

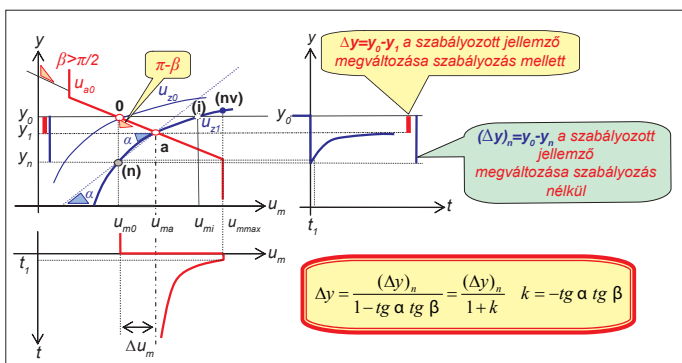
Szabályozástechnika - 4.

Dr. Szilágyi Béla – Dr. Juhász Ferencné

A szabályozástechnikai alapfogalmak ismertetése során a cikksorozat folytatásában a szabályozási rendszerek zavarelhárítási hatásmechanizmusát tekintjük át. Az elemzésben részletesen megvizsgáljuk az arányos szabályozás, az integrálszabályozás, valamint az állásos szabályozás ezirányú tulajdonságait.

Az arányos szabályozás zavarelhárítási hatásmechanizmusa

Az y szabályozott jellemző és az u_{a0} alapjel által – a működési tartományban – meghatározott u_m módosított jellemző $u_{mmin} < u_m < u_{mmax}$ intervallumban változik, és úgy tervezhető, hogy itt lineáris legyen. Ha a folyamat statikus karakterisztikájához a 0 egyensúlyi pontban érintőt húzunk, akkor a 0 pont környezetében a folyamat $y=y(u_m, u_z)$ nemlineáris karakterisztikáját ezzel az érintővel – vagyis egy egyenes egyenletével – közelíthetjük. Alkalmasan megválasztott koordináta-transzformációval a koordináta-rendszer origóját a 0 pontba helyezhetjük, és ezért a 0 pont környezetében a nemlineáris függvények helyett – a jelek kis változásait feltételezve – lineáris egyenletekkel dolgozhatunk. Ez az eljárás (a munkaponti linearizálás) a vizsgálatokat jelentősen egyszerűsíti, és természetesen csak akkor alkalmazható, ha a nemlineáris függvényeknek a munkapontban létezik az érintője. Az arányos szabályozás zavarelhárítási hatásmechanizmusa szemléletesen mutatható be, ha a szabályozóberendezést időkéselettelés nélküli tagnak tekintjük. A folyamatról feltételezzük, hogy a zavarás időkéselettelés nélkül hat y -ra, az u_m módosított jellemző pedig egytárolós jelkéseletteléssel tudja a szabályozott jellemzőt befolyásolni. Ez utóbbi feltételezés azt jelenti, hogy a folyamat bemenetén működtetett $\Delta u_{m0} = \text{állandó}$ gerjesztés az y szabályozott jellemzőt $\Delta y(t) = k_p (1 - e^{-t/T}) \Delta u_{m0}$ szerint változtatja. A zárt szabályozási rendszerben a 0 munkapontból az a munkapontba történő átmenet tranzienst folyamatait a 1. ábra szemlélteti:



1. ábra Arányos szabályozás zavarelhárításának hatásmechanizmusa

A 0 egyensúlyi munkapontban, nyugalmi helyzetben lévő rendszer zavarójele u_{z0} -ról u_{z1} -re ugrásszerűen változik. Ennek hatására az y szabályozott jellemző y_0 -ról azonnal y_n -re csökken (lásd (n) pont), és ezért az u_m módosított jellemző u_{m0} -ról késleltetés nélkül u_{mmax} -ra ugrik. A megváltozott u_m miatt a folyamat u_z -hez tartozó karakterisztikáján az (n) pontból az (nv) pont felé tart a rendszer. A módosított jellemző $u_m = u_{mmax}$ marad

