

FORGÓ ZOLTÁN

BEVEZETÉS A MECHATRONIKÁBA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

FORGÓ ZOLTÁN
BEVEZETÉS A MECHATRONIKÁBA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

6.

FORGÓ ZOLTÁN

BEVEZETÉS A MECHATRONIKÁBA



**ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2009**

A könyv megjelenését támogatta:

a Szülőföld Alap



Lektor: Dr. Kakucs András

© Forgó Zoltán 2009

Kiadja: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület

Felelős kiadó: Sipos Gábor

Sorozatszerkesztő: Bitay Enikő

Olvasószerkesztő: PONTLAB Kft.

Korrektúra: Forgó Erika

Borítóterv: Kőnczey Elemér

A borító Bosch Rexroth grafikát is tartalmaz.

Nyomdai munkálatok:

Europrint Kft, Nagyvárad

Tel./Fax: +40-259-472631

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

FORGÓ ZOLTÁN

Bevezetés a mechatronikába / Forgó Zoltán. - Cluj-Napoca : Societatea Muzeului Ardelean, 2009

Bibliogr.

ISBN 978-973-8231-80-1

621.38

DOI: 10.36242/mtf-06

Tartalom

1. Bevezető	09
2. Mi a mechatronikai rendszer?	11
3. Fizikai rendszerek modellezése	16
3.1. Differenciálegyenlet modell	16
3.1.1. Lineáris viselkedésű elektromos és mechanikai elemek	17
3.1.2. A lineáris modell határai	19
3.1.3. Modellek és analógiák	20
3.2. Nemlineáris jelenségek	25
3.3. Az átviteli függvény modell	27
3.3.1. Tömbvázlatok	31
3.3.2. Az állapotmodellek	36
4. A mechatronikai rendszer felépítése	39
4.1. Visszatekintés	39
4.2. A mechatronikai rendszer elemei	43
4.2.1. Az érzékelő egység	45
4.2.2. A döntéseket hozó egység	47
4.2.3. A végrehajtó egység	48
4.3. A mechatronikai rendszer tervezési eljárásai	51
5. Hidraulikus rendszerek	56
5.1. Hidraulikus elemek	56
5.1.1. Hidrosztatikus energiaátalakítók	57
5.1.2. Az energiaátalakítók szerkezeti felépítése	61
5.1.3. Változtatható munkatérfogató energiaátalakítók	70
5.2. Hidraulikus irányítókészülékek	72
5.2.1. A nyomásirányítók	72
5.2.2. Az áramirányítók	77
5.2.3. Útirányítók	80
5.2.4. Arányos- és szervokészülékek	86
5.3. Kiegészítő szerelvények	88
5.3.1. Munkafolyadék-tárolók	88
5.3.2. Hőcserélők	89
5.3.3. A szűrők	90
5.3.4. Mérő- és ellenőrzőelemek	92
5.4. A hidraulikus körfolyamok alapkapsolásai	94

5.4.1. Hidraulikus körfolyamok	95
5.4.2. Zárt körfolyamú alapkapcsolások	96
5.4.3. Félig zárt körfolyamú alapkapcsolások	101
6. Pneumatikus rendszerek	103
6.1. A pneumatikus rendszerek kapcsolási rajzának felépítése	105
6.1.1. Kapcsolási rajz grafikus ábrázolása	105
6.1.2. Azonosító jelölések	105
6.1.3. Kapcsolási helyzetek	105
6.2. Pneumatikus alapkapcsolások	106
6.2.1. Egy- és kétoldali működtetésű munkahengerek vezérlése	106
6.2.2. Mennyiségirányító elemek beépítési lehetőségei	108
6.2.3. Nyomásirányító elemek beépítési lehetőségei	110
6.2.4. Munkahengerek vezérlése zárószelepek használatával (logikai függvények)	112
6.3. Folyamatvezérelt lefutó vezérlések tervezése	114
6.3.1. Útvezérlés tervezése tároló alkalmazásával	114
6.3.2. Útvezérlés tervezése léptetőlánc segítségével	123
6.3.3. Útvezérlés tervezése elektropneumatikus rendszerben, relés vezérléssel	127
6.3.4. Munkadarab-bélyegző relés vezérlése kétoldali elektromágneses teljesítményszelepek alkalmazásával	127
6.3.5. Munkadarab-bélyegző relés vezérlése egyoldali, rugós alaphelyzetű elektromágneses teljesítményszelepek alkalmazásával	130
7. A programozható vezérlők alkalmazása	132
7.1. A villamos vezérlőberendezések fejlődésének áttekintése	134
7.2. Programozható vezérlők	135
7.2.1. PLC történelem	135
7.2.2. A PLC-k funkcionális felépítése	136
7.3. Programozható vezérlők hardver-felépítése	138
7.3.1. Bitprocesszor alapú programozható vezérlők	138
7.3.2. Bájt- vagy szóprocesszor alapú programozható vezérlők	141
7.3.3. A mikroprocesszor	142
7.3.4. A mikroprocesszor tipikus műveletei	145
7.3.5. A processzor állapotai	145
7.3.6. Beviteli/kiviteli elemek	147
7.3.7. Mikropocesszor alapú PLC-k hardverfelépítése	147
7.3.8. Távoli be/ki modulok	149
7.4. Programozható vezérlők programozása	149
7.4.1. A PLC-ben futó programok és feladataik	150

	Tartalom
7.4.2. PLC programnyelvek	152
7.4.3. A PLC program végrehajtásának módjai	159
7.5. A PLC-k kommunikációs rendszere	162
7.5.1. A soros átvitel	163
7.5.2. Kódolási eljárások	167
7.5.3. A szinkronizálás	169
7.5.4. A protokoll	170
7.5.5. Adatvédelmi módszerek	170
7.5.6. A hálózati kommunikáció	172
7.5.7. Hálózati topológiák	174
7.5.8. Az átvitelvezérlési (buszhozzáférési) eljárások	177
7.6. Elektropneumatikus rendszerek vezérlése programozható vezérlőkkel	183
Irodalom	186
Introduction to mechatronics (Summary)	188
Contents	189
Einführung in der Mechatronik (Zusammenfassung)	192
Inhalt	193
Introducere in mecatronică (Rezumat)	196
Cuprins	197

1. Bevezető

Az információs technológia fejlődésével a '70-es években vált világossá a japán kutatásban és iparban, hogy egyes termékek mechanikai-, villamos- és számítástechnikai összetevőit nem lehet, és nem szabad többé élesen elhatárolni és külön-külön tárgyalni. Ekkor született meg a *mechatronika* kifejezés, mely szóösszetételével is tükrözi a képviselt köztes tudományterületet. Azóta sok meghatározása látott napvilágot, melyek közül az egyik legelfogadottabb így hangzik: *a mechatronika a gépészet, az elektronika és az informatika egymás hatását erősítő integrációja a gyártmányok és folyamatok tervezésében és gyártásában.* („Mechatronics is the synergistic combination of mechanical engineering, electronics and control thinking in the design of products and processes.”)

A fenti meghatározásnak megfelelően egy mechatronikai „termék” esetében csak úgy lehet a maximális funkcionalitást elérni, ha az említett tudományterületek (vagy az ezekkel rokon területek) már a termék koncepciók korában összefonódnak. Csakis az elektromechanikai megközelítés vagy a számítógép alapú egység már nem jelent kielégítő megoldást a versenyképes termékfejlesztésre. A valóságban a mechatronika széleskörű technológiai lehetőségeknek ad teret. Jó példaként említhetők az egyre kisebb méretű filmfelvevő készülékek, illetve az egyre nagyobb kapacitású merevlemezek. Ezek megvalósítása elképzelhetetlen pusztán a hagyományosan alkalmazott tudományterületek felhasználásával. Természetesen ez a folyamat nem csak a termékek miniaturizálásával kapcsolatosan érvényes, hanem jelen van máshol is, mint például a számvezérlésű szerszámgépek, az ipari robotok, az autóipar számos területén. A mechatronikai megközelítés lehetővé tette az említett termékek teljesítményének növelését, új lehetőségeket fedve fel a további fejlesztésben. Ezek értelmében tehát a mechatronika nem tárgy, tudomány vagy technológia, hanem rálátási és megvalósítási filozófia kell legyen a jövő termékeinek előállításában.

Ezt követve valósul meg a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem keretében a mechatronika oktatása is. A diákok rendelkezésére álló tárgyi tudás és gyakorlati lehetőségek biztosítják a tudományterületekre való rálátást és ezek összekapcsolását.

Jelen könyv is ezt hivatott kiemelni, a különböző témákat úgy bemutatni, hogy az érdeklődő olvasónak lehetősége nyíljon a különböző megoldások párhuzamba állítására. Az olvasó egy olyan információgyűjteményt tart a kezében, amely kiter egy mechatronikai rendszer részeire, illetve felvillantja ennek a rendszernek a megalkotásához használható eszközöket.

A hajtások közül a hidraulikus-, illetve pneumatikus rendszereket emelte ki a szerző, és ezek elemeinek felépítését és rendszerbe foglalását tartalmazzák az 5. és 6. fejezetek. Természetesen az optimális működés eléréséhez az illető elemeket és rendszereket a feladattól függően megfelelőképpen kell méretezni, viszont ezt a folyamatot nem hivatott ez a könyv bemutatni. A 6. fejezet a pneumatikus rendszerek vezérlésének módozatait mutatja be: pneumatikus- és elektromechanikus vezérlőrendszerek irányítanak egy bélyegzőberendezést. Ugyanazt a rendszert több módszer segítségével vezérelik annak érdekében, hogy az olvasó könnyűszerrel felismerje az azonosságokat, illetve különbségeket. Az említett vezérlések ugyanolyan felépítésben működnek hidraulikus rendszerek esetén is, ezért az előbbieket csak egy fejezet keretén belül tárgyalja a szerző.

A zárófejezetben a programozható vezérlők, rövidítve PLC-k (Programable Logic Controller) kerülnek bemutatásra, mint modern, univerzális vezérlőeszközök. Ezek felépítése, programozása és hálózatba szervezése jelenik meg, majd a fejezet végén, alkalmazásként, a fennebb említett bélyegzőberendezés vezérlésének programját találhatja az olvasó.

A könyv lapjai, amint a címe is mutatja, bevezető ismereteket tárnak fel. A bemutatott témák kimerítő tárgyalását ez a könyv nem tűzte ki célul, de ízelítőt szeretne nyújtani a mechatronika alkalmazásából minden érdeklődő olvasónak.

2. Mi a mechatronikai rendszer?

Gyakran állítják a mechatronikai rendszerekről, hogy intelligens rendszerek. Az intelligens kifejezés nem határozható meg pontosan, mérnöki szempontból tekintve ezek a rendszerek logikai, visszacsatolási- és számítástechnikai elemeket tartalmaznak. Ez egy komplex kivitelezésben úgy tűnhet, hogy az emberi gondolkodást mímeli. Napjainkban már kevés egyedülálló mechanikai rendszer létezik, ezek többnyire elektromechanikusak vagy némelyikük számítógépes, mikroprocesszoros vezérléssel van ellátva. Ezek a berendezések ott vannak mindennapos tevékenységünkben és számos területen bevetésre kerülnek: repülőgép-irányító és navigáló rendszer, automata üzemanyag-befecskendező rendszer, csúszásgátló fékrendszer (ABS), automata gyártósorok és berendezések, ipari robotok, számvezérelt (NC) megmunkáló központok, „okos” konyhai berendezések, mint például automata sütőgép, vagy éppen egyes játékok formájában. Ha boncolgatni kezdjük ezen gépezetek összetevőit, rájövünk, hogy a fennebb említett meghatározás nagyon is igaz. A 20. századi mérnöki alaptudományok (például gépész-, villamos-, építész- és vegyimérnöki tudományok) közötti határok mind elmosódottabbak, és sok interdiszciplináris tudományág fejlődött ki az utóbbi évtizedekben. Sőt, ez a folyamat napjainkban is tart.

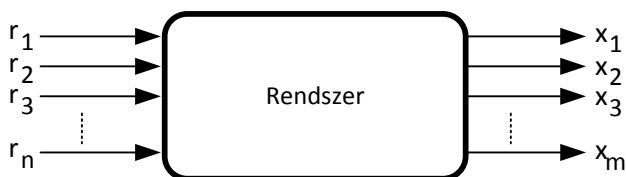
Ennek a folyamatnak a gyümölcse a mechatronikai szakterület is. Első látásra ijesztőnek tűnhet a be nem avatott személynek az a tény, hogy a mechatronikus szakembernek tudásával fednie kell a mechanika, elektronika és az informatika tudományokat. Természetesen, mindhárom területen nagyon nehezen lehet jeleskedni egy időben, és a hatások szempontjából ez nem is célravezető. Ennek ellenére a szakembereknek rendelkezniük kell olyan alaptudással mindhárom szakirányból, hogy sikeresen tudjanak átlátni és megérteni minden olyan rendszert, mely felépítését a mechatronika határozza meg. Szükséges kiemelni, hogy a nagyon sokra értékelt csapatmunka ezeknek a rendszereknek a tervezésében illetve kivitelezésében elengedhetetlen, mivel így sikeresen megosztható azok a feladatok, amelyek kimondottan több tudományághoz tartoznak.

2.1 Példa Egy jó példa a mechatronikai rendszer bemutatására a napjainkban használt fénymásoló gép. Felépítésében jelen vannak az analóg és digitális áramkörök, érzékelők, energia átalakítók (aktuátorok), mikroprocesszorok és persze a mechanikus összetevők. A másolási folyamat a következő: a felhasználó behelyezi az eredeti dokumentumot az adagoló tárbá, és egy gomb megnyomásával elindítja a folyamatot. A dokumentum az üveglapra szállítódik, ahol egy nagy intenzitású fénynyaláb végigpásztázza a lapot, majd egy fémhengerre

kerül át a dokumentum képe töltések formájában. Ekkor egy üres lapot emel ki a gép a tartóból, és az elektrosztatikus vonzás alapelvének segítségével a fémhengerről rákerül a tintapor az üres lapra, ahol fűtés segítségével rögzül. Ezek után, ha szükséges, akkor a megfelelő mechanizmussal a másolatot rendezik különböző rekeszekben.

Ebben a példában analóg áramkör vezérli a lámpát, a melegítőt és más teljesítmény-áramkört. A digitális kijelző, a jelzőfények, a gombok és kapcsolók digitális áramkörökre vannak kapcsolva, melyek a felhasználói interfészt alkotják. Más digitális áramkörhöz a logikai áramkörök és mikroprocesszorok tartoznak, ez utóbbi irányítja a fénymásológép funkcióit. Optikai érzékelők és mikrokapcsolók jelzik a papír ottlétét vagy hiányát, ennek helyes elhelyezését, a különböző ajtók és záruk nyitott vagy zárt állapotát. Más érzékelőket a motorok nyomon követésére használnak (fordulatszám-mérés, szögelfordulás mérése), az energia-átalakítók pedig szervo- és léptetőmotorok formájában vannak jelen.

Ahogy a fénymásoló példájából is kiderül, egy rendszert több alegységre lehet osztani, melyek kölcsönösen összefüggésben vannak egymással, és ezeket a hatásokat fizikai törvényekkel tudjuk leírni és jellemezni a rendszeranalízis során. Ha egy rendszert, az előzőekben említett törvények ismeretében, matematikai összefüggésekkel tudunk leírni, akkor a rendszer *modellezéséről* beszélhetünk. Ez a lépés lehetővé teszi a rendszer egyes elemei között az ok-okozat kapcsolatok világos megértését. Ha viszont túl összetett a rendszer, vagy más okok miatt a modellezés nem lehetséges, akkor a *rendszer azonosításához* kísérleti eredményekre van szükség. Mindkét esetben az a cél, hogy egy hatásos vezérlés elkészítése érdekében a rendszer működését megértsük, ennek belső paramétereit megismerjük.



2.1. ábra

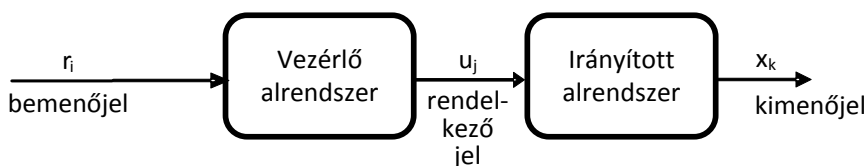
Egy rendszer be- és kimenőjelei

Meghatározásként kijelenthetjük, hogy a rendszer egy olyan fizikai egység, amely belsejében, egy jól meghatározott célt követő módon, alkotóelemek vannak elhelyezve illetve egymással funkcionálisan összekötve, környezetével pedig a rendszert olyan mennyiségek kötik össze, melyek között okozati összefüggések

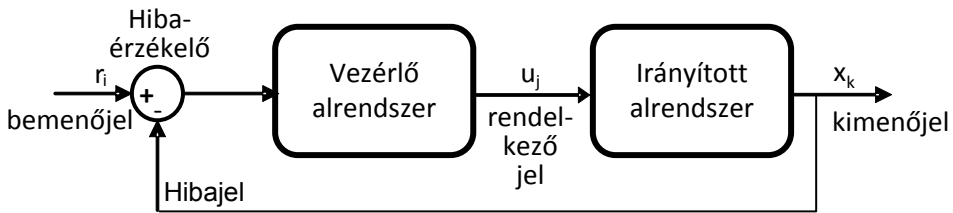
vannak. Ezeket az utóbbi mennyiségeket nevezzük a rendszerbe bemenő- illetve a rendszerből kimenő paramétereknek vagy jeleknek. A bemenőjeleket (gerjesztéseket) a rendszer – az alkotó elemeiből adódó – belső jellemzőinek megfelelően átalakítja, és hozza létre a rendszer kimenetén megjelenő jeleket. Ha a bemenőjeleket $r_1, r_2, \dots, r_n$ -el jelöljük, a kimenőjeleket pedig $x_1, x_2, \dots, x_m$ -el, akkor a tömbvázlat segítségével egy rendszert az **2.1. ábrán** látható módon szemléltethetünk. Ha egy rendszert egyidejűleg több bemenőjel segítségével kell irányítani (amint az ábrán látható), akkor ezt egy *többszörös rendszernek* nevezzük. Abban az esetben, ha az irányítási folyamatban az idő, mint független változó van jelen, a rendszert *dinamikusnak* minősíthetjük.

2.2 Példa Ha egy gépkocsi kormányzását vesszük figyelembe, akkor megállapíthatjuk, hogy a kormányzott gépkocsikerekek iránya kimenőmennyiségnek felel meg, míg a kormány helyzete a bemenőjelet szolgáltatja. Maga a rendszer pedig a kormányzó mechanizmusból és a gépkocsi dinamikájából áll. Ha azonban a kimenő jelként a sebességet vesszük figyelembe, akkor a gerjesztés a gázpedálra gyakorolt erő nagysága lesz.

A mai gyakorlatban ismeretes rendszereket két fontos összetevőre is bonthatjuk: egy vezérlő és egy irányított alrendszerre. Amint a **2.2. és 2.3. ábra** mutatja, a bemenőjeleket a vezérlő egység alakítja át úgynevezett *rendelkező* jelekké, majd ezek képezik a második alrendszer gerjesztéseit. A bemutatott tömbvázlat a *nyitott hatásláncú rendszert* jellemzi (**2.2. ábra**). Ez a legegyszerűbb és leggazdaságosabb megoldás, viszont ezekből sajnálatos módon hiányzik a rugalmasság és a pontosság, így csak az egyszerű, igénytelen esetekben használhatók. A pontosabb irányítás kedvéért az x_i kimenőjelet vissza kell csatolni és össze kell hasonlítani a gerjesztéssel, majd a hiba kiküszöbölése céljából, az előbbi két jel különbségével arányos jelet kell keresztüljuttatni a rendszeren. Ezt a megoldást nevezzük *zárt* vagy *szabályozási rendszernek* (**2.3. ábra**).



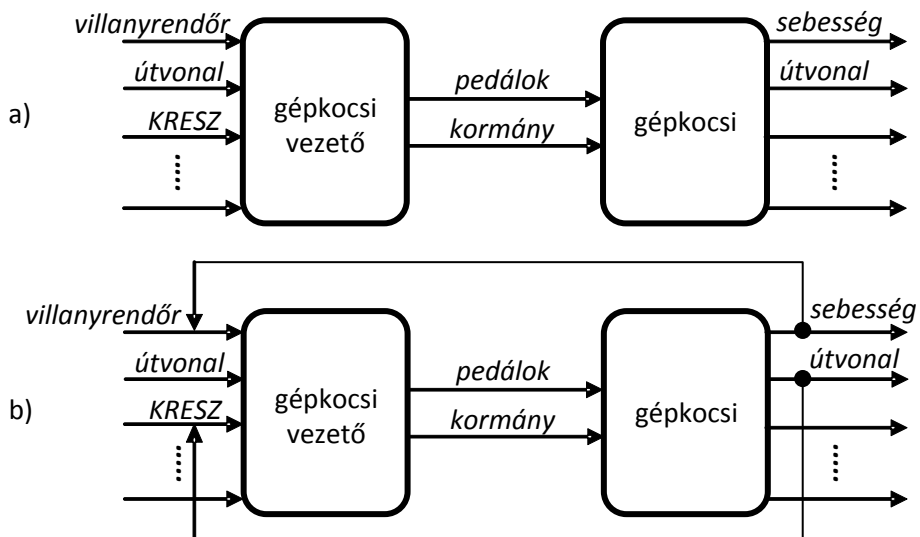
2.2. ábra
A nyitott vezérlés



2.3. ábra

A zárt rendszer (a szabályozás)

2.3 Példa Továbbfejlesztve az előbbi gépkocsi példáját, tekintsük a **2.4a ábrát**. Itt már megjelenik az ember is, aki átveszi a vezérlő alrendszer feladatát, és a rendelkező jelekkel (pedálok nyomogatásával, kormány, sebességfokozat-váltó kar kezelésével) irányítja a gépkocsit. A biztonságos vezetéshez viszont elengedhetetlen a visszacsatolás. Ebben az esetben (**2.4b ábra**), a sofőr nyomon követi a gépkocsi sebességét, hogy az ne lépje túl a megengedett értéket, illetve figyeli az utat, és útelzárások esetén új útvonalat állapít meg.



2.4. ábra

Egy jármű irányítási rendszere
 a) visszacsatolás nélkül b) visszacsatolással

A fenti példából az is kiderül, hogy miképpen határolódik el a jármű, mint rendszer a környezetétől. Természetesen a jármű alatt most a gépkocsit és a vezetőjét kell érteni, mivel együttesen alkotják azt a rendszert, amely maradéktalanul teljesíteni tudja a rendszer hivatását: egy A pontból a B pontba való elmozdulást, egy meghatározott szabályrendszert követve. Felismerhetők azok a rendszerelemek, vagy másképp megfogalmazva, alrendszerek, melyek segítik a feladat végrehajtását. Így a rendszer egy érzékelőkből álló alrendszer segítségével ismeri fel a környezetét illetve annak változását (lásd az emberi érzékszervek), egy döntéshozó egység (az emberi agy) ezeket a jeleket kiértékeli, majd egy szabályrendszer alapján (meghatározott útvonal, KRESZ, sebességkorlátozások, stb.), válaszokat generál. Ezek a pedálok, a kormánykerék, a sebességváltó segítségével átadódnak a gépkocsinak, amely követi és végrehajtja a kapott rendelkező jeleket. A mechatronikai rendszerek ilyenszerű felbontásával egy későbbi fejezetben foglalkozunk majd.

A továbbiakban a rendszerek, és az ezeket alkotó elemek modellezéséhez használt eljárásokat tekintjük át, melyek fontos alapkövei a mechatronikai rendszerek megértésének és elemzésének.

3. Fizikai rendszerek modellezése

Az előző fejezetben tárgyaltak alapján joggal tevődik fel a kérdés, hogy miként lehetne a sokféle rendszert típusától függetlenül tárgyalni. Ha például egy terméket kell jellemezni, ennek teljesítményét a rendszert alkotó komponensek határozzák meg. Amint a fénymásoló példájában látható volt, egy rendszer teljessége több tudományterületet ölelhet fel, ezért egy olyan eszközhöz kell folyamodni, mely lehetővé teszi az alrendszerek egyenértékűségét. Ez a közös nyelv nem más, mint a matematikai meghatározások együttese, melyek segítenek átölelni, egymásba fogni az alrendszerek működését. Sok esetben olyannyira átalakul az adott alegység nézete, hogy a leírt (fizikai) és a leíró (matematikai) modell közötti összefüggés csak tapasztalt szemmel azonosítható. Az elkövetkezőkben néhány módszert mutatunk be, melyek segítségével a fent említett modellezés megvalósítható.

3.1. Differenciálegyenlet modell

Mivel egy modellnek hűen kell tükröznie egy dinamikus rendszer statikus és dinamikus jellegzetességeit, a legkézenfekvőbb, ha a matematikai modell egy differenciálegyenlet-rendszerben testesül meg. Ezekben az egyenletekben a be- és kimenőjel bármely rendű deriváltja jelen lehet lineáris kombinációt alkotva. Abban az esetben, ha egy adott rendszerre egy kimenőjel $x(t)$, illetve csak egy bemenőjel $r(t)$ létezik, akkor a rendszer a következő egyenlettel jellemezhető:

$$a_0 x(t) + a_1 \frac{d}{dt} x(t) + a_2 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + \dots = b_0 r(t) + b_1 \frac{d}{dt} r(t) + b_2 \frac{d^2}{dt^2} r(t) + \dots \quad (3.1)$$

A rendszer paraméterei az egyenlet együtthatóiban elrejtve jelentkeznek, és ha ezek az együtthatók időben változnak, akkor egy *időben változó rendszerről* van szó. Természetesen az időben állandó együtthatók egy *időben állandó rendszert* írnak le.

Ha a (3.1) egyenlet együtthatói felépítésében részt vesznek a be- vagy kimenőjel idő szerinti deriváltjai, akkor a modell egy nemlineáris rendszert jellemez. A gyakorlatban a legtöbb fizikai rendszer nemlineáris tulajdonságú. Mivel a nemlineáris matematikai modellezés nagyon nehézkes, és teljes mértékben még nincs kidolgozva, célszerű a nemlineáris jelenségeket lineáris modellekkel helyettesíteni, tehát linearizálni. A nemlineáris jelenségeket bizonyos fokig, illetve bizonyos határok között lehet linearizálni, tehát lineáris differenciálegyenletekkel jellemezni. Ebből kiindulva a mechatronikus mérnöknek nem csak az a feladata, hogy matematikailag pontosan leírja a rendszereket (bármely típusú rendszerről legyen szó: villamos, mechanikai, hidrosztatikus, stb.), hanem, hogy megfelelő feltevésekkel és közelítések-

kel erre alkalmas lineáris matematikai modelleket készítsen. Az így megalkotott modellek, kiindulási pontot jelentenek egy gyakorlatias, optimálisan megvalósítható vezérlés megalkotásához, vagy, ha egy alrendszer lett modellezve, akkor egy könnyen felhasználható modellrész valósul meg, mely egyszerűen beépíthető a rendszer egészének a leírásába. Ezen lineáris modelleknek három tulajdonságát kell megemlíteni:

- a ki-/bemenet linearitása: Ha $r(t)$ bemenet $x(t)$ kimenetet gerjeszt, akkor az $a \cdot r(t)$ bemenet $a \cdot x(t)$ kimenetet indukál,
- a szuperpozíció elve: Ha $r_1(t)$ bemenet $x_1(t)$ kimenetet, illetve $r_2(t)$ bemenet $x_2(t)$ kimenetet gerjeszt, akkor $r_1(t) + r_2(t)$ bemenetnek $x_1(t) + x_2(t)$ felel meg.
- a szinusz-jel tartása: Ha bemenő jelként egy szinuszgörbét adunk meg, akkor válaszként egy ugyanolyan frekvenciájú jelet kapunk.

Ezek a tulajdonságok jelen kell legyenek természetesen a lineárisnak ítélt alrendszerek esetén is. Egy rendszert csak akkor nevezhetünk lineárisnak, ha mindegyik alrendszere lineárisan viselkedik.

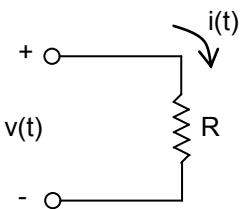
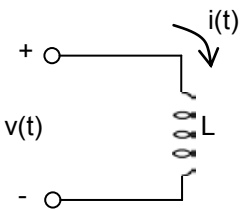
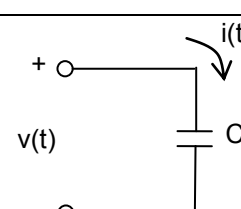
3.1.1. Lineáris viselkedésű elektromos és mechanikai elemek

A fentieket alkalmazva, egy villamos-, illetve mechanikai rendszert úgy lehet vizsgálni, hogy kezdetben ezen rendszereket összetevőire bontjuk. A következő lépés az alegységek elemzése, és szükség szerinti linearizálása. Megalkotva a matematikai modelleket, ezek kölcsönös hatását összegezzük, és így jön létre a vizsgált rendszert jellemző egyenlet vagy egyenletek.

A következő táblázatokban egyes lineáris villamos- és mechanikai komponensek matematikai egyenletei vannak feltüntetve. Az elektromos összetevők közül az ellenállás, a tekercs és a kondenzátor kerülnek bemutatásra, azzal a kitételrel, hogy az ellenállás, az induktivitás és a kapacitás időben állandó értékek. Mindhárom elem passzív komponens, mivel energiát szórnak (ellenállás) és tárolnak (tekercs, kondenzátor), de nem visznek be energiát a rendszerbe.

A mechanikai komponensek esetében (3.2. táblázat) a lineáris mozgást és a forgó mozgást végző elemek kerülnek megjelenítésre. Mindkét esetben az első a lengéscsillapító modellje. Ez egy hengerből áll, melyben egy dugattyú mozoghat. A dugattyú által elválasztott két térfogatot egy folyadék (esetenként lehet gáz is) tölti ki, mely hasadéko(ko)n közlekedhet a két térfogat között. A forgó mozgást végző lengéscsillapító is hasonló elven működik, annyi különbséggel, hogy dugattyúja nyomaték hatására fejt ki ellenállást. Az említett ellenállás mértéke egyenesen arányos a lineáris- vagy a szögmozdulás sebességével. Ez az elem is passzív mivel csak energiát szór. A következő bemutatott összefüggés a tömegre (forgó mozgás esetén: tengelyre vonatkoztatott tehetetlenségi nyomatékra) vonatkozik, majd a rugó (forgó mozgás esetén: torziós rugó) jellemzőjét mutatja be.

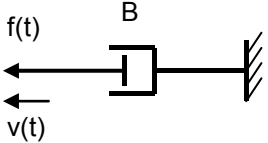
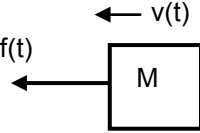
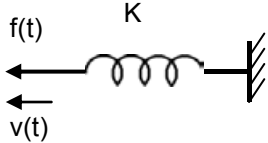
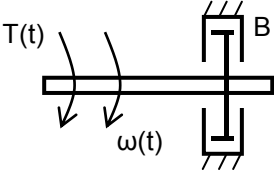
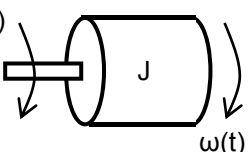
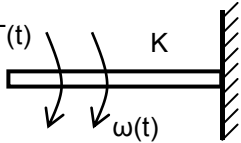
3.1. táblázat. Lineáris elektromos elemek

<p>R ellenállás (Ω - ohm)</p>		$v(t) = R \cdot i(t)$ $i(t) = G \cdot v(t), \quad ahol G = \frac{1}{R}$
<p>L induktivitás (H - henry)</p>		$v(t) = L \frac{d}{dt} i(t)$ $i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t v(t) dt + i(0)$
<p>C kapacitás (F - farad)</p>		$v(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + v(0)$ $i(t) = C \frac{d}{dt} v(t)$

Ezek szintén passzív elemek, mivel energiát tárolnak, de nem visznek be a rendszerbe. A táblázatban az összefüggések a lineáris- (x) és szögelfordulás (θ) függvényében írjuk fel, alapul véve a zérus terhelést, melyet kezdeti állapotnak is nevezünk. A gyakorlatban bármely tengelynek van egy bizonyos fokú torziós rugalmassága. Esetenként ez lehet egy nemkívánatos tulajdonság is: ha egy fogaskerék-hajtás tengelyének torziós rugalmassága meghalad egy megengedett értéket (ez esetenként különbözik), akkor jelentős dinamikai jellemváltozásra lehet számítani az egész kapcsolás működésében.

Ha valamely rendszer felépítésében részt vesz egy vagy több rugó, a jelölés megkönnyítése érdekében ajánlatos vonatkoztatási pontnak ($x=0$) a rugó vagy rugók terhelés nélküli állapotát tekinteni, mivel így az egyenletből több, a rugókban kelt erőket tartalmazó tag eltűnhet. Természetesen, kivételt képeznek azok az esetek, amikor a függőleges rugót egy súly terheli. Ekkor a nyugalmi állapotot tekintjük kiinduló pontnak ($y=0$), mivel a felírt egyenletben a rugóban keletkezett erő kiegyenlíti a teher súlyát.

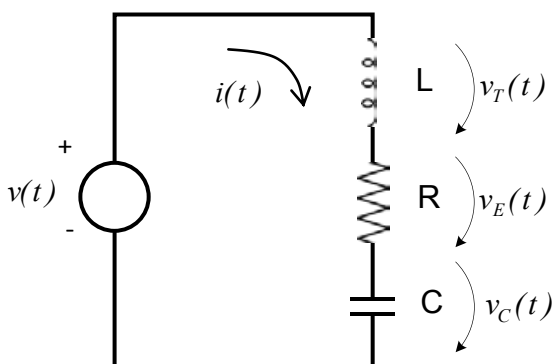
3.2. táblázat. Lineáris, mechanikai elemek

B lengéscsillapító (Ns/m)		$f(t) = B \cdot v(t) = B \frac{d}{dt} x(t)$
M tömeg (kg)		$f(t) = M \frac{d}{dt} v(t) = M \frac{d^2}{dt^2} x(t)$
K lineáris rugó (N/m)		$f(t) = K \int_0^t v(t) dt + f(0) = K \cdot x(t)$
B lengéscsillapító (N.m.s/rad)		$T(t) = B \cdot \omega(t) = B \frac{d}{dt} \theta(t)$
J másodrendű nyomaték (kg.m ²)		$T(t) = J \frac{d}{dt} \omega(t) = J \frac{d^2}{dt^2} \theta(t)$
K torziórugó (Nm/rad)		$T(t) = K \int_0^t \omega(t) dt + T(0) = K \cdot \theta(t)$

3.1.2. A lineáris modell határai

Tekintetbe véve a fennebb említett ellenállás és rugók példáját, könnyen belátjuk, hogy a lineáris modellek csak bizonyos határok között valósak. Ennek alátámasztásaként elképzelhető, hogy az ellenállás hőmérséklete olyan mértékben megnő, hogy az ellenállás értéke jelentősen módosul, vagy rosszabb esetben, az ellenállás megolvad. Határokat szab a rugó használata is, mivel csak bizonyos mértékig össz-

szenyomható, illetve megnyúlásnál, az anyagtól függően, a rugó elveszítheti rugalmasságát, és állandó alakváltozás léphet fel. Így, ha egy rendszert több elem alkot, amelyeket egyenként linearizáltuk, és lineáris viselkedésüknek határokat állapítottunk meg, akkor rendszerünk lineárisan fog viselkedni, de csak a fent említett határok között.



3.1. ábra
Soros RLC áramkör

Egy lehetséges módszer a rendszer linearitásának ábrázolására és vizsgálatára, az n -dimenziós grafikon elkészítése. Minden dimenzió egy belső változónak felel meg, így az illető dimenzió mentén fel lehet tüntetni a változó határértékeit is. Az így keletkezett görbe bizonyítja, hogy az illető rendszer lineárisnak tekinthető vagy nem, illetve kiemeli azokat a határértékeket, melyek között lineárisnak tekinthető. Ha a működési intervallumában az vizsgált rendszer nem lineáris, akkor a matematikai modell felállítása nehézkessé válik, és nagy hangsúlyt kap a számítógépes szimulálás.

3.1.3. Modellek és analógiák

Összevetve a 3.1. és 3.2. táblázatokat, analógiákat figyelhetünk meg az elektromos és mechanikai modellek között. Ezeknek az analógiáknak a megértése hasznos lehet két rendszer egymáshoz viszonyított értékelése esetén. Tekintsük a 3.1. ábrán látható RLC áramkört. Alkalmazva Kirchhoff huroktörvényét, kijelenthetjük, hogy a feszültségek összege az ábrázolt hurokban nulla. Alkalmazva az említett törvényt, a következő összefüggést kapjuk:

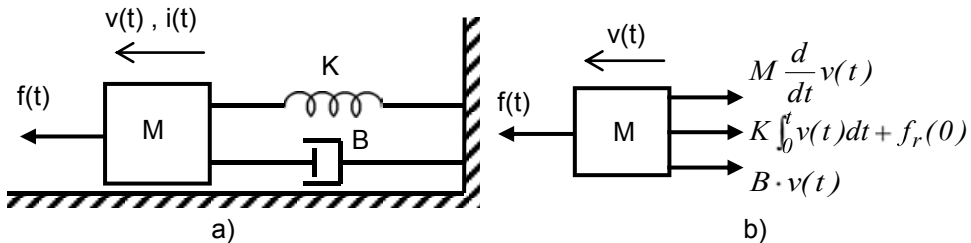
$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + v_C(0) , \quad (3.2)$$

ahol $i(t)$ a belső változó (dependent variable) és $v(t)$ a rendszer bemenő paramétere.

A fenti módszerhez hasonlóan határozzuk meg a **3.2.a ábrán** feltüntetett mechanikai rendszer matematikai modelljét, feltételezve, hogy a test és felület között nincs súrlódás. Az első lépés megállapítani és felrajzolni a testre ható erőket (**3.2.b ábra**), majd tudva, hogy d’Alambert kijelentése alapján az erők ki kell egyenlítsék egymást, felírható a közöttük levő összefüggés. Fontos megjegyezni, hogy a passzív elemek által gyakorolt erők mellé szükséges feljegyezni a tömeg gyorsulásából adódó tehetetlenségi erőt is. Ezek után a következő összefüggéshez jutunk:

$$f(t) = M \frac{dv(t)}{dt} + Bv(t) + K \int_0^t v(t) dt + f_r(0), \quad (3.3)$$

ahol a $v(t)$ sebesség a belső változó és az $f(t)$ a rendszer bemenő paramétere.



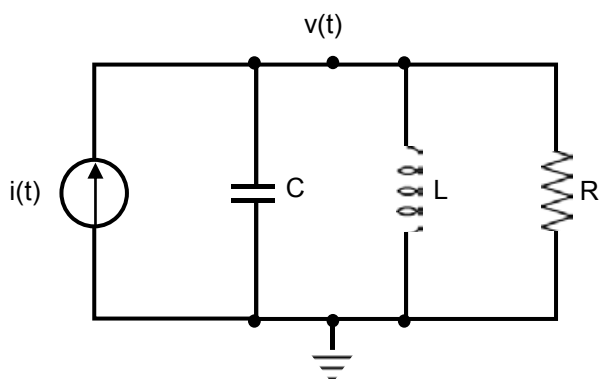
3.2. ábra

Lineáris mozgást végző rendszer: a) felépítés b) erődiagram

Összehasonlítva a (3.2) és (3.3) egyenleteket, látható, hogy azonos matematikai formájuk van, ezért a két rendszer egymásnak megfeleltethető. Így jött létre az *erő-feszültség* analógia: az erő megfelel a feszültségnek, a sebesség az áramerősségnek, a tömeg az induktanciának, a viszkozitási együttható az ellenállásnak, míg a rugó állandója megfelel a kapacitás inverzének. Az említett analógia nem az egyedüli, mivel egy párhuzamos kapcsolású RLC áramkörben (**3.3. ábra**) felírható Kirchhoff csomópontokra vonatkozó egyenlete is:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} + Rv(t) + \frac{1}{C} \int_0^t v(t) dt + i_L(0). \quad (3.4)$$

Könnyen felismerhető az elemek közötti megfeleltetés a (3.3) és (3.4) egyenletekből. Az új analógiában az *erő* az *áramerősségnek* felel meg, a tömeg a kapacitást, a lengéscsillapító együtthatója az ellenállást, míg a rugóállandó a kapacitás inverzét helyettesíti.

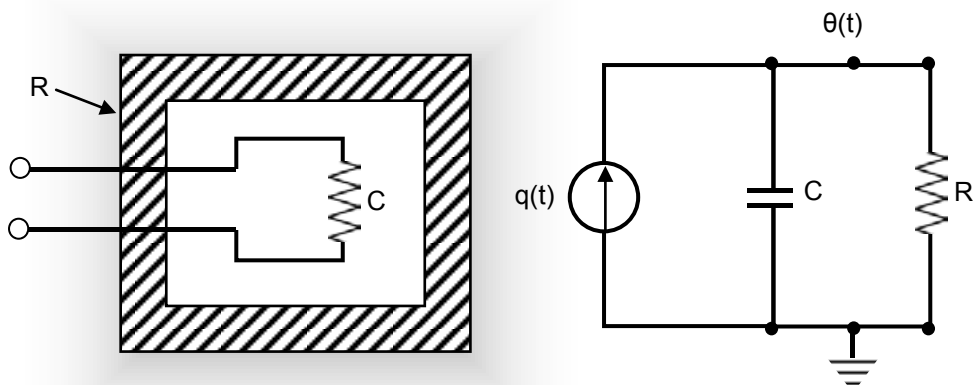


3.3. ábra
Párhuzamos RLC áramkör

Mechanika feladatokban a viszonyítási alap gyakran lehet az elmozdulás, ezért a (3.3) egyenlet a következőképpen írható fel:

$$f(t) = M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + B \frac{dx(t)}{dt} + Kx(t). \quad (3.5)$$

Ebben az esetben is érvényes az *erő-feszültség* analógia, ha az elektromos áramkör egyenlete (3.4) a $q(t)$ töltésmennyiségre épül.



3.4. ábra
Termikus rendszer és az analóg elektromos áramkör

A fentiekhez hasonlóan további analógiák fogalmazhatók meg termikus és hidraulikus rendszerek esetén is. Ha a **3.4. ábrán** látható tartályban a hőmérséklet egyenletesen oszlik el, akkor a hőáram q_i (J/s-ben mérve) két összetevőre bomlik: eltárolt és kibocsátott hőre:

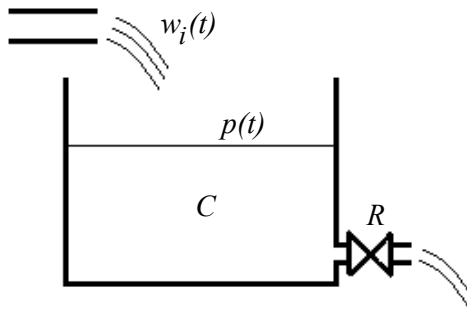
$$q_i(t) = C \frac{d}{dt} \theta(t) + \frac{1}{R} \theta(t), \quad (3.6)$$

ahol θ a relatív hőmérséklet a tartály környezetéhez viszonyítva, C a tartály tartalmának hőkapacitása (J/K) és az R a tartály hőellenállása (K/W). Az ugyanezen az ábrán látható elektromos áramkör a termikus rendszer analóg rendszerének tekinthető, és ezt alátámasztja az áramkörben felírt csomópont egyenlete is.

Ugyanígy egy hidraulikus rendszer és elektromos áramkör között is lehetnek megfeleltetések. Az **3.5. ábra** szerint a tartályba folyó folyadékmennyiség két részre oszlik: egy része tárolódik a tartályban, míg egy másik része az alsó nyíláson távozik. Ha w_i (m³/s) a tartályba befolyó folyadék térfogatárama, akkor a rendszer a következő egyenlettel írható le:

$$w_i(t) = C \frac{d}{dt} p(t) + \frac{1}{R} p(t). \quad (3.7)$$

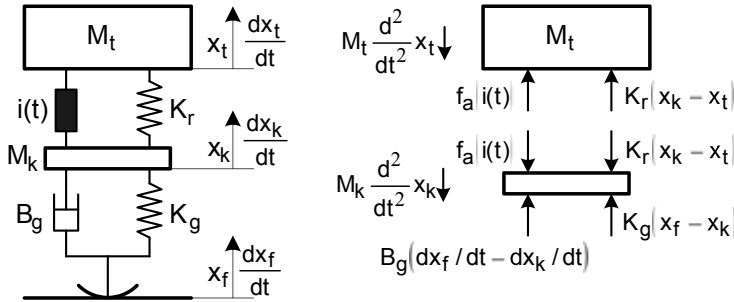
Itt C a hidraulikus kapacitás (m³/(N/m²)), míg az R a hidraulikus ellenállás ((N/m²)/(m³/s)), amit a csap fojtása idéz elő. Ez a fajta ellenállás nem lineáris tulajdonságú a Reynolds-szám 2320 értéke fölött, ezért a fennebb kijelentett, linearizált egyenlet csak lamináris áramlás esetén érvényes. Ezzel ellentétben a hidraulikus kapacitás állandó, ha a tartály metszete nem mélységfüggő.



3.5. ábra
Tárolótartály vázlata

Általában, a matematikai modellek felállításakor olyan fizikai mennyiségek jelennek meg, melyek nem kötődnek direkt módon a rendszerek energiájához és/vagy

teljesítményhez. Ennek ellenére, ami a rendszerrel megvalósítandó követelményeket illeti, ezen utóbbiak tükrében érzékelhető a legjobban a rendszerek hatásfoka.



3.6. ábra

Gépkocsi felfüggesztésének modellje

3.1 Példa Adott a 3.6. ábrán látható mechanikus rendszer, mely egy gépkocsi aktív felfüggesztésének a modellje. Mivel az egyszerűség kedvéért csak az egyik kerék felfüggesztése van ábrázolva, az M_t tömeg a gépkocsi negyed tömegét jelenti. Az M_k a kerék és a hozzá tartozó első (vagy hátsó) fél felfüggesztés tömegét szimbolizálja. A gumiabroncs egy rugó (K_g) és egy lengéscsillapító (B_g) párhuzamos kapcsolásán keresztül van modellezve, míg a felfüggesztés rugalmasságát a K_r állandójú rugó biztosítja. Egy aktív rendszer megvalósítása érdekében egy elektromos hajtást illesztettek a két tömeg közé, így lehetőség van dinamikusan változtatni a felfüggesztés karakterisztikáit. Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy a hajtás ideális egységként viselkedik, így az $i(t)$ vezérlési áramot teljes egészében az erő generálására használja fel.

A tömegek relatív sebessége és relatív elmozdulása a hajtás és a többi elem erői közötti kölcsönhatás eredményeként jön létre. Felrajzolva a gépkocsira és a tengelyre ható erődiagramot megalkotható a felfüggesztés matematikai modellje:

$$\begin{cases} f_a = M_t \frac{d^2}{dt^2} x_t + K_r (x_k - x_t), \\ 0 = f_a + M_k \frac{d^2}{dt^2} x_k + K_r (x_k - x_t) - K_g (x_f - x_k) - B_g \left(\frac{d}{dt} x_f - \frac{d}{dt} x_k \right). \end{cases} \quad (3.8)$$

Az ábrának megfelelően $x_t(t)$ a gépkocsi testének az elmozdulása és az $x_k(t)$ a kerék és a tengely elmozdulása. A felület változását (melyen a gépkocsi halad) az $x_f(t)$ jellemzi, így a $dx_f(t)/dt$ a felületváltozás sebességét jelenti. A (3.8) egyenletben megjelenő f_a erő nagysága a hajtás vezérlésétől függ.

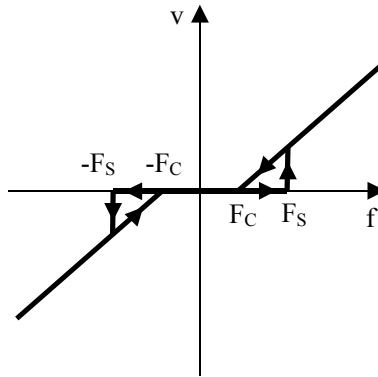
3.2. Nemlineáris jelenségek

A súrlódás nemlineáris összetevői

A száraz súrlódás két test között jelentkező nemlineáris jelenség, ha ezek csúszva vagy gördülve mozdulnak el egymáson. Két összetevőből áll: az úgynevezett statikus (F_s) és Coulomb féle súrlódás (F_C). A statikus súrlódás a test nyugalmi helyzetében lép fel (az érintkező felületek között), amikor az illető erő, mellyel a testre hatunk (f), nem lép túl egy küszöbértéket (F_h). Ekkor a statikus súrlódási erő megegyezik az általunk kifejtett erővel, és ezzel ellentétes irányban hat. Ha viszont a határértéket átléptük, akkor ez a típusú erő megszűnik, és a test mozogni kezd.

Összefoglalva a fentieket felírható:

$$\begin{cases} f_s = f, & \text{ha } v = 0 \text{ és } f \leq F_h, \\ f_s = 0, & \text{ha } v \neq 0. \end{cases} \quad (3.9)$$



3.7. ábra

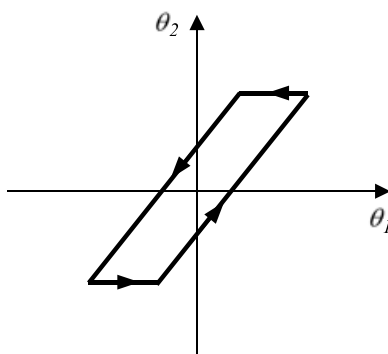
A súrlódási erő összetétele

A másik típusú erő a Coulomb féle súrlódási erő (kisebb mint az F_h): értéke független az általunk kifejtett erőtlől, míg irányítása mindenkor ellentétes ez utóbbi erő irányításával. Ezek közös hatását ábrázolja a **3.7. ábra**, melyen egy test sebességének változása van feltüntetve, a rá ható, a mozgási síkkal párhuzamos erő függvényében.

$$\begin{cases} f_C = +F_C, & \text{ha } v > 0, \\ f_C = -F_C, & \text{ha } v < 0. \end{cases} \quad (3.10)$$

A holtjáték hatása

A holtjáték egy nemlineáris jelenség, mely leginkább a kötésekkel ellátott rendszerek esetén jelentkezik. Szemléltetni a legjobban a fogaskerék-kapcsolásos rendszerekkel lehet. Ha a fogaskerékrendszer meghajtó nyomatéka irányt (előjelet) változtat, a bemenő tengelyen levő kerék ennek megfelelően elkezd visszafele forogni (θ_1). Az eddig érintkezésben levő fogak eltávolodnak egymástól, amíg a hajtott kerék fogának másik felülete érintkezésbe nem kerül egy másik fog oldalával. Tehát az első keréknek lesz egy bizonyos szögelfordulása, mielőtt a nyomaték a fogakon keresztül hatna a második fogaskerékre. Így ennek a hajtott fogaskeréknek a forgása (θ_2) egy bizonyos időre megszakad. Ez a jelenség megismétlődik a hajtónyomaték újbóli előjelváltása esetén. A hajtó és a meghajtott mozgás közötti nemlineáris összefüggést szemlélteti a **3.8. ábra**.



3.8. ábra

A fogaskerék kapcsolat szögelfordulásainak összefüggése

A fogaskerék-kapcsolások esetén általában felismerhető ez a jelenség, mely függ a továbbított nyomaték mértékétől, illetve más tényezőktől. Egyes esetekben (szerszámgépek, robotok) nagy nyomatékok kifejtésére képes hajtásokra van szükség, és olyan különleges fogaskerék áttételekre, melyek biztosítani tudják ezek továbbítását megfelelő körülmények között, beleértve a holtjáték kiküszöbölését is.

Más nemlineáris rendszerek

További példaként bemutatható a orsócsavar és az csavaranya együttes működése. A nem golyós orsó és ennek kis léptéke esetén, a rendszer hatásfoka megle-

hetősen alacsony, és észrevehető, hogy teljesítményt csak az egyik irányban lehet átadni. Ha a csavart forgatjuk, akkor az anya (melynek elfordulása gátolt) elmozdul tengelye mentén, viszont ha a tengellyel párhuzamos erővel hatunk az anyára, a fenti feltételek mellett a csavar nem fog forogni. Az említett erő az anyát rányomja a csavar menetére, így hozzásegít a csavar és az anya menetei között fellépő súrlódási erő növekedéséhez. Ha az erő kisebb, mint a statikus súrlódási határérték, akkor az említett erő hatására az anyacsavar az orsót nem tudja megforgatni.

Villamos rendszer esetén megtörténhet, hogy bizonyos bemenő jelszint alatt a rendszer elfogadható megközelítéssel lineárisan viselkedik, viszont a küszöbérték fölött jelentősen nemlineáris karakterisztikája van. Példaként említhetők a tranzisztoros kisjelerősítők vagy a fáziseltolódást érzékelő elektromos áramkörök.

Ugyanígy egy vezérlés sem szükségszerűen lineáris. Létezik olyan vezérlés is, mely csak bizonyos határok között tartja meg linearitását, és ezeken kívül telítés figyelhető meg. Ismerve egy rendszer nemlinearitását, a fennebb említett vezérléstípus kidolgozása célszerű is lehet. Ilyen a relék felhasználásával megvalósított vezérlés is, mely esetén a lineáris vezérlőjel két vagy több szinten valósítható meg, két vagy több különböző lineáris modell kiválasztására ad lehetőséget, egy nemlineáris rendszer vezérlése céljából. Erre példa a fennebb említett nemlineáris súrlódás is.

3.3. Az átviteli függvény modell

Egy rendszer leírása differenciálegyenletek segítségével lényeges, de meglehetősen körülményes módszer. Magasabbrendű differenciálegyenletek számítógépes megoldására léteznek hatékony eljárások (numerikus módszerek), de a lineáris szabályozásmélet jelentős részben olyan analízismódszerekre támaszkodik, melyek esetén nem szükséges a differenciálegyenlet-rendszerek tényleges megoldása. Ezek közül a legalapvetőbb és legfontosabb az átviteli függvény megértése és alkalmazása. Ennek használata szintén korlátozott a lineáris tulajdonságú vagy bizonyos határok közötti lineáris rendszerek jellemzésére, viszont e módszer ismerete és alkalmazása, széles körben lehetőséget nyújt az ok-okozat megértésére. Az átviteli függvényeket, az előző fejezetben megismert differenciálegyenletekből kaphatjuk, használva a Laplace-, illetve Fourier transzformációkat.

A Laplace-transzformáció esetében az alapcél a differenciál szorzattá, míg az integrálás osztássá alakítása. Ez nem más, mint egy matematikai „csel”, mivel így egy olyan egyenlethez jutunk, mellyel könnyebben megérthető a rendszer vezér- és kimenőjelének összefüggése. Ezért nem ajánlatos az átviteli függvénynek fizikai jelentőségét keresni, csupán, mint matematikai, bizonyos fokig elvont modell, a bemenő és kimenő jelek viszonyát jellemzi a vizsgált rendszerre nézve. Ennek értelmében az

átviteli függvény ugyanúgy tükrözhet egy valós (fizikai) rendszert, mint egy kísérleti adatsort.

Feltételezzük, hogy a matematikai modellt, egy olyan rendszerre kell alkalmazni, mely bemenő jele a $t \geq 0$ időpillanatra van értelmezve, és a kezdeti feltételek a $t=0$ pillanatban érvényesek. Ebben az esetben a direkt Laplace transzformáció a következőképpen értelmezhető:

$$F(s) = \mathcal{L} f(t) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt. \quad (3.10)$$

Az egyenletben az $f(t)$ a transzformálandó függvény, az $F(s)$ az ennek megfelelő transzformált függvény és az $\mathcal{L}$ a Laplace operátor. A transzformációs változó komplex szám, mely felírható $s = \sigma + j\omega$ formában is. Így megvan az a lehetőség, hogy az s értékeit a komplex síkban ábrázoljuk, melyet ezek után *s-síknak* is nevezhetünk.

A Laplace transzformáció csak akkor létezik, ha az $f(t)$ integrálja folytonos, de már számos függvénynek meghatározták a transzformáltját, beleértve a t^n és e^t függvényeket is.

A bemutatott transzformálásnak létezik a fordítottja is, mely segítségével átalakítható a vizsgált rendszer átviteli függvénye az időtartományba:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma - j\infty}^{\sigma + j\infty} F(s) e^{st} ds. \quad (3.11)$$

Az átviteli függvény meghatározásának első lépéseként írjuk fel a rendszert leíró differenciálegyenlet (3.1) mindkét oldalának Laplace-transzformáltját:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) X_k(s) = (b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0) X_b(s) \quad (3.12)$$

Kifejezve az $X_k(s)/X_b(s)$ hányadost, megkapjuk a rendszer átviteli függvényét:

$$G(s) = \frac{X_k(s)}{X_b(s)} = \frac{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (3.13)$$

Összefoglalva az átviteli függvény tulajdonságait, kijelenthető:

- az átviteli függvényt csak lineáris, illetve szigorúan véve csak időben állandó lineáris rendszerre határozzuk meg;
- egy rendszer bemenő- és kimenőjele között az átviteli függvényt, a kimenőjel és a bemenőjel Laplace-transzformáltjának hányadosa határozza meg;
- a rendszerben minden kezdeti feltétel zérus;
- az átviteli függvény nem függ a bemenet gerjesztésétől.

3.2 Példa Felírva a 3.1. ábrán látható soros RLC áramkör hurokegyenletét ((3.2) egyenlet), és feltételezve, hogy a kezdeti feszültség zéró ($v_C(0)=0$), az említett egyenlet mindkét oldalát Laplace-transzformálva a következő összefüggést kapjuk:

$$U(s) = \left(R + Ls + \frac{1}{Cs} \right) I(s). \quad (3.14)$$

Ha az áramot tekintjük kimenőjelnek, akkor az áramkör $u(t)$ és $i(t)$ között az átviteli függvény:

$$\frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1}{R + Ls + (1/Cs)} = \frac{Cs}{LCs^2 + RCs + 1}. \quad (3.15)$$

Ha viszont kimeneti mennyiségnek a kondenzátor pólusain levő potenciálkülönbséget tekintjük, és ismerve a (3.16) összefüggést:

$$U_C(s) = \frac{1}{Cs} I(s) \quad (3.16)$$

a rendszer átviteli függvénye a következő lesz:

$$\frac{U_C(s)}{U(s)} = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1}. \quad (3.17)$$

Az átviteli függvény meghatározása alkalmazható olyan rendszerek esetén is, melyeknek több be- és több kimenete van. Az ilyen rendszert *többszáltozós rendszer*-nek is nevezzük.

A (3.1) egyenlet segítségével a fenti esetben is felírhatók a változók közötti összefüggések. Egy bemenő- és kimenőjel kapcsolatát vizsgálva, a fennmaradó bemenőjelek zérusnak tekinthetők, mivel a lineáris rendszerek esetén alkalmazható a szuperpozíció elve. Az említett módon kiszámított egyenkénti bemenőjelek hatásait összegezve, meghatározható a bemenőjelek összhatása.

3.3 Példa A többszáltozós rendszer szemléltetésére egy turbóhajtómű szabályozását mutatjuk be: az üzemanyag adagolási sebessége és a lapátok hajlásszöge a bemenőjeleket, míg a hajtómű fordulatszáma és a turbinát elhagyó gáz hőmérséklete a kimenőjeleket képviseli. Mivel a kimenőjelekre mindkét bemenőjel egy időben hat, a rendszert állandósult állapotában (munkapontjában) vizsgálva, a következő átviteli összefüggéseket lehet felírni:

$$X_{k1}(s) = Y_{11}(s) \cdot X_{b1}(s) + Y_{12}(s) \cdot X_{b2}(s) \quad \text{és} \quad (3.18a)$$

$$X_{k2}(s) = Y_{21}(s) \cdot X_{b1}(s) + Y_{22}(s) \cdot X_{b2}(s), \quad (3.18b)$$

ahol az $X_{k1}(s)$ és az $X_{k2}(s)$ a rendszer kimenőjelei, melyek egyenként a fordulatszám és a turbina beömlési hőmérsékletének transzformáltjának felelnek meg. Az

egyenletek jobb oldalán szereplő $X_{b1}(s)$, az üzemanyag beömlési sebességének transzformáltja, míg az $X_{b2}(s)$, a lapátok hajlásszögének transzformáltját jelöli. Mivel lineáris rendszerről van szó, kijelenthető, hogy az $Y_{11}(s)$ adja meg az üzemanyag beömlési sebesség és a fordulatszám közötti átviteli függvényt, ha a lapátok hajlásszögét az alapértéken tartjuk: $X_{b2}(s)=0$. Hasonlóképpen megállapíthatók a többi átviteli függvények is.

Általánosítva, ha egy rendszernek p bemenőjele és q kimenőjele van, akkor az i . kimenőjel és a j . bemenőjel közötti átviteli függvényt az

$$Y_{ij}(s) = \frac{X_{ki}(s)}{X_{bj}(s)} \quad (3.19)$$

egyenlet határozza meg. Az fentiekben említett megfontolás alapján feltételezhető, hogy $X_{bk}(s)=0$, ha $k=1,2,\dots,p$, de $k \neq j$.

