

A magyar műszaki főiskolák egységes irányítástechnikai  
jegyzetsorozata

1. füzet

**Bevezető irányítástechnikai alapismeretek**

Írta

**Dr. Petz Ernő**

címzetes egyetemi tanár

Kézirat

1996



## A magyar műszaki főiskolák egységes irányítástechnikai jegyzetsorozata

A jegyzetsorozat az alább felsorolt intézmények közreműködésével a Főiskolai Irányítástechnikai Oktatásmódszertani Munkabizottság (FIOM) irányításával készült.

|                                                                                 |                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Bánki Donát Műszaki Főiskola<br>Budapest                                        | Gépészeti és Rendszertechnikai Tanszék                             |
| Bólyai János Katonai Műszaki Főiskola<br>Budapest                               | Fegyverzettechnikai Tanszék<br>Légvédelmi Rakéta- és Tüzér Tanszék |
| Energetikai Szakképzési Intézet<br>Paks                                         | Energetikai Főiskolai Szak                                         |
| Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola<br>Kecskemét                        | Elektrotechnika és Kibernetika Tanszék                             |
| Kandó Kálmán Műszaki Főiskola<br>Budapest                                       | Műszertechnikai és Automatizálási Intézet                          |
| KÉE Élelmiszeripari Főiskolai Kar<br>Szeged                                     | Irányítástechnika és Informatika Tanszék                           |
| Könnyűipari Műszaki Főiskola<br>Budapest                                        | Gépészeti Tanszék                                                  |
| ME Dunaújvárosi Főiskolai Kar<br>Dunaújváros                                    | Informatika Intézet                                                |
| Miskolci Egyetem<br>Miskolc                                                     | Irányítástechnikai Tanszék                                         |
| Janus Pannonius Tudományegyetem<br>Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar<br>Pécs | Villamos Intézet                                                   |
| Széchenyi István Főiskola<br>Győr                                               | Automatizálási Tanszék                                             |
| Veszprémi Egyetem<br>Veszprém                                                   | Automatizálás Tanszék                                              |

## A SOROZATBAN MEGJELENT JEGYZETEK

Dr. Petz Ernő : 1. füzet. Bevezető irányítástechnikai alapismeretek. Bp. 1996

Dr. Harkai T. - Dr. Tverdota M. : 2. füzet. Villamos vezérléstechnika. Bp. 1995.

Dr. Bencsik A. - Dr. Madarász L. : 3. füzet. Digitális jelek, digitális áramkörök.  
Bp. 1995.

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Alkalmazott jelölések.....                                            | 5  |
| 1. Az irányítástechnika feladatköre .....                             | 7  |
| 2. Bevezető alapfogalmak .....                                        | 8  |
| 2.1 A jelek csoportosítása .....                                      | 9  |
| 2.2. Ábrázolási módok, az irányítási rendszer szerkezeti részei ..... | 11 |
| 2.3. A hatásvázlattal kapcsolatos fogalmak.....                       | 12 |
| 3. Az irányítás válfajai, az irányítástechnika felosztása .....       | 15 |
| 3.1. A vezérlés .....                                                 | 15 |
| 3.2. A szabályozás.....                                               | 16 |
| 3.3. A vezérlés és szabályozás összehasonlítása.....                  | 17 |
| 3.4. Az irányítástechnika felosztása.....                             | 20 |
| 4. A szabályozási kör .....                                           | 20 |
| 4.1. Szabályozó szervek .....                                         | 22 |
| 4.2. Szabályozások felosztása.....                                    | 30 |
| 4.3. A szabályozás minőségi jellemzői .....                           | 32 |
| 4.4. Szabályozási kapcsolások.....                                    | 36 |
| Ajánlott irodalom.....                                                | 45 |

## ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

|                                                      |                                  |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| $a(\omega)$                                          | amplitúdó jelleggörbe            |
| $h, H$                                               | helyzet, elmozdulás              |
| $j$                                                  | komplex egység ( $j^2 = -1$ )    |
| $n$                                                  | fordulatszám                     |
| $p$                                                  | nyomás                           |
| $q$                                                  | közegáram                        |
| $q_m$                                                | tömegáram                        |
| $q_v$                                                | térfogatáram                     |
| $s = \sigma + j\omega$                               | komplex változó                  |
| $t$                                                  | idő                              |
| $v(t)$                                               | átmeneti függvény                |
| $w(t)$                                               | vezető jel, súlyfüggvény         |
| $x(t), X(t)$                                         | jel, szabályozott jellemző       |
| $x_a(t)$                                             | alapjel                          |
| $x_{aé}$                                             | alapérték                        |
| $x_b(t), u(t)$                                       | bemenő jel                       |
| $x_b(t)$                                             | beavatkozó jel                   |
| $x_{bs}(t)$                                          | kisegítő beavatkozó jel          |
| $x_e(t)$                                             | ellenőrző jel                    |
| $x_k(t), v(t)$                                       | kimenő jel                       |
| $x_m(t)$                                             | módosított jellemző              |
| $x_v(t), y(t)$                                       | végrehajtó jel                   |
| $x_w(t) = x_{aé} - x(t)$                             | szabályozási eltérés             |
| $x_{wm}(t) = [x_{aé} - x(t)]_{t \rightarrow \infty}$ | maradó szabályozási eltérés      |
| $x_r(t) = x_a(t) - x_e(t)$                           | rendelkező jel                   |
| $x_s(t)$                                             | kisegítő szabályozott jellemző   |
| $z(t)$                                               | zavaró jel, zavaró jellemző      |
| $A$                                                  | átviteli tényező                 |
| $A_D$                                                | differentiálási átviteli tényező |

|                     |                                                |
|---------------------|------------------------------------------------|
| $A_I$               | integrálási átviteli tényező                   |
| $A_p$               | arányos átviteli tényező                       |
| $F$                 | erő                                            |
| $J_A(J_{IAE})$      | lineáris abszolút szabályozási terület         |
| $J_L$               | lineáris szabályozási terület                  |
| $J_N$               | négyzetes szabályozási terület                 |
| $J_S(J_{L1})$       | idővel súlyozott lineáris szabályozási terület |
| $K$                 | hurokerősítés (körerősítés)                    |
| $K_{kr}$            | kritikus hurokerősítés                         |
| $L$                 | foliadékszint                                  |
| $M$                 | nyomaték                                       |
| $R$                 | szabályozó                                     |
| $S$                 | szabályozott szakasz                           |
| $T$                 | időállandó                                     |
| $T_D$               | differentiálási (elébeugrási) idő              |
| $T_H$               | holtidő                                        |
| $T_F$               | felfutási idő                                  |
| $T_I$               | integrálási (utánállási) idő                   |
| $T_L$               | lappangási idő                                 |
| $T_M$               | megindulási idő                                |
| $T_s$               | szabályozási idő                               |
| $Y(j\omega)$        | frekvenciafüggvény                             |
| $Y(s)$              | átvitelfüggvény                                |
| $\delta(t)$         | egységlokkés                                   |
| $\varphi$           | fázisszög                                      |
| $\varphi(\omega)$   | fázis jelleggörbe                              |
| $\varphi_t$         | fázistöbblet (fázistartalék)                   |
| $v$                 | lengésszám                                     |
| $\sigma$            | túllendülés                                    |
| $\omega$            | körfrekvencia                                  |
| $\omega_c$          | vágási körfrekvencia                           |
| $\vartheta(\Theta)$ | hőmérséklet (abszolút hőmérséklet)             |
| $\zeta$             | csillapítási tényező                           |
| $\Gamma$            | elfordulás                                     |

# BEVEZETŐ IRÁNYÍTÁSTECHNIKAI ALAPISMERETEK

## 1. Az irányítástechnika feladatköre

Az ipari, technológiai folyamatok területén szigorú előírásokat kell betartani, hogy a gyártással és a végtermékkel szemben támasztott (műszaki-technológiai, minőségi, gazdasági és környezetvédelmi) követelményeknek eleget lehessen tenni és az üzembiztonság feltételeit biztosítani lehessen. Azoknak a funkcióknak, tevékenységeknek, műveleteknek az összességét, amelyekkel az előírt követelményeknek eleget teszünk ill. amelyekkel az előírásokat teljesítjük, a szóban forgó folyamat **irányításának** nevezzük.

A termelési folyamatok általában **anyag- ill. energiaátalakítási és anyag-energiaszállítási folyamatok** révén valósulnak meg, így a termelési folyamat irányításának a feladata, hogy a szükséges anyag- ill. energiaátalakulási folyamat **létrejöjjön, a kívánt mederben maradjon ill. megszűnjön**. Ez természetesen csak a folyamatba történő megfelelő **beavatkozások** útján valósítható meg. Az MSZ 18450/1-68 szabvány szerint: **az irányítás** olyan művelet, amely valamely műszaki folyamatba, annak létrehozása (elindítása), a kívánt módon való fenntartása, megváltoztatása vagy megszüntetése végett beavatkozik.

A termelési folyamatokhoz hasonlóan az irányítási műveletek is **gépesíthetők**. Az ember törekvése, hogy e jelentős szellemi megterhelést jelentő feladatokat is egyre kiterjedtebben az általa létrehozott műszaki eszközökre, készülékekre, ún. önműködő irányító-berendezésekre (automatikákra) bízza. Az irányítástechnikai műveletek gépesítését **automatizálásnak** nevezzük.

Az **irányítástechnika** (automatika), - mint műszaki tudományág - az önműködő irányítás törvényszerűségeivel, az irányítástechnikai rendszerek vizsgálati módszereivel ill. azok gyakorlati megvalósításával foglalkozik.

Az irányításnak két módját különböztetjük meg:

- **Kézi irányítás** az irányításnak az a módja, amikor az irányítás valamelyik részműveletét kezelő személy végzi.
- **Önműködő irányítás** az irányításnak az a módja, amikor valamennyi irányítási művelet kezelői beavatkozás nélkül megy végbe.



Függetlenül attól, hogy kézi vagy önműködő irányítási módról van szó, az irányítási folyamat mindenkor az alábbi műveletekből áll:

- **Érzékelés:** értesülés (információ) szerzés az irányítás tárgyát képező folyamatról.
- **Ítéletalkotás:** döntés az információ alapján a rendelkezés szükségességéről.
- **Jelformálás:** a megfelelő (optimális) mértékű és lefolyású beavatkozáshoz szükséges jellemzők módosítása ill. jelerősítés.
- **Beavatkozás:** az irányított folyamat befolyásolása a rendelkezés alapján.

Az önműködő irányítás keretében az irányítási részműveletek többségét egyre inkább programozható irányítástechnikai eszközök, számítógépek látják el.

## 2. Bevezető alapfogalmak

Fentiekből következik, hogy valamely irányítási rendszer két fő részből áll:

- az **irányított rendszer** olyan, az irányítástól független létesítmény (berendezés, gép, stb.), amely az irányítás tárgyát képezi,
- az **irányító rendszer** mindazon önműködő berendezéseknek az összessége, amelyeknek révén az irányítási műveletek létrejönnek és együttműködésükkel az irányított rendszer irányítása megvalósul.

Az együttműködő irányítástechnikai elemek egymásra **hatást** gyakorolnak. Az irányítási rendszer azon szerkezeti egységeinek a láncolatát, amelyek az irányítási hatásokat közvetítik **hatásláncnak** nevezzük. A hatásokat absztrakcióval jeleknek nevezzük, melyeknek legfontosabb sajátossága, hogy információtartalommal rendelkeznek.

- **Jelhordozó** minden olyan mérhető fizikai (kémiai) állapothatározó (mennyiség) lehet (pl. elmozdulás, erő, villamos feszültség, hőmérséklet, nyomás, tömegáram, teljesítmény stb.), amely információ hordozásra alkalmas.
- **Jel** valamely fizikai állapothatározónak (mennyiségnek) minden olyan értéke vagy értékváltozása, amely egyértelműen hozzá rendelhető információ szerzésére, továbbítására vagy tárolására alkalmas.
- Megkülönböztetésül az irányítástechnikai gyakorlatban **jellemzőknek** nevezzük az irányított rendszerhez tartozó jeleket.

## 2.1 A jelek csoportosítása

A jeleket értékkészletük, időbeli lefolyásuk, az információ megjelenési formája és az érték meghatározottsága szerint csoportosíthatjuk.

**Az értékkészlet szerint:**

- **Folytonos** a jel, ha - értelmezési tartományában - tetszés szerinti értéket felvehet. (1. ábra a, b, d, e)
- **Szakaszos** (nem folytonos) a jel, ha értelmezési tartományában nem vehet fel tetszőleges értéket. (1. ábra c, f, g, h)

**Az időbeli lefolyás szerint:**

- **Folyamatos** a jel, ha értékkészlete adott időtartomány bármelyik időpontjában változhat (1. ábra a, b, c, g)
- **Szaggatott** (nem folyamatos) a jel, ha értékkészlete adott időtartományban nem minden időpontban változhat. (1. ábra d, e, f, h)

**Az információ megjelenítési formája szerint:**

- **Analóg** a jel, ha az információt a jelhordozó értéke vagy értékváltozása közvetlenül képviseli. (1. ábra a, c, (modulálatlan) b, d, e, f (modulált))
- **Digitális** a jel, ha az információ a jelhordozó számjegyet kifejező, diszkrét jelképi értékeiben (kódjaiban) van jelen. (1. ábra g (binárisan kódolt), h (sorosan kódolt))

**Az érték meghatározottsága szerint**

- **Determinisztikus** a jel, ha értéke meghatározott időfüggvénnyel egyértelműen megadható. (1. ábra valamennyi jele)
- **Sztochasztikus** a jel, ha időben statisztikus lefolyású, csak valószínűség-számítási módszerekkel írható le.

| Jelek         |            | Folytonos<br>értékkészletű    | Szakaszos<br>értékkészletű |
|---------------|------------|-------------------------------|----------------------------|
| Analóg        | Folyamatos | <p>a.</p>                     | <p>c.</p>                  |
|               | Szaggatott | <p>b.</p> <p>d.</p> <p>e.</p> | <p>f.</p>                  |
| Digitális     | Folyamatos |                               | <p>g.</p>                  |
|               | Szaggatott |                               | <p>h.</p>                  |
| Sztokasztikus |            |                               |                            |

1. ábra. A jelek felosztása

(MSZ 18450/1-68)

Nagytávolságú zavarmentes jelátvitel igénye esetén **modulált** jeleket alkalmazunk. Ebben az esetben a jel információtartalmát egy szinuszos vivő vagy pulzusvivő (rendszerint villamos feszültség) valamely **paraméterének változása** (modulációja) reprezentálja. Pl. szinuszos jelvivő esetén ennek megfelelően **amplitúdómoduláció** (AM), **frekvenciamoduláció** (FM) vagy **fázismoduláció** (PM) alkalmazására kerülhet sor. A modulált jelet kódolás útján a **modulátor** állítja elő, majd felhasználói oldalon a modulált jelből az eredményinformáció leválasztását a **demodulátor** végzi. Pulzus vivőhullám esetén hasonló módon **pulzus-amplitúdó** (PAM), **pulzus-frekvencia** (PFM) illetve **pulzus-fázis** (PPM) moduláció alkalmazható. Pulzushullámnál változó paraméter lehet a pulzusszélesség is. Ehhez rendelt információ esetén kapjuk a **pulzus-szélesség** (PWM) **modulációt** (Width = szélesség). Pulzus-kód modulációhoz (PCM) jutunk, ha az információt a pulzushullám impulzusainak **hiánya** reprezentálja. **Pulzus-delta moduláció** (PDM vagy DM) esetén az információt az impulzusok hiánya és pozitív vagy negatív amplitúdója képviseli. Elegendően gyakori mintavétel esetén az amplitúdó 0 vagy 1 (1 kvantumnyi). A negatív amplitúdó a jelnek az előző mintához mért csökkenését jelenti. A PDM ugyanis abban különbözik a PCM-től, hogy nem a teljes jelmintát, hanem csak az előző mintához mért változását viszi át.