egészen addig, míg a szabályozó a telítésből ki nem kerül (t_1 időpont). Ha ez bekövetkezik, az u_m – az y szabályozott jellemző növekedése miatt – csökkenni kezd, és végül a rendszer az a pontban ismét egyensúlyi helyzetbe kerül. Láthatóan a szabályozott jellemző zavarás miatti megváltozása szabályozás nélkül $(\Delta y)_n$ szabályozás mellett pedig $\Delta y < (\Delta y)_n$. A Δy értékét a szabályozóberendezés statikus karakterisztikájának $\beta > \pi/2$ szöge alapvetően befolyásolja, $\beta \rightarrow \pi/2$ esetében $\Delta y \rightarrow 0$. A folyamat jelleggörbéjét az (n) – a pontokon átmenő szelővel közelíthetjük, ennek meredeksége $[\partial y(u_m, u_z) / \partial u_m]_0 \approx \text{tg } \alpha$. $0(n)a$ háromszög adatait felhasználva kapjuk:

$$\text{tg } \alpha = \frac{y_1 - y_n}{u_{m1} - u_{m0}} \quad \text{tg } (\pi - \beta) = \frac{u_{m1} - u_{m0}}{y_0 - y_1}$$

$$\text{tg } \alpha \text{ tg } (\pi - \beta) = \frac{y_1 - y_n}{u_{m1} - u_{m0}} \cdot \frac{u_{m1} - u_{m0}}{y_0 - y_1} = \frac{y_1 - y_n}{y_0 - y_1} =$$

$$= \frac{y_1 - y_0 + y_0 - y_n}{y_0 - y_1} = -\frac{y_0 - y_1}{y_0 - y_1} + \frac{y_0 - y_n}{y_0 - y_1} = -1 + \frac{(\Delta y)_n}{\Delta y}$$

$$1 - \text{tg } \alpha \text{ tg } \beta = \frac{(\Delta y)_n}{\Delta y}$$

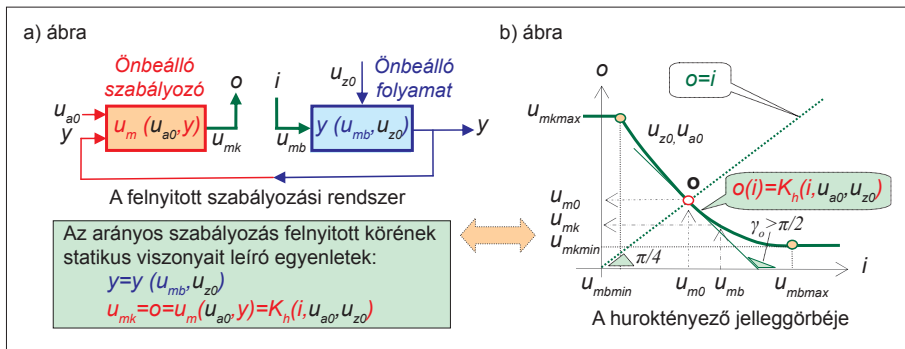
$$\Delta y = \frac{(\Delta y)_n}{1 - \text{tg } \alpha \text{ tg } \beta} = \frac{(\Delta y)_n}{1 + k}$$

Ez az összefüggés az arányos szabályozások egyik fontos képlete. Azt mutatja meg, hogy ha egy adott zavarójel, szabályozás nélkül, állandósult állapotban, a szabályozott jellemző $(\Delta y)_n$ megváltozását idézi elő, akkor ugyanakkora zavarás, arányos szabályozás mellett, csupán $\Delta y = (\Delta y)_n / (1 + k) < (\Delta y)_n$ nemkívánatos változást okoz, szintén a rendszer állandósult állapotában. Ebben a képletben $\text{tg } \beta < 0$ a szabályozóberendezés statikus karakterisztikájának a meredeksége a szabályozó arányossági tartományában, a $\text{tg } \alpha > 0$ a folyamat karakterisztikájának a meredeksége az a egyensúlyi munkapontban.

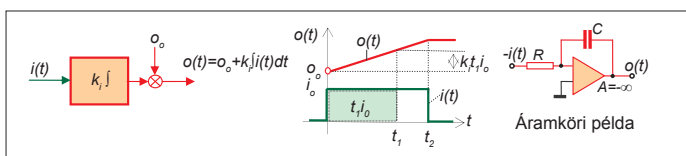
A szabályozás $k = -\text{tg } \alpha \text{ tg } \beta > 0$ hurokerősítése szabja meg a statikus zavarelhárítás minőségét. A $\text{tg } \alpha$ a folyamat sajátossága, technológiai adottság, a szabályozó tervezőjének a $\text{tg } \beta$ megválasztásában van bizonyos mozgáster. Bármennyire is kívánatos lenne Δy csökkentésének érdekében a k erőerősítés növelése¹, ez nem tehető meg következmények nélkül. Ha ugyanis a folyamat modelljében több energiátároló és holtidő okozta jelkéselettelés is jelen van, akkor egy adott k_{crit} kritikus erőerősítés esetén a rendszer labilissá válhat². Az $1 / |\text{tg } \alpha \text{ tg } \beta|$ tényezőt az arányos

1 k akkor növekszik, ha $\beta \rightarrow \pi/2$.

