

A folyamatirányítás eszközei

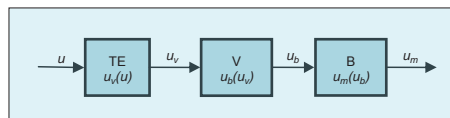
Végrehajtó szervek – 1.

Dr. Telkes Zoltán

Az irányítástechnikai készülékeket ismertető cikksorozat soron következő részében – a végrehajtó szervek összefoglalásának keretében, a rendszerezést és az általános felépítés tárgyalását követően – a pneumatikus végrehajtó szervek részletes ismertetésére kerül sor.

Az irányítási rendszer parancsainak végrehajtását és a folyamatba való beavatkozást a teljesítményerősítő, a végrehajtó és a beavatkozó szerv az 1. ábra szerinti kapcsolat szerint hozza létre. Ezeknek a szerveknek az elhelyezkedése a követelményektől és az alkalmazott segédenergiától függően különféle lehet. Alapvetően azonban a végrehajtó szerv határozza meg a jellegzetességeket.

A végrehajtó szerv (németül: Aktor, Aktuator, angolul: actuator) az irányítóberendezés azon szerve, amelynek feladata az irányítási algoritmus alapján kialakított irányító vagy végrehajtó jelből (az irányítóberendezés u kimenő jeléből) közvetlenül vagy erősítő (TE) közbeiktatásával az u_b jel létrehozása olyan energiaszinten, amely elegendő a mechanikai munkát igénylő beavatkozó szerv (B) mozgatására, működtetésére. Ha a beavatkozás (a folyamathoz illeszkedő beavatkozó szerv miatt) mechanikus energiát igényel, mindig alkalmazunk végrehajtó szervet (V), amikor viszont tisztán áramló energián (pl. villamos áram) alapuló folyamatokat irányítunk, a mozgatást végző végrehajtó szerv hiányzik. Ebből adódik az a gyakori, pontatlan fogalmazás, amely az irányítás kimeneti részén a végrehajtót nem, csak a beavatkozó szervet emlegeti.



1. ábra Teljesítményerősítő, végrehajtó és beavatkozó szerv, kiemelve az irányítási rendszer hatásvázlatából

A végrehajtó szerv kimeneti jele az u_b beavatkozó jel. Kimeneti adatai: az *elmozdulás* (löklet) *tartománya* és a hozzá tartozó beavatkozó szervet *működtető erő*, vagy a *szögelfordulás szögtartománya* és a *működtető nyomaték*. Mivel munkavégzésre és teljesítményleadásra készültek, bemenőjelük is jelentős energiát igényel. A végrehajtó szerv bemenőjelének (az u_v végrehajtó jelnek) az energiája az előtte lévő szervtől (szabályozó, vezérlő, helyzetbeállító.) származik, gyakrabban azonban saját segédenergia-ellátása és teljesítményerősítője (TE) van.

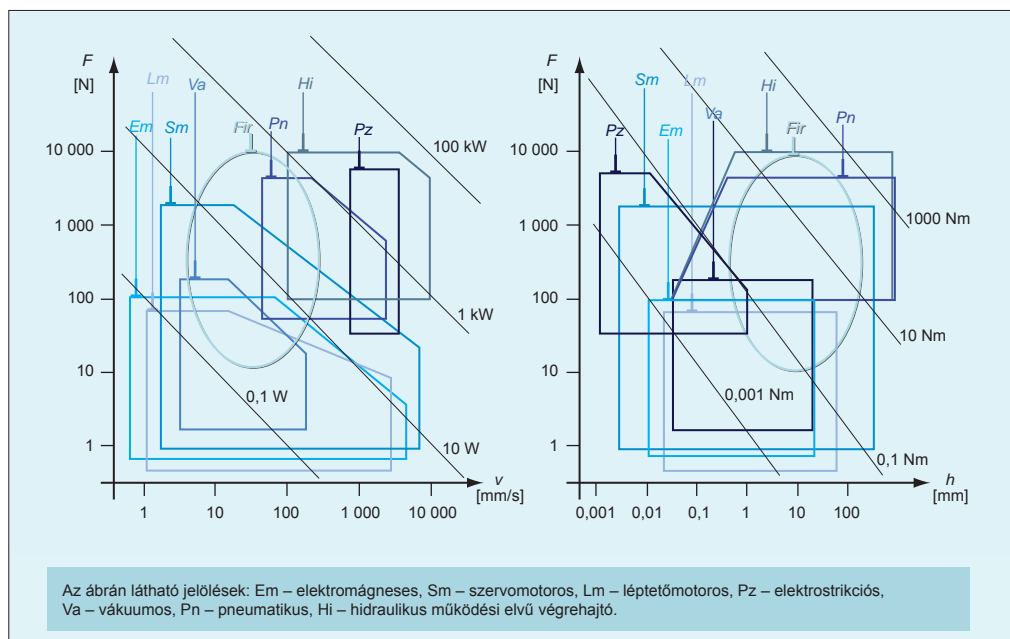
A végrehajtó szerv bemenőjelének (az u_v végrehajtó jelnek) az energiája az előtte lévő szervtől (szabályozó, vezérlő, helyzetbeállító.) származik, gyakrabban azonban saját segédenergia-ellátása és teljesítményerősítője (TE) van.

