

22. Ipari szabályozások

22.1 A jeltovábbítás megvalósítása

22. 2 Hőmérséklet szabályozás

22. 3 Pozíció szabályozás

22. 4 Nyomás és (fluidum)közegáram szabályozás

22. 5 A szabályozó szelep

22. 6. Fordulatszám szabályozás; egyenáramú motor vizsgálata

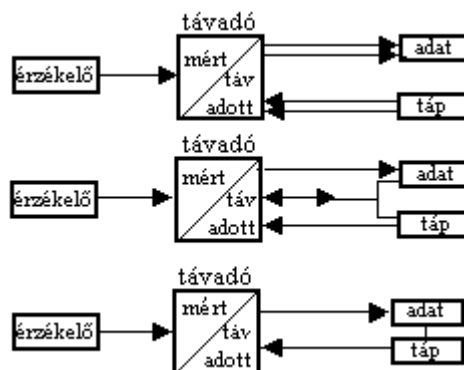
22.7. Szintszabályozás tartályokban

23. Ipari szabályozások

A kor igényeit kielégítő ipari termelő eszközök gazdaságos működtetése szabályozástechnika alkalmazása nélkül nem lehetséges. A következő részekben néhány, gyakran alkalmazott és jellegzetes ipari szabályozást ismertetünk.

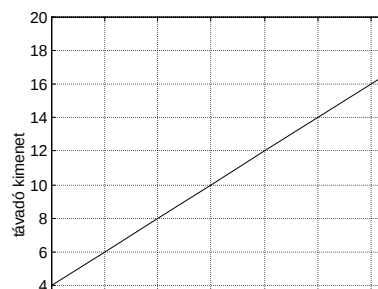
22.1 A jeltovábbítás megvalósítása

A szabályozási körökben az analóg jeleket az egységes jeltartomány (4..20 mA) határértékei közötti értékek képviselik. Ebből eredően a mérőeszközhöz illeszkedő *távadó* is az érzékelő jelét ebbe a tartományba formálja át és az ezen információt felhasználóhoz (pld. egy szabályozási körhöz vagy a műszerközpontba) továbbítja. A távadó működtetéséhez energiára van szükség, amelyet a táphálózattal kell biztosítani. Az ábra a négy-, a három- és a kétvezetékes adatátviteli technikát mutatja be. A sorrend egyúttal a műszaki fejlődés lépéseire is emlékeztet, ugyanis napjainkban a kétvezetékes rendszer a domináló megoldás.



A négyvezetékes rendszerben a távadó két vezeték segítségével kapta a tápenergiát és másik két vezeték segítségével szolgáltatja az adatot. A háromvezetékes rendszerben az egyik vezeték kettős feladatot látott el. A kétvezetékes rendszerben a 0...20 mA jeltartomány két részre van osztva. A tápenergiát a 4 mA áramhányad biztosítja, míg a mért jellemzővel arányos jel a 4...20 mA tartományban kerül továbbításra. Utóbbi megoldással – amelyet élőnullás rendszernek is neveznek - energia és vezeték-költség takarítható meg, továbbá a jel teljes hiánya egy esetleges

hibára is felhívja a figyelmet. Az ábra egy 0..18 jeltartományú jel 4..20 mA jeltartományba történő átalakítás kapcsolatát mutatja.



A legkorszerűbb távadók az érzékelőről kapott jelet digitalizálják, azaz az analóg tulajdonságú jelet diszkrét tartományokra bontják, majd az aktuális tartomány értékét bináris kód formájában a felhasználás helyére továbbítják.

Egy analóg jel, mint például egy villamos feszültségi jel, bináris számként is kifejezhető azáltal, hogy bináris súlyokat alakítunk ki. A táblázat egy 0..10 V átfogású analóg jel 16 bináris értékre bontott 4-bites kódolását mutatja be. Minden bináris kódhoz $1/16=0.625$ V analóg jeltartomány tartozik

Analóg feszültség (V)	Bináris érték
0-- 0.625	0000
0.625 – 1.25	0001
1.25 – 1.875	0010
.....	
8.75 – 9.375	1110
9.375 – 10.0	1111

22.2 Hőmérséklet szabályozás

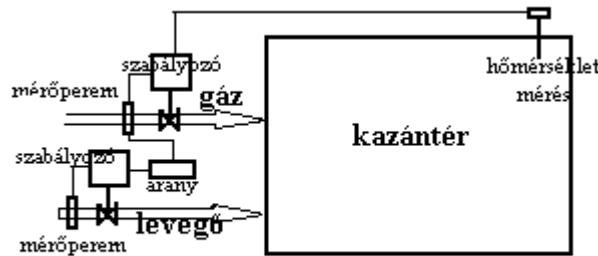
A hőmérséklet az egyik legfontosabb állapotjellemző, és így az ipari berendezések legtöbbször mért és szabályozott érték. Előírt szinten tartásával a folyamat optimális körülménye és a termelés gazdaságossága biztosítható. A fenntartandó hőállapot az ipari technológiák szerint változik. Két szélsőséges értéket említünk: mélyhűtő-ipar ill. fémek olvasztása. A munkatérben uralkodó hőmérséklet mérés körülményei a hőmérséklet-szabályozás eredményességét jelentősen befolyásolják. A különféle kemencék, hűtőterek, klimatizált helyiségek, stb.- geometriai méreteikből és a meglévő jelentős időkésekből következően – minden részterükben ritkán azonos hőmérsékletűek (például egy gázfűtésű kazán falazata, az égő környezetében jelentősen nagyobb mint a füstgáz elvezető csatornában). Ezek a berendezések arányos átviteli tulajdonságú, soktárolós tagként kezelhetők. A hőmérséklet érzékelő helyének kiválasztására tehát nagy figyelmet kell fordítani. Több helyre beillesztett érzékelők jeleiből számított eredő értékkel a szabályozás eredményessége javítható. A mérés, a várható hőterhelés függvényében, leggyakrabban vagy ellenállás-hőmérővel vagy hőelemmel történik.