2 A rendszer labilitása azt jelenti, hogy a hatáslánc minden jele időben oszcilláló, vagy növekvő amplitúdójú lengőmozgást végez, mindaddig, míg valamelyik eleme be nem „telitődik”, vagy tönkre nem megy. Ez megengedhetetlen üzemi állapot, mivel a rendszer nem képes az alapfeladatainak (az alapjel követésnek, és a zavarás elhárításának) az ellátására.



2. ábra Arányos szabályozás huroktényező jelleggörbéje



3. ábra Az integráló tag hatásvázlata és tulajdonságának szemléltetése az $i(t)$ -re adott $o(t)$ válasszal

szabályozás **statizmusának** nevezik. Minél kisebb a statizmus, annál nagyobb a labilitás veszélye. Egy „gondolatkísérlettel” az u_m hatásvonalában felnyitva a hatásláncot (lásd 2. a ábra), és –

állandó u_{a0} , u_{z0} jelek mellett – a folyamat bemenetén működtetünk egy $i = u_{mb}$ input jelet, akkor ez állandósult állapotban a folyamat kimenetén y , míg a nyitott kör kimenetén $o = u_{mk}$ output jelet eredményez. Ha az i egy adott intervallumban felvesszük a nyitott kör $o(i)$ statikus karakterisztikáját (a huroktényező jelleggörbét), eredményül az 2. b ábrán változt görbét kapjuk.

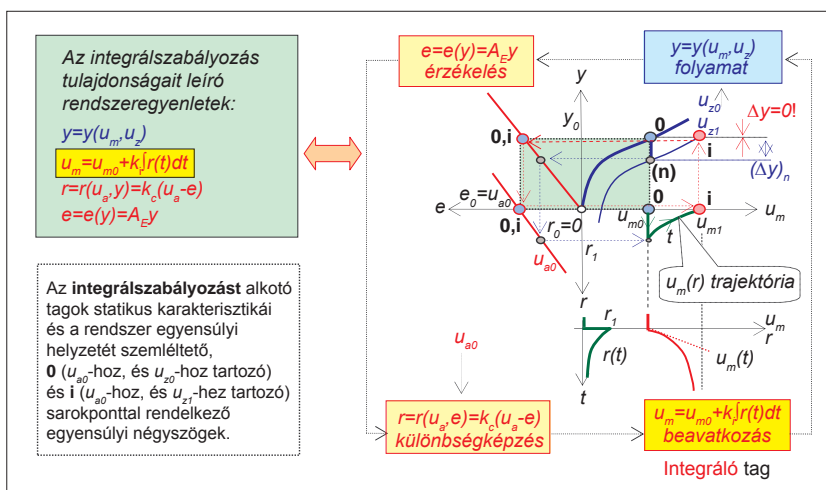
Ennek a karakterisztikának (a negatív visszacsatolás miatt), szükségszerűen negatív meredekséggel kell rendelkeznie, és metszenie kell az $o = i$ egységnyi meredekségű egyenest (o jelű pont). Ha ehhez a metszésponthoz tartozó $i_0 = u_{m0}$ jelet működtetünk a nyitott kör bemenetén, akkor a kimeneten ezzel azonos $o_0 = u_{m0} = i_0 = u_{m0}$ kimenőjel keletkezik. (Ha itt zárnánk a rendszert, akkor az o pontnak megfelelő egyensúlyi pontban lennének). Az o pontban lévő $\partial o(i)/\partial i|_o = tg \gamma_o < 0$ meredekség a $K_{h0} < 0$ huroktényező, melynek $absK_{h0}$ értéke az arányos szabályozás k hurokerősítése. Az elvi elrendezés alapján az arányos szabályozási rendszer felnyitott körén egy tényleges mérés is elvégezhető. A korábban már ismertetett, külső gerjesztésű egyenáramú motor fordulatszám-szabályozása hasonló elvek szerint működő arányos szabályozás.

