EFOP-3.5.1-16-2017-00017
„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen, az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”

Automatizálási alapismeretek

I. rész
Vezérléstechnika

Szerkesztette:
Ferenczi Ildikó

A tananyag elkészítését a **„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen, az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”** az **EFOP-3.5.1-16-2017-00017** számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

SZÉCHENYI 2020
MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Szerkesztő:
Ferenczi Ildikó

Szerző:
Ferenczi Ildikó

Lektor:
Dr. Ferenczi István

Kézirat lezárva: 2018. 10. 15.

ISBN 978 615 5545 82 5

Kiadja a
NYÍREGHÁZI EGYETEM

2018

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS AZ IRÁNYÍTÁSTECHNIKÁBA 5
1.1. Történeti áttekintés 5
1.1.1. Szerszámok és gépek 5
1.1.2. A gőzgépek korszaka 7
1.1.3. A szerszámgépek és a villamosítás 8
1.2. Irányítástechnikai alapfogalmak, meghatározások 10
1.2.1. Az irányítás részműveletei 11
1.2.2. Az irányítás osztályozása 11
1.2.3. Analóg és digitális jelek. 14
1.2.4. Mintavételezett jelek 15
1.2.5. Az analóg-digitális (AD) jelátalakítás elve 16
1.2.6. A digitális-analóg (DA) átalakítás elve 18
2. VEZÉRLÉSTECHNIKA 19
2.1. A vezérlés szervei, jelei és jellemzői 19
2.2. A vezérlések osztályozása [3] 21
3. BEAVATKOZÓ SZERVEK 23
3.1. Mágneskapcsolók 23
3.2. Relék 24
3.3. Hőrelék 26
3.4. Időrelék 28
3.5. Mágnesszelepek [3] 29
3.6. Motoros szelepek, tolózárak [3] 29
3.7. Villamos motorok 30
3.7.1. Háromfázisú aszinkronmotorok 30
3.7.2. Frekvenciaváltók 37
3.7.3. Egyenáramú motorok 38
3.8. Pneumatikus munkahengerek 40
4. ÉRZÉKELŐK ÉS ÁTALAKÍTÓK 43
4.1. Mechanikus érzékelők 43
4.2. Optikai érzékelők 44
4.2.1. Fotoellenállások 45
4.2.2. Fotodióda 45
4.2.3. Fototranzisztor 46
4.2.4. Optocsatolók [10] 47
4.2.5. Optikai kapuk (fotocellák) 48
4.2.6. Ellenállás-változáson alapuló érzékelők [4] 49
4.2.7. Induktív érzékelők [11] 52
4.2.8. Kapacitív érzékelők 53
5. VEZÉRLÉSTECHNIKAI ALAPKAPCSOLÁSOK 55
5.1. Huzalozott vezérlések 55
5.1.1. Érintkezős vezérlések áramútterve [3] 56
5.1.2. Példa áramúttervre [3] 57
5.1.3. Tervezési lépések 58
5.1.3. Alapkapcsolások 58
5.2. Elektronikus vezérlések 60

5.2.1. ÉS (AND) logikai fuggvény ... 61
5.2.2. VAGY (OR) logikai függvény ... 62
5.2.3. NEM (NOT) függvény ... 63
5.3. Vezérlési állapotegyenletek ... 64
6. PROGRAMOZOTT VEZÉRLÉSEK ... 66
6.1. Mikroprocesszorok ... 66
6.1.1. Utasításvégrehajtás ... 69
6.1.2. Megszakításkezelés ... 70
6.2. Mikrokontrollerek ... 71
6.2.1. INTEL 80C51 mikrikontroller ... 71
6.2.2. PIC mikrokontroller család ... 74
6.3. Programozható logikai vezérlők ... 75
6.3.1. A PLC-k felépítése és fontosabb egységei ... 76
6.3.2. Működési elv ... 78
6.3.3. A PLC-k fontosabb funkciói ... 79
FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM ... 80