Hazai viszonylatok szerint a környezeti hőmérsékletnél jelentősen nagyobb hőmérsékleten üzemelő berendezésekben (elsősorban ipari kemencékre, gőzfejlesztő kazánokra, stb. kell gondolni) a fűtés gáz/levegő elegy elégetésével történik. Vegyipari reaktorok melegítése leggyakrabban gőzzel valósul meg. A környezeti hőmérséklet alatti tereket kívánt hőmérsékletét hűtőgépekkel lehűtött folyadékok átáramlásának szabályozásával biztosítják. A villamos energiával történő fűtést, költségessége miatt, ritkán alkalmazzák, bár szabályozása az egyszerűbb feladatot jelent.

Elsőként a már említett gáz/levegő elégetéssel üzemelő rendszerek legfontosabb jellemzőit tárgyaljuk. Az ábra egy ilyen fűtésű kazán hőmérsékletének szabályozását mutatja be.

A hőmérséklet alapjelét a szabályozó készülék erre szolgáló bemenetén - itt nem részletezett módon - kell beállítani. Az ellenőrző jelet a hőmérsékletmérő (+ távadó) szolgáltatja. A szabályozó készülék egy szelep állításával a gáz térfogatáramába avatkozik be. A gáz áramát egy mérőperem méri és jele, a zavarkompenzációs szabályozásnál megismert módon, a szabályozóhoz kapcsolódik. A levegő áramának szabályozása a gázáram mérőpereméről kapott jel alapján történik. A közbeiktatott arány

adó a szükséges gáz/levegő arálynak megfelelő jelet továbbít a szabályozónak, amely a levegő szelepet állítja. A levegő térfogatáramát mérő mérőperem itt is a zavarkompenzációt szolgálja.



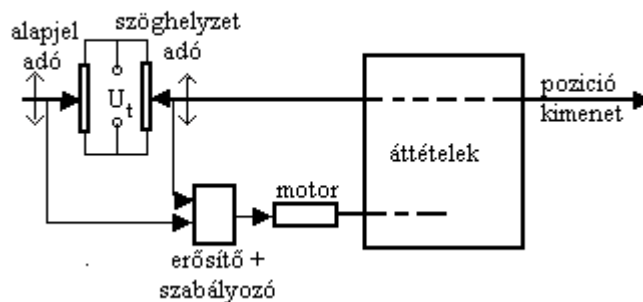
A bemutatott rendszer *folytonos szabályozást* valósít meg. Az alapjelet és a mérőszervtől érkező jelet összehasonlítja, és eltérés esetében a gázszelep helyzetébe - ha szükséges folyamatosan –beavatkozik. Ez a szabályozás az *arány-szabályozás* és a *zavarkompenzációs szabályozás* alkalmazásának is jó példája.

Kisebb méretű terek hőmérsékletének szabályozását gyakran valósítják meg villamos fűtéssel. A szabályozás lehet folytonos, ami azt jelenti, hogy a mért adat és az alapjel közötti különbség – azaz a rendelkező jel – nagyságától és előjelétől függő a beavatkozás mértéke. Állásos szabályozás akkor alkalmazható, ha a szabályozott jellemző (kimenő-jel) kismértékű periodikus lengései megengedhetők. Ebben a rendszerben ugyanis az energia-bevitelnek csak bekacsolt ill. kikapcsolt állapota van.

A kapcsolási parancs a rendelkező-jel előjel váltásakor következik be. (pozitív eltérés kikapcsol, negatív bekapcsol) A szakasz időkésése miatt azonban, mindkét irányban csekély pozitív ill. negatív túllendülés jelentkezik, és ezért a kimenő-jel elfogadható mértékű lengést mutat. A legtöbb háztartási hőtechnikai készülék is állásos szabályozóval működik. A hőmérséklet határt egy előfeszítő rúgóval kombinált bimetál kapcsoló érzékeli, ami a határ átlépésekor ki-, ill. bekapcsol. Ez a készülékelem önmagában egyesíti az alapjeladót és a végrehajtó szervet.

22.3 Pozíció szabályozás

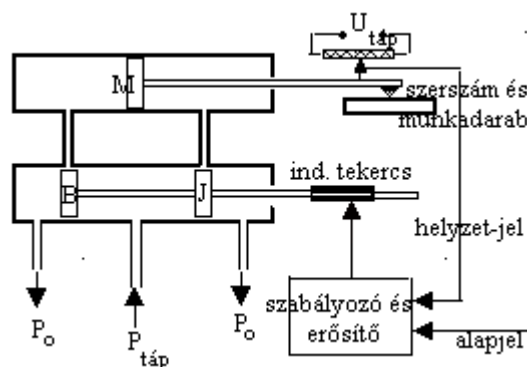
A gépgyárak korszerű szerszámgépein a megmunkáló szerszámok helyzetét és mozgását szabályozási körök irányítják. Egy villamos motorral működtetett helyzetbeállító szabályozási körének vázlatát mutatja be.



Az alapjeladó és szöghelyzet adó csúszó érintkezője, egy híd-kapcsolás, egy-egy ellenállása előtt mozoghat. Amennyiben a két érintkező nem azonos helyzetben van, a híd egyensúly elbillen és rendelkező jel alakul ki. Ez az erősítő+szabályozó egység segítségével a szerszámgép illetékes meghajtó motorját – a hibajel előjele és nagysága szerinti - elmozdulásra kényszeríti. Az áttételek a szerszámot mozgató tengelyt – amire további fogaskerek, szerszámok, stb. vannak erősítve - addig fordítják, amíg az ehhez a tengelyhez illeszkedő szöghelyzet-adó érintkezőjének elmozdulása következtében a hibajel megszűnteti.

