

A folyamatműszerezés érzékelői

Dinamikus modellezés AHK-módszerrel - 3.

Dr. Fock Károly

Az analóg helyettesítő képek (AHK) módszerének alkalmazásával a dinamikus modellezés szemléletes és egységes elvek alapján tárgyalható. A cikksorozat alábbi folytatásában az aktív átalakítók analóg helyettesítő képének a tárgyalását kezdjük el. A mérés technikai szemlélet feltételezi a veszteségmentes jelátvitelt, ami ideális transzformátorok és girátorok használatát teszi lehetővé.

Aktív átalakítók analóg helyettesítő képe

Napjaink civilizált társadalmá elképzelhetetlen a gőz-, gáz- és vízturbinák, a szivattyúk és ventilátorok, a villamos generátorok és villamos motorok, a gépkocsik motorjában alkalmazott dugattyúk és a sűrített levegőt előállító kompresszorok, vagy szintén a robbanómotorokban alkalmazott translációs mozgást forgómozgássá átalakító hajtóművek, a megújuló energiaforrások között megjelenő napelemek és a világításra egyre gyakrabban használt led-fényforrások stb. nélkül.

A felsorolt eszközök, berendezések mindegyikére jelátviteli szempontjából az jellemző, hogy különböző rendszerek között teremtenek kapcsolatot. A fenti eszközök felsorolásának sorrendjében az áramlási és rotációs mechanikai, a villamos és rotációs mechanikai, az áramlási és translációs mechanikai, a villamos és sugárzási mennyiségek közötti kapcsolatról van szó. A szóban forgó eszközök mindegyikére jellemző, hogy energiát alakítanak át, és kialakításuknál is ez az energiaszemlélet a döntő. Elsődleges szempont a szükségképpen keletkező veszteségek csökkentése, a hatásfok javítása.

Információátviteli szempontból azonban másodlagosak a veszteségek, helyükbe a mérés technikában megfogalmazott elvárások lépnek, amelyek pontosságot, reprodukálóképességet, megbízhatóságot és megfelelő dinamikus tulajdonságokat jelentenek. Energetikailag azonban a nagy teljesítményátvitelre kifejlesztett berendezésekkel közös tulajdonság, hogy működésük során a különböző rendszerek között teljesítményt visznek át, a működésükhöz szükséges energiát az összekapcsolt rendszerekből nyerik, működésükhöz segédenergiára nincs szükség. Ezek tehát a mérés technika aktív átalakítói, amelyek rendszerüket tekintve hasonlóak a bevezetőben felsorolt berendezésekhez.

Gondoljunk csak például a turbinás áramlásmérőre vagy a meteorológiában használt kanalas anemométerekre, az analitikai műszerek membránszivattyúira, a különböző villamos tachométerekre és szervomotorokra, a membrános nyomásmérőkre, a megvilágítás mérésére szolgáló fénylemekre, ill. a led-kijelzőkre stb.

A bevezetett rendszer-analógia lehetővé teszi ezeknek az aktív átalakítóknak az egységes tárgyalását, ami egyben a dinamikus rendszerekbe való beilleszthetőségüket is megkönnyíti.

Az aktív átalakítók analóg helyettesítő képének felrajzolásához elengedhetetlen az energetikai szemlélet. Feltételezzük, hogy a primer oldalon beáramló energia veszteség nélkül megjelenik a szekunder oldalon, és az energiaáramlás iránya megfordítható. A tárgyalásmódban itt az jelent könnyebbséget, hogy az átalakítóval összekapcsolt rendszereket komplementer változópárjaival írjuk le.

A műszaki fejlődés gyorsuló üteme egyre újabb és újabb átalakítótípus kifejlesztését tette szükségessé az aktív eszközök családjában is, emiatt teljességre nem törekedhetünk. Az ismer-

tett tárgyalásmód azonban lehetővé teszi az újabb eszközök hasonló elemzését és az analóg helyettesítő képek rendszerébe való beillesztését.