A végrehajtók rendszerezése

A végrehajtó szerveket alkalmazás szempontjából a végrehajtó jelet hordozó fizikai jellemző alapján, valamint a kimenetükön létrehozható sebesség vagy a kimeneti jeltartomány alapján rendszerezik.¹

Eszerint megkülönböztetünk *villamos* energiával működő elektromechanikus (elektromágneses, szervomotoros, léptetőmotoros), *közegáram* energiájával működő (hidraulikus, pneumatikus, vákuumos), valamint *speciális* fizikai elvet felhasználó (elektrostrikiós elven működő) végrehajtó szervet.

2. ábra A végrehajtók hét változatának sebesség–erő és löket–erő függvénytartománya



Az ábrán látható jelölések: Em – elektromágneses, Sm – szervomotoros, Lm – léptetőmotoros, Pz – elektrostrikiós, Va – vákuumos, Pn – pneumatikus, Hi – hidraulikus működési elvű végrehajtó.

Az energiahordozó és a működési elv alapvetően határozza meg a végrehajtó szervek kimeneti adatait és ezzel az *alkalmazási területeket*. A 2. ábra áttekintést ad a *löklet* és az *erő*, ill. a *sebesség* és az *erő* közötti összefüggésekről.

Az ábrákon látható négy- vagy ötszög alakú terület az adott elven működő végrehajtó alkalmazási feltételeit jelenti. A ferde egyenesek állandó teljesítményű, illetve állandó nyomatékú munkapontok sorát jelölik. A *Fir*-jelű ellipszisek a folyamatirányításban leggyakoribb tartományt határolják körül.

¹ Isermann, R. – Keller, H.: Intelligente Aktoren. *Automatisierungstechnische Praxis*, 35 (1993) 11. pp. 593-601.

Ezekből az ábrákból jelentős következtetéseket vonhatunk le az alkalmazási területeket illetően. Mivel az ipari folyamatirányítás területén a löketigény viszonylag nagy (10...100 mm tartományú), néhány elv egyáltalán nem, vagy csak részlegesen alkalmazható. A folyamatirányításban a beállítási sebességnek ritkán van kitüntetett szerepe, ezért kisebb sebességű végrehajtók is alkalmazhatók.

A működtető erő (nyomaték) azonban szintén nem lehet kicsi, ezért a kis erőleadású végrehajtókat nem, vagy csak ritkán alkalmazzák. A felsoroltak szerint és a leggyakoribb folyamatirányítási alkalmazásokat jelentő, becsléssel berajzolt szaggatott vonalú ellipszisek alapján megállapítható, hogy az ábrák választékában *folyamatperifériaként* ritka a léptetőmotoros és a vákuumos, és szinte egyáltalán nem alkalmazott az elektrostrikciós végrehajtó.