## 2.2. Ábrázolási módok, az irányítási rendszer szerkezeti részei

Az irányítási rendszereket szerkezeti vázlattal, működési vázlattal vagy hatásvázlattal ábrázolhatjuk:

- **Szerkezeti vázlat** az irányítási rendszernek olyan vázlatos vagy jelképes szerkezeti ábrázolása, amely elsősorban a rendszer irányítási szempontból lényeges részeit tünteti fel. A technológiai és irányítástechnikai berendezéseket szabványos rajzjelekkel ábrázoljuk. Egyik változataként kezelhető az ún. folyamatábra, angolul P&I (Process and Instrumentation) séma, amely a különböző mérés-technikai és irányítástechnikai funkciókat megkülönböztetett módon ábrázolja (pl. hőmérsékletmérés jelzés, regisztrálás és/vagy szabályozás céljából). A 16-21. ábrák láthatunk egyszerű példákat.
- **Működési vázlat** a hatáslánc szerkezeti részeinek olyan ábrázolási módja, amely a részek -irányítástechnikai - funkcionális szerepének jelképi ábrázolásából áll. A szerkezeti részeket téglalapok, a jelek útját pedig hatásvonalak jelképezik. A 4-5. ábrák mutatnak be példákat.
- **Hatásvázlat** a hatáslánc elvonatkoztatott ábrázolási módja, tagokból és hatásvonalakból (jelekből) épül fel. A tagokat és jeleket egyszerű geometriai alakzatokkal ábrázoljuk (8. ábra), amelyekbe a tagok dinamikus viselkedésére jellemző beírások ill. ábrák szerepelhetnek.

Az irányítástechnikai rendszerek szerkezeti részei a készülék, a szerv, az elem és a jelvivő vezetékek

- **Készülék** az olyan szerkezetileg körülhatárolt, többnyire a maga egészében kicserélhető egység, amelynek önálló technológiai vagy önálló irányítási feladata van. A készülék egy vagy több szervből állhat. (Pl. mérő készülék, vezérlő készülék, szabályozó készülék.)
- **Szerv** az irányító rendszernek irányítási részfeladatokat önállóan ellátó szerkezeti egysége. A szerv egy vagy több elemből állhat. (Pl. érzékelő szerv, végrehajtó szerv, beavatkozó szerv.)
- **Elem** az irányítástechnikai szempontból tovább nem bontható rész. Az elem egy vagy több alkatrészéből állhat.
- **Jelvivő** vezetékek az olyan összeköttetés (például villamos, pneumatikus vagy hidraulikus vezetékek, mechanikai kötés), amelynek feladata a jelek átvitele az irányítási rendszer részei között.

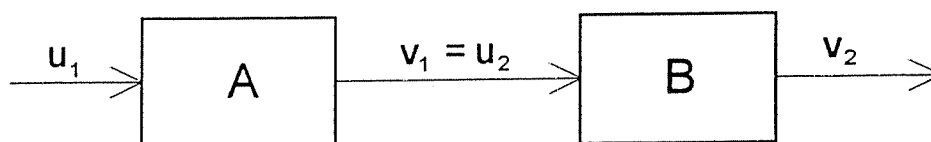
### 2.3. A hatásvázlattal kapcsolatos fogalmak

A hatásvázlattal kapcsolatos fogalmak a tag, az irányított szakasz, a hatásirány, a bemenő, kimenő jel, a tömbvázlat és a jelfolyam ábra.

- **Tag** az irányítási rendszer (hatáslánc) valamely tetszőleges szerint kiválasztott részének (elemének, szervének stb.) jelképező tulajdonságait képviselő fogalom, amelyhez tehát absztrakcióval jutunk. A tag a jel formálását kifejező törvényszerűséggel egyértelműen, mindennemű szerkezeti kivételtől függetlenül leírható. E törvényszerűség kifejezhető matematikai alakban (pl. differenciálegyenlettel) vagy grafikusán (pl. jelleggörbével). Például: arányos hordozó tag, integráló tag.
- **Irányított szakasznak** nevezzük az irányított rendszer jelátviteli tulajdonságait leíró tagot.
- **Hatásirány** a jelek terjedésének iránya. A tagok a jeleket csak egy irányban engedik át, vagyis a tagok visszahatás-mentesek!
- **Bemenő jel** a tagot működtetésre készítető, annak működésétől független jel.
- **Kimenő jel** a tag működése folytán kialakuló jel. A kimenő jelet a bemenő jel befolyásolja és annak a függvénye.

A bemenő jel és kimenő jel fogalma szervekkel kapcsolatban is használható.

A **2. ábra** egy két, soros tagból álló hatásláncot ábrázol. Az **A** tag bemenő jele  $u_1$ , kimenő jele  $v_1$ , amely egyben a **B** tag bemenő jele ( $v_1 = u_2$ ). A szóbeli leírások során azt mondjuk, hogy az **A** tag működteti a hatásirányban következő **B** tagot vagy az  $u_1$  jel működteti az **A** tagot, illetve, hogy az  $u_1$  jel befolyásolja a  $v_1$  jelet, vagy a **B** tag befolyásolja a  $v_2$  kimenő jelet stb.



2. ábra. Két soros tag hatáslánca

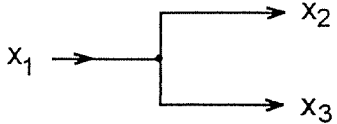
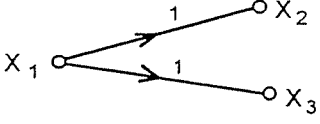
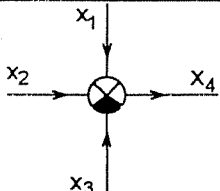
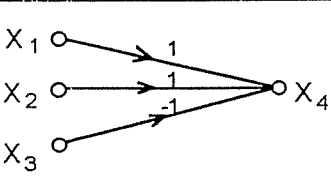
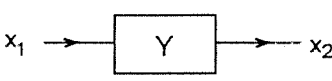
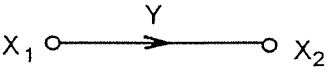
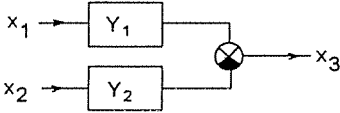
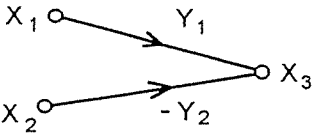
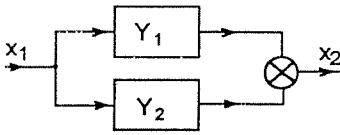
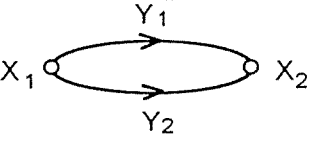
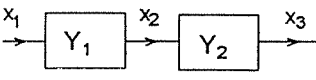
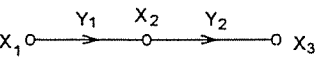
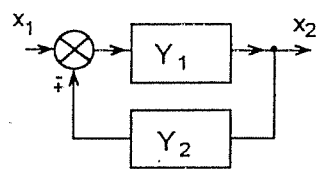
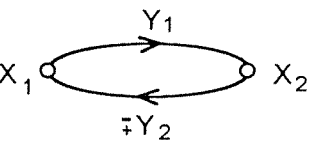
A gyakorlatban a hatásvázlat két változatát használják, a tömbvázlatot és a jelfolyam ábrát, amint a **3. ábra** szemlélteti.

- A **tömbvázlatban** egyszerű geometriai alakzatok jelképezik a hatáslánc tagjait, jeleit és a hatásirányt. A tagokat fekvő téglalapok, a hatásláncban haladó jeleket folyamatos vonalak (hatásvonalak), a hatásirányokat a vonalakra rajzolt nyilak, a jelelágazási helyeket pedig pontok jelképezik.

A tagokat jelképező téglalapokban szerepel(het) a tag jellemző függvénye vagy jelleggörbéje. A jelek összegzésének (különbség képzésének) jelképe a negyedekre osztott kör, ahol a negatív előjellel belépő jel körcikkét besötétítjük, vagy az összes jelet előjellel látjuk el. Fontos, hogy csak azonos jelhordozójú (azonos dimenziójú) jelek összegezhetők (pl. villamos feszültség jel csak villamos feszültség jellel stb.) A jelek terjedésével kapcsolatos másik fontos szabály, hogy a jelelágazási helyet követően, minden hatásvonalon a jel azonos (változatlan) információtartalommal rendelkezik (a jel nem "osztódik"!)

- A **jelfolyam ábrában** csomópontok és az azokat összekötő ágak jelképezik a hatáslánc jeleit, tagjait és a hatásirányt. A jeleket a csomópontok, a (lineáris) tagokat az ágak, a hatásirányt az ágakra rajzolt nyilak jelképezik.

A tagokban feltüntetett, ill. a az ágak feletti felirat megadja a tag dinamikai (jelformáló) tulajdonságait leíró függvényt.

| Sor-szám | Megnevezés és matematikai összefüggés                                             | Hatásvázlat                                                                          |                                                                                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                   | Tömbvázlat                                                                           | Jelfolyamábra                                                                         |
| 1        | Jel-elágazás<br>$x_1 = x_2 = x_3$                                                 |    |    |
| 2        | Jelösszegezés<br>$x_4 = x_1 + x_2 - x_3$                                          |     |    |
| 3        | Tag, be- és kimenő jelek<br>$x_2 = Y \cdot x_1$                                   |     |    |
| 4        | Tagok által módosított jelek összegezése<br>$x_3 = Y_1 \cdot x_1 - Y_2 \cdot x_2$ |    |   |
| 5        | Tagok párh. kapcsolása<br>$x_2 = (Y_1 + Y_2) \cdot x_1$                           |  |  |
| 6        | Tagok soros kapcsolása<br>$x_3 = Y_2 \cdot x_2 = Y_1 Y_2 \cdot x_1$               |   |  |
| 7        | Visszacsatolás<br>$x_2 = \frac{Y_1}{1 \pm Y_1 Y_2} x_1$                           |   |  |

3. ábra. A tömbvázlat és a jelfolyamábra jelképei.

(MSZ 18450/1-68)

A 3. ábra egyben a tagok három alapvető **kapcsolódási módját** is bemutatja, nevezetesen a tagok **párhuzamos** kapcsolását, a tagok **soros** kapcsolását és a **viSSZacsatolást** (visszavezetést). A tagok leírására szolgáló függvények ( $Y_1$ ;  $Y_2$ ) tárgyalására a szabályozástechnikai kötetben kerül sor.

### 3. Az irányítás válfajai, az irányítástechnika felosztása

A gyakorlatban az irányítás két fő válfaját alkalmazzuk: a vezérlést és a szabályozást. Együttes alkalmazásuk is gyakori.

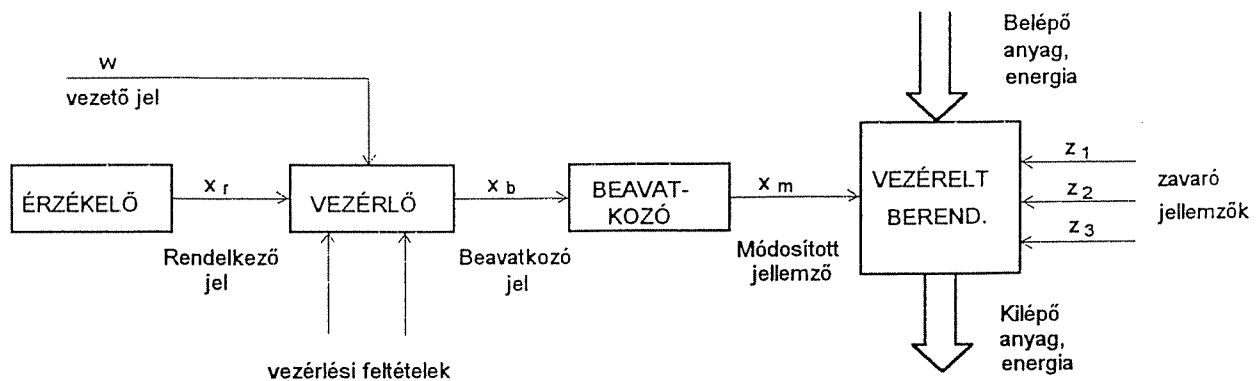
#### 3.1. A vezérlés

A vezérlés egyszerűsített működési vázlatát a **4. ábra** szemlélteti. Feladata, hogy a vezérelt berendezés anyag vagy energiaátalakulási folyamata a kívánt módon alakuljon pl. egy előre megadott időprogram szerint. Ez egyrészt a vezérlőberendezés bemenő jele(i)nek hatásaként, másrészt a vezérlőberendezés jelformáló funkciója (pl. a jelek logikai jelfeldolgozása) révén valósul meg. A bemenő jel lehet pl. egy időprogram adó **vezető jele** vagy egy érzékelő kimenő jelével képzett **rendelkező jel**. A vezérlő berendezés ezen kívül további, pl. technológiai feltételeket reprezentáló jeleket fogadhat. A vezérlőberendezés a **beavatkozó szerv** működtetése útján befolyásolja a műszaki, technológiai (termelési) folyamatot. Ezt általában a vezérelt berendezés e célra alkalmas anyag ill. energiaáramának módosításával éri el, ezért a beavatkozó szerv kimenő jelét **módosított jellemzőnek** ( $x_m$ ) nevezzük. Amennyiben a műszaki folyamatnak egy meghatározott jellemzőjét változtatjuk előírt módon, azt **vezérelt jellemzőnek** nevezzük. A vezérelt berendezést egyéb, olyan külső hatások is érhetik, amelyek a vezérelt technológiai folyamatot (vezérelt jellemzőt) képesek befolyásolni. E hatásokat **zavaró jellemzőknek** nevezzük. A vázolt működési elvből látható, hogy a vezető ill. rendelkező jel hatása végigfut a vezérlés hatásláncán. Tehát a **vezérlés nyílt hatásláncú irányítás**, a vezérelt folyamat (vezérelt jellemző) nem hat vissza a vezérlő berendezésre és nem befolyásolja annak jelformáló működését.