Összesítve a bemenőjelek hatását az i . kimenőjelre a következő egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} X_{ki}(s) &= Y_{i1}(s) \cdot X_{b1}(s) + Y_{i2}(s) \cdot X_{b2}(s) + \dots + Y_{ip}(s) \cdot X_{bp}(s) = \\ &= \sum_{j=1}^p Y_{ij}(s) \cdot X_{bj}(s). \end{aligned} \quad (3.20)$$

Mivel q számú kimenőjele van a rendszernek, q számú – a (3.20) egyenlethez hasonló egyenletet – lehet felírni. Az így keletkezett egyenletrendszer kényelmesebb mátrix alakban kifejezni:

$$\underline{\underline{X}}_k(s) = \underline{\underline{Y}}(s) \cdot \underline{\underline{X}}_b(s), \quad (3.21)$$

ahol,

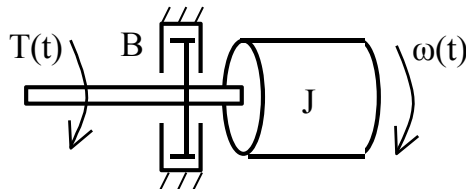
$$\underline{\underline{X}}_k(s)_{q \times 1} = \begin{bmatrix} X_{k1}(s) \\ X_{k2}(s) \\ \vdots \\ X_{kq}(s) \end{bmatrix} \quad \text{- a transzformált kimenőjel-vektor,} \quad (3.22)$$

$$\underline{\underline{X}}_b(s)_{p \times 1} = \begin{bmatrix} X_{b1}(s) \\ X_{b2}(s) \\ \vdots \\ X_{bp}(s) \end{bmatrix} \quad \text{- a transzformált bemenőjel-vektor,} \quad (3.23)$$

$$\underline{\underline{Y}}(s) = \begin{bmatrix} Y_{11}(s) & Y_{12}(s) & \dots & Y_{1p}(s) \\ Y_{21}(s) & Y_{22}(s) & \dots & Y_{2p}(s) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{q1}(s) & Y_{q2}(s) & \dots & Y_{qp}(s) \end{bmatrix} \text{ - az átviteli mátrix.} \quad (3.24)$$

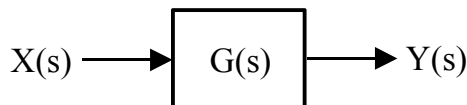
3.3.1. Tömbvázlatok

A tömbvázlatot az egyszerűsége és sokoldalúsága miatt gyakran alkalmazzák a rendszerek ábrázolására. A tömbvázlat felhasználható egy rendszer felépítésének és kölcsönös összefüggéseinek ábrázolására, valamint az átviteli függvénnyel együtt az ok-okozat kapcsolatok leírására. Ha a rendszerelemekre vonatkozóan ismertek a matematikai és a funkcionális összefüggések, akkor a tömbvázlatot kiindulási alapként használhatjuk fel a rendszer analitikus vagy matematikai megoldásban. Ha minden rendszerelem lineáris, akkor az egész rendszer eredő átviteli függvénye kifejezhető a tömbvázlatok átalakításával, az ún. tömbvázlat-algebra felhasználásával. Megjegyzendő, hogy a tömbvázlatok alkalmazása ugyanúgy hasznos nemlineáris komponensek esetén is, de ez most nem képezi jelen fejezet tanulmányának tárgyát.



3.9. ábra

Mechanikai rendszer vázlata



3.10. ábra

A rendszer lineáris modellje

A tömbvázlat megértésének megkönnyítése végett figyeljük meg a **3.9. ábrán** feltüntetett mechanikai rendszert, melyben egy J másodrendű nyomatékkal rendelkező test forgatását egy lengéscsillapító (B) fékezi. Az egyszerű rendszernek legyen a tengely $\omega(t)$ szögsebessége a kimenőjel, míg a gerjesztés a tengelyre alkalmazott $T(t)$ forgatónyomaték lesz. A tömbvázlat segítségével a rendszer a **3.10. ábrának**

megfelelően, egy négyszöggel jelölhető, a bemenő- és kimenőjeleket pedig az irányuknak megfelelő nyíl képviseli. A négyszögben feltüntethető a rendszer átviteli függvénye, a rendszert jellemző differenciálegyenlet vagy ez utóbbi felírható vektor-egyenletként is. Egy másik jelölési mód a grafikus, melyben a négyszögben egy rajz szerepel, és jellemzi a rendszer működését. Visszatérve a fenti példához, a rendszer differenciálegyenlet-modellje a következő:

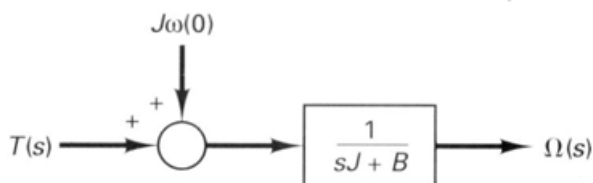
$$T(t) = J \frac{d}{dt} \omega(t) + B \omega(t). \quad (3.25)$$

Laplace-transzformálva az egyenlet mindkét oldalát, a következő egyenlet alakul ki:

$$T(s) = sJ\Omega(s) - J\omega(0) + B\Omega(s). \quad (3.26)$$

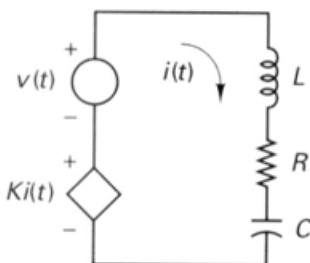
Nyilvánvaló, hogy az átviteli függvény meghatározása nem lehetséges csak, ha a rendszer kezdeti szögsebessége zérus ($\omega(0)=0$). Így a rendszer a következő átviteli függvénnyel jellemezhető:

$$\frac{\Omega(s)}{T(s)} = \frac{1}{sJ + B} = \frac{1/J}{s + B/J}. \quad (3.27)$$



3.11. ábra

Kezdeti szögsebességgel rendelkező rendszer modellje



3.12. ábra

Elektromos áramkör

Az előbb említett feltétel, hogy a kezdeti szögsebesség zérus, általában egy nem kívánt jelenség. Ezért ezt egy további gerjesztésnek tekinthetjük, amint a **3.11. ábra** mutatja, és a (3.26) átrendezésével egy új egyenletet kapunk:

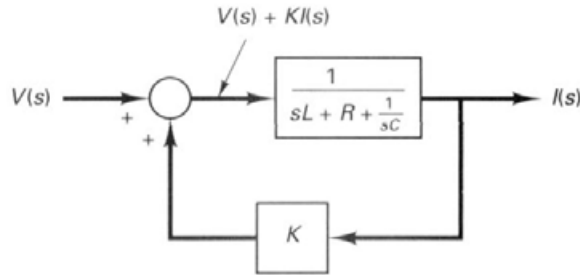
$$\Omega(s) = \frac{T(s)}{sJ + B} + \frac{J\omega(0)}{sJ + B}. \quad (3.28)$$

További példának tekinthető a **3.12. ábrán** látható áramkör. Alkalmazva a hurok-törvényt, majd az eredményt Laplace-transzformálva, a következő egyenletek írhatók fel:

$$v(t) + Ki(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt + v_k(0), \quad (3.29)$$

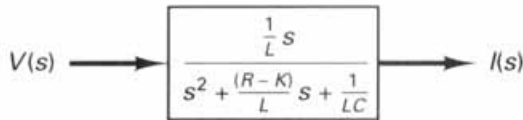
$$V(s) + KI(s) = sLI(s) - Li(0) + RI(s) + \frac{1}{sC} I(s) + \frac{v_k(0)}{s}. \quad (3.30)$$

Ugyanez tömbvázlat formájában a **3.13. ábrán** látható módon fogalmazható meg.



3.13. ábra

Villamos áramkör tömbvázlata



3.14 ábra

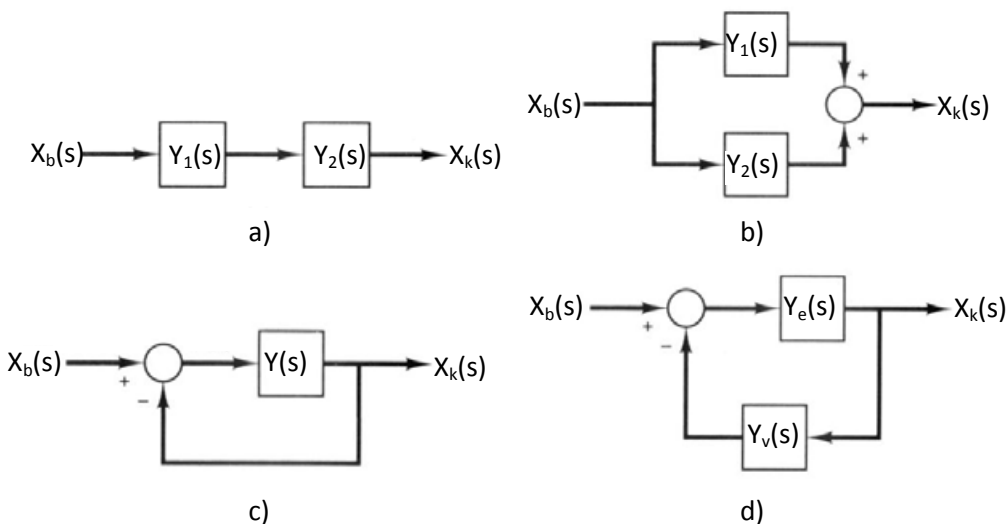
Összevont tömbvázlat

Nagy kiterjedésű tömbvázlatok esetén a jobb áttekinthetőség miatt szükséges lehet a tömbvázlatot egyszerűsíteni. Így például a fent említett visszacsatolásos rendszert egy egyszerű, kompakt rendszerré is átalakíthatjuk (**3.14. ábra**), viszont ekkor megfelelőképpen alakul a tömb(ök) átviteli függvénye is:

$$\frac{I(s)}{V(s)} = \frac{\frac{1}{L}s}{s^2 + \frac{R-K}{L}s + \frac{1}{LC}}. \quad (3.31)$$

Ezekből a példákban levonhatjuk a tömbvázlat-algebrára vonatkozó következtetéseket. Két, sorosan kapcsolt tömb eredő átviteli függvénye megegyezik a tömbök átviteli függvényeinek szorzatával. A **3.15.a ábra** szerint:

$$\left. \begin{aligned} X_{12}(s) &= Y_1(s) \cdot X_b(s) \\ X_k(s) &= Y_2(s) \cdot X_{12}(s) \end{aligned} \right\} \Rightarrow X_k(s) = Y_1(s) \cdot Y_2(s) \cdot X_b(s). \quad (3.32)$$



3.15. ábra

A tömbvázlat kapcsolási eljárásai

Két, párhuzamosan kapcsolt tömb eredő átviteli függvénye megegyezik a tömbök átviteli függvényeinek összegével. A **3.15.b ábra** szerint:

$$\left. \begin{aligned} X_{1k}(s) &= Y_1(s) \cdot X_b(s) \\ X_{2k}(s) &= Y_2(s) \cdot X_b(s) \end{aligned} \right\} \Rightarrow X_k(s) = X_{1k}(s) + X_{2k}(s) = \\ = Y_1(s) \cdot X_b(s) + Y_2(s) \cdot X_b(s) = (Y_1(s) + Y_2(s)) \cdot X_b(s) \quad (3.33)$$

Negatív, egységnyi visszacsatolás esetén az átviteli függvény a **3.15.c ábra** szerinti jelölésekkel a következő egyenlettel határozható meg:

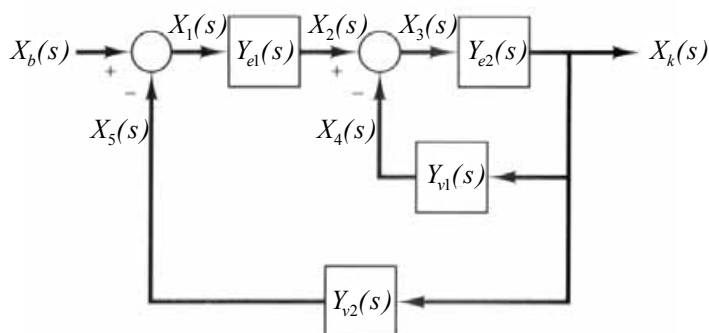
$$\left. \begin{array}{l} X_1(s) = X_b(s) - X_k(s) \\ X_k(s) = Y(s) \cdot X_1(s) \end{array} \right\} \Rightarrow X_k(s) = \frac{Y(s)}{1 + Y(s)} \cdot X_b(s). \quad (3.34)$$

Negatív $Y_v(s)$ visszacsatolás esetén az átviteli függvény a **3.15.d ábra** szerinti jelölésekkel írható le:

$$\left. \begin{array}{l} X_2(s) = Y_v(s) \cdot X_k(s) \\ X_1(s) = X_b(s) - X_2(s) \\ X_k(s) = Y_e(s) \cdot X_1(s) \end{array} \right\} \Rightarrow X_k(s) = \frac{Y_e(s)}{1 + Y_e(s)Y_v(s)} \cdot X_b(s). \quad (3.35)$$

A fenti levezetésekéből következtetve, az egymásba ágyazott visszacsatolás esetén (**3.16. ábra**) a következő egyenleteket tudjuk meghatározni, majd elvégezve a megfelelő helyettesítéseket megkapjuk a rendszer átviteli függvényét:

$$\left. \begin{array}{l} X_1(s) = X_b(s) - X_5(s) \\ X_2(s) = Y_{e1}(s) \cdot X_1(s) \\ X_3(s) = X_2(s) - X_4(s) \\ X_k(s) = Y_{e2}(s) \cdot X_3(s) \\ X_4(s) = Y_{v1}(s) \cdot X_k(s) \\ X_5(s) = Y_{v2}(s) \cdot X_k(s) \end{array} \right\} \Rightarrow X_k(s) = \frac{Y_{e1}(s)Y_{e2}(s)}{1 + Y_{e2}(s) \cdot (Y_{e1}(s)Y_{v2}(s) - Y_{v1}(s))} \cdot X_b(s) \quad (3.36)$$



3.16. ábra

Egymásba ágyazott tömbök

A bemutatott néhány példának ismételt alkalmazásával elérhető, hogy egy összetett, nehézkes tömbvázlat esetén átlátható modell jöjjön létre egyes tömbök összevonásával, egyszerűsítésével.

3.3.2. Az állapotmodellek

Az állapotmodell egy olyan differenciálmodell, mely lehetővé teszi az analízis általánosítását, mivel a lineáris modellek esetén, egy olyan mátrixegyenletet állít fel, mely formája nem függ a rendszereket leíró differenciálegyenletek rendjétől. Egy másik előnye ennek a modellnek, hogy viszonylag könnyen át lehet térni egy diszkrét időmodellre, melynek nagy szerepe van a digitális szimulálás esetén. Ezek mellett a módszert könnyűszerrel fel lehet vázolni több be- és kimenőjel esetén is, illetve a rendszer kezdeti állapotát is bele lehet foglalni.

E fejezet elején látható volt, hogy a rendszerek viselkedését egy vagy több differenciálegyenlet segítségével írhatjuk le. Az állapotmodellek alkalmazásához a matematikai modellt, mely állhat egy egyváltozós n -ed fokú differenciálegyenletből, egy n egyenletből álló egyenletrendszerre kell alakítani, melynek minden egyenlete első-fokú, így n változót tartalmaz.

Az állapotmodellben felhasznált változókat *állapotváltozóknak* nevezzük, melyek egymástól független változók. Általában nem egy megoldás létezik a változók kiválasztásakor, ezért ezek valamilyen kritérium szerint kerülnek megválasztásra. Egy szempont, az olyan változók kiemelése, melyek az energiatárolás kifejezői. Ilyen például a tömeg sebessége, rugó összenyomásának mértéke, a tekercsben folyó áram, a kondenzátor potenciálkülönbsége, stb. Az így kiemelt változók a modell *állapotát* mutatják egy bizonyos időpillanatban, míg ezek kezdeti állapotai a rendszer *kezdeti állapotát* jellemzik.

2.4 Példa A modellben szereplő mátrixegyenlet egy egyszerű példa segítségével legyen bevezetve. Tekintsük a **3.1. ábrán** látható RLC áramkört. A fenti kritérium alapján, válasszuk ki mint energiatárolást tükröző rendszerváltozókat az áramkörben folyó áramot $i(t)$ és a kondenzátor fegyverei közötti feszültséget $v_k(t)$, míg az áramforrás által szolgáltatott feszültség lesz a rendszer bemenő paramétere $v(t)$.

Felhasználva Kirchhoff második törvényét felírható az ábrán látható áramkörre:

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{d}{dt} i(t) + v_k(t). \quad (3.37)$$

Mivel két változó és egy egyenlet van, szükség van még egy elsőfokú differenciálegyenletre. Észrevehető, hogy a (3.37) egyenlet nem tükrözi az áramerősség és feszültség összefüggését a kondenzátor esetén. Ezért ez felhasználható a következő formában:

$$i(t) = C \frac{d}{dt} v_k(t). \quad (3.38)$$

A további alkalmazáshoz a fenti két egyenlet átrendeződik úgy, hogy az egyenletek bal oldalán csak az állapotváltozók idő szerinti deriváltja legyen jelen:

$$\frac{d}{dt}i(t) = -\frac{R}{L}i(t) - \frac{1}{L}v_k(t) + \frac{1}{L}v(t), \quad (3.39)$$

$$\frac{d}{dt}v_k(t) = \frac{1}{C}i(t). \quad (3.40)$$

Így elhelyezve, észrevehető az a mátrixösszefüggés, mellyel helyettesíteni lehet a (3.39) és (3.40) egyenleteket (az egyszerűség kedvéért az idő-paraméter nem jelenik meg):

$$\begin{bmatrix} \dot{i} \\ \dot{v}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i \\ v_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot v. \quad (3.41)$$

Ebből az esetből általánosítható a megoldás egy n -ed fokú rendszere is. Feltételezve, hogy $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$ az állapotváltozók, míg $u_1(t)$, $u_2(t)$, ..., $u_m(t)$ a rendszer bemenő paraméterei, egy n elsőfokú differenciálegyenletből álló rendszer képezhető:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 + \dots + b_{1m}u_m; \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 + \dots + b_{2m}u_m; \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + b_{n2}u_2 + \dots + b_{nm}u_m. \end{aligned} \quad (3.42)$$

Átrendezve az előbbi egyenletrendszert mátrix egyenletté:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix}. \quad (3.43)$$

Ez utóbbi egyszerűbben is felírható:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}. \quad (3.44)$$

A (3.44) egyenlet a vizsgált rendszer mátrix-vektor állapotegyenlete, melyben a vektorokat kis, félkövér betűkkel, a mátrixokat nagy, félkövér betűkkel jelöltük, továbbá az $\dot{\mathbf{x}}$, $\mathbf{x}$ és $\mathbf{u}$ vektorok az idő függvényében vannak kifejezve. A módszer áttekinthetősége miatt, lehetőségünk van a számításokat leellenőrizni a mátrixalgebra segítségével. Tudva, hogy az egyenlet jobb és baloldalán a vektorok mérete meg kell egyezzen, vigyázni kell, hogy az $\mathbf{A}$ mátrix $n \times n$, a $\mathbf{B}$ $n \times m$, illetve az $\mathbf{x}$ vektor $n \times 1$ és az $\mathbf{u}$ vektor $m \times 1$ méretű legyen. Visszatérve az RLC áramkör példájához,

észrevehető, hogy a két $v_T(t)$ és $v_E(t)$ változó nincs jelen a (3.44) egyenletben. Viszont e két változót fel lehet írni az állapotváltozók lineáris kombinációjaként. Az analízis szempontjából kiemelt jelentőségűek a rendszer kimenőjelei (legyen az y vektor), ezért ezeket egy, az állapotváltozóktól és a bemenőjelektől függő egyenletbe lehet foglalni. Ezzel az egyenlettel kiegészül az állapotmodell:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A \cdot x + B \cdot u, \\ y &= C \cdot x + D \cdot u.\end{aligned}\tag{3.45}$$

Tekintve a fennebb említett két feszültséget, a (3.45) második egyenlete a következőképpen alakul:

$$\begin{bmatrix} v_T \\ v_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & -1 \\ R & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ v_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot v.\tag{3.46}$$

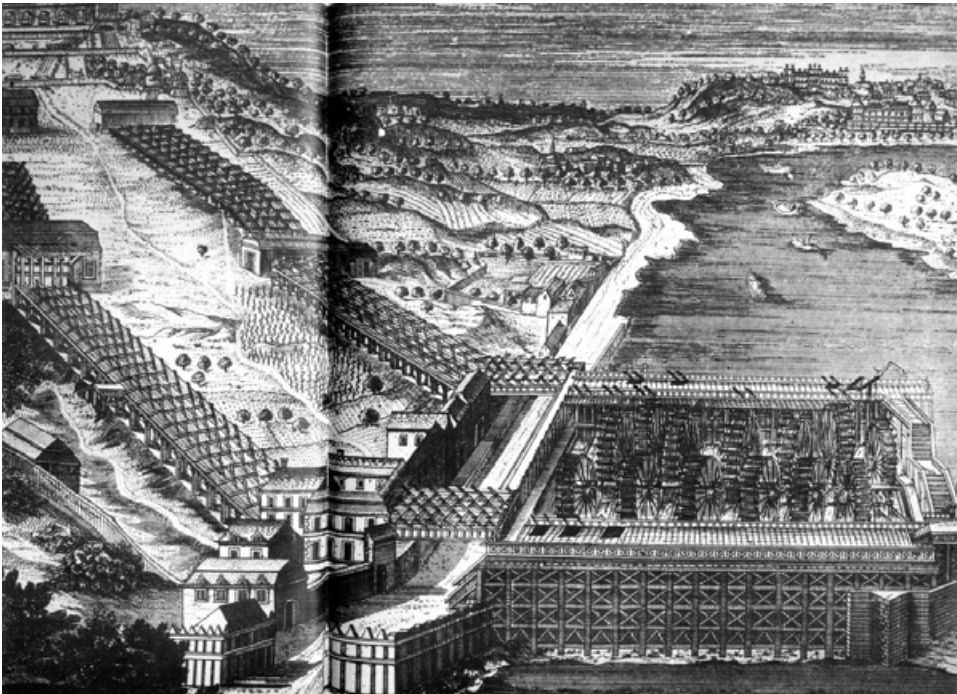
A (3.45) egyenlet megoldása analitikus úton első lépésként a Laplace-transzformációt használja, majd az eredményt az időtartományba a fordított transzformációval kapjuk meg. Ezt a megoldást a felhasználóbarát numerikus szimulációs környezetek napjainkban a háttérbe szorították. A válaszjelek meghatározásához elegendő a rendszert jellemző A , B , C és D mátrixokat kiszámítani, majd ezeket a megfelelő környezetben (pl. Simulink) alkalmazni.

4. A mechatronikai rendszer felépítése

4.1. Visszatekintés

Az első eredménye az ember eltávolodásának az állati világtól a szerszámok használata volt. A szerszámok segítségével elkezdte alakítani környezetét, így nyugodtabb és kényelmesebb életet tett lehetővé magának. Mivel az ember fejlődésének mozgatórugója a szerszámok továbbfejlesztése volt, ez a folyamat még napjainkban is tart.

Elsők között az ókori görögök voltak azok, akik sikeresen alkalmazták a geometriai és elemi fizikai ismereteiket szerkezetek megalkotására. A hódító hadjáratok alatt sokat fejlődött e terület, mivel gyorsan felismerték az akkori vezérek a gépezetek előnyeit.



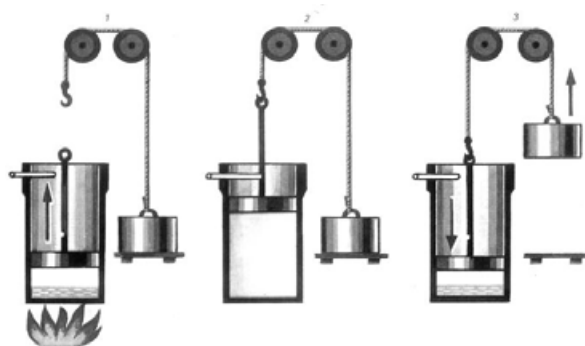
4.1. ábra

XIV. Lajos király parancsára épült önműködő berendezés

A mechatronikai rendszer felépítése

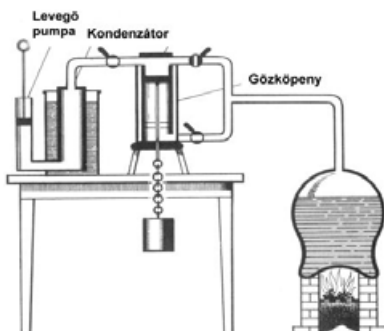
A következő nagy fejlődési időszak a reneszánsz kora volt, amikor Leonardo da Vinci (1452–1519) a jövőbe látva sok szerkezetet álmódott és valósított meg. Ezekben az időkben az ember a saját erejét vagy az állatok erejét használta a mechanizmusok meghajtására, viszont később már sikeresen felismerte és használta a természet erőit is. Erre egy nagyszerű példa az 1681 és 1685 között XIV. Lajos francia király megrendelésére épült berendezés. Felépítvén a versailles-i palotát, elrendelte, hogy ennek kertjében számos szökőkút legyen. A feladatot egy Rennequien Sualem nevű fiatalember kapta, akinek a néhány mérföldnyire levő Szajnából kellett a vizet a palota kertjébe vezetnie. E cél érdekében a folyóba 14 darab, egyenként 12 méter átmérőjű vízlapátos kereket állíttatott, melyen edények voltak elhelyezve, így ki tudta merni a vizet, amit egy szivattyúrendszerrel 160 méter magasra emelt. Így, egy felfüggesztett vízcsatornán el tudta szállítani a vizet a kijelölt helyre. Habár a berendezés óránként 200 köbméter vizet tudott szolgáltatni, 850 tonna réz és ugyanannyi ólomot, illetve 17000 tonna vasat és tömérdek fát épített be az 1800 munkás a megvalósítás alatt, a teljesítménye nem volt nagyobb egy mai, átlagos személygépkocsi 90 kW-os motorjánál. Ennek ellenére az akkori technika vívmányának tekinthető, mivel ezek után 132 évet működött hibátlanul.

A természet megismerése és megértése, a fizikai és a kémiai folyamatok ember általi megismétlését tették lehetővé, ami nagy lépésnek számít az emberiség történetében. Ennek megfelelően a gőz erejét Denis Papin (1647–1712) francia származású, magdeburgi egyetemi tanár kezdte tanulmányozni. Észrevette, hogy ha egy hengerben felmelegítik a vizet, ez gőzzé alakul, és ekkor a dugattyú kimozdul a hengerből. Ezután vízzel, kívülről lehűtve a hengert a vízgőz kicsapódik, vákuumot hagyva maga helyett. A nyomáskülönbség miatt a dugattyú visszafele mozdul el, olyan erővel, hogy akár egy nagyobb tömeget is fel képes emelni. Így született meg az első „gőzgép”, amely az atmoszférikus nyomást hasznosította.



4.2. ábra

Denis Papin kísérletének vázlata



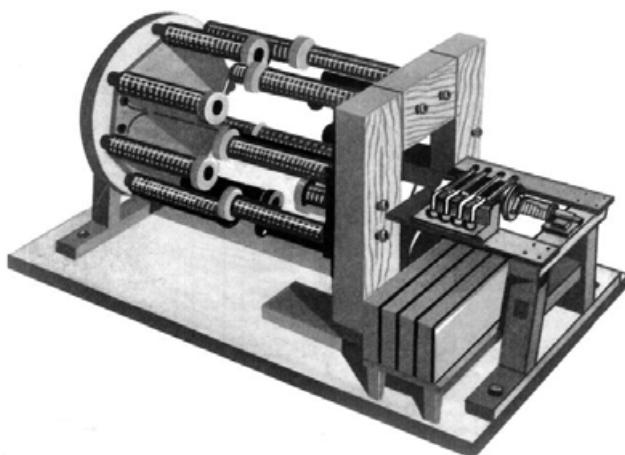
4.3. ábra

James Watt első gőzgépe

Szinte egy század telt el, míg a skót születésű James Watt (1736–1819) ipari célokra használhatóvá tette a gőzgépet, bevezetve a korszakalkotó nyomásszabályzót. Viszont a biztonság kedvéért a gép csak 1.5 atm. nyomással dolgozott (hatásfoka 4% volt, a négyszerese Denis Papin gépének), de így is hozzásegítette Angliát a robbanásszerű fejlődéshez. 1800-ban a J. Watt gépének szabadalmi joga megszűnt, és így az egész világ szakemberei nekiláttak tökéletesíteni Watt expanziós gépét. Acélok előállításának új technológiáival próbálkoztak, így kisebbek és nyomásbíróak voltak az új gépek, melyek már a 12%-os hatásfokot is elérték. Persze az ember ennél is többet akart, ezért a gőzgépek korszaka a századvégére hanyatlott, és helyét a belső égésű motor vette át.

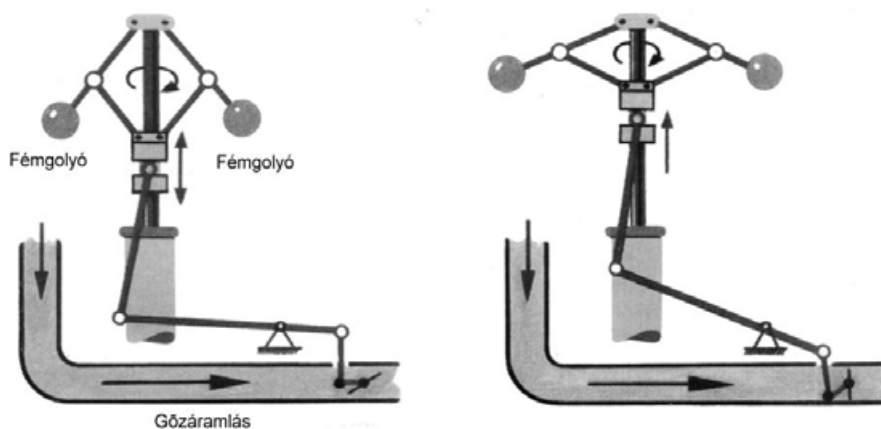
A 19. század másik nagy felfedezése az elektromágnesesség és a mágneses indukció. Az első felfedezése a dán Hans Christian Oersted (1777–1851) nevéhez fűződik, aki észrevette, hogy egy áram által átjárt vezető közelébe helyezett mágneses tű kimozdul. Erre épített Michael Faraday (1791–1867), amikor kísérletei során rájött az említett jelenség fordítottjára, hogy egy tekercsben mozgatott állandó mágnes áramot indukál. Nem tartott soká, amíg 1834-ben Moritz Hermann von Jacobis megkísérelte az első egyenáramú elektromotor megépítését, majd 1838-ban sikeresen meghajtott vele egy csónakot.

Miután az ember sikeresen helyettesítette a saját erejét vagy az állatai erejét a gépekével, rájött, hogy a nagyobb haszon érdekében ezeket a nyers erőket irányítani kell. Így történt meg, hogy James Watt beiktatta a „repülő-golyó” mechanikai szabályzót, mellyel egyenletes nyomásszintet tudott biztosítani a gőzgépben. Mint bármilyen új találmány alkalmazásakor, újabb kérdések vetődtek fel. Ebben az esetben rájöttek, hogy bizonyos körülmények között a golyók önfenntartó oszcillálásba kezdenek. A 19. század végének kellett eljőnnie, míg Maxwell és mások, differenciálegyenletekkel le tudták írni a jelenséget.



4.4. ábra

Az első egyenáramú elektromotor 1834-ben



4.5. ábra

James Watt még máig is használatos mechanikai önszabályzója

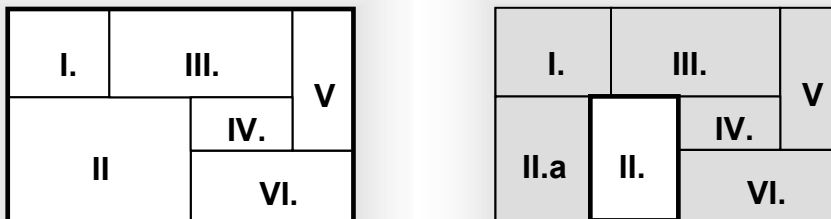
A második világháború korszaka szintén újabb fejleményekkel szolgált az irányítástechnológia terén. Ekkor tevékenykedett Bode, Nyquist, Nichols, Evans és mások, akik az egy bemenő- és egy kimenőjellel rendelkező visszacsatolós rendszerek terén értek el kiemelkedő eredményeket. Ezeket a feladatokat tekintjük manapság a klasszikus vezérlésemélet részeinek. Ezt követően, a 60-as években letévődtek a modern vezérlési technikák alapjai (Wiener, Kalman és mások), melyek már lehetővé tették a többváltozós rendszerek egységes tárgyalását. Ezeket a

rendszereket a klasszikus megközelítéssel már nem lehetett tovább fejleszteni. A 80-as évekre ezek a tárgyalási módszerek már nagyon bonyolult és fejlett eljárásokká váltak, és megjelentek más, ezekkel rokon kutatási területek is (pl. a modellhibák hatása a visszacsatolós rendszer teljesítményére).

A fentiekkel párhuzamosan fejlődött a nemlineáris rendszerek vizsgálata is, mivel rájöttek, hogy számos valós esetben a vezérlési feladatok nemlineáris elemeket tartalmaznak. Ugyanígy, a szükséglet hozta az adaptív irányítás, önhangolós, intelligens vezérlés, stb. megjelenését is. Napjainkra a vezérlés- és irányítástechnika egy kifejlett és sokoldalú tudománnyá vált, mely lehetővé teszi egy feladat több szemszögből való tárgyalását.

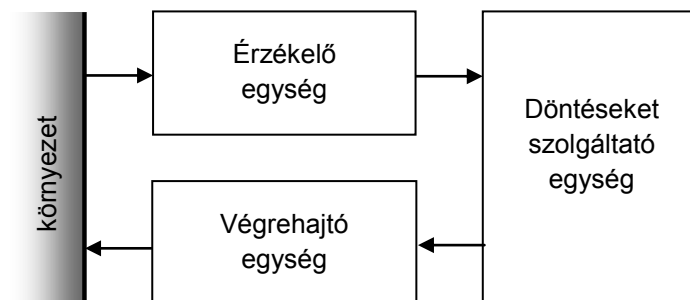
4.2. A mechatronikai rendszer elemei

Visszatérve egy rendszer meghatározására, meg kell említeni, hogy ez nem más, mint egymással jól meghatározott összefüggésben levő alegységek összessége. Tehát az első lépés egy rendszer vizsgálatában az elemekre való bontás. Ezeket az alrendszereket, természetesen, szintén tovább bonthatjuk addig, amíg különböző kritériumoknak eleget téve eléggé feldaraboltuk az eredeti rendszerünket. Az említett szabályok esetenként különbözhetnek az analízis végcéljától függően. A mechatronikai rendszer feladata, hogy a környezete tulajdonságait érzékelje, mérlegelje, majd bizonyos szabályok szerint megváltoztassa ezeket. Ennek megfelelően fontos a környezet-rendszer határ kialakítása. Ezt ismerve, felvázolhatjuk a rendszerünk be- és kimenő mennyiségeit, tehát nagyvonalakban tisztába lehetünk a rendszer tevékenységével. Alkalmazva a fenti leírást az alegységekre, egy úgynevezett rekurzív vizsgálati módszert dolgozhatunk ki, melyet a **4.6. ábra** is tükröz. Ebben az esetben a be- és kimenő mennyiségeket az alrendszerek közötti illetve – egyes esetekben – a környezetből származó mennyiségek jelentik.



4.6. ábra

Egy rendszer elemeire való osztása és a környezet rekurzív kialakítása



4.7. ábra

Mechatronikai rendszer funkcionális felosztása

Ahogy az előbb említettük, funkcionális szempontból egy mechatronikai rendszer három nagy alegységre osztható: a környezetet érzékelő alrendszer, egy döntéseket szolgáltató egység és az úgynevezett végrehajtó rész (4.7. ábra).

Az *érzékelő egység* feladata a környezet fizikai és/vagy kémiai paramétereinek olyan elektromos jellé való alakítása, melyet a rendszer a továbbiakban könnyen felhasználhat, illetve feldolgozhat. Az információkat a rendszer valamilyen fizikai és/vagy kémiai törvények alkalmazásával feszültséggé vagy ritkább esetekben áramerősséggé alakítja, majd az így keletkezett elektromos jeleket szűrők, erősítők segítségével teszi kiértékelhetőkké.

A *döntéseket szolgáltató egység* dolgozza fel az előbbi alrendszer által szolgáltatott jeleket. Az alkalmazástól függően ez lehet egy egyszerű komparátor, mely egy referenciajelhez hasonlítja a mért mennyiséget, vagy lehet egy összetett szerkezetű mikroszámítógép, mely több érzékelőtől gyűjti az információt, és egy bizonyos algoritmus szerint értékeli ki ezeket. A kiértékelés függvényében válaszjeleket generál, melyekkel befolyásolja a rendszer környezetében a mért vagy ehhez kapcsolódó paramétereket.

A *végrehajtó egység* az a része a mechatronikai rendszernek, mely segítségével – az előzőekben említett döntéseknek megfelelően – a rendszer hatni képes a környezetre. Az érzékelőkhöz hasonlóan itt is nagy választékra számíthatunk. Egy általános megfogalmazásra hivatkozva, kijelenthetjük, hogy a döntéseket szolgáltató egységtől kapott „parancs” jeleket, ez az alrendszer felerősíti, majd egy energiaátalakító segítségével, a villamos energiát mechanikai energiává alakítja át. Ez alapul szolgál további berendezések meghajtására, melyekkel befolyásolni vagy módosítani lehet a környezet tulajdonságait.

A 4.7. ábrát alapul véve a mechatronikai rendszert tekinthetjük egy zárt hatásláncú rendszernek. Az ábrán feltüntetett hurok mellett létezhet egy másik, kisebb is a végrehajtó egységben. Ennek főleg akkor van jelentősége, ha egy összetett rendszerről beszélünk, és a rendszer irányítását tehermentesíteni óhajtjuk. Ebben

az esetben az érzékelőkkel a végrehajtó elemek paramétereit figyeljük, és olyan visszacsatolást hozunk létre az egységen belül, mellyel biztosítani tudjuk a döntéshozó rendszer „parancsainak” pontos kivitelezését.

4.2.1. Az érzékelő egység

Az egységben szerepelő érzékelők és jelátalakítók megválasztása nem könnyű feladat, előzetes ismeretekre van szükségünk a környezetben vizsgált vagy irányított jelenségekről. Az érzékelők szerepe a különböző típusú információk gyűjtése, ami lehet elektromos vagy nem elektromos jellegű. Ez első esetben a hasznos információ tárolva lehet a jel amplitúdójában, fázisában, illetve frekvenciájában. A nem elektromos jellegű mennyiségeket (helyzet, távolság, erő, nyomás, hozam, anyag belső feszültsége, hőmérséklet, rezgés, gyorsulás, stb.) az érzékelők, fizikai jelenségek segítségével, átalakítják arányos elektromos jellé, majd a fenti módon történik tovább a feldolgozásuk.

Az érzékelőket többféleképpen osztályozhatjuk. A működési elv szerint megkülönböztethetünk passzív és aktív érzékelőket, míg kimenőjel szerint beszélhetünk analóg vagy digitális érzékelőkről, és ezen kívül egy kritérium lehet a mért mennyiség is. A *passzív érzékelők* esetében szükség van egy külső áramforrásra. Ekkor az érzékelő része egy áramkörnek, és a mért mennyiség hatása alatt arányosan változik az érzékelő valamely jellemzője: az ellenállása, az induktivitása vagy a kapacitása (4.1). Ezt a változást természetesen tükrözi az áramkörben keletkező feszültség és/vagy áramerősség módosulás is.

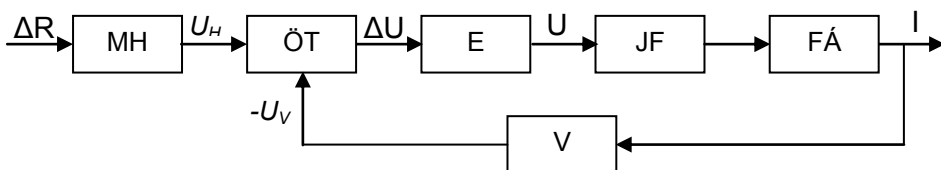
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad L = \frac{N^2}{\sum_{k=1}^n \frac{l_k}{\mu_k S_k}} \quad C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad (4.1)$$

A fentiekből kitűnik, hogy a rezisztív érzékelőket alkalmazni lehet az elmozdulás érzékelésére, a keresztmetszet nyomásra vagy erőre történő változásának az érzékelésére. A hőmérséklet, páratartalom változása is felismerhető a rezisztivitás változásán keresztül. Az induktív érzékelők esetén a permeabilitás változtatásával az elmozdulás, erő vagy nyomás mérhető, ha pedig rugalmas elemekkel együtt használjuk, akkor gyorsulást mutathatunk ki. A kapacitív érzékelőket szintén elmozdulás, nyomás, rezgések átalakítására használhatjuk. A fegyverzetek közötti közeg permeabilitásának változása a folyadékok szintjének, a páratartalom, a távolság változására vezethető vissza.

Az *aktív érzékelők* esetében nem szükséges külső áramforrás beiktatása, mivel az érzékelő az energiát egyenesen a mérendő mennyiségtől veszi át, és alakítja feszültséggé vagy árammá. Az ilyen típusú érzékelő hátránya, hogy energia elvo-

A mechatronikai rendszer felépítése

nás miatt megváltoztathatja a jelenség mérendő jellemzőjét. Ezért az érzékelő nagy impedanciával kell rendelkezzen vagy a zavaró tényező elkerülése végett külső energiaforrást is használnak ennek táplálására. Ezek az érzékelők több fizikai jelenséget használnak feszültséggenerálásra: indukciós jelenség, hőelektromos hatás, piezoelektromos hatás, magnetostrikciós, elektrokémiai jelenségek, fotoelektromos hatás.



4.8. ábra

Passzív érzékelő jelének átalakítása

Az érzékelők közös tulajdonsága, hogy az átalakított energia kis mértékű, ezért a gerjesztett jel egy sorozat műveleten kell átmenjen ahhoz, hogy továbbá felhasználható legyen. Amint már említettük, a passzív érzékelők az R , L és/vagy C jellemzőket alakítják át feszültség- vagy áramerősség változássá egy egyenáramú (e.á.) vagy váltóáramú (v.á.) áramkörben. Ehhez általában egyensúlyi állapoton kívül működő hidakat használnak, melyekben a szolgáltatott feszültségkülönbség (U_H) arányosan változik a mért mennyiséggel. Lehetőség van negyed híd használatára, melybe egy érzékelőt építünk be, vagy fél hidat alkotunk két érzékelővel (ezek ugyanazt a mennyiséget mérik), melyeket differenciális kapcsolással működtetünk. Így összességében tekintve egy érzékenyebb jelátalakítót alkothatunk a negyed hídhoz viszonyítva. Elképzelhető egy teljes híd megvalósítása is, ahol a híd mind a négy karjában érzékelők vannak elhelyezve, párossával, differenciálkapcsolásban. Mivel ezek a berendezések alacsony jelekkel dolgoznak, szükségessé válik egy negatív visszacsatolás, az esetleges zavaró behatások kiküszöbölésére. A 4.8. ábrán látható általános megfogalmazásban az érzékelő által szolgáltatott jel megtett útja. Például egy rezisztív érzékelő ellenállás-változása a mérőhídon (MH) keresztül feszültségváltozást idéz elő, mely felerősítésre kerül (E) az összehasonlítás (ÖT) után, majd lehetőség van különböző műveleteket végezni vele (JF): linearizálás, integrálás, deriválás, stb. Ezt követheti egy feszültség-áramerősség átalakító tömb (FÁ), mely a további jelfeldolgozást segíti. Visszacsatolásként egy áramerősség-feszültség átalakító tömb (V) van kapcsolva, mely ideális esetben a híd által szolgáltatott feszültségváltozást kell tükrözze. Az aktív érzékelők esetén ugyancsak érvényes a 4.8. ábra, azzal az eltéréssel, hogy a híd

helyett maga az érzékelő áll, mivel ez képes feszültséget szolgáltatni. Így egy gyenge jelet kapunk, mely nagyon ki van téve a zavaró tényezőknek.

Az érzékelő egység utolsó „állomása” egy analóg/digitális konverter (A/D) lehet, mely akkor szükséges, ha az egység egy digitális áramkörnek szolgáltatja az adatot. Ennek ellenére léteznek olyan érzékelők, melyek felépítésükből adódóan digitális jelet továbbítanak, mely nem annyira érzékeny a külső behatásokra. Ebben az esetben az érzékelőegység leegyszerűsödik, esetleg egy jelerősítőre van még szükség, ami javítja a jel minőségét. Sok esetben a fennebb említett A/D átalakító már szerves része a döntéseket hozó egységnek, így tehát kijelenthetjük, hogy az érzékelőegységnek analóg és digitális kimenete egyaránt lehet.

4.2.2. A döntéseket hozó egység

A mechatronikai rendszer érzékelői és végrehajtó elemei között determinisztikus kapcsolatot kell létrehozni, ezért vezérlést szükséges beiktatni a két egység közé. A rendszer mivoltából kiindulva, ez a vezérlés lehetővé kell tegye az érzékelők által szolgáltatott információk kiértékelését, majd ennek függvényében, bizonyos tervező által megfogalmazott célokat követve, a végrehajtó elemeket szükséges irányítani. Sokaknak az az érzése, hogy a mechatronikai rendszerek önálló gondolkodásra képesek. Ez a „gondolkodás” nem más, mint a fennebb említett, szabályok által megfogalmazott céloknak a kivitelezése. Így ezt az egységet joggal nevezhetjük döntéshozó egységnek. Nagyon széles skálából választhat a rendszertervező ennek az egységnek a megvalósításakor: lehet egyszerű nyitott hatásláncú vagy bonyolult visszacsatolással rendelkező vezérlés. Ennek megfelelően állhat az egység egy műveleti erősítőtől is vagy egy összetett, párhuzamos kapcsolású mikroprocesszorokat tartalmazó alrendszerből is.

Az analóg áramkör

Sok egyszerű mechatronikai rendszerben szükségessé válhat egy végrehajtó elem vezérlése analóg érzékelőtől kapott jel alapján. Ezek a vezérlő áramkörök megvalósíthatók egy műveleti erősítőtől vagy egy tranzisztorból, vagy mindkettő kombinálásából. A műveleti erősítőkkel összehasonlítás végezhető vagy valamilyen matematikai művelet: analóg összeadás, kivonás, integrálás vagy differenciálás. Ezenkívül ezeket erősítőkben a végrehajtó elem lineáris vezérlésére is használják. A vezérlő analóg áramkör gyakran egyszerű felépítésű és ezért könnyen alkalmazható.

A digitális áramkör

Ha az érzékelő által szolgáltatott jel digitális, vagy könnyen átalakítható véges számú állapothalmaznak, akkor a kombinációs és szekvenciális logikai vezérlők alkalmazása mindenképp indokolt. Így egy pár integrált áramkör felhasználásával vezérlő áramkört állíthatunk elő. Bonyolultabb bináris vagy Bool-algebrás függvények elkészítését nagymértékben megkönnyítik a már előre gyártott integrált áramkörök (IC). A kombinálás végtelen lehetőségét szolgálják a bizonyos függvényeket már magába foglaló IC-k vagy az elemi alkotóegységeket tömörítő chippek (pl. multiplexerek).

4.2.3. A végrehajtó egység

Ennek az egységnek a feladata a rendszer által „hozott” döntéseket gyakorlatba helyezni. Különböző úton alakítja környezetét, megváltoztatva ennek jellemzőit a gyűjtött információknak és az előírt szabályoknak megfelelően.

A feladatok többségében a mechanikus energiát hasznosítjuk munkavégzés céljából. Ez az energia több átalakuláson megy keresztül, míg számunkra hasznossá nem válik. Gyakori eset, hogy az elsődleges energia a villamos energia, melyet villamos hajtásokkal mechanikai energiává alakítunk. Ezenkívül megtörténhet, hogy elsődleges energiaforrásként a termikus gépeket használjuk, majd ebből villamos, hidrosztatikus energián keresztül jutunk el a mechanikai energiáig. Az átalakulásoktól függően nevezzük a rendszereket villamos, pneumatikus és hidraulikus rendszereknek, de ezek kombinációja sem kizárt. Hogy melyik rendszert használjuk, az a megvalósítandó feladattól függ, mivel ezen rendszereknek megvannak az előnyei és hátrányai (**4.1. táblázat**).

4.1. táblázat Energiahordozók összehasonlítása a végrehajtás szempontjából (I)

Kritériumok	Pneumatika	Hidraulika	Elektromosság
Lineáris erő	Az erőt az alacsony nyomás és a hengerátmérő 35000-40000 N értékűre korlátozza. Rögzítő erőnél (nyugalmi helyzetben) nincs energiafogyasztás	Nagy erők nagy nyomás révén	Rossz hatásfok, nincs túlterhelés-védelem, nagy energiafogyasztás üresjáratban, csekély erők
Forgatónyomaték	Teljes forgatónyomaték nyugalmi helyzetben is energiafogyasztás nélkül	Teljes forgatónyomaték nyugalmi helyzetben is energiafogyasztás nélkül	Csekély forgatónyomaték nyugalmi helyzetben
Lineáris mozgás	Egyszerű előállítás, nagy gyorsulás, nagy sebességek (kb. 1,5 m/s)	Egyszerű előállítás, jó szabályozhatóság	Körülményes és drága, rövid utak esetén elektromágnes szükséges, kis erők esetén lineáris motort lehet használni
Forgó- vagy lengőmozgás	Igen nagy fordulatszámú (kb. 500 000 fordulat/perc) sűrített levegős motorok, magas üzemi költség, rossz hatásfok lengőmozgás fogasléc-fogaskerékes átalakítóval	Hidraulikus motorok és lengőhengerek, a fordulatszám alacsonyabb, mint a pneumatikánál, jó hatásfok	A legjobb hatásfok a forgóhajtásnál, korlátozott fordulatszám
Szabályozhatóság	Egyszerű erőszabályozás a nyomás segítségével (nyomás-szabályozó), egyszerű sebességszabályozás a mennyiség révén, (fojtószelep, gyors üritő szelep) az alsó sebességtartományban	Az erő és a sebesség igen jól szabályozható, a lassú tartományban is pontosan befolyásolható	Csak korlátozott lehetőségek, egyidejűleg nagy ráfordítások

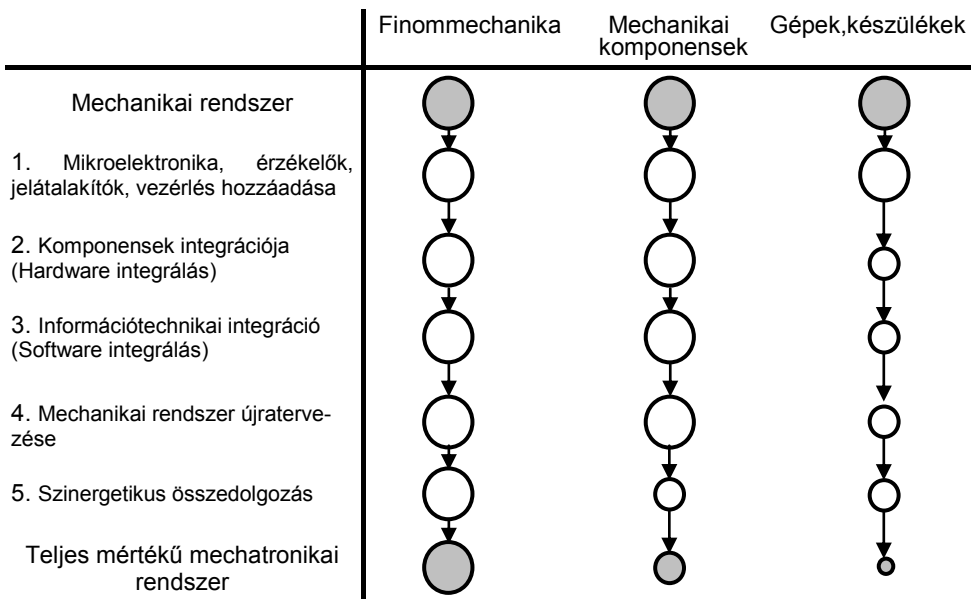
A mechatronikai rendszer felépítése

4.1. táblázat Energiahordozók összehasonlítása a végrehajtás szempontjából (II)

Kritériumok	Pneumatika	Hidraulika	Elektromosság
Energiatárolás és szállítás	Nagy mennyiségben is nagy ráfordítás nélkül szállítható, csővezetékben (kb. 1000 m-ig) vagy sűrített levegős palacokban könnyen szállítható	Korlátozott mértékű tárolás gáz, mint segédközeg alkalmazásával vagy rugós energiatárolóval vezetékekben max. 1000 m-ig szállítható	A tárolás nagyon nehéz és költséges, többnyire csak kis mennyiségek tárolhatók (akkumulátor, elemek). Vezetéken keresztül egyszerűen szállítható nagy távolságra is
Környezeti behatások	Érzéketlen a hőmérsékleti ingadozásokra, nincs robbanásveszély, nagy páratartalom, nagy áramlási sebesség, alacsony környezeti hőmérséklet esetén fagyveszély	Érzékeny a hőmérsékleti ingadozásokra, szivárgáskor szennyezés és tűzveszély	Érzéketlen a hőmérsékleti ingadozásokra, veszélyeztetett területeken, tűz- és robbanás-védelmi készülékek szükségese
Energiaköltségek	A villamossághoz képest magasak	A villamossághoz képest magasak	A legkisebb energiaköltség
Kezelés	Már kevés ismerettel is használható, a kapcsolási rendszerek felépítése és üzembe helyezése viszonylag egyszerű és veszélytelen	Nehézkesebb mint a pneumatikánál, mivel nagyobbak a nyomások, szivárgó és visszafolyó vezetékek szükségesek	Csak szakismerekkel, balesetveszély, hibás csatlakoztatásnál gyakran megsérülnek a készülékek és a vezérlés
Általában	Az elemek túlterhelésvédettek, a kipufogási zajok kellemetlenek, ezért hangtompításra van szükség	Nagyobb nyomásoknál szivattyúzajok, az elemek túlterhelésvédettek	Az elemek nem túlterhelésvédettek, vagy a túlterhelésvédelem csak nagy ráfordítás árán biztosítható

4.3. A mechatronikai rendszer tervezési eljárásai

A komponensek integrációja szerint a mechatronikai rendszer fejlesztését öt lépésre oszthatjuk. Kiindulva egy teljesen mechanikai szerkezetből, ezeken a lépéseken keresztül egy integrált mechatronikai termékhez jutunk. Természetesen, különböző esetekben más és más hatása van a fejlesztési eljárásban minden lépésnek. Az alábbi táblázatban a körök nagysága az illető lépés fejlesztésbeli jelenlétét, fontosságát tükrözi. A finommechanikai szerkezetek esetén minden lépés arányos mértékben van jelen, míg például az adaptív lengéscsillapító, az automata kapcsoló-szekrény esetén az elektronika segíti a mechanikai komponenseket (ezek felépítése keveset vagy nem változik). Egy harmadik lehetséges esetet képez például a modern gépkocsi karosszériája, amely funkcionalitása teljes mértékben megmarad, de különböző érzékelőkkel, hajtásokkal felszerelve kényelmesebbé, biztonságosabbá tették. A fent említett lépések és ezek hatása az alábbi táblázatban figyelhető meg.



Ezeknek a rendszereknek a fejlesztéséhez elkerülhetetlen a számítógép segítségével. Ennek alapján négy részre oszthatjuk a tervezési folyamatot:

- konstruktív megoldások felvázolása a CAD és CAE programcsomagok segítségével;

A mechatronikai rendszer felépítése

- statikus és dinamikus folyamatmodell megalkotása;
- ezeknek a modelleknek a számítógépes implementációja a rendszer szimulálása érdekében;
- végül a végleges mechatronikai software programozása és implementálása.

Az első pontnál segítségünkre lehet a számos 2D-s és 3D-s mechanikai tervező-program, mint pl. AutoCAD, Inventor, SolidWorks, ProEngineer stb. melyek kapcsolatba hozhatók a CAM (computer-aided manufacturing) programokkal, illetve a NYÁK tervező programok, ún. PADS-ok. A statikus és dinamikus modellezés terén az objektum-orientált nyelveket használhatunk, mint a DYMOLA és MOBILE, melyek differenciál és algebrai egyenletek alapján működnek. Rendszer szimuláláshoz és vezérlés tervezéshez szintén vannak programcsomagok, mint az ACSL, SIMPACK, MATLAB/SIMULINK, MATRIX-X stb., melyek viszont nem használhatók valós idejű szimulációk elvégzéséhez, de tökéletesen lehet követni segítségükkel a rendszert alkotó elemek kölcsönhatását. A számítógép használata sokban megkönnyíti a tervezési folyamatot, de a rendszer modellalkotása csak a tervező feladata marad.

Kétféle megközelítéssel hozhatjuk létre egy rendszer modelljét. Az *elméleti modellezés* esetén, a fizikai törvények figyelembe vételével állapíthatók meg az ok-okozati összefüggések, illetve a *kísérleti (azonosításos) modellezés* alkalmazásakor, a ki- és a bemenő jelek összevetéséből következtethetünk a rendszer belső állapotára. Az elméleti modellezés esetén nehézséget képez az a tény, hogy a mechatronikai rendszer alkotóelemei több területről származnak, és míg a különálló területek esetén léteznek szimulációs programcsomagok, a rendszert egységében vizsgáló módszerek hiányzanak, és így ennek megfelelő software sincs kellőképpen kidolgozva.

Egy módszer lenne az alkotóelemek „közös nevezőre hozása” terén a rendszer belsejében áramló energia vizsgálata (villamos, mechanikai, stb. rendszer), illetve egyes esetekben e mellett fontos az anyagáramlás folyamata is (termotechnikai, vegyi folyamatok). Pontokba szedve, az elméleti modellképzés a következő sorrendben végezhető el:

1. Az áramlás meghatározása:

- energiaáramlás;
- energia- és anyagáramlás;

2. Folyamatelemek meghatározása (folyamatábrák):

- jelforrások (sources), jelnyelők (sinks);
- tárolók, átalakítók;

3. Folyamatok grafikus ábrázolása:

- multi-port diagramok;

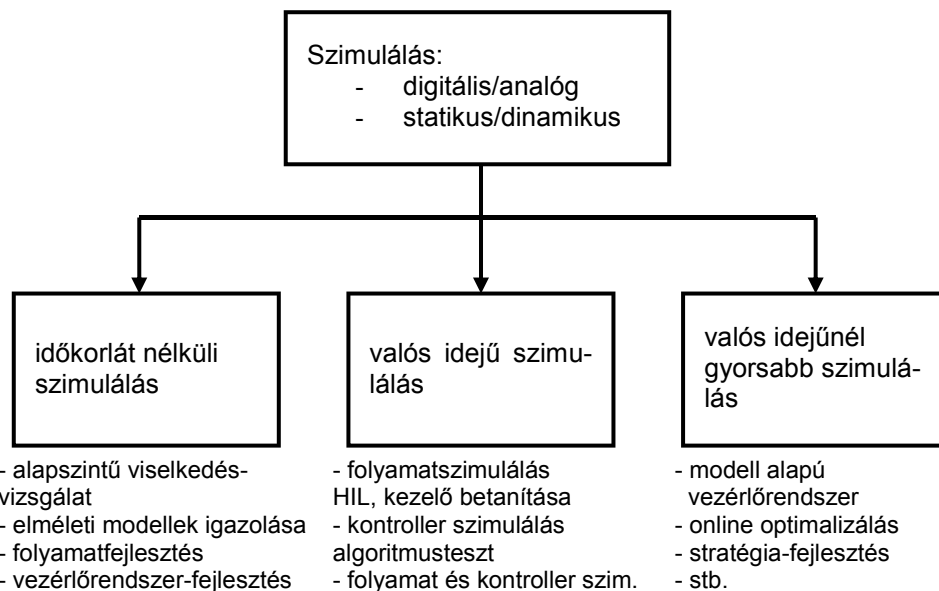
- tömbdiagramok (jeláramlás esetén);
 - bond graphs (energiaáramlás esetén);
4. *Folyamatelemek egyenleteinek felállítása:*
- egyensúlyi egyenletek (tömeg, energia, nyomaték);
 - alapegyenletek egyes folyamatelemek esetén (forrás, átalakítók);
 - jelenségleíró egyenletek az irreverzibilis folyamatok esetén (pl. energiaszórás esetén);
5. *Folyamatelemek összekapcsolásának egyenletei:*
- kontinuitási egyenletek párhuzamos kapcsolás esetén (csomóponti törvény);
 - kompatibilitási egyenletek soros kapcsolás esetén (huroktörvény);
6. *Folyamatmodell számítása:*
- ki- és bemenő paraméterek meghatározása;
 - kimenet/bemenet modellek (differenciálegyenletek, átviteli függvény).

Az elméleti modell valósághűségét több módszerrel lehet ellenőrizni: válasz-frekvencia mérésekkel, illetve Fourier- vagy spektrumanalízissel. Mivel megtörténhet, hogy egyes paraméterek ismeretlenek vagy változnak időben, paraméterbecslő algoritmusokat használhatunk úgy folytonos, mint diszkrét modellek esetén (legfőképpen, ha ezek lineárisak a paraméterre nézve). A nemlineáris vagy többdimenziós jellemzők esetén neuronhálós becslőrendszereket használhatunk sikeresen.

A modellalkotás mellett fontos szerepet tölt be a szimulálás. Ennek idejét tekintve három módszert különíthetünk el:

- időhatár nélküli szimulálás;
- valós idejű szimulálás;
- valós idejűnél gyorsabb szimulálás.

Napjainkban teret hódít a valós idejű szimulálás. Jelentése, hogy egy komponens szimulációja úgy hajtódik végre, hogy a be- és kimenő jelek olyan mértékben függenek az időtől, mint a valós összetevő esetén. Az ilyen típusú szimulálás csak akkor okozhat gondot, amikor a folyamat dinamikája gyorsabb, mint a szimulációhoz szükséges algoritmus, valamint a számítástechnikai eszköz számítási sebessége. Ennek ellenére a módszer főleg akkor javallott, ha a modellezéshez szükséges hardware és a software komponenseket egyidejűleg fejlesztik, így jelentősen csökkenthető a számítások elvégzéséhez szükséges idő. Ezzel ellentétben a ciklikus fejlesztés sokkal hosszabb és költségesebb feladat.



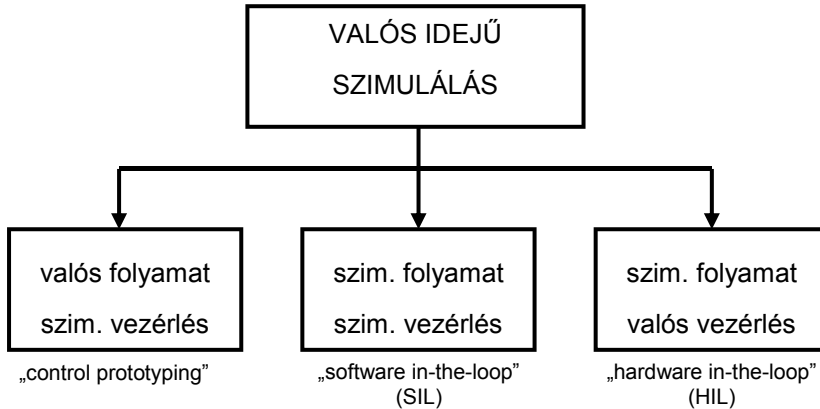
4.9. ábra

A szimulációs idő szerinti osztályozás

Az igényt, hogy a valós idejű szimulálás létrejöjjön, az alakította ki, hogy egyes esetekben a rendszer egy részét már meg valósították. Hogy a kész alrendszert ki lehessen próbálni, szükség volt a virtuális másik felére. Ebből az okból adódóan többféle valós idejű szimulálás használatos:

- a) vezérlési prototípuskészítés („control prototyping”-CP): a *valós folyamatot* egy *szimulált vezérlési* rendszerrel irányítjuk (a vezérlés más hardware felszerelésen fut mint a valós esetben),
- b) „hardware in-the-loop” (-HIL) szimulálás: a *valós vezérlési berendezéssel* (software és hardware) egy *szimulált folyamatot* vezérlünk,
- c) vagy mindkettőt szimuláljuk: *szimulált vezérléssel* irányítunk egy ugyancsak *szimulált folyamatot*. Akkor szükséges ez az eljárás, amikor a vezérléshez szükséges hardware nem elérhető, vagy a fejlesztés folyamatában ez a lépés a HIL szimulálást előzi meg.