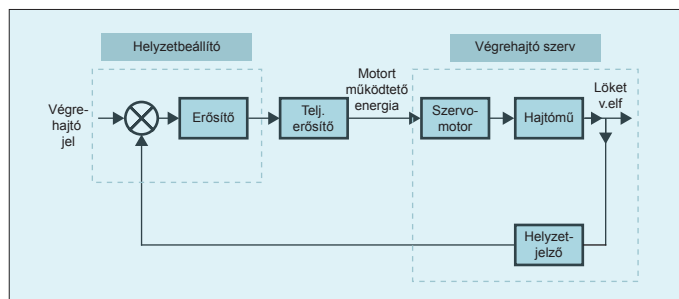
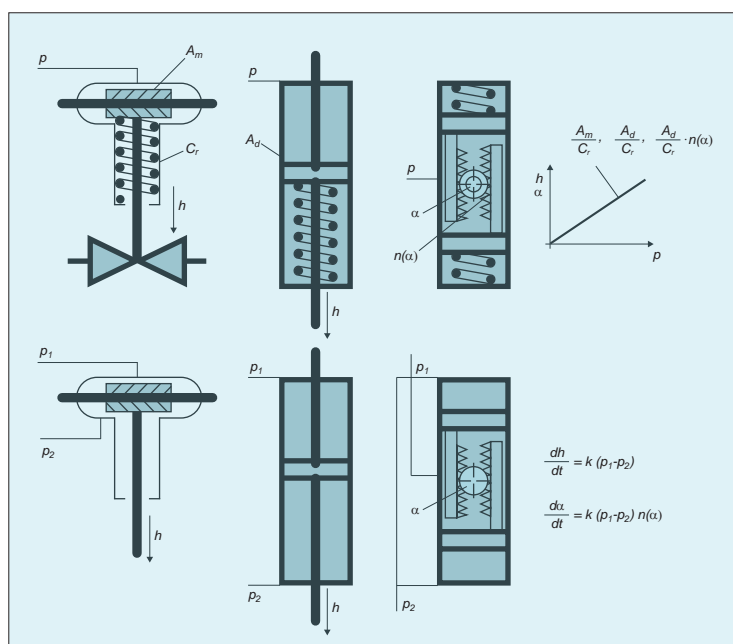
A továbbiakban a folyamatirányításban ezért végrehajtón elektromechanikus (DC-motor, AC-motor, elektromágnes, esetleg léptetőmotor) vagy közegáram-energiával működő (hidraulikus, pneumatikus, esetleg vákuumos) végrehajtót értünk.

A végrehajtók felépítése

A folyamatirányításban alkalmazott végrehajtó szerv azonban a legtöbb esetben kiegészített, több részből álló *összetett* szerkezet (a 3. ábra jobb oldala). Legfontosabb része a mechanikai jellemzőt létrehozó *motor*, amelyet a villamos rendszerekben legtöbbször szervomotoroknak neveznek. A pneumatikus (és hidraulikus) végrehajtókban membrános, dugattyús motorok, munkahengerek töltik be ezt a szerepet. A végrehajtó szerv ezenkívül más egységeket, fogaskerék-áttételt, *hajtóművet*, valamint a legtöbb esetben helyzetellenőrző, *helyzetjelző* részt is tartalmaz. A végrehajtó szerv teljes kimeneti mozgástartománya (löket, elfordulása), valamint a működtetésekor kifejtett erő vagy nyomaték a beavatkozó szerv által támasztott igénytől függ. A löket kezdetét és végét többnyire végálláskapcsoló határozza meg.

Gyakran a végrehajtó szerv részének tekintik a működtető energiát leadó, a végrehajtót hatásirányban megelőző vagy külön szervben elhelyezett *teljesítményerősítőt* (egyes esetekben konvertert), amely vagy folytonos, vagy kapcsolóelemekből felépülő erősítő, és a tápenergiát szolgáltatja a végrehajtónak.

4. ábra Pneumatikus membrános, dugattyús és szögelfordulás-kimenetű végrehajtók rugós és rugó nélküli változatban, statikus karakterisztikával, illetve mozgásegyenlettel



3. ábra A végrehajtó szerv teljesítményerősítővel és helyzetbeállítóval kiegészített hatásvázlata

A kapcsoló üzemmódban működő erősítőelemek ma már igen ritkán hagyományos kapcsolók (mágnescapcsolók, relék), gyakrabban tirisztorok (triakok, szilárdtestrelék), igényes szabályozásokban szinte kizárólagosan tranzisztorok (bipoláris tranzisztor vagy FET, ill. FET-bemenetű bipoláris tranzisztor, IGBT).

A (főleg villamos) motoros végrehajtók szoros tartozéka a *hajtómű*. Fogaskerék-áttétel, amely egyrészt elvégzi a fordulatszám-, ill. nyomatékillesztést a beavatkozóhoz, más esetben a forgómozgást lineáris elmozdulássá alakítja át, és igen gyakran ún. önzárást valósít meg. Ez utóbbi esetben az áttétel kialakítása megakadályozza azt, hogy a hajtott oldali nyomaték visszafelé forgást vagy elmozdulást hozzon létre. Ilyenkor az adott pozíció elérése után a motor lekapcsolható a hálózatról, nem szükséges a helyzettartáshoz a motor nyomatéka. Ez a tény azért nagy jelentőségű, mert az egész feszültség-áram szabályozót vagy konvertert egyetlen kapcsolóelem helyettesítheti.

