatható eljárás.

IRODALOM

- [1.] A. Lenk: Elektromechanische Systeme Band 1: Systeme mit konzentrierten Parametern, VEB Verlag Technik, Berlin, 1973
- [2.] B. C. Kuo: Önműködő szabályozó rendszerek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- [3.] Bosznay Á.: Mechanikai lengéstan, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest, 1956
- [4.] Bársony A.: Az analóg helyettesítő képek módszere. Segédanyag az Ipari folyamatok mérés technikája c. tárgyhoz, Budapesti Műszaki Egyetem, Folyamatszabályozási Tanszék, 1976
- [5.] A. Lenk: Elektromechanische Systeme Band 2: Systeme mit verteilten Parametern, VEB Verlag Technik, Berlin, 1977
- [6.] Fock K. - Juhász F.-né - Laczházi Gy.: NIVOTRAN-MINI folyadékszintmérő mechanikai rendszerének statikus és dinamikus elemzése, Com-Cont Kft., Budapest, 1996

(Folytatjuk!)

editor@magyar-elektronika.hu