

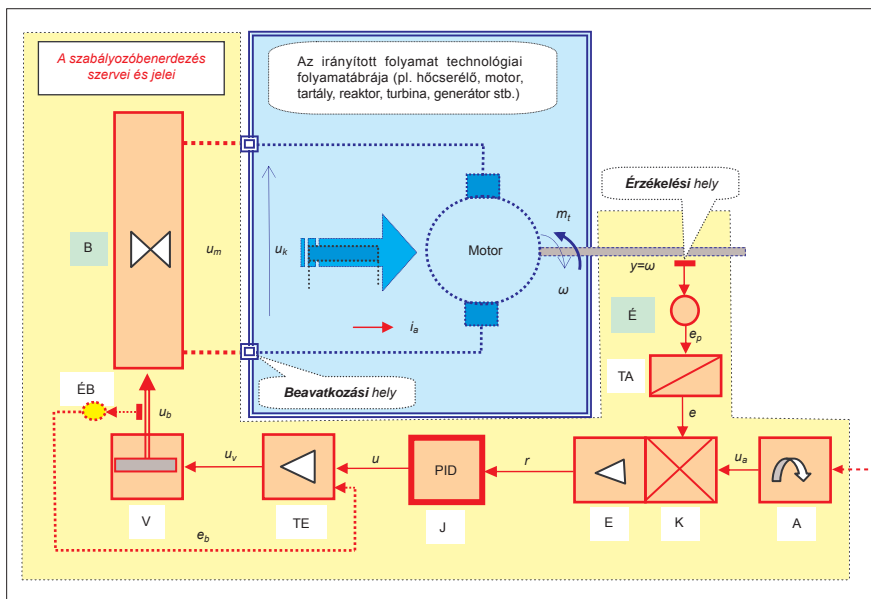
Szabályozástechnika - 3.

Dr. Szilágyi Béla – Dr. Juhász Ferencé

A cikksorozat folytatásában a szabályozási rendszerek fogalmainak a további ismertetésével foglalkozunk. A szerkezeti vázlat, a működési vázlat és a hatásvázlat alapján megismerjük az analóg- és hibrid szabályozási rendszerek szerveit és jeleit, majd a hatásvázlat tulajdonságait elemezzük.

Szerkezeti vázlat, működési vázlat, hatásvázlat. A szabályozóberendezés szerve

A rendszertechnikai vizsgálatokhoz célszerűen a szabályozás hatásvázlata alkalmas. Ennek megalkotásához a szerkezeti vázlatból kiindulva – az absztrakció mélyítésével – a működési vázlaton keresztül vezet az út. A szerkezeti vázlat mellett (a szabályozási rendszer jeltermésének ábrázolására), a rendszer **működési vázlata** is felhasználható. Ezen a működési vázlaton a technológiai folyamatábrával van feltüntetve a szabályozott folyamat (pl. melegvíztároló, egyenáramú motor, tartály, villamos gép, vegyipari reaktor, hőcserélő, kazán, turbina, villamos generátor, vagy más tetszőleges technológia), a folyamathoz illesztett, és az irányítási rendszerben szerepet játszó, funkcionális feladatokat ellátó **szervek** pedig, szabványokban rögzített jelképrendszerrel kerülnek ábrázolásra. Az egyenáramú motor fordulatszám-szabályozása esetében például ezt a működési vázlatot az 1. ábra mutatja.



1. ábra A fordulatszám-szabályozási rendszer működési vázlat a szabályozóberendezés szerve és jelei

A szabályozási rendszer szerve és jelei

Az 1. ábrán ábrán vázolt és az 1. táblázatban felsorolt szervek a nevükben jelölt *szabályozástechnikai részfeladatokat ellátó*, kimenő–bemenő jellel rendelkező, *funkcionális szerkezeti egységek*. A szervek mindegyike önmagában is egy-egy dinamikus rendszer, ami a fizikai működésmód természetes velejárója. Mindegyik szerv kimenőjele a bemenőjelenek a függvénye.