Transzformátorok, girátorok

Mielőtt a konkrét rendszerek közötti kapcsolatra rátérnénk, célszerű a hálózatszámításban szokásos kétfajta teljesítmény-átalakítót megismerni, jelátviteli tulajdonságait elemezni [1].

Az átalakító egy lineáris kétkapu, amely az 1- és 2-jelű rendszer e_1 és e_2 feszültségtípusú, ill. az i_1 és i_2 áramtípusú változóit kapcsolja össze (1. ábra). Mivel feltételezésünk szerint teljesítményvesztés az átvitel során nincs, ezért a bemeneti és kimeneti teljesítmény azonos, azaz.

$$e_1 i_1 = e_2 i_2.$$

Az egyenlet szerint a bemenő (primer) és a kimenő (szekunder) változók közötti kapcsolat alapvetően kétféle típusú lehet:

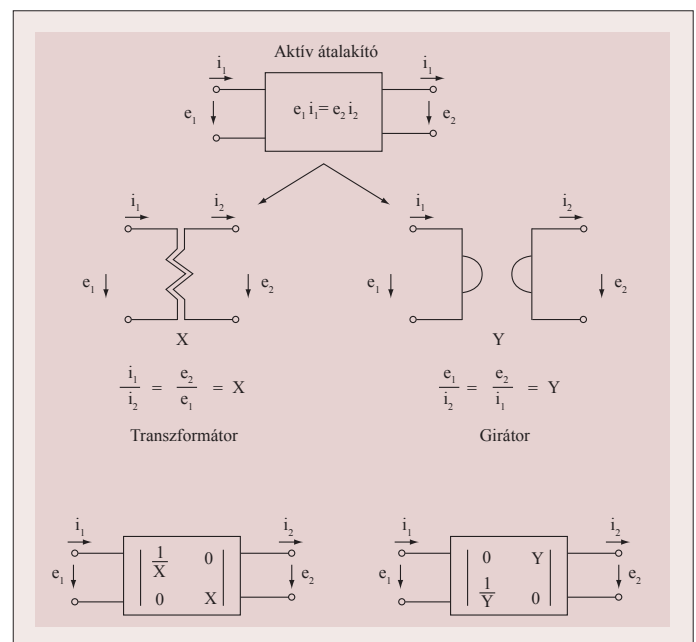
$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{e_2}{e_1} = X, \text{ ill.}$$

$$\frac{e_1}{i_2} = \frac{e_2}{i_1} = Y,$$

ahol X és Y állandó.

Az első egyenletet megvalósító eszközt transzformátornak, a második kapcsolatot megvalósító elemet girátornak nevezzük.

1. ábra Ideális teljesítményátalakítók definíciója



Azt, hogy a kétféle elem közül egy konkrét esetben melyiket használjuk, a vizsgált fizikai rendszerek közötti összefüggést leíró egyenletek döntik el oly módon, hogy X vagy Y tekintetű-e állandónak.

Az átalakítót modellező elem típusát az analógia kialakítása során az is befolyásolja, hogy a nemvillamos rendszerek változóparjai közül melyiket deklaráljuk feszültségtípusú, és melyiket áramtípusú változónak (duális hálózatok). A cikk-sorozat bevezető részében közölt változéválasztás a lehetséges változatok egyikét tartalmazza. Természetesen ez csak formai kérdés, a fizikai összefüggések döntik el lényegében a rendszerek közötti kapcsolatokat, a transzformátoros vagy girátoros jelölés csak modellezési kérdés.

A 1. ábra tartalmazza azokat a jelölési módszereket, amelyekkel az irodalom a transzformátort, ill. a girátort jelölni szokta. Az aktív átalakítók négy-pólus-technikai tulajdonságai a csatoló négy-pólus egyik oldaláról a másikra történő transzformálása során a 1. ábra bal oldalán látható, ideális transzformátor esetén megtartják a kapcsolástechnikai struktúrát. Például elektromechanikai átalakítás során a transzformátoros tulajdonságokat a 2. ábra foglalja össze.