Integrálszabályozás zavarelhárításának hatásmechanizmusa

Az arányos szabályozásban a szabályozó a zavarás hatásának mérséklését olyan módon hajtja végre, hogy a zavarás fellép-tének időpillanatában megnöveli az u_m módosított jellemző értékét, majd az y növekedésének hatására ezt alkalmas módon „visszaveszi” az új egyensúlyi pontnak megfelelő értékre. Közben az u_m az (i) pontnak megfelelő u_{mi} értéket is felveszi (lásd 1. ábra), és ha ezt fenn lehetne tartani, teljes mértékű zavarelhárítás valósulhatna meg. Az arányos szabályozásban azonban kizárólag a statikus karakterisztikák metszéspontjában alakulhat ki egyensúlyi helyzet, márpedig az (i) pont e feltételnek nem felel meg. Ebből is az látszik, hogy az arányos szabályozás teljes mértékű zavarelhárítást végrehajtani nem képes. Ennek megoldására az integrálszabályozás alkalmas.

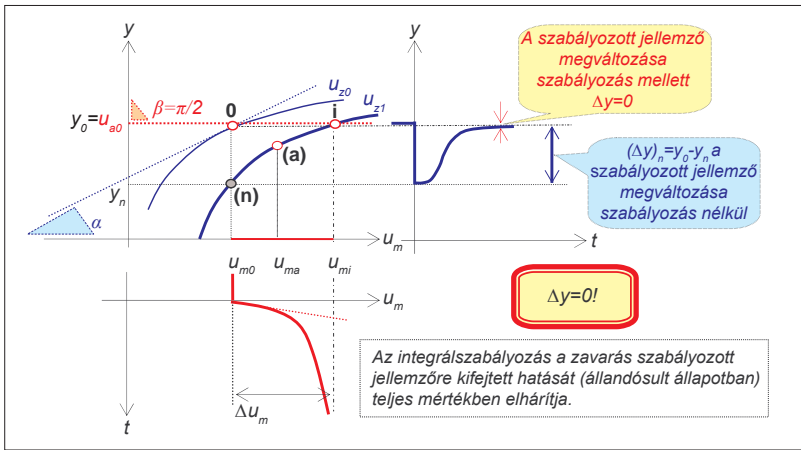
Az integrálszabályozás esetében a szabályozási körbe legalább egy, ún. szabad integráló tagot kell beiktatni, amely rendszerint a jelformáló- vagy a végrehajtó szervbe van beépítve. Az integráló tag az $o(t)$ (output) kimenő jelét az $i(t)$ (input) bemenő jelének idő szerinti integráljaként állítja elő az $o(t) = o_0 + k_i \int i(t) dt$ összefüggésnek megfelelően, aminek fizikai jelentése szerint $o(t)$ kimenőjel csak akkor lehet állandó, ha az $i(t)$ bemenőjel zérus (k_i az integrálási átviteli tényező). Más megfogalmazásban: az integráló tag $o(t)$ kimenő-jelének $do(t)/dt$ sebessége arányos az $i(t)$

bemenőjével: $do(t)/dt = k_i i(t)$. Ez utóbbi képlet az integráló tag differenciálegyenlete. Mindezekből az is következik, hogy az integráló tagnak nem értelmezhető a statikus jelleggörbéje, mivel állandó bemenőjelre időben lineárisan növekvő kimenőjel választ ad³. Az integráló tag tulajdonságait a 3. ábra szemlélteti. A következőkben olyan rendszer zavarelhárítási tulajdonságait tárgyaljuk, melyben a szabályozott folyamat továbbra is egytárolós, önbeálló, de a hatáslánc $u_m \sim r$ függvénykapcsolatát az $u_m(t) = u_{m0} + k_i \int r(t) dt$ integráló tag írja le. A rendszeregyenleteket és az önbeálló tagok statikus jelleggörbéit a 4. ábrán adjuk meg.