A vezető jel alapján megkülönböztetünk követő vezérlést, menetrendi (program) vezérlést, időterv-vezérlést és lefutó vezérlést:

- **Követő vezérlés** az olyan vezérlés, amelyben az érzékelt vezető jel határozza meg a rendelkező jelet ( a vezérelt jellemző követi a vezető jelet ).





4. ábra. A vezérlés működési vázlata

- **Menetrendi (program) vezérlés** az olyan vezérlés, amelyben a rendelkező jel előre meghatározott terv, menetrend (program) szerint jön létre.
- **Időterv-vezérlés** az olyan menetrendi vezérlés, amelynek a rendelkező jelét az időterv-tároló (adó) szolgáltatja. A rendelkező jel csak az idő függvénye.
- **Lefutó vezérlés** az olyan menetrendi vezérlés, amelynek a vezető jelét ill. a vezérlési műveletek (lépések, szakaszok) végrehajtását a külső környezetből és a vezérelt folyamat állapotából származó feltételek határozzák meg. A vezérlési műveletek ill. beavatkozások a feltételek teljesülésének ütemében "futnak le" (egy-egy lépések vagy szakaszok csak akkor kezdődhetnek meg, ha a megelőző lépés ill. szakasz már befejeződött és a feltételek teljesülnek).

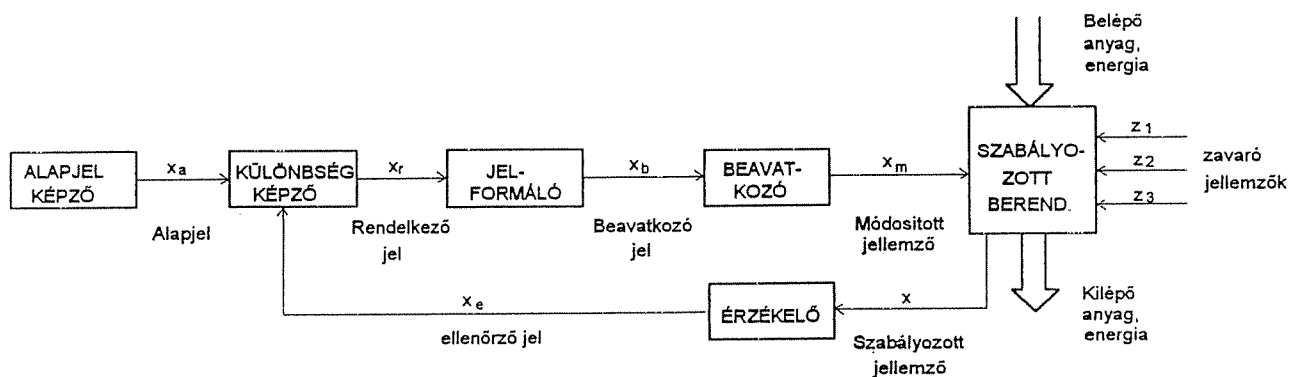
A berendezések önműködő indításának és leállításának irányítása, valamint a jelzési, a reteszelési és védelmi műveletek lényegében önműködő vezérlések.

A vezérléstechnika részletesebb tárgyalására külön kötetben térünk vissza.

### 3.2. A szabályozás

A szabályozás egyszerűsített vázlata az **5. ábrán** látható. A technológiai folyamatokkal szemben támasztott követelményeknek sok gyakorlati esetben azáltal tudunk eleget tenni, ha a technológia célszerűen megválasztott fizikai jellemzőit tartósan vagy átmenetileg állandó értéken tartjuk. Ez esetben az irányítás rendelkező jelének kézenfekvő képzési módja, ha a szóban forgó ún. **szabályozott jellemző** ( $x$ ) pillanatnyi értékét összehasonlítjuk a jellemző tartani kívánt (előírt) értékével, amelyet **alapértéknek** ( $x_{aé}$ ) nevezünk. Az összehasonlítás legegyszerűbb módja: az

alapértékkel arányos **alapjel** ( $x_a$ ) és a szabályozott jellemző pillanatnyi értékével arányos **ellenőrző jel** ( $x_e$ ) különbségének a képzése. E feladatot az ábrában feltüntetett **különbségképző** (szerv) látja el, melynek kimenő jele az  $x_r$  rendelkező jel. Az ellenőrző jelet a szabályozott jellemző mérése útján az **érzékelő** szerv szolgáltatja. Az alapjel előállítása céljából ún. **alapjelképző** szervet építünk be (annak az alapvető követelménynek a figyelembevételével, hogy a különbségképzés csak azonos jelhordozójú fizikai mennyiségekkel - pl. villamos feszültségjelekkel - valósítható meg).



5. ábra. A szabályozás egyszerűsített működési vázlata

A működési vázlat alapján a szabályozás tehát a szabályozott jellemző mérése útján az irányított folyamat **ellenőrzésére** épül (melynek révén információt szerzünk a folyamat pillanatnyi állapotáról). Tehát a szabályozott jellemző - az ellenőrző jelnek a szabályozó berendezésre történő **visszavezetése** (visszacsatolása) révén - részt vesz a rendelkező jel képzésében ( $x_r = x_a - x_e$ ) ill. a szabályozó jelformáló működésében. A visszavezetés révén a hatásláncnak egy **zárt köre** alakul ki, amelyet **szabályozási körnek** nevezünk. A szabályozás tehát a nyílt hatásláncú vezérléssel szemben **zártkörű irányítás**.

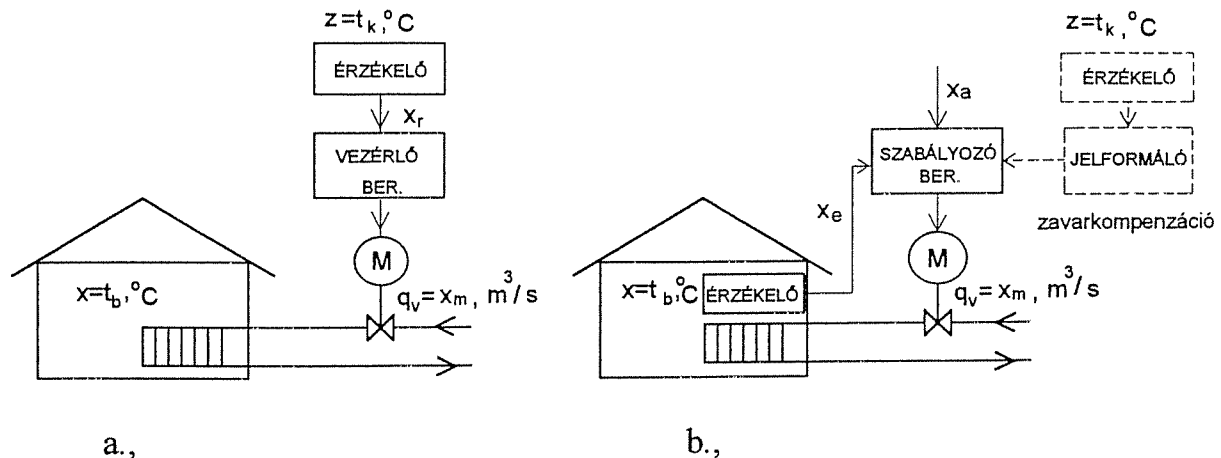
A szabályozással összefüggő ismeretek részletesebb tárgyalását különálló kötet tartalmazza.

### 3.3. A vezérlés és szabályozás összehasonlítása

Az irányítás két fő válfajának részletesebb összehasonlítása céljából ismerkedjünk meg egy olyan egyszerű irányítási feladattal, amelyet vezérléssel és szabályozással is megoldhatunk.

A **6. ábra** szerinti házban a belső hőmérsékletet kell állandó értéken tartani ( $x = t_b$  °C). E hőmérséklet a radiátorokon átáramló forróvíz térfogatáramának ( $q_v$ , m<sup>3</sup>/s) módosításával befolyásolható. Beavatkozó szervként a meleg ágba épített szabályozó szelepet

alkalmazzuk. A fűtés fő zavaró jellemzője a külső környezeti hőmérséklet ( $z=t_k, ^\circ\text{C}$ ), hiszen annak változásai ellenére kell az épületen belül a hőmérséklettartásról gondoskodni.



6. ábra. Épület belső hőmérsékletének irányítása vezérléssel (a.) és szabályozással (b.)

**Vezérlés** esetén egy erre alkalmas érzékelővel (pl. hőelemmel) mérjük a külső hőmérsékletet, ennek kimenő jele a vezérlési folyamat rendelkező jele. Amennyiben a külső hőmérséklet egy adott értékre csökken (pl.  $t_k=12^\circ\text{C}$ -nál), a vezérlő berendezés indítja a szabályozószelep motorját és a szabályozószelepet a külső hőmérséklet alakulásának függvényében nyitja ill. zárja egy előre meghatározott függvénykapcsolat szerint. Jól tervezett függvénykapcsolat esetén az épületben a kívánt hőmérséklet uralkodik. Amennyiben egy másik külső hatás (zavaró jellemző) megváltozik a tervezési értékéhez képest (pl. megnő az épület hővesztesége szellőztetés vagy szélhatás következményeként), a szóban forgó vezérlés már nem lesz képes feladatát a kívánt elvárásoknak megfelelően ellátni (a vezérelt jellemző el fog térni a tartani kívánt értékétől).

**Szabályozás** esetén szabályozott jellemzőként a belső hőmérsékletet mérjük ( $x=t_b, ^\circ\text{C}$ ) és az érzékelő ellenőrző jelét különbségképzéssel összehasonlítjuk a belső hőmérséklet előírt értékének (az  $x_a$  alapértéknek) megfelelő  $x_a$  alapjellel ( $x_r=x_a-x_e$ ). A szabályozó berendezés (jelformáló tulajdonsága által meghatározottan) a mindenkor  $x_r$  rendelkező jel előjelének megfelelő irányú és a szabályozási eltérés ill. a rendelkező jel nagyságának megfelelő mértékű (erősségű) beavatkozásról gondoskodik. A szabályozó berendezés mindannyiszor működésbe lép, amidőn a külső zavaró jellemzők hatására a belső hőmérséklet (a szabályozott jellemző) eltér tartani kívánt értékétől, azaz szabályozási eltérés lép fel ( $x_w \neq 0$ ). A szabályozás (szabályozási kör) alapfeladata tehát a zavaró jellemzők hatásának kompenzálása.

A szabályozási eltérés és a rendelkező jel helyes értelmezését a szóban forgó hőmérséklet szabályozás példáján gyakorolhatjuk. Az épületben a tartani kívánt (előírt) hőmérséklet értéke legyen  $20^{\circ}\text{C}$ , tehát a szabályozott jellemző ( $x=t_b, ^{\circ}\text{C}$ ) alapértéke:  $x_{aé}=20^{\circ}\text{C}$ . Legyen a hőmérséklet pillanatnyi értéke, azaz a szabályozott jellemző értéke  $x=18^{\circ}\text{C}$ . A szabályozási eltérés tehát  $x_w=x_{aé}-x=20^{\circ}\text{C}-18^{\circ}\text{C}=2^{\circ}\text{C}$ . Tételezzük fel, hogy a hőmérséklet távadó és az alapjelképző egységes jeltartománya  $0-20\text{ mA}$  ( $0^{\circ}\text{C}$  értékhez  $0\text{ mA}$ , illetve  $40^{\circ}\text{C}$ -hoz  $20\text{ mA}$ -es maximális érték tartozik). Az alapjelképző beállító szerve útján állítjuk be az alapjelet. Ez esetben a beállító jel skáláját  $0-40^{\circ}\text{C}$  tartományra kalibráljuk és a "beállító gombbal"  $w=20^{\circ}\text{C}$  skálaértékre állunk. Ekkor a kimenő jele:  $x_a=10\text{ mA}$  értékű lesz. Mindkét szabályozó szervnél lineáris jelleggörbét feltételezve

- a  $20^{\circ}\text{C}$  alapértékhez tartozó alapjel:  $x_a=10\text{ mA}$ ,
- a  $18^{\circ}\text{C}$  pillanatnyi értékhez tartozó ellenőrző jel:  $x_e=9\text{ mA}$ .

Tehát a rendelkező jel:  $x_r=x_a-x_e=10\text{ mA}-9\text{ mA}=1\text{ mA}$ .

Az elmondottak alapján természetesen felvetődhet a gondolat, hogy nem kapcsolhatók-e össze a vezérlés és a szabályozás előnyei. Könnyű belátni, hogy a szabályozás működése javítható, ha a fő zavaró jellemző ( $z=t_k, ^{\circ}\text{C}$ ) változását követően nem várjuk meg, míg annak hatása (késleltetve) megjelenik a szabályozási eltérésben, hanem a változás pillanatában a vezérléshez hasonlóan késleltetés nélkül beavatkozunk. Ennek megvalósításához érzékelnünk kell a szóban forgó zavaró jellemzőt és az érzékelő jelét megfelelő módon rávisszük a szabályozó berendezésre, amint azt a 6/b. ábra szaggatott kiegészítése feltünteti. Az irányításnak ezt a módját **zavarkompenzációnak** nevezzük.

Mindezek előrebocsátása után **a vezérlés és a szabályozás összehasonlítása** tekintetében a következő fontosabb megállapítások tehetők:

- a vezérlés hatáslánca nyitott, a szabályozásé zárt.
- helyesen méretezett és beállított vezérlés esetén nincs vezérlési eltérés, a szabályozási művelet viszont a szabályozási eltérés fellépésének hatására jön létre.
- a vezérlés csak annak a zavaró jellemzőnek a hatását kompenzálja, amelynek érzékelésével a rendelkező jelet képezzük (a többi zavaró jellemző hatása teljes mértékben érvényesül!), a szabályozás viszont valamennyi zavaró jellemző hatását képes kompenzálni (hiszen mindegy, hogy a szabályozási eltérés milyen hatás következményeként lép fel).
- vezérlés esetén a vezérlési lánc valamennyi szervét, azok viselkedését pontosan ismerni kell, viselkedésük üzembiztonsági megváltozása a vezérlés pontosságát,

eredményességét befolyásolja. Szabályozás esetén ez a követelmény nem ilyen szigorú, hiszen a szabályozott berendezésen belüli olyan pontatlanságok ill. hatások (belső zavarások), amelyek a szabályozási eltérést befolyásolják, a működésből eredően ugyanúgy kompenzálódnak, mint a külső hatások.