A végrehajtó szervhez kapcsolható, annak kimeneti helyzetére irányuló, helyszabályozási feladatot látja el a *helyzetbeállító* (a 3. ábra bal oldala). A helyzetbeállítókról külön fejezetben lesz szó. A villamos végrehajtó szerv helyzetbeállítóval kiegészített teljes működési vázlata látható a 3. ábrán.

Pneumatikus végrehajtó szervek

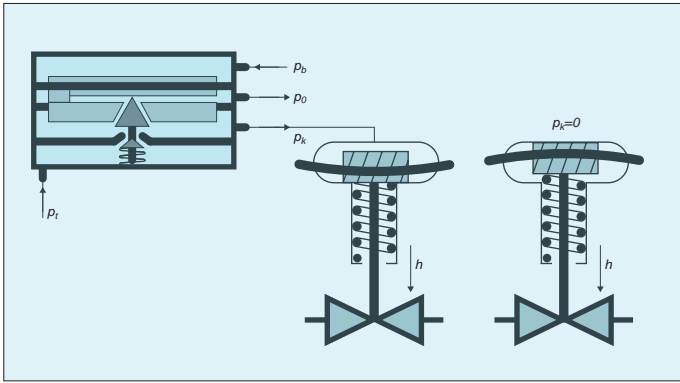
Bár a folyamatirányítási rendszerekben az elmúlt 50 évben folyamatosan növekszik a villamos eszközök aránya, a végrehajtó szervek területén jelentős részben alkalmaznak még pneumatikus eszközöket is. Ennek okai: egyszerűek, megbízhatók és robbanásveszélyes térben is alkalmazhatók. A végrehajtóhoz szükséges *pneumatikus jel* hordozója a levegőnyomás, amely információtartalmán túl (jelentős munkavégző-képessége miatt) közvetlenül alkalmas statikus erő kifejtésére és munkavégzésre is. Az egység (0,2...1 bar) nyomástartomány alkalmazásával már jelentős erőt is létre lehet hozni.

A nyomás-erő átalakítás szerkezeti megoldásai elvileg igen egyszerűek. A *membrán*, ami elsősorban a nyomásmérés eszközeként ismert, alkalmas a levegőnyomásból származó működtető erő kifejtésére és közvetlenül munkavégzésre is. De ugyanígy alkalmas erre egy hengerben mozgó *dugattyú*, ami a közismert robbanómotorok is alapeleme. A pneumatikus végrehajtó e két elem valamelyikét tartalmazza.

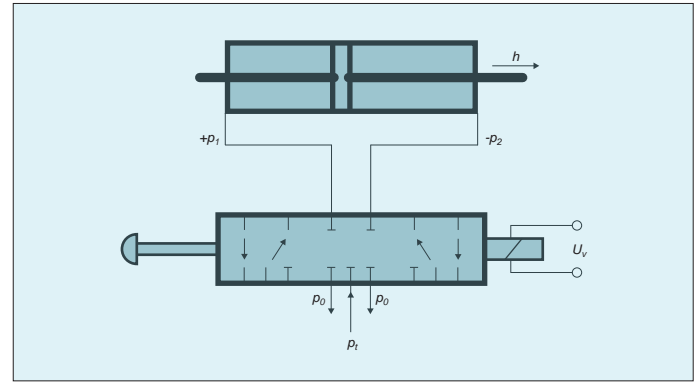
A pneumatikus végrehajtó szervek most ismertetésre kerülő szerkezeteihez a *hidraulikus* végrehajtók (amelyek hidraulika-olajjal működnek) igen hasonlóak, ezért a pneumatikus elvre leírtak kis eltéréssel a hidraulikus elven működő készülékekre is érvényesek.

A pneumatikus végrehajtók működése

A *pneumatikus végrehajtóknak* tehát két fő változata van: a *membrános* és a *dugattyús*; mindkettő kétféle, *egyoldalas* és *kétoldalas* működtetéssel (4. ábra). Az egyoldalas meg-



5. ábra Pneumatikus teljesítményerősítővel összekapcsolt membrános végrehajtó szerv terhelve és nyomásmentes helyzetben



6. ábra Dugattyús végrehajtó (munkahenger) 5/3-as útszeleppel

oldásokban a p nyomás idézi elő a h elmozdulást a membrán deformációja vagy a dugattyú elcsúszása révén, a rugóerő ellenében. Az elmozdulás mértékét a C_r rugóállandó határozza meg, nyomáscsökkenéskor a rugóerő téríti vissza a kimeneti rudazatot eredeti helyzetébe.