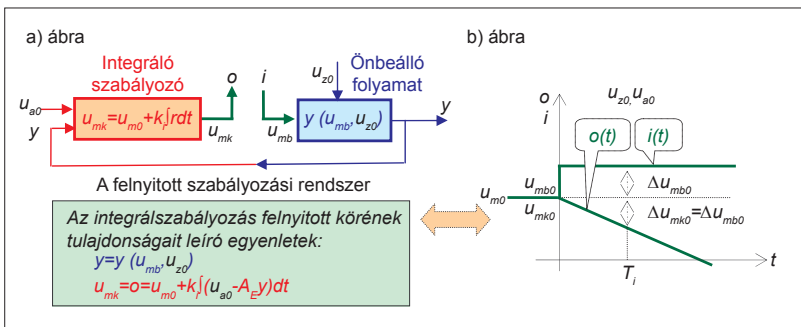


4. ábra Az integrálszabályozás egyensúlyi munkapontja

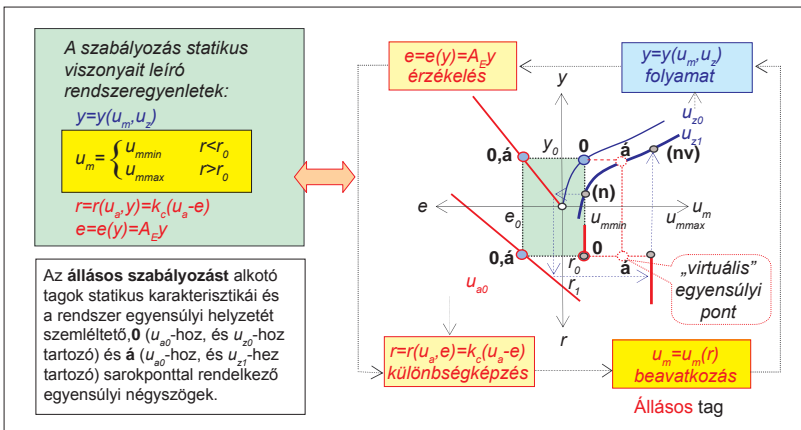
Ha a folyamat statikus jelleggörbéjén az (u_{m0}, y_0) koordinátákkal rendelkező o pont a rendszer egyensúlyi helyzetének felel meg, akkor a hatáslánc $y_0 \rightarrow e_0 = u_{a0} \rightarrow r_0 = 0 \rightarrow u_{m0} \rightarrow y_0$ állandó értékű jelei és u_{z0} zavarójel mellett a szabályozás nyugalmi helyzetben van. Ez azért lehetséges, mert az integráló tulajdonságokkal rendelkező beavatkozó szerv $r_0 = 0$ mellett is képes az u_{m0} jelet fenntartani. Ha a zavarójel ugrásszerűen u_{z1} -re megváltozik, az r jel r_1 -re szintén ugrásszerűen megnő, ami kiváltja az u_m növekedését is. Az $u_m \sim r$ koordináta-rendszerben most a statikus karakterisztika nem értelmezhető, ezért egy $u_m(r)$ trajektória⁴ mutatja az u_m növekedésének időbeli lefolyását, amelyet az $u_m(t)$ és $r(t)$ időfüggvények megadásával is szemléltetünk. Az u_m mindaddig változik, amíg r nem lesz ismét zérus, ami viszont csak akkor következhet be, ha y – a megváltozott zavarás ellenére – az eredeti



5. ábra Az integrálszabályozás zavarelhárításának hatásmechanizmusa



6. ábra Az integrálszabályozás felnyitott körének ugrásjelre adott válasza



7. ábra Állásos szabályozás virtuális egyensúlyi helyzete

y_0 értékére visszaáll. A statikus és dinamikus tulajdonságok az $u_m \sim y$ koordináta-rendszerben is szemléltethetők (5. ábra).

A 0 és i pontokat pontvonallal összekötő egyenes olyan arányos szabályozó statikus karakterisztikájának felelne meg, melynek – a $\beta = \pi/2$ szög miatt – a körerősítése $k = \infty$, statizmusa zérus. Az integrálszabályozást ezért zérus statizmusú, **astatikus** szabályozásnak is nevezik. **Lényeges tulajdonsága, hogy a zavarás hatását (állandósult állapotban) teljes mértékben kompenzálni képes, mivel mindaddig változtatja az u_m módosított jellemzőt, amíg az y szabályozott jellemző az eredeti értékére vissza nem áll.** Az összehasonlítás céljából a folyamat statikus karakterisztikáján megjelöltük az arányos szabályozás a jelű, lehetséges egyensúlyi pontját is. A zavarás hatására keletkezett $u_m(t)$ időfüggvény a $t=0$ időpontban – a beavatkozás integráló jellege miatt – változatlan marad, ezért az integrálszabályozás az arányos szabályozáshoz képest lassabban hárítja el a zavarást.

Ha a 0 egyensúlyi pontban üzemelő integrálszabályozás hatásláncát a módosított jellemző u_{m0} értéke mellett felnyit-

juk, akkor olyan i bemenő és o kimenő jelű eredő tag keletkezik, melynek egyik tagja (jelen esetben a szabályozóberendezést absztraháló tag) integráló tulajdonságú, és ennek következtében a nyitott kört is ez tulajdonság jellemzi. Ebből pedig az következik, hogy a nyitott kör statikus karakterisztikája (a huroktényező jelleggörbéje) nem értelmezhető. Adjunk az u_{a0} , u_{z0} valamint $u_{mb0} = u_{m0} \cdot y_0$, $u_{mk0} = u_{m0}$ adatokkal nyugalmi helyzetben lévő nyitott kör i bemenetére ugrásszerűen változó $\Delta u_{mb0} > 0$ bemenőjelet (lásd a 6. ábrát).