- a működés sajátossága szempontjából fontos különbség, hogy a vezérlés a nyitott hatásláncból adódóan mindenkor stabil működésű, míg a zárthurkú szabályozás instabil működése is bekövetkezhet. (A stabilitás kérdésére a 4.3. alfejezetben visszatérünk.)

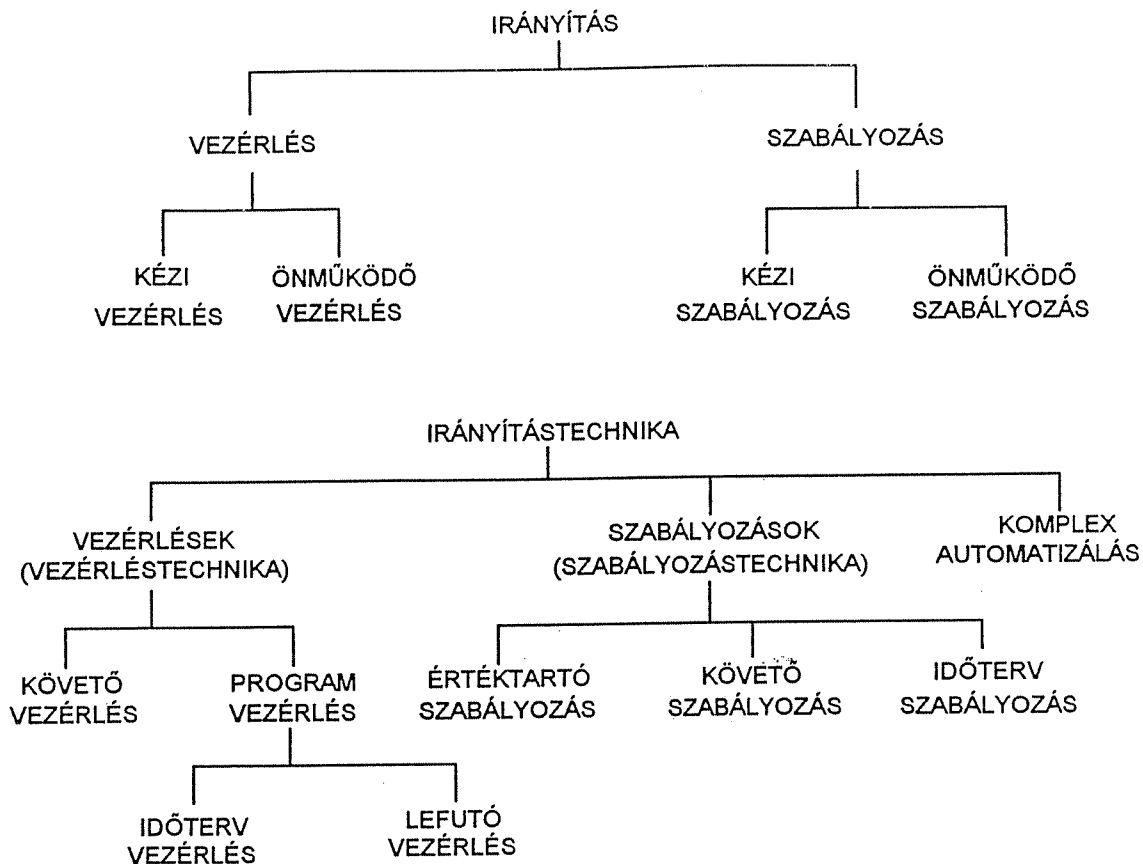
### 3.4. Az irányítástechnika felosztása

Az irányítás ill. az irányítástechnika **felosztása** a fentiekből adódóan a **7. ábra** alapján könnyen áttekinthető. Az irányítástechnika mint tudományág ennek megfelelően két nagy területre osztható: a **vezérléstechnikára** (amely a vezérlési feladatokkal) és a **szabályozástechnikára** (amely a szabályozási feladatokkal) foglalkozik. Nagyobb ill. bonyolult ipari létesítményeknél (erőművek, olajfinomítók, gyártósorok stb.) számos vezérlési és szabályozási feladatot együtt kell megoldani, amelyek során a részfeladatok közötti hatáskapcsolatokat is figyelembe kell venni. Ilyen esetekben **komplex automatizálási** feladatokról beszélünk, amelyeknek a megoldása során már a rendszertechnika átfogóbb ismereteire és módszereire is támaszkodnunk kell. E feladatok megoldásához az e célra kifejlesztett programozható, számítógépi eszközbázisú folyamatirányító és folyamatellenőrző rendszereket alkalmazzák. Ezeknek ma már gazdag választéka áll rendelkezésre, alkalmazásuk felhasználóbarát és korszerű ember-gép kapcsolati (hardver és szoftver) eszközökkel rendelkeznek.

## 4. A szabályozási kör

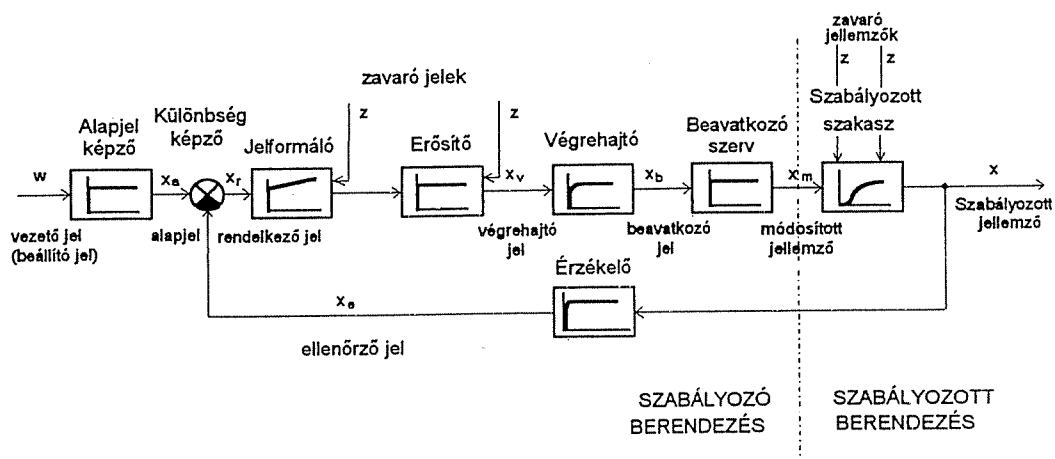
A szabályozási körökkel e helyen még részletesebben foglalkozunk abból a célból, hogy további - a későbbiek szempontjából fontos - alapfogalmakkal ismerkedjünk meg.

A szabályozási kör részletesebb hatásvázlatát a **8. ábra** szemlélteti. Amint korábban már említettük a szabályozási kör két fő szerkezeti részből áll: a szabályozott berendezésből és a szabályozó berendezésből. A hatásvázlatot alkotó tagok ez esetben tehát a szabályozott szakaszt ill. a szabályozó berendezéshez tartozó főbb szabályozó szervek dinamikus (átviteli) tulajdonságait reprezentálják.



7. ábra. Az irányítás, az irányítástechnika felosztása

A tagokba rajzolt ún. átmeneti függvényalakok a tagok dinamikus tulajdonságait szemléltetik.



8. ábra. A szabályozási kör hatásvázlata

#### 4.1. Szabályozó szervek

Az ábrázolt és egyben legfontosabb szabályozószervek funkcióit az alábbiak szerint ismertetjük:

- **Az érzékelő** olyan szerv, amely a szabályozott jellemzővel arányos vagy azzal egyértelműen összefüggő, összehasonlításra alkalmas jelet szolgáltat. Bemenő jele a szabályozott jellemző ( $x$ ), kimenő jele az ellenőrző jel ( $x_e$ ). Az érzékelő egyben jelátalakítási funkciót is ellát. Néhány érzékelőt a **9. ábra** szemléltet.

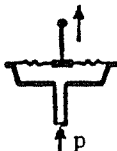
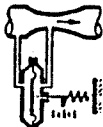
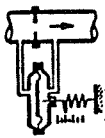
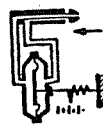
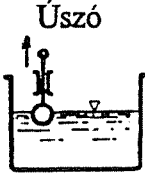
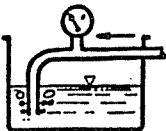
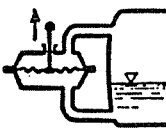
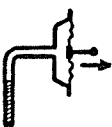
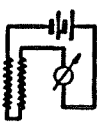
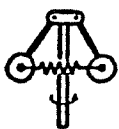
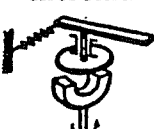
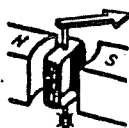
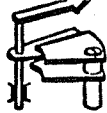
**Az érzékelési hely** a szabályozott berendezés azon helye, ahol az érzékelő szerv a szabályozott jellemzőt érzékeli. Ez a szabályozó berendezés és a szabályozott berendezés egyik csatlakozási helye.

- **Az alapjelképző** olyan szerv, amely az alapértéket képviselő, különbségképzésre alkalmas alapjelet állítja elő. Bemenő jele a  $w$  vezető jel (értéktartó szabályozás esetén a beállító jel), kimenő jele az alapjel ( $x_a$ ).

- **A különbségképző** olyan szerv, amelynek feladata az ítéletalkotás, tehát az alapjel és az ellenőrző jel különbségével arányos rendelkező jel ( $x_r$ ) előállítása. Bemenő jelei az alapjel és az ellenőrző jel, kimenő jele a rendelkező jel. Néhány példát a **10. ábrán** láthatunk.

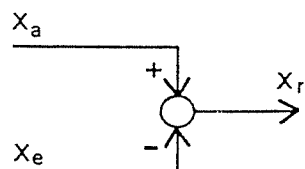
- **A jelformáló** (kompenzáló) olyan szerv, amelynek feladata, hogy a rajta áthaladó jel időbeli változását (a szabályozási folyamat kedvező befolyásolása céljából) előírt törvényszerűség szerint módosítsa. A szabályozott szakaszhoz való kedvező illeszthetősége érdekében a szervet szerkezetileg úgy alakítják ki, hogy a jelformáló (dinamikus) tulajdonságait meghatározó paraméterek változtathatók (beállíthatók) legyenek. A paraméterek beállítására szolgáló szerkezeti részt **hangoló szervnek** nevezzük.

- **Az erősítő** olyan szerv, amely a bemenő jelének hatására, segédenergia felhasználásával a bemenő jelnél nagyobb energiatartalmú (teljesítményerősítő) vagy nagyobb jelszintű (jelerősítő) kimenő jelet ad. Néhány jellegzetes példát a **11. ábra** mutat be.

| Érzékelt jellemző        | Érzékelők                                                                                              |                                                                                                            |                                                                                                                  |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nyomás                   | Síkmembrán<br>        | Csőmembrán<br>            | Bourdon-cső<br>               |
|                          | Venturi-cső<br>       | Mérőperem<br>             | Pitot-cső<br>                 |
| Szint                    | Úszó<br>              | Nyomásmagasság<br>       | Nyomáskülönbség<br>           |
|                          | Gőznyomás-mérő<br>  | Hőelem<br>              | Ellenállás-hőmérő<br>       |
| Fordulatszám             | Centrifug. inga<br> | Örvényáramú-mérőmű<br> | Tachodinamo<br>             |
|                          | Behúzó mágnes<br>   | Forgótek.mérőmű<br>    | Elektrosztatikus mérőmű<br> |
| Villamosáram, feszültség |                                                                                                        |                                                                                                            |                                                                                                                  |

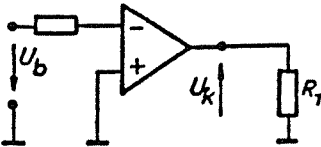
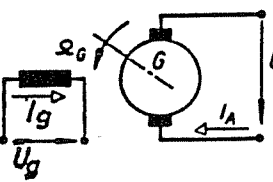
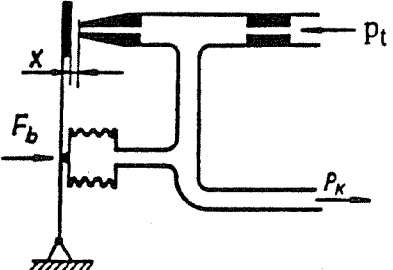
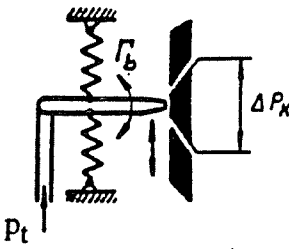
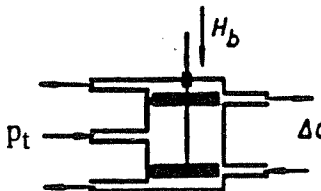
9. ábra. Érzékelők





| Megnevezés           | Vázlatos felépítés | Alapjel               | Ellenőrző jel | Rendelkező jel            |
|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
|                      |                    | (jelhordozó)          |               |                           |
| Villamos áramkör     |                    | $U_a$                 | $U_e$         | $U_r = U_a - U_e$         |
|                      |                    | (villamos feszültség) |               |                           |
| Villamos áramkör     |                    | $I_a$                 | $I_e$         | $I_r = I_a - I_e$         |
|                      |                    | (villamos áram)       |               |                           |
| Mechanikai rendszer  |                    | $M_a$                 | $M_e$         | $\Gamma_r = K(M_a - M_e)$ |
|                      |                    | (nyomaték)            |               |                           |
| Pneumatikus rendszer |                    | $p_a$                 | $p_e$         | $h = K(p_a - p_e)$        |
|                      |                    | (nyomás)              |               |                           |
| Egyenáramú generátor |                    | $U_a$                 | $U_e$         | $U_r = K_1 U_a - K_2 U_e$ |
|                      |                    | (villamos feszültség) |               |                           |

10. ábra Különbségképző szervek

| Megnevezés                           | Az erősítő vázlata                                                                  | Bemenő jel                         | Kimenő jel                        |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Integrált áramkörös műveleti erősítő |    | $U_b$<br>bemenő-feszültség         | $U_k$<br>kimenő-feszültség        |
| Egyenáramú generátor                 |    | $U_g$<br>gerjesztő-köri feszültség | $U_k$<br>armatúra-köri feszültség |
| Pneumatikus fűvókás erősítő          |   | $F_b$<br>erő                       | $P_k$<br>pneumatikus nyomás       |
| Sugárcsöves erősítő                  |  | $\Gamma_b$<br>Elfordulás           | $\Delta p_k$<br>nyomás-különbség  |
| Hidraulikus tolattyús erősítő        |  | $H_b$<br>elmozdulás                | $\Delta q$<br>közegáram különbség |

11. ábra. Erősítő szervek

• **A végrehajtó** olyan szerv, amelynek feladata a szabályozási körben létrejövő rendelkezés végrehajtása abban az esetben, ha a beavatkozó szerv bemenő jele elmozdulás vagy szögelfordulás. Bemenő jele a végrehajtó jel ( $x_v$ ), kimenő jele a beavatkozó jel ( $x_b$ ). Végrehajtó szervként a működtető energiától függően villamos, pneumatikus vagy hidraulikus **szervomotort**, esetleg **szervomechanizmust** (amely erőátviteli célból hajtóművel is rendelkezik) alkalmaznak. Néhány végrehajtó szervet a **12. ábra** szemléltet.