Girátorok esetében a csatoló négy-pólus a villamos és a mechanikai struktúra között a duális leképezést valósítja meg. A duális leképezésnek a szabályait az 1. táblázatban feltüntetett hozzárendelések határozzák meg. Az impedanciaelemek áttranszformálási szabályait ennek megfelelően a 3. ábrán láthatjuk.

Villamos rendszer	Mechanikai rendszer	
	Transzlációs	Rotációs
L	m	Θ
C	n_t	n_r
R	r_t	r_r
Parallel kapcsolás	Soros kapcsolás	
Soros kapcsolás	Parallel kapcsolás	
Áramforrás	Sebesség	Szögsebesség
Feszültségforrás	Erő	Nyomaték

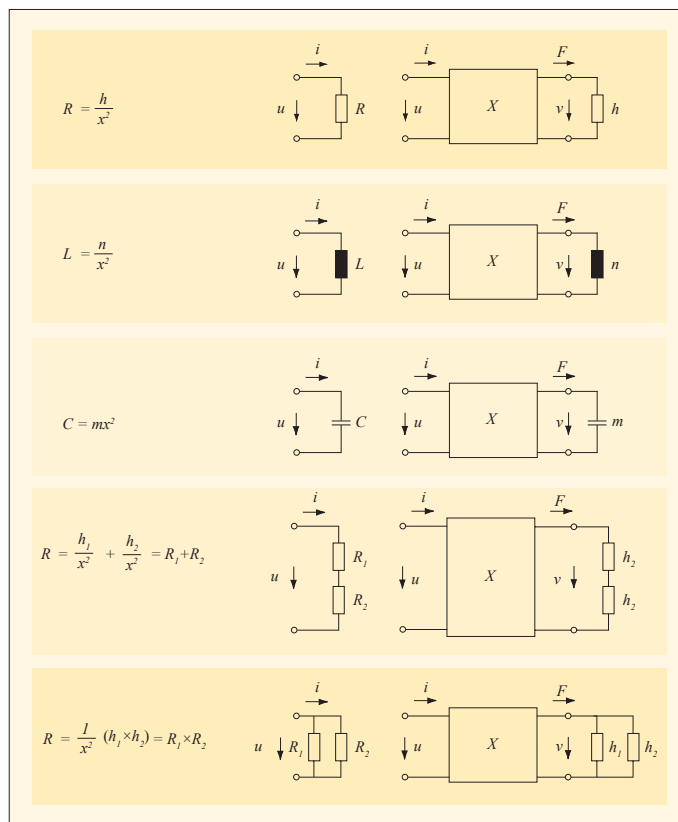
1. táblázat Girátor duális leképezési tulajdonságai