A kétoldalas megoldásokban nincs visszatérítő rugó, mindkét irányú mozgást nyomással (az elmozdulás irányát a nyomáskülönbség előjelével) idézzük elő. Itt azonban a nyugalmi állapot csak a két nyomás egyensúlya esetén áll fenn, ideális esetben bármilyen kis eltérésük egyenletes mozgási sebességet eredményez (integráló tag). A valóságos szerkezetekben ezt a mozgást a súrlódás és a tömegtehetetlenség befolyásolja, időállandók vannak, és nemlinearitások is lehetnek. Az elmondottak alapján statikus karakterisztikája csak az egyoldalas, rugós végrehajtóknak van. Ez is látható a 4. ábrán.

Membrános végrehajtók

A rugós membrános végrehajtó bemeneti jele lehet közvetlenül az egységes pneumatikus jeltartomány, amelyet a pneumatikus készülékek kimenetükön megjelentetnek. Mivel ezek a pneumatikus készülékek beépített teljesítményerősítőt (pneumatikus „konverter”-t) is tartalmaznak, az illesztés közvetlenül is lehetséges. Más esetekben egy külön beiktatott teljesítményerősítő szükséges a működtetésre. Az 5. ábra egy leegyszerűsített vázlattal bemutatott teljesítményerősítő és egy membrános motor összekapcsolását mutatja. A méretarányok eltérőek, a végrehajtó a valóságban mintegy két nagyságrenddel nagyobb méretű, mint a teljesítményerősítő.

A teljesítményerősítő lényege, hogy a középső, lazamembrános szerkezetet a p_b és p_k tartja egyensúlyban, eltérés esetén az alatta levő alternáló szelep a p_k -t az egyensúly helyreállítása irányában változtatja. Ehhez az alsó szelepet egy kis rugónak kell megtámasztania. Kétoldalas (rugó nélküli) végrehajtó működtetése esetén mindkét bemenetre egy-egy teljesítményerősítő szükséges.

Dugattyús végrehajtók

A dugattyús végrehajtók (munkahengerek) működtetése lehetséges teljesítményerősítővel is, de általában kétállású kapcsolókkal (szelepekkel) vagy háromállású útszeleppel valósítják meg, mert nagyobb és tartós teljesítményt igényelnek. Nagyobb úthosszuk miatt általánosabb a kétoldalas (rugó nélküli) változat, ami kapcsolóval ráadott ugrásjelre egyenletes sebességgel mozog. Vázlata a 6. ábrán látható. Az 5/3-as (5 db csatlakozás, 3 db helyzet) útszelep villamos és nyomógombos működtetésű is

lehet. A jelképi jelölésen az útszelepet alkotó 3 db téglalap a háromfajta helyzethez tartozó áteresztési állapotot mutatja.

Dinamikai tulajdonságok

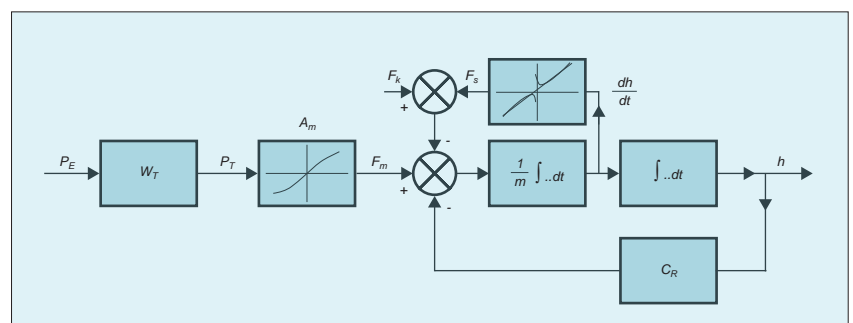
A pneumatikus és hidraulikus végrehajtók *dinamikai* tulajdonságainak a megismeréséhez többféle úton juthatunk el. Az egyik legegyszerűbb (villamos szemléletű szakemberek számára pedig egyenesen evidens) módszer a villamos helyettesítő kép, két- vagy négypólusú ábrázolással.