Az összetett vezérlőrendszerek és az általuk használt software fejlesztése esetén bevált technika egy valós idejű kontroller-szimulátor használata. A fennebb említett első esetben a hajtások és érzékelők valósak. Viszont, ha ezek egy része szintén szimulált berendezés, akkor egy CP és HIL hibrid szimulációs rendszerről beszélhetünk.



4.10. ábra

A valós idejű szimulálás osztályozása

A fennebb említett hibrid rendszernek több előnye is van:

- lehetőség van a termékfejlesztés korai szakaszában a jelfeldolgozás, folyamatmodell, vezérlési rendszer struktúrájának értékelése,
- vezérlés és jelfeldolgozás tesztelése különböző típusú hajtásokkal, érzékelőkkel, részfolyamatokkal a szinergetikus effektus elérése érdekében,
- modellek és algoritmusok egyszerűsítése a sorozatgyártás érdekében,
- a végső hardware és software előírásának meghatározása.

A tiszta HIL szimulációra jellemző, hogy egy *végső termék (sorozatban gyártott)* (hardware és software) kerül be a valós idejű szimulációs környezetbe. Általában a vezérlés a meglevő elem, a rendszer többi része szorul szimulálásra. Gyakori eset, hogy a hajtások is valósak, így csak a folyamatot és az érzékelőket kell virtuálisan megteremteni. Ez utóbbi esetnek több oka lehet: a vezérlés elektronikája és a hajtás egy egységet képez, vagy a hajtást nehéz pontosan modellezni és valós időben szimulálni. Szokásos a HIL rendszerekben a valós vezérlőegység mellé egy szimulált vezérlőegységet is csatolni, ami az esetleges módosításra szoruló vezérlési funkciókat (software) és egységeket (hardware) tartalmazza. Szintén számos előnyt említhetünk meg a HIL szimulációk során:

- a folyamatot a laboratóriumba „költöztethetjük”, így könnyebb a vezérlés fejlesztése és tesztelése,
- szélsőséges körülmények közötti teszt lehetséges,
- a hajtások, érzékelők meghibásodásának, illetve a folyamatban fellépő hibák hatásainak elemzése,
- gyorsan, gyakran és pontosan megismételhető kísérletek,
- különböző gép-ember illesztés (interfész) tetszőleges váltása
- fejlesztési költség és idő csökkentése.

5. Hidraulikus rendszerek

A mechatronikai rendszerekben fontos helyet foglalnak el a hajtások, vagy más-ként megnevezve, az *energiaátalakítók*. Amint a nevük is elárulja, az energiaátalakítók az energia milyenséget változtatják meg: a mechanikai munka, a villamos teljesítmény, folyadék vagy gázáram nyomása e berendezések segítségével átalakítható. Így a villamos motorok, hidraulikus és pneumatikus munkahengerek segítségével mechanikai munka végezhető, míg ezek fordítottja is igaz, különböző berendezésekkel a mechanikai munka villamos teljesítménnyé, hidraulikus és pneumatikus nyomássá alakítható.

Mivel a legtöbb esetben a szükséges végső energiaforma a mechanikus energia, a végrehajtó energiaátalakítókat – ezek segítségével sikerül hatnunk egy folyamatra, és meg tudjuk változtatni környezetünk egyes paramétereit – többek között három nagy csoportba sorolhatjuk:

1. *villamos energiát mechanikai energiává alakító berendezések,*
2. *hidraulikus energiát mechanikai energiává alakító berendezések,*
3. *pneumatikus energiát mechanikai energiává alakító berendezések.*

Az első csoportba tartozó elemek nem mások, mint a villamos motorok, melyek működtetése a már meglévő villamos hálózatról, és megfelelő elektronikával, teljesítményelektronikával lehetséges. A másik két csoportnál az energiahordozó továbbítására egy egész rendszert kell építeni. Például a hidrosztatikus energiaátalakító munkavégzéséhez egy hidraulikus rendszert kell építeni, melyben a hidrosztatikus nyomás keltésével és vezérlésével, megfelelő módon vezérelhetjük a munkavégző berendezést. Egy rendszer tervezésekor figyelembe kell venni tehát az energiahordozók tulajdonságait, illetve a rendszer ebből adódó tulajdonságait, jellegzetességeit (**4.1. táblázat**).

Mivel az elektromos energiaátalakítók tanulmányozása más előadások tematikája, a következőkben a hidraulikus és a pneumatikus rendszerek tanulmányozásával és ezek vezérlésével foglalkozunk.

5.1. Hidraulikus elemek

Mint minden bonyolultabb rendszer, így a hidraulikus rendszer is egyszerűbb alkotóelemekből áll. Ahhoz, hogy egy rendszert felépíthessünk, ezeknek a hidraulikus „építőköveknek” – a hidraulikus elemeknek – kell a működését megértenünk és elsajátítanunk.

A *hidraulikus elem* a hidraulikus energiaátvitel olyan legkisebb egysége, amely meghatározott elemi hidraulikus feladat teljesítésére képes. Ezek a hidraulikus rendszerben betöltött szerepüktől függően három fő csoportba sorolhatók:

- hidrosztatikus energiaátalakítók,
- hidraulikus irányítókészülékek,
- kiegészítő szerelvények.

Minden csoportban számtalan, hasonló feladatot ellátó elem tartozik. Természetesen, ezek száma állandóan bővül, illetve a konstrukciós elvükben változatlan megoldások is korszerűsödnek. Így megfigyelhető napjainkban a több feladatot ellátó (integrált) hidraulikus elemek megjelenése, és az elektronika egyre nagyobb hatása.

5.1.1. Hidrosztatikus energiaátalakítók

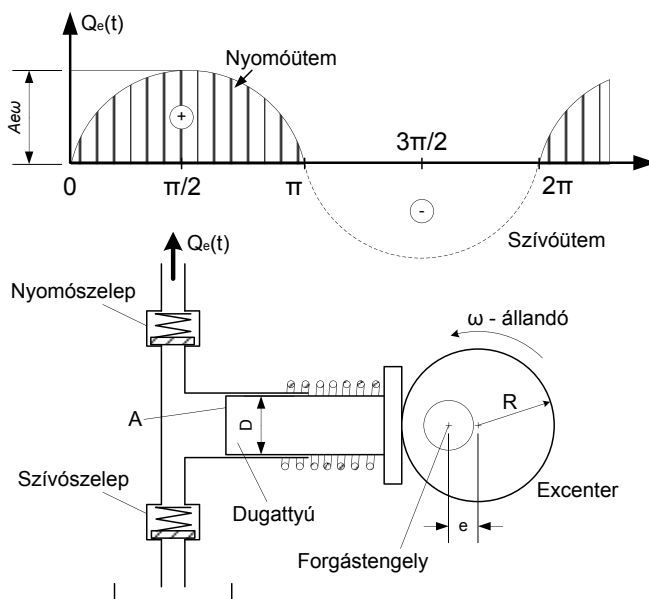
A *hidrosztatikus energiaátalakítók* olyan hidraulikus elemek, melyek a mechanikai munkát folyadékáram nyomásával, vagy az áramló folyadék nyomását mechanikai munkává alakítják: a térfogat-kiszorítás elvén működő szivattyúk és motorok gyűjtőneve. A szivattyúkat a motoroktól az energiaátalakítás iránya különbözteti meg. Mivel ezek felépítési elve megegyezik, megfelelő kialakítás mellett ezek megfordítható üzemmódúak is lehetnek. A térfogat-kiszorítás elve nem más, mint, hogy a szerkezetben egy változó térfogatú tér van, amely elnyeli, illetve amelyből kiszorítódik a folyadék. Ezt a térfogatváltozást fogaskerek, radiáldugattyúk, forgólappák, axiáldugattyúk végzik. Az energiaátalakítók többféle képen csoportosíthatók:

- Tengelymozgásuk szerint lehetnek: forgó-, egyenes- és ingamozgásúak;
- Áramirány szerint: egy- vagy két áramirányú;
- Forgásirány szerint: egy- vagy két forgásirányú;
- Munkatérfogat szerint: változtatható geometriájú vagy nem változtatható geometriájú energiaátalakítók.

Legfontosabb jellemzőjük a folyadékszállítás (térfogatáram) a szivattyúknál, illetve a folyadéknyelés a hidromotoroknál. Mivel az ideális energiaátalakítók esetén a térfogatáram nem függ a folyadék nyomásától, csak a pillanatnyi geometriai munkatértől, ez könnyen kiszámítható, vagy lemérhető. Ha ismert az energiaátalakító V'_{sz} munkatérfogatának nagysága, tengelyének n fordulatszáma, vagy az egy fordulat alatt kiszorított V_{sz} folyadékmennyiség és a tengely ω szögsebessége, akkor az átlag térfogatáram a szivattyú és a hidromotor esetében:

$$\begin{aligned} q_{V_{sz}} &= V_{sz} \cdot n_{sz} = V_{sz} \cdot \omega_{sz} \\ q_{V_m} &= V_m \cdot n_m = V_m \cdot \omega_m \end{aligned} \quad (5.1)$$

Elvi vázlatként tekintünk a **5.1. ábrát**, mely a szelepvezérlésű szivattyú működését hivatott bemutatni. A szivattyúnak négy fő eleme van: a dugattyú, az excenter tárcsa, a szívó- valamint a nyomószelep. Az excenter tárcsa mozgása következtében a dugattyún keresztül a V térfogat ciklikusan lecsökken, majd újra megnő.



5.1. ábra

Szelepvezérlésű szivattyú elvi vázlata és térfogatárama

A térfogat növekedés alatt, a vákuum kialakulása következtében, a szívószelep nyit, és folyadék áramlik a szivattyú belsejébe. A térfogat csökkenése esetén a szívószelep zárva van, viszont a nyomószelepen távozik a kiszorított folyadék. A kimeneten ismervén a p nyomást, meghatározható a tárcsa forgatásához szükséges nyomaték. Habár a dugattyún keletkező erő $F=p \cdot A$ állandó, a nyomaték az excentricitás miatt szinuszosan fog változni:

$$M = p \cdot A \cdot e \cdot \sin(\omega t). \quad (5.2)$$

Míg az (5.2) meghatározás a pillanatnyi nyomatékot adja meg, az elméleti nyomaték:

$$M_e = \frac{pAe}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin \varphi d\varphi = \frac{2pAe}{2\pi} = \frac{V}{2\pi} p = V_g p, \quad (5.3)$$

tehát, M_e megegyezik az egy radián szögelfordulásra eső munkatérfogot és a nyomás szorzatával. A szivattyú hozamának változása ugyancsak megfigyelhető az **5.1. ábrán**. A két nyomóütem közötti szívási idő miatt a rendszerben egy lüktetés figyelhető meg. Ez a nem kívánatos jelenség (egyenlőtlen dinamikus terhelés és zajforrás) több dugattyú használatával csökkenthető.

Ha a szívószelepen keresztül folyadékot áramoltatunk a hengerbe, és feltételezzük, hogy az excenter nincs a holtponton, akkor a dugattyú erőt fejt ki a tárcsára, amely forogni kezd. Egy dugattyú használatával természetesen nem kényszeríthető a tárcsa egy teljes elfordulásra, de több munkavégző elemet használva elérhető a 360 fokos elfordulás.

Az energiaátalakítók alkatrészei mozgásban vannak, tehát egymáson elmozdulnak. Ezért az alkatrészeket megfelelő illesztéssel gyártják, így a szivárgás miatt a munkafolyadék egy része nem jut el a nyomóvezetékbe. A folyadék belső súrlódásának köszönhetően az áramlás egyik előfeltétele a nyomáskülönbség. Ebből adódik, hogy a munkatérben mért nyomás nem azonos a bemeneten és a kimeneten mért nyomással. Ezek a jelenségek a rendszerben veszteségekhez vezetnek. Ezeket három csoportra sorolhatjuk:

- volumetrikus (térfogati) veszteség,
- hidraulikus veszteség, és
- mechanikai veszteség.

Az első a *térfogatárami veszteségeket* jellemzi (a tényleges q_{vt} hozam kisebb, mint az elméleti q_{ve}). Ennek két alcsoportja ismeretes: a *belső* és a *külső* veszteségek. Az előbbi akkor van jelen, ha a szivattyú belsejében nagyobb nyomású térből alacsonyabb nyomású térbe áramlik a folyadék, míg külső térfogati veszteséget jelent a szivárgó vezetéken a tartályba visszafolyt vagy a környezetbe távozott folyadék.

Mivel az említett illesztések nagysága század, szivárgás esetén lamináris áramlásról beszélhetünk. Ekkor a hozamvesztés egyenesen arányos a nyomáskülönbséggel:

$$q_{lb} = K_v \cdot \Delta p, \quad (5.4)$$

ahol a K_v arányossági tényező a rések alakjától és geometriájától függ. A volumetrikus veszteség másik forrása a szívási veszteség, mely akkor jelentkezik, ha a folyadék nem tölti ki teljesen a munkatérét, így ebben részben valamilyen gőz vagy gáz található. A térfogati veszteséget a volumetrikus hatásfokkal is szemléltethetjük, a szivattyúk esetében: $\eta_V = q_{vt} / q_{ve}$, illetve a hidromotorokat ennek fordítottja jellemzi.

A hidraulikus veszteségek fő okozója az áramlás miatt fellépő nyomásvesztés. Ezt több paraméter befolyásolja:

- az áramlás jellege,
- a folyadék sebessége,
- a geometriai méretek és
- az áramlás irányában bekövetkezett törések száma és mértéke (helyi veszteség).

A nyomásvesztés négyzetesen arányos a folyadék sebességével, így tehát a folyadék térfogatáramával is:

$$\Delta p_v = R_h \cdot q_v^2. \quad (5.5)$$

Az R_h hidraulikus ellenállást általában empirikus úton állapítjuk meg. Ezt a veszteséget is lehet hatásfokkal jellemezni: $\eta_h = \Delta p_t / \Delta p_e$. Ez azt jelenti, hogy a szivattyúknál a meghajtásukhoz gyakorlatilag nagyobb nyomaték szükséges, mint elméletileg, míg a hidromotor a valóságban nem képes a kiszámított nyomatékot szolgáltatni.

A mechanikai veszteség az M_e és az M_t közötti különbséget befolyásolja a mozgó alkatrészek súrlódásán keresztül. Természetesen, az alkatrészeket összehasznoló erő, valamint a felületek közötti súrlódási együttható (felületek minősége, alkalmazott kenési mód, az elmozdulás relatív sebessége) határozza meg a súrlódási körülményeket. A mechanikai hatásfok az elméleti és tényleges nyomatékok hányadosa. Itt is érvényes tehát, hogy a szivattyúk működtetésére nagyobb nyomaték kell, és a motor esetén nem várható a kiszámított nyomaték teljesítése. Mivel a hidraulikus- és a mechanikai veszteség gyakorlatilag a nyomatékot módosítja, ezt az együttes hatást egyszerre szokás empirikusan meghatározni.

A hidraulikus rendszer hasznos teljesítményét ezek a veszteségek egyidejűleg csökkentik, tehát az összh hatásfok megegyezik a hatásfokok szorzatával:

$$\eta_o = \frac{P_h}{P_b} = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m. \quad (5.6)$$

A fentieket követve a szivattyúknál szükséges teljesítményt az (5.7) összefüggés, míg a motorról levehető teljesítményt az (5.8) képlet szerint határozhatjuk meg:

$$P_b = \frac{q_{vt} \cdot \Delta p_t}{\eta_o} \quad (5.7)$$

$$P_h = q_{ve} \cdot \Delta p_e \cdot \eta_o \quad (5.8)$$

5.1.2. Az energiaátalakítók szerkezeti felépítése

Az energiaátalakítók szerkezeti felépítése nagymértékben befolyásolja azok műszaki jellemzőit. A követelményeket másként elégítik ki, és mivel olyan energiaátalakító (EÁ) amely minden követelménynek egyértelműen eleget tenne nincs, minden feladat megoldásakor ennek paraméterei függvényében kell kiválasztani az EÁ-t.

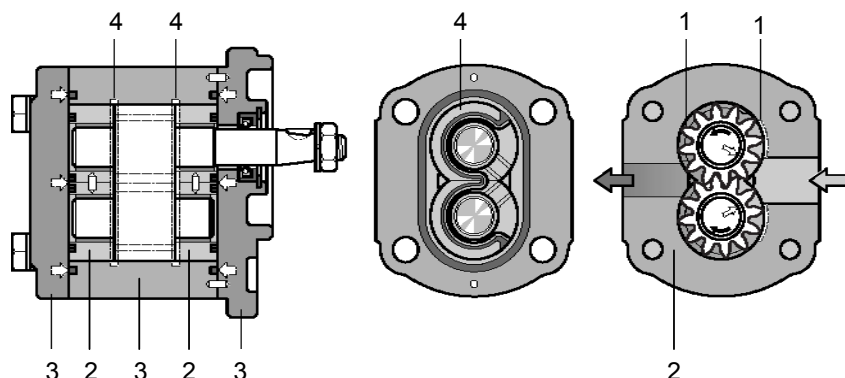
Az energiaátalakítókat többféleképpen lehet osztályozni. Az egyik rendszer a hajtott, illetve hajtó elemeknek a mozgása szerint csoportosítja ezeket. Így megkülönböztetünk: forgómozgású, egyenes mozgású és ingamozgású energiaátalakítókat. A munkatérfogatuk változtathatósága szempontjából pedig két típusú EÁ-t különböztethetünk meg: változtatható és nem változtatható munkatérfogatú energiaátalakítókat.

5.1.2.1. Forgómozgású energiaátalakítók

Fogaskerekes energiaátalakítók

Az egyik legelterjedtebb EÁ, melynek jellemzője, hogy munkaterét a kapcsolódó fogaskerek fogai és a fogárkai képezik. Ezen típuson belül megkülönböztethetünk külső- és belső fogazatú EÁ-kat.

A szívó- és a nyomóteret a fogak választják el (a következő ábrákon fehér nyíl jelzi az alacsony nyomású, míg fekete a magas nyomású folyadék haladási irányát). Ennél az EÁ-nál (**5.2. ábra**) a folyadék a fogak (1), a csapágytömbök (2) és a szivattyúház (3) közötti tér segítségével szállítható. Jelen esetben a felső fogaskerék az órával ellentétes irányban forog. A hozamvesztés tehát az elemek közötti illesztésektől függ. A kopás miatt idővel nő ez a veszteség, ezért az elfogadható munka-folyadék szűrésének tartománya $25\ \mu\text{m}$ körül van. Az említett veszteség csökkenthető, ha tömített tárcsákat (4) használunk, melyeken keresztül a magas nyomás a csapágytömböket rászorítja a fogaskerek oldalára. Ezekkel az EÁ-kal 250 bar üzemi nyomás biztosítható (tömített tárcsák nélkül csak 100 bar lehetséges), és a fordulatszám pedig $200\text{--}4000\ \text{min}^{-1}$ között változhat közepes zajszint mellett. A belső fogazatú EÁ-t többnyire szivattyúként használják, és ezzel nagyobb üzemi nyomás biztosítható nagyobb volumetrikus hatásokkal. Mindkét energiaátalakító esetében egyenletesebb (nem lüktető) hozamot lehet biztosítani, ha ferde fogazású fogaskerekeket használunk. Abban az esetben, ha a fogak többszörösen rácsavarodnak a palástra, *csavarszivattyúról* beszélünk. Ebben az esetben a folyadék haladási iránya a csavarok tengelyével párhuzamos lesz. Mivel ennek a megoldásnak egyetlen előnye a folyamatos térfogatáram, elterjedése nagyon korlátozott.

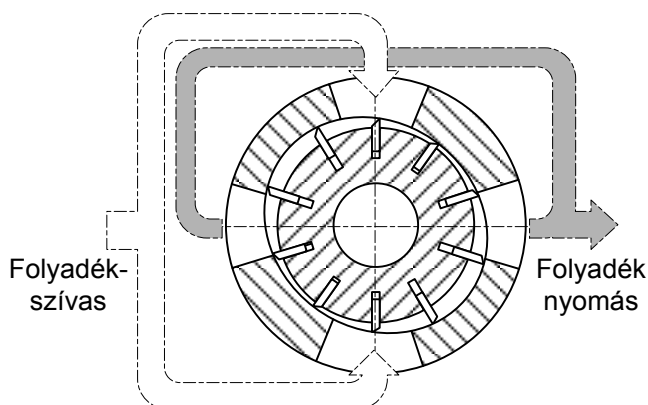


5.2. ábra

Külső fogaskerekes energiaátalakító felépítése (Bosch Rexroth)

Csúszólapátos energiaátalakítók

Ennél az EÁ-nál a munkateret az álló-, forgórész és a lapátok határolják. Az **5.3. ábrán** látható szivattyú az órával ellentétes irányban forog. A centrifugális erő és a belső nyomás hatására a lapátok nekifeszülnek az oválisan kialakított állórésznek, így kialakítva a munkateret, ami a folyadékot szállítja. A bemutatott megoldás előnye, hogy minden pillanatban két szívó- és nyomótér kerül egymással szembe, így radiális erő nem terheli az EÁ tengelyét.



5.3. ábra

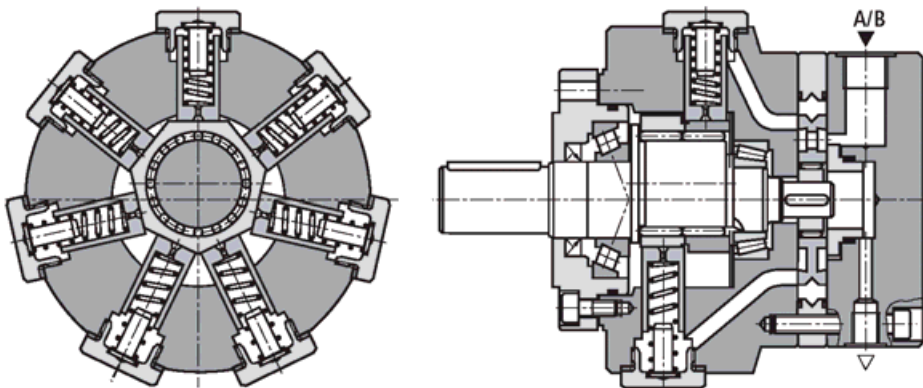
Csúszólapátos energiaátalakító

Ez teszi lehetővé, hogy 100-160 bar közötti nyomásra és $50-3000 \text{ min}^{-1}$ közötti fordulatra képes. Megfelelő vezérpálya mellett (álló rész oválissága) a hozam lük-

tetése minimális, és ezért zajszintje kedvező. Mivel a lapátok működés közben súrolják a ház falát, növekedett súrlódásra és szennyeződés érzékenységre számíthatunk.

Radiáldugattyús energiaátalakítók

Ennél a megoldásnál az **5.1. ábrán** bemutatott dugattyú többszörös, radiális elhelyezés segítségével történik a munkafolyadék továbbítása (**5.4. ábra**). A golyós csapágynak köszönhetően hatásfoka elérheti a 95%-t is, ezért az EÁ-k közül a legnagyobb nyomáson működhet (> 630 bar). Hidromotorként alacsony fordulatszámot ($1-1000 \text{ min}^{-1}$), míg szivattyúként elérhetik az 1500 fordulatot percenként. Zajszintje a szelepek mozgásából adódóan elég nagy, viszont élettartamuk megegyezik a csapágynak élettartamával. Költségek szempontjából a csúszólapátos és a fogaskerekes EÁ-k után következnek.



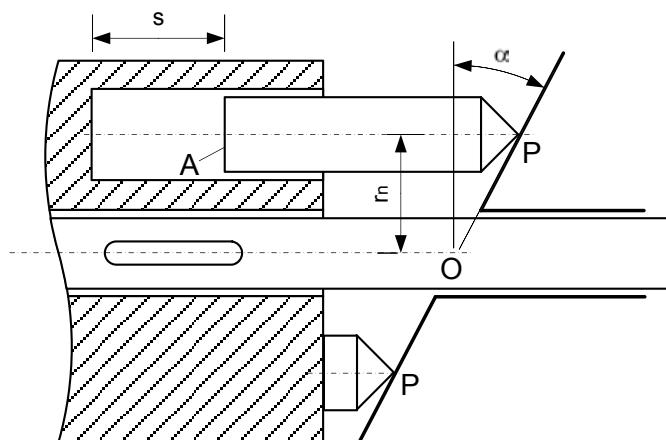
5.4 ábra

Radiáldugattyús szivattyú metszete (Bosch Rexroth)

Axiáldugattyús energiaátalakítók

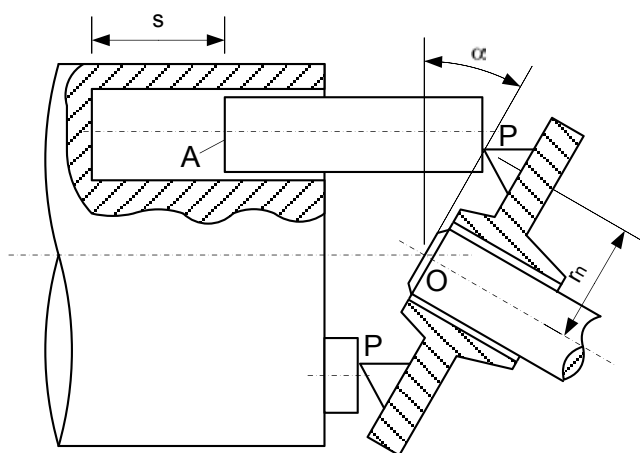
A címben feltüntetett készülékek olyan dugattyús energiaátalakítók, amelyek a dugattyúi hengertömbben vannak, és tengelyvonaluk a hengerpaláston, vagy 45° -nál kisebb félnyílásszögű paláston helyezkedik el.

Három típust különböztetünk meg, annak függvényében, hogy a dugattyúk elmozdulása hogyan jön létre: ferdetárcsás (**5.5. ábra**, **5.7. ábra**), ferdetengelyes (**5.6. ábra**, **5.8. ábra**) és vezérlőtárcsás (**5.9. ábra**) energiaátalakítók.



5.5. ábra

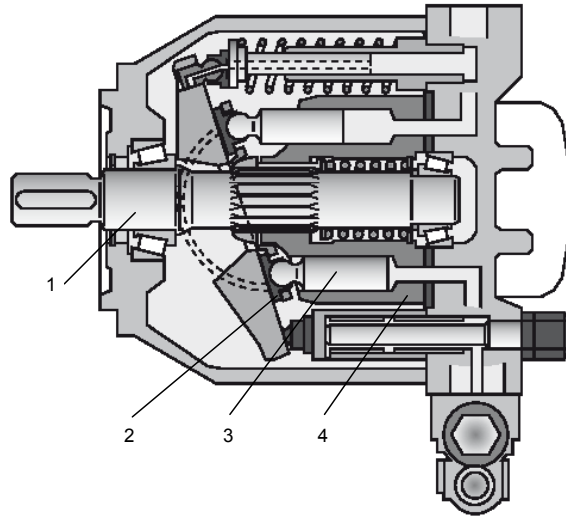
Ferdetárcsás axiáldugattyús energiaátalakító vázlata



5.6. ábra

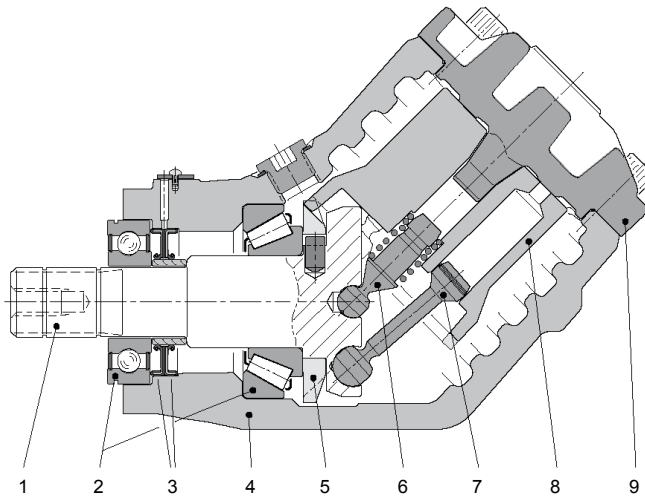
Ferdetengelyes axiáldugattyús energiaátalakító vázlata

A működési elvük megegyezik: a dugattyú kifelé mozgás közben egy F erőt fejt ki, mely két részre bomlik. Az egyik összetevő, F_r az r_h erőkarral nyomatékot hozva létre ki próbálja billenteni a dugattyúházat (hengertömböt) és a tengelyt. Az **5.6. ábrán** a dugattyúk a hatás-ellenhatás elvét kihasználva, a tárcsán levő csúcsokra támaszkodnak, így kibillentve a tárcsát, és ezzel együtt a tengelyt is.



5.7. ábra

Ferdetárcsás axiáldugattyús energiaátalakító metszete (Bosch Rexroth)



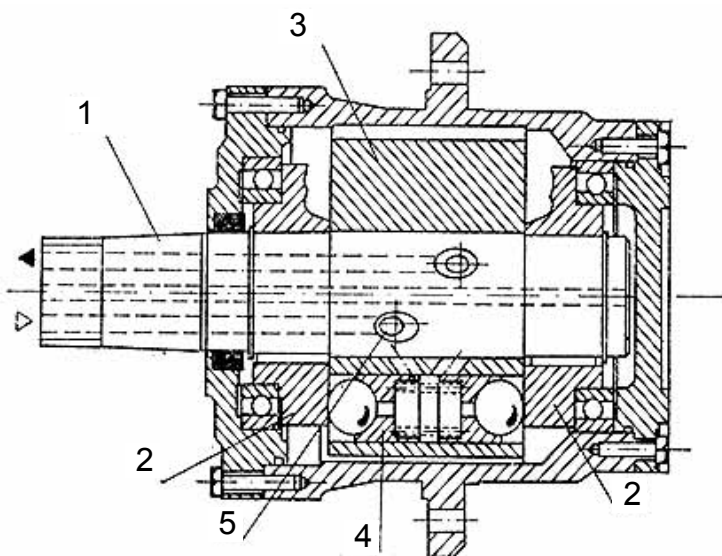
5.8. ábra

Ferdetengejes axiáldugattyús energiaátalakító (Parker)

A **5.7. ábrán** egy ferdetárcsás axiáldugattyús EÁ metszete látható. A hajtótengely (1), a hengertömb (4), a dugattyúk (3) és az ezek végén levő csúszósaruk (2) együtt forognak. Mivel a saruk a dugattyúkat a ferde vezérlősíkon mozgatják, forgás közben a dugattyúk ki- és bemozognak, változtatván a munkatérfogatot. Térfogat növekedéskor

a dugattyú szívó hatást fejt ki, majd befelé mozdulva a folyadékot kpréseli magából. Ugyanígy működik az **5.8. ábrán** felvázolt ferdetengelyes axiáldugattyús EÁ is, azzal a különbséggel, hogy a tárcsa és a hengertömb is mozog a tárcsától (1) vezérelve.

Az **5.9. ábrán** egy szimmetrikus elrendezésű, vezérlőpályás, axiáldugattyús EÁ látható. A folyadék egy furaton (5) keresztül jut a dugattyúk (4) közé. A dugattyúk golyók segítségével támaszkodnak a vezérlőpályákra (2) Ennek síkja merőleges a rajz síkjára, illetve ferde a tengelyhez képest.

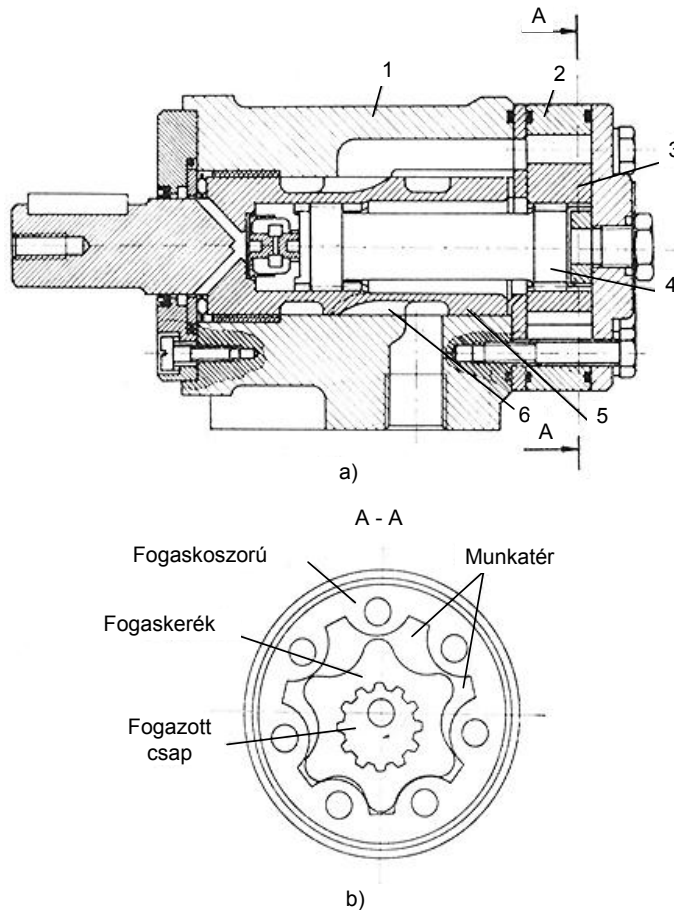


5.9. ábra

Vezérlőpályás axiáldugattyús energiaátalakító metszete

Ha az ábrán feltüntetett helyzetből a tengely segítségével felfele forgatjuk a dugattyúkat (4), akkor ezek szimmetrikusan távolodnak egymástól, megnövelve közöttük a munkatér fogatot. Ez idő alatt szív a szivattyú. Áthaladva a felső helyzeten, a két dugattyú ismét közeledik egymáshoz, ismét kiszorítva a munkafolyadékot a tengelyen keresztül.

Ezeknek az energiaátalakítóknak van a legnagyobb fordulatszám-tartománya, mivel 1 és 10000 fordulat/perc a két határ. Maximális üzemi nyomásuk 400 bar körül van, és az élettartamuk is nagy a csapágyazás élettartamától függően. Nagy a szennyeződés érzékenyséjük (10 μ m-es szűrés szükséges), viszont zajszintjük közepes. Összhatásfokuk nagyon kedvező, elérheti a 95%-ot, de ezt az áruk is túlrözi, amely egy szinten van a radiáldugattyús energiaátalakítóéval.



5.10. ábra

Orbit-rendszerű energiaátalakító metszetei

Orbit-rendszerű energiaátalakítók

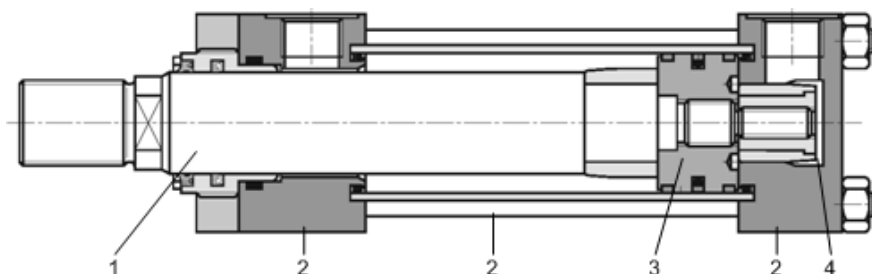
Működése szempontjából egy belső fogaskerekes EÁ-hoz hasonlít. Amint az **5.10. ábra** is mutatja, egy fogaskerék egy fogaskoszorúban bolygó mozgást végez, így változtatva a munkatér. Az orbit-rendszerű (vagy gerotor-rendszerű) hidromotorok kis méretük ellenére is nagy nyomatókót képesek kifejteni.

Az üzemi nyomás maximális értéke 210 bar, melyet 5-1000 min^{-1} fordulatszám-tartományban tudnak biztosítani. Egyszerű felépítésük miatt nagyon kedvező az áruk, habár élettartamuk nem nagy a gördülés közbeni csúszásnak köszönhetően. Ezért szennyeződésre is igen érzékeny a berendezés.

5.1.2.2. Egyenes mozgású energiaátalakítók

Ezeknek az EÁ-nak a hajtó és hajtott eleme egyenes mozgást végez. Mivel szivattyúként napjainkban általában forgó mozgású EÁ-t használnak, ebben az alfejezetben csak az egyenes mozgású energiaátalakítót mint hidromotort, munkahengert tárgyaljuk. Itt a munkateret a henger, a dugattyú és a dugattyúrúd képezi.

A legegyszerűbb energiaátalakító a *búvárszivattyús munkahenger*. Ez csak az egyik irányban van meghajtva a folyadék által, ezért csak egy irányban tud erőt kifejteni.



5.11. ábra

Egy munkahenger metszete (Bosch Rexroth)

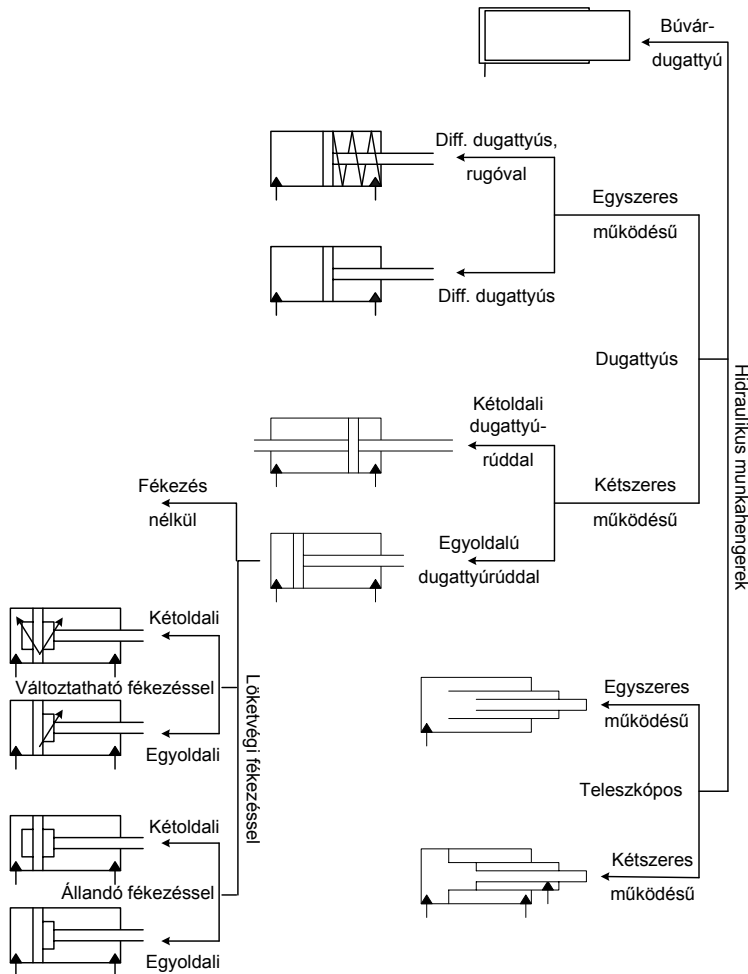
1) dugattyúrúd 2) dugattyúház 3) dugattyú 4) löketvégi fék

A *tárcsás dugattyús munkahengerek* mindkét irányba mozgathatók erőfejlesztés mellett. Ezeknek az EÁ-knak két változata ismeretes: az egyoldali és a kétoldali dugattyúrúd kivezetésű. Az egyoldalinál azonos nyomáson és térfogatáramon a dugattyú két különböző sebességgel mozog ki és be. A megegyező nyomófelületek miatt a kétoldalinál a sebességek egyformák.

A munkahengereknek harmadik nagy csoportját a *teleszkópos munkahengerek* alkotják. Ezeknél a munkateret egymásba helyezett egytengelyű hengerek alkotják, így az EÁ teljes lökete az elmozdulások összege lesz.

Összefoglalóként elmondható:

- üzemi nyomásuk a kialakításuktól függ (70–700 bar),
- szokásos sebességtartományuk 0.1-1 m/s, de megfelelő tömítéssel akár 0.001–10 m/s is lehet,
- élettartamuk hosszú,
- szennyeződés-érzékenységük függ a dugattyú tömítésétől és az üzemi nyomástól,
- zajszintjük minimális,
- áruk alapvetően a méretektől és kivitelétől függ,
- veszteségüket csak a tömítés által okozott súrlódásnak köszönhetik.



5.12. ábra

Hidraulikus munkahengerek osztályozása

5.1.2.3. Ingamozgású energiaátalakítók

Olyan EÁ, amely esetén a hajtott elem korlátozott szögelfordulást végez. Ezt általában két dugattyú segítségével lehet elérni, melyek fogaslécen keresztül felváltva hajtják egy tengelyt.

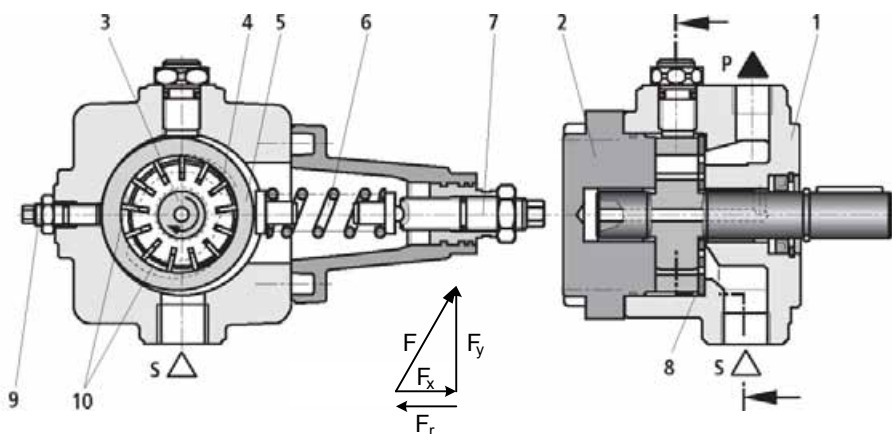
Előnye, hogy az egész lengési tartományban majdnem egyforma forgatónyomatékot fejt ki a tengely. Ennek ellenére kis jelentőségük van, és ritkán alkalmazzák őket (főleg kézi kompresszorként fordulnak elő).

5.1.3. Változtatható munkatérfogatú energiaátalakítók

A geometriai munkatérfogat változtathatóságának jelentősége igen nagy, mivel a térfogatáramok irányítása, irányváltása minimális veszteséggel végezhető el. A fennebb említett EÁ-k közül a csúszzólapátos és a dugattyús megoldások munkatérfogata változtatható, az álló és a mozgó rész excentricitásától függően, illetve az axiáldugattyús EÁ-k esetében a ferdetárcsa és a tengely közötti szög függvényében. Két csoportra oszthatjuk a változtatható munkatérfogatú EÁ-k sokaságát:

- belső vezérlésűek vagy önszabályzó egységek, melyeknél a folyadékáram a nyomóvezetékben levő nyomástól függ. Ezek lehetnek nyomásszabályozott és teljesítményszabályozott EÁ-k.
- külső vezérlésűek, ahol a hozam külső vezérlőjel (mechanikus, villamos, hidraulikus stb.) értékével arányosan változik.

A változtatható munkatérfogatú csúszzólapátos nyomásszabályozott szivattyú (5.13. ábra) működési elve megegyezik a nem változtatható típusával. Az állórészben (5) a forgórész (3) excentrikusan elnyomható a rugó (6) segítségével a kiinduló helyzetbe. Ez a maximális munkatérfogat annak a maximális excentricitásnak felel meg, mely egy csavarral (7) állítható be.



5.13. ábra

Csúszzólapátos nyomásszabályozó szivattyú (Bosch Rexroth)

A nagy nyomás a gyűrűt az F erővel felfele nyomja. Ha az F_x komponens nagyobb lesz, mint a rugóban előfeszített érték (7 csavarral), akkor az excentricitás csökken, ezzel együtt a munkatér is. Így a továbbított térfogatáram arra az értékre áll be, amely felhasználásra kerül. Ennek a megoldásnak létezik az elővezérelt

változata is, ahol a nagy üzemi nyomás miatt egy szelep nyitását vezéreljük a rugó erejével, majd az excentricitást a szelepen beáramló nyomás vezérli.

A ferdetárcsás és ferdetengelyes axiáldugattyús EÁ is kevésben térnek el a nem változtatható munkatérű társuktól.

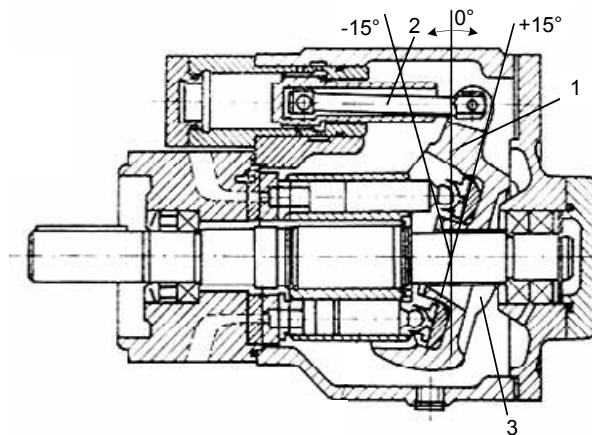
Az első esetben egy kar segítségével (mechanikus, villamos, hidraulikus működtetésű) a tárcsa dőlésszöge állítható. A módosítás a munkatér változását vonja maga után: a dugattyúk minimális és maximális térfogata közötti különbség változik.

Ennek megfelelően az **5.15. ábrán** feltüntetett ferdetengelyes EÁ tengelyének dőlésszöge változtatásával érhető el a munkatér fogat módosulása. A dugattyúval (2) a csapon (3) keresztül mozgatható a vezérlőlencse (1). A dőlésszög állításával módosítható a ferdetárcsás EÁ munkatere is (**5.14. ábra**). Hidromotorként használva ezeket az EÁ-kat csak bizonyos szögintervallumban lehet módosítani az állítható elemeket, mivel a tengelyirányú terhelés egyes esetekben önzáráshoz vezethet.

A munkatér fogatot direkt irányítással elég pontatlanul lehet beállítani, ezért erősítőfokozatok használata javasolt.

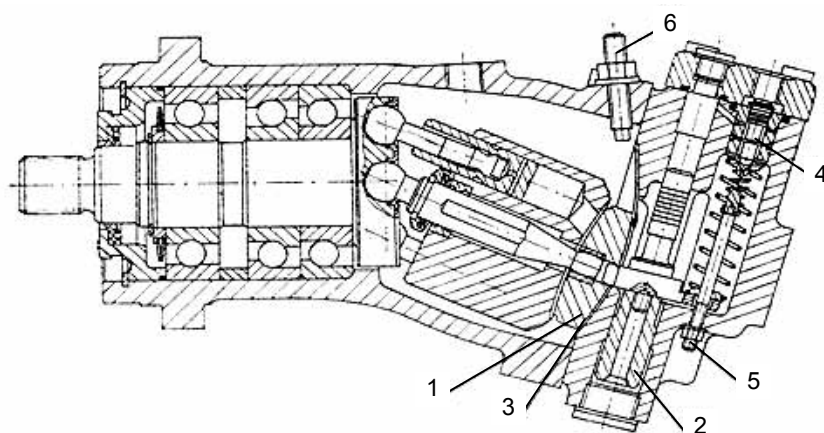
A mechatronikai megoldások itt is teret nyernek, mivel a szabályozás feladatát az elektronika veszi át. A nyomás és az állítódugattyú helyzetmérése is elektronikus úton történik, a jelfeldolgozás is egészében elektronikus. Ebből természetesen sok előny származik:

- a bonyolult mechanikai szerkezetek leegyszerűsödnek,
- a vezérlés rugalmassága,
- a stabilitás és pontosság megnövekedése.



5.14. ábra

Változtatható munkatér fogatú, ferdetárcsás axiáldugattyús energiaátalakító



5.15. ábra

Változtatható munkatérfogatú, ferdetengelyes energiaátalakító

5.2. Hidraulikus irányítókészülékek

A hidrosztatikus rendszerek fejlődésének részei az irányítókészülékek, melyek feladata az energiaátvitel jellemző paramétereinek (térfogathozam, nyomás) állítása. Ezeket a készüléke három nagy csoportba sorolhatók: nyomásirányító, áramirányító és útirányító készülékek.

Más szempont szerint osztályozva lehetnek *állítható* vagy *nem állítható* berendezések.

5.2.1. A nyomásirányítók

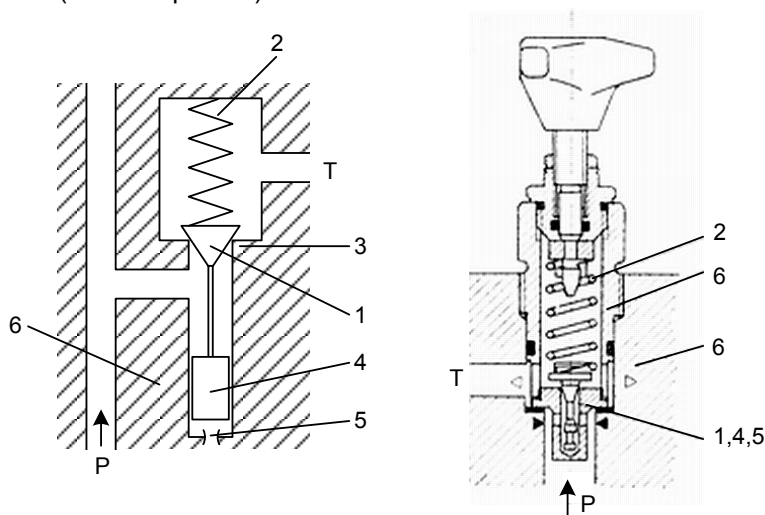
A nyomásirányítókat az különbözteti meg egymástól, hogy milyen nyomást és milyen nyomáskülönbséget, nyomásviszonyt tartanak állandó értéken. A szabályozott paraméter a megnevezésükben is jelen van:

- a bemeneten mért nyomást szabályozó elemek a *nyomáshatárolók*,
- a kimeneten mért nyomást szabályozó elemek a *nyomáscsökkentők*,
- a két ponton mérhető nyomások különbségét szabályozó elemek a *nyomás-különbség-állandósítók*,
- a két ponton mérhető nyomások arányát szabályozó elemek a *nyomásviszony-állandósítók*.

A nyomáshatárolók

Az egyszerű nyomáshatároló az **5.16. ábrán** látható. A rugó (2) az zárótestet (1) az ülékre (3) nyomja. Ha a munkafolyadék nyomása által a zárótestre kifejtett erő nagyobb, mint a rugó előfeszített ereje, a zárótest elmozdul a rugó irányában, megengedve, hogy a folyadék a T csatlakozón távozzon. Tehát a nyomáshatároló a hozzávezetett folyadék nyomását térfogatáram elvezetéssel korlátozza. Mint minden szabályzórendszernek, ennek is statikus és dinamikus hibája van, ezért a beállított nyomásnak egy kis ingadozása lesz.

A statikus hiba akkor következik be, ha a hozam változik, mert akkor a rugó összenyomódási foka is módosul. Ebből egy nem állandó rugóerő származik, amivel ellensúlyozni kell a nyomást. A dinamikus hiba abból adódik, hogy a tömeg-rugó együttes lengésre hajlamos rendszer. Ennek a fékezésére méretezett illesztéssel gyártott csillapítótollatlyút (4) és fojtóbetétet (5) használnak. Felépítésére vonatkozóan elmondható, hogy ahány gyártó, annyiféle megoldás született. Ezek közül az **5.16. ábrán** egy közvetlen vezérlésű nyomáshatároló látható, fészkes csatlakozású (furatba építhető) kivitelezésben.



5.16. ábra

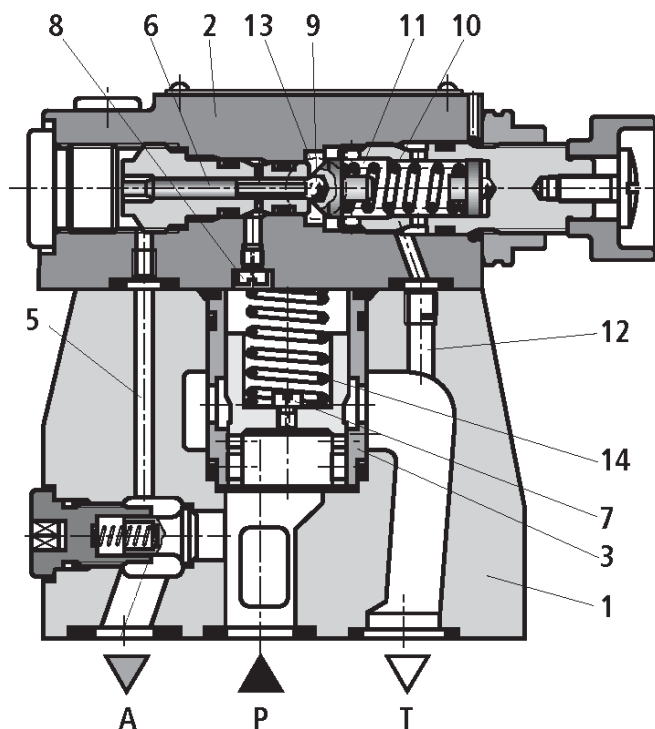
Közvetlen vezérlésű nyomáshatároló működési elve és metszete

Az előbb említett statikus hiba kiküszöbölése a következő eljárással lehetséges: ún. differenciális tolatlyú alkalmazása esetén, kis hatófelületének köszönhetően, a nyílás elzárásához kis rugóerőre van szükség, de nyitás után nagy lesz az átömlési keresztmetszet. Ennek a megoldásnak az elterjedését az a tény korlátozza, hogy növekedett dinamikai hibát vezet be.

Igen kedvezően kiküszöbölhető a statikus hiba hidrosztatikus elővezérléssel (5.17. ábra). Itt a dugattyú (3) nyugalomban van, csak a rugó nyomja az ülőkére. A vezetéken (5) a nyomás a záróelemet (9) a rugó ellenében mozdíthatja el. Ha ez megtörténik, akkor a folyadék a tartályba jut a (12) csatornán keresztül, és így a dugattyú mögötti nyomás csökken. Ekkor a nyomáscsökkentőbe beáramló folyadék nyomása nyitja a dugattyút (5), és a tartályba ömlik. Mivel a dugattyúhoz tartozó rugó aránylag gyenge, megnövekedett hozam esetén az erőváltozás elhanyagolható.

Nyomáscsökkentők

A nyomáscsökkentők a kimeneti nyomást tartják állandó értéken. Abban a pillanatban, amikor a bemeneti nyomás meghaladta az előre beállított értéket, a kimeneten a beállított érték jelenik meg mindaddig, amíg a bemenő nyomás vissza nem csökken bizonyos küszöbérték alá. Itt a visszacsatolás a kimeneti nyomásról történik, mivel az a szabályozott jellemző.



5.17. ábra

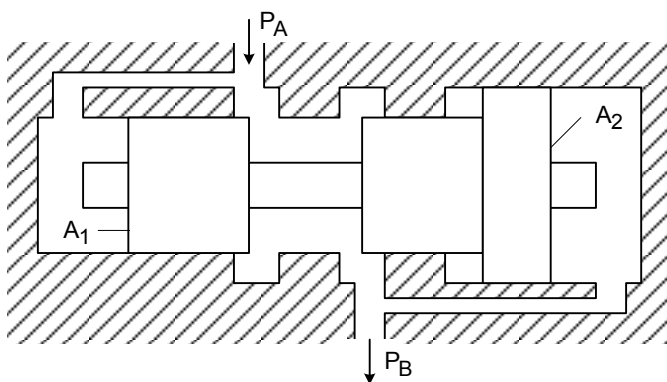
Elővezérelt nyomáshatároló metszete (Bosch Rexroth)

A nagyobb térfogatáramoknál itt is csaknem mindig elővezérelt nyomáscsökkentőt használnak (**5.19. ábra**). A folyadék a P és a P' csatlakozók között halad, illetve a szelepen (9) keresztül hat a rugóval (7) feszített záróelemre (8). Ha a P nyomás túlságosan megnő, akkor a záróelem nyit, és engedi a tolattyút (6) balra elmozdulni. Az így kialakult fojtó meggátolja a P csatlakozóból a folyadék átfolyását a P' -be. Ha a terhelés részéről nő meg a nyomás (P'), akkor az (5) élnél nyomja a tolattyút, és lehetősége van a folyadéktöbbletnek a T_A csatlakozón keresztül a tartályba távozni.

Nyomáskülönbség-állandósítók

A nyomáskülönbség-állandósítók, olyan szabályzórendszerek, melyek a hidrosztatikus rendszer két meghatározott pontján mért nyomások különbségét állandó értéken tartják, függetlenül a térfogatáram változásától, vagy a pontokban mért nyomások értékétől, amelyek zavaró jelként hatnak. Az **5.16. ábrán** feltüntetett vázlat attól vált nyomáshatárolóvá, hogy a kimeneti csatlakozót rákötöttük a tartályra, tehát környezeti nyomáson van. Bármely más felépítésben nyomáskülönbség-állandósító szerepét tölti be, viszont, egyes hidraulikus elemek csatlakozási pontjai közötti nyomáskülönbség tartására építhető be. Más jelentőségük nincs.

Nyomásviszony-állandósítók



5.20. ábra

Nyomásviszony-állandósító vázlata

Működési elve az **5.20. ábrán** tekinthető meg. A kimeneten mért nyomás a tolattyú megfelelő felületeinek viszonyától és a bemenő nyomástól függ:

$$\frac{p_A}{p_B} = \frac{A_2}{A_1} \quad (5.9)$$

Ezeknek a szelepeknek nincs komoly gyakorlati jelentőségük a hidrosztatikus rendszerekben, általában vezérlőnyomások biztosítására használják őket.

5.2.2. Az áramirányítók

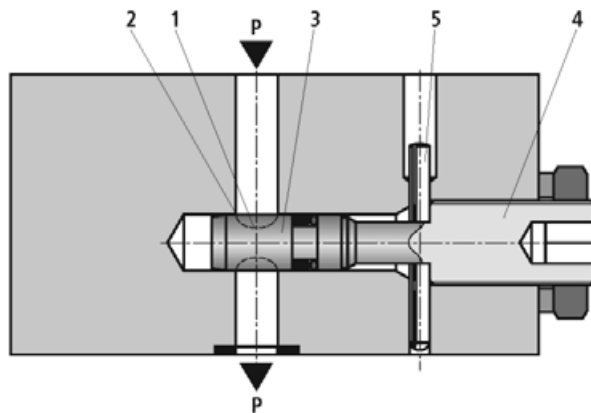
Az áramirányítók a munkafolyadék egységnyi időtartam alatt átáramló mennyiségét befolyásoló hidraulikus irányítókészülékek. Minden áramirányító hidraulikus ellenállás, és ennek nagysága függ az átömlési keresztmetszettől és ennek hosszától. A változtatható áramirányítók esetében a keresztmetszet mérete módosul, míg a viszkozitás-érzékenység kialakítására az ellenállás hosszát a lehető legkisebbre kell csökkenteni.

Az áramirányítókat három csoportba sorolhatjuk:

- *fojtók*, az áthaladó hozam mértéke függ a csatlakozókon mért nyomáskülönbségtől;
- *áramállandósítók*, a térfogatáram nem függ a nyomástól;
- *áramviszony-állandósítók*, az áramosztók terheléstől függetlenek.

Fojtók

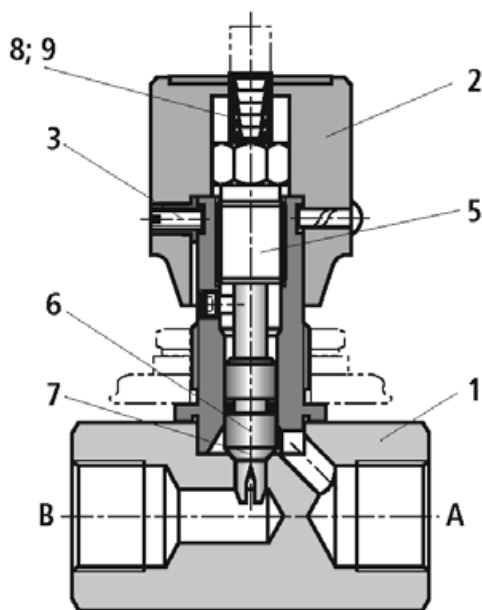
A fojtás mindkét irányban hat, viszont hatása irányonként különböző lehet. Az ellenállás értéke az átömlési keresztmetszettől függ. Gyakran szükséges a fojtás mértékének egy áramlási irányhoz való hozzárendelése.



5.21. ábra

Egy fojtó keresztmetszete (Bosch Rexroth)

Az **5.21. ábrán** a tolattyú (3) és a csavar (4) forgását egy csap (5) gátolja meg, és ennek következtében a fojtó tolattyúja (3) csak saját tengelye mentén tud elmozdulni. Az ábrán feltüntetett helyzetben a tolattyúban található furat (1) biztosítja a folyadék áthaladását. A hidraulikus elem jobb oldalán található csavar segítségével lehetőségünk van a tolattyút elmozdítani, aminek következtében a furat (1) és a ház pereme (2) fokozatosan elzárja a folyadék útját. Az **5.22. ábrán** a záróelemen keresztül (7) juthat el a folyadék az **A** bemenettől a **B** kimenetig. Ha egy átfolyási jelleggörbét szeretnénk megvalósítani, a záróelem (7) élének formája szükség szerint megválasztható. A csavar (2) forgatásával a központi tengelyt (6) tudjuk függőleges irányban állítani, így ez szabad utat enged a folyadéknak a záróelemen (7) keresztül.