A szerszámgépek szerszámainak pozicionálását gyakran hidraulikus munkahengerek segítségével végzik. Egy elektro-hidraulikus szerszám-mozgatást mutat be az ábra, amelyen csak a szabályozás szempontjából szükséges részletek láthatók. A hidraulikus rész két munkahengerből épül fel. A szerszám a felső hengerben látható (M) rúdhoz van erősítve. Az alsó hengerben két dugattyú (B és J) együtt mozdul el, ha közös tengelyük jobbra, illetve balra eltolódik. A középső csatlakozáson $P_{táp}$ nyomású munkafolyadék van. Ha a kettős dugattyú például jobbra elmozdul, a J mellett kialakuló szabad keresztmetszeten keresztül a munkafolyadék az M dugattyút balra mozditja. A mögötte lévő folyadék, a B dugattyú mellett szabaddá vált keresztmetszeten keresztül a P_0 szabad

nyomású térbe kiáramolhat. A kettős dugattyú balra mozgásakor ellenkező irány – jobbra történő - szerszámelmozdulás következik be.



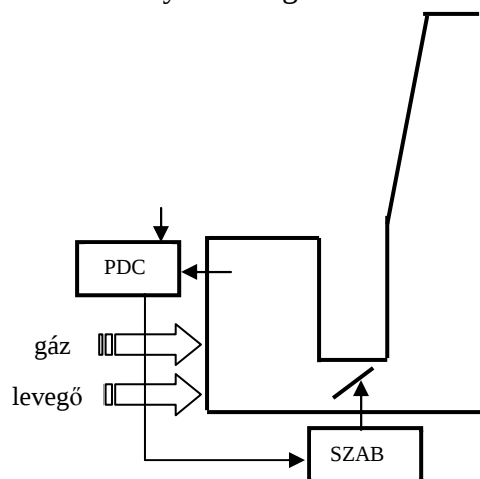
A szerszám helyzetét az $U_{táp}$ feszültséggel táplált ellenálláshoz illeszkedő és a szerszámmal együtt mozgó csúszó érintkező érzékeli. A helyzet érzékelésére, optikai elven működő, kódolt tárcsát vagy kódolt vonalzót is szoktak alkalmazni. Ebben az esetben a nyert digitális jelet analóg jellé kell átalakítani. A jelet a szabályozó és (teljesítmény)erősítő egységhez továbbítja, ahol ez az alapjellel kerül összehasonlításra. Amennyiben hibajel van, úgy az indukciós tekercs ennek megfelelő előjelű és nagyságú gerjesztést kap. A kialakult mágneses tér és a kétdugattyús rúdra illesztett állandó mágnes közötti átvitel a rudat – jobbra vagy balra - elmozdítja. Hibajel hiányában egy – nem ábrázolt – rúgó a két dugattyús rudat alaphelyzetbe állítja.

22.4 Nyomás és (fluidum)közegáram szabályozás

A gáztartályokkal, gázvezetékekkel kapcsolatos iparágakban a nyomás szabályozása kiemelt feladat. A technológiától függően a működési tartományok igen szélsőségesek. A vákuumtechnikában a 10^{-5} Pa nyomástartományok a jellemzőek, míg a műanyag technológiában 10^4 bar nyomásokkal is találkozhatunk. A földgáz-, a kőolaj-iparban 10 - 10^2 bar a nyomástartomány.

Nyomás-szabályozásnál korántsem mindegy az, hogy a beavatkozás a szabályozott nyomású térből *kifolyó* vagy oda *befolyó* közeg áramát módosítja. Amennyiben a beavatkozó szerv – általában a szabályozó szelep – a közeg *elvezető* ágába épül be, a szabályozást **túlömléses**

rendszerűnek nevezik. Akkor alkalmazható, ha a szelepből kilépő közeg elvezetése korlátlanul lehetséges (ilyen a huzatszabályozás). Ha a beavatkozó szerv a szabályozott nyomású tér bevezető ágába épül be, úgy ezt **redukáló** szabályozásnak nevezik. Ilyen a nyomástartó rendszerek (gáztartályok, gázhálózatok, stb.) nyomásszabályozása. Az ábra a huzatszabályozás megvalósításának elvét mutatja.



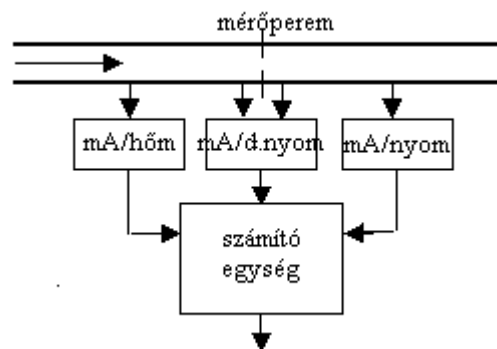
A kazán gáz/levegő fűtésű. A gazdaságos tüzelés érdekében a kéményhuzatot úgy kell szabályozni, hogy a tüztérben a légköri nyomáshoz képest csekély túlnyomás legyen. Ezért a kémény csatornába lévő pillangószelep a szabályozó utasításának megfelelően nyitja/zárja a keresztmetszetet. Az ellenőrző jelet – az ábrán PDC jelű – differenciálynomás érzékelő szolgáltatja, amelyik egyidőben méri a tüztér és a légköri nyomás értékét, majd a különbséget a szabályozóra továbbítja. A fenntartandó kazán térnyomás, amely a huzatot meghatározza, ugyanis a pillanatnyi légköri nyomásnak is függvénye.

A redukáló nyomásszabályozásra, egy levegőellátó puffer-tartállyal alkalmazott, kétállású szabályozóval működő, megoldást ismertetünk. A beavatkozó szerv egy kompresszor. A nyomásmérőről kapott jelet a szabályozó fogadja. A nyomáskapcsoló hiszterézisét úgy állítják be, hogy a kompresszort a lehető legritkább esetben kelljen be-, illetve kikapcsolni. A bekapcsolás egy minimális tartálynomáshoz, a kikapcsolás pedig egy megengedett nyomás eléréséhez kötődik (a hiszterézis fogalmát az állásos szabályozás tárgyalásánál részletezzük).