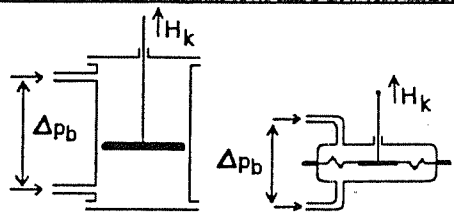
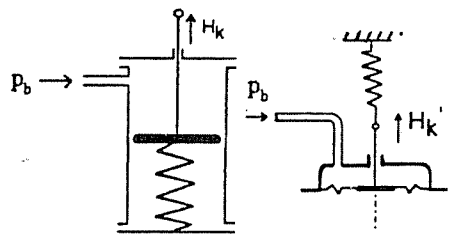
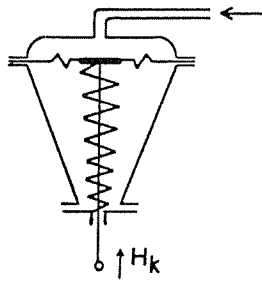
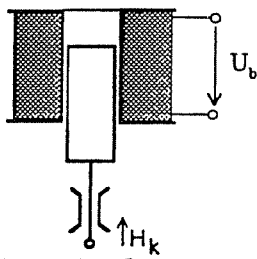
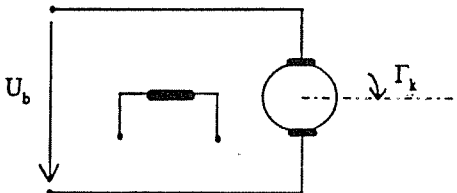
• **A beavatkozó** olyan szerv, amely a szabályozó berendezésnek a hatásirányban legutolsó szerve és a szabályozott berendezést közvetlenül befolyásolja. Bemenő jele a beavatkozó jel ( $x_b$ ), kimenő jele a módosított jellemző ( $x_m$ ). Pl. szabályozó szelep esetében beavatkozó jel a szelepszár helyzete (szelepnnyitás mértéke) mm-ben vagy %-os értékben mérve (zárt helyzet 0%; teljesen nyitott helyzet 100%), a módosított jellemző pedig a szelepen átáramló folyadék térfogatárama ( $q_v$ ), pl.  $m^3/s$ -ban mérve. Megjegyzendő, hogy a jelek mindenkor dimenzionális mennyiségek! Tipikus beavatkozó szerveket, jelleggörbéikkel a **13. ábra** mutat be.

**Beavatkozási hely** a szabályozott berendezésnek azon helye, ahol a beavatkozó szerv a szabályozott berendezésbe beavatkozik. Ez a szabályozó berendezés és a szabályozott berendezés másik csatlakozási helye.

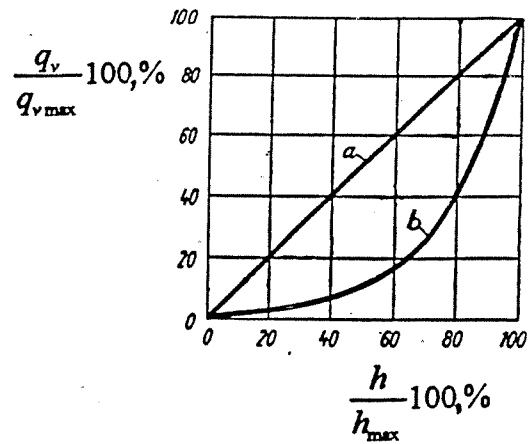
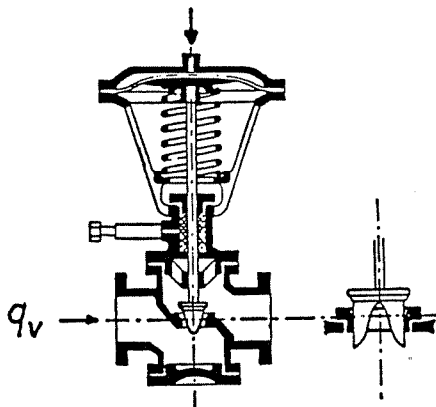
A szabályozási körben a konkrét feladattól függően további **járolékos szervek** alkalmazására is szükség lehet. A teljesség igénye nélkül a fontosabbakat röviden felsoroljuk:

• **Jelátalakító** az olyan szerv, amelynek feladata a bemenő jelétől eltérő jelhordozójú vagy megjelenítési formájú és a bemenő jellel arányos kimenő jel létrehozása. Fontosabb típusai: az analóg (pl. elektropneumatikus) jelátalakító; analóg-digitális jelátalakító, digitális-analóg jelátalakító; mintavételező (amelynek bemenő jele folyamatos, kimenő jele szaggatott), tartószerv (amelynek bemenő jele szaggatott, kimenő jele folyamatos). A jelátalakítókkal az egymást követő szabályozószervek illesztését oldjuk meg.

• **Jelváltó** az olyan jelátalakító, amely a bemenő jelből azonos jelhordozójú, de más értéktartományban változó arányos kimenő jelet állít elő segédenergia felhasználása nélkül (pl. áramváltó).

| Megnevezés                                                                   | A végrehajtó vázlata                                                                | Bemenő jel                       | Kimenő jel               |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Kettős működésű hidraulikus dugattyús ill. membrános szervomotor             |    | $\Delta p_b$<br>nyomás-különbség | $H_k$<br>elmozdulás      |
| Rugós visszatérítésű egyszeres működésű dugattyús ill. membrános szervomotor |    | $p_b$<br>nyomás                  | $H_k$<br>elmozdulás      |
| Pneumatikus membránmotor                                                     |   | $p_b$<br>nyomás                  | $H_k$<br>elmozdulás      |
| Elektromágnes                                                                |  | $U_b$<br>feszültség              | $H_k$<br>elmozdulás      |
| Egyenáramú szervomotor                                                       |  | $U_b$<br>feszültség              | $\Gamma_k$<br>elfordulás |

12. ábra. Végrehajtó szervek



#### A. Membrános szabályozószelep

a. lineáris jelleggörbe;

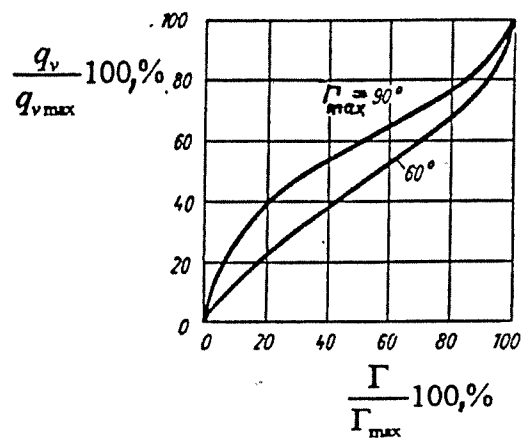
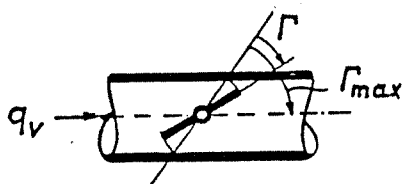
b. exponenciális (egyenszázalékos) jelleggörbe

$h$  szelepszár elmozdulás;

$q_v$  térfogatáram

$h_{max}$  maximális szelepszár elmozdulás;

$q_{vmax}$  maximális térfogatáram



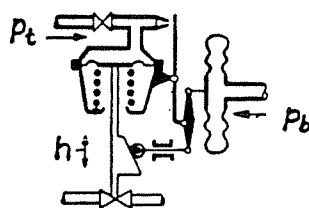
#### B. Szabályozó csappantyú

$\Gamma$  csappantyú nyitási szög

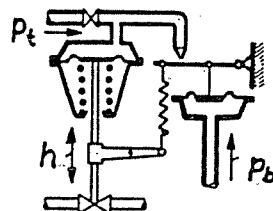
$\Gamma_{max}$  maximális csappantyú nyitási szög

13. ábra. Beavatkozószervek és jelleggörbéik

- **Műveleti szerv**, amely a bemenő jelből vagy jelekből aritmetikai vagy logikai összefüggés alapján állítja elő a kimenő jelet.
- **Helyzetbeállító** az olyan szerv, amely segédenergia felhasználásával biztosítja a végrehajtó  $x_b$  kimenő jelének beállítását az  $x_v$  végrehajtó jel által előírt értékre. A végrehajtó és a helyzetbeállító (a beavatkozó jelről visszavezetve) zárt hurkot alkot. Jellegzetes helyzetbeállítóval rendelkező membránmotoros végrehajtókat a 14. ábrán láthatunk.
- **A távadó** olyan készülék, amely érzékelőből és segédenergiával működő jelátalakítóból áll. Utóbbi a kimenő jel energiaszintjét növeli és megfelelő egységes jeltartományú (pl. 0–10 V; 2–10 V; 0–20 mA; 4–20 mA) jellé alakítja át, (akár nagyobb távolságú) jelvivő vezetéken való továbbítás céljából. Ha a távadó zavaró jellemzőt érzékel, zavartávadónak nevezzük.
- **Szabályozó** az olyan készülék, amely általában a különbségképzővel egybeépítve a jelformáló szervvel és esetleg egyéb szervekkel (pl. erősítő) egy szerkezeti egységet alkot. Amennyiben a szabályozott berendezésből vett energiával működik, úgy segédenergia nélküli szabályozónak nevezzük. Egységes szabályozó az olyan, segédenergiával működő készülék, amelynek valamennyi bemenő és kimenő jele egységes jeltartományú (pl. 0–10 V; 4–20 mA). Általában a szabályozott jellemző, a beállítható alapérték, a szabályozási eltérés és a végrehajtó jel számjegyes vagy analóg megjelenítésére alkalmas kijelzőkkel és az említett behangolási paraméterek beállítására alkalmas hangoló szervekkel rendelkeznek. A korszerű digitális szabályozók jelformáló tulajdonsága (struktúrája) és a paraméterértékek beállítása szabadon programozható (konfigurálható), így számos területen, univerzálisan alkalmazhatók.



a. Elmozdulások különbségének képzésével



b. Erők különbségének képzésével

Bemenő (végrehajtó jel):  $p_b$  nyomás

Kimenő és visszavezetett jel (beavatkozó jel):  $h$  szelepszárelmozdulás

$p_t$ : a segédenergiát biztosító tápvegyő nyomása (tápnyomás)

14. ábra. Helyzetbeállítóval rendelkező pneumatikus membránmotoros szelepek

## 4.2. Szabályozások felosztása

A szabályozásokat különféle szempontok szerint lehet felosztani. Egyazon szabályozás a felosztás különböző csoportjaiban is szerepelhet.

Felosztás a **rendelkezés létrejötte** szerint:

- **Kézi szabályozás:** olyan szabályozási művelet, amelyben a rendelkező jelet (végrehajtó jelet, beavatkozó jelet) a kezelő személy határozza meg. A kezelő személy is tagja a szabályozási körnek.
- **Önműködő szabályozás:** olyan szabályozási művelet, amelyben a rendelkezést és beavatkozást az alapjel és az ellenőrző jel közötti eltérés önműködően váltja ki.

Felosztás az **alapérték időbeli lefolyása** szerint:

- **Értéktartó a szabályozás,** ha alapértéke (alapjele) üzemszerűen állandó.
- **Követő szabályozás,** ha alapértéke (alapjele) üzemszerűen változik.
  - **Menetrendi (program-) szabályozás** az olyan követő szabályozás, amelynek alapértéke az idő függvényében előre megadott módon (menetrend szerint) változik.
  - **Értékkövető szabályozás** az olyan követő szabályozás, amelynek vezető jele időben előre nem ismert módon (pl. egy külső jelet követve) változik.
  - **Arányszabályozás** az olyan értékkövető szabályozás, amely két jellemző arányát tartja előírt értéken, miközben az egyik jellemző előre nem ismert módon változik.
  - **Helyezetszabályozás** az olyan értékkövető szabályozás, amelynek szabályozott jellemzője a szabályozott berendezés valamely elemének térbeli helyzete (elmozdulása vagy szögelfordulása).

Felosztás a **szabályozás folyamatossága** szerint:

- **Folyamatos működésű** az olyan szabályozás, amelynek hatáslánca tartósan zárt.
- **Időszakos működésű** az olyan szabályozás, amelynek hatáslánca legalább egy ponton időnként üzemszerűen megszakad.

- **Mintavételi szabályozás** az olyan időszakos működésű szabályozás, amelyben a hatásláncot mintavételező szakítja meg ütemesen.

Felosztás a **hatáslánc jeleinek folytonossága** szerint:

- **Folytonos a szabályozás**, ha hatásláncának bármelyik pontján a jelek folytonosak.
- **Nem folytonos a szabályozás**, ha hatásláncának legalább egy pontján szakaszos (nemfolytonos) jel jelenik meg.
- **Állásos szabályozás** az olyan nem folytonos szabályozás, amelyben a hatáslánc legalább egy pontján diszkrét analóg jel jelenik meg. Megkülönböztethető két-, három- vagy többállású szabályozás. Az állásos szabályozások relét vagy relészerű működésű szervet tartalmaznak.
- **Analóg szabályozás** az olyan szabályozás, amelynek valamennyi jele analóg jel.
- **Digitális szabályozás** az olyan nem folytonos szabályozás, amelyben az ellenőrző jel és az alapjel, valamint a jelfeldolgozás digitális. A digitális szabályozás folytonos és digitális egységeit analóg-digitális illetve digitális-analóg jelátalakítók kapcsolják össze.