A rugós membránmotor 3 időállandós arányos tag. Az első a bemeneti pneumatikus (ellenállást jelentő jelvezetékéből és kapacitást jelentő membrántérből álló) RC-áramkör időállandója, beleértve a teljesítményerősítő mint feszültséggenerátor belső ellenállását is. Ez az időállandó jelentős, értéke a membránmotor méretétől is függ, de a hozzávezető (elosztott paraméterű) hosszú jelvezeték értékét még tovább növelheti. Az időállandót 2...6 s-ra, hosszú jelvezeték esetén többször 10 s-ra becsülhetjük. A második a mozgató tömeggel (mint induktivitással) arányos pneumomechanikai időállandó, amely hasonlít a villamos motorok elektromechanikai időállandójához. Kiseb az előzőnél. A harmadik pedig a rugó energiataróási tulajdonsága miatt fellépő, a rugónak a felülethez való viszonyától függő időállandó, szintén kisebb az elsőnél.

A felsorolás alapján a membránmotor a két kisebb időállandó elhanyagolásával, jó közelítéssel egytárolós tagnak is tekinthető. A villamos végrehajtókkal összehasonlítva, megállapíthatjuk, hogy a pneumatikus végrehajtó (eltekintve a szélsőségesen kedvezőtlen esetektől) gyors, egyes esetekben a teljes tartományt gyorsabban futja végig, mint a nagy fogaskerék-áttétellel kényyszerűen lelassított szervomotoros villamos végrehajtó. A dugattyús hidraulikus végrehajtók még gyorsabbak, abszolút értékben is gyorsabbak a villamos elvűeknél.

A villamos analógia részletes tárgyalásával és felhasználásával létrehozott modell csak közelítésnek tekinthető, mert igen

7. ábra Pneumatikus végrehajtó teljes hatásvázlata



Vezérlő nyomáscsatlakozása	Hajtásmód	Biztonsági pozíció a segédenergia megszűnése után	
		Villamos	Pneumatikus
Y1		Zár	Zár
Y1		Nyit	Nyit
Y2 Y1		Nyit	Utolsó pozíció (a segédenergia megszűnése előtt)
Y1 Y2		Zár	Utolsó pozíció (a segédenergia megszűnése előtt)
Y1		Le	Le
Y1		Fel	Fel
Y2 Y1		Fel	Utolsó pozíció (a segédenergia megszűnése előtt)
Y1 Y2		Le	Utolsó pozíció (a segédenergia megszűnése előtt)

8. ábra Pneumatikus végrehajtók biztonsági helyzetének összehasonlítása a villamos végrehajtókéval

sok nemlinearitást hanyagolunk el. Ilyen pl. a membrántérnek a mozgás miatt bekövetkező térfogat-, ill. kapacitásváltozása, a pneumatikus ellenállások közegáramfüggő nemlinearitása, az induktivitást okozó koncentrált tömeg mellett a mozgatott levegő tömegéből adódó komponens figyelembevétele, a membránmotor mozgásakor keletkező súrlódó erő stb. Az elhanyagolt hatások pontos figyelembevételére léteznek szabatos módszerek, ismertetésük azonban olyan hosszadalmas, hogy itt nem tárgyalhatjuk azokat.

Egy rövid ismertetés a teljes leírás hatásvázlatáról azonban ide kívánkozik. Az 7. ábra a pneumatikus végrehajtó szerv olyan hatásvázlatát mutatja, amelyben nemlinearitások és a terhelések is figyelembe vehetők. A p_T -re vonatkozó W_T átviteli függvény az előző gondolatmenetben kapott eredménnyel azonosan egytárolós, arányos tag. A membránra ható nyomásból adódó F_m működtető erő ellen az F_k külső terhelő és az F_s nyugvó és mozgásbeli súrlódó erő hat, amely utóbbinak a szelepszár sebességétől, a dh/dt -től való nemlineáris függése szintén látható a

hatásvázlatban. A visszacsatolt körben a mozgatott m tömeg sebességének és az úthosszra vonatkozó integráltjának kifejezése látható; C_R a membránmotor rugóállandója.

A 8. ábra a pneumatikus végrehajtók biztonsági helyzetének változatait hasonlítja össze a villamos végrehajtókéval energiakimaradás esetére; abban az esetben, ha elforduláskimenetű villamos végrehajtókban a forgás iránya az óramutató járásával ellentétes és ez a végrehajtóhoz csatlakozó szelepszár működésében nyitott állapotot határoz meg.

A pneumatikus végrehajtók ismertetése után a következő részben a villamos végrehajtó szervek tárgyalására térünk át, amelynek során elsőként a szervomotorok jellemzőit, majd az egyenáramú és a váltakozó áramú, aszinkron-szervomotorok működését vizsgáljuk meg.

(Folytatjuk!)