5.22. ábra

Egy finom-fojtó keresztmetszete (Bosch Rexroth)

Áramállandósítók

Ezen berendezések tulajdonsága, hogy a csatlakozók nyomásától függetlenül tudják biztosítani a beállított hozamot. Ez egy nyomáskülönbség-állandósító és egy fojtó összekapcsolása (**5.23. ábra**). Az ábra szerint fel lehet írni a tolattyúra a statikus egyensúlyi egyenletét:

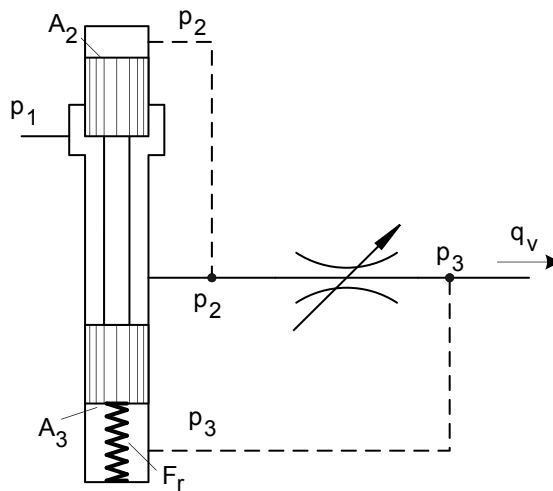
$$p_2 A_2 = p_3 A_3 + F_r, \quad (5.10)$$

ahonnan gyártási feltételként tudjuk, hogy $A_2 = A_3 = A$:

$$p_2 - p_3 = \frac{F_r}{A} \approx \text{állandó}, \quad (5.11)$$

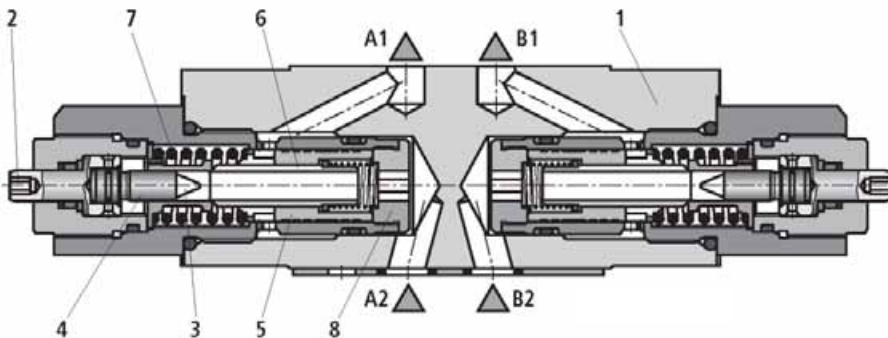
$$q_v = k\sqrt{p_2 - p_3} \approx \text{állandó}. \quad (5.12)$$

Gyakorlati megvalósítása megfigyelhető az **5.24. ábrán**, ahol a fojtás (3) előtti nyomás (5.23. ábra jelölése szerint p_2) a tolattyú (8) előtt jelenik meg, míg a ki-meneti nyomás (p_3) a tolattyú (5) és a rugó (7) között van jelen.



5.23. ábra

Az áramállandósító vázlata



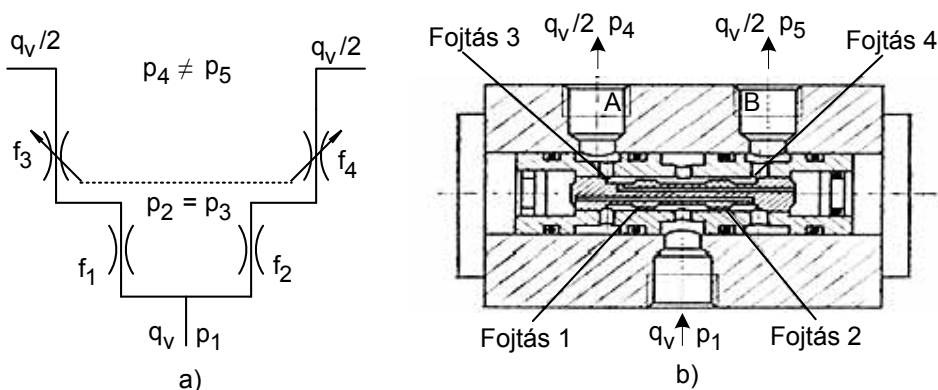
5.24. ábra

Egy két elemet tartalmazó áramállandósító egység metszete (Bosch Rexroth)

Áramviszony-állandósítók (áramosztók)

Ezzel a hidraulikus elemmel két vagy több párhuzamos körfolyam hozamának meghatározott viszonyát tarthatjuk fenn. Az osztást végző elem két vagy több fojtó, melyek ellenállásának aránya megegyezik a fenntartandó térfogatáram arányával.

Mivel az említett arányt különböző terhelés mellett tartani kell, a rendszerben található egy szabályzó tolattyú is, amelynek feladata a nyomáskülönbség-állandósítás a fojtóelemeken. Egy áramosztó vázlatát és metszetét az **5.25. ábrán** figyelhetjük meg. Itt egyes fojtók (1 és 2) állandó karakterisztikával rendelkeznek, míg mások (3 és 4) változtatható keresztmetszetű fojtók lesznek. A tolattyú akkor van nyugalomban, ha a p_2 és p_3 kiegyenlítik egymást, és minden más esetben ez elmozdul, míg a változó keresztmetszetek vissza nem állítják ezt az egyensúlyt. Ugyanaz az elv figyelhető meg az áramállandósító esetében is, itt viszont a két állandó fojtóra azonos nyomáskülönbség jut.



5.25. ábra

Az áramosztó vázlat (a) és metszete (b)

5.2.3. Útirányítók

Az útirányítók elnevezés a munkafolyadék útvonalának változtatására vagy útirányának biztosítására alkalmas hidraulikus készülékek gyűjtőneve. Három típust különböztethetünk meg: visszacsapószelep, vezérelt visszacsapószelep és útváltó.

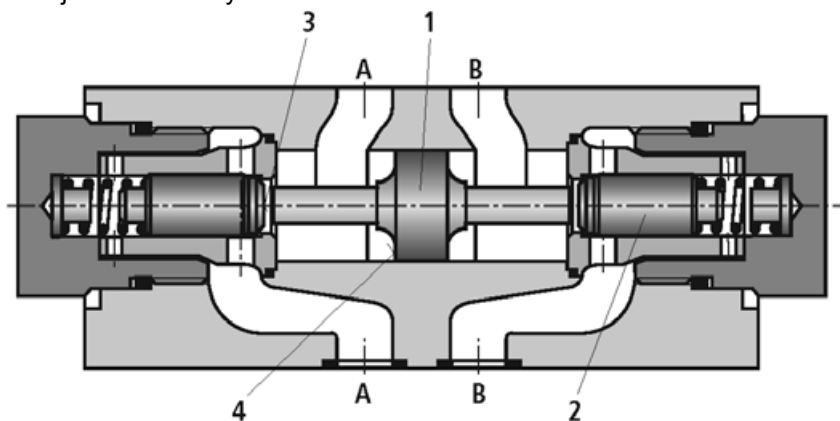
5.2.3.1. Visszacsapószelep

Azok az útirányítók tartoznak ide, melyek a folyadék áramlását csak egy irányba teszik lehetővé. A szivárgásmentes zárást egy golyó vagy kúp végzi. Elvi megoldása megegyezik az **5.16. ábrán** látható vázlattal, ahol a folyadék csak a **P** vezeték-ből közlekedhet a **T** fele, elmozdítva a zárókúpot. Nyitónyomása, alkalmazástól függően, 0.5-5 bar között található, és ebben a tartományban nyomásirányítóként is alkalmazható különböző védelmi feladatokra (szűrő-, hűtőberendezések védelme).

5.2.3.2. Vezérelt visszacsapószelepek

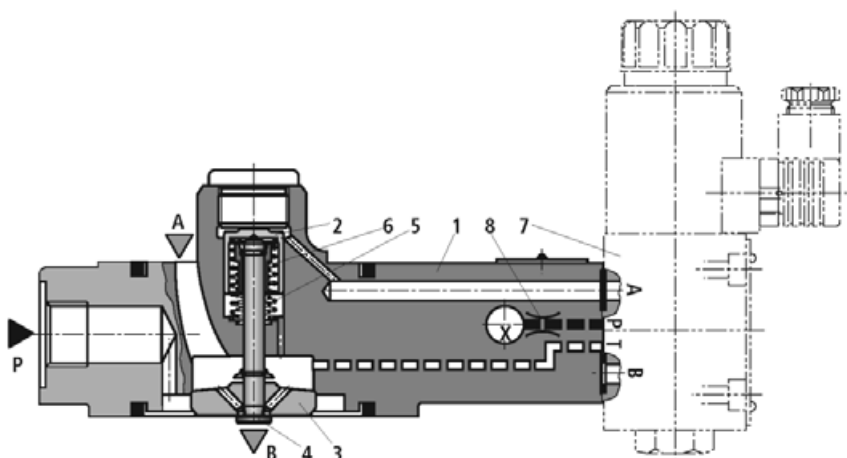
Olyan visszacsapószelepek, melyek vezérlőjelre a folyadék záró irányú áramlását is lehetővé teszik. Az előzőkben bemutatott elemhez képest ezt egy nyitódugattyú beépítése teszi vezérelhetővé. Tekintsük az **5.26. ábrát**, melyen fentről lefele (az A–A és a B–B útvonalon) szabadon áramlik a folyadék. A lentől felfele áramlást csak akkor lehet megvalósítani az egyik útvonalon, ha a dugattyú (1) másik oldalán nagyobb nyomás uralkodik. Ebben az esetben a tolattyú elnyomja a záróelemet (2), és így szabaddá teszi az utat.

A vezérelt visszacsapószelepeknek töltőszelep alkalmazása is lehet. Az **5.27. ábra** szerint a jobb oldalról érkező **A** vezérlő a rugó (6) mögé kerülve nyitja a folyadék útját a **B–A** irányba.



5.26. ábra

Kettős vezérelt visszacsapószelep metszete (Bosch Rexroth)



5.27. ábra

Töltőszelep metszete (Bosch Rexroth)

5.2.3.3. Az útváltók

Az útváltó különböző útvonalakat nyit meg és zár le a munkafolyadék számára. Az útváltókat a csatlakozó nyílások száma szerint, és a működési helyzetek száma szerint különböztetjük meg (pl. 2 utas, kétállású útváltó jelölése 2/2).

Az útváltókat beavatkozó elemük szerint különböztethetjük meg:

- szelepes (ülékes) útváltó, a beavatkozó szerv a záró felületre merőlegesen mozdul el;
- tolattyús útváltó, a beavatkozó szerv a záró felületre párhuzamosan mozdul el;
- csapos útváltók, zárófelületük tengely körül forog.

Ülékes útváltók

Szivárgásmentes zárással tűnnek ki az útváltók közül. Az **5.28. ábrán** a zárótest (4) egy golyó (de lehet egy kúp is), melyet a rugó (8) az ülésre nyom. A golyót tartó tengelyt az emelő (5) elmozdíthatja a rugó ellenébe, míg nem ütközik megint, és ekkor az **A** és **T** csatlakozó van összeköttetésben. Megfigyelhető, hogy a tolattyú bal oldala mindenkor összeköttetésben van a **P** csatlakozón levő nyomással (kiegyenlítően a jobb oldalon levő ugyanazt a nyomást), hogy az emelő csak a 2 rugó ellenében dolgozzon. Kapcsolás esetén a készülék mindhárom csatlakozása összeköttetésbe kerül, tehát negatív túlfedésű az ülékes útváltó. Ennek ellenére a szivárgásmentes zárással nagy nyomású folyadék irányítására alkalmas (akár 630 bar).

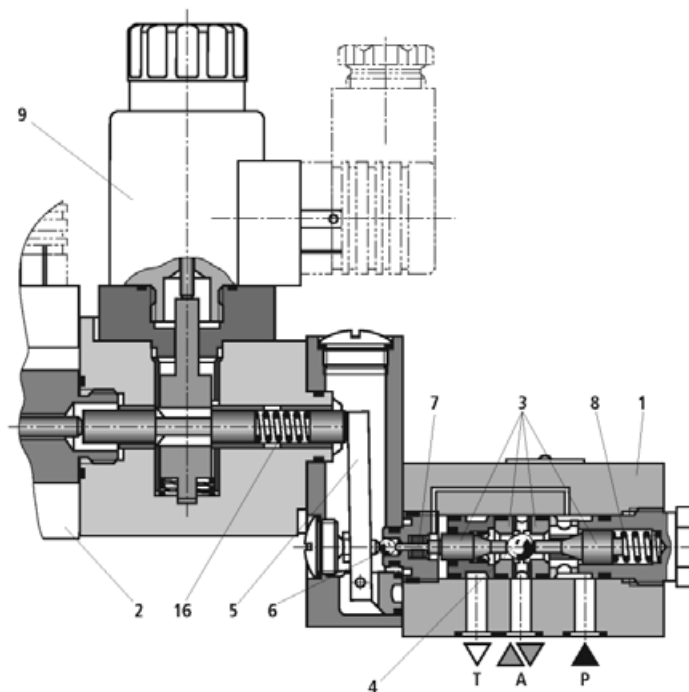
Tolattyús útváltók

A legelterjedtebb útváltótípus. Ez annak köszönhető, hogy egyszerű tolattyús megoldással olyan többutas és többállású útváltók hozhatók létre, melyek majdnem minden irányítási igényt kielégítenek.

Egy kézi működtetésű háromállású, négyutas (4/2) útváltó szerkezete látható az **5.29. ábrán**. A tolattyúk kialakítása határozza meg, hogy az egyik helyzetből a másikba való mozgás során melyik csatlakozások kerülnek összeköttetésbe.

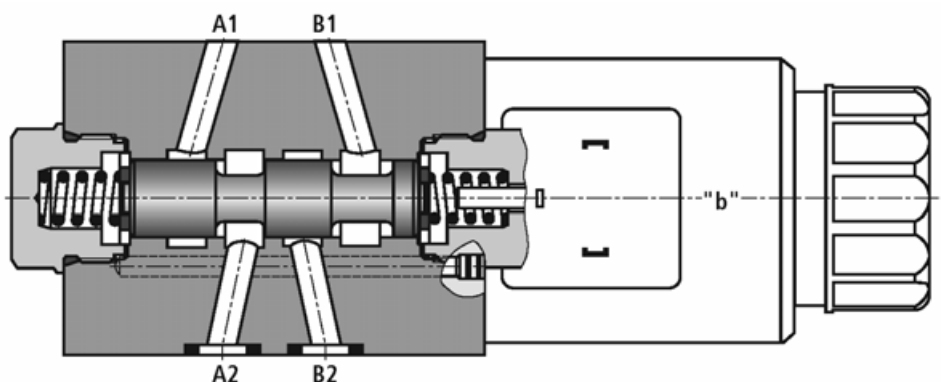
Itt már kialakítható negatív, pozitív és nulla túlfedés (**5.30. ábra**):

- Ha $x_1 < x_2$, akkor pozitív túlfedésről beszélhetünk – két csatlakozó között az összeköttetés egyszer megszűnik, majd ez után létesül az új kapcsolat.
- Ha $x_1 > x_2$, akkor negatív a túlfedés –, mint az üléses útváltó esetén, az összes csatlakozó összeköttetésbe kerül kapcsolás közben.
- Ha $x_1 = x_2$, akkor nulla a túlfedés – egy időben létesül, és szűnik meg a kapcsolat.



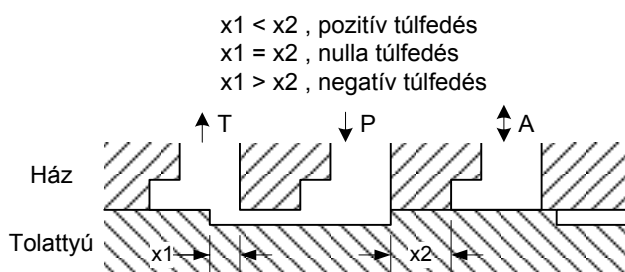
5.28. ábra

Az üléses útváltó alkalmazása (Bosch Rexroth)



5.29. ábra

A 4/2 tolattyús útváltó (Bosch Rexroth)



5.30. ábra

A túlfedés meghatározása

A tolattyú működtetését mechanikus-, villamos-, hidraulikus stb. úton lehet megoldani. Mivel a vezérlőrendszereket nagyrészt elektromos úton oldják meg, a villamos működtetésű útváltókat előnyben részesítik. A tolattyút elektromágnesek segítségével mozdítják ki kezdeti helyzetéből, melybe általában rugók állítják vissza. A mágnesek lehetnek egyenáramú vagy váltóáramú mágnesek. Az egyenáramú mágnes nagyon üzembiztos, hosszú élettartamú (10^6 - 10^7 kapcsolás), nagy kapcsolási frekvencia lehetséges ($2-3\text{ s}^{-1}$), és lágyabb kapcsolást eredményez. A váltóáramú mágnes gyors kapcsolási idejével tűnik ki, viszont ha működés közben elakad, a nagy áramfelvétel miatt a tekercs leégphet. Jobb teljesítmény elérése végett a mágneseket olajban kell működtetni, ez védi a fém alkatrészeket és csökkenti a súrlódást mozgás közben.

Nagyobb nyomású folyadékok esetén erősítőfokozat használata szükséges. Hidraulikus erősítő céljára megfelel egy kisebb névleges méretű útváltó is

- belső vezérlőáram-bevezetésű (a vezérlőáram a **P** bemenetről van leválasztva)
- külső vezérlőáram-bevezetésű (a vezérlőáram külön csatlakozóval rendelkezik)
- belső vezérlőáram-elvezetésű (a vezérlőáram a **T** kimenetre van kötve)
- külső vezérlőáram- elvezetésű (a vezérlőáram külön elvezető csatlakozóval rendelkezik)

Egy hidraulikus-elővezérelt útváltó metszete (Bosch Rexroth)

5.2.4. Arányos- és szervokészülékek

A komplex irányítási feladatok akkor valósíthatók meg, ha a hidraulikus elemek együttműködnek a villamos irányítással. Fogadni tudják az elektromos jeleket, amelyeket érzékelők, információ feldolgozók továbbítanak, és az így érkező utasításokat, a feladat által megkívánt teljesítményszinten hajtják végre. Ezt a feladatot hivatottak teljesíteni az arányos- és szervokészülékek.

E két típus közötti eltérés a műszaki paraméterekben van. Az arányos-készülékek nagyságrenddel nagyobb bemenőjelet igényelnek, frekvenciaátvitelük rosszabb. Tehát kijelenthető, hogy az arányoskészülékek gyengébb műszaki paraméterekkel rendelkező szervokészülékek.

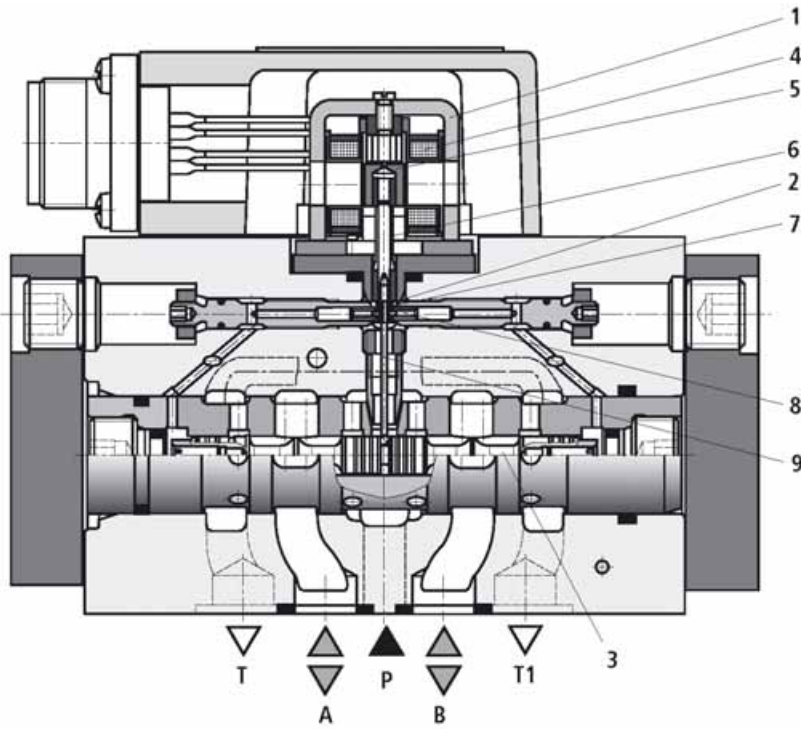
Ez a gyengébb minőség viszont az igényekhez való alkalmazkodás eredménye, mivel sok esetben a feladat végrehajtására elegendő, egy árában és igényeiben (szűrés, villamos zavarok, stb.) lényegesen kedvezőbb készülék.

Ezt a különbséget figyelembe véve, az elkövetkezőkben csak a szervokészülékek felépítését mutatjuk be.

A hidraulikus (rendszerint elektrohidraulikus) szervokészülékek több fokozatú hidraulikus erősítők, amelyekkel a nyomás, folyadékáram nagy pontosságú, analóg irányítása végezhető el.

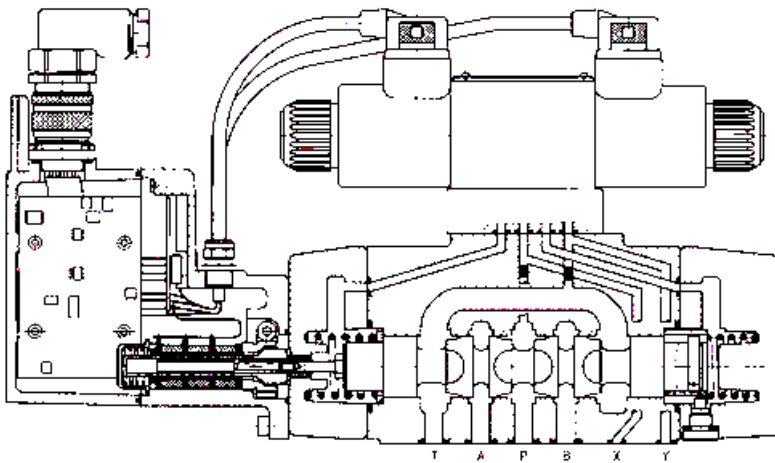
A bemenőjel kézi vagy villamos jel, míg a kimenő mennyiség a nyomás vagy a hozam. Ezek mindig arányosak a bemenőjellel, és torzítás nélkül követik a nagy frekvenciájú változást is. A kedvező frekvenciaátviteli tulajdonságuk miatt a fűvókás erősítők (sugárcsőves beavatkozók) terjedtek el. Ennek két változata van, melyek közül az első alkalmazása kapott nagyobb hangsúlyt: a torlólap mozog, míg a sugárcső áll (**5.32. ábra**), a másik változatban ez fordítva valósul meg. Mivel ezek viszonylag kis teljesítményerősítésre képesek, gyakran kiegészülnek tolattyús erősítővel is.

A **P** csatlakozón beáramló folyadék egy része végzi az útváltó vezérlését. A nagynyomású folyadék elhalad a torlólap (9) mellett, és a sugárcsőekben (7) kétfele távozik az útváltó tolattyújának (3) jobb és bal oldalára. Hogy a folyadékáram miként oszlik meg, az a torlólap és a sugárcsővek relatív helyzetétől függ. A tekercs (4) mágneses terének szabályozásával a torlólap felső felét (5) kimozdíthatjuk. Ennek következtében a torlólap az egyik sugárcsőtől távolodik, míg a másikhoz közeledik. Így a sugárcsőveken elvezetett folyadékmennyiség nem lesz egyenlő, tehát nyomáskülönbség lép fel a tolattyú (3) két oldalán, ami ennek elmozdulásához vezet.



5.32. ábra

Szervoszelep metszete fúvókás erősítővel (Bosch Rexroth)



5.33. ábra

Elektromos visszacsatolású szervoszelep (Bosch Rexroth)

Mivel nyitott hatásláncban irányítjuk a torlólapot, ezt sok tényező befolyásolhatja. Ennek kivédésére mechanikus- vagy villamos visszacsatolás alkalmazható. Az **5.32. ábrán** mechanikus, míg az **5.33. ábrán** villamos visszacsatolás látható. A mechanikus, negatív visszacsatolást egy laprugó segítségével oldjuk meg, melyet a torlólap és a tolattyú közé helyeznek el. A visszacsatolandó mennyiség a rugóban a kimozdulás miatt keletkező erő, mely a vezérlőjelet egyenlíti ki. Ha villamos érzékelővel fogjuk fel a tolattyú helyzetét, akkor az így keletkezett jel a rendelkező jellel elektromos úton hasonlítható össze.

5.3. Kiegészítő szerelvények

Azok a különböző hidraulikus elemek, melyek csak közvetve vesznek részt az energiaátvitelben, illetve a munkafolyadék tisztaságát, homogenitását vagy viszkozitását biztosítják, a kiegészítő szerelvények gyűjtőnevet viselik. Ezeket feladatkörük alapján csoportosítjuk:

- munkafolyadék-tárolók,
- hőcserélők,
- szűrők,
- mérő-, ellenőrzőelemek,
- hidraulikus hálózati elemek.

5.3.1. A munkafolyadék-tárolók

Azon hidraulikus elemeket, melyek a hidraulikus körben a munkafolyadék tárolására alkalmasak, munkafolyadék-tárolóknak nevezzük. Két főcsoportjuk van: tartályok és hidroakkumulátorok.

Tartályok

A tartályokban a munkafolyadékot atmoszférikus vagy ahhoz közeli értéken tároljuk, és a tartályok fő paramétere a névleges térfogatuk. Ennek a megállapításakor, figyelembe kell venni a fogyasztóktól és a munkaciklusoktól függő térfogatáram-ingadozásokat, valamint azt, hogy a külső szivárgó áram is innen pótlódik.

Hidroakkumulátorok

Olyan munkafolyadék-tárolók, melyek nyomás alatti folyadékot tárolnak, tehát energiát is. A rendszerben feladatuk sokoldalú:

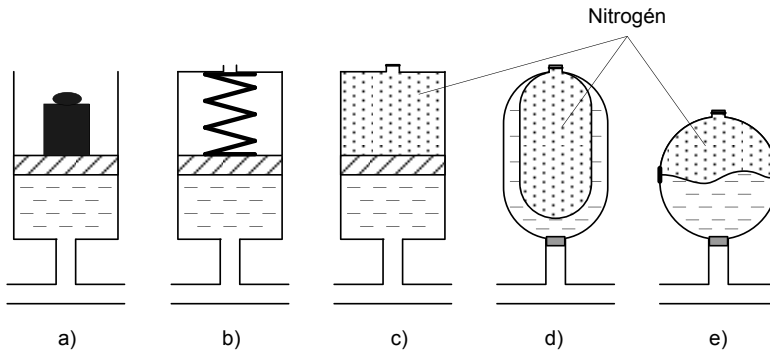
- rásegítő munkafolyadék-forrás,
- kiegészítő energiaforrás,
- szivárgóáram kiegyenlítője,
- térfogatkiegyenlítés hőmérsékletingadozás esetén,
- nyomáscsúcsok megszüntetése.

Különböző kialakítású akkumulátorokat lehet megkülönböztetni (5.34. ábra).

A *rugós* és a *súlyterhelésű* hidroakkumulátorok ipari szempontból kis jelentőségűek. Ezzel ellentétben a *gázpárnás* akkumulátorok nagyon elterjedt használatnak örvendenek. A munkatér fölött található gáz összenyomása és kiterjedése teszi lehetővé a munkafolyadék rendszerből való elszívását és visszanyomását. Három változata ismeretes. A *dugattyús* megoldás esetén a munkatér és a gáz között egy dugattyú található. Ezt a típust nagy térfogatok és hozamok esetén szokták használni, és a gáz minimális és maximális nyomásviszonya 1:10.

A *membrános* akkumulátor elválasztó eleme egy rugalmas lemez. Kis térfogatok esetén használják őket csillapítási feladatokra. Ebben az esetben is a min. max. nyomásviszony 1:10.

A *tömlős* gázpárnás akkumulátor esetében egy tömlő van a gáz és a munkafolyadék között. A tömlőbe zárt gáz gyorsan, szinte tehetetlenség nélkül dolgozik. A nyomásarány viszont 1:4.



5.34. ábra

Hidroakkumulátorok típusai

a) súlyterhelésű b) rugós c) dugattyús d) tömlős e) membrános

5.3.2. A hőcserélők

A hőcserélő olyan berendezés, mellyel a munkafolyadék hőmérséklete és viszkozitása rendeltetés szerint változtatható. Két fő típusa van: melegítő és hűtő berendezés.

A melegítő olyan hőcserélő, aminek a segítségével a munkafolyadék hőmérséklete növelhető. Általában indításkor használják, ha a kis környezeti hőmérsékletre a folyadék lehűl, és viszkozitása túl nagy lesz. A legelterjedtebb a villamos fűtőpatronok tartályba való elhelyezése, de vigyázni kell, hogy a melegítő közvetlen közelében ne melegedjen túl a folyadék, mert az kátrányképződéshez vezethet.

A hűtők akkor kerülnek használatba, ha a teljesítményvesztés miatt a folyadék hőmérséklete megnő. A hűtésnek két típusa különböztethető meg.

A *léghűtéses hőcserélő* esetében a folyadék egy ventilátorral hűtött csőkégyőn folyik a tartályba. Előnye, hogy a hűtőközeg (a légköri levegő) majdnem mindenhol rendelkezésre áll, viszont a ventilátor zaja nagy teljesítmény esetén zavaró lehet.

A *vízűtéses hőcserélő* berendezésben vagy a vizet, vagy a folyadékot hűtőkégyőben vezetjük, míg a munkafolyadék, illetve a víz a kigyó körül áramlik. Hűtőteljesítménye nagyobb, mint a levegős megoldásé, de működése hűtővíz jelenlétéhez kötött, amelyet zárt rendszerben vissza kell majd hűteni.

5.3.3. A szűrők

A szűrő olyan hidraulikus elem, amely az átáramló munkafolyadékot a szilárd szennyeződés leválasztásával tisztítja. Jelentőségük igen nagy, mivel a rendszer megbízhatósága a munkafolyadék tisztaságán alapul. A szűrést több tényező befolyásolja:

- a szennyező részecskék jellege (méret, alak),
- a szennyező részecskék száma,
- a munkafolyadék áramlási sebessége egyes elemekben,
- a rendszer nyomása és a nyomáscsökkenések,
- illesztések, szerkezeti tulajdonságok.

A szennyeződés mennyisége és mérete között bizonyos összefüggés van, ezek jellemzik a folyadék szennyezettségi fokát. A szűrők jellemző értéke az abszolút szűrési finomság, amely alatt a legnagyobb gömb alakú részecske átmérőjét értjük (μm -ben mérve), amely még áthaladhat a szűrőn. Egy másik jellemző a névleges szűrési finomság, az a szemcseméret, amelyből a szűrő 90%-t leválaszt.

A szűrők többsége betétes szűrő, és a betét elemi rései, pórusai választják le a szennyeződéseket. A betét típusa szerint lehet:

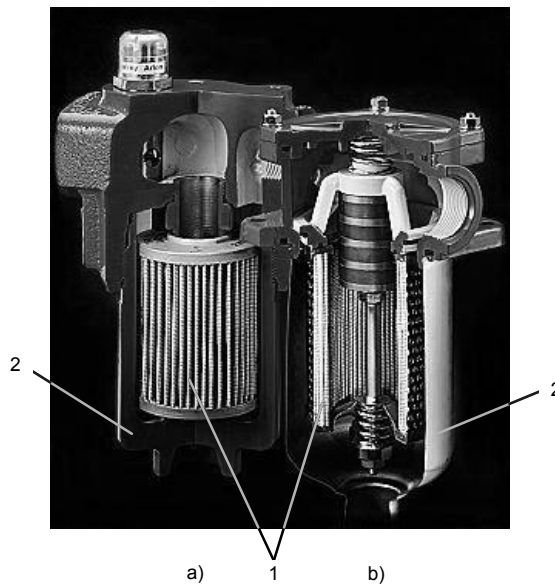
- résszűrő – a nyílások rés alakúak,
- szitaszűrő – az elemi átáramlási keresztmetszetek a szitaszövet nyílásai,
- póruszűrő – likacsos szerkezetű anyag pórusai szűrik a folyadékot.

A felsorolt betétes szűrők mellett, ismeretesek az erőteres szűrők, amelyekben a szennyeződés valamilyen erőter hatására (mágneses erőter, gravitáció) válik ki a munkafolyadékból.

A szűrők elhelyezése szerint három csoportot említhetünk: a szívóági szűrők, a nyomóági szűrők és a visszafolyó ági szűrők csoportjait.

Az **5.35.ábrán** két típusú szűrőt tüntettünk fel, és a betéteken (1) kívül különbséget figyelhetünk meg a két szűrő felépítésében is. Az **5.35.a ábrán** bemutatott hidraulikus elem esetében a betétcseré a betéttartó/szennyelefogó (2) lecsavarásával lehetséges, míg az **5.35.b ábrán** levő szűrő esetén a betétet fentről kell kicserélni. Ez a különbség meghatározza a folyadék haladási irányát is. Az a) esetben a folyadék a szűrőn kintről befele halad, így szennyeződések a pohárban rakódnak le, amit majd el lehet távolítani. A b) esetben a folyadék a szűrő belsejéből kifele folyik, így a szennyeződések el lehet távolítani a szűrővel együtt. A szűrők falának vastagságából arra lehet következtetni, hogy az a) esetben egy nyomóági szűrő, míg a b) esetben egy visszafolyó ági szűrőt ábrázol a felvétel. A szítaszűrők általában durva szűrőkként használatosak inkább szívóágon vagy pedig nyomóági előszűrőként.

A karbantartás megkönnyítése miatt helyezték üzembe az ikerszűrőket, ahol az egyik szűrő cseréje előtt egy útváltó segítségével a folyadék átirányítható a másik szűrőre.



5.35. ábra

Egy póruszűrő (a) és szítaszűrő (b) felépítése (Parker)

A felsorolt típusokon kívül, még meg kell említeni a *betöltő*- és a *levegőztető* szűrőket. Az elsőt a rendszer feltöltése vagy utántöltése esetén használjuk, míg a második a tartályon helyezkedik el, hogy a beáramló levegőt tisztítsa.

Mivel idővel a szűrők eltömődhetnek, nagy nyomásesés léphet fel rajtuk. A rongálódás elkerüléseért biztonsági intézkedéseket kell foganatosítani (pl. a betét két oldala rövidre zárható egy előfeszített visszacsapószeleppel, amely a beálított nyomáskülönbség értékének túllépése esetén nyit, így a folyadék kikerüli a szűrőt).

5.3.4. Mérő- és ellenőrzőelemek

Információszerzés céljából a hidraulikus rendszert is különböző mérő- és ellenőrzőelemekkel kell felszerelni. A legfontosabb mennyiségek, amelyeket mérni kell: a nyomásérték, a munkafolyadék hőmérséklete és a munkafolyadék szintje a tartályban.

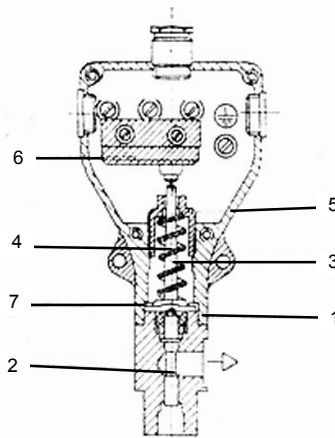
A hidraulikus rendszerek nyomását a rugalmas alakváltozás elvét felhasználó nyomásmérővel ellenőrizzük. Pl. egy csőrugó alakítja át – fogasív, fogaskerek és mutató segítségével – olvasásra a nyomás értékét. Vigyázni kell, hogy túlterhelés rövid időre se lépjen fel, mert az említett csőrugó rugalmatlan alakváltozást szenvedhet, így, egy már csillapított nyomásmérőt, vagy egy nyomásmérő-elzárócsapot kell használni. Ez utóbbi nem más, mint egy rugós útváltó, aminek a segítségével időszakosan ellenőrizni lehet a rendszer nyomását. Alaphelyzetben a mérőórát a tartállyal, majd működtetés közben a rendszerrel köti össze, majd a beépített rugónak köszönhetően visszatér kezdeti helyzetébe.

A nyomás mellett leggyakrabban a folyadék szintjét kell ellenőrizni a tartályban. A legegyszerűbb megoldás a folyadékállás-mutató használata. Üvegablakon keresztül közvetlenül, vagy üvegcső segítségével, a közlekedő edények törvénye alapján, olvasható le a munkafolyadék szintje. A rendszer automatizálhatóságát növelik a villamos jeleket szolgáltató szintmérőberendezések. Az érzékelők lehetséges típusai közül megemlíthetők: a higanykapcsolók, induktív, kapacitív, elektromágneses, stb. érzékelők.

Ritkábban ellenőrzött, de nem elhanyagolható, paraméter a munkafolyadék hőmérséklete. Legegyszerűbben a folyadéktöltéses hőmérővel történhet meg, de anyaguk miatt (üveg) nem lehet ipari környezetben biztonságosan használni. Ezenkívül használható még drágább, villamos jeleket szolgáltató készülék is (bimetál, ellenállás-hőmérő), mely könnyen bekapcsolható az automatizált körfolyamatba.

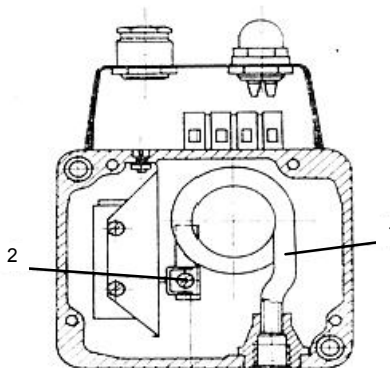
A nyomáskapcsoló olyan jelátalakító, mely a nyomás egy vagy több értékénél villamos jelet ad, vagy szakít meg. Ezt a jelet működtetésre, letiltásra, riasztásra

stb. lehet használni. Az **5.36. ábrán**, ha a beáramló nyomás legyőzi a rugó beállított erejét, akkor a dugattyú kapcsolja a mikrokapcsolót (6). Ennek a károsodása kivédhető vállak (7) beépítésével, mivel ez mechanikusan korlátozza a dugattyú elmozdulását. Egy csőrugó használatakor (**5.37. ábra**) védelmi megfontolásból szintén mechanikai ütközőt kell beiktatni. Ezeknek a készülékeknek az esetében hiszterézis figyelhető meg, tehát különböző értékeken kapcsol be és ki a készülék. Az csőrugó esetén kisebb ez az említett különbség, mint a dugattyús megoldásoknál. Egyes kivitelezésben az alsó és felső határ értéke külön-külön beállítható.



5.36. ábra

A dugattyús nyomáskapcsoló metszete



5.37. ábra

A csőrugós nyomáskapcsoló metszete

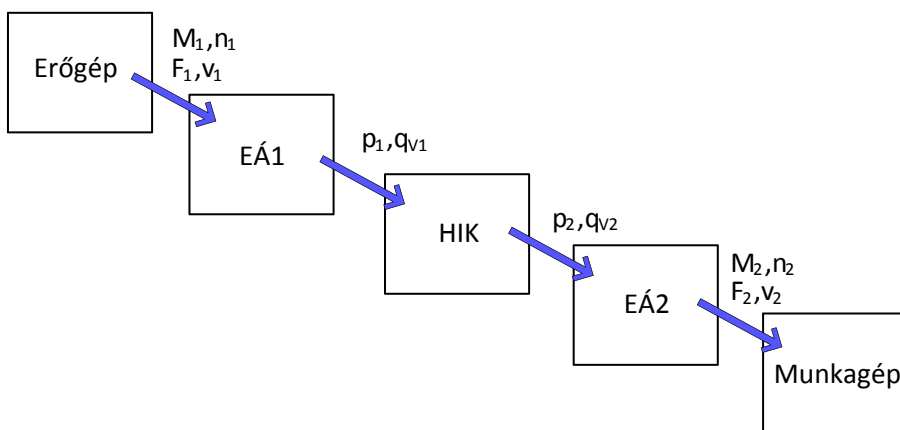
5.4. A hidraulikus körfolyamok alapkapcsolásai

A rendszer feladata, hogy műveleteket végezzen információn, energián, anyagon, valamely hivatkozási időn belül, miközben információt, energiát, anyagot szolgáltat. A hidrosztatikus rendszerek is eleget tesznek ennek a meghatározásnak, azzal a sajátossággal, hogy az energiaátalakítás hidrosztatikus úton megy végbe, az energia irányítása pedig hidraulikus vezérlőelemekkel történik.

A hidrosztatikus rendszer vagy hajtás az **5.38. ábrának** megfelelően vázolható fel. Az erőgép által szolgáltatott mechanikai teljesítményt (nyomaték, fordulatszám vagy erő, sebesség) az energiaátalakítók, a nevüknek megfelelően, hidraulikus teljesítménnyé változtatják. Ez a teljesítmény nem más, mint a hidrosztatikus rendszer fő paramétereinek (nyomás és térfogatáram) szorzata:

$$P_h = p_1 \cdot q_{V1} \quad (5.10)$$

Ezek után a hidrosztatikus energián a különböző irányító hidraulikus elemekkel változások alkalmazhatók. Az energia típusa nem változik, továbbra is hidrosztatikus energia marad, de módosulnak paraméterei (p_2, q_{V2}). Ezt közvetlen módon nem tudja a munkagép hasznosítani, ezért az energiának egy újabb átalakuláson kell átmennie: újra mechanikai energia nyerődik az energiaátalakítók használatával.



5.38. ábra

Hidrosztatikus hajtás energiaátviteli ábrája

A hajtómű általában a mozgásokat és nyomatékokat átalakító szerkezetek gyűjtőneve. A hidraulikus hajtás is sikeresen betöltheti a forgómozgás linearizálását

vagy a fordulatszám módosítását, tehát jogos a hajtás elnevezés. Az ilyen egyszerű feladatok elvégzésére viszont rendkívül kis hatékonysággal rendelkezik a kétszeres energiaátalakítás miatt. Csak akkor válik gazdaságossá az üzemeltetése, ha a rendszerrel szemben magasabb követelményeket állítunk:

- a) *A hidrosztatikus hajtás szabályozható legyen.* – A bemenő n_1 fordulatszámtól és v_1 sebességtől függetlenül, egyszerű megoldásokon keresztül, az n_2 és/vagy v_2 változtatható legyen, a negatív és pozitív maximális értékek között.

$$\begin{aligned} -n_{2\max} &\leq n_2 \leq n_{2\max} \\ -v_{2\max} &\leq v_2 \leq v_{2\max} \end{aligned} \quad (5.11)$$

- b) *A hajtást ne lehessen túlterhelni.* – A kimeneten kifejthető F_2 erő és M_2 nyomaték a mindenkor F terhelőerőnek és M terhelőnyomatéknak megfelelő legyen.

$$\begin{aligned} F &\leq F_{2\text{megengedett}} \\ M &\leq M_{2\text{megengedett}} \end{aligned} \quad (5.12)$$

- c) *Egy időben több munkagép üzemeltetése legyen lehetséges.* – egy rendszeren belül független irányíthatósággal.

- d) *A hajtás jó hatásfokkal üzemeljen:*

$$\eta = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{befektetett}}} \rightarrow 1 \quad (5.13)$$

- e) *Az energiaátvitel irányítása egyszerű, könnyen kezelhető legyen.* – csatlakoztathatók legyenek egyéb szabványos jelátviteli rendszerhez, automatizálható legyen.

- f) *A hidrosztatikus hajtás megbízható kell legyen.* – A rendszernek és egyes elemének az előírt időtartamon belül megbízhatóan kell üzemelnie, feladát hibátlanul kell teljesítenie.

Ezek a követelmények körfolyamtól függően eltérően teljesülnek, ezért a további vizsgálat célja, hogy hogyan lehet a megfelelő elemeket összekapcsolni, hogy a fenti feltételek megvalósuljanak.

5.4.1. Hidraulikus körfolyamok

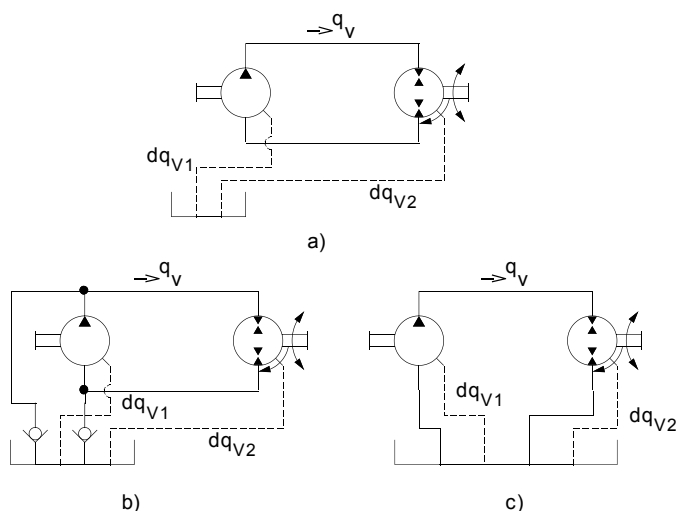
A hidraulikus körfolyam az energiaátalakítók és egyéb hidraulikus elem láncolata. Attól függően, hogy a munkafolyadék a rendszerben megszakítva vagy folytonosan kering, három típusú körfolyamot különböztetünk meg:

- *zárt* körfolyam,
- *félzig zárt* körfolyam,
- *nyitott* körfolyam.

A zárt körfolyamban a munkafolyadék az energiaátalakítók között, részben vagy egészen, tartály beiktatása nélkül folyamatosan kering **(5.39.a ábra)**.

A félig zárt körfolyamban a munkafolyadék áramának folytonossága az energiaátalakítók közvetlen csatlakoztatásával biztosítható **(5.39.b ábra)**.

A nyitott körfolyam esetén a munkafolyadék energiaátalakítók közötti áramlását tartály szakítja meg **(5.39.c ábra)**.



5.39. ábra

Hidraulikus áramkörök a) zárt körfolyam b) félig zárt körfolyam c) nyitott körfolyam

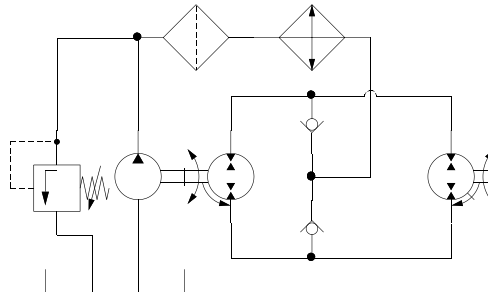
5.4.2. Zárt körfolyamú alapkapsolások

Az előző alfejezetben bemutatott körfolyam **(5.39.a ábra)** a legegyszerűbb hidraulikus hajtás, és egy fogaskerék áttételnek felel meg. Az áttételi arány megegyezik az EÁ-k nem változtatható munkatérfogatainak arányával. Ellenben ez az egyszerű kapcsolat nem tud megfelelni a kitűzött követelményeknek:

- a szivárgó dq_{V1} , dq_{V2} szivárgó áramok hatására a nyomás a rendszerben csökken, mivel nincs utánpótlás (egy idő után a folyadékáram megszakad és habosodik);
- az energiaátalakításból és az áramlásból adódó súrlódások és a nem elégséges, kis hőátadási felületek miatt a folyadék hőmérséklete nő;
- a hidraulikus rendszerbe kívülről bekerülő és a kopás következtében levált szennyeződések a berendezés élettartamát csökkentik.

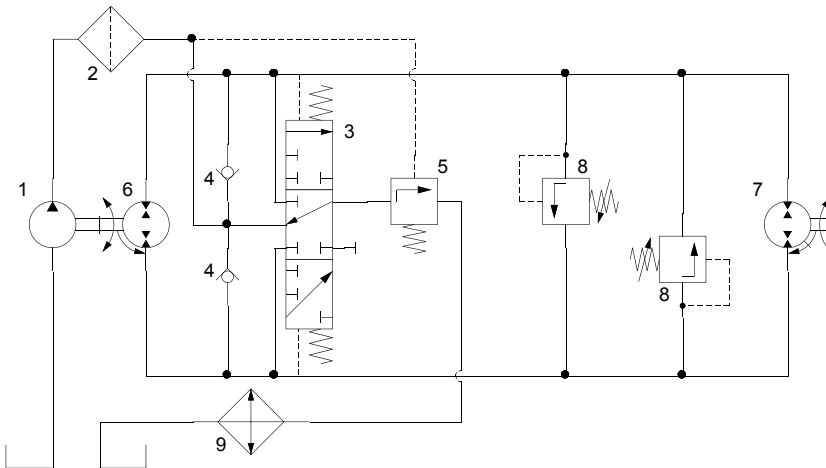
A megbízhatóság fokozására tehát intézkedéseket kell fogantatni a fentebb említett elégtelenségek kiküszöbölésére.

A rendszerbe az **5.40. ábrának** megfelelően egy újabb energiaátalakítót, segédzivattyút lehet beépíteni, a hiányzó térfogatáram pótlására. Az újonnan létrehozott nyitott körfolyam nyomó ágát a mindenkor kisebb nyomású (visszafolyó) ágba kell csatlakoztatni. Mivel a zárt körfolyamban a nyomó és a visszafolyó vezetékek felcserélődhet a mozgásirány változásával, a segédzivattyú térfogatáramának ezt követnie kell, ezért két visszacsapó szelep segítségével csatlakozik a főkörhöz.



5.40. ábra

Bővített zárt körfolyamú rendszer



5.41. ábra

Kényszeröblítő szelepes, nyomáshatárolós zárt körfolyam

A segédkör hozama nem csökkenhet a szivárgó térfogatáramok összértéke alá:

$$q_{Vs} \geq dq_{V1\max} + dq_{V2\max} \quad (5.14)$$

Ez az érték időben változhat, ezért az említett hozamot a maximális értékre kell méretezni. A csökkent szivárgások esetén, ha a teljes q_{Vs} átvivődne a főkörbe, ak-

kor itt veszélyesen megnövekedne a nyomás. Ezért a segédzivattyú által szolgáltatott és a szükséges hozam különbségét, biztonsági okokból el kell vezetni az ábrán látható módon, egy nyomáshatároló segítségével.

A kedvezőtlen hőmérsékleti és szennyeződési viszonyok elkerülése végett be kell iktatni a hűtőt és szűrőt. Szabály szerint az alacsonyabb nyomású vezetékbe építik be, mivel ekkor ezek nem kell nagy nyomásoknak ellenálló szilárd elemek legyenek. Ez az elhelyezés előnytelen, mivel csak a kis mennyiségű folyadék van szűrve és hűtve. Nagyobb hatásfoka van ezeknek az elemeknek, ha a kényszerbőlítés megoldását választjuk **(5.41. ábra)**.

Ebben az esetben a tartályba jutó teljes folyadékmennyiség (szivárgásokat leszámítva) hűtve (9) és szűrve (2) van. Ha a zárt körfolyam mindkét ágában ugyanaz a nyomás (nincs folyadékáramlás), akkor a segédzivattyú által szolgáltatott hozam egyenesen a tartályba jut vissza a 3-as útváltón és 5-ös nyomáshatárolón keresztül. Ha valamelyik ágból nyomóvezeték válik, akkor az útváltó úgy mozdul el, hogy a visszafolyó ágból a munkafolyadék az 5-ös nyomáshatárolón a tartályba távozik, illetve ezzel egy időben a segédterfogatóram a visszacsapó szelepen bejut a visszafolyó vezetékbe. Így egy nagyobb hozamú folyadék hűtése és szűrése lehetséges.

A zárt körfolyam tulajdonságai szinte egyértelművé teszik, hogy a szabályozás megvalósítását nem hidraulikus irányítóelemekkel, hanem az EÁ-k változtatható munkatérfogatával kell végezni. Ebben az esetben a legkisebb a teljesítményvesztés. Ugyanakkor maradéktalanul kielégíthető a szabályozhatósági követelmény. A munkatérfogat negatív és pozitív értelemben vett változtatása a forgásirány változását vonja maga után, míg az átmeneti folyamatok (lassítás, gyorsulás) is megvalósíthatók a munkatérfogat változásának sebességével.

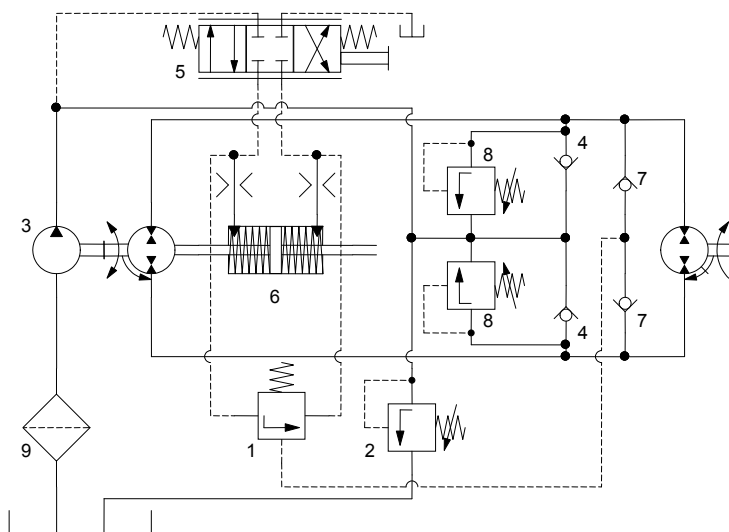
A szivattyú munkatérfogatának változtatásakor, a teljesítmény és a fordulatszám változik, míg a nyomaték megmarad, de a hidromotor munkatérének irányításakor a teljesítmény állandónak tekinthető és a nyomaték, fordulatszám változik.

5.4.2.1. A túlterhelés elleni védelem

A rendszerek a legtöbb esetben felülméretezettek, tehát a lehetséges túlterhelés nem okoz maradandó kárt a hidrosztatikus körfolyamban. Ennek ellenére szükséges biztonsági intézkedéseket hozni a berendezés védelmére.

Az egyik legkedveltebb megoldás a párhuzamosan bekötött nyomáshatároló **(5.41 ábra)**. Ebben az esetben, ha a terhelés miatt a nyomóágon túlzottan megnövekedik a nyomás, a nyomáshatároló (8) rövidre zárja az energiaátalakítót, így a nagynyomású ágból egyenesen a visszafolyó ágba irányítódik a többletfolyadék. Mivel bármely vezeték lehet nyomóági vezeték, két nyomáshatárolót kell egymás-

sal ellentétesen bekötni. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy a nyomáshatárolók nyitásakor nagyon megnő a teljesítményveszteség, a szivattyú által szolgáltatott energia egészen vagy részben hővé alakul a biztonsági szelepeken. Célszerű lenne a szivattyú teljesítményét is korlátozni a túlterhelés megjelenésekor.



5.42. ábra

Zárt körfolyam túlterhelés elleni védelemmel

Erre az **5.42. ábrán** láthatunk egy példát. A biztonsági szelepek (8), melyekkel a nyomást csökkenteni lehet, itt is megtalálhatók, csak más bekötésben. Az arányos útváltóval (5) a segédkörből leválasztott vezérlőhozammal, a hengerből (6) állítható a szivattyú munkatér fogata, teljesítménye. Ha a nyomóági vezetékben a megengedett határ fölé emelkedik a nyomás értéke, akkor a visszacsapó szelepen (7) keresztül a nyomásátkapcsoló (1) nyit, és a henger (6) két munkatere rövidre záródik. A nyomások kiegyenlítődése után a hengerben (6) található rugók a dugattyút a középhelyzetbe állítják, ezáltal a szivattyú fordulatszáma nullára esik.

5.4.2.2. Munkagépek egyidejű üzemeltetése

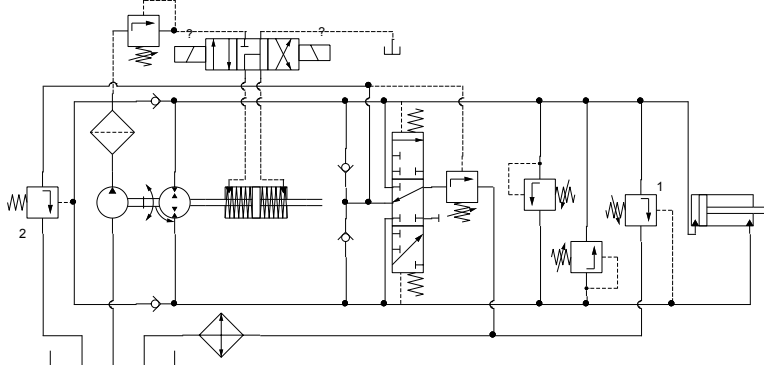
Gazdasági szempontok szerint, célszerű több munkagépet működtetni ugyanabban a körfolyamban. Ezek sorosan és párhuzamosan köthetők be. Mindkét változatnak meghatározott korlátai vannak. Külön kell megemlítenünk ebben az esetben a szivattyúkat és a hidraulikus motorokat. A szivattyúknál a sorba kapcsolás esetén lehetőségünk van a folyadék nyomásának növelésére, míg a párhuzamos kapcsolás a folyadékáram növelését szolgáltatja.

A motorok sorba kapcsolása esetén egy munkagép a szivattyú üzemi nyomásának csak tört részét hasznosíthatja, míg a párhuzamos megoldáskor csak olyan EÁ-k kapcsolhatók össze (kiegészítő hidraulikus elemek nélkül), amelyek nyomásesése azonos. Erre példa a gépek járókerék-meghajtása. Abban az esetben, ha az egyik kerék kipörög, a gépezet mozgásképtelenné válik. A kisebb terhelésű motor addig működik, míg fel nem ütközik (mechanikus ütköző van beépítve a hidromotorba, löketvég a munkahengerek esetén), majd utána mozdul meg a nagyobb terhelésű EÁ. Kipörgés esetén a felütközés nem történik meg, ezért a gép mozgása megáll. Ezekben az esetekben a teljesítménycsökkenést olyan értéktartó szabályzókörral kell megoldani, amelyben a visszacsatolás a hidromotor tengelyéről történik.

Mivel több munkagép független irányítása csak a motorok irányításával végezhető el, csökken a rendszer szabályozhatósága, ami maga után vonja az üzemeltetési költségek növekedését, és a berendezés bonyolultsága és ára is jelentősen módosul. Ehhez hozzájárul az a tény is, hogy a dugattyúrudas munkahengerek működtetésekor (5.43. ábra), a dugattyúrúd kifelé mozdulása esetén a térfogathiányt a segédzivattyúnak kell pótolnia, és gondoskodnunk kell a folyadéktöbblet elvezetéséről is a befelé mozdulás ideje alatt (1-es nyomáshatároló).

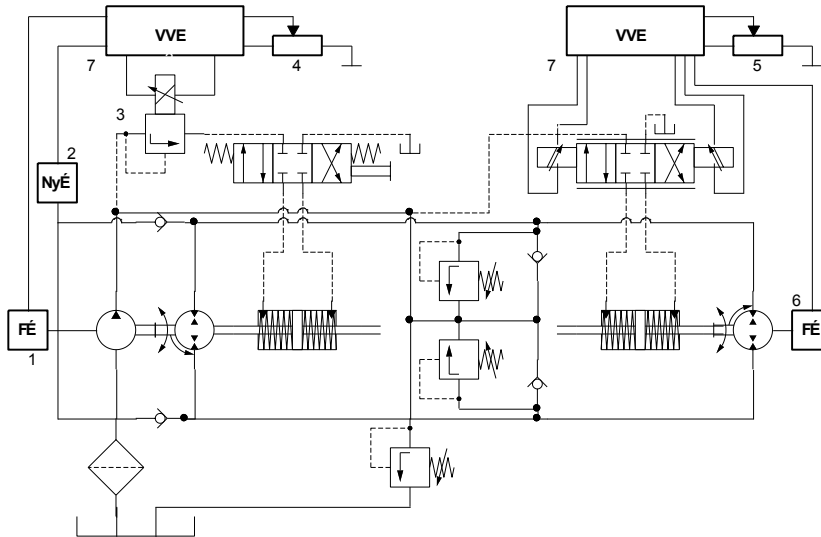
5.4.2.3. A hajtás hatásfoka

Az összes típusú körfolyam közül a zárt körfolyam rendelkezik a legjobb hatásfokkal, ami abból adódik, hogy az irányítással kapcsolatos minden művelet a szivattyú munkatérfogatának változtatásával megoldható. A teljesítményvesztés legnagyobb része a kétszeres energiaátalakításból adódik, illetve ezt egészíti ki a segédzivattyú meghajtására szükséges teljesítmény, és a csővezetékben áramló folyadék súrlódásából adódó teljesítményvesztés.



5.43. ábra

Zárt körfolyam munkahengerrel



5.44. ábra

Írányítás és túlterhelésvédelem villamos vezérléssel

5.4.2.4. A rendszer automatizálhatósága

A munkatérfogat változtatható kézzel, pneumatikus-, hidraulikus- és villamos úton. Az automatizálhatóság szempontjából a nagy előrelépést a hidraulikus arányos szelepek megjelenése jelentette, mivel csekély villamos teljesítménnyel (10-20 W) megvalósítható a hidraulikus rendszer irányítása (5.44. ábra).

Itt a háromhelyzetű útváltóval a forgásirányt lehet állítani, míg az arányos szelep (3) a munkatér változását vezérli, a fordulatszám- (1), nyomásérzékelő (2) és teljesítményreferencia (4) érték függvényében. Ugyanígy a motornak is van szabályzóköre. Az alapjel potenciométerrel (5) állítható elő, a fordulatszámot az érzékelő (6) szolgáltatja. A két jel különbsége a villamos szabályzórendszeren (7) keresztül hat az arányos útváltó mágnesére. A villamos szabályzás előnye, hogy a szabályozás dinamikája optimálisra állítható.

5.4.3. Félig zárt körfolyamú alapkapcsolások

Ennél az alapkapcsolásnál a rendszer önfelszívóvá válik, a veszteségeket a tartályból fedezi a mindenkor szívóvezetékhez visszacsapó szeleppel csatlakozva. Ahogy az előző esetben, itt is a rendszert bővíteni kell, hogy a követelményeknek eleget tegyen. A szivárgóáram automatikus pótlásával a megbízhatóság jelentősen javult. Ehhez járul hozzá az is, hogy ha a tartály megfelelőképpen méretezett, akkor

talán a hűtőelem is elhagyható a rendszerből. Mivel a folyadék szintje folyamatosan változhat, a tartály „lélegzik”, tehát nem csak a folyadékot, hanem a levegőt is kell szűrni. A zárt körfolyamú rendszereknél tett megjegyzés, ami a folyadékszűrést illeti, itt is érvényes.

Az üzembiztonság szempontjából, jelentős hátrányt jelent, hogy fennáll a *kavitáció* veszélye a szivóágon. A vezetékekben kialakuló legkisebb nyomás a tartályban levő folyadék szintjétől függ. Ha a szint a szivattyú fölött helyezkedik el, ráfolyásról van szó, és egynél nagyobb lesz a nyomás (pozitív érték). Abban az esetben, ha a szivattyú a folyadékszint fölött van (negatív nyomás) fennáll a veszélye, hogy a szivóvezetékben légkörinél alacsonyabb nyomás keletkezhet, ami, ha nagyobb egy megengedett értéknél, kavitációt okoz. Ezt a szivóvezeték gondos méretezésével lehet kivédeni, és vigyázni kell, hogy minimálisra csökkentsük, az ágban beépített elemek számát. Minden hidraulikus elem nyomáscsökkenést okoz, a szivóágon a max. nyomáscsökkenés 0.1-0.3 bar lehet. A visszacsapó szelepek beépítése viszont elkerülhetetlen, ezeknél viszont a nyomáscsökkenés a rugó előfeszítésétől függ.