Ennek hatására – feltételezve, hogy a folyamat jelkésleltetése elhanyagolható – az önbeálló folyamat y kimenőjele Δy értékkel megnő, az r rendelkező jel pedig Δr értékkel csökken. Ez a Δr lesz az integráló szabályozó bemenőjele, ami az u_{mk} kimenőjelének az időben lineárisan változó csökkenését váltja ki. Ez a folyamat mindaddig tartana, amíg valamelyik elem telítődésbe nem kerülne. T_i idő telik el addig, amíg az o kimeneten akkora lesz a jelváltozás, mint amekkora bemenőjelet kapcsoltunk az i bemenetre. Ez az idő a nyitott kör integrálási ideje, melynek reciproka az integrálszabályozás integrálási körerősítése. A korábban tárgyalt tartály szintszabályozása integrálszabályozás.

Az állásos szabályozás zavarelhárítási folyamata

A zavarás hatásának teljes kompenzációja – legalábbis látszólag – az állásos szabályozó alkalmazásával is megoldható. Az állásos szabályozás statikus viszonyait leíró függvényeket és karakterisztikákat⁵ a 7. ábra mutatja.

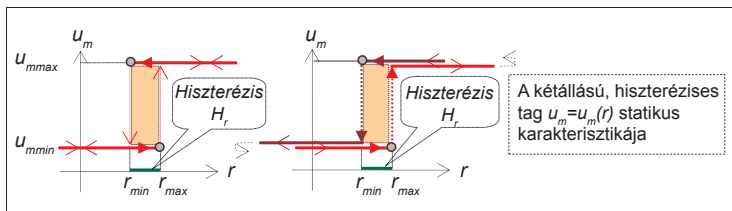
Tekintsük most a beavatkozást leíró $u_m = u_m(r)$ függvényt egy olyan kétállású állásos tagnak, amely az u_m módosított jellemzőnek $r < r_0$ rendelkező jel mellett kizárólag u_{mmin} és $r > r_0$ mellett kizárólag u_{mmax} értékeket enged felvenni. Matematikai értelemben az $u_m = u_m(r)$ függvénynek az r_0 helyen szakadása van, az u_m módosított jellemző $u_{mmin} < u_m < u_{mmax}$ intervallumban értékeket felvenni nem képes, márpedig a rendszer működési tartománya éppen ebben az intervallumban van. Ez azonban csak egy látszólagos ellentmondás.

Ha a folyamat statikus karakterisztikáján a 0 egyensúlyi pontban vagyunk, a zavarójel u_{z0} értéke mellett a hatáslánc jelei $y_0 \rightarrow e_0 \rightarrow r_0 \rightarrow u_{mmin} \rightarrow y_0$. Az ugrásszerű-

en u_{z1} -re változó zavarás az y szabályozott jellemzőt azonnal y_n értékre csökkenti, aminek következményeként az r rendelkező jel is r_1 -re vált, és ezért a módosított jellemző is u_{mmax} -ra ugrik. A tranzienis jelenség a folyamat u_{z1} -hez tartozó karakterisztikáján kísérhető nyomon. Az (n) pontból kiindulva a rendszer mozgása az (nv) pont felé tart, ekkor az y növekedésével elindul a zavarelhárítás hatásmechanizmusa. Változás akkor következik be, ha y növekedése eléri az y_0 értéket (a folyamat jelleggörbéjén ekkor az a jelű „virtuális” egyensúlyi pontba jutunk), mivel ekkor az r_0 -ra csökkent rendelkező jel a módosított jellemzőt u_{mmin} -re visszaváltja. Ennek hatására az y csökkenni kezdene, de ∂y differenciálisan kis csökkenése azonnal u_{mmax} -váltást okozna, ami ∂y differenciálisan kis növekedését eredményezné stb. Látszólag tehát az a pontban marad a rendszer (vagyis megvalósul a teljes mértékű zavarelhárítás), de ez úgy realizálódik, hogy az