A nyomás-reduktor a redukáló nyomásszabályozás egyik gyakori alkalmazása. Ezt az elvet valósítják meg a háztartási gázpalackokra

szerelt, segédenergia nélkül működő „nyomásszabályozók”. A rendszer részletes ismertetése és működésének szabályozástechnikai vizsgálata a CD lemezen megtalálható

A gázok térfogatáramának mérésekor figyelembe kell venni a gázok térfogatának nyomás- és hőmérséklet függését is. A gáztörvényekből eredően, mind mérés technikai mind gazdasági elszámolási szempontból, csak a térfogatáram valódi - valamilyen vonatkozási nyomásra és hőmérsékletre korrigált - értéke fogadható el. Az ábra egy olyan mérési elrendezést mutat, amely a mért jelekből egy vonatkoztatott térfogatáram értéket szolgáltat



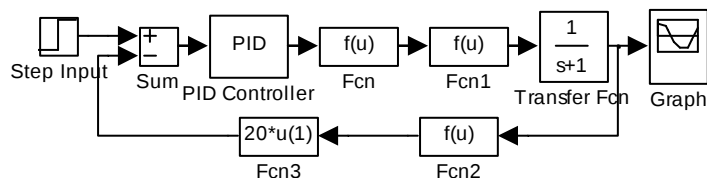
A mérőrendszer három mA kimenetű távadóból épül fel. Ezek a velük kapcsolatban lévő hőmérséklet- differencia-nyomás, és abszolút nyomás érzékelők jelét 4...20 mA tartományba átalakítva továbbítják a számító egységhez. Innen, ugyancsak 4..20 mA jel továbbítja a gáztörvények alapján átszámolt vonatkoztatott térfogatáram értéket.

A **fluidumok tömegáramát** szabályozó körök megvalósításánál három féle elrendezést lehet megkülönböztetni. Ezek:

- a. Tartályokban, csővezetékben felhalmozott folyadékok vagy gázok áramának szabályozása a feladat. Ilyen esetekben a rendszer áramlási ellenállását kell változtatni. Ennek eszköze a szabályozó szelep, vagy rokon rendeltetésű fojtó szerv (pillangószelep, tolózár, stb.).
- b. A fluidumot szállító gép fordulatszámának változtatásával lehet az áramot szabályozni. A legkorszerűbb megoldásnál a fordulatszámot frekvencia-váltóval módosítják.

c. Lehet a közegáramot úgy is szabályozni, hogy a szállító gépből kilépő fluidum egy (szabályozott) részét a gép (szivattyú, kompresszor, stb.) belépési oldalára visszavezetik.

Az ábra egy gáztérfogat-áramlást szabályozó kör SIMULINK programja. Az Fcn1- + Transfer Fcn-elemekkel modellezett pillangószelepen átáramló gázáram – nem modellezett - meglétét a modellezésnél feltételezzük. A átvitelt leíró egyenletek egy konkrét kör adataiból származnak.



Az egyes elemek magyarázata:

Step Input: ugrásjel adó; itt az alapjelet biztosítja

Sum : különbségképző

Transfer Fcn: a szakasz átviteli függvénye
(átviteli tényező:1, időállandó: 1)

Graph: a szimuláció eredményét bemutató képernyő

PID Controller PID tulajdonságú szabályozó (komparátor)

Fcn a pillangószelep szöghelyzetét beállító szervet modellező
összefüggés: $\text{szögfok} = (5.625 \cdot \text{mA}) - 22.5$

Fcn1 a (q_v) térfogatáramot modellező összefüggés, amely a
szelep jelleggörbéjéből adódik:
 $\text{m}^3 / \text{h} = 20.5 \cdot (\text{szögfok})^{0.66}$

Fcn2 a mérőperem egyenlete: $\Delta p = (4.98 \cdot 10^{-6} \cdot q_v^2) + 0.2$

Fcn3 a távadó egyenlete: $\text{mA} = 20 \cdot \Delta p$.

A Step Input által modellezett (4...20 mA) alapjel és a Transfer Fcn kimenetén megjelenő (m^3 / h) közötti kapcsolat:

alapjel (mA)	5	térfogatáram (m^3 / h)	100
	12		283
	20		400

A PID szabályozó értékeinek változtatásával megállapítható, hogy $P=40$, $T_{\text{int}}=0.5$ s, és $T_d=0.1$ s időbeállítással 0.3 szekundum után, túllendülés nélkül, az új állandósult állapot létrejött.

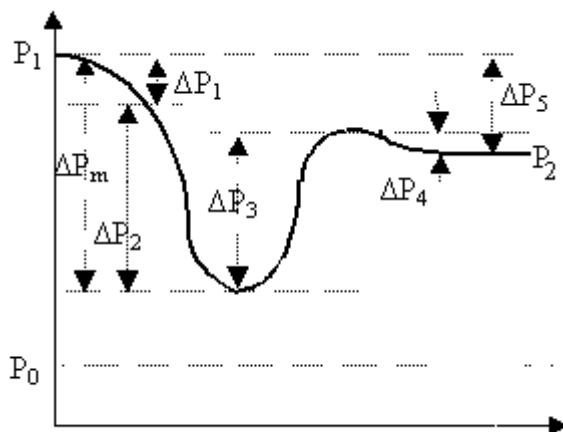
22.5 A szabályozó szelep

Az anyagáram változtatása az ipari folyamatokba való – irányítási célú – beavatkozásnak igen gyakori módja. Néhány alkalmazási terület: a folyadéksztint, a tartálynyomás, a fűtőgőz, a fluidum közegáram, stb. szabályozása. Ezekben az esetekben, mint beavatkozó szerv, a szabályozó szelep elsőrendű fontos szerepet tölt be. A tervezésnél és a kiválasztásnál figyelembe veendő szempontokat a szabályozástechnikai feladatok ellátására alkalmas szelepekkel kapcsolatos szakirodalomban sokoldalúan világítják meg. A következő részben, ezekből kiemelve, néhány lényeges körülményre hívjuk fel a figyelmet. Csak a szokásos alakú, a fojtóelemet a szelepszár segítségével, a szelepház belső részén kialakított szeleptülés előtt mozgatott rendszerű készülékekkel foglalkozunk. A nem tárgyalt pillangó-szelepek, illetve a tolózárak karakterisztikája nem lineáris, így a szabályozástechnikai alkalmazásuk korlátozott.