A csővezetékben a folyadék sebessége korlátozott (0.5-1.5 m/s) a kavitáció megelőzése érdekében, viszont ez a sebesség változhat a szivattyú munkaterének módosulásakor, ezért a szivattyú működését korlátozni kell. Ebből adódik, hogy a félig zárt rendszer esetén, ugyanaz az EÁ alacsonyabb fordulatszámokon üzemeltethető, mint a zárt körfolyamokban.

A félig zárt hidraulikus hajtásnak egyik legnagyobb előnye a kettős működtetésű egyoldali dugattyúrudas munkahenger üzemeltetéséből adódik. Mivel a rendszer önfelszívó, a visszacsapószelepek segítségével a munkafolyadék igény szerinti elvezetése automatikusan megoldódik. A rendszer szabályozhatósága megegyezik a zárt körfolyam irányítási módjával: az EÁ-k munkatérfogatának változtatása minimális teljesítményvesztéssel jár. A különbség ott van, hogy a munkahengerek munkatérfogatát nem lehet változtatni, ezért csökken a szabályozási tartomány. Más hátránya, hogy hidraulikus vezérlőrendszer esetén a vezérlésre szükséges folyadékot a főkörből kell elvonni, mivel nincs segédzivattyú. A vezérlőkör teljesítményét – ami munkavégzés szempontjából veszteség – az növeli, hogy a térfogatáramot a főkörből kell leválasztani, de az itt levő üzemi nyomás jóval meghaladja a vezérléshez szükséges nyomást. A tény viszont, hogy nincs segédkör, egyben növeli a hatásfokot, mivel nem kell a segédzivattyút meghajtani. (A többi hatásfokcsökkentő veszteség, ami a zárt rendszerben jelen van, itt is érvényes.)

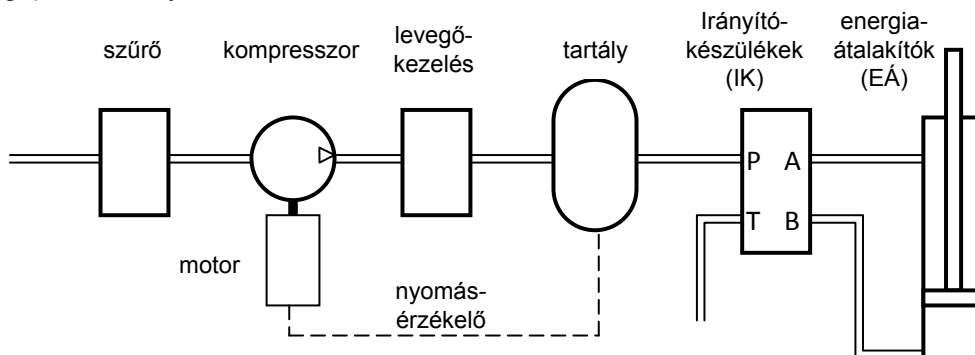
A kedvezőbb hőegyensúly-feltételek miatt, amit a hűtő és tartály együttes megválasztása eredményez, a nyomás korlátozását nem szükséges a teljesítménycsökkentéssel (szivattyú fordulatszámának csökkentésével) összekapcsolni. A munkagépek egyidejű üzemeltetése, a zárt rendszerhez hasonlóan, csak nagyon korlátozottan oldható meg.

6. Pneumatikus rendszerek

A pneumatikus rendszerek működési elve megegyezik a hidraulikus rendszerek működési elvével. Különbséggként kell megemlíteni, hogy a pneumatikus megvalósítású rendszerben energiahordozónak folyadék helyett sűrített gázt használnak - a legtöbb esetben sűrített levegőt. Az energiakeltés itt is kompresszor segítségével történik, majd vezetékekben továbbítódik az energiaátalakítók (*pneumatikus motor*) fele. Ezekben a rendszerekben keletkező nyomás jóval kisebb, mint a hidraulikus rendszerekben, ezért kisebb erők és nyomatékok kifejtésére alkalmazható.

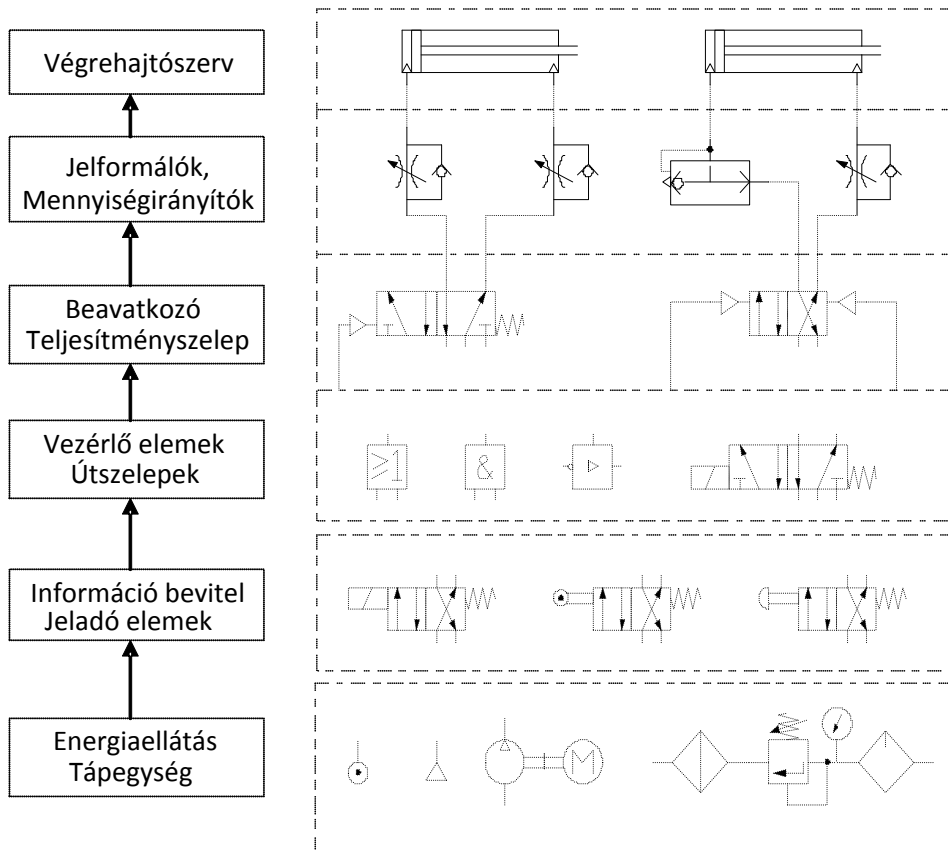
A *pneumatikus szivattyú* hatása a rendszerre eltér a hidraulikus megfelelőjétől annyiban, hogy nem képes megfelelő mennyiségű térfogatáramot (q_v) biztosítani a rendszernek úgy, hogy az állandó módon egy megfelelő nyomású (p) levegőt kapjon. Ezért vált szükségessé egy *tartály* bekcsolása a rendszerbe (**6.1. ábra**), amivel az állandó nyomás, működés közben is megvalósítható. Egy másik egység, ami a pneumatikus rendszerekre jellemző: a *levegőkezelő egység*. Mivel a sűrítés során a levegő felmelegedik, és a nyomás hatására kicsapódhat a levegőben gőz formájában található víz (gőz formájában), használat előtt a levegőt hűteni, illetve páráltlanítani kell. A felhasznált *irányítókészülékek (IK)* felépítésüket és funkcionálisukat illetőleg nem különböznek a hidraulikus irányítókeszülékektől, az esetleges eltérések a két berendezés nyomás- és energiahordozó különbségéből adódhatnak.

A pneumatikus rendszerek esetén csak nyílt áramkörökről beszélhetünk, mivel az irányítókészülékekből, illetve az energiaátalakítókban az energiahordozó (levegő) nem tartályba, hanem a szabadba áramlik.



6.1. ábra

A pneumatikus rendszer fő összetevői



6.2. ábra

Kapcsolási rajzban használatos grafikus ábrázolások

Ez egyszerűsíti az áramkör megvalósítását, mivel a visszatérő csövezés teljesen hiányzik. A levegő használatának előnyét képezi, hogy ez „tisztább” mint az olaj, viszont ugyanakkor a levegő további kezelésre szorul, mivel nincs meg az önkenő hatása az energiaátalakítónak.

Mivel sok helyen (üzemekben, gyárakban) elérhető a sűrített levegő, jó megoldás az automatizálás megvalósítására a pneumatikus körök használata. Az *egyszeres vagy kettős-működtetésű léghengerek (munkahengerek)* ideálisak a kis erőt igénylő, az egyik pontból a másikba való, lineáris mozgás elvégzésére. Megfelelő érzékelők és elektronika társításával a milliméter alatti pontosság, ismételhetőség napjainkban már megvalósítható. Ennek ellenére, mivel a levegő sűrített állapotá-

ban is összenyomható, a pneumatikus munkahengerek nem alkalmasak a végpontok közötti pontos mozgásra *változó terhelés* mellett.

Egy másik alkalmazási terület a mobil pneumatikus rendszer, ahol a nagynyomású levegőforrást egy előzőleg sűrített levegővel feltöltött tartály helyettesítheti. Ennek analóg megoldása az elemmel vagy akkumulátorral felszerelt villamos áramkör lehet. Természetesen, a rendszer autonómiáját az előbb említett tartály nagysága határozza meg.

6.1. A pneumatikus rendszerek kapcsolási rajzának felépítése

6.1.1. Kapcsolási rajz grafikus ábrázolása

A grafikus elrendezésnek a vezérlés hatásláncához kell igazódnia. Világosan el kell különülniük a hatáslánc egyes tagjainak, illetve az azokat megvalósító pneumatikus elemeknek vagy elemcsoportoknak. (6.2. ábra)

6.1.2. Azonosító jelölések

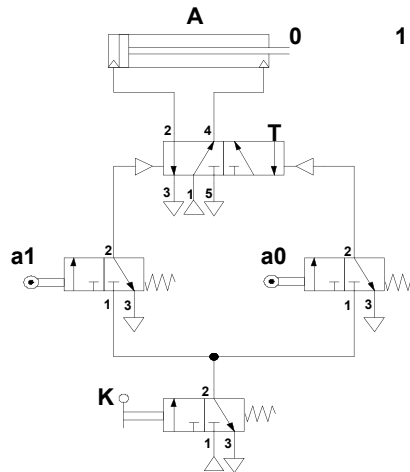
A rajzon a végrehajtószerveket az ABC nagy betűivel jelöljük, és az arab számok a dugattyú diszkrét helyzeteire utalnak (6.3. ábra). Az információbeviteli elemek közül a helyzetérzékelők jelölése kötött, mivel ezeket a dugattyúrúd helyzeteihez kell hozzárendelni. Így a helyzetkapcsolókat az abc kis betűivel jelöljük, utalva arra az energiaátalakítóra, amelyikhez tartozik. Az ezt követő szám az érzékelő helyzetét adja meg. A kiinduló pozíció 0-val van feltüntetve, majd a mozgásmegszakítások sorrendjét követve növekedik ez az érték: 1,2, stb. Az irányítókészülékek (T, K, a0, a1) csatlakozói (portjai) a szabvány szerint vannak számozva: a bemenet lesz az 1, majd a balról és az 1-essel átelleni oldalról kezdve növekednek a port számok.

6.1.3. Kapcsolási helyzetek

Több kapcsolási helyzetet különíthető el:

- nyugalmi helyzet – a berendezés energiamentes, az elemek alaphelyzetben vannak, kivéve azokat, melyek mechanikusan működtetettek;
- alapállás – az építőelemek azon állapota, melyet az energia rákapcsolása után vesznek fel;

- kiindulási helyzet – az építőelemek azon állapota, melyet a munkafolyamat megkezdése előtt vesznek fel, ez a startfeltétel elérésével áll be (üzemkész állapotnak is nevezhető);
- startfelvétel – azon lépések teljesítése, hogy az elemek nyugalmi helyzetükből átkerüljenek kiindulási helyzetükbe.



6.3. ábra

Egyszerű áramkör kapcsolási rajza

6.2. Pneumatikus alapkapcsolások

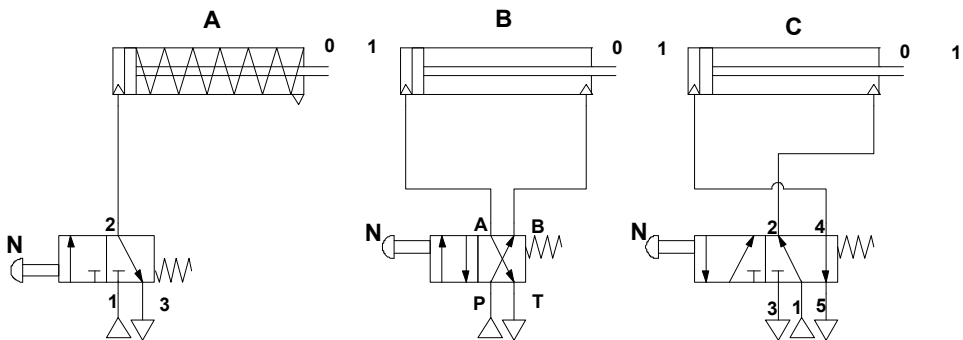
6.2.1. Egy- és kétoldali működtetésű munkahengerek vezérlése

Kétféle vezérlést lehet megvalósítani a munkahengerek esetén: közvetlen és közvetett vezérlést.

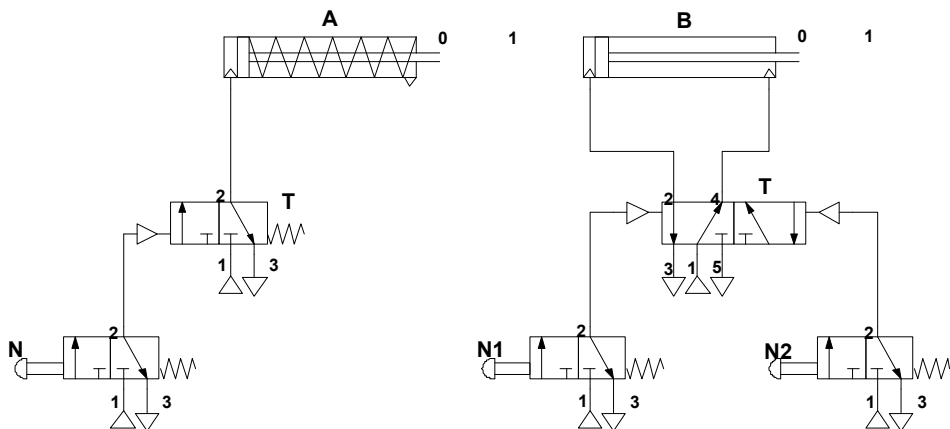
A közvetlen vezérlésre a **6.4. ábrán** látható megvalósítások alkalmasak. Az **A** munkahenger esetén az **N** nyomógomb működtetésével a 3/2-es útváltó átvált és kapcsoltába lép az 1-es és 2-es csatlakozó, így a nagynyomású levegő a henger bal oldali munkaterébe áramlik, és elmozdítja a dugattyút a rugó ellenében az 1-es pozíció fele. Miután a nyomó hatás az **N** gombra megszűnik, az útváltó visszakerül a rugó hatására az eredeti állapotba, és a bal oldali munkatér a 2-3 rövidrezárt portokon keresztül kilevegőzik. Így a munkahengerben levő rugó a dugattyút a 0 pozícióba juttatja vissza.

A **B** munkahengert egy 4/2-es útszelep irányítja, alaphelyzetben (melyet a rugó határoz meg) a P-B, A-T portok vannak rövidzárva, így a nagy nyomású levegő a dugattyú jobb oldalán található térbe áramlik, biztosítva a munkahenger 0 pozícióját. A szelep működtetésekor a kapcsolóállás megváltozik, a P-A átmenet a bal teret tölti, míg a B-T csatlakozókon keresztül a jobb tér kilevegőzik. A dugattyú így az 1-es pozíció fele halad felütközésig vagy a nyomógomb elengedése pillanatáig, amikor az útváltó visszatér kezdeti helyzetébe.

A **C** munkahenger működtetése megegyezik az előző esetben leírtakkal, azzal a különbséggel, hogy a vezérlésre egy 5/2-es szelepet használunk.



6.4. ábra
Munkahengerek közvetlen vezérléssel



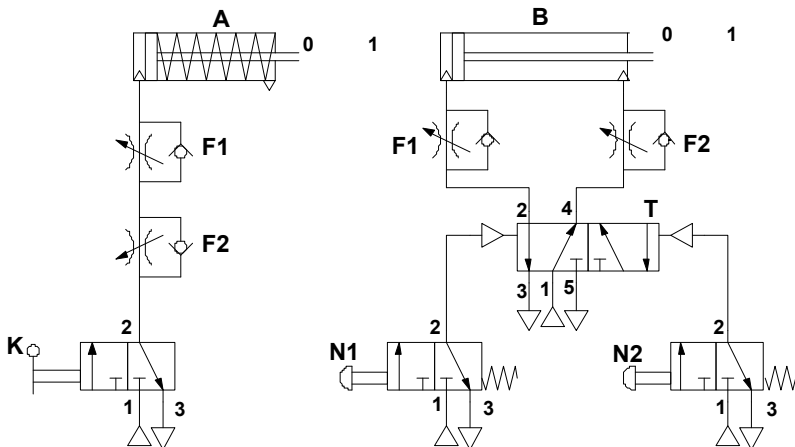
6.5. ábra
A pneumatikus munkahengerek közvetett vezérlése

A másik módszer a közvetett vezérlés (6.5. ábra). Az **A** munkahenger dugattyújának elmozdulását a **T** útváltó helyzete határozza meg. Ez utóbbi az **N** nyomógomb állapotától függ. Ha nyomást gyakorolunk a gombra, akkor az 1-2 portokon keresztül pneumatikus vezérjel kerül a **T** útszelep bal oldalára, ami elmozdulásra készteti ezt a rugó ellenében. Ekkor kerülnek összeköttetésbe itt is az 1-2 csatlakozók, amin keresztül telik fel a bal munkatér és mozdul el a dugattyú az 1-es pozícióba.

A **B** munkahenger esetén, a **T** útváltót az **N1** és **N2** nyomógombokkal vezéreljük. Az **N2** megnyomása esetén az útváltó állása megváltozik (az ábrához képest) és a magasnyomású levegő a bal munkatérbe áramlik az 1-2 portokon keresztül, míg a 4-5 csatlakozókon a munkahenger jobb oldala kilevegőzik. E művelet után az **N1** gomb működtetésével az előbbi folyamat fordítottját érhetjük el, a dugattyú az 1-0 mozgást fogja végezni.

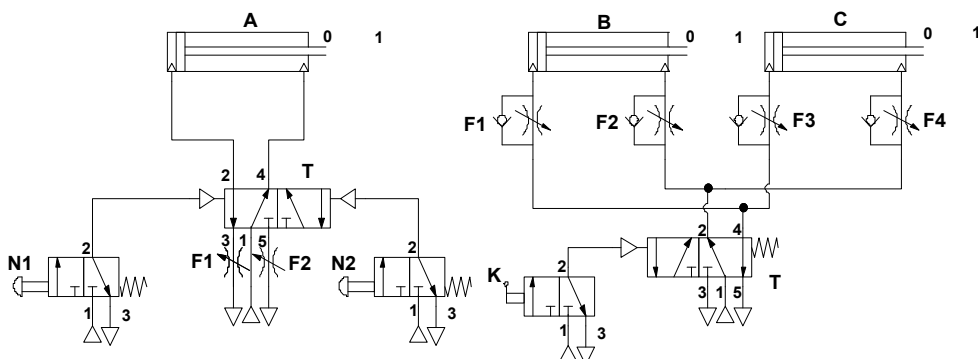
6.2.2. Mennyiségirányító elemek beépítési lehetőségei

A pneumatikus rendszerek esetén is a munkahengerbe áramló levegő térfogat-árama határozza meg a dugattyú mozgásának sebességét. Ezért itt is használhatók a fojtók, illetve a visszacsapószelepek a dugattyúrúd sebességének korlátozására. A 6.6. ábrán látható **A** munkahenger kifelé mozduló rúdjának a sebességét az **F1** fojtó határozza meg, majd a rugó visszafele mozgató hatását az **F2** fojtó el-lensúlyozza. A **B** kétoldalú működtetésű henger esetén ugyanúgy viszonyulnak a fojtók a dugattyú mozgásához.



6.6. ábra

Egy- és kétoldalú működtetésű munkahengerek sebességvezérlése mindkét irányban



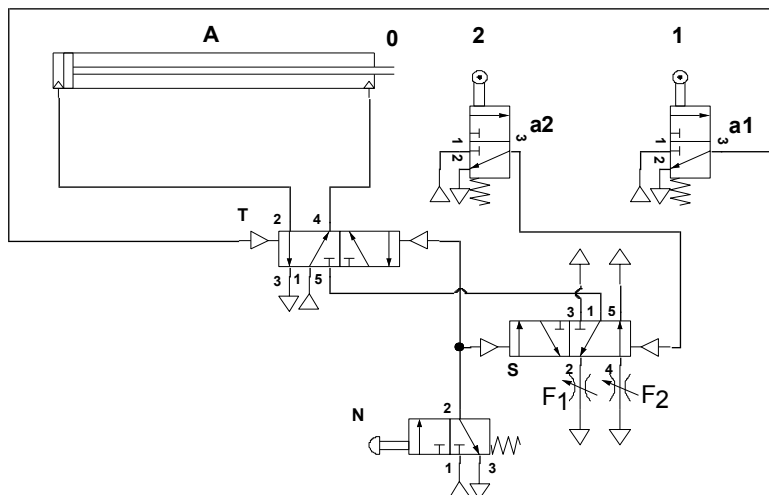
6.7. ábra

Sebességvezérlés és szinkronmozgatás fojtók segítségével

A fojtók elhelyezésétől függően más áramkör is elképzelhető. A **6.7. ábra A** munkahengere esetén a fojtók az útszelep és a kilevegőzés közé vannak beépítve. A munkahenger jobb teréből kiáramló levegő a 4-5 csatlakozókon keresztül távozik a rendszerből, és a kiáramlás sebességét az **F2** fojtó határozza meg. Az útváltó állásváltásakor a 4-es és a 5-ös portok lesznek rövidre zárva, tehát a dugattyú befele-mozgása esetén az **F1** fojtó határozza meg a sebességet.

A fojtóknak nagy szerepe van a munkahengerek sebességeinek az összehangolásában is (**6.7. ábra B és C** munkahengerei). Így lehetőség van akár nem azonos keresztmetszetű munkahengerek együtt mozgatására is.

A **6.8. ábra** egy munkahenger dugattyúsebességének változtatására szolgáló áramkört mutat be. Itt is a fojtók határozzák meg a dugattyúrúd sebességét, az újdonság viszont, hogy a sebességváltozás nem jár irányváltoztatással ebben az esetben. Alaphelyzetből való kiindulás esetén a munkahenger jobb tere telik fel levegővel az 1-4 portokon keresztül. A dugattyú kifelé mozgása az **N** nyomógombhoz tartozó útszelep állapotváltásával indítható. Így az **N** kapcsoló 1-2 csatlakozóin keresztül vezérlő jut a **T** útszelep jobb oldalára, ami átbillenést jelent. Ekkor a nagy nyomású levegő az **T** 1-2 portokon keresztül a bal oldali térbe áramlik, és a dugattyú kimozdul a 0 pozícióból a 2-es fele. Ezzel egyidőben az **S** útváltó is balról vezérlő kap a nyomógomb hatására, és az 1-4 portokat zárja rövidre. A dugattyúmozgás hatására a munkahengerből a levegő a **T** 4-5 csatlakozókon keresztül távozik, és mielőtt a szabadba jutna, áthalad az **S** 1-4 portokon és az **F2** fojtón, így megvalósít meg egy haladási sebességet a dugattyúrúd részére.



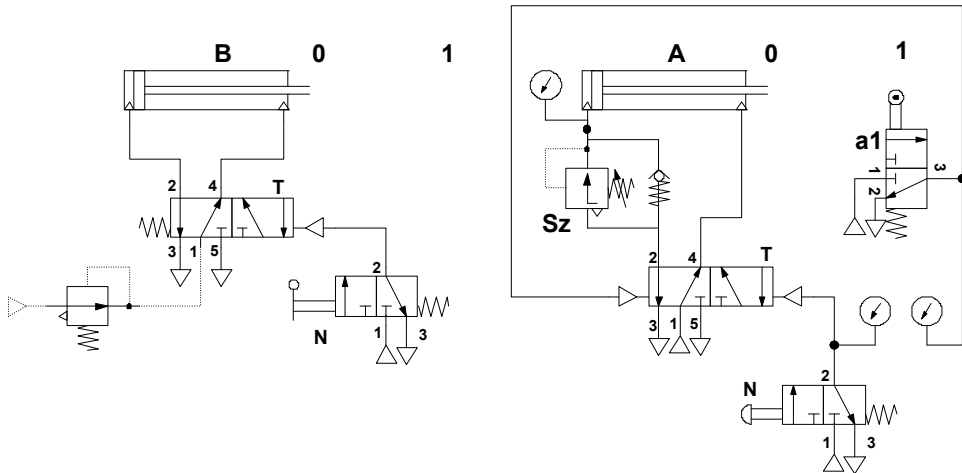
6.8. ábra

Dugattyúsebesség változtatás az elért helyzet függvényében

Amikor a rúd elérte a 2-es pontot, a görgő hatására az **a2** kapcsoló (helyzetérzékelő) vált, és az 1-2 csatlakozókon keresztül vezérljel kerül az **S** útváltó jobb oldalára. A reteszelő jelenség nem lép fel, mivel az **N** gombot már nem nyomjuk, és a 2-3 csatlakozóján a vezeték kilevegőzött, és így az **S** szelep bal felén nincs jel. Tehát az útváltó átbillen, az **S** 1-4 átmenetet bontja, és az **S** 1-2 portokat zárja rövidre. Ennek következtében a dugattyú jobb teréből kiáramló levegő már nem az **F2**, hanem az **F1** fojtón keresztül kerül ki a szabadba.

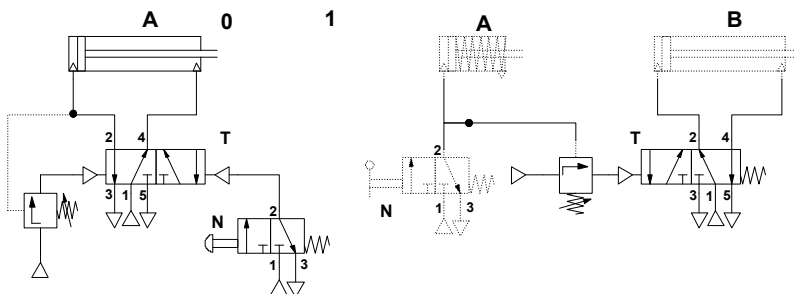
6.2.3. Nyomásirányító elemek beépítési lehetőségei

Ezen elemek elsődleges felhasználása a dugattyú által kifejtet erő vezérlésére irányul. Így két eset különböztethető meg: az erő kifejtés független, illetve nem független módon következik be a két mozgásirányban. A **6.9. ábrán** a **B** munkahenger mozgása esetén, a munkatérbe vagy az 1-2 vagy az 1-4 portokon keresztül beáramló levegő, az 1-es csatlakozó elé kapcsolt nyomáshatároló hatására, ugyanúgy hat a dugattyúra, tehát a nyomás értéke a két munkatérben egy irányítóelemmel állítható. Ezzel ellentétben az **A** dugattyú esetén, ha az útváltó és a henger közé illesztjük be a nyomáshatárolót, akkor a korlátozás csak az illető munkatérre érinti. Mivel egy vezetékben mindkét áramirány lehetséges, és a nyomáshatároló csak egy irányból terhelhető, szükséges egy ezzel párhuzamos visszacsapó szelep beiktatása is.



6.9 ábra

A dugattyú erő kifejtésének változtatása



6.10. ábra

Munkahengerek vezérlése nyomáskapcsoló alkalmazásával

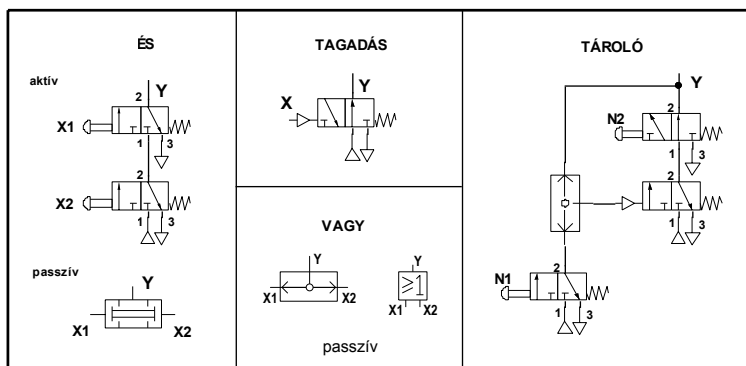
Egy másik alkalmazási területe a nyomásirányító elemeknek, a munkahengerek vezérlése (**6.10. ábra**). Ebben az esetben, ha a levegő nyomása meghalad egy bizonyos értéket a rendszer egy pontjában (pl. a munkahengerben amikor az felülkötik), akkor a nyomáskapcsolón keresztül, lehetőség van vezérjelet juttatni útváltókhoz, melyekkel munkahengerek mozgási állapotát lehet változtatni. Az **A** henger esetén az **N** gombbal vezérjel kerül a **T** szelepre, ami azt átbillenti, és telni kezd a bal munkatér. A felülkötés után a nyomás a bal kamrában egy bizonyos érték fölé emelkedik, ami nyitja a nyomáskapcsolót, így a **T** szelep megint vált, beindulva az 1-0 mozgás. Az ábra másik áramkörében a különbség csak annyi, hogy itt a növekvő nyomást egy másik henger beindítására használtuk fel. Így sikerül meghatározott sorrendű működtetést elérni több munkahenger esetén.

6.2.4. Munkahengerek vezérlése zárószelepek használatával (logikai függvények)

A diszkrét jelekkel működő vezérlőberendezésekben – így a pneumatikus rendszerekben is – szükség van az alapvető logikai függvények (ÉS, VAGY, NEGÁCIÓ, TÁROLÓ) megvalósíthatóságára. Ezeknek a felépítését a **6.11. ábra** mutatja be.

Az ÉS megvalósítása kétféleképpen történhet. Ha külső levegőforrásnak a jelét kell továbbítani, akkor aktív elemről, ha viszont az **Y** kimenet az **X1** és **X2** bemenetekről kapja a sűrített levegőt akkor passzív ÉS elemről beszélhetünk. Mindkét esetben az **Y** kimeneten csak akkor jelenik meg jel, ha az **X1** és **X2** vezérlőjelek jelen vannak.

A VAGY esetén elég ha csak az egyik jel található: **Y**-on van nyomás, ha vagy az **X1**-en vagy az **X2**-n nyomás van jelen.



6.11. ábra

Pneumatikus logikai egységek szerkezetei

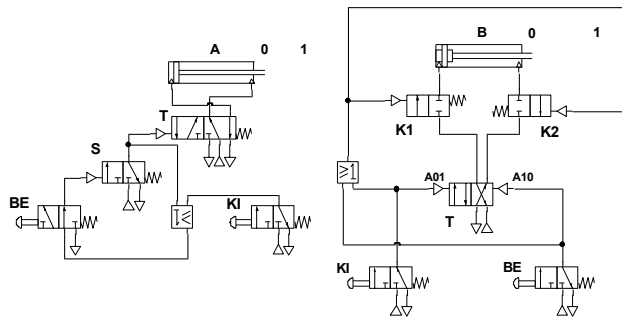
A TAGADÁS nem más, mint egy fordított kapcsoló, az **X** jel hatására átbillen a kapcsoló, mely megszakítja a levegő **Y** kimeneten való jelenlétét.

A pneumatikus TÁROLÓ egy memóriaegység, mely a többi logikai elem felhasználásával jött létre. Lehetőség van írni, illetve törölni, ami azt jelenti, hogy írás után addig szolgáltatja az **Y** kimeneten a pneumatikus jelet, míg nem „törlődik” ez. Az írás az **N1** gombbal történik: ekkor az 1-2 portokon keresztül a VAGY egység jelet kap, amit továbbít a pneumatikus kapcsolónak. Ennek hatására ez vált, nyomás alá helyezi az **N2** fordított kapcsoló (TAGADÓ egység) 1-es portját, és a kapcsolón keresztül (1-2 csatlakozók) megjelenik az **Y** kimenőjel. Ez a jel továbbterjed vissza a VAGY egységhez is, és tovább kapcsolva tartja ezen keresztül a pneumatikus kapcsolót, még akkor is, ha az **N1** gomb el van engedve. A folyamatos **Y** jel az **N2** fordított kapcsolóval szakítódik meg. Ekkor az **N2** 1-es bemenetén nyomás

van, míg a 2-3-as portokon keresztül a tároló kilevegőzik. Így megszűnik a nyomás a VAGY egység felső bemeneténél is. Ennek a következménye, hogy vezérjel hiányában a rugó a pneumatikus kapcsolót eredeti helyzetébe nyomja vissza, tehát elzárja az utat az **Y** kimenőjel fele, még akkor is ha az **N2**-re már nincs hatás.

A logikai egységek felhasználásával különböző feladatokat lehet megvalósítani és/vagy leegyszerűsíteni. A **6.12. ábrán** bemutatott kapcsolással egy-egy gombnyomással vezérelhető az **A** munkahenger haladási iránya. A dugattyú kifele mozgása a **KI** gombbal kezdeményezhető, ekkor a VAGY elemen és a **BE** fordított kapcsolón keresztül pneumatikus jel jut az **S** kapcsolóhoz. Átváltás után vezérőjel éri a **T** útváltót, és ennek hatására az 1-2 csatlakozókon keresztül a bal munktér feltelik, megvalósítva a 0-1 mozgást. A visszafele mozgás a **BE** fordított kapcsolóval indítható. Ezzel megszakítódik a VAGY elem és **S** kapcsoló közötti vezeték, így az **S** kapcsoló visszaáll eredeti helyzetébe – megszakítva a **T** útváltó vezérjelét. Ez utóbbi rugó hatására átbillen, és a bal kamrát kilevegőzteti, illetve a jobb munkatérrel feltölti, elmozdítva a dugattyút az 1-0 irányba.

Egy másik áramkör a dugattyúmozgásnak a szakaszolását megvalósító kapcsolást mutatja be. Mivel a dugattyút egy tetszőleges köztes állapotban kell megállítani, szükséges a levegőt a jobb és a bal kamrába megtartani: erre szolgálnak a **K1** és **K2** megszakító kapcsolók. Ezeket alaphelyzetben egy rugó tartja és ebben a helyzetben meg vannak szakítva a vezetékek. A dugattyút a **BE** és **KI** gombokkal kell mozgatni. Az alapötlet az, hogy a két gombbal a **T** útváltónak a vezérjelek legyenek biztosítva. A **KI** gombbal a **T** szelep jobbra mozgató el, és ekkor a bal munkatér telne fel, ha a **K1** kapcsoló nem állná a levegő útját, illetve a jobb munkatér kell kilevegőzzön a **K2** kapcsolón keresztül.



6.12. ábra

Logikai elemeket felhasználó kapcsolások

Tehát a **T** szelep kapcsolásával párhuzamosan meg kell valósítani a **K1** és a **K2** nyitását is. Erre a célra lett beépítve a VAGY kapcsoló, mely a gombok hatására továbbítja a vezérjelet a két kapcsolónak.

6.3. Folyamatvezérelt lefutó vezérlések tervezése

A tervezéshez két alapvető módszer használható:

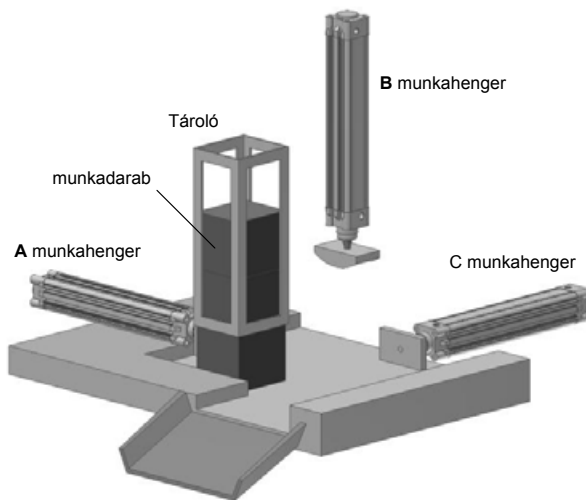
- intuitív módszer (próbálgatásos módszer);
- szisztematikus módszer (megadott tervezési eljárások alkalmazása).

Ezek a módszerek az első esetben tapasztalatot, míg a második esetben elméleti ismereteket követelnek meg a tervezőmérnöktől.

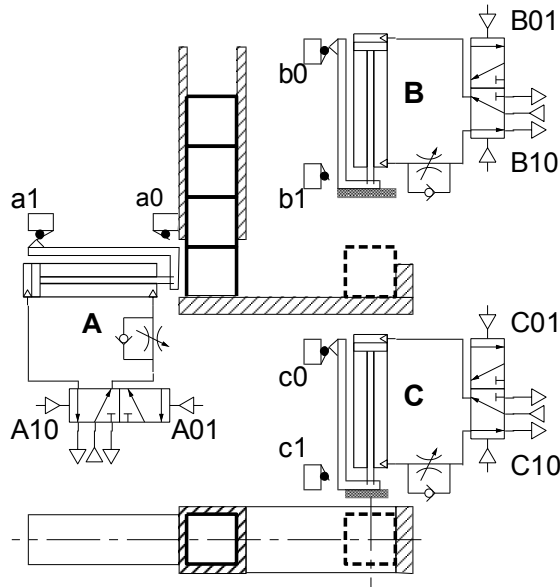
6.3.1. Útvezérlés tervezése tároló alkalmazásával

Útvezérlés esetén a parancsjeleket a megtett út, vagy az elért helyzet függvényében helyzetérzékelők szolgáltatják. A pneumatikus rendszerek esetén a munkahenger dugattyúrúdjának helyzetét helyzetkapcsolók érzékelik, és az ezek által szolgáltatott jelek vezérlési folyamatot indítanak meg.

A tervezés lépéseit egy feladaton keresztül tekintjük át. Legyen egy bélyegzőberendezés (**6.13. ábra**), amely három pneumatikus munkahengerrel rendelkezik. Az **A** henger egy ejtőtárolóból egy munkadarabot tol ki, majd ezt le-szorítja, míg a **B** munkahenger leereszkedik, lebélyegzi, majd visszahúzódik.



6.13. ábra
Bélyegzőberendezés vázlata



6.14. ábra

A bélyegzőberendezés elvi működési vázlata

Miután elérte a 0-s pozíciót, visszahúzódik az **A** henger is. Utolsó lépésként a munkadarabot a munkapadról a **C** henger rúdja betolja egy ládába. A ciklus akkor kezdődhet előlről, ha a **C** henger is visszahúzódott egészen.

Az első lépés az elvi működésű vázlat elkészítése. Ezt a **6.14. ábra** szemlélteti. Ebben fel vannak tüntetve a munkahengerek, illetve az ezekhez tartozó útváltók, áramirányítók és helyzetérzékelők. A berendezés főbb egységei is jelen kell legyenek, olyan mértékben, hogy a berendezés működése a vázlat alapján egyértelmű legyen.

Lépésdiagram szerkesztése

A berendezés működése alapján elkészíthető a mozgásfolyamat lépésdiagramja (**6.15. ábra**).

A lépésdiagram a végrehajtó szervek meghatározott sorrendű dugattyúmozgásait tartalmazza. A lépések sorszámozottak (az utolsó lépés megegyezik az elsővel, mivel a ciklus újra indul). A mozgásokat a helyzetérzékelők parancsjelei indítják:

1. lépés: A Start jelre az A henger 01 mozgást végez, így megtörténik az adagolás és a megfogás. A mozgás elvégzését az **a1** helyzetérzékelő nyugtázza, és parancsot ad a következő lépés megkezdésére.

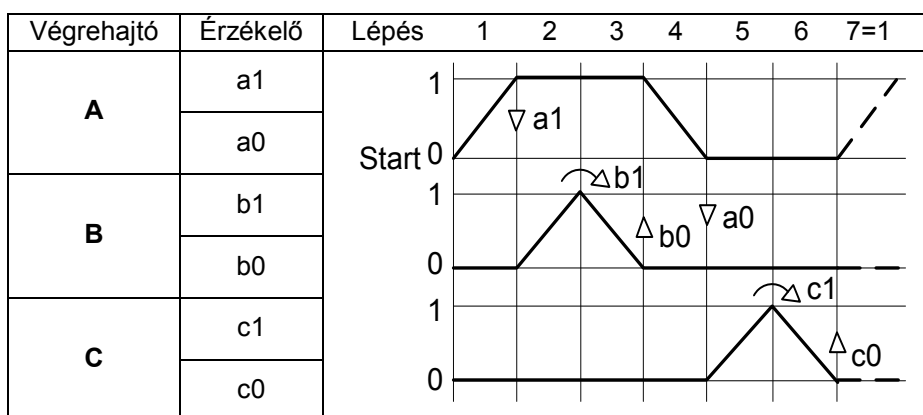
2. lépés: A B munkahenger 01 mozgást végez és bélyegez, majd a **b1** érzékelő nyugtázza.

3. lépés: A B munkahenger 10 mozgást végez és felütközéskor a **b0** ad parancsot a következő mozgás elkezdésére.

4. lépés: Az A henger elengedi a darabot, visszahúzódik (10 mozgás), és végül a mozgás befejeztét az **a0** jelzi.

5. lépés: A C munkahenger 01 mozgást végez és kilöki a munkadarabot, ezt a **c1** érzékelő jelzi.

6. lépés: A C munkahenger visszahúzódik, 10 mozgást végez, és ennek a befejeztét a **c0** nyugtázza.



6.15. ábra

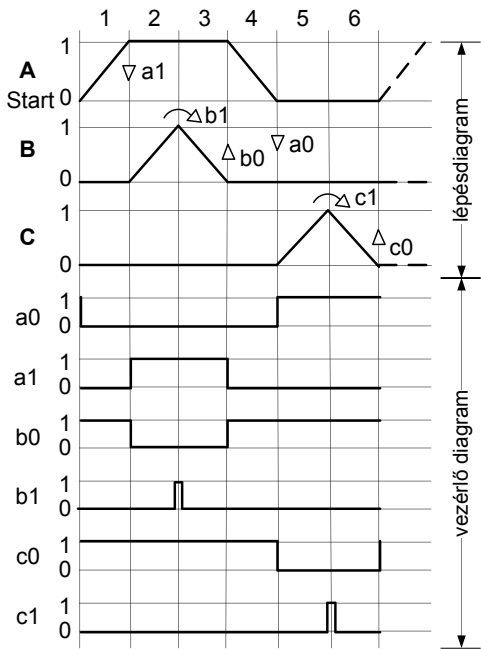
A bélyegzőberendezés lépésdiagramja

Vezérlődiagram szerkesztése

A vezérlődiagramot, amely a helyzetérzékelők logikai állapotát tükrözi a lépések függvényében, mindig a lépésdiagrammal ábrázoljuk (**6.15. ábra**). Nulla állapotú az érzékelő, ha nincs a dugattyú az érzékelő alatt, illetve 1-es állapotú, ha alatta tartózkodik (a kapcsolási időket figyelmen kívül hagyjuk). A két diagramot – lépés- és vezérlődiagramot – együtt működési diagramnak nevezzük (**6.16. ábra**).

Vezérlési táblázat szerkesztése

Erre a táblázatra szükség van, hogy ki lehessen szűrni a reteszelő jelenségeket. Reteszelés az az állapot, amikor egy elemet egyszerre két vezérlő jel ér, és a másodiknak érkező nem tud érvényesülni.



6.16. ábra

A folyamat működési diagramja

Lépés	Mozgás	Mozgást in- dító érzéke- lő		Ellentétes mozgást in- dító érzéke- lő		Retteselő helyzetérzé- kelő
		Jel.	Áll.	Jel.	Áll.	Jel.
1	A01	St $\wedge$ c0		b0		b0
2	B01	a1	1	b1	0	-
3	B10	b1		a1		a1
4	A10	b0		St $\wedge$ c0		St $\wedge$ c0
5	C01	a0	1	c1	0	-
6	C10	c1		a0		a0

6.17. ábra

A berendezés vezérlési táblázata

Öt oszlop tartozik a táblázathoz (**6.17. ábra**):

1. oszlop: a lépések sorszáma ($\Rightarrow$ annyi sora van a táblázatnak, ahány lépés)

2. oszlop: a mozgás jelölése (a munkahenger + a mozgás iránya, pl. A10, B12)

3. oszlop: a mozgást indító helyzetérzékelő megnevezése, illetve annak logikai értéke (pl. **a1 1**)

4. oszlop: az ellenkező mozgást indító helyzetérzékelő megnevezése, illetve logikai értéke (pl. **c0 1**)

5. oszlop: a reteszelő érzékelő megnevezése: ha a 3-as és a 4-es oszlopban szereplő érzékelők logikai értéke 1, akkor a 4. oszlopból egyszerűen átmásoljuk az érzékelő megnevezését.

A táblázatot soronként és folyamatlépésenként kell kitölteni.

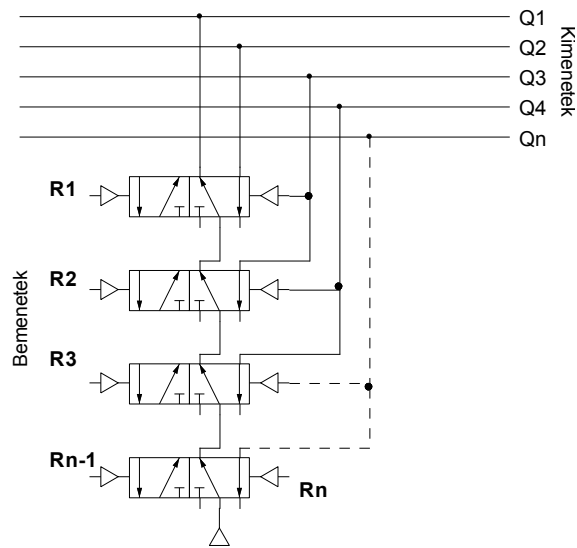
Tárolólánc felépítése

Az útvezérlés tervezésének érdemi része tulajdonképpen most kezdődik. Olyan rendszert kell létrehozni, hogy a fennebb leírt reteszelések vagy másként – kettős vezérlések – kiküszöbölődjenek.

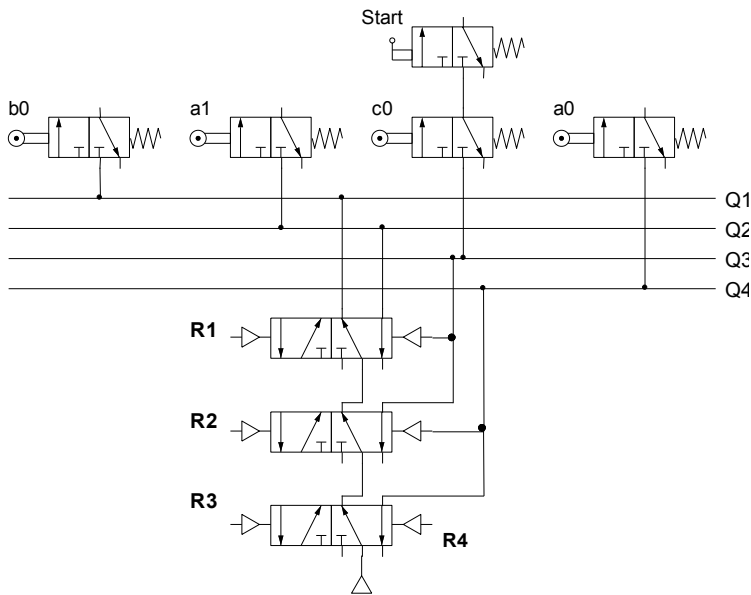
A feladat tehát a reteszelő érzékelőktől érkező jel eltüntetése, hogy a reteszelt mozgás tudjon beindulni. Az első gondolat az érzékelő váltása lenne, hogy az ne továbbítson többet jelt. Viszont az érzékelők a dugattyúrudakhoz vannak rendelve, és ennek a helyzete nem változtatható önkényesen a munkafolyamat során. A következő lehetőség, és ezt kell továbbá követni, hogy az érzékelőkhöz eljutandó levegő útjába kerüljön akadály. Így az érzékelő, az állapotától függetlenül, nem továbbít több jelet. Egy analóg példa a villanykörte és a kapcsoló viszonya. Ha a kapcsoló átbillen és a vezetékben áram folyik, akkor az izzó kigyúl. Abban az esetben viszont, ha nincs áramfolyás, a kapcsoló állásától függetlenül nem gyullad ki a villanykörte.

Tehát az alapötlet az, hogy nagynyomású levegő a kettős vezérlés esetén csak a 3. oszlopban felsorolt érzékelőknél legyen jelen, a reteszelő érzékelők pedig ne legyenek táplevegővel ellátva. Erre a tárolólánc alkalmas (**6.18. ábra**). Az ötletnek megfelelően az irányítószelepek segítségével, csak sorban, egy időben csak egy kimeneten lesz jelen a nagynyomású levegő ($Q1 \rightarrow Q2 \rightarrow Q3 \rightarrow \dots$).

A reteszelő helyzetérzékelőket az 5. oszlop szerinti sorrendben csatlakoztatjuk a tárolóhoz a **6.19. ábra** szerint. A tároló vezérlését pedig az 5. oszlopban nem szereplő érzékelőkkel oldhatjuk meg, mivel ezek tápellátása állandó, független a rendszer állapotától. Az áramkört egyszerűsíteni lehet: több reteszelő érzékelő egy tápvonalra is köthető, hogy ha azok egy csoportba tartoznak. Egy csoportnak tekintjük azokat az érzékelőket, melyek a vezérlési táblázat 5. oszlopában egymás után következnek. Ennek értelmében a b1 érzékelő az (a1, St∩c0) csoport (Q2) táplevegőjét kell megszüntesse, illetve kapcsolja a (b0, a0) csoport (Q1) tápellátását.

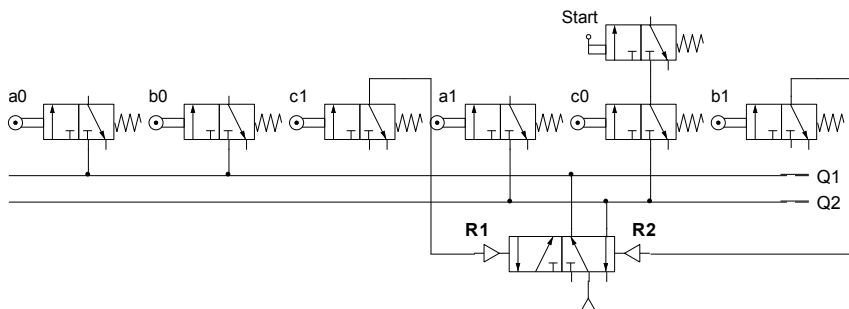


6.18. ábra
Egy tárolólánc felépítése



6.19. ábra
A tároló és az érzékelők viszonya

Jelen esetben egy csoportba tartozik az **a0** és **b0**, és egy másikba a **St&c0** és **a1** érzékelők. Ezek után megrajzolható a tároló vezérlése, amely a **6.20. ábrán** látható.



6.20. ábra

Az egyszerűsített tároló vezérlése

Ez utóbbi és a vezérlési táblázat segítségével megállapíthatók a vezérlési egyenletek. Ezek logikai egyenletek: a bal oldalon szerepel a mozgás megnevezése (2. oszlop - vezérlési táblázat), míg jobb oldalon a mozgásra parancsot adó érzékelő van jelen (3. oszlop - vezérlési táblázat+tároló):

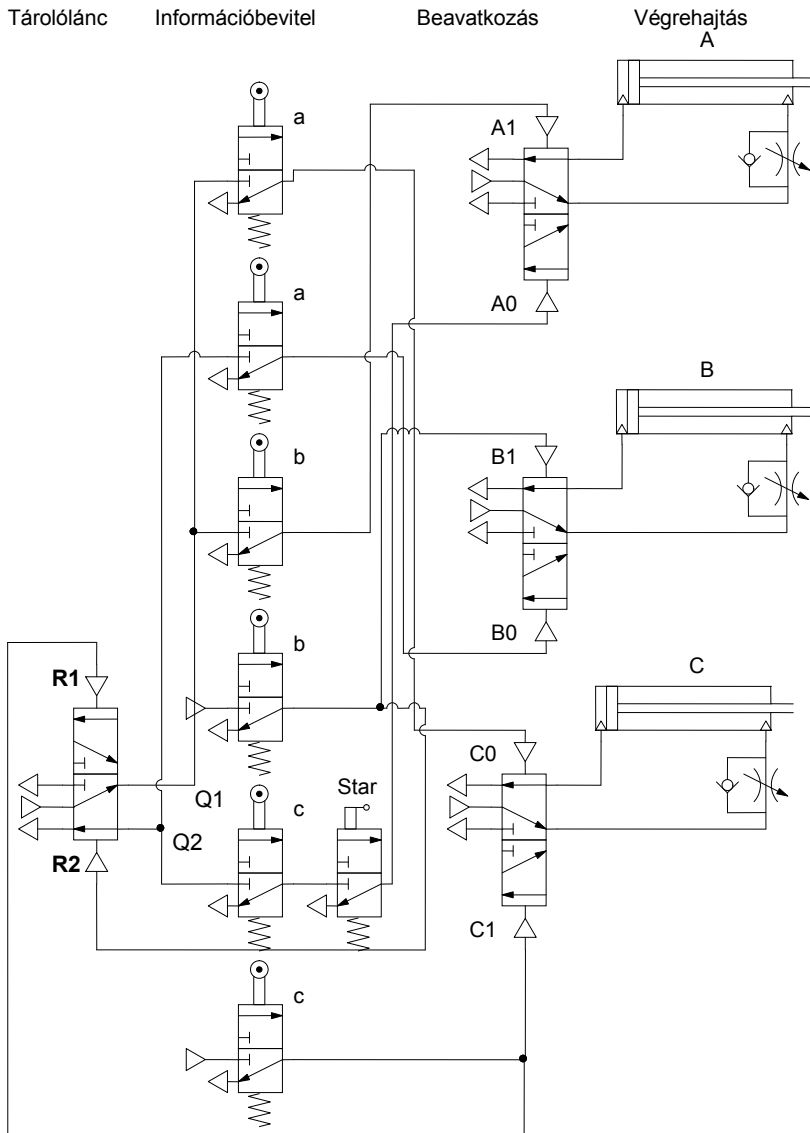
Mozgás	Mozgást indító jel
A01	St & c0 & Q2
B01	a1 & Q2
B10	b1
A10	b0 & Q1
C01	a0 & Q1
C10	c1

Törlés	Jel
R1	c1
R2	b1

Kapcsolási rajz készítése

Az első lépés, az elvi működési vázlat szerint a végrehajtó szerveket berajzolása, az áramirányítók és az ezekhez tartozó útváltók feltüntetése. Az útváltók vezérlő bemeneteit meg kell jelölni az előidézett dugattyúmozgásoknak megfelelően. A következő rétegben a helyzetérzékelők kerülnek a rajzra, majd a tárolót irányító útváltó(k) lesznek elhelyezve.

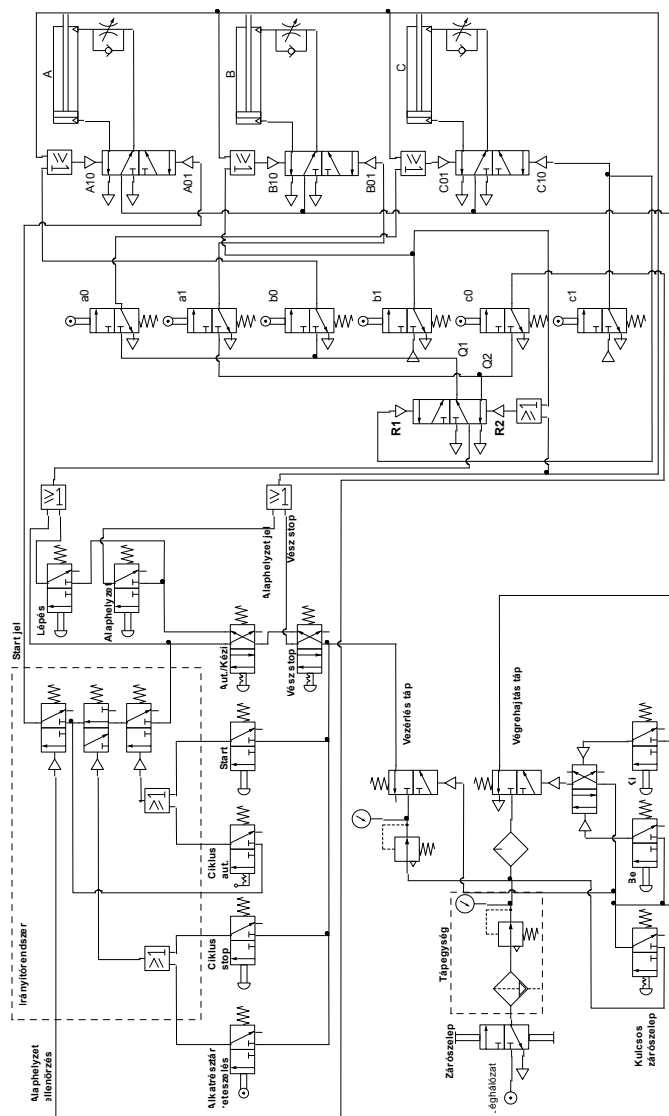
A vezetékezés nem lesz más, mint a vezérlési egyenletek kiolvasása jobbról balra. Jelen példában az első lépésnél a vezetékezés a Q2 kimenetből indul, majd a **c0** érzékelőn és a **Start** kapcsolón keresztül az **A** munkahengerhez tartozó útváltóhoz jut el: az A01 bemenethez. Az egyenleteket az említett módon dolgozzuk fel, míg a **6.21. ábrán** látható áramkörhöz jutunk.



6.21. ábra

A tároló és a munkahengerek vezetékezése

A **6.22. ábra** egy egész rendszert mutat: táprendszerrel és irányítórendszerrel felszerelve (többciklusos lefutás, lépésenkénti futtatás, stb.).



6.22. ábra

A bélyegzőberendezés megvalósítása

A fenti ábrán a rendszer a levegőt a léghálózatról kapja egy zárószelepen keresztül. A nyomáscsökkentőt is tartalmazó tápegység után, a levegőáram kétfele van osztva: a végrehajtás és a vezérlés fele terelődik.

Egy kulcsos zárószelep után lehetőségünk van egy-egy nyomógomb segítségével be- és kikapcsolni a végrehajtás tápját. Innen a levegő a munkahengerek 5/2-es teljesítményszelepeire van kapcsolva.

Ezzel egy időben a kulcsos szelep a vezértáp kacsolóját is irányítja. Mivel a vezérléshez nem szükséges a tápegységből távozó nyomás, lehetőség van egy másik nyomásirányító elemmel ezt tovább csökkenteni. A vezérlés első eleme a Vészstop útváltó, amellyel engedélyezni vagy letiltani lehet a rendszer működését. Ez utóbbi esetben a munkahengerek a VAGY kapukon keresztül az alaphelyzetbe lesznek állítva (az A10, B10, C10 mozgások indulnak).

A rendszer működése folyamán a felhasználó választhat kézi, illetve automata üzemmód között. Kézi üzemmódban a *Lépés* szeleppel a tároló van táplálva, így minden gombnyomás egy lépést indítását jeleni. Bármikor lehetőségünk van az *Alaphelyzet* útváltóval a rendszert a kezdeti helyzetbe mozdítani. Az automata üzemmód keretén belül a lépések egymást követik külső beavatkozás nélkül. Egy ciklus indítása a *Start* gombbal történik, amikor a *Start jel* vezetéken levegő áramlik, majd a *Ciklus aut.* szelep állásától függően ezt követi vagy nem egy másik mozgás sorozat. Ebben az esetben a ciklusok ismétlését a *Ciklus stop* gombbal állíthatjuk meg. Az *Alkatrésztár reteszelés* kapcsoló is megszakíthatja a ciklusok sorozatát, abban az esetben, ha a tárolóból kifogyott a munkadarab.

6.3.2. Útvezérlés tervezése léptetőlánc segítségével

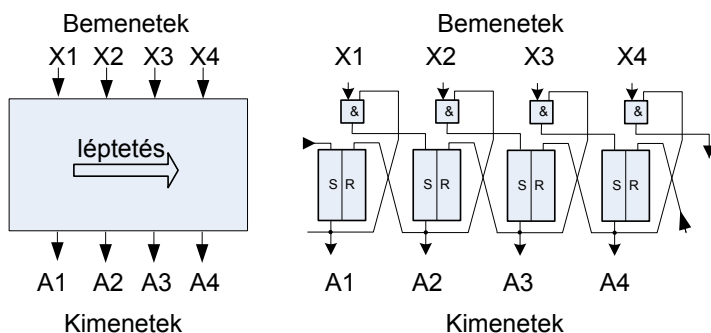
Az előző alfejezetben a folyamatok indítását bizonyos érzékelők végezték. A parancsjelek a vezérlés jelfeldolgozását követően, a teljesítményszelepek kapcsolásain keresztül vezérelték a munkahengereket. A vezérlési feladat nagyon leegyszerűsödik, ha a helyzetérzékelők és a szelepek közé léptetőláncot iktatunk be. Ennek segítségével nagyon egyszerűen hozzá lehet rendelni az érzékelőket a megfelelő mozgási folyamatokhoz.

A léptetőlánc működésének elvét a **6.23. ábra** szemlélteti. A léptetőlánc első kimenetét az Y_{n+1} jellel sorbakötött Start jel szolgáltatja az Y_n bemenetre adott parancsjellel. Ekkor megjelenik az A1 kimenet, melynek három feladata van:

- vezérel egy teljesítményszelepet (a lánc kimenete);
- előfeszíti az X1 bemenet ÉS kapuját (ezzel biztosítja, hogy az aktuális kimenet után csakis a következő lehet aktív);
- törli az öt megelőző (ebben az esetben utolsó) tároló tartalmát.