Felosztás a **rendszer szerkezete (kapcsolása)** alapján:

- **Egyhurkos szabályozási kör** az olyan rendszer, amelynek egyetlen szabályozott jellemzője és egyetlen beavatkozó jele van. A rendszer szervei egyetlen zárt hurkot alkotnak (Egyhurkosnak kell a szabályozási kört tekinteni, ha pl. belső visszavezetéssel rendelkező távadót vagy helyzetbeállítóval rendelkező végrehajtó szervet tartalmaz.)
- **A többhurkos szabályozási rendszer** szervei több zárt hurkot alkotnak. A rendszerben lévő érzékelési és/vagy beavatkozási helyek a fő hatáslánc vagy azon belül fekvő kiegészítő hatásláncok mentén helyezkednek el (lásd a 17. ábrát).
- **Kaszkádszabályozás** az olyan kéthurkos szabályozás, amelyben két szabályozó működik együtt oly módon, hogy az egyik a belső hurok, a másik a külső hurok része. A külső fő szabályozó kimenőjele a belső segéd szabályozó vezető jelét képezi (lásd a 18. ábrát).
- **Kapcsolt (többváltozós) szabályozási rendszer** több olyan szabályozási körből áll, amelyek kölcsönösen befolyásolják egymást. A szabályozási körök általában ugyanazon szabályozott berendezéshez (pl. gőzkazánhoz) tartozóan látnak el különböző (gőznyomás, gőzhőmérséklet, dob-vízszint stb.) szabályozási feladatokat



és szakaszoldalon vannak kölcsönös hatáskapcsolatban. (Az egyes beavatkozó jellemzők főhatásirányban nemcsak saját szabályozott jellemzőiket, hanem keresztthatásként a többi szabályozott jellemzőt is befolyásolják, amint a 22. ábra szemlélteti).

Felosztás a **rendszerparaméterek időbeli lefolyása** szerint:

- **Állandó paraméterű** (időinvariáns) az olyan rendszer, amelynek paraméterei (időállandók, átviteli tényezők stb.) nem függvényei az időnek.
- **Változó paraméterű** (idővariáns) az olyan rendszer, amelynek paraméterei közül legalább egy az időnek a függvénye.

#### 4.3. A szabályozás minőségi jellemzői

A szabályozási folyamatokkal szemben támasztott legalapvetőbb követelmény, hogy a szabályozás **stabil** működésű legyen.

**Stabilis** a szabályozás, ha egyensúlyi helyzetéből kimozdítva és utána magára hagyva az átmeneti folyamat lezajlása után ismét egyensúlyi állapotba kerül.

**Labilis (instabil)** a szabályozás, ha egyensúlyi helyzetéből kimozdítva és utána magára hagyva nem kerül ismét egyensúlyi állapotba.

**Strukturálisan stabil** az a szabályozás, amely a körben lévő tagok paramétereinek (átviteli tényezők, időállandók) tetszőleges változtatása közben sem válik labilissá.

A stabilitás vizsgálatára az ún. stabilitási kritériumokat felhasználó olyan (analitikus ill. grafikus) módszerek szolgálnak, amelyeknek a segítségével a rendszer matematikai modellje alapján a stabilitás megítélhető.

A szabályozás alapfeladata, hogy

- értéktartó szabályozás esetén biztosítsa, hogy a szabályozott jellemző a különböző zavaró hatások ellenére az előírt értékét megtartsa (zavarjel elhárítás).
- követő szabályozás esetén biztosítsa, hogy a szabályozott jellemző a zavaró hatások ellenére jól kövesse a vezető jel változását (alapjel követés).

Ideális szabályozás esetén a szabályozott jellemző időbeli lefolyása pontosan megegyezne az alapérték ill. a vezető jel időbeli lefolyásával. Ideális szabályozás azonban nem valósítható meg (a szabályozási körben fellépő időkésleltetések miatt), ezért szabályozási eltéréssel kell számolnunk.

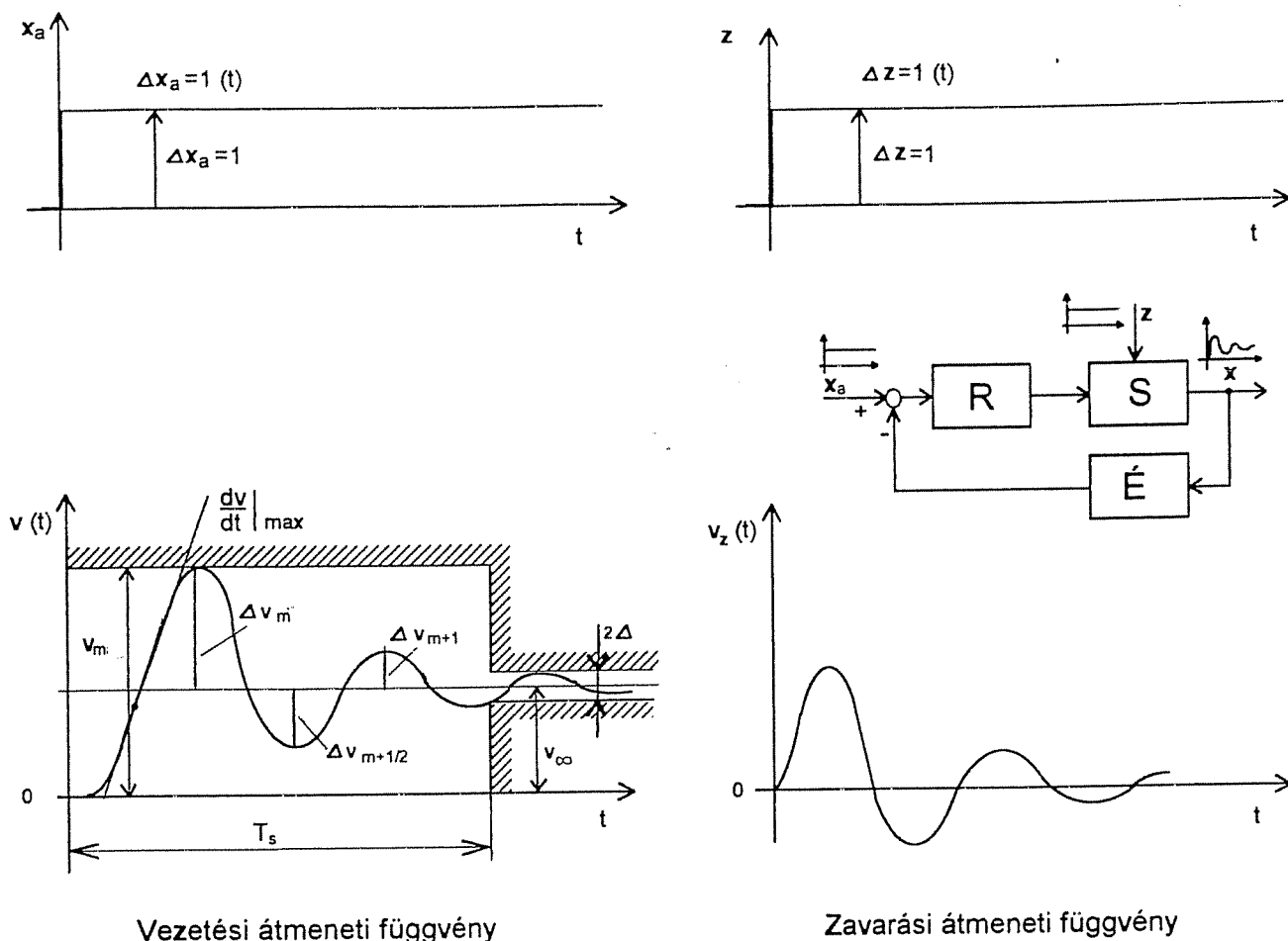
A **szabályozási eltérés** ( $x_w$ ) az alapérték és a szabályozott jellemző (pillanatnyi) értékének a különbsége. A szabályozási művelet közben észlelhető szabályozási eltérés **átmeneti szabályozási eltérés**, a szabályozási művelet lezajlása után, az állandósult állapotban fennmaradó eltérés a **maradó (állandósult) szabályozási eltérés** ( $x_{wm}$ ). (Zárójelenesen megjegyezzük, hogy a **szabályozási hiba** fogalmával is találkozhatunk, amely a szabályozott jellemző értékének és az alapértéknek a különbsége, azaz a szabályozási eltérés negatív értéke.)

A szabályozási folyamat legegyszerűbben a szabályozási kör ún. **vezetési illetve zavarási átmeneti függvényének** kísérleti felvétele útján minősíthető. Jellegzetes átmeneti függvényalakokat a **15. ábrán** láthatunk. Az átmeneti függvények felvételekor - a szabályozási kör stabil (nyugalmi) állapotában - az  $x_a$  alapjelet ill. -ha mód van rá- a z zavaró jellemzőt **ugrásfüggvényszerűen**  $\Delta x_a$ , ill.  $\Delta z$  értékkel változtatjuk és a szabályozott jellemzőt regisztráljuk. Az egységugrás alakú ( $\Delta x_a=1(t)$  ill.  $\Delta z=1(t)$ ) vizsgáló jelfüggvényre adott válaszfüggvényt nevezzük **átmeneti függvénynek**. A 15. ábrán látható vezetési átmeneti függvény alapján az alábbi fontosabb minőségi jellemzők definiálhatók:

- **Túllendülés** ( $\sigma$ ) az átmeneti függvény maximális ( $v_m$ ) értéke és az alapérték (állandósult érték:  $v_\infty$ ) különbségének az állandósult értékére vonatkoztatott viszonya:

$$\sigma = \frac{v_m - v_\infty}{v_\infty} \quad (1)$$

- **Maximális változási sebesség**, ( $dv/dt | \max$ ), amelyet az átmeneti függvény első inflexiós pontjában mérhetünk.
- **A csillapítás mértéke**, amelyet pl. az egymást követő lengéssamplitúdók hányadosával  $\left( \frac{\Delta v_m}{\Delta v_{m+1/2}} = \frac{\Delta v_{m+1/2}}{\Delta v_{m+1}} \right)$  jellemezhetünk.
- **Szabályozási idő** ( $T_s$ ), amelynek eltelte után az átmeneti függvénynek a  $v_\infty$  állandósult értéktől való eltérése egy megadott (megengedett) százalékos értékénél ( $\Delta$ ) kisebb. A szóban forgó eltérést (amelyet a szabályozás dinamikus pontosságának is nevezünk) 2÷5%-ban szokás rögzíteni.
- **Lengésszám** ( $v$ ) az átmeneti függvényben a szabályozási idő alatt bekövetkező lengések száma, amely a csillapodás mértékével függ össze.



15. ábra. A szabályozás minőségi jellemzői

A szabályozás annál jobb minőségű, minél kisebb a túllendülés, minél kisebb a szabályozási idő, minél nagyobb a dinamikus pontossága (minél kisebb a  $\Delta$  értéke) és minél kisebb a szabályozási idő alatt bekövetkező lengések száma.

A minőségi paraméterek megengedett vagy elérni kívánt értékeit irányadó jelleggel általában is szokás megfogalmazni (pl., hogy  $\sigma < 10\%$  legyen), de minden konkrét esetben a technológiai követelményekből ill. korlátozásokból kiindulva határozandók meg (pl. a hőfeszültségek szempontjából a maximális változási sebesség lehet mértékadó).

Valamennyi minőségi jellemző egyidejűleg nem csökkenthető ill. javítható, ugyanis egyidejű javíthatóságuk ellentmondásos. Ha pl. a szabályozó behangolási értékeinek változtatása útján csökkentjük a túllendülést, akkor számos gyakorlati esetben nő a

szabályozási idő és a lengésszám és romlik a csillapodás mértéke. Ezért olyan minőségi jellemzőket is alkalmaznak a gyakorlatban, amelyek az egész szabályozási folyamatot figyelembe veszik (integráltan jellemzik a minőséget). Ezek az ún. **minőségi integrál-kritériumok**, amelyek közül e helyen csupán a legfontosabbakat ismertetjük:

- **Lineáris szabályozási terület**, amely az átmeneti függvény állandósult értékétől való eltérés időintegrálja:

$$J_L = \int_0^{\infty} (v_{\infty} - v(t)) dt \quad (2)$$

Ez az integrál az eltéréseket előjelesen veszi figyelembe, ezért lengéses folyamatok minősítésére nem alkalmas, minthogy a görbe alatti pozitív és negatív területek kiegyenlítik egymást. A szabályozás minőségét annál jobbnak tekintjük, minél kisebb  $J_L$  értéke. Könnyű viszont belátni, hogy állandósult harmonikus lengés estén (amikor a szabályozási kör az instabilitás határán van, tehát távolról sem elégíti ki a minőségi követelményeket), a kritérium értéke éppen minimális ( $J_L=0$ ).

- **Abszolút (értékekkel képzett) lineáris szabályozási terület**, (Integral Absolute Error) amely az  $v_{\infty}-v(t)$  eltérés abszolút értékének időintegrálja:

$$J_A = J_{LAE} = \int_0^{\infty} |v_{\infty} - v(t)| dt \quad (3)$$

Ez az integrál már minden eltérést pozitív előjellel vesz figyelembe, így lengéses folyamatok minősítésére is alkalmas, de analitikus meghatározása nehéz.

- **Négyzetes szabályozási terület** az átmeneti függvény állandósult értékétől való eltérés négyzeteinek időintegrálja:

$$J_N = \int_0^{\infty} (v_{\infty} - v(t))^2 dt \quad (4)$$

A négyzetre emelés révén minden eltérést azonos előjellel vesz figyelembe, tehát lengéses folyamatok minősítésére is alkalmas. További előnye, hogy analitikusan is jól meghatározható. A négyzetre emelés következtében súlyozottan veszi figyelembe az átmeneti folyamat kezdetén fellépő nagyobb szabályozási eltéréseket.

- **Idővel súlyozott integrálkritériumok.**

Számos variánsuk ismeretes. Közös sajátosságuk, hogy az előzőekben értelmezett eltéréseknek és az idő valamely hatványának szorzatfüggvényét integráljuk:

$$J_{Ln} = \int_0^{\infty} (v_{\infty} - v(t)) t^n dt, \quad (5)$$

$$J_{An} = \int_0^{\infty} |v_{\infty} - v(t)| t^n dt, \quad (6)$$

$$J_{Nn} = \int_0^{\infty} (v_{\infty} - v(t))^2 t^n dt. \quad (7)$$

Ezek az integrálok tehát az eltéréseket az idővel súlyozzák. Az  $n$  értékétől függően a későbbi időpontokban fellépő nagyobb eltéréseket fokozottabban veszik figyelembe. Amennyiben a szabályozási idővel kapcsolatos követelmények szigorúbbak, úgy  $n$  értékét nagyobbra választjuk. Mivel a kritérium képzése és értékelése  $n$  növekedésével egyre nehezebb, nem célszerű  $n=2 \div 3$  fölé menni.

Leggyakrabban (analitikus vizsgálatoknál) az  $J_N$ , (szimulációs vizsgálatoknál) az  $J_A$  ill. az  $J_{A1}$  kritériumokat alkalmazzák.

Az

$$J_{A1} = J_{ITAE} = \int_0^{\infty} |v_{\infty} - v(t)| t dt \quad (8)$$

kritériumot a szakirodalom ITAE (Integral of Time multiplied Absolute value of Error) néven említi.