Az **áteresztőképesség**. (k_t) a szelepek egyik fontos meghatározója. Ez a jellemző egy előírt nyomáskülönbséghez és közegáramhoz tartozó (m^2) átfolyási keresztmetszetet ad meg. A szelepgyártó cégek gyakran a **szeleptényezőt** (k_v) közlik, ami azt a vízáramot jelenti, amely 1 bar nyomáskülönbség hatására folyik át a szelepen (m^3/h). Annak ellenére, hogy az áteresztőképesség területet, a szeleptényező pedig vízáramot jelent, arányuk állandó:

$$k_v/k_t = 5,09 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{cm}^2} \cong 5 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{cm}^2}$$

Az ábra azt mutatja, hogy áramlás közben, a hely függvényében a statikus nyomása miként alakul a szelepből. Az ábrán jelölt értékek abszolút nyomást jelentenek.



A (bar) nyomásértékek magyarázata:

P_0 a környezeti nyomás.

P_1 a belépő nyomás.

P_2 a szelep mögötti nyomás.

ΔP_1 a kezdeti szakasz súrlódásából eredő nyomásesés.

ΔP_2 a legszűkebb keresztmetszet eléréséig fellépő nyomásesés;
(oka a sebességnövekedés).

ΔP_3 a sebességcsökkenés miatt bekövetkező nyomásnövekedés.

ΔP_4 a kilépési szakasz súrlódásából származó nyomásesés.

ΔP_m a maximális nyomásesés a szelepben.

A $\Delta P_5 = P_1 - P_2$ a szelep *nyomásvesztése*, amely (súrlódás, stb.) miatt a teljes nyitott szelepnél is fellép.

A szelep jellemzésére az átfolyási jelleggörbe használható. Ez a szelepen áramló közeg időegység alatt átfolyt mennyiségét (q) a szelepszár elmozdulás (h) függvényében mutatja be.

Az átfolyási jelleggörbe alapján *lineáris*, *egyenszázalékos* és *parabolikus* jelleggörbájú szelepet különböztethetünk meg.

A lineáris szelepátfolyási egyenlete:

$$q = k_L h$$

ahol a k_L a szelep méreteitől függő állandó. Ezen szelep átfolyási jelleggörbéje tehát egyenes és így az átviteli tényezője állandó.

Az egyenszázalékos átfolyási jelleggörbájú szelepben a szelepnyitáskor a keresztmetszet változás, illetve a közegmennyiség megváltozás a pillantnyi értéknek állandó százaléka. A leíró egyenlet:

$$\frac{dq}{q} = k_e \cdot dh; \quad \text{azaz:} \quad q = q_0 \cdot e^{k_e \cdot h}.$$

Az ilyen szelep tehát exponenciális karakterisztikájú. A k_e jelenti a megváltozás százalékarányát, azaz az exponenciális görbe „meredekségét”. A leíró egyenletből következően $h=0$ -hoz egy állandó q_0 érték tartozik, azaz a szelep teljes zárt állapotban is átengedi ezt a mennyiséget. A teljes zárás érdekében azonban a $h=0$ környezetében a jelleggörbét korrigálni szokás.

A parabolikus szelep-karakterisztika $q = k_p h^2$ egyenlettel írható le. Kisebb gyakorlati jelentősége miatt e típussal részletesen nem foglalkozunk.

A szelepkiválasztással kapcsolatos számítások elvi alapjait a Bernoulli-törvényekből lehet levezetni. Tömegáram esetében:

$$G = k_t \sqrt{2 \Delta p \cdot \rho}.$$

ahol: G a szelepen átfolyó közeg tömegárama (kg/s);
 k_t az áteresztő-képesség (m^2);
 Δp a szelepre jutó nyomáscsökkenés (Pa);
 ρ a szelep belsejében jellemző sűrűség (kg/m^3);

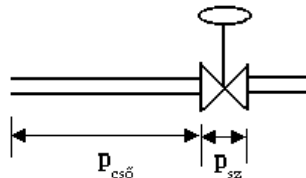
Az összefüggés azt tételezi fel, hogy a szelepen való átáramlás közben a közeg sűrűsége állandó. Ez csak folyadékok esetében igaz. Légnemű közegek esetében közepes sűrűség:

$$\rho_{köz} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

is jó közelítést eredményez. Itt ρ_1 a szelep előtti, ρ_2 a szelep mögötti sűrűség.

A szelep méretezése – G , Δp , és ρ ismeretében - az összefüggés k_t –re történő megoldását jelenti. Az áteresztőképesség, a csatlakozó csőhálózat átmérőjének és további, a körülményekből eredő részletek ismeretében, a célnak megfelelő szelep, a gyári ismertetőkből kiválasztható.

Az ábra azt az esetet mutatja be, amikor a csővezetékben létrejövő $p_{cső}$ nyomásvesztéssel is számolni kell.



A csővezetékben fellépő veszteség az áramlást módosítja, a szelep jelleggörbáját mintegy eltorzítja. Ebben az esetben a szelep kiválasztásánál csak a szelepre jutó p_{sz} nyomást szabad figyelembe venni.

22.6. Fordulatszám szabályozás; egyenáramú motor vizsgálata

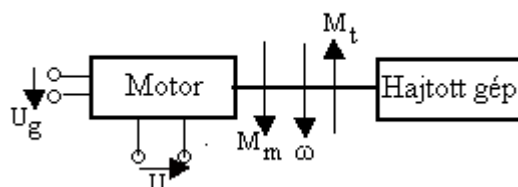
A fordulatszám szabályozási kör

A korszerű ipari üzemekben nagy számban alkalmaznak villamos motorokkal hajtott termelő eszközöket. Ezen motorok fordulatszámát, a termelési viszonyoknak megfelelően változtatni kell és igen gyakran ezt szabályozva kell megoldani. A legnagyobb teljesítményű hajtások a fémeket alakító hengerművekben üzemelnek és itt a motorokkal szemben különleges igényeket támasztanak (pl. gyors és fokozatmentes fordulatszám-változtatás viszonylag széles fordulatszám-határok között, forgásirány változtathatóság, stb.), ezért a szabályozott villamos hajtások leggyakrabban külső gerjesztésű, kompenzált egyenáramú motoros hajtások, különösen akkor, ha az említett igények mellett a szabályozástechnikai követelmények is nagyok. Az egyszerűbb, különösebb követelményeket nem támasztó hajtásoknál szinkron motorokat használnak.