Elektromechanikai átalakítók

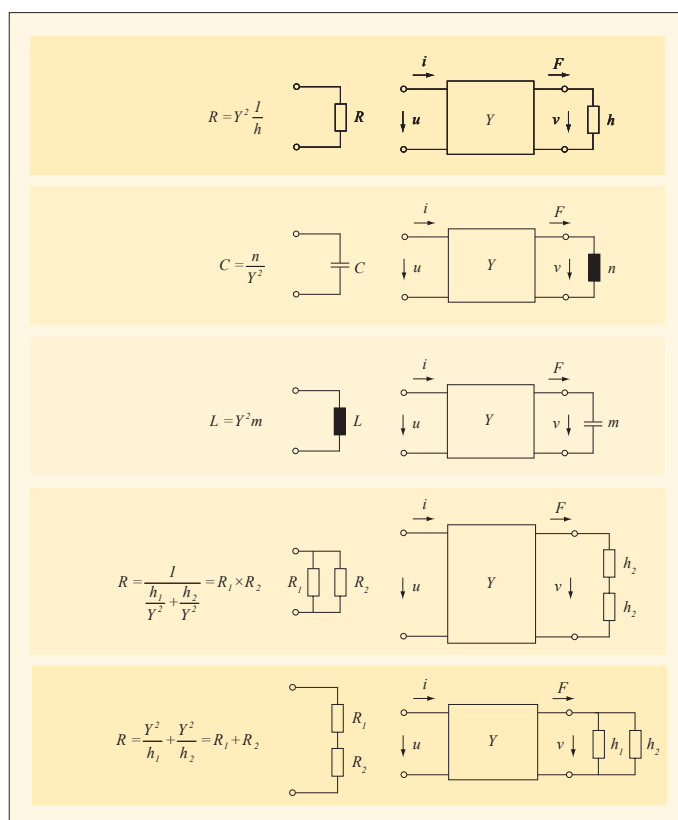
Az alábbiakban a transzlációs mechanikai és a villamos rendszerek közötti kapcsolatról lesz szó. A rotációs mechanikai és a villamos rendszerek közötti kapcsolat kétféleképpen valósítható meg. Az egyik lehetőség a közvetlen jelátalakítás (pl. villamos motorok, tachogenerátorok); a másik a forgómozgás átalakítása transzlációs mozgássá, majd második lépésben ennek villamos jellé transzformálása. A közvetlen átalakítás hasonló megfontolások alapján lehetséges, mint transzlációs esetben, a módszert ez utóbbi példáján keresztül mutatjuk be.

Villamos oldalról tekintve az elektromechanikai kapcsolatok kétfélék lehetnek, attól függően, hogy elektrosztatikus vagy mágneses jelenségeken keresztül valósulnak meg. A felosztásnak megfelelően beszélünk az elektromechanikai átalakítók családján belül villamos, ill. mágneses átalakítókról. A tárgyalás során minden esetben a mérés-technikai szemléletet tekintjük elsődlegesnek, és a választott alkalmazástechnikai példák is ebből a körből valók.

A tárgyalás során az u , i , ill. f , v – ún. intenzív – változóparok mellett használni fogjuk ezen változók idő szerinti integrális meny-



2. ábra Ideális transzformátor transzformálási tulajdonságai elektromechanikus rendszerekben



3. ábra Ideális girátor transzformálási tulajdonságai elektromechanikus rendszerekben

nyiségeit is – az extenzív változókat –, amelyek a fizikában szintén ismert fogalmak, hiszen a Φ mágneses fluxusról, a Q villamos töltésről, a p impulzusról, ill. az x elmozdulásról van szó a $\Phi = \int u dt$, $Q = \int i dt$, $p = \int F dt$ és az $x = \int v dt$ definíciós összefüggések szerint.

E mennyiségek használatát az energiaszámleletű tárgyalás teszi szükségessé. Az energiamegmaradás feltételéből indulunk ki, és a jelátalakítás során feltételezésünk szerint veszteség nem lép fel; az energia kifejezéséhez pedig mind az intenzív, mind az extenzív változókra szükség van.

Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy ha az általános intenzív változót j -vel, az általános extenzív változót pedig q -val jelöljük, akkor egy energiatároló elemében (kapacitás, induktivitás, tömeg, rugó) az energiaváltozás a $dW=jdq$ alakban írható le. Ha az energiatároló elemek egy átalakítón belül két fizikai rendszerből származnak, akkor a rendszer energiájának teljes megváltozása j_1, q_1 és j_2, q_2 változó párok esetén:

$$dW=j_1dq_1+j_2dq_2 \ .$$

A két rendszer közötti kapcsolatot az jelenti, hogy a j_1 változó a q_1 mellett a q_2 -től, és a j_2 változó a q_2 mellett a q_1 -től is függ, tehát:

$$j_1=f_1(q_1, q_2) \text{ és } j_2=f_2(q_1, q_2) \ .$$

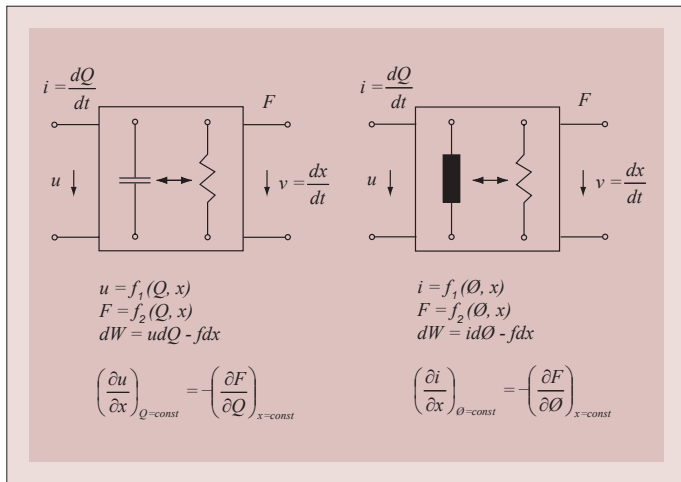
A továbbiakban azzal a megszorítással élünk, hogy feltételezésünk szerint az átalakító W összenergiája a q_1 és q_2 változók egyértelmű függvénye, azaz dW teljes differenciál (vagyis a vegyes másodrendű deriváltak egyenlők). A megállapítások következménye:

$$j_1=f_1(q_1, q_2)=\frac{\partial W}{\partial q_1},$$

$$j_2=f_2(q_1, q_2)=\frac{\partial W}{\partial q_2}, \text{ és}$$

$$\frac{\partial j_2}{\partial q_1}=\frac{\partial j_1}{\partial q_2} \longrightarrow \text{(a vegyes parciális deriváltak egyenlőségéből).}$$

Az elmondottakat az elektromechanikai átalakítókra alkalmazva a villamos és mágneses átalakítókat a 4. ábrán látható módon különböztethetjük meg egymástól.



4. ábra Elektromechanikus átalakítók, amelyeknél az energia állapotfüggvény

Villamos átalakítók analóg helyettesítő képe

A 4. ábra bal oldalán látható átalakító villamos és mechanikai változói közötti kapcsolat leírásához mindenekelőtt fel kell té-

teleznünk a lineáris összefüggéseket. Ha a kapcsolódást leíró egyenletek nemlineárisak, akkor egy Q_0, x_0 munkapont környezetében kis kitérésekre lineáris közelítéssel élünk. A $du=u-u_0$ és $dF=F-F_0$ lineárisnak feltételezett változások az f_1 és az f_2 függvény Taylor-sorának lineáris tagjaival adhatók meg, ahol a változók $dQ=Q-Q_0$ és $dx=x-x_0$ jelölésével:

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial Q}\right)_{x=x_0} \cdot dQ + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{Q=Q_0} \cdot dx$$

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial Q}\right)_{x=x_0} \cdot dQ + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_{Q=Q_0} \cdot dx$$

A parciális differenciálhányadosoknak konkrét fizikai jelentésük van:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial Q}\right)_{x=x_0} = \frac{1}{C_b}, \text{ ahol}$$

C_b a mechanikailag rögzített rendszer kapacitása, és

$$-\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_{Q=Q_0} = \frac{1}{n_t}, \text{ ahol}$$

n_t a villamosan üresen futó rendszer rugóingedékenysége.

A $\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{Q=Q_0}$, $\left(\frac{\partial F}{\partial Q}\right)_{x=x_0}$ ill. a vegyes parciális deriváltak

egyenlők, amelyeket a továbbiakban T_0 -val jelöljük:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial Q}\right)_{x=x_0} = -\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{Q=Q_0} = T_0 \ .$$