1. BEVEZETÉS AZ IRÁNYÍTÁSTECHNIKÁBA

1.1. Történeti áttekintés

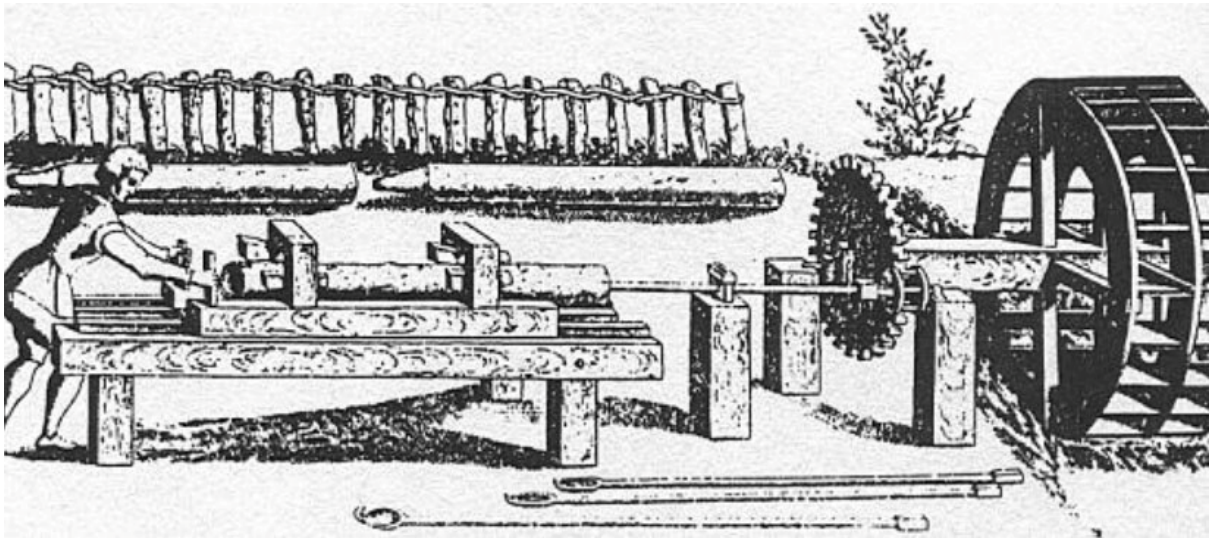
Amióta az ember megjelent a földön mindig arra törekedett, hogy a megélhetését biztosító folyamatokat, napi tevékenységeit könnyebbé tegye, egyszerűsítse csökkentve az erőkifejtést. Hamar rájött arra, hogy egy rúd segítségével, sokkal könnyebben tud egy súlyos szikladarabot a barlang bejáratához gördíteni anélkül, hogy tudta volna, hogy éppen egy egykarú emelővel van dolga. Azt is tapasztalta, hogy a csonthéjas gyümölcsöket egy kő segítségével könnyedén ki tudja bontani, sőt ha még egy botot is tud hozzá rögzíteni még egyszerűbb a feladat, pedig nem ismerte az impulzus-megmaradás törvényét. A hosszú évezredek alatt, amíg a természetben fellelhető tárgyakat eszközként használta, kitapasztalta ezeknek a jó és rossz tulajdonságait, melyik forma mire jó, milyen anyag mire használható. Az idők során egyre tökéletesebb szerszámokat készített. Korszerűsített formában némelyiküket még a mai napig is használjuk.

1.1.1. Szerszámok és gépek

A szerszámok olyan eszközök, amelyek segítségével különböző feladatokat könnyebben el lehet végezni. Segítik az ember munkáját, de a munkavégzéshez az ember saját izomerejét, izomzatának energiáját használja. Ezek az eszközök egyszerűek, de nélkülözhetetlenek a mindennapi életben. Például a kalapács, egy fa nyéllel ellátott fémdarab, nélküle viszont elképzelhetetlen nagyon sok egyszerű emberi feladat. Ugyancsak itt említhetném a harapófogót. Ez már ugyan kicsit bonyolultabb szerszám, de nélküle például elképzelhetetlen a szegek eltávolítása a fából. De sok más egyéb feladatra is alkalmas. És folytathatnám a sort számos más egyszerű szerszámmal, amelyeknek létezését ma már természetesnek vesszük, nap mint nap használjuk és meg sem fordul a fejünkben mi lenne nélkülük.

A gépek fogalma akkor alakult ki, amikor az embereknek olyan berendezéseket sikerült készíteniük, amelyek ugyancsak segítették a munkát, de a munkavégzéshez szükséges energiát már nem az emberi izomerő biztosította, hanem valamilyen külső energiaforrás. Amíg a szerszám az emberi erőkifejtés hatásfokát növeli, addig a gép többszörösére erősíti az emberi teljesítményt. A gépek megjelenésével új korszak nyílt a termelési folyamatok történetében. [1]

Kezdetben a víz energiáját sikerült munkavégzésre bírni. Az időszámításunk kezdete utáni időszakban kezdtek terjedni a vízimalmok, amelyeket először csak gabona őrlésére használtak, de hamarosan - már a IV. században - megjelentek a fűrészmalmok is. Ezek a gépek különböző erőátviteli mechanizmusokat igényeltek, ezért a rómaiak megalkották a faragott fogaskerék-meghajtást. A vízikerekek a késő középkorban terjedtek el. A XI. századi Angliában 5624 vízimalom működött, ami azt jelenti, hogy minden 50 családra jutott egy. A vízi erő alkalmazása rohamosan terjedt, vízikerekek hajtották a gabona-, kalló-, és fűrészmalmokat, a vashámorokat, a kendertilolókat, a cérnasodró- és dróthúzó gépeket, a vízemelő és egyéb szerkezeteket. (1.1. ábra) [2]