A hajtások túlnyomó többsége elektromechanikus megoldású. A villamos motor kimenő tengelye mechanikus egységeken (tengelyek, tengelykapcsolók, hajtómű áttételek, stb.) keresztül csatlakozik a hajtott berendezéshez. A meghajtott berendezés által igényelt nyomatékot ezeken a rendszerek közbeiktatásával kell biztosítani.

A megfelelő minőségű termék előállításának alapfeltétele az előírt sebességek nagypontosságú beállíthatósága és tartása, illetve a sebesség-idő függvényt pontosan követő korszerű, gyorsműködésű fordulatszám változtatások lehetőségének biztosítása.

A következő részekben a leggyakrabban alkalmazott egyenáramú, külső gerjesztésű motor átviteli tulajdonságaival foglalkozunk. Az ábra az egyszerűsített szerkezeti vázlatot mutatja.



Az ábra jelölései:

- U - az armatúrakör tápfeszültsége;
- U_g a gerjesztőkör tápfeszültsége;
- M_m a motor tengelyén kifejtett hajtónyomaték;
- M_t a terhelőnyomaték;
- ω a motor tengelyének szögsebessége.

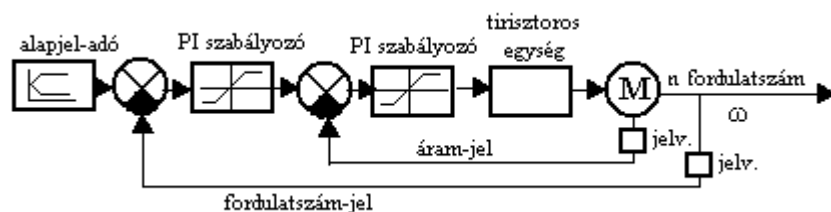
A motor részletesebb szabályozástechnikai vizsgálata érdekében három alapvető kör különböztethető meg. Ezek:

- armatúrakör
- elektromechanikus kör
- gerjesztő-kör.

A motor *bemenő* jellemzői közül az U armatúra-köri, U_g gerjesztő-köri feszültségek határozzák meg a motor mozgásállapotát, a harmadik bemenő jellemző az M_t terhelőnyomaték.

A motor *kimenő* jellemzői az ω szögsebesség, továbbá az I armatúra áram illetve az I_g gerjesztő áram.

Az ábrán a fordulatszám szabályozás egy jellemző kialakítását lehet tanulmányozni.



Mint minden szabályozásnál, a szabályozott jellemző értékének megbízható ismerete itt is szükséges. A fordulatszám mérésére alkalmazott legismertebb eszközök a következők:

- a fordulatszám-mérő generátor (tachométer); ez a motor tengelyével kapcsolatban lévő egyenáramú generátor, amelynek egyenáramú kimenőjele lineárisan függ a fordulatszámától.

- a frekvencia-analóg érzékelő; ennél a tengelyre osztott tárcsa van felszerelve és az elforduló osztások gyakoriságát vagy optikai vagy induktív módon „megszámolja”.

- digitális fordulatszám-mérő; az osztott tárcsával nyert impulzusokat, digitális jellé alakítva adja meg a fordulatszámot.

A fordulatszám szabályozásoknál az alapjel megadása, változtatása nem ugrásjel alakú jellel történik, hanem a jel csak (növekvő vagy csökkenő) késleltetéssel lép be a körbe. Ezzel a megoldással a motort érő túlterhelések megakadályozhatók.

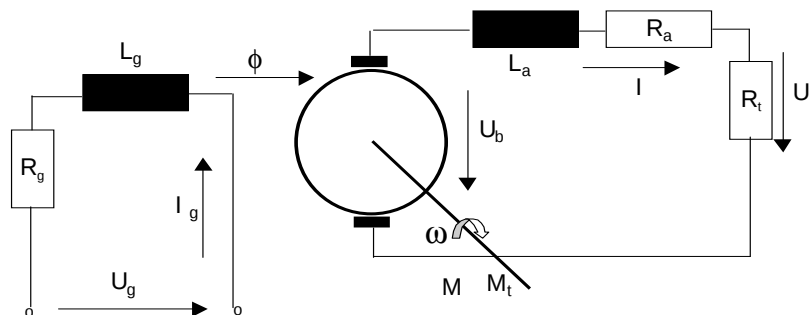
A bemutatott szabályozási kör kaszkád típusú. A *belső kör* ellenőrző jele, a jelváltón át kapott és a motor áramfelvételét képviselő jel. Ez egy gyors és pontos PI típusú kompenzátoron keresztül stabilizálja a motor áramfelvételét. A *külső körben* a jelváltótól érkező jel a fordulatszám alapjellel kerül összehasonlításra és a különbség a PI szabályozó bemenő jele. Ez a kör – a motor viszonylagosan nagy időállandója miatt – lassú, és ezért a belső gyors kör nélkül a fordulatszámban jelentkező zavarok csak nagyobb időkésséssel kerülnének kompenzálásra.

A tirisztoros egység, - a belső kör utasításának megfelelően - a motorra kapcsolt feszültség értékét biztosítja.

Az egyenáramú motor átviteli tulajdonságának vizsgálata

A következőkben az egyenáramú gép külső gerjesztésű változatával foglalkozunk. Vizsgálataink fő célja az, hogy a villamos gépet átviteli tagnak tekintsük és ebből a szempontból elemezzük. A fizikai működés elveit nem részletezzük, azokat ismertnek tekintjük.

A külső gerjesztésű egyenáramú gép elvi kapcsolási vázlatát az. ábra mutatja be.