Az integrálkritériumok alapján annál kedvezőbbnek ítéljük a szabályozási folyamat minőségét, minél kisebb a kritérium értéke. Amennyiben a kritériumot optimálási célfüggvényként alkalmazzuk, úgy akkor tekintjük a szabályozást optimálisnak, illetve a szabályozó behangolási paraméterértékeit optimálisnak, ha az integrálkritérium értéke minimális, azaz  $J \rightarrow \min$ !

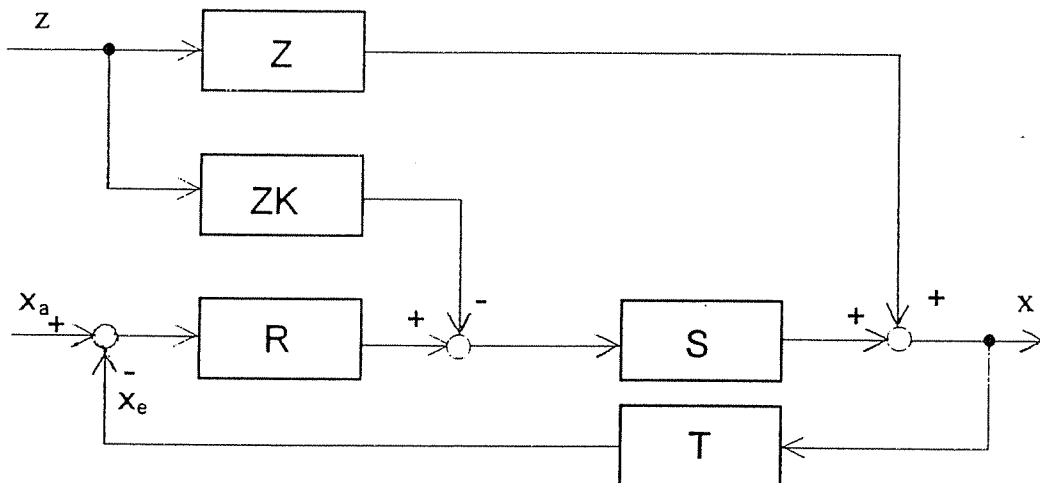
#### 4.4. Szabályozási kapcsolások

A gyakorlatban számtalan esetben elegendő, ha a szabályozások kapcsolásait, strukturális felépítését egyszerűsített formában ábrázoljuk, amint ezt az egyszerű, egyhurkos szabályozási körnek a 8. ábrán bemutatott részletes hatásvázlatához tartozóan a 15. ábra szemlélteti. Ez az egyszerű ábrázolás lényegre törően csupán az érzékelő (É) illetve távadó (T), a különbségképző, a szabályozó és a szabályozott szakasz (S), jelképeit tünteti fel.

Az ipari gyakorlatban a szabályozási kapcsolások igen sokfélék, ugyanis az esetek nagy százalékában az egyszerű egyhurkos szabályozási körrel nem biztosíthatók a szabályozási feladattal szemben támasztott minőségi ill. technológiai követelmények. Különböző módszerekkel, ezek között a szabályozási kapcsolat továbbfejlesztésével, új funkciókkal való kiegészítése útján a szabályozás minősége akár jelentősen is javítható. E helyen e lehetőségek közül a legfontosabbakat ismertetjük röviden. A különböző szabályozási kapcsolásokat az említett egyszerűsített ábrázolásaikkal mutatjuk be.

#### 4.41. Zavarkompenzációs kapcsolat

A 3.3 fejezetben már megismertük a zavarkompenzáció lényegét és célját. A 16. ábrán látható hatásvázlat szerint a zavaró jellemző ( $z$ ) a  $Z$  jelű tag által reprezentált dinamikai tulajdonság szerint befolyásolja az  $x$  szabályozott jellemzőt. Ha mérni tudjuk a zavaró jellemzőt, akkor arról vezérelve az e célból beépített zavarkompenzációs (ZK) tagon keresztül kiváltott beavatkozás útján eredményesen kompenzálható a zavaró jellemző közvetlen hatása és ezzel a szabályozás minősége javítható. A kompenzáló tag átviteli tulajdonságait úgy kell megválasztani, hogy a kompenzációs beavatkozás megfelelő előjelű (irányú), mértékű és időbeli lefolyású legyen. Mivel a kompenzáció nem lehet tökéletes, a fellépő kisebb szabályozási eltéréseket a szabályozó fogja megszüntetni.



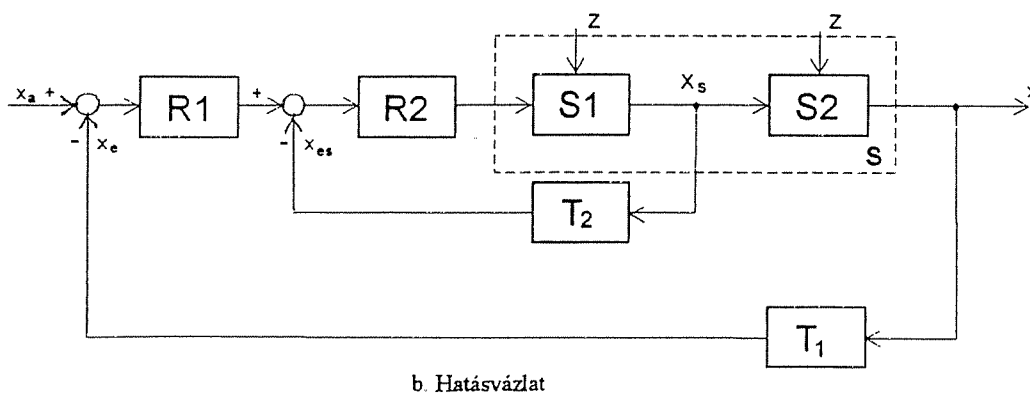
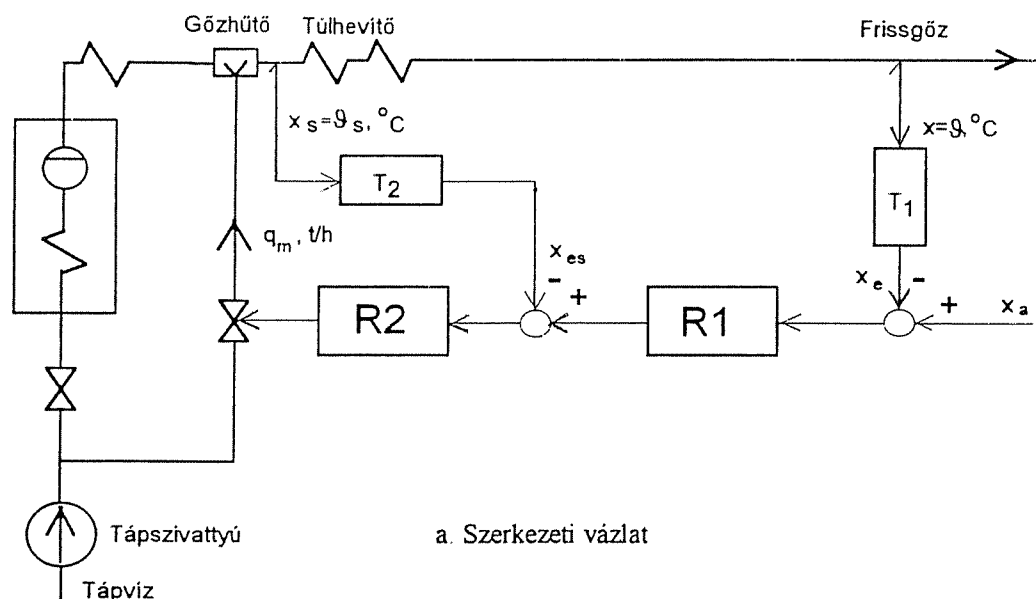
16. ábra. Zavarkompenzációs kapcsolat hatásvázlata

#### 4.42. Kisegítő szabályozott jellemzős kapcsolat

Sok gyakorlati esetben a szabályozott szakasz olyan nagymértékű időkésettetéssel rendelkezik (azaz a beavatkozás hatása a szabályozott jellemző változásaiban csak jelentős késedelemmel és időben elnyújtott formában jelentkezik), ami a szabályozást



A gőzhőmérséklet szabályozás módosított jellemzője a túlhevítő felületek között elhelyezkedő gőzhűtőbe befecskendezett tápvíz tömegárama ( $q_m$ , t/h), amelyet a szabályozószeleppel módosítunk. A gőzhűtő után mért hőmérséklet függően reagál a befecskendezett víz tömegáramának a megváltozására, tehát ideálisan felhasználható kisegítő szabályozott jellemzőként, s így a hűtő utáni hőmérséklet eredményesen a kívánt értéken tartható. Könnyű viszont belátni, hogy a kisegítő szabályozott jellemző hatásvonalába épített RS tag átviteli tulajdonságait csak úgy választhatjuk meg, hogy állandósult állapotban az  $x_v$  kimenő jele zérus értékű legyen, egyébként ugyanis eltolná a szabályozó alapjelét. Ezen a problémán segíthetünk, ha ún. **kaszád kapcsolást** alkalmazunk, amelyhez viszont két soros kapcsolású szabályozóra van szükség (18. ábra). A kapcsolás, amint látható egy külső és egy belső hurokkal rendelkezik. Az  $x_s$  kisegítő szabályozott jellemzőt a belső R2 segéd szabályozóra vezetjük vissza, amelynek jelformáló tulajdonságait úgy állítjuk be, hogy a belső hurok megfelelő működésű legyen. Az R1 külső (fő) szabályozó a segéd szabályozó vezető jelének módosítása útján gondoskodik a szabályozott jellemző állandó értéken tartásáról.

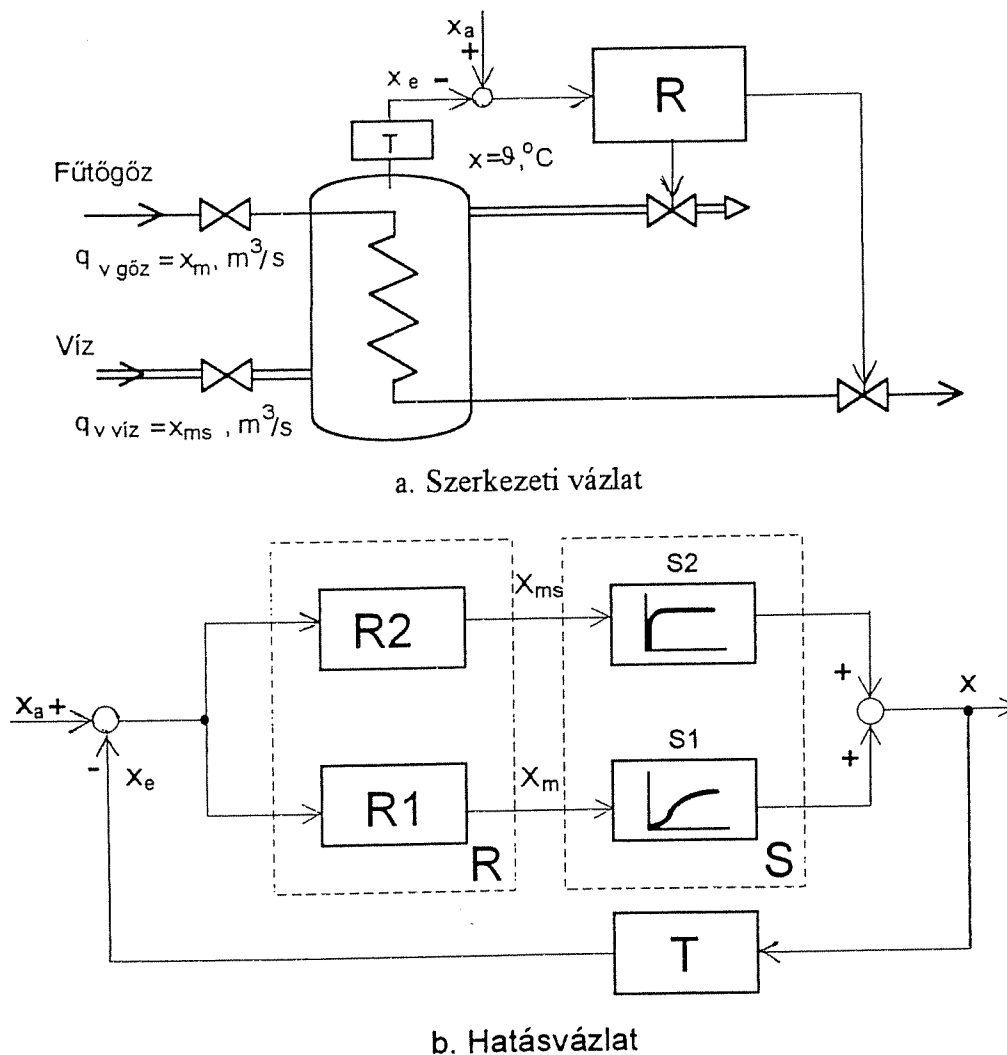


18. ábra. Kaszád kapcsolás



#### 4.43. Kisegítő beavatkozó jellemzős kapcsolás

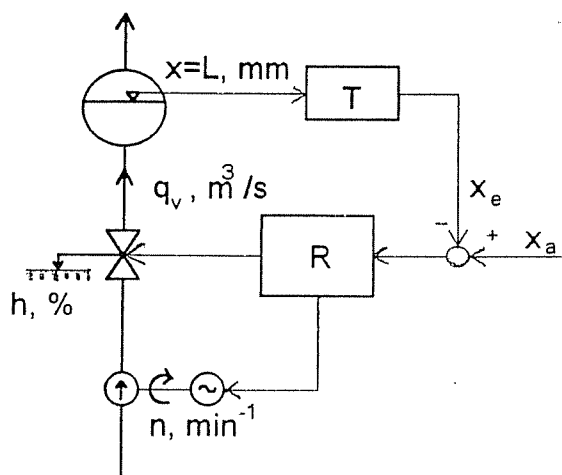
A szabályozott szakasz nagymértékű időkéselettelésének kedvezőtlen hatása azáltal is csökkenthető, ha a szabályozott berendezés olyan járulékos beavatkozási lehetőséggel rendelkezik (vagy ilyen mesterségesen létrehozható), amelyhez tartozóan a szabályozott jellemző lényegesen függébben reagál. Ilyen példát mutat be a 19. ábrán látható hőmérsékletszabályozási kapcsolás. Itt a hőcserélő szekunder terében lévő folyadék hőmérséklete tartandó állandó értéken. Fő beavatkozási lehetőségként a fűtőgőz térfogatáramát módosítjuk, amire azonban a szabályozott jellemző a fűtőfelület jelentős hőtehetetlensége miatt csak nagy időkéseletteléssel válaszol. Amennyiben azonban kisegítő beavatkozási lehetőségként a fűtött közeg tömegáramát is módosítjuk, (amelynek hatása kis időkéseletteléssel érvényesül, különösen, ha a hőcserélő szekunder tere és ezáltal a tárolt folyadék tömege kicsi), a szabályozási folyamat jelentősen javul.