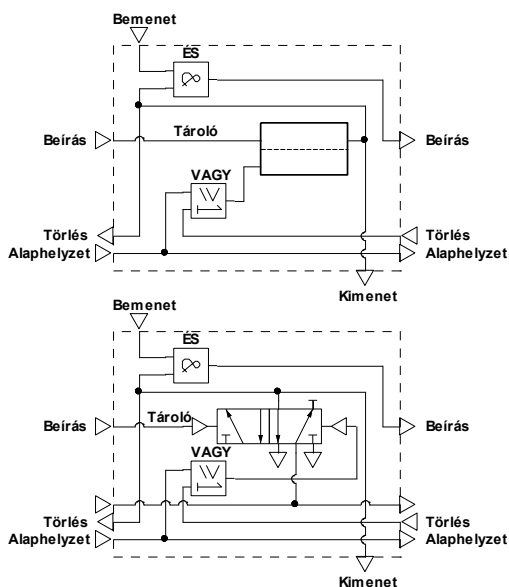
Ennek következtében, ha az X1 bemeneten jel jelenik meg (kapcsol egy érzékelő), akkor ugyanez a folyamat játszódik le a második tárolóval és ennek A2 ki-

menetével. Innen az következtethető, hogy annyi „láncszemre” van szükségünk, ahány lépésből áll a vezérelendő folyamat.



6.23. ábra

A léptetőlánc működési elve

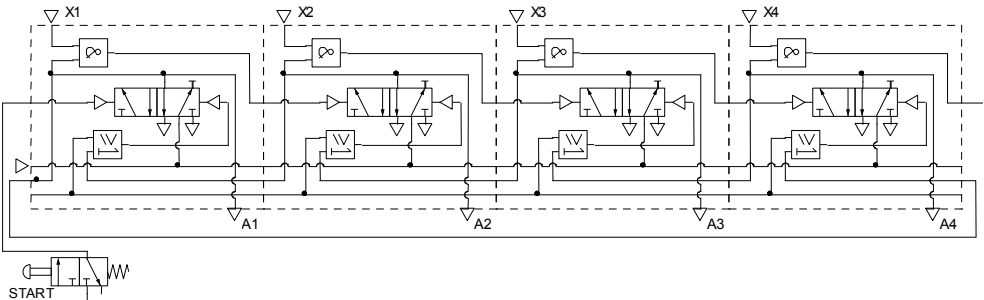


6.24. ábra

Láncelem logikai és pneumatikus felépítése

Egy tárolónak a logikai elemekből való felépítését és ezek pneumatikus megvalósítását a **6.24. ábra** mutatja. Az így megvalósított léptetőlánc elemeket egymáshoz lehet csatlakoztatni, úgy hogy a megfelelő hosszúságú lánc alakuljon ki (**6.25. ábra**). Ebben az esetben a mozgásparancsok az A kimeneteken jelennek

meg, míg a mozgást nyugtázó, a mozgás befejezését jelző érzékelőktől az *X* bemeneteken érkeznek a jelek.



6.25. ábra
Léptetőlánc kialakítása

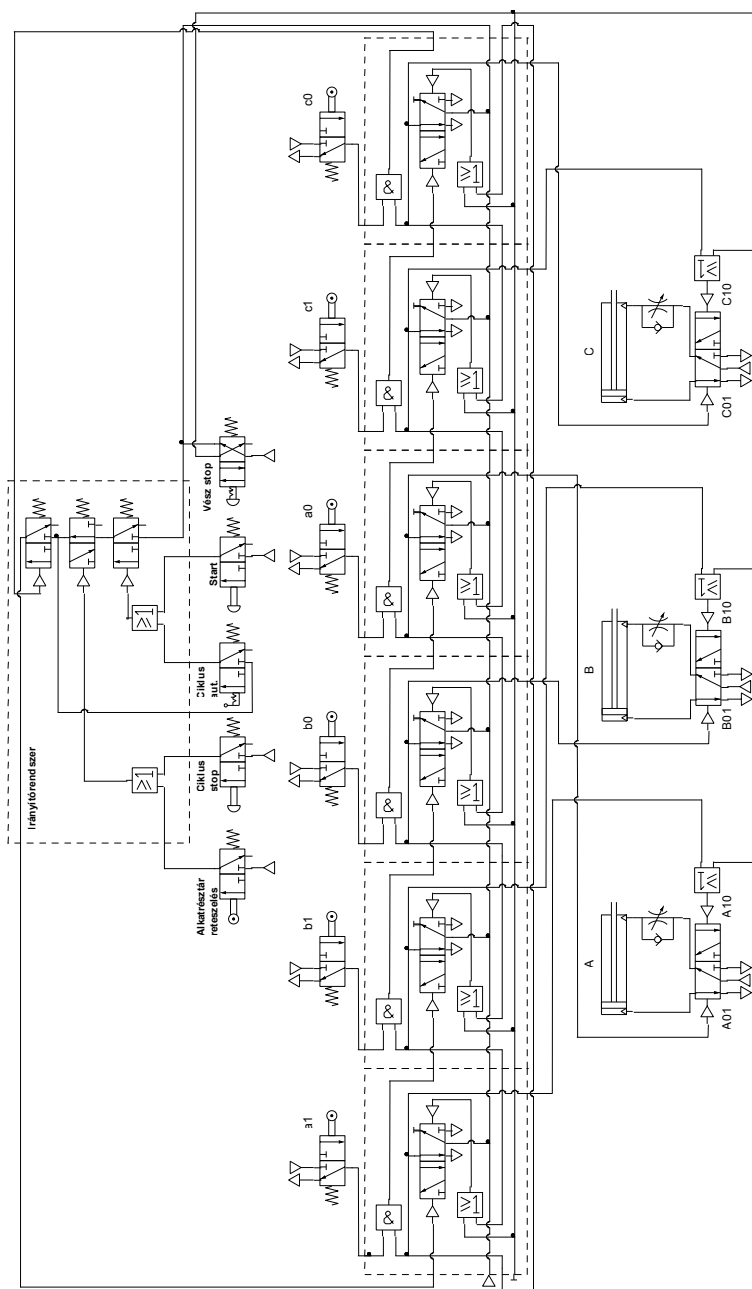
Munkadarab-bélyegző vezérlése léptetőlánc segítségével

A feladat megvalósításának első lépései megegyeznek az eddig ismert módszerrel. A vezérlés szerkesztése itt is a lépésdiagrammal kezdődik, majd ennek alapján a vezérlési táblázatot kell elkészíteni. Ez utóbbi három sorból és annyi oszlopból áll, ahány lépése van a folyamatnak (**6.1. táblázat**).

Az első sorba a lépések sorszáma kerül, a másodikba pedig a lépéshez rendelt mozgás megnevezése a lépésdiagramnak megfelelően. A harmadik sorban pedig a fenti mozgást nyugtázó érzékelő megnevezését vezetjük be (ez egyben a következő mozgás indításának parancsadója). Ezek után a megfelelő számú elemeket tartalmazó léptetőlánc alá fel kell sorakoztatni a táblázatbeli sorrendben az érzékelők. A vezetékezés nagyon egyszerű lesz: az érzékelőket a nekik megfelelő lánc-elemek bemenetével kell összekötni, majd a kimenetre az illető lépést indító szelepeket csatlakoztatni. Így például az **6.26. ábrán** látható áramkörben, az **A** henger 0-1 mozgását az **a1** érzékeli, majd ez parancsot ad a B01 mozgás elkezdésére.

6.1. táblázat Léptetőláncos vezérlés: a vezérlési táblázat

Lépések sorszáma	1	2	3	4	5	6
Mozgás megnevezése	A01	B01	B10	A10	C01	C10
Mozgást nyugtázó érzékelők	a1	b1	b0	a0	c1	c0

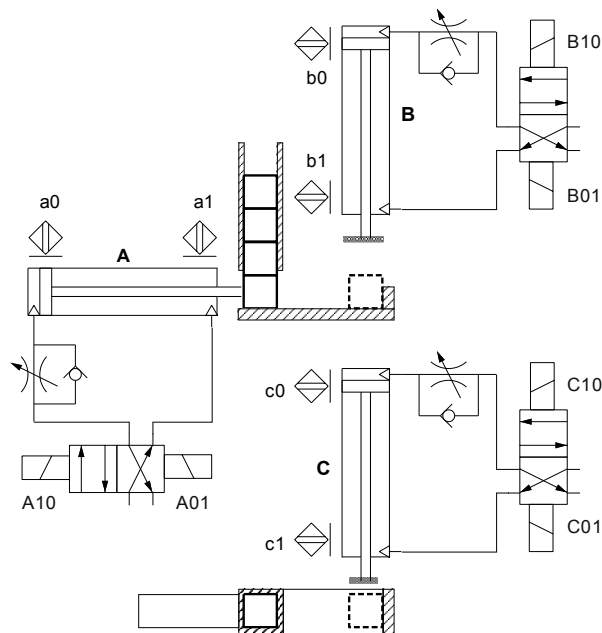


6.26. ábra

Léptetőláncos vezérlés: az áramkör felépítése

6.3.3. Útvezérlés tervezése elektropneumatikus rendszerben, relés vezérléssel

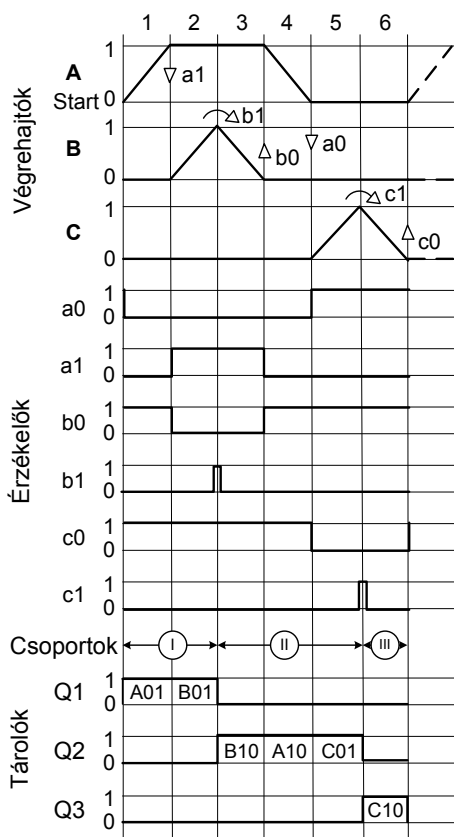
Az elektropneumatikus rendszerekben a helyzet, illetve a pozícióérzékelés villamos jeleket kibocsátó érzékelőkkel történik. Nagy választási lehetőség van az érzékelőket illetően. A leggyakrabban használt megoldás a Reed-relé, amely egy érintésmentes közelítőkapcsoló. A működés során a dugattyúba beépített állandó mágnes tere zárja a relé érintkezőit, amely így egy villamos jel áthaladására ad lehetőséget.



6.27. ábra
Elvi működési vázlat

6.3.4. Munkadarab-bélyegző relés vezérlése kétoldali elektromágneses teljesítményszelepek alkalmazásával

A fennebb említett újdonságoknak megfelelően a megvalósítandó berendezés elvi működési vázlata megváltozik (**6.27. ábra**). Minden dugattyúhoz két villamos helyzetérzékelő csatlakozik, illetve az útváltókat két-két tekercs mozgatja.



6.28. ábra

Működési diagram kéttekercses útváltók használata esetén

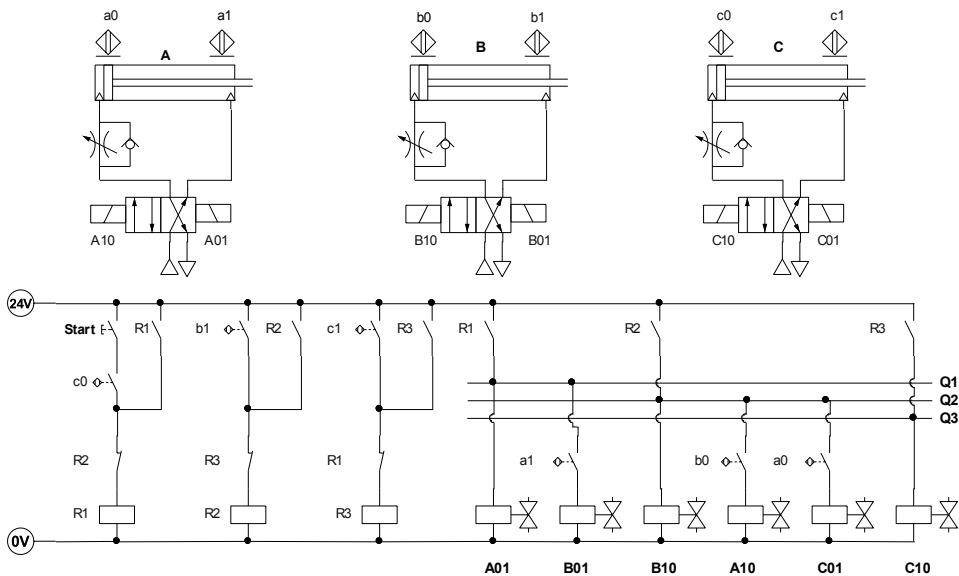
A vezérlés megvalósításában az első lépést szintén a lépésdiagram és az érzékelők állapotát tükröző diagram elkészítése képezi. A következő feladat a folyamat mozgásainak csoportosítása: egy csoporton belül nem szerepelhet ugyanannak a dugattyúnak két ellentétes mozgása. Ezek a csoportok majd külön kimenetekre lesznek kötve, hogy a reteszelést kizárják. Így a feladatnak megfelelően három csoportot lehet létrehozni:

I. csoport	II. csoport	III. csoport
A01, B01	B10, A10, C01	C10

Ezek is megjeleníthetők a diagramok alatt, majd a tekercsek logikai állapotát is fel kell tüntetni (6.28. ábra): ha áram halad keresztül a tekercsen 1-es, ha nem akkor 0 értéket képvisel a **Q** tároló.

Villamos kapcsolással egy tároló hozható létre, annyi kimenettel, ahány csoport van. Ebben az esetben **Q1**, **Q2** és **Q3** kimenetekről van szó. Minden kimenethez egy vezérlőáramkör rendelhető hozzá, majd ugyancsak ide köthetők az útváltó tekercsei a csoportoknak megfelelően. Az így megvalósított áramkört a **6.29. ábra** szemlélteti.

A **Start** gomb megnyomásával az 1. áramkör záródik, így áram halad át az **R1** relé tekercsén, és az ehhez tartozó kapcsolókat működteti. A 2. áramkörben levő **R1** kapcsoló egy önfenntartó megoldást képez, mivel zárás után már nincs szükség az 1. áramkör felső részére, hogy az **R1** tekercs gerjesztve legyen.



6.29. ábra

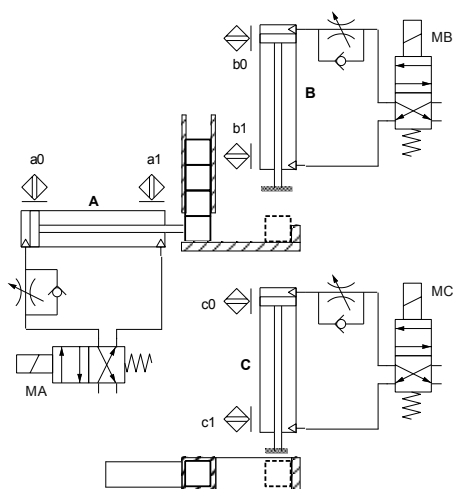
Bélyegzőberendezés vezérlésének elektropneumatikus megvalósítása a

Ezzel egyidőben a 8. áramkörben is zár az **R1** áram alá helyezve a **Q1** kimenetet, és ennek megfelelően az A01 mozgást indítva. Habár a B01 mozgás is a **Q1**-re van kötve, ez mindaddig nem indul, míg az **a1** érzékelő nem kapcsol (ez akkor következik be ha az **A** henger felütközött, elvégezte a 0-1 mozgást). Ha a B01 is befejeződött, akkor a **b1** kapcsol és a 3. áramkörbeli **R2** tekercsen áram halad át. Itt is beindul egy önfenntartó kapcsolás a 4. áramkörben, és kapcsolja a **Q2** kimenetet, és az ezekehez rendelt mozgásokat. Mivel a tárolónak csak egy kimenete élhet egyszerre, szükséges mindezekkel egyidőben az 1. áramkör bontása, mivel ez vezérelte a **Q1** kimenetet.

A további lépések logikailag megegyeznek az előzőekben leírtakkal.

6.3.5. Munkadarab-bélyegző relés vezérlése egyoldali, rugós alaphelyzetű elektromágneses teljesítményszelepek alkalmazásával

Első lépésként az elvi működési vázlat változik meg: az útváltókat egy tekercs és egy rugó vezérli (6.30. ábra). Alaphelyzetben a rugó határozza meg a szelep által vezérelt mozgás irányát. Ebből kifolyólag a tekercset addig kell működtetni, amíg az illető mozgás tart, vagy bizonyos helyzetben szükséges tartani a dugattyút. Ha a tekercs gerjesztése megszűnik, a rugó hatására az útváltó átbillen, és elkezdődik a visszafele mozgás.



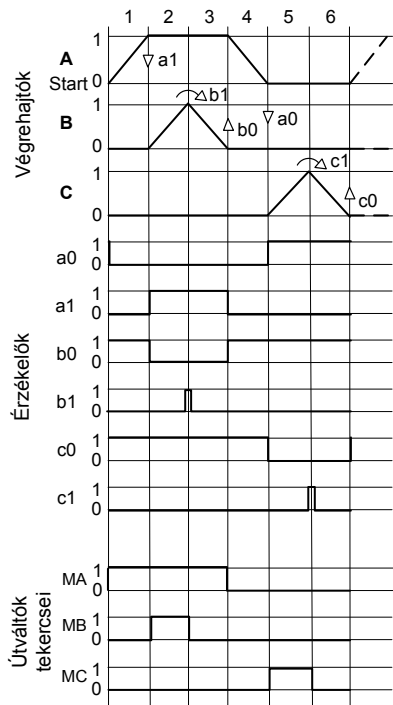
6.30. ábra

Elvi működési vázlat egytekercses útváltók használata esetén

A diagramok (lépésdiagram, érzékelők és tekercsek állapotai – 6.31. ábra) egy vezérlési táblázattal egészülnek ki:

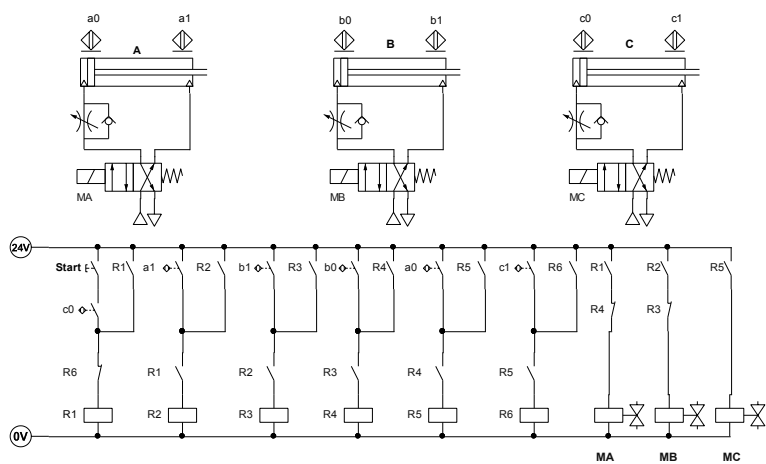
Lépés		1	2	3	4	5	6
Mozgás		A01	B01	B10	A10	C01	C10
Indító parancs		St & c0	a1	b1	b0	a0	c1
Mágnes-szelepek	MA	1	1	1	0	0	0
	MB	0	1	0	0	0	0
	MC	0	0	0	0	1	0

Az útváltó tekercseihez rendelt értékeket a diagramból lehet kiolvasni: ha áram halad keresztül rajtuk, akkor 1, ha nem akkor 0. A vezérlési táblázatot felhasználva építjük meg a kapcsolási rajzot a 6.32. ábra szerint.



6.31. ábra

Működési diagram egytekercses útváltók használata esetén



6.32. ábra

Az egytekercses útváltókkal ellátott berendezés vezérlése

7. A programozható vezérlők alkalmazása

Az előző fejezetben bemutatott folyamat a diszkrét technológiai folyamatok családjába sorolható, melyek kétértékű állapotváltozásokat tartalmaznak. Az ilyen diszkrét folyamatok vezérléssel automatizálhatók. Az előzőekben tárgyaltak alapján, típusuk szerint ezek lehetnek hidraulikus-, pneumatikus- vagy villamos vezérlések.

A vezérlőberendezés összefoglaló neve mindazon szerveknek, amelyek hatnak a vezérelt berendezésre (szakaszra). A vezérlőberendezés részei az érzékelés/vagy parancsadó szervek, a jelformálók, a logikai döntést végző és a beavatkozószerv, valamint az esetleges jelátalakítók. A beavatkozó, amely rendszerint magában foglalja a végrehajtó szervet és a beavatkozó szervet, szerkezetileg legtöbbször a vezérelt berendezéshez tartozó, de funkcionálisan a vezérlőberendezés részeként számon tartott szerv. Bár a vezérlési folyamatban nem mindig vesznek közvetlenül részt, de a vezérlőberendezés részét képezik az ember-gép kapcsolatot biztosító kijelző- és regisztrálókészülékek, kezelő elemek is.

A vezérlőkészülék a vezérlési algoritmust valósítja meg. A vezérlési algoritmus olyan logikai összefüggésrendszer, amely a kívánt beavatkozójeleket állítja elő a folyamatot jellemző változók mért értékeiből és/vagy a vezérlést befolyásoló feltételekből.

A vezérlés bonyolultságát az adja, hogy a vezérelt berendezést rendszerint több külső hatás befolyásolja és a rendelkező jel is több lehet. A vezérléseket megvalósító módszereket a vezérléstechnika foglalja össze. A vezérléstechnika magába foglalja a vezérlés eszközeinek, a vezérlés algoritmusainak a tárgyalását és a vezérlési feladat megoldásának tervezési módszereit.

A vezérlési feladatok alapvetően két csoportra oszthatók, kombinációs típusú és sorrendi típusú vezérlésre. Kombinációs típusú vezérlés esetén a kimenőjelek (rendelkezőjelek) csak a bemenő jelektől függenek, más szóval ugyanazon bemeneti kombinációhoz mindig ugyanaz a kimeneti esemény tartozik. Ilyenek például a kapuáramkörök, kódoló, dekódoló, multiplexer, demultiplexer áramkörök. A kombinációs típusú vezérlési funkciók az

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7.1.)$$

alakú időtől független egyenlettel írhatók le, ahol y_i az i -edik kimeneti függvény és $x_1 \dots x_n$ a bemeneti változók. Sorrendi (szekvenciális) típusú vezérlés esetén a kimeneti eseményt egyrészt a bemeneti jelek kombinációi, másrészt a kombinációk sorrendje együtt határozzák meg. Eszerint sorrendi hálózat esetén ugyanazon be-

meneti kombinációhoz más-más kimeneti esemény tartozhat. A sorrendi típusú vezérlési funkciók a

$$Z_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, q_1, q_2, \dots, q_m) \quad (7.2)$$

típusú logikai függvénnyel írhatók le, ahol Z_i az i -edik kimeneti függvényt, $x_1 \dots x_n$ a bemeneti változókat, $q_1 \dots q_m$ a belső visszacsatolás révén megvalósított memória-elemeket jelenti. Tipikus sorrendi hálózatok, pl. a regiszterek, flip-flopok, a relé öntartó kapcsolása, számlálók, memóriák.

A vezérlések kapcsán külön kell szólni a védelmi funkciókról és a karbantartási üzemmódról. Bármely ipari irányítási rendszerben a legmagasabb prioritási szinten külön kell gondoskodni a vész- és védelmi feladatok ellátásáról. A vész- és védelmi feladat célja az élet- és vagyonvédelem. (Ez a védelmi funkció megvalósítása látható a **6.22.** és a **6.25. ábrán** bemutatott pneumatikus vezérlések felépítésében is.)

Védelem szükséges, ha valamely folyamat veszélyes értékeket közelít meg, és amely érték elérését akár az irányított berendezés leállítása árán is meg kell akadályozni. Ilyen, pl. a túlnyomás- vagy a túláramvédelem.

Reteszelés esetén nem teljesül valamely fontos feltétel, és emiatt leállítandó vagy nem indítható az irányított berendezés. Ilyen pl. ha a védőrács nincs a helyén, a hűtőszivattyú nem működik vagy nincs táplevegő.

A vezérlési algoritmusban a védelem a legmagasabb prioritású, azt a reteszelés követi. A legfontosabb védelmi- és reteszelési funkciókat külön hardver vagy szerkezeti kialakítás révén kell biztosítani. Ilyen például, amikor a túláramrelé megszakítja a tápellátást. A reteszelési feladatok egy része szoftveresen is megoldható, de ennek az a feltétele, hogy amennyiben a vezérlőkészülék nem működik, a feltételek automatikusan teljesüljenek. Például, ha nem működik a vezérlőkészülék, akkor nem ad ki vezérlőjelet a motornak. Ha a motor nem kap vezérlést, akkor áll. Ha a motor áll, akkor nem veszélyes, hogy nincs rajta védőrács. Az igen nagy értékű berendezéseknél ezeket a feladatokat ún. monitoringrendszer (figyelőrendszer) látja el.

Az összetett ipari vezérlések másik jellegzetes feladata az ún. karbantartási üzemmód biztosítása. Ilyen esetben a rendszert le kell állítani, majd javítás után újraindítani. Ez a fajta leállítás jelentősen különbözik a vészleállításoktól, mivel itt az anyag- és energiatakarékosság is fontos szempont. Technológiai okok miatt az egyes rendszerek leállítása és újraindítása csak kötött sorrendben történhet (gondoljunk a szállítószalag vezérlésére, ahol ennek be nem tartása komoly műszaki, gazdasági következményekkel járhat), továbbá az egyes részrendszerek csak fokozatosan érhetik el üzemi állapotukat (pl. nagy teljesítményű motor).

7.1. A villamos vezérlőberendezések fejlődésének áttekintése

A szabályozó- és vezérlőberendezések korábban szerkezeti kialakításukban igen eltérőek voltak. Ez a különbség főként a rendelkezőjel előállításának különbözőségéből (különbségképzés, logikai művelet) eredt. A vezérlőberendezések fejlődését kezdetben az elektromechanikai eszközök, később az elektronikai, mikroelektronikai eszközök és technológiák, napjainkban az előzőeken túl az informatikai eszközök és technológiák határozzák meg.

Amint az előző fejezetben is említettük, az első igen széles körben elterjedt villamos vezérlőberendezés-típus az *elektromechanikus vezérlés* volt, amelynek univerzális eleme a *relé*. A relés vezérlések napjainkra kiszorultak, csak korábbi telepítésűek vannak üzemben, illetve nagyon egyszerű feladatok megoldására alkalmazzák. A relés szemlélet a programozható vezérlőkben a létradiagramos programozási nyelvben tovább él.

Időrendben a relés vezérléseket a *huzalozott logikájú elektronikus vezérlések* követték, amelyeknek két változata létezett: a *diszkrét alkatrészekből felépített* dióda-tranzisztor logika (diode-transistor logic, DTL), később pedig a tranzisztor-tranzisztor logika (transistor-transistor logic, TTL), illetve a komplementis fém-oxid félvezető elemekre épülő (complementary metal-oxide semiconductor, CMOS) *integrált áramkörökből* felépített rendszerek.

A huzalozott logikájú elektronikus rendszereknek számos előnyük van a relés vezérlésekhez képest (mozgó alkatrészt nem tartalmaznak, igen nagy működési sebességgel üzemelnek, élettartamuk nagyságrendekkel nagyobb), de számos hátrányuk (fix huzalozás, zavarérzékenység, nagy méret, kommunikációs lehetőség hiánya) miatt napjainkra teljesen kiszorultak, esetleg csak részfunkciók ellátására alkalmazzák őket.

A vezérlőberendezések fejlődésében újabb minőségi ugrást a *félvezető memóriák* (ROM, RAM), a *nagymértékben integrált áramköri technológia* (LSI, VLSI) kidolgozása és a *mikroprocesszorok* megjelenése jelentett. Ez a változás a korábbi váltáson (relé-félvezető) túl a hardver változását és a *hardver univerzalizálásának* lehetőségét teremtette meg: a felhasználó a programot fejlesztheti, átírhatja és kialakíthatja a nagy rendszereket, megjelenítheti a folyamatot, archiválhatja az eseményeket, valamint kialakíthatja a rendszerek intelligens kommunikációját. A mikroprocesszoros rendszereknél ugyanakkor megszűnik az a működés, miszerint a különböző típusú logikai döntést végző elemek csak egyetlen funkciót hajtanak végre (pl. ÉS kapu, NAND kapu, dekódoló). A mikroprocesszor aritmetikai-logikai egysége

(ALU) több tízezer műveletet képes végrehajtani a relé ms nagyságrendű megszólalási ideje alatt. Ez a lehetőség vezetett a programozható vezérlők kialakulásához.

7.2. Programozható vezérlők

A programozható vezérlők az 1970-es évektől kezdődően terjedtek el és ma csaknem kizárólagos alkalmazást nyertek az ipari folyamatok vezérlésében. A programozható vezérlőberendezések, a vezérlési (esetleg szabályozási) funkciókat szoftver útján valósítják meg, és beviteli-, kiviteli egységeik révén a technológiai folyamatok *tárolt programú* vezérlésére közvetlenül alkalmasak. A programozható vezérlőnek számos megnevezése van különböző nyelvekben, de szakmai körökben leginkább a PLC elnevezés terjedt el, ezért a továbbiakban ez a könyv is ezt a rövidítést használja.

7.2.1. PLC történelem

1968-ban a General Motors cég pályázatot hirdetett olyan programozható vezérlőberendezés fejlesztésére, amely ötvözi a *relés*, a *félvezetős* és a *számítógépes* vezérlés előnyeit.

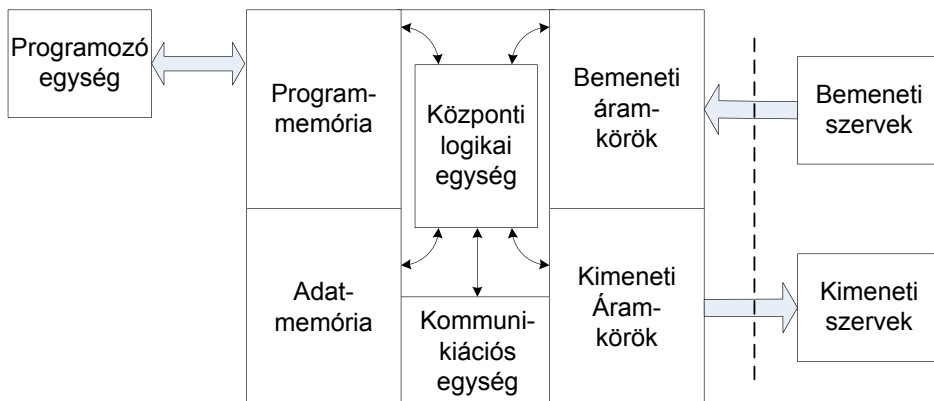
A pályázat specifikációjában az alábbi szempontok szerepeltek:

- egyszerű, moduláris felépítés, kis méret;
- mozgó alkatrészt ne tartalmazzon;
- galvanikusan leválasztott bemeneti/kimeneti fokozatok (24 Vdc-től 240 Vac);
- könnyű programozhatóság és újraprogramozás;
- valós idejű működés max. 0,1 s válaszidővel;
- nagy megbízhatóság, minimális karbantartás;
- versenyképes ár.

A pályázatra a Modicon és Allen-Bradley cégek jelentkeztek, amelyek ma is vezető cégek a PLC-k piacán.

A mai PLC-ket, kivételük alapján kompakt és moduláris felépítésű csoportokba sorolhatjuk.

A *kompakt* PLC jellemzője, hogy hardverstruktúrája nem módosítható, kizárólag megfelelő védettségű ipari tokozásban készül és kis helyigényű. Felhasználási területei: a sorozatban gyártott gépek, berendezések, illetve a PLC műszaki jellemzői által lefedhető egyedi vezérlések. A kompakt PLC-k speciális típusát jelentik az ún. *mikro-PLC-k*, amelyek az ember-gép kapcsolat hardver- és szoftverfeltételét is tartalmazzák.



7.1. ábra
A PLC funkcionális felépítése

A *moduláris* felépítésű programozható logikai vezérlők jellemzője, hogy a vezérlőberendezés valamely speciális funkciót önmagában ellátó modulokból épül fel. A modulok fizikai megjelenése rendszerint az áramköri kártya, dugaszolható csatlakozóval. A modulok ún. rack-be (tartó) dugaszolhatók, ezért a rendszer konfigurációja tág határokon belül bővíthető. A rack-ek megfelelő védetségű műszerdobozba vagy műszerszekrénybe szerelhetők. A moduláris felépítésű PLC-ket közepes és nagyméretű rugalmas gyártórendszerek vagy ipari folyamatok irányítására fejlesztették ki.

7.2.2. A PLC-k funkcionális felépítése

A PLC funkcionális felépítését a **7.1. ábra** szemlélteti.

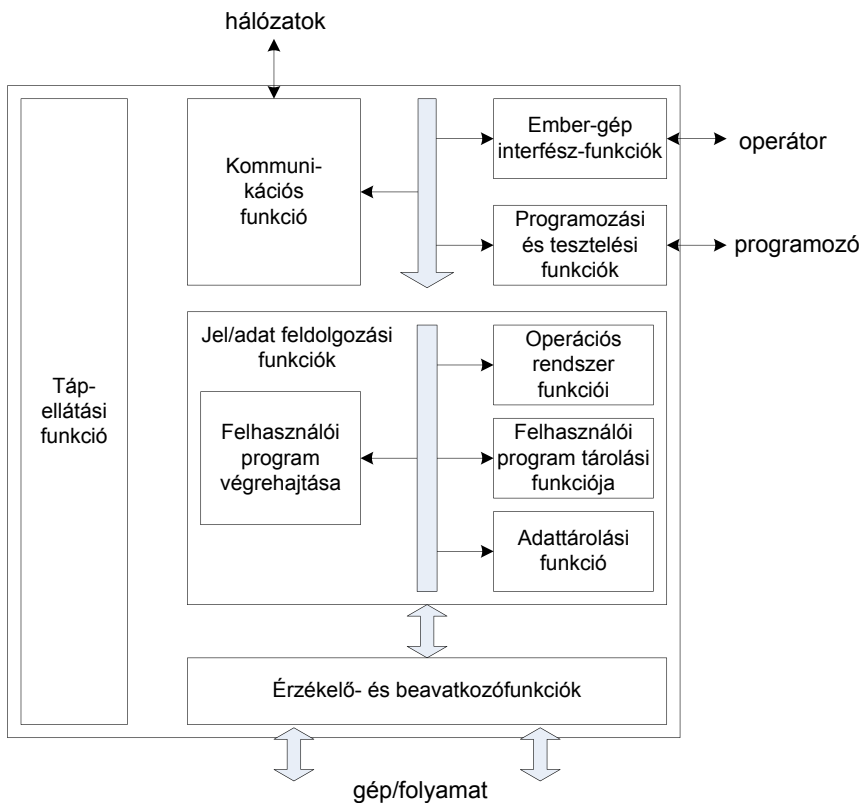
- központi logikai és feldolgozóegység (LU, CPU, stb.);
- programmemória (ROM, EPROM, EEROM);
- adatmemória (RAM);
- bemeneti (input) egységek (digitális és analóg);
- kimeneti (output) egységek (digitális és analóg);
- kommunikációs egységek.

A programozható vezérlők központi egysége a bemenetek és a kimenetek közötti, többnyire logikai kapcsolatokat *időben sorosan és ciklikusan* hajtja végre a programmemóriában tárolt program alapján. A soros jellegű adatfeldolgozásból eredően a *ciklikus feldolgozást* nagy sebességgel kell végrehajtani, hogy a működés valós idejűnek tűnjék. A programozható vezérlőkre vonatkozó IEC-1131-1 szabvány a PLC-t a **7.2. ábra** szerinti sémával és funkciókkal definiálja.

A programozható vezérlő az alábbi funkciók ellátására képes:

- jel/adat feldolgozási funkció (signal/data processing);
- technológiai interfészfunkció az érzékelők kezelésére, és beavatkozók működtetésére;
- kommunikációs funkciók (PLC-PLC; PLC-számítógép; PLC-hálózat);
- ember-gép interfészfunkció (man-machine interface, MMI);
- programozási, tesztelési, dokumentálási funkció;
- tápellátási funkció.

A fejlődés során a programozható vezérlők funkciói nagymértékben közeledtek a számítógép funkcióihoz. Így mára a PLC olyan ipari számítógépnek tekinthető, amely speciális hardveregységei és felhasználói programja révén a technológiai folyamatok tárolt programú vezérlésére, szabályozására és intelligens kommunikációs felülete révén hierarchikus és/vagy osztott folyamatirányító rendszerek létrehozására alkalmas.



7.2. ábra

Az IEC 1131-1 szabvány szerinti PLC funkciók

A programozható vezérlők előnyei: felhasználói programozhatóság, amelynek révén a felhasználó a tárolt, egyedi program révén az univerzális hardvert a feladatra alkalmassá teszi, a gyakorlatilag végtelen kapcsolási szám, a telepítési költségek csökkenése, a rendszerbe szervezhetőség lehetősége. A PLC-k alkalmazásával a telepítési, beüzemelési idő nagymértékben lerövidíthető. A PLC-k alkalmazásánál az áramköri tervezésszintű ismeretek helyett a rendszertechnikai, programozási, informatikai, alkalmazásszintű ismeretek lépnek előtérbe.

7.3. Programozható vezérlők hardver-felépítése

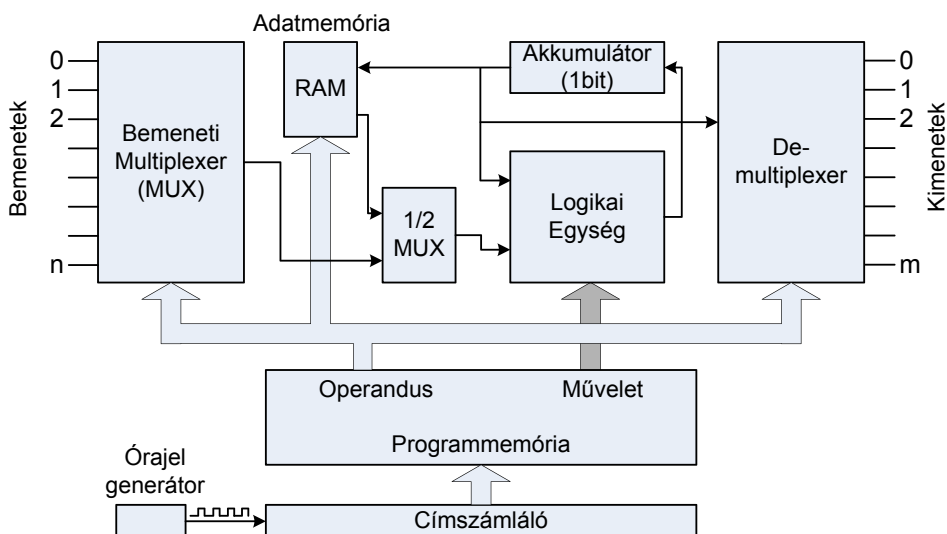
A programozható vezérlők hardvere univerzális. Fő rendeltetése a vezérlési program végrehajtása, amihez az adatok beolvasására, feldolgozására és az eredmény kivitelére van szükség. Ezt a három műveletet az alábbi hardveregységek végzik: bemeneti egység, központi feldolgozóegység és kimeneti egység. A felsoroltak közül a központi feldolgozóegység fejlődött a legdinamikusabban, és főként ez határozza meg a PLC szolgáltatásait. Az első PLC-k központi feldolgozóegysége még kis- és/vagy közepes mértékben integrált digitális áramkörökből épült fel. Az integrálási technológia fejlődésével a huzalozott logikájú központi egységeket felváltották az úgynevezett bitprocesszorok (Boole-processzor, logikai processzor), amelyek funkcionálisan nem, csak méretbeli és áramköri jellemzők szempontjából jelentettek előnyt az előzőekhez képest. Ezek alkották a programozható vezérlők első generációját.

A nagymértékben integrált áramkörök elterjedésével az általános célú mikroprocesszorok váltak a PLC-k központi feldolgozóegységévé, ami egyben minőségi változást is jelentett. A bájtt-, illetve szóprocesszorok alkalmazása révén a Boole-műveletek mellett más funkciók is általánossá váltak a programozható vezérlőkben: aritmetikai műveletek végzése, szabályozási funkció ellátása, szabványos kommunikáció biztosítása stb. A mikroprocesszor alapú programozható vezérlők, amelyek napjainkra szinte egyeduralkodóvá váltak, tekinthetők a PLC-k második generációjának.

7.3.1. Bitprocesszor alapú programozható vezérlők

A bitprocesszor alapú programozható vezérlőkre jellemző, hogy csak egybites, Boole jellegű logikai műveleteket képesek elvégezni, kevés számú utasítást tudnak végrehajtani, és kis memóriát tudnak kezelni. Ebből adódóan a mikroprogramozott vezérlési architektúra és a névkódon (vagy gépi kódú) alapuló programozás jellemzi őket. Ezt a típusú PLC-t csak pont-pont kommunikációra lehet használni.

A mára elavultnak tekinthető bitprocesszor alapú PLC-k bemutatása egyrészt didaktikailag indokolható, mivel felépítésük és működésük egyszerű, másrészt az úgynevezett PLC-nyelvek és a korai bitszervezésű architektúrák között igen szoros összefüggés van. A bitprocesszor rendszerint a következő egységeket tartalmazza: bemeneti multiplexer, programozható logikai egység (Logical Unit, LU), egy bites akkumulátor, kimeneti taroló és demultiplexer, véletlen hozzáférésű memória (RAM) és a szükséges adat-, cím- és vezérlővonalak (7.3. ábra).



7.3. ábra
Egy bitprocesszor alapú PLC felépítése

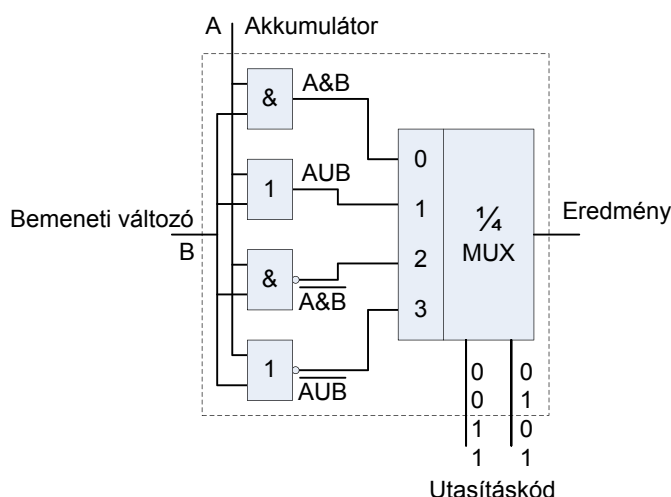
Az egyes egységek funkciói:

- bemeneti multiplexer: a bemeneti logikai változók kiválasztása és az adat kapuzása a programmemóriában tárolt bemeneti cím alapján;
- logikai egység: a bemenetére jutó bitek között a programmemóriában tárolt mikrokód által meghatározott logikai művelet végzése;
- akkumulátor: egy bites operandus- és eredményregiszter;
- kimeneti demultiplexer és tároló: a LU által végrehajtott logikai művelet eredményének (1 bit) kijuttatása a programmemória által meghatározott kimenetre és az adat tárolása;
- adatmemória: a logikai műveletek részeredményeinek tárolása.

A programozható vezérlők alkalmazása

A bitprocesszor alapú PLC külső elemei és azok funkciói:

- *programmemória*: a vezérlési algoritmust realizáló program tárolása,
- *programszámláló*: a programmemória egymás utáni címkombinációinak előállítására az óragenerátorról kapott impulzusok hatására.



7.4. ábra

A mikrokód által programozott egység

A mikrokód által programozott logikai egység legegyszerűbb felépítését szemlélteti a **7.4. ábra**.

A logikai egység a két bemeneti változón (A, B) négyféle logikai műveletet hajt végre, de a kimeneti multiplexer révén a bemenetek (műveleti kód) által kiválasztott eredmény jut a kimenetekre a következők szerint:

Mikrokód		Függvény
0	0	A&B
0	1	AUB
1	0	$\overline{A \& B}$
1	1	$\overline{A \cup B}$

A **7.3.** és a **7.4. ábrák** alapján követhető a bitszervezésű PLC működése. A programmemóriában tárolt operandusmező közvetlenül címezi a bemeneti, kimeneti és RAM-elemeket. A műveleti kód a programozható logikai egység által végzendő műveletet határozza meg. A logikai egység mindig az akkumulátor és a má-

sik operandus (bemenet, vagy RAM bit) között hozza létre az előírt logikai műveletet, például a kétváltozós ÉS kapcsolatot. A programmemóriában tárolt programot a PLC az órajelgenerátor által működtetett számláló révén, növekvő sorrendben egymás után *ciklikusan* hajtja végre. A kimenetre juttatott eredményeket a flip-flopok tárolják két feldolgozási ciklus között.

A programozható vezérlőkben kétféle funkciójú memóriát alkalmaznak: *program- és adatmemóriát*.

A programmemória a vezérlőprogramot tartalmazza, amellyel a vezérlési algoritmus van megvalósítva. A bitprocesszor alapú PLC-k esetén a programmemória szóhosszúságát egyrészt az utasítások számának bináris kódja, másrészt a be/ki címtartomány határozza meg.

Programmemóriaként korábban egyszer programozható, csak olvasható memóriát használtak (ROM), míg napjainkban törölhető, programozható, csak olvasható (Erasable PROM, EPROM), illetve elektromosan törölhető, újraprogramozható, csak olvasható (Electrically Erasable PROM, EEPROM) memóriát alkalmaznak. Utóbbi előnye, hogy a program módosítása a memóriacsip kivétele nélkül közvetlenül megoldható. A programfutás közben keletkező változók tárolására *írható-olvasható memóriák* (RAM) szolgálnak, amelyek a tápfeszültség bekapcsolásakor telepes védelem nélkül tetszőleges értéket (0, illetve 1) vehetnek fel. Említésre méltó még a memória forma, amely energia táplálás hiányában is megtartja az információt. Közkeletű napjainkban az SD memóriakártya vagy USB-flash-tároló.

A RAM-memóriák a következő célorientált funkciókat látják el a programozható vezérlőkben:

- a közbelső adattárolók funkciója hasonló a hagyományos vezérlés segédreléihez. Ezek valósítják meg a tároló funkciókat (a programban M betűvel jelölik a MERKER kifejezésből adódóan);
- az I/O RAM funkció a bemeneti és kimeneti változók tárolását jelenti, szintén bitszervezésű;
- az időzítők (timer) és számlálók (counter) értékének átmeneti tárolása (bájt vagy szó jellegű).

7.3.2. Bájt- vagy szóprocesszor alapú programozható vezérlők

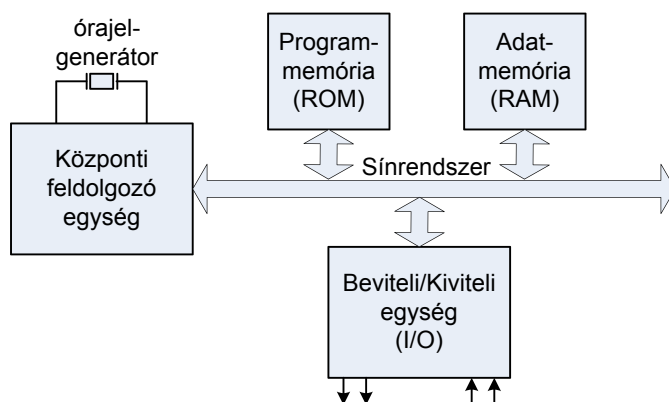
A programozható vezérlők szolgáltatásai az általános célú mikroprocesszorok (bájt-vagy szóprocesszorok) beépítésével minőségileg megváltoztak. A szóprocesszorok felépítése nagymértékben hasonlít a bitprocesszorokéhoz.

Az első mikroprocesszorok a 70-es évek elején jelentek meg. A mikroprocesszorok a digitális számítógépek központi feldolgozóegysége funkcióinak ellátására alkalmasak, nagymértékben integrált áramkörök, egyetlen lapkán kialakítva. Az

A programozható vezérlők alkalmazása

első mikroszámítógép-rendszer már a Neumann-féle modell valamennyi elemét tartalmazta (7.6. ábra):

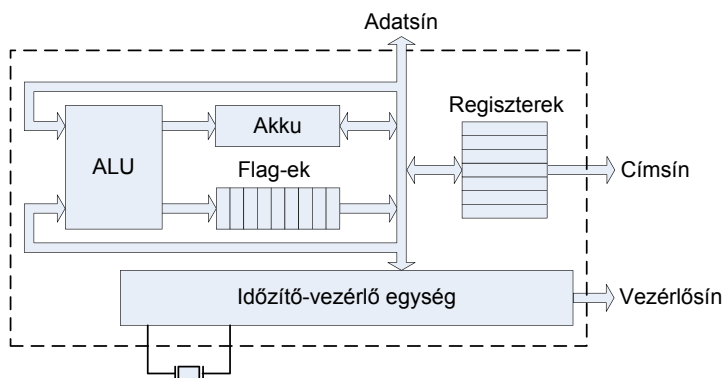
- központi feldolgozóegység (Central Processor Unit, CPU);
- memóriák (RAM, ROM);
- beviteli/kiviteli egység (Input/Output, I/O);
- sínrendszer.



7.6. ábra
Mikroszámítógép felépítése

7.3.3. A mikroprocesszor

A mikroprocesszor a számítógép funkcióit ellátó digitális, nagymértékű integráltságú áramkör, amelynek három fő része van: időzítő-vezérlő egység, aritmetikai-logikai egység (Arithmetical and Logical Unit, ALU) és regiszterek (7.7. ábra).



7.7. ábra
Mikroprocesszor tipikus egységei

Az egyes részegységek funkciói:

Az időzítő-vezérlő egység feladata a program utasításai vagy külső kérések (megszakítás, tartás, várakozás) alapján a gép részeinek irányítása. Ez egyrészt az ALU műveleteinek vezérlését, az egyes adatútvonalak nyitását-zárását, a sínek működtetését, másrészt a külső egységek: a memória és az I/O egységek vezérlését jelenti.

Az utasítások végrehajtása többnyire egy mikroprogram alapján történik. Minden utasítás műveleti kódja egy kis kapacitású ROM-tárban, azaz a mikroprogramtárban elhelyezett programot indít el. A mikroprocesszor időbeni működését biztosító órajelet az időzítőegység fogadja. A vezérlőegység fontos része az utasításregiszter, amely a programmemóriából az utasításlehívási ciklusban beolvasott utasítás kódját tárolja, amíg az utasításdekódoló és értelmező logika meghatározza az elvégzendő műveletet és elindítja a végrehajtást vezérlő mikroprogramot.

A vezérlőegység fontos funkciója a különböző aszinkron jellegű kérések (programmegszakítás, tartáskérés, várakozáskérés) fogadása és az ezekhez tartozó vezérlés.

A mikroprocesszor másik fontos egysége az aritmetikai-logikai egység (ALU), amely az utasításokban meghatározott aritmetikai és logikai műveleteket hajtja végre.

Az ALU-hoz szorosan hozzátartozik az akkumulátorregiszter és az állapotregiszter (flag-regiszter). A processzorok általában csak néhány aritmetikai műveletet (összeadás, kivonás, szorzás) képesek elvégezni, ezért a korszerű mikroprocesszorokhoz ma már nélkülözhetetlenül hozzárendelnek egy aritmetikai társprocesszort (co-processzor).

A mikroprocesszorok speciális és általános célú regisztereket tartalmaznak. Speciális célú regiszterek: utasításszámláló regiszter (Program Counter, PC vagy Instruction Pointer, IP), utasításregiszter (Instruction Register, IR), állapotregiszter (Flag Register, FR), veremmutató (Stack Pointer, SP). Ezek szinte valamennyi mikroprocesszorban megtalálhatók, de az egyes típusok további különleges célú regisztereket tartalmazhatnak, pl. indexregiszter, báziscímregiszter.

Az utasításszámláló regiszter mindig a soron következő utasítás memóriacímét tartalmazza. A PC kezdő értékét, azaz a program első utasításának helyét az operációs rendszer jelöli ki. A mikroprocesszor törlésbemenetét (reset) hatásosan vezérelve a PC-be a 0000h cím töltődik. A PC tartalma vagy minden memória-hozzáférés után eggyel nő, vagy vezérlésátadó utasítás esetén (JUMP, CALL, RETURN, stb.) a vezérlőegység a PC-be az új címet tölti be.

Az állapotregiszter ún. jelzőbitek (feltételbitek) és más vezérlő-, ellenőrző biteket tartalmaz. Korábban a flagbitek az ALU-műveletekhez rendelték hozzá, pl.

A programozható vezérlők alkalmazása

átvitelbit (carry), az eredmény nulla voltát jelző bit (zero), túlcsordulásbit (overflow). Az újabb mikroprocesszorok esetén számos vezérlési információt jelzőbitek tárolnak, pl. megszakítás kiszolgálásának letiltása, memórialapozás engedélyezése.

A veremmutató (stack pointer — SP) speciális regiszter, a veremtár legfelső elemének címét tartalmazza. A veremtároló (stack RAM) az adatmemória (RAM) egy lefoglalt területe. Adatokat csak a verem tetejére lehet tenni, és csak onnan lehet levenni. Ezt a memóriakezelési módot „utoljára be, elsőre ki”(Last-In-First-Out, LIFO) kezelésnek nevezik. A veremmutató minden verem (stack) betöltésekor a betöltött bájtok számával csökken, illetve kiolvasáskor növekszik.

Adatbetöltéskor a veremmutató először csökken és aztán következik be az adat beírása, kiolvasáskor először a processzor olvas, aztán a veremmutató növekszik. Ezért gyakran predekrementáló, *illetve* posztinkrementáló jellegűnek tekintik a veremműveletet.

A regiszterek a tápfeszültség bekapcsolásakor véletlenszerű értéket vehetnek fel, ezért van szükség bekapcsoláskor ezek inicializálására.

A CPU fontos részét képezi a sínrendszer. Ezen a belső egységek, valamint a külső egységek (memória, I/O) közötti adatforgalom bonyolódik. A sínrendszer funkcionálisan háromféle sít foglal magában: adatsínt (data bus), címsínt (address bus) és vezérlősínt (control bus).

A sínrendszer funkciói, jellemzése:

- címsín: megoldja az adatforgalomban részt vevő eszközök kijelölését; egyirányú, háromállapotú, a processzortól függően 16/32 bit szélességű (azaz ennyi vezeték), amely meghatározza a címezhető memória és I/O tartományt;
- adatsín: biztosítja az adatok útját; kétirányú, háromállapotú, a processzortól függően 8/16/32 bit szélességű; az adatsínvezérlés meghatározza az adatátvitel irányát;
- vezérlősín: összehangolja a kapcsolatban résztvevő eszközök működését; egyirányú, háromállapotú, a processzortól függően 5-15 bit szélességű (azaz ennyi vezeték).

A legegyszerűbb vezérlősín ötbites:

- memóriaolvasás (Memory Read, MR);
- memóriaírás (Memory Write, MW);
- beviteli/kiviteli eszköz olvasása (Input/Output Read, I/OR);
- beviteli/kiviteli eszköz írása (Input/Output Write, I/OW);
- megszakítás (interrupt).

A vezérlősin révén lehet az azonos címen lévő memória-, illetve I/O műveleteket megkülönböztetni.

A külső sínrendszer lehet helyi sín (local bus), amely a processzorhoz közvetlenül kapcsolódik, illetve lehet rendszersín (system bus), amely a processzor sín-meghajtásán keresztül kapcsolódik a rendszer elemeihez. A sínrendszer használatának előnye, hogy a szabványosított jel és vezetékkiosztás miatt az egyes részegységek könnyen cserélhetők. A rendszer bemenetei hardverjelleggel terhelik a sínrendszert, ezért kell bizonyos számú modul esetén sínmeghajtást használni. A mikroprocesszoros rendszerekben használatos sín párhuzamos sínnek tekinthető.

7.3.4. A mikroprocesszor tipikus műveletei

A CPU működése ciklikus: utasításlehívás, végrehajtás, lehívás, végrehajtás stb. Ezt a pontos sorrendiséget a *rendszeróra* vezérli. A CPU működésében a legelemibb időegység a gépi állapot, amely rendszerint egy órajel periódusa alatt játszódik le. Egy gépi állapothoz egy jól definiált művelet tartozik: pl. a címinformáció kijuttatása a címsínre. Általában több gépi állapot alkot egy gépi ciklust, amely egy összetettebb műveletet jelent.

Tipikus gépi ciklusok: egy memóriarekesz olvasása (MR), illetve írása (MW) vagy I/O eszköz írása, illetve olvasása (I/OW, I/OR), utasításlehívás stb. Egy utasítás lehívásának és végrehajtásának együttes művelete az utasításciklus, amely 1 – 8 gépi ciklusból állhat az utasítás bonyolultságától függően. Általában egy utasításciklus annyi gépi ciklusból áll, ahányszor a CPU-nak a memóriához vagy I/O-hoz kell fordulnia. Minden utasításciklus utasításlehívási gépi ciklussal kezdődik, a további gépi ciklusok olvasási vagy írási jellegűek.

7.3.5. A processzor állapotai

Egy processzor működése rendszerint a következő állapotokból áll:

- *futó* (run) *állapot*, amikor a processzor a programmemória által meghatározott utasításokat egymás után hajtja végre;
- *várakozó* (wait) *állapot*, amely a gépi cikluson belül valósul meg;
- *tartás-* (hold-) *állapot*, amely gépi ciklusok között aktualizálható;
- *leállítás-* (halt-) *állapot*, amikor egy HALT utasítás hatására a processzor leáll, nem végez műveletet és ezen állapotból csak engedélyezett megszakítás hatására lép ki.

Várakozás

A CPU tevékenységét egy kvarcoszcillátor vezérli. Egy mikroszámítógép-rendszert úgy terveznek, hogy a CPU és a memóriák azonos sebességgel (frekvencián) működjenek. Előfordul azonban, hogy ez nem áll fenn, pl. ha egy rendszerben a CPU-t gyorsabbra, vagy kényszerűségből a memória egy részét lassúbbra választják. Itt arról az esetről van szó, ha a memóriának csak egy kisebb részének nagyobb a hozzáférési ideje, mint a CPU gépi állapotának az ideje. Ugyanis, ha a teljes memóriatartomány lassabban működik, akkor csökkenteni kell a CPU oszcillátorának frekvenciáját. Előnytelen a rendszer sebességét csökkenteni, mert az az optimális, ha csak akkor működik lassabban a rendszer, ha lassúbb memóriával (vagy I/O-val) kommunikál. Erre dolgozták ki a READY-WAIT funkciót.

A *READY-WAIT* funkció lényege, hogy egy, a címsínnre csatlakozó logika (dekódoló) felismeri a címkombinációból annak a memóriablokknak a címét, amelyik egy gépi állapotnál több időt igényel, és kimenete várakozást kér a processzor megfelelő (pl. Ready) bemenetén. Ezt a kérést elfogadva a CPU ún. „wait” állapotba kerül, amit a megfelelő kimeneten jelez. A „wait” állapot azt jelenti, hogy a CPU a címsínen, az adatsínen és a vezérlősínen hagyja az előző információt egy (újabb kérés esetén több) gépi állapot idejére. Ha a CPU gépi állapot ideje 500 ns és a memória-hozzáférés 650 ns, akkor egy Ready-kérés kétszer 500 ns hozzáférési időt biztosít a memóriának, ami már bőségesen elegendő.

A címdekódoló logikára pedig azért van szükség, hogy ez a várakozás csak a lassú memória esetén lépjen fel. A „wait” állapotot az ún. egylépésű üzemmód kialakítására is felhasználhatjuk, amely a hibakeresésnél előnyös.

Tartás

A mikroszámítógépben a memória- és be/ki eszköz közötti adatforgalom csak két lépésben történhet: memória és CPU, illetve CPU és be/ki eszköz, és viszont. Ez nagy mennyiségű adat esetén megduplázza az adatátvitel idejét, amit a processzor HOLD állapota csökkent.

A CPU rendelkezik egy tartáskérés-bemenettel (HOLD vagy BUSRQ). Amennyiben ezen a bemeneten tartáskérés jelenik meg, azt a processzor egy belső folyamat után a megfelelő kimeneten nyugtázza (HLDA vagy BUSACK), ami egyben azt jelenti, hogy a sínrendszerét nagyimpedanciás (Z) állapotba helyezi. Ezután egy külső eszköz rákapcsolódhat a sínrendszerre, és közvetlen adatforgalmat bonyolíthat a memória és a be/ki egységek között. Az ilyen memória-hozzáférést direkt memóriakezelésnek (Direct Memory Access, DMA) nevezik.

Azt az eszközt, amely az adatforgalom vezérlését végzi, DMA vezérlőnek nevezik (DMA controller). DMA adatátvitelt alkalmaznak hajlékonylemez (floppy disc) keze-

léshez, vagy többprocesszoros rendszerekben a közös memóriakezeléshez. Ez az állapot szinte kizárólag hardverfolyamat, így kezelése nem jár a CPU belső állapotának megváltozásával, ellentétben a megszakításkérés kiszolgálásával. HOLD állapotban a processzor lehetőséget biztosít a programmegszakításra. A mikroprocesszor működését rendszerint folyamatábrán adják meg, amely gépi állapotokra bontva biztosítja a szinkron jellegű működést és az aszinkron kérések (megszakítás, várakozás stb.) végrehajtását.

7.3.6. Beviteli/kiviteli elemek

A mikroszámítógép beviteli és kiviteli elemei a központi feldolgozóegység és a külvilág (ember, gép, technológia, számítógép) közötti kapcsolat kialakításának lehetőségét biztosítják. A be/ki elemek típustól függően párhuzamos, illetve soros kommunikációra alkalmasak.

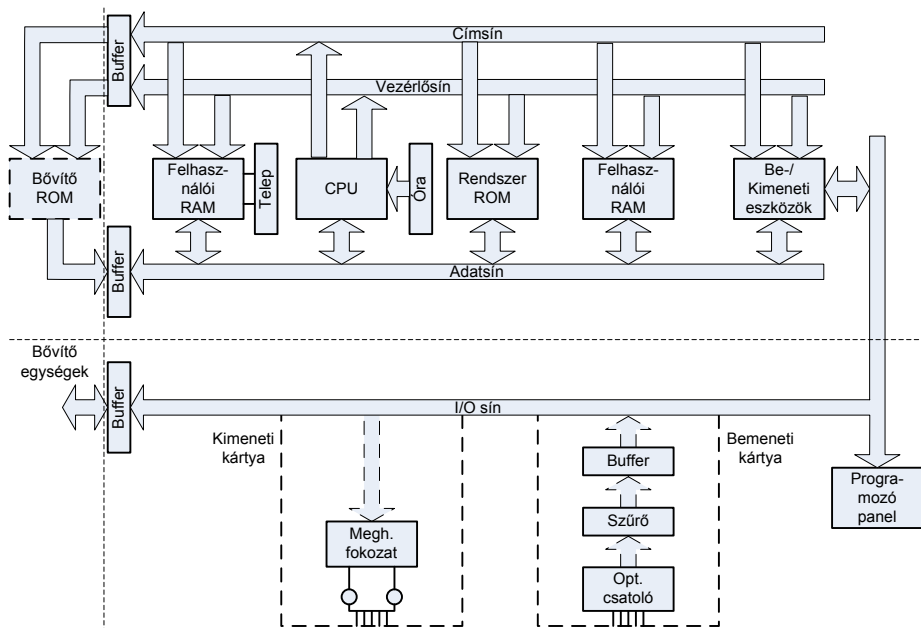
Közös jellemzőik: biztosítják a be/ki elem csatlakoztatását a mikroszámítógép buszrendszeréhez a szükséges adat-, cím- és vezérlővezetékekkel. Rendszerint programozható felépítésük miatt igen rugalmasan alkalmazkodnak a csatlakoztatandó eszközhöz.