1. táblázat A szabályozási rendszer szerve és jelei

Szerv	Bemenő jel	Kimenő jel
Érzékelőszerv	(É) Szabályozott jellemző	(y) Primer ellenőrző jel
Távadó	(TA) Primer ellenőrző jel	(e _p) Ellenőrző jel
Alapjellelalkészítő szerv	(A) Vezető jel	(e) Ellenőrző jel
Különbségképző szerv és előerősítő	(KE) Alapjel	(e) Ellenőrző jel
Jelformáló szerv	(J) Rendelkező jel	(r) Irányító jel
Teljesítményerősítő	(TE) Irányító jel	(u) Rendelkező jel
Végrehajtó szerv	(V) Irányító jel	(u _v) Végrehajtó jel
Beavatkozó szerv	(B) Beavatkozó jel	(u _b) Beavatkozó jel
Helyzetbeállító érzékelő szerve	(ÉB) Beavatkozó jel	(u _b) Pozíció jel

Igényesebb követelményeket kielégítő szervek önmagukban is visszacsatolásokat tartalmazhatnak. A jelformáló szerv – eltérően az összes többi szervtől – szándékoltan tervezett dinamikával rendelkezik, melynek célja az eredő szabályozási rendszer minőségi tulajdonságainak javítása.

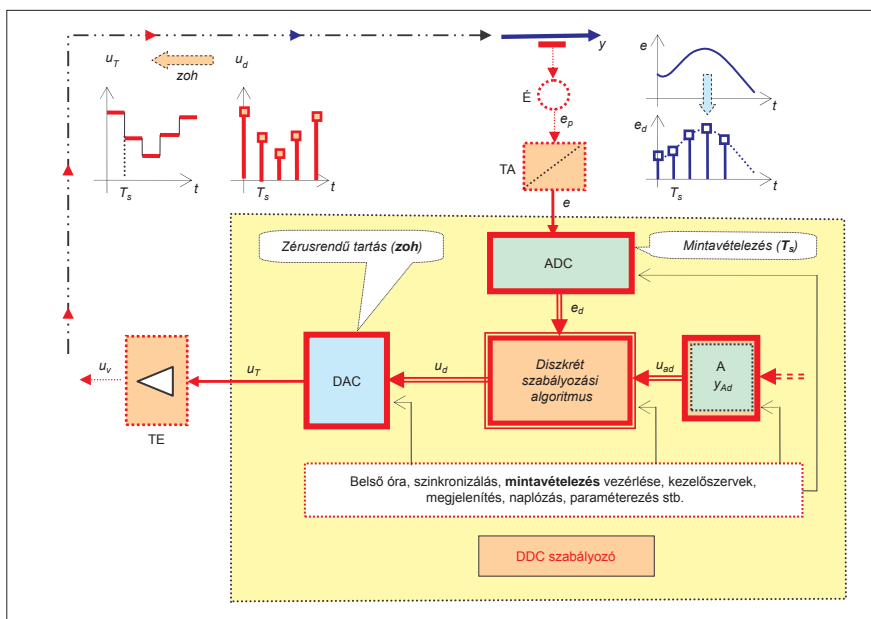
Az **érzékelőszerv (É)** feladata a szabályozott jellemzővel arányos, különbségképzésre alkalmas, *e_p ellenőrző jel* előállítás. Alapvető követelménye a pontosság, ideális esetben az *e_p* jel szigorúan arányos az *y* szabályozott jellemzővel. A **távadó (TA)** rendszerint egységes jeltartományra (4...20 mA, 0...5 mA, 0...10 V stb.) alakítja át a primer érzékelő *e_p* ellenőrző jelét, és alkalmassá teszi az üzem belüli jelátvitellel. Az **érzékelőszerv és a távadó együttes jelátviteli tulajdonságának lehetőség szerint az *e=A_Ey* lineáris, időkésés nélküli függvénykapcsolatot kell megvalósítania az *y* és *e* jelek között, ahol *A_E* az *érzékelés átviteli tényezője*.**

Az **alapjellelalkészítő szerv (A)** állítja elő a szabályozott jellemző előírt értékét (az *y_A alapértéket*) megjelenítő *u_a alapjel*. Az *u_a* alapjel úgy aránylik a szabályozott jellemző *y_A* előírt értékéhez, mint ahogy az *e* ellenőrző jel aránylik a szabályozott jellemző *y* tényleges értékéhez: *u_a/y_A=e/y=A_E*, vagyis *u_a=A_Ey_A*. **Értéktartó** szabályozásokban az irányítási cél a szabályozott jellemző állandó értékének a biztosítása. Ekkor az alapjel egy időben állandó érték, az alapjellelalkészítő szerv pedig egyfajta *stabilizátor*. **Követő** szabályozások szabályozott jellemzőjének úgy kell változnia, ahogy azt az időben változó *u_a(t)*