1.1. ábra. Víz erejét hasznosító fúrógép [2]

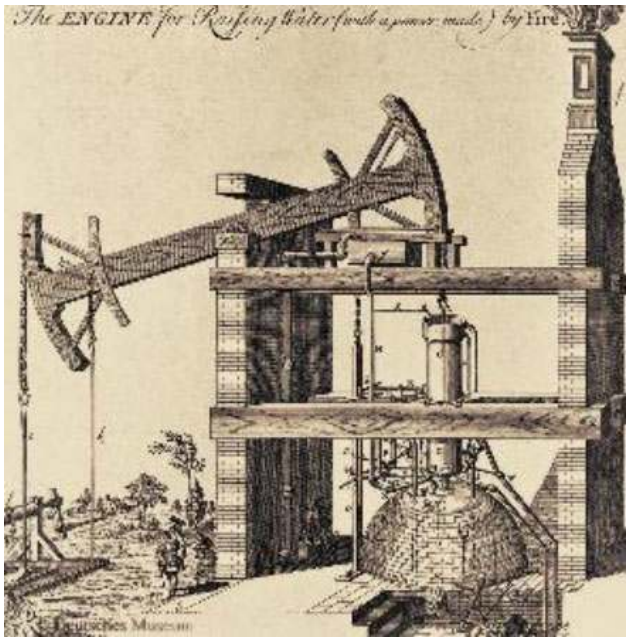
A vízkerék elterjedése néhány helyen akadályokba ütközött. Az Alpoktól délre a folyók néha kiszáradtak, északra pedig télen befagytak. Ezért a XII. század végétől megindult a kutatás más energiaforrások után. A tengerpartokon árapálymalmok építésével kísérleteztek, de elkezdték alkalmazni a már korábban Perzsiában ismert szélmalmokat. A perzsa szélmalmok

mintájára Európában vízszintes tengellyel építették a szélmalmokat, mert ebben az esetben a szél az egész felületén érte a szélkereket.

1.1.2. A gőzgépek korszaka

Új energiaforrás a gépezetek meghajtására csak a XVII. század végén jelent meg. Ez az új meghajtási mód a gőzgép volt. Azonban még vagy száz évig nem igazán terjedt el, mert a megfelelő szerszámgépek nélkül nem tudtak pontos alkatrészeket gyártani ezek számára. Majd csak az ipari forradalom műszaki újításai tették lehetővé a gőzgép elterjedését.

A gőz ereje már a rómaiak idején is ismert volt, de érdemben nem tudták hasznosítani. Az első kezdetleges gőzgép megalkotása 1681-ben a francia Denis Papin nevéhez fűződik. Ezt később 1705-ben Thomas Newcomen és John Cawley tökéletesített. Ez már alkalmas volt víz szivattyúzására. (1.2. ábra)



1.2. ábra. Newcomen gőzgépe [2]

Gőzgépeket elsősorban a bányák víztelenítésére használtak. Magyarországon 1711-ben Selmecbányán üzemeltek be gőzgépet, amelyet Európában először használtak üzemszerűen bányák vízszivattyúzására.

A bányászaton kívül Angliában a textilipar jelentette a húzóerőt. Az angliai textilipar hatalmas fejlődésen ment keresztül a XVIII. századig, és nagymértékben hozzájárult az ipari forradalom megindulásához. A gyorsan növekvő termelés hatására estek az árak és nőtt a

kereslet a lakosság szegényebb köreiben is. A XVIII. század közepén a textilipar már nem bírt lépést tartani a kereslettel. Először a munkások számát növelték, de egy idő után ez sem vezetett eredményre. A megoldást itt is a gépesítés jelentette. 1764-ben James Hargreaves megalkotta a "fonó Jenny"-t, amely egyszerre nyolc csavart fonalszálat tudott előállítani. 1768-ban Richard Arkwright vízierő-meghajtású fonógépet készített, amely sodort láncfonalat állított elő.

Az ipari fejlődés szükségessé tette az áru- és személyszállítás fejlődését is. Angliában megindult a vasút- és csatornaépítési láz. Kezdetben még lóvasutakat építettek, mert a lovak nagyobb terhet tudtak a vasból készült síneken vontatni, mint az utakon. Közben a bányák víztelenítése is tovább fejlődött a gőzgépek segítségével, de az igazi eredményt a James Watt által 1784-ben épített automata szelepvezérlésű gőzgép jelentette. Innen már csak egy lépés volt hátra az első gőzmozdony elkészítéséig. Ez 1814-ben George Stephenson nevéhez fűződik. Angliában 1825. szeptember 27-én nyílt meg az első személyszállításra is használt gőzvasútvonal a Stockton és Darlington közötti 39 km-es távon. Angliát követte Amerika 1829-ben, Belgium 1834-ben, Németország 1835-ben, Oroszország 1837-ben. Magyarországon 1846. július 15-én indult meg a vasúti közlekedés a Pest és Vác közötti vonalon. A vasútvonalak kiépítése jelentősen megkönnyítette a nyersanyagszállítást és az áruszállítást. A megtermelt javakat könnyen el lehetett juttatni távoli területekre is. Ez újabb lökést adott az ipar fejlődésének és a kereskedelemnek.