7.3.7. Mikroprocesszor alapú PLC-k hardverfelépítése

A mikroprocesszor bázisú PLC központi egysége 8, 16, illetve 32 bites általános célú processzor vagy mikrovezérlő (microcontroller) egyaránt lehet. Ehhez szükség van a mikroszámítógép szokásos elemeire (CPU, RAM, ROM), valamint a külvilággal való kapcsolattartás eszközeire. A bemeneti és kimeneti vonalak kezelésére négyféle módszer terjedt el:

- a bemeneti/kimeneti eszközök a processzor *párhuzamos perifériaillesztőin* keresztül kapcsolódnak a cím-, adat- és vezérlőszínre;
- a bemeneti/kimeneti vonalak kezelésére egy *külön I/O sín*t állítanak elő kifejezetten az I/O kezelésére, tekintettel a moduláris felépítés be/ki vonalainak nagy számára, a terhelési viszonyaira, stb.;
- *távoli I/O* kezelés;
- *terepi, soros jellegű, buszrendszer* szervezésű I/O kezelés.

Az első megoldást főként kompakt PLC-khez használják, ahol a kevés be/ki vonal miatt a külön I/O sín kialakítása nem indokolt. Egy tipikus, mikroprocesszor alapú PLC hardverét mutatja a **7.8. ábra**.



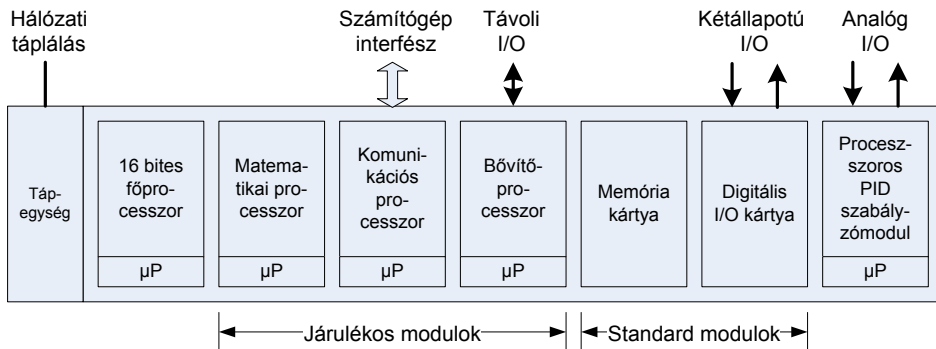
7.8. ábra

Egy mikroproceszor alapú PLC általános felépítése

Látható, hogy a be/ki vonalak kezelésére egy külön I/O sín használatos. Az ábra egyes blokkjai korábban egy-egy fizikai egységet alkottak (egy-egy kártya), ma viszont az integrálási technológia fejlődésével elérhető, hogy a CPU, RAM, ROM, I/O meghajtót egyetlen kártyán helyezik el, miáltal a CPU buszrendszere előnyösebben és biztonságosabban alakítható ki.

A nagyméretű és bonyolult rendszerek irányításához rendszerint több processzort alkalmaznak, amelyek egy-egy speciális funkciót látnak el. Egy ilyen többprocesszoros PLC felépítését szemlélteti a **7.9. ábra**, ahol a főprocesszor 16 bites szóprocesszor.

A matematikai műveleteket a matematikai processzor, a kommunikációs funkciókat a kommunikációs processzor vezérli. Emellett a nagyszámú távoli I/O kezelést és a PID szabályozási algoritmust is külön processzor végzi. Ezek a processzorok rendszerint master-slave kapcsolatban állnak a főprocesszorral. A master-slave rendszerű kommunikáció esetén a szolgaprocesszorok csak a mesterrel állnak kapcsolatban, egymással nem. Napjainkban a decentralizált irányítási módszerek kerülnek előtérbe.



7.9. ábra
Többprocesszoros PLC felépítése

7.3.8. Távoli be/ki modulok

A programozható vezérlők speciális kiegészítő egységei a távoli be/ki (I/O) modulok. A távoli I/O kezelés (Remote I/O, RIO) a nagyszámú be/ki vonal esetén indokolt, különösen akkor, ha az I/O eszközök távol vannak a PLC-től. Ilyenkor a központi PLC rack rendszerint tartalmaz egy távolsági I/O reack-et, amely soros kommunikációval kezeli a távoli be/ki vonalakat. Ennek következtében a kezelt be/kimenetek feldolgozási ideje és válaszüzeje nagyobb, mint a normál be/ki jeleké.

7.4. Programozható vezérlők programozása

A PLC-k hardvere univerzális, amely önmagában nem, csak a felhasználói programmal együtt válik alkalmassá a konkrét irányítási feladatra. Ebből következik, hogy a programozható vezérlők alkalmazásának egyik legfontosabb kérdése a felhasználói programok készítése. Már a General Motors által 1968-ban kiírt pályázatban szerepelt a felhasználóbarát, vezérléstechnika-orientált programozási nyelv.

Programozási nyelven azt a szintaktikát, azaz formai szabálygyűjteményt értjük, amely segítségével a felhasználói program elkészíthető. A bitprocesszoros PLC-k esetén a programozási nyelv szabályai és a hardverstruktúra jellegzetessége között igen szoros kapcsolat volt. Az ilyen programozható vezérlők programmemóriája kizárólag csak a felhasználói programot tartalmazta, mivel a PLC egyetlen funkciója a vezérlési algoritmus biztosítása volt. A bájtt-, illetve szóprocesszor felépítésű PLC-kenél a szolgáltatás minőségi javulását részben a hardver, de nagy mértékben a szoftver biztosítja. Ez a szoftver a felhasználói programon túl számos további funkciót lát el.

7.4.1. A PLC-ben futó programok és feladataik

A korszerű PLC-k szoftvere a betöltött funkció alapján alapszoftverre és felhasználói programcsoportra osztható. Az alapszoftver az *állandó* (rezidens), a felhasználói program pedig a *változó* részt képviseli.

7.4.1.1. Alapszoftver

A PLC alapszoftverét — hasonlóan valamennyi mikroszámítógépes berendezéshez — az operációs rendszer biztosítja. A PLC alapszoftvere erősen gyártó- és típusfüggő, így egyedi. Ennek ellenére megfogalmazhatók a következő közös funkciók, amelyek szinte valamennyi korszerű típusnál felfedezhetők.

Az *interpreter funkció* a felhasználói program értelmezésére és végrehajtására alkalmas szoftver. Az interpreter a kódolt felhasználói programot utasításonként veszi elő, értelmezi és végrehajtja, illetve néhány típus esetén a felhasználói program a processzor utasításkészletére lefordítva hajtódik végre. A PLC programozási nyelven megírt egyetlen utasítás az adott mikroprocesszor esetén rendszerint több gépi utasítással helyettesítődik.

A *státusszó-generálás funkció*, amely szinte valamennyi mikroszámítógépes berendezésben megtalálható. A státusszó-generálás célja a processzor műveleteiről történő információszolgáltatás. A státusszó mint állapotinformáció igen jól használható a program belövésekor, hibakeresés vagy beüzemelés esetén.

Az *önteszt funkció* a PLC egyes funkcióinak ellenőrzését végzi, különösen a biztonsági PLC-k alkalmazásakor nagy jelentőségű. Az önellenőrzői funkciók lehetnek hardver- (pl. tápfeszültség, watch-dog) és szoftverjellegűek.

A *kommunikációs vonalak* kezelése a soros pont-pont, illetve hálózati kommunikációs funkciók ellátása. Napjainkban e funkció jelentősége a PLC-hálózatok, terepi buszok szerepének növekedésével rohamosan nő.

Az *ember-gép kapcsolat* terén a PLC egyik alapvető funkciója a kezelő és a PLC közötti kommunikáció biztosítása. Az ember-gép kapcsolat kialakításának hardver- és szoftverfeltételei vannak.

A *programfejlesztési funkció* típustól függően lehet a PLC operációs rendszerének sajátossága, de lehet külön a fejlesztőrendszeré is. Ma már a programfejlesztési funkciót egyre inkább a személyi számítógépek veszik át.

A PLC operációs rendszere három fő szoftvermodultípust tartalmaz: szervezőblokkok (OB), programblokkok (PB) és adatblokkok (DB).

Az alapszoftver tíz szervező szoftverblokkból épül fel, amelyek biztosítják:

OB1	a ciklikus működést;
OB2	a rendszer beállítását (set up);
OB5 és OB7	az újraindítási funkciókat;
OB9	a hibakezelést;
OB10, OB11, OB12	a három programmegszakítást;
OB18, OB19	az időzítések kezelését.

Az OB1 szervezőblokk tartalmazza az *interpretert* (értelmező) és a felhasználói program végrehajtását biztosító *executive* (végrehajtó) részt. A felhasználói programok a PB blokkokban vannak és korlátozott számú alprogramot (szubrutin), valamint két adatblokkot kezelnek. A PLC ún. *hardverteszttel* indul (memóriateszt, teleptest, stb.), majd az OB2 rendszerbeállító (system setup) funkció révén az OB5 vagy OB7 blokkon keresztül jut el az OB1 ciklikus üzemmódot biztosító szoftverblokkba. A be/ki memóriát az OB1 blokk végén minden ciklus befejezésekor frissíti. A PLC-vel kapcsolatos hibakezelési funkciót az OB9 blokk látja el. A három megszakítási szintet az OB10–OB12 szoftverblokkok kezelik. A programmegszakítások egyike a soros kommunikációhoz van hozzárendelve.

7.4.1.2. Felhasználói programok

Az előző pontban leírt alapszoftver a PLC-ben futó programok állandó része, és minden azonos típusú programozható vezérlőben egyforma. Ezzel szemben, a felhasználói programok a PLC programok változó részét jelentik, és segítségével válik alkalmassá a PLC az adott vezérlési feladatra. A felhasználói programok speciális, vezérléstechnikai, irányítástechnikai orientáltságú programnyelven íródnak.

A felhasználói programokkal kapcsolatos, hogy a bitprocesszor alapú PLC-k esetén a hardverstruktúra és a program felépítése között igen szoros a kapcsolat, ezért interpreterre nem volt szükség.

A mai bájtt- és szóprocesszor alapú PLC-kben a felhasználói program felépítését az interpreter határozza meg. A bájtt-, illetve szóprocesszor felépítésű programozható vezérlőkben a Boole jellegű műveletek végzése körülményesebb, ugyanis ezen processzorok 8 vagy 16 bites szavak között végeznek aritmetikai, logikai vagy adatmozgatási műveleteket. Az ilyen PLC-kben a bájtt-, illetve száműveletek könnyűek.

Hasonló a programozható vezérlőkben használatos be/ki vonalak címezése is. Amíg a bitszervezésű PLC-kben a be /ki vonalak bitenkénti címezése előnyös és természetes, addig az általános célú mikroszámítógépek esetén a be/ki portok címezése bájtonként, illetve szavanként lehetséges.

Az előbbiek jól szemléltetik, hogy a második generációs PLC-kben a felhasználói programok memóriabeli elhelyezkedése és végrehajtása az adott mikroszámítógép felépítésétől, típusától és az alapszoftvertől (interpreter) függ. *Az interpreter tehát egy közbenső szoftvereszköz a vezérléstechnikai nyelv és a PLC processzora között.*

Valamennyi felhasználói programnyelv a vezérléstechnikai (irányítástechnikai) feladatnak az interpreter számára érthető formába való szervezéséhez szükséges szabályok összefoglalása. A bitcímzés a PLC nyelvek többségében megengedett, és a programozónak az utasítás végrehajtásának módjáról nem, vagy csak speciális esetben kell tudnia.

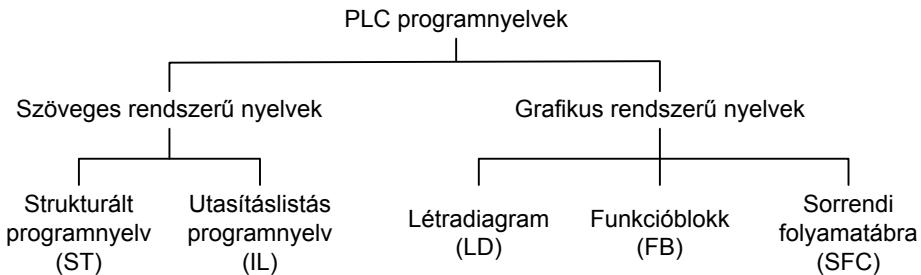
7.4.2. PLC programnyelvek

A PLC-k fejlődése során számos programozási nyelvet fejlesztettek ki. Kezdetben a *névkódon alapuló programozás* volt domináló, ami a mikroprocesszoros CPU-k elterjedésével visszaszorult. Ugyancsak egyidős a PLC-vel a reléjellegű programnyelv is. Napjainkra a különböző felhasználói programnyelvek széles körét alkalmazzák, ami az egyes gyártók eszközei közötti kompatibilitást lehetetlenné teszi. Ezért egyre nagyobb igény jelentkezik úgy a gyártók, mint a felhasználók részéről egységes nemzetközi szabványokban rögzített felhasználói programnyelvek kifejlesztésére. Az IEC 1131-3 számú nemzetközi szabvány világszinten kívánja egységesíteni a felhasználói programnyelveket és ezek jelöléseit. Ez a szabvány nem új programnyelveket hoz létre, hanem a korábbi, közös jellemvonású nyelveket igyekszik egységesíteni. A PLC programozási nyelvek fő jellemzője, hogy vezérléstechnikai (újabbban irányítástechnikai) orientáltságúak. A történelmileg kialakult feladatleíró nyelvek szöveges vagy grafikus rendszerűek, így az IEC 1131-3 szabvány a PLC felhasználói programnyelveket két osztályba sorolja: *szöveges rendszerű és grafikus szimbólumokat alkalmazó programnyelvek.*

A szöveges szimbólumokkal leírt vezérlési feladat rendszerint egy compiler (fordító) révén kerül a programmemóriába letöltésre. A szöveges rendszerű programnyelveknek két megvalósítási formáját engedélyezik.

Az egyik a magas szintű programnyelvekkel (Pascal vagy C) támogatott strukturált felhasználói programnyelv, amelynek angol és német jelölése egyaránt ST (angol: Structured Text). Ez esetben a vezérlési feladatot megvalósító felhasználói program leírása hasonlít a Pascal vagy C nyelven megírt program szintaktikájához. E módszer célja, hogy a magas szintű nyelvet ismerők képesek legyenek PLC program készítésére. Ennek ellenére ez a programozási nyelv a PLC technikában eddig nem terjedt el, de egyre népszerűbb.

A másik szöveges programnyelv az utasításlistás felhasználói programnyelv, amely jelölése angolul IL (Instruction List). Ez a programnyelv az assembly nyelvű programozásból alakult ki, és a bitszervezésű PLC-knél erősen kötődött a hardver-struktúrához. A grafikus szimbólumokkal leírt és megszerkesztett vezérlési feladat a fejlesztőrendszerben egy letöltőprogram (külön menüpont) révén tölthető le a PLC-be. A 1131-3 szabvány háromféle grafikus szimbólumot alkalmaz: létradiagramos, funkcióblokkos és sorrendi folyamatábrán alapuló programnyelvet. A szabvány a fennebb említett PLC nyelveket definiálja és ajánlja.



7.4.2.1. Strukturált programozási nyelv

A strukturált programozási nyelv (ST) egy magas szintű nyelv a vezérlési és szabályozási funkciók leírására az IF...THEN, CASE, FOR, WHILE, REPEAT stb. parancsok segítségével. Az IEC ajánlás megengedi a memóriahelyek (RAM) közvetlen címzését. A memória rendszerint három fő részre van osztva: a bemenetekhez rendelt RAM (I), a kimenetekhez rendelt RAM (Q) és a belső funkciókhoz (Merker) rendelt RAM (M). A memóriába írandó adat lehet bit (X), bájt (B), szó (W) és dupla szó (D) hosszúságú.

Például a % I X 22 a bemeneti RAM 22-es bitjét jelenti. Mint más programozási nyelv keretén belül, léteznek itt is globális változók, amelyek egy programhoz vannak rendelve, míg a lokális változók egy funkcióblokkon belül vannak deklarálva.

Az ST programozási nyelv előnye a nagyfokú rugalmassága, de alkalmazása magas szintű nyelvi programozási ismereteket és gyakorlatot igényel.

7.4.2.2. Utasításlistás programozási nyelv

Az utasításlistás programozási nyelv (IL) a PLC kialakulásával egyidős és a bitszervezésű programozható vezérlők esetén az utasításkészlet nagymértékben függött az adott feldolgozóegységtől (processzortól). Az ilyen felépítésű PLC-kben egy-egy utasítás a memória egy címén helyezkedett el. Az utasítások száma széles határok között változott. Gyártottak 8, 16, illetve 32 utasítást értelmező vezérlő-

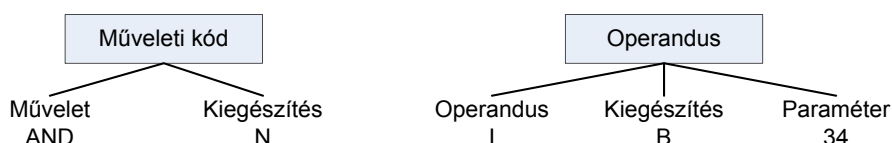
A programozható vezérlők alkalmazása

ket. Napjainkban az általános célú processzorok esetén a PLC utasítások típusa kevésbé függ a CPU-tól, azt a CPU és az alapszoftverben elhelyezett interpreter együtt határozzák meg.

Az utasításlistás programnyelv felhasználói programvezérlési parancsok (utasítások) sorozatából áll. Egy-egy utasítás a műveleti (operációs) részből és az operandusrészből áll.

A *műveleti* rész (utasítás) azt határozza meg, hogy a CPU-nak milyen műveletet kell végeznie. Az egyes műveleteket rendszerint az utasítás nevének rövidítésével jelölik (pl. OR, LD, stb.).

Az *operandusrész* arra a kérdésre ad választ, hogy a műveleti részben definiált műveletet mivel kell elvégezni.



A példa szerint az utasítás a 34-es bemeneti (I) bit (B) tagadásának (N) ÉS kapcsolatát végzi az akkumulátorral.

Az IEC nemzetközi szabványtervezet az utasítások jelölésére az angol és a német megnevezések kezdőbetűit engedélyezi. Az utasítások programmá szervezésére léteznek szintaktikai szabályok, de ezek PLC típustól is függhetnek. A felsorolt első és második szabály a PLC „intelligenciájától” is függ, míg a többi szabály általánosnak tekinthető.

Szintaktikai szabályok:

- Egy kimenetre vonatkozó logikai függvény első változójának betöltése az akkumulátorba LD vagy LDN művelettel kezdődik.
- A diszjunktív alakú logikai függvény egyes ÉS kapcsolatainak részeredményeit a MERKER memóriában kell tárolni és a VAGY műveleteket a MERKER bitek között kell elvégezni (ez az újabb típusoknál elmaradhat).
- A programhurok kialakítását lehetőleg kerülni kell.
- Az egymásba ágyazható szubrutinok számát a PLC stack-RAM területe korlátozhatja.
- JMP utasítással (vagy más módon) a szubrutinterületre történő belépés programhibát okoz.
- A szubrutinból a főprogramba történő visszatérést minden esetben biztosítani kell.
- A program ciklikus végrehajtásához a kezdőcímre történő visszatérést biztosítani kell.

A fenti példa is alátámasztja, hogy az utasításlistás programozási nyelv azoknak ajánlható, akiknek gépközei programozási (pl. assembly nyelv) ismereteik vannak.

7.4.2.3. Létradiagramos programozási nyelv

A létradiagramos programozási nyelv (Ladder Diagram, LD vagy LAD) az áramútervből alakult ki, így a létradiagramok az áramútervek szoftver megfelelői. A relé jellegű programozási nyelv kidolgozásának igénye már a General Motors pályázatban is szerepelt, de széles körű elterjedését csak a grafikai lehetőségekkel ellátott fejlesztőrendszerek eredményezték. Szükségességét főként a relés hálózatok tervezéséhez értő szakemberek könnyebb átképzése indokolta. A létradiagramos programozási nyelv alkalmazása az áramúterv bizonyos mértékű ismeretét feltételezi. A létradiagramok főbb elemei:

- kontaktusok;
- huzalozás;
- logikai kimenetek (Output, Flag, MERKER);
- időzítők;
- számlálók;
- különleges elemek (pl. léptetőregiszter, PID blokk).

7.1. táblázat Az IEC szabvány főbb LD grafikus szimbólumai

<i>IEC grafikus szimbólumok</i>	<i>Leírás</i>
— —	Záró- (munka-) érintkező
— / —	Bontó- (nyugalmi) érintkező
— P —	0 -> 1 átmenetet adó érintkező
— N —	1 -> 0 átmenetet adó érintkező
—()—	Tekercs
—(/)—	Negált működésű tekercs
—(S)—	RS FF beírótekercs
—(R)—	RS FF törlőtekercs
—(M)—	Tápfeszültség-kimaradáskor állapotát megtartó tekercs
—(SM)—	Tápfeszültség-kimaradáskor állapotát megőrző RS FF beírótekercs
—(RM)—	Tápfeszültség-kimaradáskor állapotát megőrző RS FF törlőtekercs
—(P)—	0 -> 1 éltre működő (ON) tekercs
—(N)—	1 -> 0 éltre működő (OFF) tekercs

A programozható vezérlők alkalmazása

A létradiagram szimbólumai az áramúterv rajzjeleiből alakultak ki. Fontos különbség, hogy a létradiagramon az egyes elemek csak a funkció, illetve viselkedés alapján vannak megkülönböztetve, hiszen a létradiagram szimbólumai nem valódi elemek (érintkezők, beavatkozók), hanem szoftverelemek. Ezért nincsenek megkülönböztetve, pl. a nyomógombok, a relé érintkezők vagy a termikus relé érintkezője, illetve a relé és a mágneskapcsoló.

A létradiagram készítésének szabályai hasonlóak az áramúterv készítésének szabályaihoz, kivéve a speciális hardvervonatkozásokat:

- a létradiagramon a *működtető és működtetett elemek* szimbólumaiból álló áramutakat két függőleges vonal között vízszintes egyenes mentén ábrázoljuk;
- a *működtetett elem egyik sarkát* mindig a *jobb oldali* függőleges egyenesbe kötjük be;
- az összetartozó működtető és működtetett elemeket *azonos betűjellel* látjuk el, több ilyen elem esetén számozást alkalmazunk;
- a vezetékek *keresztződését* kerülni kell;
- az egyes áramutakat a *sorrendi működés* szerint ábrázoljuk;
- a létradiagram egyes elemeit *feszültségmentes* állapotban ábrázoljuk;
- a létradiagram egyes elemeihez *további adatok* is írhatók (pl. időzítésre vonatkozó konstans, számláló-határérték, stb.);
- a speciális elemek (pl. számláló, időzítő, regiszter stb.) valamennyi működési funkciójáról gondoskodni kell (pl. számláló törlése, irány kijelölése, léptetése);
- egy speciális funkció sohasem csatlakozhat közvetlenül a bal oldali referenciavezetékre, *csak logikai feltételeken* keresztül.

A létradiagramos program készítésének lépései:

- A bemeneti-kimeneti összerendelési táblázat elkészítése:

NB	BE nyomógomb	I11	(Input 11)
NK	KI nyomógomb	I12	(Input 12)
MKI	mágneskapcsoló	O22 stb	(Output 22)

- A logikai egyenletek meghatározása.
- A létradiagram megszerkesztése.
- A program szimulációja.

A létradiagramos programozási nyelv a következő esetekben ajánlatos: meglévő relés huzalozott vezérlés átalakítása PLC-s vezérlésre, relés rutinvezérlések PLC-s megvalósítása (pl. háromfázisú motorvezérlések) érintkezős vezérlésekben jártas személyek által.

7.4.2.4. Funkcióblokkos programozási nyelv

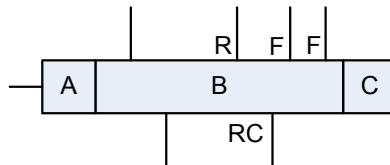
A funkcióblokk-diagram (Function Block Diagram, FBD) tulajdonképpen a huzalozott logikában használt szimbólumokból kialakított, erősen hardverorientált nyelv. Egy funkcióblokk bal oldalán a bemenetek, jobb oldalán a kimenetek vannak feltüntetve. A jelfolyam iránya az előző fokozat kimenetétől a következő fokozat bemenete felé halad (balról jobbra). Így az FBD szintaktikai szabályai a huzalozott, feszültséglogikájú hálózatok hardverkialakítási szabályaival egyeznek meg, néhány kivétellel. Az FBD programozási nyelv a feszültség logikájú logikai tervezésben jártas személyek részére ajánlható.

7.4.2.5. Sorrendi folyamatábrás programozási nyelv

Már a huzalozott vezérlések idején felmerült egy szoftverorientált vezérlési feladatleírási mód igénye, mivel az áramútrajz, illetve a logikai szimbólumos leírási módszerek erősen kötődtek egy-egy megvalósítási módhoz. Kifejlesztették a *Grafcet* francia nemzeti szabványt. A PLC-k programozására használatos *sorrendi folyamatábra* (Sequential Flow Chart, SFC) tulajdonképpen a Grafcet továbbfejlesztése és így a PLC-k programozásához mindkettő használható.

7.4.2.6. Grafcet

A Grafcet feladatleírási módszert a számítástechnikában használt *folyamatábra* és a digitális technika jelölésrendszere alapján dolgozták ki. A működési tervek tartalmazzák a *digitális technika* szabványos jelöléseit, vagyis a logikai eszközök jele négyzet vagy téglalap alakú, a hatásvonal fentről lefelé, illetve balról jobbra halad. Az ettől eltérő haladási irányt nyíllal kell jelölni.



7.10. ábra

A Grafcet utasítás általános szimbóluma

A számítógépes programok folyamatábra-készítésekor megszokott kapcsolójelek itt is alkalmazhatók, ha az áttekinthetőség megkívánja.

A működési tervek más szabványban nem alkalmazott jelölései és fogalmai:

- az *utasítás* ebben a szabványban egy állapot megváltoztatására irányuló rendelkezés;

A programozható vezérlők alkalmazása

- a lépés az irányítási rendszer összetartozó állapotait fogja össze. Lehetőséget ad az állapotok sorrendjének kijelölésére. A **7.10. ábra** mutatja az utasítás grafikus jelét.

Az A mezőbe az *utasítás fajtája* kerül: D a késleltetett (önállóan nem használt); S a tárolt; SD a tárolt késleltetett; NS a nem tárolt; NSD a nem tárolt és késleltetett; SH a tárolt, még energia kiesés idején is; T az időben korlátozott (önállóan nem használt); ST a tárolt és időben korlátozott.

A B mezőbe az *utasítás hatását* írjuk be. Ha az utasítás hatása nem egyértelmű, akkor zárójelbe tesszük.

A C mezőbe az *utasításkimenet csatlakozási pontjának* jelét írjuk, amire hivatkozva nem kell hatásvonallal odavezetni az utasítás kimenetét egy későbbi ábrarészlethez.

A **7.9. ábrán** látható, hogy az utasításnak több be-, illetve kimenete lehet:

- F *feltételbemenet*, az utasítás végrehajtását akkor engedélyezi, ha értéke 1,
- R *törlőbemenet*, amely az utasítás törlését eredményezi.

A kimenetek közül a betűvel jelölt jelentése:

- RC ezen kimenet értéke akkor 1, ha a beavatkozó szerv, amelyre az utasítás vonatkozott, olyan állapotban van, amit az utasítás előírt.

A nem jelölt kimenet akkor 1, ha az utasítás élő, végrehajtandó. Ez önmagában nem jelzi, hogy ténylegesen végrehajtott-e. Az utasítások magyarázó ábráit a szabvány tartalmazza. A Grafcet szabvány főként a huzalozott logikához kötődik, de általános érvényűnek tekinthető.

7.4.2.7. Sorrendi folyamatábra

Az IEC 1131-3 szabvány szerinti sorrendi folyamatábra (SFC) igen hasonlít a Grafcet-hez.

A folyamatábrán a sorrendi hálózat egy-egy belső állapotát, az ezen állapotba kerülés feltételeit, valamint az állapothoz rendelt kimeneti eseményeket tüntetik fel. Ez a módszer az „1 az n”-ből típusú állapotkódolásból fejlődött ki. Minden lépést (belső állapotot) egy RS FF reprezentál. Ha egy állapot előáll, akkor az előkészíti a következő állapotot, és törli az előző állapotot megvalósító FF-t. Jól elkülönülnek az átmeneti feltételek, amelyek teljesülése esetén az előkészített FF bebillen és ezzel a következő lépés aktiválódik, és az előző FF törlődik. A mai PLC-kben az RS flip-flopokat (FF) a RAM memóriabitjei helyettesítik és az átmenetek feltételeinek meghatározását a CPU szoftverúton végzi.

7.4.3. A PLC program végrehajtásának módjai

A mai PLC-k olyan speciális mikroszámítógépek, amelyek programjukkal és speciális be/ki eszközeikkel az irányítási, főként vezérlési feladatok közvetlen végrehajtására alkalmasak. Napjainkban egyre népszerűbb a személyi számítógépek központi egységének használata PLC funkciókhoz. A PLC-k és a számítógépek között a négy legfontosabb különbség a következő: valós idejű működés, környezeti feltételek, programozási nyelvek és a programvégrehajtás módja.

Valós idejű működés: a PLC-k *valós idejű (real-time) operációs rendszerrel* vannak ellátva, amelynek fő prioritása a be/ki eszköz állapotának lekezelése egy meghatározott *válaszidő* alatt.

Környezeti feltételek: a PLC-eket *ipari környezetben* előforduló körülmények (hőmérséklet, páratartalom, zavarok, stb.) közötti működésre tervezték és kiviteleztek.

Programozási nyelvek: a PLC-k speciális, *irányítástechnika-orientált nyelvvezettel* rendelkeznek.

Programvégrehajtás módja: a PLC-k és a PC-k közötti alapvető különbség a programvégrehajtás. A számítógépek ma már a korszerű operációs rendszerek révén az ún. *multitasking* program-végrehajtási módot, míg a PLC-k a *szekvenciális* végrehajtási módot alkalmazzák. A programozható vezérlők fejlődése során háromféle utasításfeldolgozási móddal találkozhatunk: lépésorientált sorrendi, ciklikus és aciklikus működési módok.

Lépésorientált sorrendi működés esetén a PLC *csak a következő lépés kialakulásának feltételeit* vizsgálja. Az ilyen felépítésű PLC tehát nem vizsgálja ciklikusan az összes bemenetet. Az ilyen készülék esetén, ha például a következő sorrendi lépés (pl. 14.) feltétele az X2 & X3, akkor a 13. lépés teljesülése után a PLC csak az X2, X3 bemeneteket olvassa be, és vár az ÉS kapcsolat teljesülésére. Az ilyen PLC-k ma már nem használatosak.

A *ciklikus működésű* PLC-k a leggyakoribbak. Ez a program-végrehajtási forma *valamennyi folyamateseményt programozottan figyeli a program ciklikusan ismételt végrehajtásával*. Ennek a feldolgozási módnak az az előnye, hogy egyszerűbb hardvert és szoftvert igényel, hátránya viszont, hogy a ciklusidő és a reakcióidő függ a felhasználói program hosszától és az utasítások típusától. A ciklikus szervezésű programnak két változata ismert: a lineáris és a strukturált programvégrehajtás.

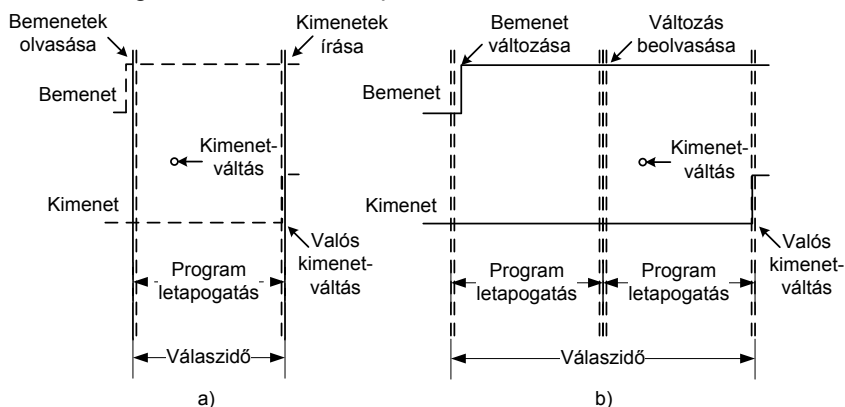
Lineáris végrehajtásának tekinthetők azok a PLC-k, amelyek vezérlésátadó utasításokat nem alkalmaznak, így a program utasításait növekvő, kötött sorrendben hajtják végre. Előnyük, hogy a válaszidők viszonylag könnyen megadhatók, hátrányuk, hogy bonyolult programok esetén igen megnő a letapogatási idő és nincs lehetőség az ismétlődések kihasználására.

A programozható vezérlők alkalmazása

A *strukturált szervezésű* programok főprogramból és alprogrammodulokból (taszkok, szubrutinok) állnak. A programmodulok paraméterezhetők, többször is hívhatók és egymásba ágyazhatók. A strukturált ciklikus feldolgozású PLC-k előnye, hogy a modulok az ismétlődő programrészek egyszerű programozására adnak lehetőséget. Hátrányuk, hogy a programozásuk mélyebb programozási ismereteket igényel és a válaszdő meghatározása nehézkes. Ilyen feldolgozásra csak olyan PLC-k alkalmasak, amelyek utasításkészlete szubrutinhívást, megszakításkezelést, stb. tartalmaz. A strukturált ciklikus PLC-ket némely irodalomban *aciklikus* program-végrehajtású PLC-knek nevezik.

7.4.3.1. Ciklusidő

A lineáris, ciklikus működésű PLC tehát az utasításokat ciklikusan, egymás után hajtja végre. Az utolsó utasítás végrehajtása után visszatér a program elejére. A program egyszeri végrehajtási idejét nevezzük programletapogatási időnek (scan time) vagy ciklusidőnek (cycle time). Ez az idő függ a program méretétől és a processzor sebességétől, de tekinthető tipikusan 1-5 ms/Kb-nak.



7.11. ábra

A letapogatási- és a reakció idők közötti összefüggés

Az átlagos letapogatási idő rendszerint 10-50 ms között van a program hosszától függően. A ciklusidő mellett használatos a reakcióidő fogalma is. A PLC-k reakcióidejét a ciklusidőn kívül a be- és kimeneti jelkésltetési idők befolyásolják. A maximális reakcióidő értéke a következő képlet alapján határozható meg:

$$T_{r\max} = 2T_c + T_{bj} + T_{kj}, \quad (7.1)$$

ahol $T_{r\max}$ a maximális reakcióidő, T_c a PLC ciklusideje, T_{bj} bemeneti jelkésltetési idő, T_{kj} kimeneti jelkésltetési idő. A 2-es szorzó szerepe a 7.11. ábra alapján indokolható.

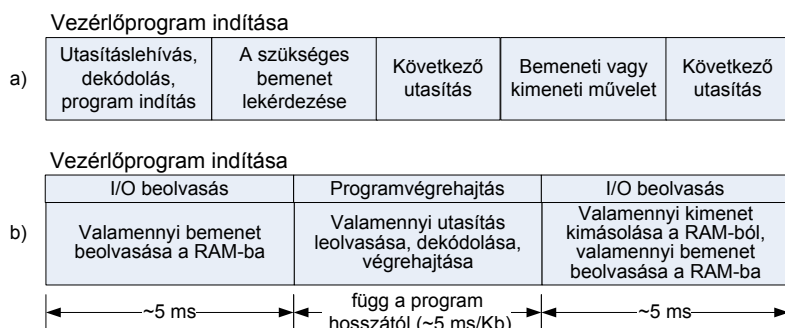
Mivel megtörténhet, hogy a bemenet a beolvasás után változik, a vezérlő csak a következő letapogatási idő előtti beolvasásnál szerez tudomást róla, így a kiértékelés eredménye a kétszeres letapogatási idő leteltével jelenik meg a vezérlő kimenetén. A bemeneti jelkésleltetés a nagy frekvenciás jelek szűrése, míg a kimeneti jelkésleltetés az induktív terhelések áramlökéseinek csillapítására alkalmazott RC szűrők miatt lép fel. A hálózatba szervezett PLC-k esetén még a hálózat adatforgalmához szükséges időt is figyelembe kell venni. A készülékek jelentős részénél a bemeneti jelkésleltetési idők tipikus értéke 2-3 ms, míg a kimeneti jelkésleltetési időké 1 ms. A bemeneti és kimeneti jelkésleltetés főként analóg jelfeldolgozás esetén növekedhet. A leírtakból következik, hogy a számlálást egy bizonyos frekvencia felett rendszerint speciális számláló modulokkal (counter) oldják meg. A folyamatos I/O kezelésű PLC-k esetén lehetőség van a letapogatási frekvencia növelésére úgy, hogy az impulzusbemenet lekérdezését végző programrészt többször is beiktatjuk egy programcikluson belül.

A programmegszakítások kiszolgálása nem része a ciklusidőnek, hanem *eseményvezérelt* módon (aciklikusan) hajtódik végre. A ciklusidő betartása a valós idejű működés szigorú feltétele. A ciklusidő állandó és változó részekből tevődik össze. A változó részt vagy korlátozással látják el (pl. 3 db megszakításkérés, maximumált idejű végrehajtással), vagy maga a *PLC méri a ciklusidőt*. Ennek révén az egyes perifériák kiszolgálási ideje, valamint a teljes ciklusidő beállítható, és a túllépés lekezelhető, kizárható.

7.4.3.2. A be- és kimenetek kezelése

A be-, illetve kimenetek feldolgozása rendszerint kétféle: folyamatos egyenkénti I/O kezeléssel, vagy blokkos I/O kezeléssel történik. A *folyamatos I/O kezelés* esetén az egyes be-, illetve kimenetek a program végrehatása közben más-más időpillanatban kerülnek beolvasásra a PLC mintavételezési idejétől és a be/kimenetek programban elfoglalt helyétől függően. A módszer hátránya, hogy gyorsan változó jelek esetén egy mintavételezési cikluson belül ugyanazon változó két mintavételezés között értéket válthat, ami esetleg hibás működést okoz. A *blokkos I/O kezelés* esetén az I/O elemek kezelése egy közbenső I/O RAM közreműködésével történik. Az ilyen PLC-k működése két fázisra bontható: *I/O kezelés, illetve programvégrehajtás*. Ez esetben *valamennyi be-, illetve kimenet mintavételezése egy időben* történik. A kétféle I/O kezelési módot szemlélteti a **7.12. ábra**.

Blokkos I/O kezelésnél a CPU és az I/O RAM közötti adatforgalom rendszerint egy I/O másolási eljárás révén valósul meg. A kétféle I/O kezelés között lényeges különbség az, hogy a **7.12.b ábra** szerinti I/O kezelésnél garantáltan nem változnak a be-, illetve kimenetek egy program-végrehajtási ciklusban.



7.12. ábra

A folyamatos (a) és blokkos (b) I/O kezelés felépítése

Ha egy bemeneti jel megváltoztatja állapotát az I/O copy rutin után, akkor azt csak a következő I/O copy műveletnél ismeri fel és érvényesíti. Így a programvégrehajtási ciklusban a végrehajtandó logikai műveletek egy *mintavételezett állapotra* vonatkoznak. Ez a feltétel a folyamatos I/O kezelés esetén nem teljesül. Gyorsan változó folyamatok esetén a blokkos feldolgozási mód az ajánlott.

7.5. A PLC-k kommunikációs rendszere

A programozható vezérlők üzemszerűen számos információforrással állnak kapcsolatban. A leggyakrabban a PLC és technológiai folyamat, PLC és PLC, PLC és számítógép, PLC és kezelő, valamint PLC és periféria közötti kommunikációra van igény. A PLC és a technológiai folyamat közötti kommunikáció általában párhuzamos formában zajlik, kivéve a terepi buszrendszerek által kezelt be- és kimeneteket. A párhuzamosan kezelt jelek lehetnek: kétállapotú be/kimenetek, analóg be/kimenetek és frekvencia (impulzus) be/kimenetek.

A PLC és PLC, a PLC és PC, a PLC és kezelő, valamint a PLC és periféria közötti kommunikáció rendszerint soros formában történik. Soros adatátvitel esetén az adatok bitenként, a kiegészítő, ellenőrző jelekkel együtt, időben egymás után rendszerint egy vezetéken (érpáron) kerülnek továbbításra. Az információt a feszültség vagy az áram szintje, illetve jelátmenete képviselheti. A soros átvitelnek számos jellemzője és szabványa van (RS 232, RS 485 stb.). Soros adatátvitel a kommunikációban résztvevő adók és vevők számától függően alapvetően két pont között (pont-pont kommunikáció), illetve több pont között történhet.

Pont-pont közötti kommunikáció esetén két egység között folyik az adatátvitel egy vagy mindkét irányban. A több pont közötti (multi-point) kommunikáció napja-

inkban szinte kizárólag hálózati jellegű, amely jellemzője, hogy kettőnél több egység (adó, illetve vevő) között egy speciális architektúrájú átviteli közegen keresztül történik az adatátvitel. A jelenlegi informatikai hálózatok a hálózat által áthidalt távolságok alapján távolsági hálózatokra, illetve lokális hálózatokra bonthatók. A távolsági hálózatok (Wide Area Network, WAN) rendszerint a nyilvános távközlési berendezéseket veszik igénybe, és nagy távolságú, földrészek közötti kommunikációt valósítanak meg.

A lokális hálózatok (Local Area Network, LAN) kis és közepes kiterjedésű földrajzi területen elhelyezkedő, független eszközök közötti egyenrangú kommunikációt valósítanak meg. A hálózati elemeket három csoportba sorolhatjuk: a kommunikációs állomásokra, az állomásokat összekapcsoló kábelrendszerre és a kiegészítő hálózati elemekre. A hálózati állomásoknak megfelelően intelligens szoftverrel kell rendelkezniük ahhoz, hogy kezelni tudják a hálózat számára szükséges kommunikációs és vezérlési funkciókat.

A soros kommunikáció jelentősége napjainkban felértékelődik. A PLC programjának jelentős részét a kommunikációra vonatkozó programrész teszi ki, amely elkészítése a konkrét PLC hardver- és szoftver adottságain túl sokrétű, a kommunikációra vonatkozó általános, valamint specifikus informatikai ismereteket igényel.

7.5.1. A soros átvitel

Ismert, hogy az információ feldolgozása párhuzamos, továbbítása soros formában előnyös. Ezért a soros adatátvitelnél meg kell oldani az adatok párhuzamos /soros átalakítását, az adatok és az üzenet szinkronizálását, majd az adatok soros/párhuzamos visszaalakítását, valamint az egyes bitek/bájtok értelmezését, *illetve* az átvitel ellenőrzését.

A soros adatátvitel kidolgozásához és programozásához az átviteli sebesség, a fizikai jellemzők, a kódolási eljárások, a szinkronizálás módja és az átvitel szabályrendszerének (protokolljának) ismerete szükséges.

7.5.1.1. Az átviteli sebesség

Az átviteli sebességet az időegységenként átvitt bitek számával adják meg, mértékegysége a bit/s vagy bps, azaz a baud. Gyakran a bruttó, illetve nettó adatátviteli sebesség fogalmával is találkozhatunk. A bruttó adatátviteli sebesség a hasznos adatokon túl az adminisztrációs adatokat is figyelembe veszi, míg a nettó átviteli sebesség csak a hasznos adatok átvitelére vonatkozik és értéke a kódolástól függően az előzőnél 10-30 %-kal kisebb.

7.5.1.2. A fizikai jellemzők

A soros adatátvitel fizikai jellemzői az átviteli közegek, az átviteli módok és az adatátvitel iránya. A soros adatátvitelre rendszerint a következőket alkalmazzák: sodrott érpár, koaxiális kábel, fénykábel (optikai kábel) és elektromágneses hullám.

7.5.1.3. Az átviteli közegek

A soros adatátvitel vezetékes- vagy vezeték nélküli átviteli közegen keresztül lehetséges. A vezetékes átvitel fizikai közege lehet elektromos kábel, illetve fénykábel. A soros adatátvitelnél használatos nagyfrekvenciás jelátvitel szempontjából fontos az elektromos vezeték hullámellenállásának ismerete.

A jelátvitelre használatos vezetékek hullámimpedanciája 50–300 Ω közötti. Az állóhullámmentes jelátvitelhez a nagyfrekvenciás vezetékeket hullámellenállással azonos értékű ohmos ellenállással kell lezárni. Ezt illesztett lezárásnak nevezzük. Reflexiómentes jelátvitelhez tehát illesztett lezárásra van szükség. Minél inkább eltér a lezáró impedancia a hullámimpedanciától, annál nagyobb a reflexiók amplitúdója és fázisa miatti jeltorzulás. A jelátvitelre használatos vezetékek lehetnek: sodrott érpár, koaxiális kábel, fénykábel és vezeték nélküli átvitel.

A *sodrott érpár* (*twisted pair*) két szigetelt, összezsavart rézhuzalból áll. Rendszerint több sodrott érpárt fognak össze közös védőburkolatba, amit sodrott érpárkötegnek neveznek. Az épületekben lévő távbeszélő hálózatok sodrott érpárkötegből készülnek (pl. UTP kábelek). Miután ezek a kábelek már többnyire rendelkezésre állnak, lokális hálózatokban is igen elterjedtek. Néhány mai, hagyományos távbeszélő-kábelt alkalmazó lokális hálózati eszköz eléri a 10, sőt a 100 Mbps adatátviteli sebességet, de a legtöbb sodrott érpáros megoldás ennél sokkal kisebb sebességre alkalmazható. Nagyobb teljesítményű lokális hálózatokban a sodrott érpárkötegnek jobb minőségű, védőburkolattal ellátott változatát alkalmazzák, amit árnyékolt sodrott érpárkötegnek neveznek. Ez a kábeltípus kevésbé érzékeny az elektromos zavarokra és megbízhatóbb, nagy távolságú, nagy sebességű átvitelre képes, ugyanakkor jelentős hátránya az érpárok közötti áthallás.

A *koaxiális kábel* (*coax cable*) rézhuzalból áll, amit szigetelőanyag vesz körül, és ezt átöleli egy árnyékolóköpeny, ami lehet fonott huzalháló (harisnya), vagy szilárd, fémes anyag (fólia). Az árnyékolóköpenyt szigetelőből készült védőburkolat borítja. A koaxiális kábel kevésbé érzékeny az elektromos zavarokra és az áthallásra, mint a sodrott érpár, és maximum 100 Mbps adatsebesség érhető el vele. Hátrányuk a nagyobb fektetési költség. Még olyan hálózatokhoz is, amelyekhez a 100 Mbps sebességnél jóval kisebb sebességre képes sodrott érpárt is használhatnák, sokszor mégis a koaxiális kábelt alkalmazzák, mivel a koaxiális kábelek a televíziós

technikában már régóta elterjedtek. A lokális hálózatokban ettől eltérő koaxiális kábel használata is szokásos. A koaxiális kábelek aszimmetrikus kábelek.

A *fénykábel*t felhasználhatják információ továbbítására, ha a fénysugarakat adatjelekkel modulálják. A fénykábel egy érből áll, amely hajszálvékony, optikailag átlátszó anyagból készül és egy olyan burkolatból, amely az eret koncentrikusan vesz körül, és az érnél kisebb optikai sűrűségű. Mivel a burkolat törésmutatója kisebb az érnél, az érben haladó fénysugár nem tud kilépni, így a burkolatról teljesen visszaverődik.

A fénykábelek rendkívül nagy sáv szélességűek. Az 565 Mbps átviteli sebesség a kereskedelmi forgalomban megtalálható rendszereknél megszokott, de már van 200 000 Mbps sebességet elérő rendszer is. A fénykábel másik nagy előnye, hogy nem érzékeny az elektromos és mágneses zavarokra, tömege kisebb a koaxiális kábelnél, de sokkal drágább is. Különösen a fektetési költsége jelentős. A kábelvégek, csatlakozók kialakítása speciális szerszámokat és szakértelmet igényel. Ugyancsak költségesek a kábelrendszerek átviteli tulajdonságait vizsgáló mérőműszerek is. Újabban az üvegszálat műanyag szállal helyettesítik, ami olcsóbb, de az átviteli tulajdonságai rosszabbak.

Vezeték nélküli átvitel: a levegő, illetve az elektromágneses hullám is lehet átviteli közeg. Ezt használja például a rádió- és tévé-műsor-szórás, valamint a mobiltelefonia. Nagy előnye az, hogy nem kell kiépíteni az átviteli utat, viszont az átvitel során előfordulhatnak zavarok. Ennek ellenére, pl. szervizalkalmazások esetén a vezeték nélküli átvitel nagyon érdekes alternatívája az időigényes, és ezért drága helyszíni kiszállásnak. Igen nagy távolságú rendszereknél (pl. olajkutak, gázkutak, stb.) a mikrohullámú, esetleg műholdas átvitelt is használják. A jövőben a vezeték nélküli átvitel jelentőségének növekedése várható.

7.5.1.4. Átviteli módok

A jelek fizikai kommunikációs közegen való átvitelére két eljárás használatos: az alapsávú és a széles sávú átviteli mód. Az alapsávú átviteli mód a digitális jelátvitelt, a széles sávú átviteli mód az analóg jelátviteli eljárásokat használja.

Alapsávú átvitel esetén az adatjeleket diszkrét elektromos, illetve fényimpulzusok formájában viszik át. Az ilyen átvitelnél az adó az adatimpulzusokat közvetlenül a kommunikációs csatornán át továbbítja, a vevő pedig ezeket detektálja.

Mivel az adatimpulzusok a kommunikációs csatornán (fizikai közegen) haladnak, azon torzulást szenvednek. Így a csatorna végén megjelenő jel formája és nagysága már nem az eredeti. Ha a vonal túl hosszú, akkor a vett jel túl gyenge lehet, vagy ha az átviteli sebesség túl nagy, akkor a vett jel felismerhetetlenné válhat. Ezen problémák leküzdésére jelismétlő egységeket (repeater) alkalmaznak, ame-

lyek helyreállítják a jelet, és megszüntetik a csatornában keletkezett zajt. Alapsávú átvitel esetén a zaj és a zavar általában nem okoz gondot, kivéve, ha a zavar annyira elrontja a jelet, hogy a 0-ás bit 1-ként értelmezhető (vagy fordítva). Az alapsávú átviteli módnál a csatorna kapacitását egyetlen adatjel továbbítására használják.

Az alapsávú átviteli módot használó csatornán több eszköz is osztozhat az időosztásos vezérlés segítségével. Az időosztásos (Time-Division Multiplexing, TDM) eljárás esetén a kommunikációs eszközök felváltva adnak úgy, hogy egy időben csak egy eszköz ad. A különböző eszközöktől származó adatok az átviteli csatornán egymást követik.

A széles sávú átviteli módra az analóg átvitel a jellemző, amelynél folytonos jeleket alkalmaznak. A jelek elektromágneses hordozóhullámok segítségével haladnak át az átviteli közegen. A hordozóhullámú jelet rendszerint az alábbi jellemzőkkel adják meg: amplitúdó, frekvencia, fázis. Széles sávú átvitelnél az adatjelet egy hordozójelre (vivő) ültetik rá, mégpedig úgy, hogy a hordozóhullám három jellemzőjének valamelyikét egy adatjelnek megfelelően változtatják, azaz modulálják. Ennek megfelelően van amplitúdómoduláció, frekvenciamoduláció és fázismoduláció.

Amplitúdómoduláció (AM) esetén a 0, illetve 1 értéket a nagyfrekvenciás hordozó két különböző amplitúdóértéke reprezentálja. Frekvenciamoduláció esetén a 0 és 1 adatbitet a hordozóhullám kétféle frekvenciaértéke testesíti meg. Fázismodulációnál a 0, illetve 1 bit értékét a hordozóhullám kétféle fázishelyzete jelenti. A hordozófrekvencia modulálását és demodulálását úgynevezett modemek végzik.

Analóg átvitel esetén a fizikai jelátvivő közegtől függően a jel csillapítást szenved. Ezt megfelelő távolságban elhelyezett erősítőkkel kompenzálják. Az erősítő a jellel együtt a zajokat is erősíti, így a megfelelő jel/zaj viszony biztosítása a távolság növekedésével egyre nehezebb.

Az analóg jelátvivő csatorna egyik fontos mértékegysége a sáv szélesség, ami a csatornán átvitt legmagasabb és legalacsonyabb frekvencia különbsége. A csatorna sáv szélessége és az adatátviteli sebesség között közvetlen összefüggés van. Minél magasabb a hordozójel frekvenciája, annál nagyobb az információhordozó kapacitás. A csatorna kapacitás jellemzésére bevezetett *baud* a másodpercenkénti jelváltozást jelenti a vonalon, ami többnyire megegyezik a bitsebességgel, de ez nem kizárólagos. Ezért a *bit/s* fejezi ki egyértelműen az információátviteli sebességét. Analóg átvitelnél gyakran több részre, csatornákra osztják a fizikai közeg által rendelkezésre álló sáv szélességet. Ebben az esetben frekvencia multiplexnek nevezett eljárással több átvitel valósítható meg egyszerre a különböző csatornákon (hordozófrekvencián) keresztül.

Széles sávú átvitelnél a csatornákat gyakran eltérő módon használják ki, például egyes csatornákon csak adatokat, másokon jeleket (videojel) visznek át egyidejűleg, vagy az állomás egy csatornát adásra, egy másik csatornát vételre használ.

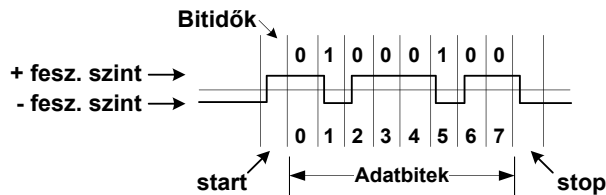
7.5.1.5. Az adatátvitel iránya

Az adatátvitel további jellemzője az egy időben történő átvitel iránya. Így megkülönböztetünk szimplex, fél duplex és duplex átvitelt. Szimplex átvitel esetén az adatáramlás egyirányú. Fél duplex (half duplex) átvitelnél az adattovábbítás mindkét irányban lehetséges, de egy időben csak az egyik irányban. Duplex (full duplex) üzemmódban, egy időben mindkét irányban lehet adatokat továbbítani. A fél duplex üzemmódhoz 2-, a duplex üzemmódhoz 4-vezetékes kapcsolatra van szükség.

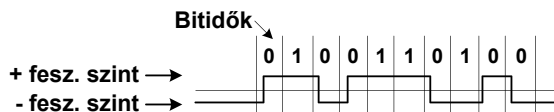
7.5.2. Kódolási eljárások

Az egymással kommunikáló állomások a kommunikációs csatornán keresztül továbbított bináris adatok megfeleltetésére számos, különböző kódolási formát használhatnak. A leggyakoribb kódolási eljárások:

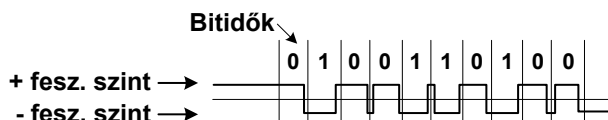
- RS 232C kódolás;
- nullára komplementáló differenciális kódolás;
- Manchester-kódolás;
- differenciált Manchester-kódolás.



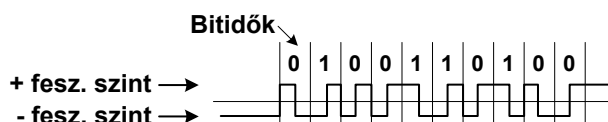
7.13. ábra
RS 232C szabvány szerinti kódolás



7.14. ábra
Nullára komplementáló differenciális kódolás



7.15. ábra
A Manchester-kódolás



7.16. ábra
A differenciális Manchester-kódolás

RS 232C kódolás: lassú adatátvitelre leggyakrabban közönséges távközlési csatornát használnak, amelyet az RS 232C szabványban definiáltak. Az RS 232C átvitelnél az 1 bitértéknek az egy bitperiódusig tartó negatív feszültségszint felel meg, a 0 bitértéknek a pozitív feszültségszint (7.13. ábra). E kódolási mód előnye az egyszerűség, de hátránya, hogy sok egymás utáni azonos bitérték esetén (0 vagy 1) a bitidők elcsúszása hibás dekódolást okozhat.

Nullára komplementáló differenciális kódolás: sok nagy teljesítményű vonalvezérlő eljárás gyakran használ az előzőknél sokkal összetettebb kódolási módot. A nullára komplementáló differenciális kódolásban (NRZI) a bitperiódusban egy pozitív vagy negatív feszültség *polaritásváltása megfelel a 0 bitértéknek*. Ha nincs a bitperiódus ideje alatt polaritásváltás, akkor az 1 bitértéket jelent (7.14. ábra).

Manchester-kódolás: elektromos szempontból sok lokális hálózati megvalósításban kívánatos, hogy a pozitívból negatívba való átmenet és a negatívból pozitívba való *polaritásváltás előre látható szabályossággal* kövesse egymást. A Manchester-kódolás jellegzetes formájában a következő: 1 bitértéknek felel meg, amikor a bitidő feléig a feszültségszint negatív és a bitidő felétől pozitív, 0 bitértéket jelent, amikor a bitidő feléig a feszültségszint pozitív, és a bitidő felétől negatív. Így a Manchester-kódolás esetén (7.15. ábra) *minden bitperiódusban polaritás váltás* történik. Manchester-kódolás esetén azok a bitidők, amelyekben a jel vagy pozitív, vagy negatív marad egy teljes bitperiódus idejére jelezhetik a blokk kezdetét, vagy a blokk végét.

A Manchester-kódolás egyik formáját, amit *differenciális Manchester-kódolásnak* neveznek (7.16. ábra), jó néhány lokális hálózat felhasznál. Ennél a kódolásnál is, mint a hagyományos Manchester-kódolásnál, *minden bitperiódusban polaritásváltás* történik. Azonban a változás jellege függ attól, milyen értékű volt az

előző bit 0, vagy 1. A bitérték 1 értéket fog felvenni, ha nem változik a polaritás az előző bitperiódus végén, de változik a bitperiódus közepén, és 0 bitértéket azonosít, ha a bitperiódusnak mind az elején, mind a közepén polaritásváltás történik. Ezzel a kódolással a pozitív feszültségszintről negatív feszültségszintre történő átmenet 0 bitértéket is, és 1 bitértéket is jelenthet, az előző bitperiódus végének állapotától függően. A bit értékét az határozza meg, hogy ilyenkor van-e polaritásváltás, vagy nincs. Ha a bitidő elején nincs polaritásváltás, az 1, ha van, akkor 0 bitértéket jelez.

7.5.3. A szinkronizálás

Két digitális eszköz közötti kommunikációnál azon időtartam ismeretére van szükség, amelynek segítségével azonosítani lehet minden elküldött jelet. Ezt az időtartamot *bitperiódusnak* vagy *bitidőnek* nevezik. Egy hibátlanul elküldött adatsorozatról a vevőnek fel kell ismernie az adatsorozatot, és azonosítani kell az egyes bitekhez tartozó jelrészleteket. Ehhez kétféle eljárás ismert: az *aszinkron*, illetve *szinkron* eljárás. *Aszinkron átvitel* esetén a karaktereket START-, illetve STOP-bitek határolják, ezért START/STOP átvitelnek is nevezik. Általában minden karakter 10-11 bitből tevődik össze:

- 1 START-bit;
- 8 adatbit (ASCII kód esetén, de ez eltérő is lehet, pl. a telekkód 5 bites);
- paritásbit;
- 1-2 STOP-bitből.

A kód egy startbittel kezdődik, ez jelöli a kód kezdetét. Ezt követi nyolc biten az információ, majd egy paritásbit. A kód végét a stopbit jelzi. Az aszinkron adatátviteli eljárásoknál a startbit és a stopbit határolja az egyes kódokat. A telegramkód tehát 8 adatbit esetén összesen 11 bitből áll. Ez a viszony, valamint a telegram felépítéséből adódó viszony fontos, az átvitel hatékonyságára utaló mennyiség.

A START/STOP bitek miatt a *jelsorozat eléggé redundáns*, mivel információtartalom szempontjából felesleges biteket tartalmaz. Ugyanakkor a vevőoldalon nincs szinkronizálva a vétel, és emiatt a nagyobb sebességű (> 9600 bps) átvitel nem biztonságos. Aszinkron átvitel esetén *karakterszinkronizáció* történik a karaktert megelőző START-, illetve követő STOP-bitek révén.

Szinkron adatátvitelnél az egymást követő jelek ütemezetten, szinkronizáltan követik egymást. Az adatok átvitele *blokkos* formában történik, amelyeket *blokk-szinkronizáló* bitekkel egészítenek ki.

Az átvitel egyik formája a *karakterorientált átvitel*, amely főként a szöveges információ átvitele esetén előnyös, de adatok továbbítására körülményes. Adatok

átviteléhez a *bitorientált protokollt* használják. Szinkron átvitelnél a redundancia alacsonyabb, de a kapcsolódó hardver bonyolultabb. Az alkalmazható adatátviteli sebesség magasabb, mint az aszinkron átvitelnél. Tipikusak a 4800 bit/s feletti értékek. Szinkron átvitelnél igen előnyös a Manchester-kódolás, amely minden adatbithez jelváltozást rendel, így a vevőnek egyszerű a szinkront fenntartania.

7.5.4. A protokoll

A kommunikációban résztvevő eszközök között átvitt információ *vezérlőinformációból* (bitek vagy bájtok), *hasznos információból* és *adatellenőrző* információból áll. Az információfeldolgozó egységnek a vett adatok feldolgozásához ismernie kell az egyes bitek, illetve bájtok funkcióit. Az átvitt üzenetek (telegramok) felépítésének szabályait és értelmezési módját *protokollnak* nevezik. Számos szabványos protokoll ismeretes. A pont-pont összeköttetés, illetve a hálózati kommunikáció protokolljai a vezérlőinformációban térnek el egymástól.