Szerv		Bemenő jel		Kimenő jel	
Analog-digitális átalakító	(ADC)	Ellenőrző jel	(e)	Diszkrét ellenőrző jel	(e _d)
Digitális-analog átalakító	(DAC)	Diszkrét irányító jel	(u _d)	Tartott irányító jel	(u _r)
Diszkrét alapjellelőző szerv	(A)	Vezető jel		Diszkrét alapjel	(u _{ad})
DDC szabályozó	(DDC)	Diszkrét alapjel Diszkrét ellenőrző jel	(u _{ad}) (e _d)	Diszkrét irányító jel	(u _d)

Folytonos idejű jelek: y, e_p, e, u_r, u_v Diszkrét idejű jelek: e_d, u_{ad}, u_d T_s: a mintavételezési idő

2. táblázat Hibrid szabályozási rendszer szervei és jelei



2. ábra Hibridszabályozás szervei és működési vázlata

alapjel előírja. Ekkor az alapjellelőző szerv egy menetdiagramot előállító *programadó*. Más esetekben az alapjel lehet egy másik folyamat, valamely tetszőleges jellemzőjét megjelenítő jel, ilyen esetben az alapjellelőző szerv az érzékelőszervnek megfelelő készülék, amelynek bemenő jele a *vezető jel*.

A **különbésképző szerv (K)** hozza létre az alapjel és az ellenőrző jel különbségét, és előállítja e különbséggel arányos $r=k(u_a-e)$ *rendelkező jelet* (e különbsésképzés miatt nevezzük a visszacsatolást negatívnak). Az ellenőrző jel és az alapjel energiataralma (mivel ezeket nagy pontosságú és rendszerint kis teljesítményű eszközök állítják elő) igen alacsony, ezért a további jelfeldolgozás céljából az u_a-e hibajelet a **különbésképző szerv egy előerősítővel (E)** a jelfeldolgozáshoz szükséges energiaszintre is emeli.

Az előerősítőt rendszerint egy **jelformáló (kompenzáló) szerv (J)** követi, amelynek feladata az u irányító jel előállítás. Ez az u irányító jel általában a rendelkező jellel, illetve ennek integráljával és differenciálhányadosával arányos jelkomponenseket tartalmaz ($u=K_p r+K_I \int r dt+K_D dr/dt$) a megfelelő minőségű szabályozás megvalósítására (**PID-kompenzáció**).

A kompenzáló szerv u kimenőjelét egy **teljesítményerősítő (TE)** erősíti. A teljesítményerősítő feladata a beavatkozáshoz szükséges teljesítmény biztosítása. A teljesítményerősítéshez villamos, pneumatikus vagy hidraulikus segédenergiát lehet felhasználni, ennek megfelelően villamos (félvezetős, mágneses, forgógépes stb. típusú), pneumatikus (torlólemezes, erőkompenzációs stb. típusú) és hidraulikus (sugárcsőves, vezérlő tolattyús stb. típusú)

erősítőkről lehet szó. Ezek kimenő teljesítménye a W nagyságrendtől a több 100 kW nagyságrendig is terjedhet. Mindezek következményeként a teljesítményerősítő kimenőjelének (az u_v *végrehajtó jelnek*) a jelhordozója villamos feszültség, illetve a munkalevegő vagy a munkafolyadék nyomása. A teljesítményerősítő és a beavatkozó szerv illesztési funkcióját látja el a **végrehajtó szerv (V)**, amelynek kimenőjele az u_b *beavatkozó jel*.

Ha a beavatkozó jel elmozdulás (ez folyamatszabályozásokban gyakori eset, mivel a beavatkozó szerv sokszor a közegáramlás útját szűkítő szelep), akkor a végrehajtó szerv a teljesítményerősítő kimenőjelét elmozdulásra alakítja át. Ilyenkor a végrehajtó szerv villamos, pneumatikus vagy hidraulikus **szervomotor**. Gyakori eset, hogy a szervomotor kimeneti elmozdulását érzékelőszerv méri, és ennek beállítására egy belső visszacsatolást tartalmazó szabályozási rendszert alakítanak ki. Ekkor a teljesítményerősítőt **helyzet-beállítónak** nevezik.