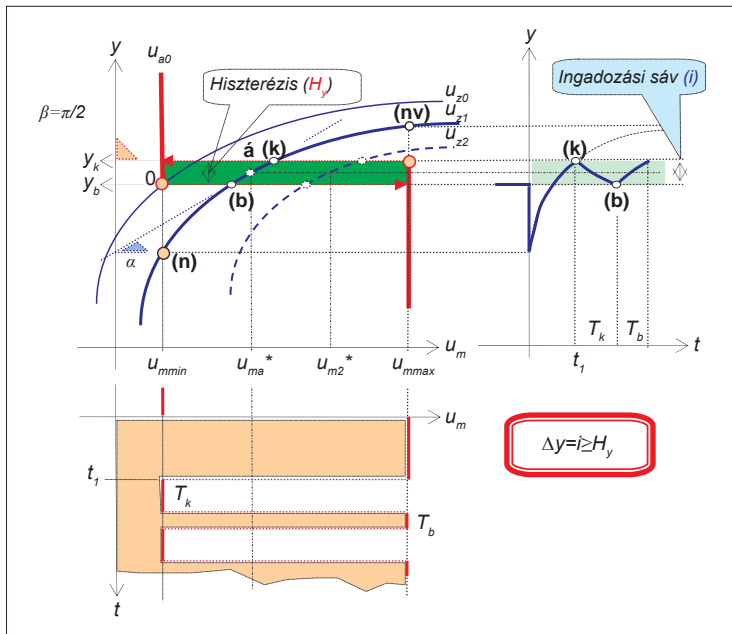
5 Vegyük észre, hogy az $u_m(r)$ síkgyegyedben ábrázolt statikus jelleggörbének az r_0 helyen szakadása van.

állásos tag végtelen nagy frekvenciával kapcsolgat u_{mmax} és u_{mmin} értékek között, ezzel egy u_{m1}^* középértékű, módosított jellemzőt fenntartva. A valóság azonban ettől eltér, aminek egyik oka abban van, hogy egyrészt ideális kapcsoló nem létezik, másrészt a folyamat több energiátárolás és holtidős késleltetést is tartalmazhat. Most csupán a kapcsoló nem ideális voltával foglalkozunk, ami abban nyilvánul meg, hogy a valóságnak megfelelően az állásos szabályozó *hiszterézisét* is figyelembe vesszük⁶ (8. ábra).



8. ábra Kétállású hiszterézises tag statikus karakterisztikája

Az $u_m \sim y$ koordináta-rendszerre áttérve az állásos szabályozás statikus jelleggörbéit és időfüggvényeit a 9. ábra tartalmazza.



9. ábra Állásos szabályozás zavarelhárítási hatásmechanizmusa

Ha a zavarás felléptét követően az u_m jel u_{mmax} -ra vált, akkor a folyamat u_{z1} -hez tartozó statikus karakterisztikáján az (n) pontból kiindulva, az (nv) pont felé mozgunk. Az y értéke y_n -ről kiindulva növekszik, és amikor eléri a (k) pontnak megfelelő y_k értéket, a kapcsoló a módosított jellemzőt u_{mmin} -re kapcsolja (ez a t_1 időpont, és ettől az időponttól kezdődően – a hiszterézishurok sorozatos körbejárásával – egy kvázistacioner üzemiállapot jön létre). Az u_{mmin} miatt y csökken, és ha eléri a (b) pontnak megfelelő y_b értéket, a kapcsoló u_{mmax} -ra vált stb. Az y szabályozott jellemző kvázistacioner állapotban a hiszterézis által megszabott $\Delta y = i \geq H_y$ ingadozási sávban periodikusan változik⁷. Ennek az ingadozási sávnak az értéke (a működési tartományban) **nem függ a zavarás nagyságától**, és ha a hiszterézis kicsi, akkor az ingadozási sáv is az⁸. A hiszterézist a szabályozás tervezője választhatja meg. Indokolatlanul alacsony értékre való választása mégsem tanácsos, mert ez nagy kapcsolási frekvenciát eredményez, ami pl. az elektromechanikus kapcsoló élettartamát lerövidíti. Az állásos szabályozást egyszerűsége, alacsony ára miatt széleskörűen alkalmazzák. Félvezetős állásos tag esetében még a nagyfrekvenciás kapcsolgatás sem jelent gondot. A korábban tárgyalt melegvíztároló hőmérséklet-szabályozása kétállású szabályozóval valósul meg.