A telegram egy *keretbe* foglalt üzenet, amely keret rendszerint három részből áll: a fejrész (header), az adattest (data unit), az adatellenőrző rész (trailer). A *header* tartalmazza a *célcímet* (annak a résztvevőnek a címét, amelynek az üzenet szól) és a *vezérlőinformációt*. A vezérlőinformáció tartalmazhatja például a telegram hosszát és/vagy a telegram típusát. Az adattestben (Data Unit) lévő információk ettől a vezérlőinformációtól függően eltérő hosszúságúak lehetnek, illetve mást és mást jelenthetnek.

A *Data Unit* tartalmazza az *üzenetet*. Az üzenet hossza lehet telegramtípusonként fix, vagy a fejrészben lévő hosszadattal megadott módon változó.

A *trailer ellenőrző információt* tartalmaz. A küldő a megelőző telegram elemeiből egy *adott algoritmus* szerint kiszámít egy értéket (ellenőrző kódot), és ezt írja be a trailerbe. A vevő a vett telegramelem ékből *ugyanazon algoritmus* alapján maga is kiszámítja az ellenőrzőkódot, és ezt összehasonlítja a adótól kapottal. Ezek a telegramrészek maguk is telegramkódokból állnak, amelyek felépítése szintén rögzített.

7.5.5. Adatvédelmi módszerek

7.5.5.1. A keresztparitásos ellenőrzés

Az átvitt adatok védelmének legismertebb módja a *keresztparitás*. Ez lehet páros vagy páratlan paritás. Mindkét esetben az adatbiteket egy paritásbittel egészítjük ki. Az adatbitekben és a paritásbitben lévő 1-esek számának páros paritás esetén párosnak, páratlan paritás esetén páratlannak kell lennie. Ha tehát páros kereszt-

paritás használata esetén az adatbitek közül három bit 1-es, akkor a paritásbitbe 1-et kell írni, hogy a paritás páros legyen.

7.5.5.2. A hosszparitásos ellenőrzés

A hosszparitást a keresztparitáshoz hasonlóan képezzük. Ugyanúgy megkülönböztetjük a páros és a páratlan hosszparitást. A hosszparitást azonban a keresztparitással szemben nem egyetlen kódszóra, hanem több telegramkód azonos helyi értékű bitjeire képezzük. Így annyi paritásbitet kapunk, ahány adatbit van, és ezeket a paritásbiteket egyetlen ellenőrző kódba foglaljuk össze, amit blokkellenőrző kódnak neveznek.

7.5.5.3. A kombinált paritásos ellenőrzés

A fentebb leírt két eljárás (VRC/LRC) kombinálása a *kombinált paritás*. Ennek során *mindkét módszert egyidejűleg* alkalmazzuk, azaz minden egyes kódra kiszámítunk egy paritásbitet és kiszámítunk egy paritáskódot a teljes blokkra is. Hibás átvitel esetén, amennyiben egy hiba történt, a sor-oszlop keresztpont adja a hiba helyét. Mivel a bitek értéke 0 vagy 1 lehet, ismerve a hiba helyét, ki lehet javítani a hibás bit értékét.

7.5.5.4. A ciklikus redundancia ellenőrzése

A paritásos elven alapuló hibaellenőrzés előnye az egyszerűsége, de nagy hátránya a megbízhatatlansága, illetve alkalmazási korlátozottsága. A ciklikus redundancia (Cyclic Redundancy Check) ellenőrzése mintegy 1000-szer nagyobb védeettséget biztosít. A CRC-kódot az adó képezi az üzenet előre rögzített bitképe alapján, a vevő pedig a vett üzenetből állítja elő *szigorúan azonos szabályok* alapján, három lépésben. A CRC hibafelfedő módszer első lépéseként az ellenőrizendő bitsorozatból egy, a *legnagyobb helyértékeknek megfelelő fokszámú polinomot* képeznek úgy, hogy ennek együtthatóit az eredeti üzenetbitek adják:

$$M(x) = b_{k-1}x^{k-1} + b_{k-2}x^{k-2} + \dots + b_1x + b_0 \quad (7.3)$$

Az így polinommal alakított $M(x)$ üzenetet r helyértékkel *eltolják* (balra léptetik), ami egy x^r -nel történő szorzást jelent, aminek hatására a polinom az $x^r M(x)$ alakot veszi fel.

Harmadik lépésként az $x^r M(x)$ alakú polinomot egy, az egész rendszer résztvevői által ismert r -ed fokú, ún. *generátorpolinommal elosztják*, a modulo-2 szabályoknak megfelelően. Feltételezve, hogy a generátorpolinom

A programozható vezérlők alkalmazása

$$G(x) = g_r x^r + g_{r-1} x^{r-1} + \dots + g_1 x + g_0 \quad (7.4)$$

alakú, tehát az osztás eredménye:

$$x^r M(x)/G(x) = P(x) + R(x)/G(x), \quad (7.5)$$

ahol $P(x)$ az osztható rész, míg $R(x)$ a maradék. A következő lépésben az eredeti üzenetből képzett r helyértékkel eltolt polinomból ezt a maradékot kivonják, és az így kapott polinom $T(x)$ együtthatóit küldik el a CRC-mezőbe.

$$x^r M(x) - R(x) = T(x). \quad (7.6)$$

A CRC-mezőbe küldött $T(x)$ -nek megfelelő bitsorozat tehát ugyanúgy megérkezik a vevőhöz, mint az üzenet többi része. A vevőoldali procedúra nagyon hasonló az adóoldalihoz. Tételezzük fel, hogy az elküldött bitsorozat az átviteli úton sérül, és a vevőhöz egy eltérő változat érkezik, vagyis:

$$T(x) \rightarrow T(x) + E(x) \text{ alakúra változik, ahol } E(x) \text{ a hiba.} \quad (7.7)$$

Amennyiben a vevő által is ismert generátorpolinommal az üzenetet elosztjuk:

$$[T(x) + E(x)]/G(x) = P(x) + E(x)/G(x), \quad (7.7)$$

vagyis az osztás eredménye $E(x)$ miatt maradékot tartalmaz, tehát hiba lépett fel az átvitelkor. *A generátorpolinommal történő osztás csak akkor ad maradék nélküli eredményt, ha az eredeti üzenet érkezett a vevőhöz.* Feltáratlan hiba akkor maradhat az üzenetben, ha $E(x)$ véletlenül maradék nélkül osztható $G(x)$ -szel.

A feltáratlan hibák valószínűségi értéke csökken, ha a generátorpolinomot nagyon gondosan választják meg. A generátorpolinom szinte minden esetben tartalmaz egy $(x+1)$ szorzótagot, ami a paritásvizsgálatot teszi lehetővé.

Mivel az $M(x)$, illetve $G(x)$ egyaránt bináris formában kerül feldolgozásra, így a CRC képzése egyszerű logikai műveletekkel könnyen és gyorsan elvégezhető.

7.5.6. A hálózati kommunikáció

Bár a pont-pont közötti kommunikációnak vannak tipikus alkalmazási területei, napjainkban a több pont közötti kommunikáció igénye növekszik.

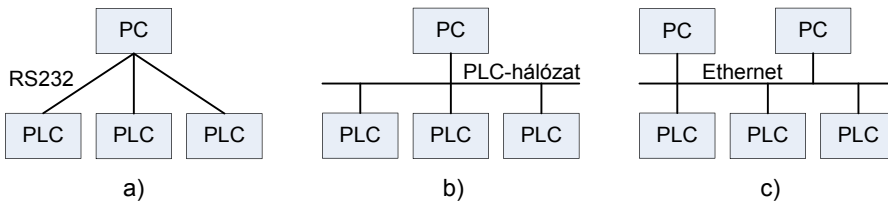
Több PLC közötti kommunikáció módszerei a következők:

- több soros vonal révén kialakított pont-pont kapcsolat (7.17.a ábra);
- PLC-hálózat (7.17.b ábra);
- ETHERNET-hálózat (7.17.c ábra);
- adatgyűjtő számítógép.

A **7.17.a ábra** szerinti megoldás korlátozott kommunikációra alkalmas. Ezért látják el a PLC-ket egynél több RS 232C szabványú interfésszel. A megoldás hátránya az alacsony átviteli sebesség és a kis távolság.

A **7.17.b ábrán** látható PLC-hálózat a leggyakoribb kommunikációs módszer a több PLC közötti információk kapcsolat kialakításához.

Tekintettel az ETHERNET-hálózat világméretű elterjedésére és az ebből eredő előnyökre, különösen a nagy távolságú, illetve nagy adatmennyiségeket igénylő kommunikáció esetén célszerű alkalmazni. Minden perspektivikus PLC-nek van ETHERNET-hálózati csatlóója, bár újabban a távközléstechnikában az ISDN-hálózat is terjed.



7.17. ábra

A PLC-k közötti kommunikációk változatai

Az irányítástechnika kommunikációs hálózatainak előnyei:

- jelentősen kisebb kábelköltségek;
- kisebb méretű kapcsolószekrények;
- kisebb mennyiségű járulékos, hagyományos technika (pl. sorozatkapcsok);
- kisebb telepítési és ráfordítási költségek (bérköltségek);
- kisebb szervizköltségek;
- nagyobb üzembiztonság és teljesítmény;
- rugalmas módosítási lehetőség.

Az irányítástechnika hálózatai a lokális hálózatokból fejlődtek ki, ezért tárgyalásukhoz általános hálózati ismeretek (LAN) és speciális hálózati ismeretek szükségesek. A hálózatok adatátvitelére soros, ezért az ezzel kapcsolatos leírások a hálózatokra is érvényesek.

A LAN-ok felépítésének elemzéséhez szükséges alapfogalmak: az átviteli közeg, az átviteli mód, a hálózati topológia és a hozzáférési mód.

- Átviteli közeg lehet sodrott érpár, koaxiális kábel, fénykábel.
- Az átviteli mód arról tájékoztat, miként alkalmazzák összeköttetésre az átviteli (fizikai) közeget. A leggyakoribb az alapsávú, illetve széles sávú átvitel.

- A hálózati topológia a kábelezés alakjára utal, megmutatja a hálózati összeköttetés rendszerét.
- A hozzáférési mód: annak a módszerét írja le, hogy mikor, melyik kommunikáló állomás kap vezérlést az átviteli közeghez való hozzáférésre. A lokális hálózatra kapcsolt eszközök ugyanazon kábelrendszeren osztoznak, ezáltal összekapcsolódnak és lehetőséget kapnak az adatátvitelre. Általában a lokális hálózat egy időben csak egyetlen adatállomás adatküldését teszi lehetővé. Ezért szükség van olyan módszerekre, amelyek alapján eldönthető, hogy melyik állomás kap erre jogot. Ezt a módszert nevezik hozzáférés-vezérlési módnak. A hálózati kommunikációhoz a protokoll fogalmát a következők szerint kell kibővíteni.

Hálózati kommunikáció esetén a kommunikációprotokoll szerinti szabályok gyűjteménye az alábbiak szerint foglalható össze:

- *Keretezés (framing)*: meghatározza, hogy melyik hitcsoport jelent egy karaktert, és mely karaktercsoport tartozik az üzenethez.
- *Hibakezelés (error control)*: hibaérzékelés-paritás (parity), VRC vagy CRC segítségével a hibátlan üzenet elfogadása, stb.
- *Sorrendvezérlés (sequence control)*: üzenetek számozása a megkettőzés vagy az elvesztés elkerülése érdekében.
- *Átlátszóság (transparency)*: az előbbi funkciókat megvalósító vezérlőkarakterekkel megegyező bitelrendezésű információ átvitele anélkül, hogy ezeket a vevőállomás vezérlőkarakterként értelmezné.
- *Vonalvezérlés (line control)*: fél duplex vagy többpontos összeköttetés esetén annak a meghatározása, hogy melyik állomás adjon, és melyik legyen vevő.
- *Speciális esetek (special cases)*: eldönti, hogy mi történjen, ha nincs közlendő adat.
- *Időtűllépés vezérlése (timeout control)*: eldönti, hogy mi történjen, ha az üzenetfolyam megszakad.
- *Indításvezérlés (startup control)*: az üzemen kívül lévő rendszerben az átviteli folyamat megindítása.

7.5.7. Hálózati topológiák

Minden lokális hálózat közös tulajdonsága, hogy az állomásnak nevezett eszközöknek hozzá kell férniük az egyetlen fizikai átviteli eszközhöz (kábelhez). Az átviteli közeghez való hozzáférést számos módszer vezérli. A hozzáférés-vezérlési módszer magában foglalja az alkalmazott hálózati topológiát. A hálózati topológia

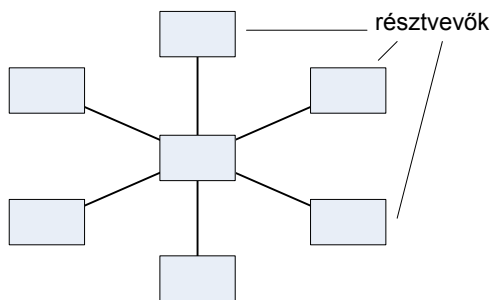
az eszközök fizikai elrendezésére és azok kábeles összekötésére vonatkozik. A LAN-ok topológiái: a csillag, a busz, a fa és a gyűrű típusú.

7.5.7.1. A csillagtopológia

A csillag- (star-) topológia lelke egy *központi vezérlő*, amely mindegyik csomóponttal közvetlen összeköttetésben áll. Minden átvitel az egyik állomástól a másik állomás felé áthalad a központi vezérlőn (7.18. ábra). A központi vezérlő szerepét rendszerint számítógép látja el, és felelős a kommunikáció vezérléséért. A központi vezérlő hozzájárul a kapcsolatot két csomópont között, majd ezt követően a két állomás között úgy cserélődhetnek az adatok, mintha közvetlenül kapcsolódtak volna egymáshoz.

A csillagtopológia előnye, hogy a központi vezérlő (számítógép) által bonyolított kommunikáció viszonylag egyszerű. Hátránya, hogy a központi vezérlő kiesése esetén a rendszer lebénul, a kábelezési költség viszonylag magas, és a központi számítógép terhelése nagy, mivel rajta keresztül zajlik az állomások egymás közötti kommunikációja is.

Csillagtopológiát régóta használnak a telefonközpontokban, ahol az automata hívású alközpont (PBX) működik központi vezérlőként. Vannak olyan csillagtopológiák is, mint a hópehely struktúra, ahol egy állomás, az alapszár felépítésben önálló csillag, amihez újabb csillagalállomások csatlakoznak. A csillagtopológiában a jeleket ún. csillagcsatolók erősítik.



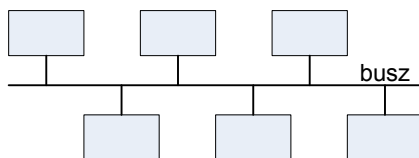
7.18. ábra
Csillagtopológiájú hálózat

7.5.7.2. A busztopológia

A busztopológia esetén valamennyi állomás közvetlenül egy *közös kommunikációs csatornához* kapcsolódik (7.19. ábra). A csatornán a jelek üzenetek formájában haladnak. Minden áthaladó üzenetet minden állomás vesz. Az állomásoknak az

A programozható vezérlők alkalmazása

üzenethez tartozó cím alapján kell eldönteniük, hogy az üzenetet elfogadják, és feldolgozzák, vagy elvetik. A buszon bármelyik állomás kommunikálhat, bármelyik másikkal. Egyidejűleg csak egy állomás végezhet adást, ezért buszhozzáférést szabályozó eljárásra van szükség, amely szabályozza a busz forgalmát. A topológia logikai és nem topográfiai kategória.



7.19. ábra

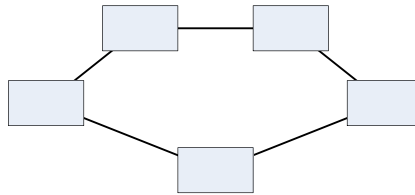
Busztopológiájú hálózat felépítése: a résztvevők lehetnek PLC-k, számítógépek, stb.

7.5.7.3. A fatopológia

A fatopológijú hálózat a busztopológiából származtatható. Az adatforgalom irányított: az adatok rendszerint a fejállomás felé haladnak, és innen kerülnek vissza a résztvevő állomásokra. A széles sávú hálózatokat többnyire fatopológiában alakítják ki, ahol az adó- és a vételi csatornát elválasztják külön vezeték vagy frekvencia formájában. A fatopológia tipikus alkalmazási területei a lokális hálózatok terén az épületinstallációs hálózatok.

7.5.7.4. A gyűrűtopológia

A gyűrűtopológia felépítése a 7.20. ábrán látható. Ebben a rendszerben egy gyűrűvé záródó átviteli közeggel kapcsolódnak össze az állomások. A gyűrűn végigvonuló jelek üzenet formájúak. Az üzeneteket minden állomás egymás után veszi. A busztopológiához hasonlóan az egyes állomások az üzenetek címei alapján döntenek el, melyik üzenetet kell fogadniuk, és feldolgozniuk. Gyűrűstruktúrájánál tehát minden állomás része az átviteli útnak. Az üzenetek egyszer mennek körbe a gyűrűn, állomásról állomásra. Mindegyik állomás megvizsgálja, hogy neki szólnak-e az üzenet adatai. Ha igen, akkor beolvassa a saját adattárába. A busztopológiával ellentétben, miután az üzenet vétele megtörtént, mindegyik állomásismétlő egységként működik, felfrissítve az eredeti jelerősséget. Az újabb résztvevők becsatlakoztatásánál, illetve a gyűrűből való kiiktatásánál a gyűrű zártóságát mindig biztosítani kell. Ezt többnyire relés kapcsolással oldják meg. A gyűrűtopológia esetén az üzenetek forgalmát szabályozó eljárásra van szükség.



7.20. ábra

Gyűrűtopológiájú hálózat felépítése: a résztvevők lehetnek PLC-k, számítógépek, stb.

7.5.8. Az átvitelvezérlési (buszhozzáférési) eljárások

A hálózati kommunikáció esetén egy vezetérendszerre több állomás kapcsolódik, ezért a hibátlan adatkapcsolathoz szükség van az átvitelt vezérlő eljárásra. Ezt átvitelvezérlési eljárásnak vagy buszhozzáférési eljárásnak nevezik. Ezen adatáramlás során a szabályozás nélküli információk egymásra íródnak, megsemmisíthetnék egymást az ún. sín-konfliktus következtében. A buszhozzáférési eljárás azokat a szabályokat jelenti, amelyek megadják, mikor, és mennyi ideig használhatja egy állomás az adatcsatornát. A hálózati adatforgalom esetén fel kell készülni arra, hogy egyidejűleg több résztvevő kíván adatokat küldeni, azaz a buszhoz adóként hozzáférni, és ezt az átvitelvezérlési eljárásnak zavarok nélkül kell lebonyolítania. Azt is biztosítani kell, hogy az összes résztvevő megkaphassa a hozzáférési jogot meghatározott időközönként. Ez különösen fontos az irányítástechnika hálózataiban esetén a valós idejű adatfeldolgozás céljából. A hozzáférés-vezérlési módok a következő típusú átvitelvezérléssel működnek:

- *véletlen vezérlés* esetén egyik állomásnak sincs szüksége megkülönböztetett engedélyhez üzenete továbbításához; egy állomás mielőtt elküldené a kívánt üzenetet, ellenőrizheti, szabad-e az átviteli közeg;
- *osztott vezérlés* esetén csupán egyetlen állomásnak van joga egy adott időn belüli adatátvitelre, és ez a jog állomásról állomásra halad tovább;
- *központosított vezérlés* esetén egy kitüntetett állomás vezérli a hálózati belépéseket, a többi állomásnak pedig figyelnie kell, mikor kapnak engedélyt adattovábbításra a vezérlőállomástól.

A fenti módszerek mindegyike különféle előnyökkel rendelkezik. Például a központosított vezérlés előnyei:

- az állomások tevékenységei között kevesebb a koordinálási feladat;
- nagyobb a rendszer szabadsági foka, mivel minden állomáshoz elsődleges, vagy szavatolt hozzáférés rendelhető;
- az állomások csatlakoztatásához igen egyszerű interfészre (hardver) van szükség.

A programozható vezérlők alkalmazása

A központosított vezérlési módszer hátránya, hogy a központi vezérlési ponton a legsűrűbb az igénybevétel, ami csökkentheti a hatékonyságot.

A lokális hálózatok gyártói a következő hozzáférés-vezérlési módszereket dolgozták ki:

- *Véletlen átvitelvezérlési módszerek:* ütközést jelző vivőérzékeléses, többszörös hozzáférés (CSMA/CD) ;
- *Osztott átvitelvezérlési módszerek:* vezérljel-továbbításos (vezérljelgyűrű, vezérljelbusz), ütközést elkerülő vivőérzékeléses, többszörös hozzáférés (CSMA/CA);
- *Központosított vezérlési módszerek:* lekérdezéses, vonalkapcsolásos, időosztásos többszörös hozzáférés (TDMA).

A felsorolt eljárások közül három fontosabbra épülnek a lokális hálózati szabványok (IEEE 802), és ezeket alkalmazza a legtöbb LAN-megvalósítás. Ezekhez tartozik az ütközést jelző, vivőérzékeléses, többszörös hozzáférés (CSMA/CD), pl. az ETHERNET; a vezérljelgyűrű, amelyre épül a legtöbb IBM lokális hálózati architektúra és a vezérljelbusz, amely a General Motors MAP hálózatának alapja.

Az állomások számától, az üzenet hosszától, a csatorna sebességétől, a hálózat topológiájától és az alkalmazási igényektől függ, hogy melyik hozzáférési mód a leghatékonyabb.

7.5.8.1. CSMA/CD hozzáférési mód

A Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection elnevezés magyarul ütközést jelző vivőérzékeléses, többszörös hozzáférési módot jelent. A CSMA/CD hozzáférési módszert már régóta használják, főként a busz- vagy a fatopológiájú lokális hálózatokban, és ezt alkalmazzák az ETHERNET hálózatokban is.

Ez a hozzáférési eljárás hasonlítható a közúti forgalomhoz is. Egy körforgalomnak tekinthető az elektronikus busz, az úttorkolatok a különböző résztvevők, a jármű pedig a küldendő adatcsomag. A torkolatban ki kell várni, amíg a körforgalom üres lesz (Carrier Sense), utána elindul a jármű, hogy bejusson egy másik torkolatba. Előfordulhat, hogy az üres körforgalomba egyidejűleg két jármű akar bejutni (Multiple Access). Az ekkor fellépő ütközést a rendszer felismeri (Collision Detection), és visszahívja a járműveket. Ezután egy véletlenszerű, és a valószínűség-számítás elmélete szerint a két torkolatra eltérő várakozási idő után új indítási kísérlet történik. A CSMA/ CD rendszerben mielőtt egy állomás adatokat küldene, először belehallgat az átviteli közegbe, hogy megállapítsa, van-e olyan állomás, amelyik éppen üzenetet küld. Amennyiben az átviteli közeg csendes, azaz egyik állomás sem ad, úgy a hallgatózó állomás elküldi az üzenetét.

A vivőérzékelés (Carrier Sense) tehát azt jelenti, hogy az állomás az adás előtt belehallgat az adathálózat tartalmába. Amikor üzenetküldési folyamat zajlik, az üzenet a hálózat mindegyik állomásához eljut. Az üzenet megérkezésekor valamennyi hallgató állomás megvizsgálja az üzenethez tartozó címet. Ha ez a cím a saját címével megegyezik, az állomás az üzenetet átveszi és feldolgozza.

CSMA/CD hozzáférési eljárás esetén a következő három eset lehetséges:

- az adni kívánó résztvevő belehallgat az adathálózat forgalmába, és ha egy másik résztvevő éppen ad, akkor a hálózat *foglalt* minősül, és az adni kívánó résztvevő a hálózatot figyelve vár a szabaddá válásig. Ha ugyanezt egyszerre több kommunikálni kívánó résztvevő teszi, akkor nagy valószínűséggel egyszerre kezdenek továbbítani a szabaddá vált hálózaton, azaz többben akarnak hozzáférni (Multiple Access, többszörös hozzáférés);
- ha a hálózat *szabad*, akkor egy rövid adásidő (néhány ms) áll rendelkezésre. Az adást minden résztvevő venni tudja, de csak a megcímzett résztvevő olvassa be.
- ha *egyszerre több résztvevő akar a hálózaton adni*, akkor ez *adatütközéshez* (collision) vezet. Ezt az ütközést minden állomás felismeri, leállítja az adást és egy állomásonkénti véletlenszám-generátor által meghatározott idő letelével újabb adás kezdődik, így az egyes résztvevőknek *statisztikus átlagban* közel azonos adási lehetőségük van.

Az eljárás hátránya, hogy adott esetben előre nem lehet tudni a várakozási (kiszolgálási) idő mértékét. A CSMA/CD eljárás a véletlen eljárás kategóriájába tartozik, ezért valós idejű (real-time) alkalmazásokhoz nem ajánlott. A CSMA/CD módszer nagy előnye, hogy kis forgalom esetén a buszhozzáférés rendkívül gyors.

7.5.8.2. Osztott hozzáférési módok

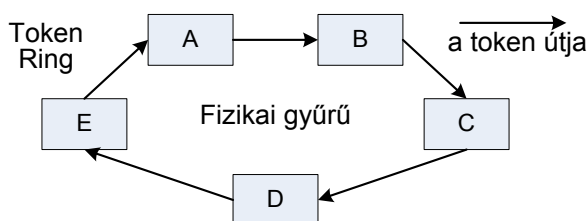
Osztott átvitelvezérlésű hozzáférés esetén a hálózat mindegyik állomása ugyanolyan mértékben vesz részt az átviteli közeghez való hozzáférés vezérlésében. Két ilyen módszert alkalmaz az osztott eljárás: a vezérljel-továbbítás (Token Passing) és az ütközést elkerülő vivőérzékeléses többszörös hozzáférés (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance, CSMA/CA) módszereket.

A Token Passing hozzáférési mód az ún. token (zseton) adogatásán alapul. A token egy rövid üzenetet (bitmintát) jelent, amely az adási jogosultságot hordozza. Amelyik résztvevőnél van a token, az adhat. Adás után a résztvevő köteles a tokent a következő résztvevő felé továbbítani. Ha nem kíván adni, akkor továbbküldi a tokent a következő résztvevőnek. Az utolsó résztvevő után ismét az első kerül sorra. Ha egyik résztvevő sem kíván adni, akkor a token körbejár. A token

A programozható vezérlők alkalmazása

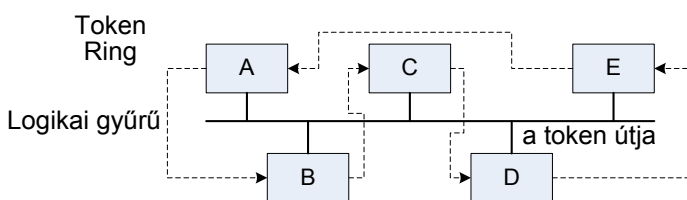
adogatásos eljárásnak a hálózat topológiájához igazodóan két változata létezik, a Token Ring, a gyűrű- és a Token Bus, a busztopológiájú hálózatokhoz.

A vezérjelgyűrűs (Token Ring) hozzáférési mód a gyűrűtopológiájú hálózatok leggyakoribb hozzáférési módszere (7.21. ábra).



7.21. ábra

Token Ring felépítése valós gyűrűvel



7.22. ábra

Token Ring felépítése logikai gyűrűvel

Ezt a hozzáférési módot legelterjedtebben az IBM cég használja. A zseton az adási jogosultságot hordozza, és a gyűrű mentén körbejár. Ha a vezérjeleket hordozó token szabad értékű, akkor ezt az állomás úgy értékeli, hogy üzenetet adhat. Ekkor az állomás elküldi az üzenetét, és foglaltra állítja a vezérjelet (token) és hozzáteszi a foglaltra állított vezérjelet az üzenethez. A foglalt vezérjeljellel kiegészített üzenet a gyűrűn állomásról állomásra körbejár. Az üzenetet mindegyik állomás veszi, lemásolja és továbbküldi. Amikor az üzenet a küldő állomáshoz jut vissza, az törli az üzenetet, és szabadra állítja a vezérjelet, majd továbbküldi, és a folyamat kezdődik előlről.

A Token Ring hozzáférési mód előnye, hogy a gyűrű valamennyi állomásának biztosítja a lehetőséget az üzenetadásra adott időn belül, és a hibás továbbítás detektálásáról is gondoskodnak. Lehetőség van az egyes állomások prioritásának programozására. Hátránya, hogy bonyolult a vezérjel feldolgozása és felügyelete.

A Token Bus hozzáférési mód a Token Passing módszer (vezérjel-továbbítás) alkalmazása busztopológiájú hálózatokra (7.22. ábra).

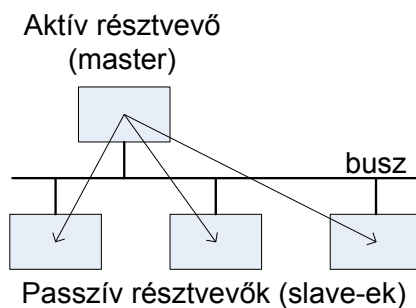
Ez a módszer különösen az üzemi, vállalati, gyári lokális hálózatokban terjedt el. A Token Bus módszer alapja a General Motors MAP protokollja. A Token Bus hoz-

záférési mód is token, azaz vezérlő-továbbításos módszer. Szemben a gyűrűvel, ahol a sorrendet a körkörös csatlakozás meghatározza, a busz esetén csak logikai gyűrű van. Ehhez egy lista tartozik, amely meghatározza az állomások sorrendjét, tehát a zseton egy listával definiált gyűrű mentén halad. A gyűrűn belül a folyamat ugyanaz, mint a Token Ring esetén, de az üzenet nem állomásról állomásra jut tovább, hanem a buszon keresztül közvetlenül a célállomásra kerül. A résztvevők csak egy-egy rövid adási intervallumra (pl. 10 ms) vehetik igénybe a hálózatot.

7.5.8.3. Központosított vezérlésű buszhozzáférési módszerek

Ezt a hozzáférési eljárást a távolsági (WAN-), illetve a helyi (LAN-) hálózatokhoz egyaránt használják. Utóbbira példa néhány, az irányítástechnikában használatos terepi hálózat. A központi vezérlésű hozzáférési vezérlési módszerek közé tartozik a lekérdezéses, a vonalkapcsolásos és az időosztásos eljárás, amelyek közül a PLC-hálózatokban elterjedt lekérdezéses módszert ismertetjük.

Lekérdezéses (polling) eljárás esetén a főállomás sorban, egymás után mindegyik mellékállomáshoz olyan üzenetet küld, amelyből megtudhatja, akarnak-e üzenetet küldeni. Ha a lekérdezett állomásnak van üzenete, akkor azt elküldi a főállomáshoz, amelyik továbbítja azt, ahhoz az állomáshoz, amelyiknek a címét az üzenet tartalmazta. Ha a lekérdezett állomásnak nincs továbbítandóüzenete, akkor nemleges választ küld a master lekérdezésére. Amikor a főállomás befejezte az alállomással való párbeszédet, akkor a lekérdezési lista alapján a következő alállomást kérdezi le. A gyártó cégek katalógusaiban ezt a buszvezérlési eljárást master-slave módszernek nevezik (7.23. ábra).



7.23. ábra

A lekérdezéses eljárás működési vázlata

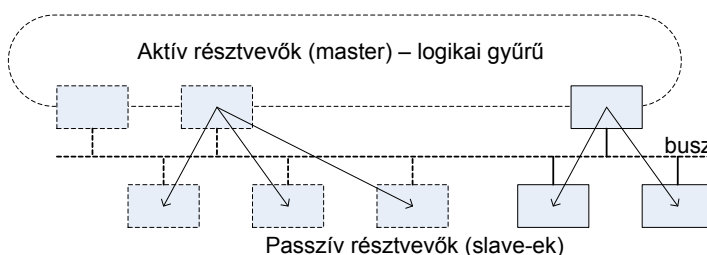
Az alállomásokhoz különböző prioritási szintek rendelhetők, amivel a lekérdezés gyakorisága növelhető. A módszer előnye, hogy a mellékállomások a legegyszerűs-

rűbb illesztő áramkörrel rendelkeznek. Hátránya, hogy a főállomás bonyolult, és kiesése esetén a hálózat működése megszűnik. Hátránya az átviteli sebesség szempontjából, hogy az üzeneteket kétszer kell elküldeni: először a küldő alállomástól a főállomáshoz, onnan pedig a címzett másik alállomáshoz. Ez a módszer a csillagstruktúrájú és a buszstruktúrájú hálózatokra jellemző.

7.5.8.4. Hibrid hozzáférési eljárások

Multi-master hozzáférési eljárásnak nevezhető, amikor két hozzáférési eljárást összekapcsolnak. Ez a hibrid hozzáférési eljárás. A Token Passing és a master-slave eljárás egyesítése növeli a két módszer előnyeit, és csökkenti hátrányait. A résztvevők lehetnek aktív vagy passzív résztvevők. A passzív résztvevők csak slave-ként működhetnek, ezért zsetont (token) nem kapnak. Az aktív résztvevők a logikai Token Ring gyűrűn vannak, és akár master, akár slave üzemmódban működhetnek (7.24. ábra).

Master/Slave összesítőkeretnek nevezik a master-slave eljárás speciális formáját: a gyűrűstruktúra és az összesítőkeret összekapcsolását. Az eddig ismertetett eljárásoknál mindig a vevő kapott üzenetet, amelyre üzenettel válaszolt. Az összesítő keret különlegessége, hogy az összes üzenetet egyetlen üzenetben foglalja össze.



4.24. ábra

A hibrid hozzáférési eljárás felépítése

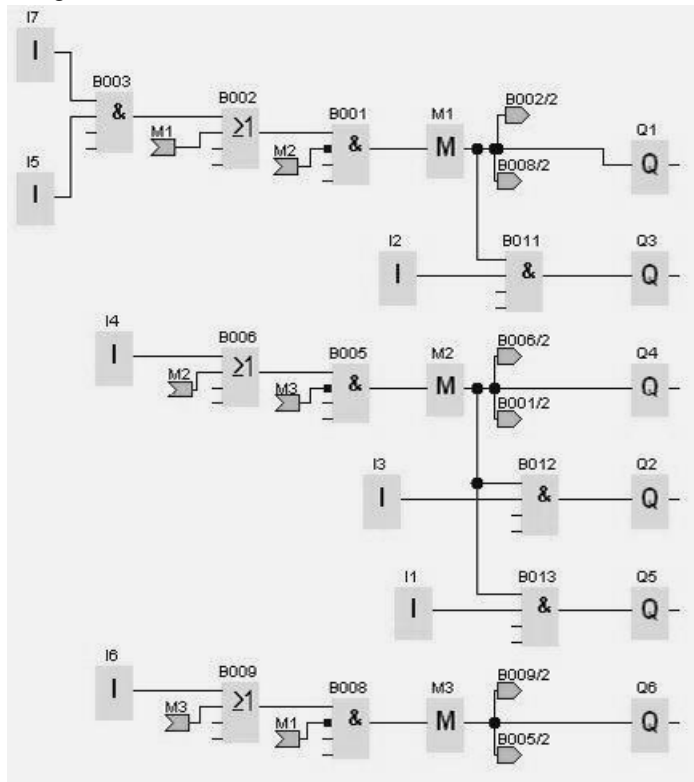
Ezáltal az eljárás jelentősen hatékonyabb, mint a külön-külön üzenetekkel dolgozó eljárások. Az eljárás menete a következő: a master kiküldi az üzenetét, azaz elküldi az első készülékre a gyűrűn, majd addig „tolja” tovább, amíg az üzenet fejrésze a gyűrű mentén vissza nem érkezik hozzá. Most minden üzenet ott van a kívánt vevőknél. A slave-ek kiolvassák az adatokat, beírják az új üzeneteket, majd a master ismét addig tolja az üzenetkeretet, amíg az új üzenet teljes egésze meg nem érkezik.

7.6. Elektropneumatikus rendszerek vezérlése programozható vezérlőkkel

Az előző fejezetekben bemutatásra került egy bélyegző berendezés vezérlése pneumatikus, illetve elektromechanikus rendszerekkel. A következőkben ugyanannak a berendezésnek, a PLC-vel megvalósított vezérlését mutatjuk be.

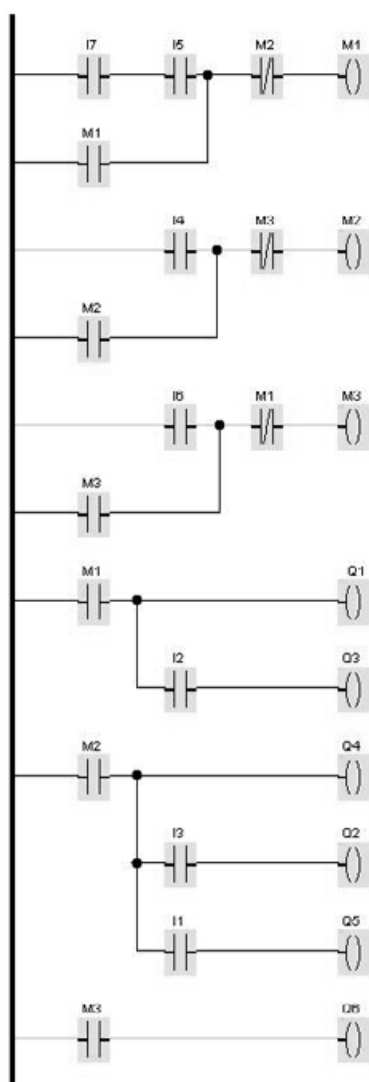
Amint már említettük, több lehetőség áll a felhasználó rendelkezésére ami a PLC-k programozását illeti. A grafikus felületek, programozási környezetek fejlődése az ezeken alapuló grafikus programozási nyelveket emelték az előtérbe, mint például a létradiagramos vagy a funkcióblokkos programozási nyelvek.

A vezérlés előkészítése ugyanúgy kezdődik, mint az elektromechanikus vezérlés esetén: az elvi működési vázlat a **6.26.** vagy **6.29. ábrának** megfelelően valósul meg, annak függvényében, hogy a pneumatikus útváltókat kétoldali vagy egyoldali elektromágneses tekercsek vezérlik.



7.25. ábra

A bélyegzőberendezés vezérlésének funkcióblokkos programja



7.26. ábra

A bélyegzőberendezés vezérlésének létradiagramos programja

A mostani példa bemutatásában, a munkadarab-bélyegző vezérlése, kétoldali elektromágnesek alkalmazásával történik. A vezérlőprogram megalkotásához segítséget nyújt a relés vezérlés felvázolása, mivel az így létrejött kapcsolási rajzot könnyen át lehet „írni” létradiagramos programozási környezetbe. A fentiek alapján a program írásának kiindulási pontját a **6.28. ábra** képezi, amelyet a **7.1. táblázat** szerint, a megfelelő programozási környezetbe ültettünk át.

Az irányított rendszer jeleinek be-, illetve kijutása a programozható vezérlőbe, illetve vezérlőből egy megfeleltetési táblázat kapcsán valósul meg. Az elvi működési vázlat alapján a táblázatban fel vannak sorolva az érzékelők, melyek a vezérjeleket szolgáltatják, és azoknak az elemeknek a jelölései, melyek a PLC által generált vezérjeleket kell fogadják (ebben az esetben az útváltók tekercei). A táblázat alapján meghatározzuk minden bemenő és kijövő jelnek a neki megfelelő programváltozót. A bemeneteket az I (Input) jelölések, míg a kimeneteket a Q (Output) jelölések jelentik. Amikor a PLC-k programozása szöveges üzemmódban történt, hogy ne legyen összetéveszthető a nagy O betű és a 0-s karakter, választották a Q betűt a kimentek jelölésére. Mivel most már programozásról van szó, a relék szerepét is átveszik a változók (merker-ek), melyeket M betűvel jelölünk. Minden felsorolt jelölést egy számjegy követ, mely a bemenet, kimenet vagy merker sorszámát jelöli. A bélyegzőberendezés megfeleltetési táblázatát a **7.2. táblázat** tartalmazza:

7.2. táblázat A be-/kimenetek programváltozóinak megfeleltetése

A vezérlő érzékelők megnevezése	Bemenetek megnevezése	A vezérelt elemek megnevezése	Kimenetek megnevezése
a0	I1	A01	Q1
a1	I2	A10	Q2
b0	I3	B01	Q3
b1	I4	B10	Q4
c0	I5	C01	Q5
c1	I6	C10	Q6
Start gomb	I7		

A **SIEMENS LOGO!** mikrovezérlők családjának programozására használatos **LOGO!SoftComfort** környezetet használva a funkcióblokkos és létradiagramos programok megvalósítására, a vezérlő programot a **7.25.** és a **7.26. ábra** mutatja be.

Az második esetben megfigyelhető a hasonlóság az áramúterv és, az ebből kifejlesztett, létradiagramos programozási nyelv között. Szinte minden magyarázat nélkül követhetők az elemek elrendezésének módja, illetve a használt jelölések. Megfigyelhető a megfeleltetési táblázatban használt változók és a relék helyett használt segédváltozók (merker-ek) beépítése. Ezzel ellentétben, egy másik logikát követve, a funkcióblokkos programozással megvalósított program (**7.25. ábra**) nem kínál annyira áttekinthető megoldást a vezérlés megvalósítása érdekében. Mivel a PLC-k napjainkban már komplex feladatok megoldására is alkalmasak (komplex matematikai műveletek, szabályzások, stb.), és ezen modulok létradiagramba építése nehézkes, a tömbös ábrázolási forma kedvelt lett a PLC gyártók körében. Természetesen, a tapasztalattal rendelkező felhasználó ugyanolyan biztonsággal kezelheti ezt a programozási módszert, mint a létradiagram megszerkesztésében jártas programozó.

Irodalom

1. *** *Innovations 2006 Didactic*. FESTO AG&Co., Esslingen, 2006.
2. *** *Manual for the electronics and mechatronics industry – Theory & Practice*. 1st Edition, FESTO AG&Co., Esslingen, 2007.
3. Ajtonyi I., Gyuricza I.: *Programozható irányítóberendezések, hálózatok és rendszerek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2002.
4. Arányi Gy. – Jávor, B. – Juhász, O.: *Hidraulikus elemek kézikönyve*. 3. átdolg., kiad. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
5. Bishop, R.H.: *The Mechatronics Handbook*. CRC Press, 2002.
6. Csernyánszky, I. – Kéri, F.: *Pneumatikus automatizálás, pneumatikus irányítástechnika : feladatgyűjtemény*. Kecskeméti Főiskola, Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2000.
7. Csernyánszky, I.: *Pneumatikus irányítástechnika : irányítóelemek megválasztása : oktatási segédlet*. Kecskeméti Főiskola, Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2000.
8. Csernyánszky, I.: *Pneumatikus irányítástechnika : programvezérlések*. Kecskeméti Főiskola, Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2000.
9. Csernyánszky, I.: *Pneumatikus irányítástechnika*. Kecskeméti Főiskola, Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2000.
10. Csordás, Z.: *Pneumatikus irányítástechnika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
11. Dabney, J. B. – Harman, T. L. *Mastering SIMULINK 4*. Prentice Hall, 2001.
12. Demeter, Gy.: *A pneumatika ipari alkalmazása*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
13. Histand, M. B. – Alciatore, D. A.: *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*. McGraw-Hill, 1999.
14. Kakucs, A.: *Műszaki hőtan*. Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2004.
15. Kovács, J.: *Irányítástechnikai alapismeretek*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2000.
16. Látrányi, J. – Zalka, A.: *Válogatott fejezetek hidraulikus körfolyamatok tervezéséből*. Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, 1982.
17. Lewis, E. – Stern, H.: *Sisteme automate hidraulice*. Műszaki Kiadó, Bukarest, 1968.

18. McKerrow, Ph., J.: *Introduction to Robotics*. Addison-Wesley Publishers, 1991.
19. Oprean, A. – Marin, V. – Moraru, V.: *Sistemele hidrostatice ale mașinilor unelte și preselor*. Műszaki Kiadó, Bukarest, 1965.
20. Sever P. – Ágoston, K.: *Bazele electrotehnicii : Îndrumar de laborator*. Universitatea Tehnică din Tg.Mureș, Marosvásárhely, 1994.
21. Tarján, F. – Lajtai, I.: *Szerszámgépek hidraulikus vezérlései*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.

Introduction to mecatronics

Summary

In the early 1970s with the development of IT segment it was clear that the mechanical, electrical and information technology subsystems of a product could not be discussed separately any more. Consequently a new special field, mechatronics was born for product and process engineering of new products.

This concept is applied at Sapiientia University, Mechatronics Department as well. The present book is a collection of information supporting the *Introduction to Mechatronics* lecture, and although it does not primarily deal with the concept of mechatronics, it comes to support and completes other lectures of Mechatronics study line.

Next to a general system definition, mathematical modeling of systems are also enumerated and numerical simulation possibilities are mentioned. Furthermore, two chapters describe pneumatic and hydraulic elements and systems, as well as their control possibilities: hydrostatic systems, electromechanical systems and the use of programmable logic controllers. More details of these last equipments are offered in the last chapter.

Designing rules of these control systems are presented through examples which involve the same process. Thus this book, in which the similarities and differences of various methods are obvious, is a practical reading not only for students but also for engineers of different domains.

Contents

1. Introduction	09
2. What is a mechatronic system?	11
3. Modeling of physical systems	16
3.1. Differential equation modell	16
3.1.1. Linear model of electrical and mechanical components	17
3.1.2. Bouderies of linear modells	19
3.1.3. Mathematical modells and analogies	20
3.2. Non-linear phenomenas	25
3.3. Transfer function model	27
3.3.1. Block diagram representation	31
3.3.2. State space representation	36
4. Set-up of the mechatronic systems	39
4.1. Retrospection	39
4.2. Components of mechatronic systems	43
4.2.1. The sensorial subsystem	45
4.2.2. The decisional subsystem	47
4.2.3. The executive subsystem	48
4.3. Design methods for mechatronic systems	51
5. Hydraulic systems	56
5.1. Hydraulic components	56
5.1.1. Hydraulic pumps and actuators	57
5.1.2. Set-up of hydraulic pumps and actuators	61
5.1.3. Variable displacement pumps and actuators	70
5.2. Hydraulic valves	72
5.2.1. Pressure controls	72
5.2.2. Flow controls	77
5.2.3. Directional valves	80
5.2.4. Proportional and servovalves	86
5.3. Additional hydraulic equipment	88
5.3.1. Tanks and accumulators	88
5.3.2. Heat exchangers	89
5.3.3. Filters	90
5.3.4. Measuring elements	92

Contents

5.4. Basic hydraulic circuits	94
5.4.1. Set-up of hydraulic circuits	95
5.4.2. Closed hydraulic circuits	96
5.4.3. Semi-closed hydraulic circuits	101
6. Pneumatic systems	103
6.1. Set-up of pneumatic system representation	105
6.1.1. Graphical representation of pneumatic systems	105
6.1.2. Drawing annotations	105
6.1.3. Contact representations	105
6.2. Basic pneumatic circuits	106
6.2.1. Control of single- and double-acting cylinders	106
6.2.2. Use of flow controls	108
6.2.3. Use of pressure controls	110
6.2.4. Logical control circuits	112
6.3. Process guided control system design	114
6.3.1. Pneumatic spooler control	114
6.3.2. Pneumatic shifting control	123
6.3.3. Relay control of electropneumatic systems	127
6.3.4. Relay control of electropneumatic systems using double actuated directional valves	127
6.3.5. Relay control of electropneumatic systems using single actuated directional valves	130
7. Application of programmable logic controllers	132
7.1. Review of electrical control systems	134
7.2. Programmable logic controller	135
7.2.1. History of PLC	135
7.2.2. Functional set-up of PLC	136
7.3. Hardware set-up of PLC	138
7.3.1. Bitprocessor controlled PLC	138
7.3.2. Byte- or Word-processor controlled PLC	141
7.3.3. Microprocessors	142
7.3.4. Typical operations of microprocessors	145
7.3.5. States of microprocessors	145
7.3.6. Input/Output elements	147
7.3.7. Hardware set-up of microprocessor controlled PLC	147
7.3.8. Distant I/O modules	149
7.4. Programming of PLC	149
7.4.1. Programs running on a PLC	150
7.4.2. Program languages for PLC-s	152

7.4.3. Program implementations	159
7.5. Communication of PLC-s	162
7.5.1. Serial data transfer	163
7.5.2. Coding procedures	167
7.5.3. Synchronization	169
7.5.4. Communication protocol	170
7.5.5. Data protection methods	170
7.5.6. Network of PLC-s	172
7.5.7. Network topologies	174
7.5.8. Channel access methods	177
7.6. PLC control of electropneumatic systems	183
Bibliografy	186
Introduction to mechatronics (Summary)	188
Contents	189
Einführung in der Mechatronik (Zusammenfassung)	192
Inhalt	193
Introducere in mecatronică (Rezumat)	196
Cuprins	197

Einführung in die Mechatronik

Zusammenfassung

In den 70-er Jahren wurde mit der Entwicklung der Informations-Technologie in Forschung und Industrie in Japan klar, dass die mechanischen, elektrischen und informatischen Subsysteme eines Produkts nicht mehr unabhängig von einander behandelt werden können. So ist eine Philosophie mit dem Namen Mechatronik, zum Entwurf und zur Herstellung von Waren geboren.

Dieses Konzept wird an der Sapiientia Universität durch das Studium Mechatronik angebracht. Dieses Buch ist eine Sammlung von Informationen zur Unterstützung der Vorlesung *Einführung in die Mechatronik* und möchte nicht nur eine Behandlung des Begriffs der Mechatronik sein, sondern eine Ergänzung anderer Vorlesungen in der Abteilung für das Fach Mechatronik.

Nach der Bestimmung einer allgemeinen Systems, werden dessen Modellierung durch verschiedene mathematische Methoden und einige Möglichkeiten zur numerischen Simulationen angezeigt. Danach werden in zwei Kapiteln hydraulische und pneumatische Elemente beziehungsweise Systeme vorgeführt, wie auch die Möglichkeiten für deren Kontrollsysteme: hydrostatische, elektromechanische Systeme und die Anwendung von Speicherprogrammierbaren Steuerungen. Der Betrieb der letzteren wird in einem separaten Kapitel vorgestellt.

Theorien der Kontrollsysteme werden anhand von Beispielen hingezigt, und dadurch werden die Unterschiede und Ähnlichkeiten der Themen leicht hervorgehoben. Daraus folgt eine erleichterte, Praxis orientierte Lesung nicht nur für Studenten sondern auch für Ingenieure aus verschiedenen Bereichen.

Inhalt

1. Einführung	09
2. Was ist ein mechatronisches System?	11
3. Modellierung physischen Systeme	16
3.1. Das differentialgleichungs Modell	16
3.1.1. Elektrischen und mechanischen lineare Elementen	17
3.1.2. Grenzen des linearen Modells	19
3.1.3. Modellen und Analogien	20
3.2. Nichtlineare Phänomene	25
3.3. Die Übertragungsfunktion	27
3.3.1. Das Blockschaltbild	31
3.3.2. Der Zustandsraum	36
4. Der Aufbau des mechatronische Systems	39
4.1. Histosische Überblick	39
4.2. Komponenten des mechatronische Systems	43
4.2.1. Die Sensoreinheit	45
4.2.2. Die Entscheidungseinheit	47
4.2.3. Die Ausführungseinheit	48
4.3. Planung des mechatronischen Systems	51
5. Hydraulische Systeme	56
5.1. Hydraulische Einheiten	56
5.1.1. Hydrostatische Pumpen und Motoren	57
5.1.2. Aufbau der Pumpen und Motoren	61
5.1.3. Pumpen und Motoren mit veränderbarem Rauminhalt	70
5.2. Hydraulische Steuerungseinheiten	72
5.2.1. Drucksteuerventile	72
5.2.2. Stromsteuerventile	77
5.2.3. Direktionssteuerventile	80
5.2.4. Servosteuerventile	86
5.3. Zusätzliche hydraulische Einheiten	88
5.3.1. Tanke und Akkumulatoren	88
5.3.2. Die Wärmeaustauschern	89
5.3.3. Hydraulische Filtern	90
5.3.4. Mess- und Prüfeinheiten	92

5.4. Hydraulische Grunds Schaltkreise	94
5.4.1. Hydraulische Schaltkreise	95
5.4.2. Geschlossene Schaltkreise	96
5.4.3. Semi-geschlossene Schaltkreise	101
6. Pneumatische Systeme	103
6.1. Aufbau des pneumatische Schaltplanes	105
6.1.1. Graphische Darstellung des pneumatische Schaltplanes	105
6.1.2. Graphische Bezeichnungen	105
6.1.3. Schaltpositionen	105
6.2. Pneumatische Grunds Schaltkreise	106
6.2.1. Steuerung des pneumatische Zylindern	106
6.2.2. Einbaumöglichkeiten der Stromsteuerventile	108
6.2.3. Einbaumöglichkeiten der Drucksteuerventile	110
6.2.4. Logische Schaltkreise	112
6.3. Schaltkreisplanung für sequenzielle Prozesse	114
6.3.1. Schaltkreisplanung mit Druckpuffer	114
6.3.2. Schaltkreisplanung mit pneumatische bistabile Kippstufen	123
6.3.3. Schaltkreisplanung für elektromechanischen Systeme mit Relais	127
6.3.4. Relaissteuerung für zweiseitig betriebene Ventile	127
6.3.5. Relaissteuerung für einseitig betriebene Ventile	130
7. Anwendung der Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	132
7.1. Historischen Überblick der elektrischen Steuerungen	134
7.2. Speicherprogrammierbare Steuerungen	135
7.2.1. Vergangenheit der Speicherprogrammierbare Steuerungen	135
7.2.2. Funktionelle Aufbau der Speicherprogrammierbare Steuerungen	136
7.3. Hardveraufbau der Speicherprogrammierbare Steuerungen	138
7.3.1. SPS mit bitweisem Mikroprocessor	138
7.3.2. SPS mit byteweisem Mikroprocessor	141
7.3.3. Der Mikroprozessor	142
7.3.4. Typische Operationen des Mikroprocessors	145
7.3.5. Zustände des Mikroprocessors	145
7.3.6. Ein-/Ausgang Einheiten	147
7.3.7. Hardveraufbau der Speicherprogrammierbare Steuerungen mit Mikroprocessoren	147
7.3.8. Ein-/Ausgang Fernmodule	149
7.4. Programmierung der Speicherprogrammierbare Steuerungen	149
7.4.1. Programme und ihre Funktionen	150
7.4.2. Programmiersprachen	152
7.4.3. Methoden der Programmausführung	159

	Inhalt
7.5. Kommunikation der Speicherprogrammierbare Steuerungen	162
7.5.1. Die serielle Schnittstelle	163
7.5.2. Das Kodierungsverfahren	167
7.5.3. Die Synchronisierung	169
7.5.4. Das Protokoll	170
7.5.5. Methoden der Datenschutz	170
7.5.6. Das Netzwerkkommunikation	172
7.5.7. Die Netzwerktopologien	174
7.5.8. Medienzugriffsverfahren	177
7.6. Steuerung der elektromechanischen Systeme mit SPS	183
Literatur	186
Introduction to mechatronics (Summary)	188
Contents	189
Einführung in der Mechatronik (Zusammenfassung)	192
Inhalt	193
Introducere in mecatronică (Rezumat)	196
Cuprins	197

Introducere în mecatronică

Rezumat

În anii '70 odată cu dezvoltarea tehnologiei informaționale s-a constatat în cercetarea și în industria japoneză, că subsistemele mecanice, electrice și cele aparținând sistemelor de calcul nu pot fi tratate separat de-a lungul dezvoltării unui produs. Astfel s-a desprins o nouă concepție denumită mecatronică care vizează modul de a proiecta și de a produce bunuri ce se regăsesc din ce în ce mai mult în viața noastră.

Acest concept este implementat și în studiul oferit de Universitatea Sapiientia prin secția de Mecatronică. Această carte este oferă informații menite să fie suportul cursului numit *Introducere în mecatronică* și nu dorește o tratare a conceptului de mecatronică în sine, ci completează informațiile din cursurile secției de Mecatronică.

Astfel cartea de față după definirea unui sistem în general, trece la modelarea acestuia prin diferite metode matematice și menționează posibilitățile de simulare ale acestuia folosind sistemele de calcul. În două capitole sunt prezentate elemente și sisteme hidraulice respectiv pneumatice menționând totodată posibilitățile aferente pentru sistemele de comandă: pneumatice, hidraulice, electromecanice și prin folosirea automatelor programabile. Funcționarea acestora din urmă este prezentată printr-un capitol aparte.

Teoriile aparținând sistemelor de comandă sunt prezentate folosind exemple ce realizează același proces. Astfel diferențele și asemănările dintre temele tratate sunt mai ușor de sesizat, facilitând o lectură practică atât pentru studenți cât și pentru ingineri din diferite domenii.

Cuprins

1. Introducere	09
2. Ce este un sistem mecatronic?	11
3. Modelarea sistemelor fizice	16
3.1. Modelarea prin ecuații diferențiale	16
3.1.1. Componente electrice și mecanice liniare	17
3.1.2. Granițele modelului liniar	19
3.1.3. Modele și analogii	20
3.2. Fenomene neliniare	25
3.3. Modelul funcției de transfer	27
3.3.1. Scheme bloc	31
3.3.2. Ecuațiile de stare	36
4. Structura sistemelor mecatronice	39
4.1. Retrospectivă	39
4.2. Componentele sistemelor mecatronice	43
4.2.1. Unitatea senzorială	45
4.2.2. Unitatea de decizie	47
4.2.3. Unitatea de acționare	48
4.3. Metode de proiectare pentru sisteme mecatronice	51
5. Sisteme hidraulice	56
5.1. Elemente hidraulice	56
5.1.1. Pompe și motoare hidrostatice	57
5.1.2. Structura pompelor și motoarelor hidrostatice	61
5.1.3. Variatoare hidrostatice	70
5.2. Aparataj hidrostatic de comanda	72
5.2.1. Aparatajul de reglare a presiunilor	72
5.2.2. Aparatajul de reglare a debitelor	77
5.2.3. Aparatajul direcțional	80
5.2.4. Servovalve	86
5.3. Aparataj hidrostatic complementar	88
5.3.1. Rezervoare și acumulate	88
5.3.2. Schimbător de căldură	89
5.3.3. Filtre	90
5.3.4. Componente de măsurare și control	92

5.4. Circuitele hidraulice de bază	94
5.4.1. Circuitele hidraulice	95
5.4.2. Circuitele hidraulice închise	96
5.4.3. Circuitele hidraulice semi-închise	101
6. Sisteme pneumatice	103
6.1. Structura schemei de montaj în cazul sistemelor pneumatice	105
6.1.1. Reprezentarea grafică a schemei de montaj	105
6.1.2. Notățiile schemei de montaj	105
6.1.3. Reprezentarea pozițiilor de contact	105
6.2. Circuite pneumatice de bază	106
6.2.1. Comanda cilindrilor cu acționare simplă și dublă	106
6.2.2. Aplicarea elementelor de reglaj al debitului	108
6.2.3. Aplicarea elementelor de reglaj al presiunii	110
6.2.4. Circuite logice de comandă pneumatice	112
6.3. Proiectarea comenzii pentru procese secvențiale	114
6.3.1. Proiectarea comenzii prin registre pneumatice	114
6.3.2. Proiectarea comenzii prin registre de deplasare pneumatice	123
6.3.3. Proiectarea comenzii electropneumatice prin relee de contact	127
6.3.4. Comandă prin relee de contact folosind valve cu acționare bilaterală electrică	127
6.3.5. Comandă prin relee de contact folosind valve cu acționare unilaterală electrică	130
7. Aplicabilitatea automatelor programabile	132
7.1. Scurtă istorie a comenzii electrice	134
7.2. Automatele programabile	135
7.2.1. Istoria automatelor programabile	135
7.2.2. Structura funcțională a automatelor programabile	136
7.3. Structura hardver a automatelor programabile	138
7.3.1. Automate programabile cu procesoare pe bază de biți	138
7.3.2. Automate programabile cu procesoare pe bază de octeți	141
7.3.3. Microprocesorul	142
7.3.4. Operațiile de bază a microprocesorului	145
7.3.5. Regimurile microprocesorului	145
7.3.6. Elementele de intrare/ieșire	147
7.3.7. Structura automatelor programabile cu microprocesoare	147
7.3.8. Module îndepărtate de intrare/ieșire	149
7.4. Programarea automatelor programabile	149
7.4.1. Programele din automate și rolul lor	150
7.4.2. Limbaje de programare	152

	Cuprins
7.4.3. Modurile de execuție a programelor	159
7.5. Sistemele de comunicație folosite de automatele programabile	162
7.5.1. Transmisia de date serială	163
7.5.2. Metode de codare a datelor	167
7.5.3. Sincronizarea	169
7.5.4. Protocolul	170
7.5.5. Metode de protecție a datelor	170
7.5.6. Comunicația în rețele a automatelor programabile	172
7.5.7. Topologii de rețele	174
7.5.8. Moduri de conectare la rețele	177
7.6. Comanda sistemelor electropneumatice prin automate programabile	183
Bibliografie	186
Introduction to mechatronics (Summary)	188
Contents	189
Einführung in der Mechatronik (Zusammenfassung)	192
Inhalt	193
Introducere in mecatronică (Rezumat)	196
Cuprins	197

A sorozat eddig megjelent kötetei:

1. Jodál Endre: *Számítástechnika az ezredforduló küszöbén*. 1992. 35 oldal
2. Pálfalvi Attila: *Porkohászat*. 1993. 39 oldal
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. 2007. 213 oldal
4. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. 2007. 174 oldal
5. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés*. 2009. 359 oldal

Megjelenés előtt álló kötetek:

7. Tolvaly - Roşca Ferenc: *A számítógépes tervezés alapjai. AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*.

A mechatronika nem különálló tudományág vagy technológia, hanem tervezési és megvalósítási elv, amely meghatározza a jövő termékeinek előállítását. A mechatronika oktatása is ezt az irányt követi a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetemen. Jelen könyv tartalma a mechatronika oktatásának egy részét képezi, épít a többi tudományterületek által nyújtott információkra, ugyanakkor kiegészíti azokat. A hidraulikus és pneumatikus elemek, illetve rendszerek bemutatását, ezek vezérlése követi. A pneumatikus és elektromechanikus irányítási módszerek után a programozható vezérlők ismertetése zárja a könyvet. Minden vezérlési típus ugyanazon feladat megoldását kínálja, ezzel elősegíti a módszerek közötti hasonlóságok és különbségek, előnyök és hátrányok felfedését az érdeklődő olvasó számára.

ISBN 978-973-8231-80-1



9 789738 231801