A **beavatkozó szerv (B)** segítségével lehet a folyamat valamely mértékadó jellemzőjét (a *módosított jellemzőt*) szándékoltnan befolyásolni annak érdekében, hogy a szabályozott jellemző a kívánalmaink szerint változzon: kövesse az alapjelet, illetve hártsa el a zavarások szabályozott jellemzőre kifejtett nemkívánatos hatását.

Előfordul, hogy az előzőekben felsorolt szervek nem mindegyike szerepel egy adott szabályozási rendszerben, vagy néhány funkcionális egység egy készülékbe van összeépítve.

Ennek tipikus példája az, amikor egy készülékbe (a **szabályozóba**) kerül az alapjellelőző szerv, a különbsésképző szerv, az előerősítő és a kompenzáló szerv. Gyakran képez közös készüléket az érzékelőszerv és a távadó, ill. a teljesítményerősítő, a végrehajtó szerv és a beavatkozó szerv¹ is.

Az a hely, ahol a szabályozóberendezés közvetlenül kapcsolódik a szabályozott folyamathoz, az az érzékelési, ill. a beavatkozási hely. Az érzékelőszerv és a távadó, ill. a beavatkozó szerv és a végrehajtó szerv folyamatközele (terepi) berendezések, szerkezeti kialakításuk ennek megfelelő kell hogy legyen.

Hibrid szabályozási kör szervei és jelei

Az irányítási algoritmus realizálásának egyre gyakrabban alkalmazásra kerülő szerkezeti egysége a *folyamatirányító digitális számítógép*.

Ekkor a távadó által előállított, folytonos idejű e ellenőrző jelet **analog–digitális átalakító (ADC)** T_s időütemezéssel (*sampling time*) *mintavételezi*, és kódolt, diszkrét értékkelészletű, diszkrét idejű e_d digitális jellel alakítja át.

A **DDC (Direct Digital Control) szabályozó** fogadja a diszkrét e_d ellenőrző jelet, memóriájában tárolja vagy külső jelforrásból kapja az u_{ad} diszkrét alapjelet, előállítja ezek $r_d=u_{ad}-e_d$ különbségét, és rendszerint egy diszkrét

¹ A fordulatszám-sabályozásban például az elektronikus teljesítményerősítő különféle áramkörrei látják el a különbsésképző szerv, az előerősítő, a kompenzáló szerv, a végrehajtó szerv és a beavatkozó szerv funkcióit.

PID-algoritmus alkalmazásával létrehozza a diszkrét u_d irányító jelet.

Ez a diszkrét irányító jel kerül a **digitális-analóg (DAC)** átalakítóra, amely a digitális jelet dekódolja, és olyan, rendszerint „lépcsős lefolyású” analóg u_T jellé alakítja, amely a mintavételezési időpontok között is folytonos idejű jelet tart fenn a folyamat bemenetén (**zero order holding², zoh**).

Az ilyen módon keletkező hibrid szabályozásban a szabályozási hurok egy részén folytonos, folyamatos analóg jelek (folytonos idejű, FI-jelek), egy másik részén pedig, diszkrét, mintavételezett, digitális jelek (diszkrét idejű, DI-jelek) az információhordozók. A hibridrendszerben egyidejűleg jelenlévő FI- és DI-típusú jeleket a rendszer matematikai modelljének megalkotásakor figyelembe kell venni³. A hibridrendszerben megjelenő további szerveket a 2. ábra és a 2. táblázat tartalmazza.

Megjegyzés:

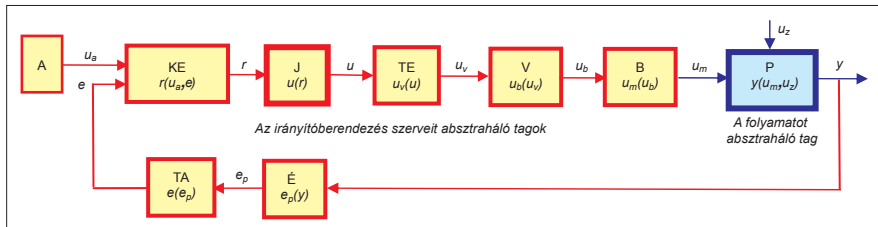
Az előzőekben felsorolt szerveken túlmenően több olyan **járlékos szerv** is szükséges az irányítási rendszer üzemeltetéséhez, amelyeknek ugyan nincs elsődleges, funkcionális szerepe az irányítás működési mechanizmusában, nélkülük azonban nem lehetne működtetni a szabályozási rendszert. Ilyen járulékos szervek például a segédenérgiát szolgáltató elektronikus, pneumatikus és hidraulikus tápegységek, az üzemelést felügyelő védelmi, jelző és naplózó berendezések, a kézi-automatikus átkapcsolás eszközei, a pneumatika és a hidraulika szűrőberendezései stb.