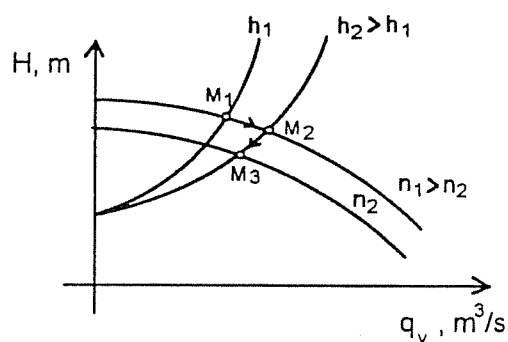
19. ábra. Kisegítő beavatkozó jellemzős kapcsolás

Más esetekben kisegítő beavatkozási lehetőséget azért alkalmazunk, hogy a szabályozás beavatkozási tartományát kiterjesszük vagy azt biztosítsuk, hogy a fő

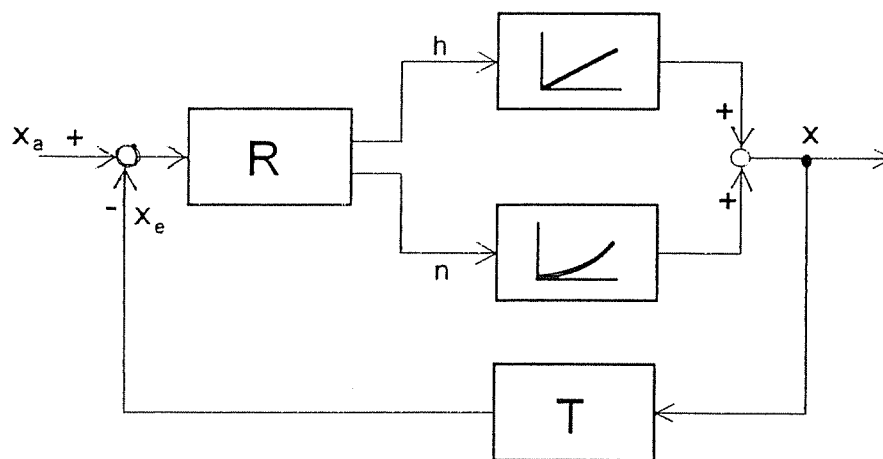
beavatkozó szerv a kedvező (lineáris) üzemi tartományában működjön. Erre láthatunk példát a **20. ábrán**. A szóbanforgó vízszintszabályozás módosított jellemzője a centrifugálszivattyú által szállított víz térfogatárama ( $q_v$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ). Fő beavatkozó szervként a szivattyú nyomóoldali vezetékébe épített szabályozó szelepet alkalmazzuk (fő beavatkozó jellemző a szabályozó szelep nyitásának mértéke:  $h$ , %). Kiegészítő beavatkozó jellemzőként viszont a szivattyú fordulatszámát ( $n$ ,  $\text{min}^{-1}$ ) módosítjuk (esetleg csak diszkrét módon), aminek következtében a szivattyú jelleggörbéje és ennek révén a munkapontja ( $M$ ) módosul, amint ezt a b-jelű ábrarész szemlélteti.



a. Működési vázlat



b. A szivattyú munkapontjának ( $M$ ) vándorlása

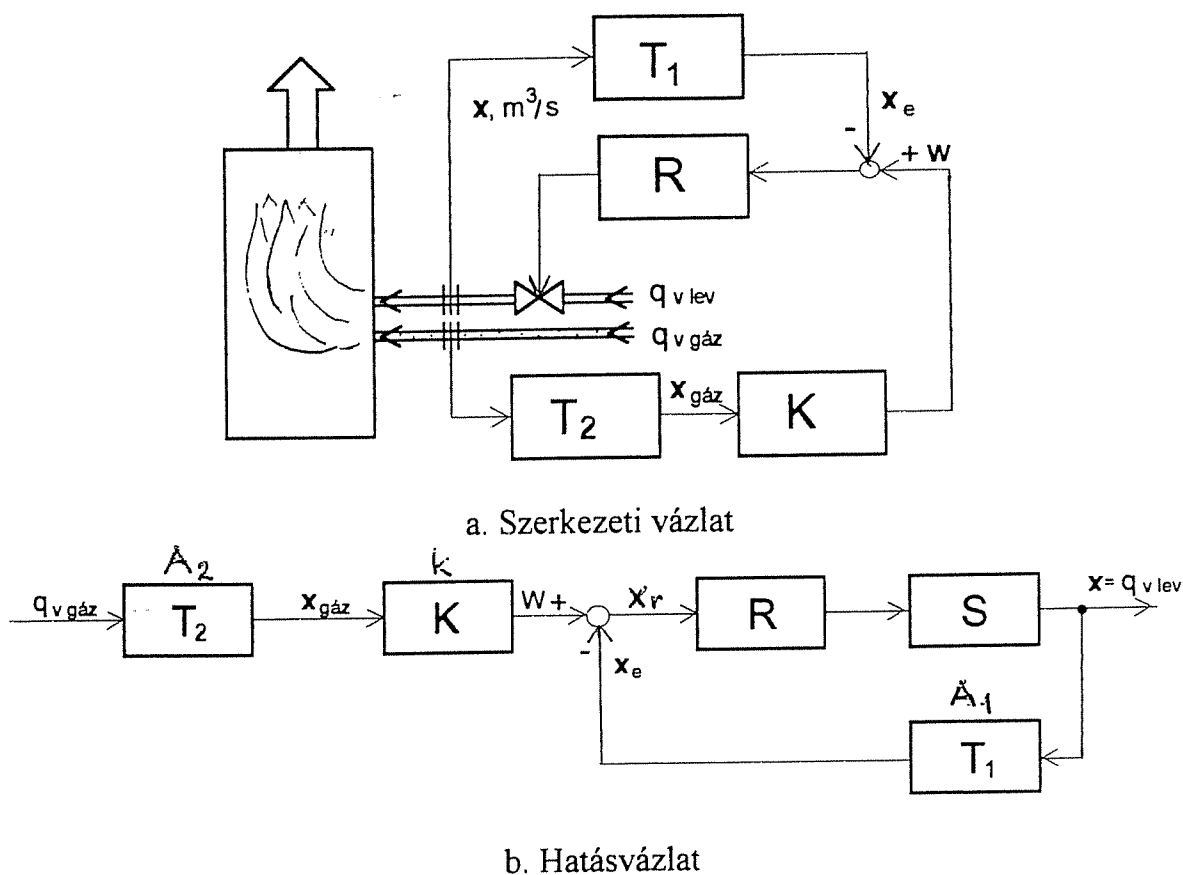


c. Hatásvázlat

20. ábra. A beavatkozási tartomány módosítása kiegészítő beavatkozó jellemző bevonásával

#### 4.44. Arányszabályozás

Különösen a vegyiparban gyakran előfordul, hogy két fizikai mennyiség (pl. kétféle folyadék tömegáramának) **arányát** kell üzemszerűen állandó értéken tartani. Pl. gáztüzelés esetén a jó hatásfokú égés feltételeinek a biztosításához megfelelő légheslegről kell gondoskodni. Ezt legegyszerűbben azáltal biztosíthatjuk, ha az égési levegőáram ( $q_{v\text{ lev}}$ ) és fűtőgázáram ( $q_{v\text{ gáz}}$ ) arányát levegőoldali beavatkozással állandó értéken tartjuk, amint ezt a **21. ábra** szemlélteti. A kapcsolás, amint látható rendkívül egyszerű. A gázáram jelét, az arányt meghatározó K tagon keresztül vezető jelként az égési levegőáram szabályozójára kapcsoljuk.



21. ábra. Arányszabályozás

Állandósult állapotban ugyanis az  $x_r$  rendelkező jel értéke zérus (minthogy nincs szabályozási eltérés), azaz:

$$w - x_e = 0 \quad (9)$$

$$A_2 \cdot k \cdot q_{v\text{ gáz}} - A_1 \cdot q_{v\text{ lev}} = 0, \quad (10)$$

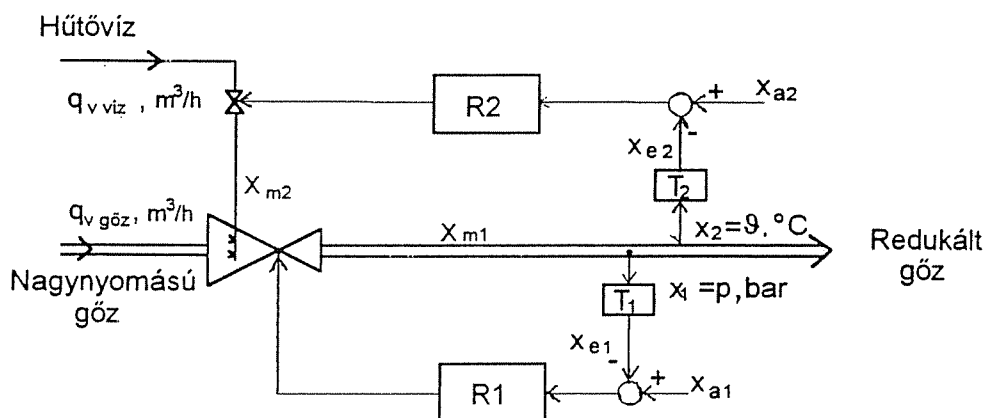
Rendezve:

$$\frac{q_{v\text{lel}}}{q_{v\text{gáz}}} = k \frac{A_2}{A_1} \quad (11)$$

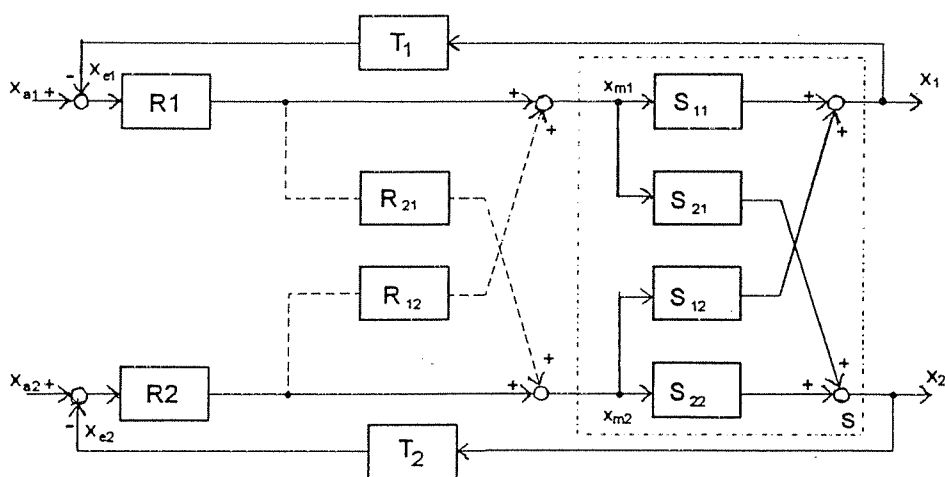
Az előírt arány a K jelű tag átviteli tényezője (k) útján állítható.

#### 4.45. Kapcsolt többváltozós szabályozás

A 22. ábra példaképpen egy gőzredukáló egyszerűsített szabályozási rendszerét ábrázolja, amelynek feladata a redukált gőz nyomásának (p, bar) és hőmérsékletének (9, °C) állandó értéken tartása. A gőzhőmérséklet-szabályozás módosított jellemzője a redukáló szelep gőzhűtőterébe befecskendezett hűtővízáram.



a. Szerkezeti vázlat



b., hatásvázlat

22. ábra. Kapcsolt kétváltozós szabályozás

## AJÁNLOTT IRODALOM

- [1] Dr. Csáki F. - Bars R. : Automatika. Tankönyvkiadó. Bp. 1972.
- [2] Oppelt W. : Ipari szabályozási folyamatok kézikönyve. Műszaki könyvkiadó. Bp. 1969.
- [3] Helm L. : Szabályozástechnikai kézikönyv. Műszaki könyvkiadó. Bp. 1970.
- [4] Dr. Tuschák R. : Szabályozástechnika. Egyetemi jegyzet. Műegyetem kiadó Bp. 1994.

### Szabványok:

- MSZ 18450/1-68. Irányítástechnikai terminológia. Alapfogalmak.
- MSZ 18450/2-68. Irányítástechnikai terminológia. Szabályozási kör.
- MSZ 18450/3-68. Irányítástechnikai terminológia. Vezérlési vonal.
- MSZ 18450/4-68. Irányítástechnikai terminológia. Szabályozáselméleti fogalmak
- MSZ 18450/5-76. Irányítástechnikai terminológia. Logikai tagokat tartalmazó vezérlési rendszerek.
- MSZ 18451-76. Irányítástechnikai berendezések elemeinek jelölése.

Könnyű belátni, hogy ha bármelyik beavatkozó szerven beavatkozunk, egyidejűleg mindkét szabályozott jellemző változni fog. Amint a hatásvázlat szemlélteti, szakaszoldalon az  $S_{21}$  és  $S_{12}$  tagokon keresztül a szabályozási körök kölcsönösen hatáskapcsolatban vannak egymással, tehát egy tipikus kétváltozós kapcsolt szabályozással van dolgunk. Ha a keresztthatás viszont csak egyirányú (vagy az egyik hatás elhanyagolhatóan gyenge), akkor nem beszélünk kapcsolt rendszerről. Fontos, hogy kapcsolt szabályozás esetén az egyes szabályozási körök nem kezelhetők független körökként, amit a szabályozók kiválasztásánál és behangolásánál figyelembe kell venni.

Javítható a szabályozás minősége, ha a szakaszoldali keresztthatásokat ún. kapcsoló szabályozókkal ( $R_{21}$ ,  $R_{12}$ ) kompenzáljuk, amint ezt szaggatottan a hatásvázlat szemlélteti. A kapcsolt szabályozásoknál már nem alkalmazhatjuk az egyhurkos szabályozási körökre kidolgozott analízis és szintézis módszereket, az átfogóbb rendszertechnikai módszerekhez kell folyamodnunk, hiszen a hatáskapcsolatokkal rendelkező szabályozási köröket egységes rendszerként kell kezelnünk. Analizálásukra eredményesen előtérbe kerülhetnek a szimulációs vizsgálatok. Ez méginkább érvényes azoknál a berendezéseknél, illetve technológiáknál, ahol több (akár 5–10) szabályozási kör van kapcsolatban, amint például a nagyteljesítményű gőzkazánoknál.