A jelölések értelmezése és a (további részben bemutatott) szimulációs vizsgálatához használt értékeik:

U_b	a forgórész (armatúra) feszültség; V	
U	kapocsfeszültség; V	% $U = 1$ Volt
U_g	gerjesztő feszültség; V	
I	armatúra áram; A	
I_g	a gerjesztő kör árama; A	
Φ	áthaladó mágn. fluxus; V s	% $\Phi = 2$
M	a gép nyomatéka; N m	
M_t	a terhelőnyomaték; N m	% $M_t = 0.25$ Nm
ω	a forgórész szögsebessége; 1/s	
L_a	az armaturakör induktivitása; H	% $L_a = 0.001$ H
L_g	a gerjesztőkör induktivitása; H	
R_a	az armaturakörelenállás ohm	% $R_a = 0.04$ Ohm
R_g	a gerjesztőkörelenállása; ohm	
R_t	a terhelőköri külső ellenállás; ohm	
k	a gépkonstrukcióból eredő állandó	% $k = 0.5$
Θ	a tengelyre redukált tehetetlenségi nyomaték; (kg/m ²).	% $\Theta = 2$

Az átviteli tagként viselkedés vizsgálatánál a kiindulási feltételek :

- a fluxus nagysága és iránya állandó, ezt a gerjesztő-tekercs állandó feszültséggel való táplálásával érjük el;
- a bemenő jellemző az armatúra feszültség; U_b
- kimenő jellemző a tengely szögsebessége; ω
- a zavaró jellemző a terhelőnyomaték; M_t

A motor működését a következő négy egyenlet írja le:

1. A forgórészben indukált feszültség: $U_b = k \cdot \Phi \cdot \omega$

2. Az armatúra körü egyenlet:

$$U = R_a \cdot I + L_a \cdot \frac{dI}{dt} + k \cdot \Phi \cdot \omega$$

3. A nyomatéki egyenlet: $M = k \cdot \Phi \cdot I$

4. A mozgási egyenlet: $M - M_t = \Theta \cdot \frac{d\omega}{dt}$

Az átviteli függvények kialakításához végezzük el a négy egyenlet Laplace transzformációját.

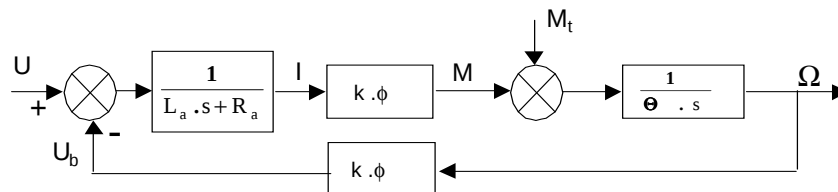
1. $U_b(s) = k \cdot \Phi \cdot \Omega(s)$

2. $U(s) - k \cdot \Phi \cdot \Omega(s) = R_a \cdot I(s) + L_a \cdot s \cdot I(s) = U(s) - U_b(s)$

3. $M(s) = k \cdot \Phi \cdot I(s)$

4. $M(s) - M_t(s) = \Theta \Omega(s) \cdot s$

Az egyenletek alapján felrajzolható a motor blokkos hatásvázlata:



A 2. egyenletből fejezzük ki az $I(s)$ -t :

$$I(s) = \frac{U(s) - U_b(s)}{R_a + L_a \cdot s} = \frac{U(s) - k \cdot \Phi \cdot \Omega(s)}{R_a + L_a \cdot s}$$

A 4. egyenletből fejezzük ki $\Omega(s)$ -t:

$$\Omega(s) = \frac{M(s) - M_t(s)}{\Theta \cdot s}$$

(Magyarázat: figyelje meg, hogy a blokkos ábrában hogyan alakulnak ki az 1...4 egyenletek- ben rögzített összefüggések. A bal felső részben a 2., az előrevezető ág közepén a 3., az előrevezető ág jobb részében a 4., a visszacsatolásban az 1. egyenletek.)

Látható, hogy a fizikai működésből eredően a motor önmagában is zárt, visszacsatolt rendszer, tehát zavarójelek (pl. a terhelőnyomaték, a kapocsfeszültség, a fluxus megváltozása, stb.) hatását részben csökkenteni képes. A hatásvázlatból az átviteli függvények felírhatók.

A zavarásmentes kör átviteli függvénye:

$$Y_1(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{R_a + sL_a} \cdot k \cdot \Phi \cdot \frac{1}{\Theta \cdot s}}{1 + \frac{1}{R_a + sL_a} (k \cdot \Phi)^2 \cdot \frac{1}{\Theta \cdot s}} = A_U \frac{1}{1 + s \cdot T_m + s^2 \cdot T_m \cdot T_v}$$

A zavarás átviteli függvénye:

$$Y_2(s) = \frac{\Omega(s)}{M_t(s)} = \frac{-\frac{1}{\Theta \cdot s}}{1 + \frac{(k \cdot \Phi)^2}{(R_a + sL_a)s \cdot \Theta}} = -A_{M_t} \frac{1 + s \cdot T_v}{1 + s \cdot T_m + s^2 \cdot T_m \cdot T_v};$$

A két átviteli függvényben szereplő fizikai mennyiségekből - amely paraméterek az adott gép sajátjai - a következő összevont átviteli tényezők illetve időállandók vezethetők le, és ezek a két átviteli függvényben már behelyettesítve is láthatók:

$$A_U = \frac{1}{k \cdot \Phi}; \quad A_{M_t} = \frac{R_a}{(k \cdot \Phi)^2}; \quad T_m = \Theta \frac{R_a}{(k \cdot \Phi)^2}; \quad T_v = \frac{L_a}{R_a}$$

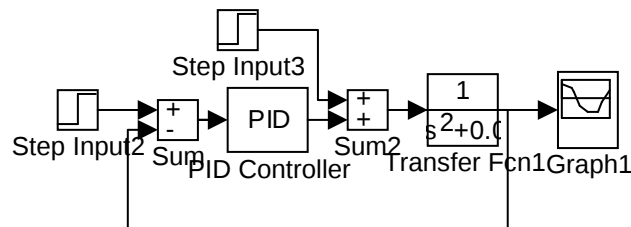
(bizonyításként bemutatjuk, hogy a T_v valóban idő dimenziójú mennyiség:

L dimenziója: $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$; R dimenziója: $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$. Hányadosuk - az egyszerűsítések elvégzése után - szekundum.)