A **szerkezeti vázlatok** a szabályozások felépítését részletekbe menően tartalmazzák, és ezért – miután az irányítások igen sokfélék – nagyon változatos képet mutatnak. A **működési vázlat⁴** az irányítóberendezés szerveit már egységes jelképrendszerrel ábrázolja, függetlenül attól, hogy az adott szerv milyen fizikai elven működik. A folyamat ezen a vázlaton még a technológiai folyamatábrájával szerepel, a szabályozóberendezés viszont már egy adott mértékben absztrahált.

A hatásvázlat

A rendszertechnikai analízis és szintézis szempontjából el lehet tekinteni attól, hogy egy adott szerv vagy készülék milyen szabályozástechnikai funkciót lát el, mi a fizikai működési elve, és az adott funkciót milyen módon realizálja. **A rendszertechnikai vizsgálatok szempontjából az a meghatározó, hogy az egyes szervek kimenőjelei (mint okozatok) milyen függvénykapcsolatban vannak a bemenő jelekkel (az okokkal).** Ennek a függvénykapcsolatnak a szemléltetésére és leírására vezetjük be a jelátvivő tag fogalmát.

A szabályozási körben terjedő hatásmechanizmust, a jelek terjedésének útját (a hatásláncot) jelátvivő tagokkal absztrahált módon írhatjuk le, ahol is kizárólag azt ábrázoljuk, hogy a tagok egymáshoz képest milyen struktúrát alkotnak, egyes tagok hogyan működtetnek más tagokat, illetve az egyes tagok bemenő jelei milyen függvénykapcsolatnak megfelelően hozzák létre a kimenő jeleket.



3. ábra A hatásvázlaton minden szerv és a szabályozott folyamat egy-egy jelátvivő taggal absztrahált

Az ilyen elvek alapján felépített **hatásvázlat** elvonatkoztat a tényleges szerkezetektől, lehetőséget teremtve ezzel arra, hogy a **különbféle szabályozási rendszereket egységes elvek alapján** tárgyaljuk. A szabályozás esetében például minden funkcionális szervet, és magát a szabályozott folyamatot is, jellemezhetjük egy-egy jelátvivő taggal. Az egyes tagok jelátviteli tulajdonságait tetszőleges csoportosításban, egy eredőben összevonhatjuk, sőt, végső soron a teljes zárt rendszert is egyetlen eredő tag írhatja le. A folytonos idejű rendszer hatásvázlatainak lehetséges változatait a következő ábrákon mutatjuk be.

A 3. ábra hatásvázlatán minden szervet egy-egy taggal absztraháltunk, a jelátvivő tagokat jelképező téglalapokba bejelöltük, hogy a működési vázlat melyik szervét jellemzik, és feltüntetjük azt a függvénykapcsolatot is, amelyik a tagot – statikus tulajdonságait tekintve – leírja⁵. Általános esetben minden szerv önmagában is egy dinamikus rendszer, ilyen esetben minden tagot egy-egy differenciálegyenlet modellez.

A 4. a) ábrán az egymással soros kapcsolást alkotó és összevonásra szánt tagokat jelöltük meg. Ezeket az összevonásokat célszerűségi szempontok határozzák meg. Ez egy lehetséges kialakítás⁶.

A 4. b) ábrán egyes soros kapcsolást alkotó tagcsoportok összevonásával kapott hatásvázlatot ábrázoltunk. Ezen a hatásvázlaton négy tag szerepel. Ha e tagok önbeálló tulajdonsággal rendelkeznek⁷, akkor mindegyiknek létezik a kimenőjel–bemenőjel függvénykapcsolatot meghatározó **statikus jelleggörbéje**, amely egy **négynegyedes** koordináta-rendszerben ábrázolható. Az egyes tagok bemenő–kimenő jelei között értelmezhető statikus (az állandósult állapotbeli viszonyokat meghatározó) függvénykapcsolatok és ezek grafikonjai láthatók az 5. ábrán.