Az egyenletben szereplő negatív előjel amiatt van, hogy a 4. ábrában a rugó által végzett munkát tüntettük fel. A differenciálhányadosok kiszámításához szinuszos jelváltozásokat feltételezve, az átalakító működését leíró egyenletrendszerre az alábbi alakot kapjuk (a változók most komplex amplitúdók):

$$F = \frac{T_0}{j\omega} i - \frac{1}{j\omega n_t} v$$

$$u = \frac{1}{j\omega C_b} i - \frac{T_0}{j\omega} v \ .$$

Az átalakító működését leíró egyenletrendszer hibája, hogy a keresztkapcsolatokat leíró csatoló paraméterek frekvenciafüggők

$$\left(\frac{T_0}{j\omega}\right) \ .$$

Algebrai átrendezéssel ez megszüntethető, és levezethető az

$$i - j\omega_0 C_b = T_0 C_b v = i_A$$

$$F + \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{n_t} - T_0^2 C_b\right) v = T_0 C_b u = F_A$$

egyenletrendszer, amelynek értelmezését megkönnyíti a 5. ábrán látható analóg helyettesítő kép. Az egyenletrendszerben

megjelenő – és a 5. ábrán is feltüntetett $-n_l = -1/T_0^2 C_b$ negatív rugóengedékenység a kapacitás tulajdonságaiból ered. (A feltöltött kondenzátorfegyverzetek mögött a vonzóerő csökken, ha a lemezek közötti távolságot növeljük). Az eredő rugóengedékenység eredője villamos rövidzárban: A frekvenciafüggetlen $Y = 1/T_0 C_b$ csatolási tényező a belső – girátor típusú – négypólus

jelenti. A belső csatoló négypólus

$$\left. \begin{aligned} u &= YF_A \\ i_A &= \frac{1}{Y}v \end{aligned} \right\} \rightarrow P_{el} = ui_A = F_A v = P_{mech}$$

$$n_k = -\left(\frac{x}{F}\right)_{u=0} = \frac{n_c n_l}{n_c + n_l} .$$

egyenletrendszere egyben azt is demonstrálja, hogy az egyik oldalra betáplált teljesítmény a másik oldalon leadottal egyenlő.

Ismételten felhívjuk a figyelmet arra, hogy az analóg helyettesítő képen feltüntetett ideális teljesítményátalakító csak a mechanikai változó pároknak a cikkben rögzített választása miatt girátor típusú. Az F erő és v sebesség szerepének felcserélése transzformátort eredményezne (természetesen a mechanikai hálózat duálképe mellett).

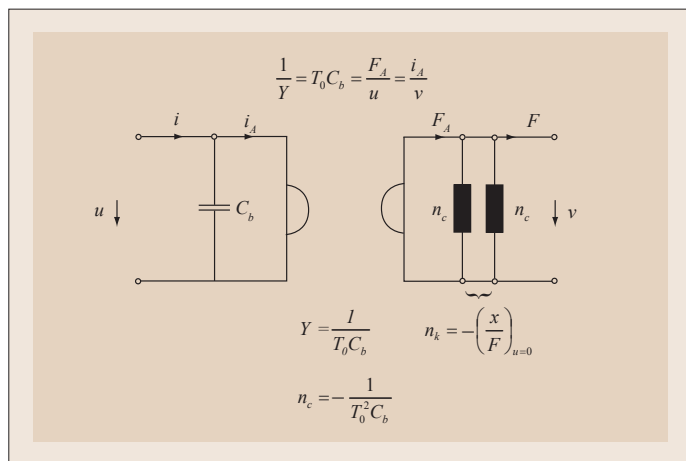
A transzformálási szabályokat a 3. ábra foglalja össze. A folytatásban az elektrotechnikai átalakítók csoportjából az elektrosztatikus, piezoelektronikus és a mágneses átalakítók tárgyalására kerül sor.

IRODALOM

- [1] A. Lenk: Elektromechanische Systeme Band 1: Systeme mit konzentrierten Parametern, VEB Verlag Technik, Berlin, 1973
- [2] A. Lenk: Elektromechanische Systeme Band 2: Systeme mit verteilten Parametern, VEB Verlag Technik, Berlin, 1977

(Folytatjuk!)

editor@magyar-elektronika.hu



5. ábra Villamos átalakítók analóg helyettesítő képe

átviteli tulajdonságait határozza meg, míg a C_b kapacitás, illetve az n_k rugóengedékenység az átalakító energiátároló képességét