A zavarelhárítási folyamatok leírásának értékelése

Mint az előzőekben láttuk, a szabályozási kör hatásláncán kialakuló jelterjedési viszonyok tárgyalására kialakítható egy olyan leírás, amelyben jelentős összevonások (tömörítés) után egy-egy taggal írjuk le a teljes szabályozóberendezést és a szabályozott folyamatot.⁹ Ez az összevonás a rendszertechnikai leírásnak hatékony eszköze.

Nyomatékosan kell azonban hangsúlyoznunk, hogy az arányos és az állásos szabályozás $u_m = u_m(u_a, y)$, $y = y(u_m, u_z)$ függvényei az önbeálló szabályozóberendezés és az önbeálló szabályozott folyamat *statikus jelátviteli viszonyait jellemezték*.

A valóságban mindkét tag **dinamikus** rendszert absztrahál, ezért általános esetben a kimenő- és a bemenőjelek között differenciálegyenletek írják le a kapcsolatokat¹⁰. Az integrálszabá-

lyozásban ezen túlmenően az is előfordulhat, hogy valamelyik (vagy mindkét) tagnak a statikus karakterisztikája nem is értelmezhető, mert a szabályozó vagy a folyamat *integráló* tulajdonságú. A dinamikus tulajdonságok miatt az is lehetséges, hogy a szabályozási rendszer egyensúlyi pontja (a stabilis szabályozó és a stabilis folyamat ellenére) – a *zárt rendszer labilis* működésének következményeként – létre sem jöhet.

A stabilitás a rendszer alapkövetelménye, ezért a **szabályozások stabilitásvizsgálata** a rendszeranalízis egyik igen fontos tématerülete¹¹. A statikus üzemi viszonyok tanulmányozásán túlmenően fontos kérdés, hogy a dinamikus rendszer a 0 egyensúlyi pontjából milyen időfüggvényekkel „megy át” (és egyáltalában „átmegy-e”?) az **a**, a virtuális **á** vagy az **i** jelű egyensúlyi pontjába; és ha átmegy, akkor a kialakuló tranzien folyamatokra a szabályozó dinamikájának célirányos megválasztásával milyen befolyásunk lehet?

A cikksorozat folytatásában elkezdjük a szabályozási rendszerek alapjel-követési tulajdonságainak és stabilitásának részletes elemzését.

(Folytatjuk!)

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

6 A hiszterézises tag $u_m = u_m(r)$ statikus függvénykapcsolatának matematikai leírása nehézkes, a függvénykapcsolatnak a statikus karakterisztikával történő szemléltetése viszont igen egyszerű és szemléletes.

7 Az i ingadozási sáv akkor nagyobb, mint a H hiszterézis, ha a folyamat egynél több energiátárolásból származó késleltetést, vagy holtidőt tartalmaz.

8 Ez akkor van így, ha a folyamat holtidőmentes, és egy energiátároló okozta jelkésleltetése van.

9 A dinamikus rendszer hatásvázlatának alapján végzett analízis során az is lehetséges, hogy a jelátviteli tulajdonságok leírásakor a tömörítés helyett egy részletezést hajtunk végre. Ilyen részletezés például az, amikor lineáris alaptagokkal (arányos, integráló és összegző taggal) építjük fel a lineáris dinamikus rendszer hatásvázlatát (lásd az átviteli függvény felbontása alaptagokkal részletet).

10 A folyamatokban jelentkező jelkésleltetések technológiai adottságok, és igen széles skálán mozognak (pl. elektromechanikus rendszerek: ms, s; hidraulikus folyamatok: s, 10 s; termikus folyamatok: 100 s, 3600 s stb). A szabályozók energiátárolásból származó késle-

tetései sokszor nagyságrendekkel kisebbek a folyamat késleltetéseisehez képest, nem ritkán szándékosan késleltetést kell a szabályozóba létrehozni annak érdekében, hogy a zárt rendszer minőségi tulajdonságait javítani lehessen.

11 A dinamikus rendszereknek számos stabilitás fogalma létezik. A szabályozások esetében a rendszer stabilitásának azt az értelmezését használjuk, hogy állandó értékű u_{a0} alapjel és u_{z0} zavaró jelek hatására $t \rightarrow \infty$ mellett létrejön-e a módosított jellemző $u_m(\infty) = u_{m0}$ és a szabályozott jellemző $y(\infty) = y_0$ jeleknek az állandó értéke. Ha igen, akkor a szabályozási rendszer aszimptotikusan stabilis. Ez egyébként azt is jelenti, hogy a hatáslánc minden szer- vének bemenő- és kimenőjele is – az egyensúlyi helyzetben – állandó értéket vesz fel.