Ezekben a függvénykapcsolatokban az r rendelkező jel az u_a alapjelnek és az e ellenőrző jelnek általában lineáris függvénye: $r = k_c(u_a - e)$, és hasonlóan általában lineáris az e ellenőrző jel és az y szabályozott jellemző közötti függvénykapcsolat is: $e = A_E y$. Nincs ez így a folyamatot tartalmazó $y = y(u_m, u_z)$ függ-

⁵ Az egyes szervek működése során is érhetik zavaró hatások a szabályozási rendszerre. Ennek tipikus példája a teljesítményerősítő, melynek u_v kimenő jelét (a végrehajtó jelet) nem csupán ennek az u bemenő jele (az irányító jel) befolyásolja, hanem a segédenérgia-forrásának jellemzői is. Hogy ez a befolyás elhanyagolható legyen, stabilizált tápegységekről célszerű működtetni a teljesítményerősítőt. A szerveknél belépő zavarásokat – megfelelő méretezés esetében – általában elhanyagolhatjuk. Annál kellemetlenebb egy zavaró hatás, minél jobban a szabályozási hurok előrevetető ágának az elején „támadja” a zárt rendszert.

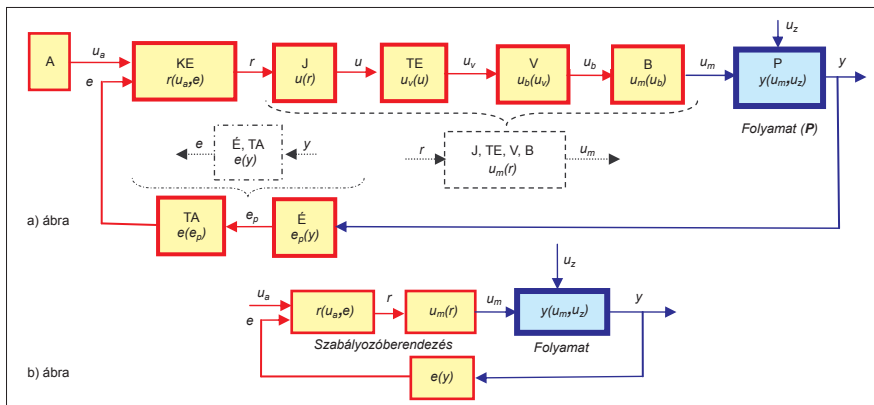
⁶ Egy más kialakításban a **TE, V, B** szerveket, és a **P** folyamatot lehet egy taggá összevonni, ekkor a 4.b) ábra hatásvázlatán az u_m módosított jellemző helyett a jelformáló u kimenő jele (az irányító jel) szerepel.

⁷ Az önbeálló dinamikus tag állandó értékű u bemenőjelle – állandósult állapotában – állandó értékű y kimenőjel választ ad. Ez az állandósult kimenőjel értéke a bemenőjellek $y = y(u)$ függvénye. Ennek a függvénynek egy grafikon formában megjelenített ábrája a tag statikus karakterisztikája, amely karakterisztika általában nemlineáris kapcsolatot ábrázol az u és az y jelek között. Ha a szabályozási kör mindegyik tagja önbeálló, **arányos szabályozásról** van szó. Ilyen szabályozás a bojler hőmérséklet-szabályozása és a villamos motor fordulatszám-szabályozása. A tartály szintszabályozásában a hidraulikus erősítő és szervomotor integráló tag (az u_b jel az r jel integráljával – vagy más megfogalmazásban, az u_b beavatkozó jel du_b/dt sebessége az r jellel – arányos). Ha a hatáslánc valamelyik tagja integráló tulajdonságú, **integrálszabályozásról** van szó.