Amennyiben a már ismert – előbb bemutatott – blokkos ábrát a SIMULINK program segítségével modellezzük, bebizonyítható az, hogy a motor önmagában is képes kisebb zavarokat elhárítani. Ha azonban csak a motor átviteli függvényét modellezzük és vizsgáljuk, a zavarás hatása erőteljesen jelentkezik és a motor üzemállapota bizonytalanná válik.

Az egyenáramú motor hajtásszabályozásának vizsgálatát is elvégezhetjük a SIMULINK program segítségével. A motor adatainak ismert vagy felvett adataival az átviteli függvényének számértékei kiszámolhatók. A szabályozó (kompenzátor) feladatát egy PID blokk látja el. A szakasz és a PID-tag közé, a zavar bevitelére, egy összegző blokk kerül. A

szimulációs vizsgálat alkalmas arra, hogy a PID tag P, I és D értékeit változtatva az optimális szabályozó beállítást megtaláljuk. Az ábra a SIMULINK program felépítését mutatja be.



Javasolt értékek:

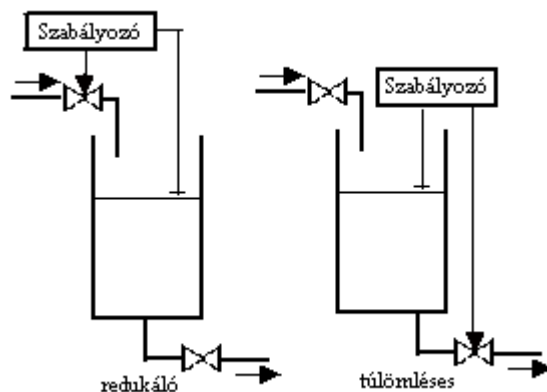
- szimulációs idő 2 szekundum,
- a zavarásmentes kör (előbbi részben megadott) átviteli függvényéből számolt átviteli függvény számlálója :1, nevezője: [0,002 0,08 1];
- a zavarójel legyen 1 szekundum után 0.25 értékű.
- a PID szabályozó kezdő értékei: P= 3, I= 10, D=0,1.

A P, I, D értékeket a vizsgálat során előbb zavarás nélkül, majd zavarással, kell változtatni addig, amíg gyors, hiba- és túllendülés-mentes kimenőjel választ kapunk.

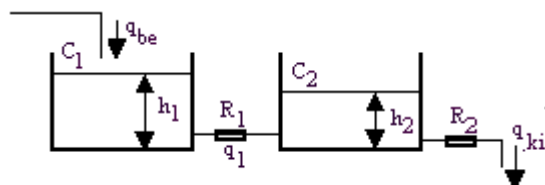
22.7. Szintszabályozás tartályokban

A szintszabályozó körök felépítése megegyezik a szabályozási körök általános kialakításával. A beavatkozás eredményességének fontos feltétele a szint érzékelés hibamentes működése. Az alkalmazható szintmérési módszereket ismertnek tételezzük fel. A szintszabályozás – a nyomás szabályozásához hasonlóan – ugyancsak **redukáló** illetve **túlömléses** jellegű lehet. A szabályozás megválasztását befolyásolja az, hogy melyik tényező korlátozható, a **töltés** vagy a **fogyasztás** ? Az ábra a két megvalósítást mutatja be. Nyitott folyadéktartály – amint ezt az átviteli tagok általános tárgyalásánál már ismertettük – tároló nélküli integráló tagnak tekinthető. A kimenőjel a folyadék szint, a bemenő jel a befolyó- illetve a kifolyó- közegáram. Az átviteli tényező a tartály keresztmetszet reciproka. A körben tehát már van egy integráló tag, így a szabályozási hibamentesség biztosított. További integráló tag (PI, PID) beiktatása nem szükséges, mert ez növelné a rendszer labilitását.

Nyomás alatt lévő (zárt) folyadéktartályok esetében, eredményesebb a tápnyomás szabályozásával stabilizálni az előírt szintet. A beömlő szelep ilyenkor teljesen nyitott és a szintet a nyomásba történő beavatkozással lehet szabályozni. Minden más esetben azonban, a szintszabályozás kialakításánál, a szelepet mindig a várható közegáramnak megfelelően kell kiválasztani. A szelep méretezésének és kiválasztásának módjait egy előző részben ismerhetjük meg.



A következőkben két egymás után kapcsolt tartály szintszabályozásának átviteli viselkedését ismertetjük.



itt: R_1 és R_2 a csővezeték áramlási ellenállása $m^{-2} \cdot s$
 C_1 és C_2 a tartályok keresztmetszete m^2
 h_1 és h_2 a szint magasságok m
 q_{be}, q_1, q_{ki} térfogatáramok m^3/s

Az 1. tartályban a térfogatváltozás sebessége a beömlő folyadék és az eltávozó folyadék térfogatáramának különbsége:

$$\frac{dV_1}{dt} = q_{be} - q_1$$

Mivel a tartály térfogata: $V_1 = C_1 \cdot h_1$:

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q_{be} - q_1$$

A két tartály közötti áramlás:

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1}$$

Ezt behelyettesítve:

$$C_1 R_1 \frac{dh_1}{dt} + h_1 = R_1 q_{be} + h_2$$

Alkalmazva a 2. tartályra az anyagáramlás folyamatosságát:

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_{ki}$$

Így

$$q_{ki} = \frac{h_2}{R_2}$$

Behelyettesítve az előzőekbe:

$$R_1 C_2 R_2 \frac{dh_2}{dt} + R_1 h_2 + R_2 h_2 = R_2 h_1$$

A differenciál egyenlet tanulmányozásával megállapítható, hogy a két tartályos rendszer arányos, tárolós tagként viselkedik. A rendszer változói a h_1 és h_2 szint értékek. A h_1 a q_{be} bemenő áramtól függ, a q_{ki} kimenő jel pedig a h_2 függvénye. Az időállandókat az R és C értékek határozzák meg.