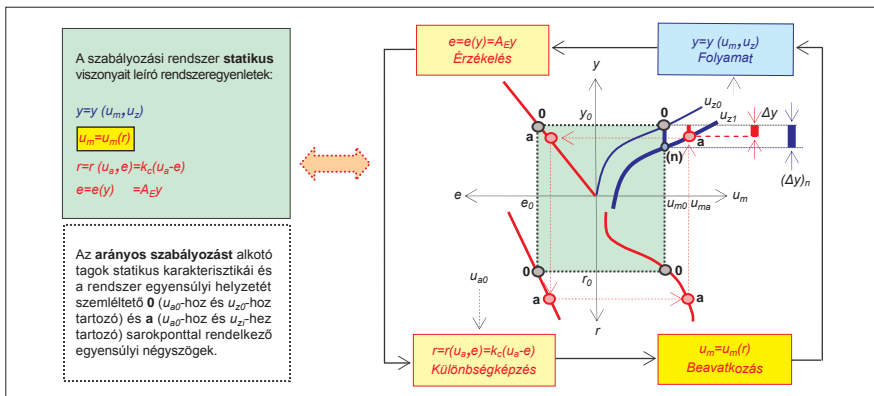
² A zérusrendű tartás (a DAC **zoh** funkciója) a leggyakrabban alkalmazott eljárás a mintavételezések közötti **állandó** jel fenntartására. Léteznek másfajta megoldások is (pl. elsőrendű tartás, másodrendű tartás stb.). Pl. az elsőrendű tartás két mintavétel között az utolsó két mintából extrapolál, időben lineárisan változó jelet tart fenn.

³ A folytonos idejű (**FI**) jelek időben folytonos időfüggvények [pl. $f(t) = \exp(at)\sin(bt)$]. A diszkrét idejű (**DI**) jelek a kT_s ($k: 0, 1, 2, \dots, k, \dots, \infty$) diszkrét időben értelmezett mintasorozatok (pl. az $f(t)$ folytonos idejű jeltől T_s mintavételezési ütemezéssel származtatható diszkrét idejű mintasorozat: $f(kT_s) = \{0, \exp(aT_s)\sin(bT_s), \exp(a2T_s)\sin(b2T_s), \dots, \exp(akT_s)\sin(bkT_s), \dots\}$).

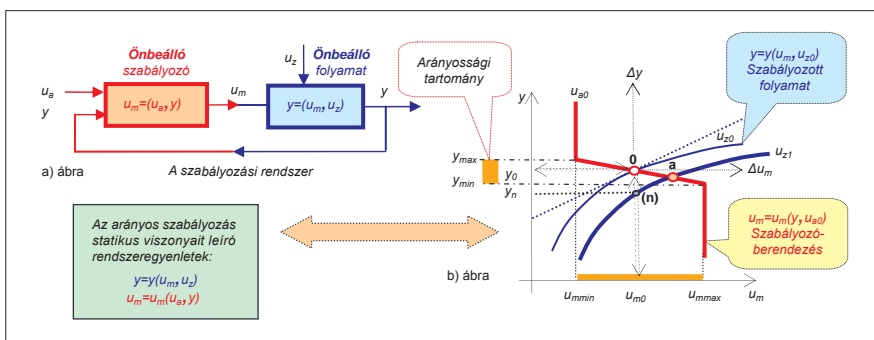
⁴ A működési vázlatot blokkvázlatnak is nevezik.



4. ábra Sorosan kapcsolt tagok egy lehetséges összevonása



5. ábra Arányos szabályozás jelátvivő tagjainak statikus karakterisztikái



6. ábra Arányos szabályozás egyensúlyi munkapontja

vény, ill. a beavatkozó szervet is tartalmazó $u_m = u_m(r)$ függvény esetében. A folyamatok rendszerint eleve nemlineáris tulajdonságúak, a beavatkozó szervek pedig működési tartományuk határhelyzetében betelítődnek vagy „felütkeznek”. Az 5. ábrán feltüntetett jelleggöréből láthatóan egy y_0 jelnek az u_{z0} melletti fenntartásához u_{m0} jel szükséges. Ennek az u_{m0} jelnek a biztosításához a különbségképző szervnek r_0 jelet kell szolgáltatnia. Miután az $e_0 = A_E y_0$ ellenőrző jelet y_0 hozza létre, az u_{a0} alapjelnek akkorának kell lennie, hogy $k_c(u_{a0} - e_0) = r_0$ legyen. Az egyensúlyi helyzet egy 0 sarokpontú négyszög koordinátáival jön létre. Így van ez akkor is, ha a zavaró jel u_{z1} -re változik meg. Az új egyensúlyi helyzet ekkor a transziens jelenségek „lecsengését” követően – ha ezek a transziensek egyáltalában képesek megszűnni – az 0 sarokpontokkal rendelkező **egyensúlyi négyszög** mellett alakul ki.⁸ A statikus viszonyokat le-

⁸ Figyeljük meg, hogy az $r = r(u_a, e)$ karakterisztika kivételével mindegyiknek a meredeksége az egyensúlyi pontban pozitív érték. Az $r = r(u_a, e) = k_c(u_a - e)$ függvény $\partial r(u_a, e) / \partial e|_0 = -k_c < 0$ negatív meredeksége jeleníti meg a zárt rendszer negatív visszacsatolását.

író négy egyenletben adott u_{a0} alapjel és az u_{z0} zavarójel mellett az y_0, u_{m0}, r_0, e_0 jeleket lehet kiszámítani, vagyis a négy egyenletből álló, négyismeretlenes, nemlineáris, algebrai egyenletrendszer megoldását kell megkeresni. Ennek grafikus eljárását szemlélteti az 5. ábra. A folyamatot leíró $y \sim u_m$ síkon megjelöltük az **n** pontot is. Ha a szabályozó nem változtatható meg az u_m módosított jellemzőt, az u_{z1} -re növekedett zavarás az y jelet erre a pontra állítaná be, létrehozva a szabályozott jellemző $(\Delta y)_n$ mértékű megváltozását⁹. Szabályozáskor az **a** jelű pontban jön létre az egyensúlyi állapot, és ekkor $\Delta y \ll (\Delta y)_n$, vagyis létrejött a zavarás szabályozott jellemzőre gyakorolt, nemkívánatos hatásának mérséklése. Ideális viszonyok között $\Delta y = 0$ lenne, ezt azonban arányos szabályozással elérni elvileg nem lehet.

A hatásvázlat további átalakítását jelenti, ha egy-egy taggal ábrázoljuk az u_m, u_z bemenő- és y kimenőjellel rendelkező folyamatot (a szabályozott szakaszt: $y = y(u_m, u_z)$), illetve az y, u_a bemenő jelű és u_m kimenő jelű tagcsoportot (a teljes szabályozóberendezést: $u_m = u_m(u_a, y)$, lásd 6. a) ábra). Ha ezek mindegyike önbeálló tag, akkor az $u_m \sim y$ koordináta-rendszerben léteznek a folyamatot, illetve a teljes szabályozóberendezést leíró tagok statikus jelleggörbéi, melyeknek metszéspontja a rendszer egyensúlyi munkapontja¹⁰ (lásd 6. b) ábra). Ezekon a jelleggörbéken az irányítóberendezést olyan statikus karakterisztikával ábrázoltuk, amelyik azt szemlélteti, hogy a szabályozóberendezés a módosított jellemzőt csupán az $u_{mmin} < u_m < u_{mmax}$ intervallumban képes változtatni (a szabályozóberendezés statikus karakterisztikája a telítődés tulajdonságát tartalmazza). A szabályozóberendezés y bemenő jelének az $y_{max} < y < y_{min}$ tartománya az arányossági tartomány. Ha y szabályozott jellemző ebben a tartományban változik, akkor ez az u_m módosított jellemző változását is maga után vonja.

(Folytatjuk!)

szbela@iit.bme.hu
juhaszne@iit.bme.hu

⁹ Ilyen eset akkor keletkezne, ha nem lenne szabályozás (például a hatáslánc az r rendelkező jel hatásvonalában fél lenne nyitva, aminek eredménye az lenne, hogy a megváltozott rendelkező jel nem tudna az u_m módosított jellemzőre hatást gyakorolni).

¹⁰ Az egyensúlyi négyszög szerepe ekkor az 0 jelű egyensúlyi pont veszi át. A rendszer statikus tulajdonságainak tanulmányozásakor vegyük figyelembe, hogy a statikus karakterisztikákat az $y \sim u_m$ koordináta-rendszerben ábrázoljuk. A **szabályozó** berendezést leíró $u_m = u_m(u_a, y)$ statikus jelleggörbe paramétere az u_a alapjel, **független** változója (bemenő jele) az y szabályozott jellemző, **függő** változója (kimenő jele) az u_m módosított jellemző. A **folyamatot** leíró $y = y(u_m, u_z)$ statikus karakterisztika paramétere az u_z zavarójel, **független** változója (bemenő jele) az u_m módosított jellemző, **függő** változója (kimenő jele) az y szabályozott jellemző.