1.1.3. A szerszámgépek és a villamosítás

A szerszámgépek megjelenése az 1800-as évek elejére tehető. Megjelent a gőzzel hajtott gyalugép, fúrógép és eszterga. Ezek a szerszámgépek új távlatokat nyitottak a gépgyártás terén. A textilipar gépesítése és a gépek folyamatos fejlesztése azt eredményezte, hogy 1830-tól 1900-ig a szövőszékek 7-szer gyorsabbak lettek. A fejlődési folyamatban most a varrás bizonyult a leglassabbnak. Varrógépet először 1846-ban Elias Howe dobott a piacra, amellyel a varrás ötször gyorsabb lett. A varrógépek gyártása is lendített a szerszámgépgyártáson. 1870-ben Amerikában csak a Singer cég 465 ezer varrógépet gyártott.

Az 1860-as években két új erőgép látott napvilágot, az egyik a gázmotor, a másik a villanymotor. A gázmotort a francia Étienne Lenoir állította elő, majd Nikolaus August Otto, Wilhelm Maybach és Karl Benz fejlesztette tovább és az 1880-as évekre megszületett a benzinmotor. 1897-re Rudolf Diesel megalkotta a kompressziós belső égésű motort.

Az 1884-ben Charles Algernon Parsons által tökéletesített gőzturbina segítségével megindult a villamos energia előállítása. A villanymotor már ismert volt (Jedlik Ányos 1825), csak éppen nem tudták használni, mert elterjedésének gátat szabott a villamos energia előállítása és szállítása. A világ első villamos erőművét Edison alkotta meg, amikor erőgépként gőzgépet, generátorként egyenáramú dinamót alkalmazott. De az egyenáram szállítása túlzottan veszteségesnek bizonyult. Az első légvezetékek az 1890-es években épültek, miután a villamosenergia-előállítási versengést Edison és Tesla között, végül mégis Tesla váltakozó áramú megoldása jelentette.

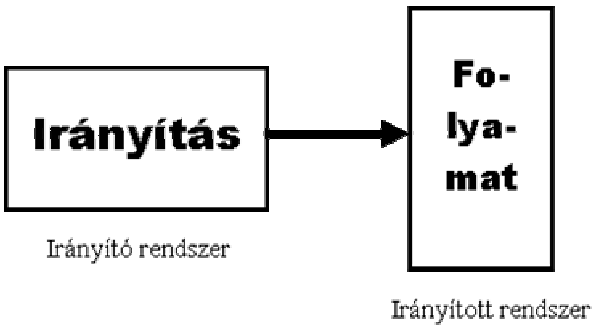
A villamosítás elterjedésével a gőzgépes vagy vízi energiájú transzmissziós hajtást egyre inkább felváltja a belsőégésű vagy a villanymotoros hajtás. Az 1920-as években már sorozatban gyártják a villanymotorokat, amelyek megalapozzák a korszerű szerszámgépek működtetését. Villamos motor működtette a gépek fő és mellékmozgások tengelyeit, szánjait, egyéb elemeit. Ezzel párhuzamosan a sokoldalú kutatások eredményeként megjelentek az újfajta elektronikus vezérlő rendszerek.

Nagy áttörést jelentett az 1960-as évektől kezdve a számvezérlés, azaz NC (Numerical Control) technika bevezetése, majd a programvezérlés, a CNC (Computer Numerical Control) megjelenése, azonban a szerszámgépek fejlődése nem állt le a CNC technikával, hanem azóta is töretlenül fejlődik. A korszerű automatizált gyártósorokon egyre több robot végez munkát, főleg olyan helyeken, ahol egészségre ártalmas feladatot kell elvégezni. [2]

Minél magasabb fokú az automatizálás, minél intelligensebb berendezések kerülnek a gyártósorokra, annál kevesebb emberi munkára van szükség. De egy dolgot nem szabad elfelejtenünk: ezeket az intelligens berendezéseket valakiknek meg kell tervezni, meg kell alkotni, be kell programozni és üzembe kell helyezni. Ezért nagyon fontos napjainkban az oktatás szerepe, az életfogytig tartó tanulás és a folyamatos munkaerő átképzés. Mert a jövőben egyre inkább, egyre magasabb fokú végzettséggel rendelkező munkaerőre lesz szükség.

1.2. Irányítástechnikai alapfogalmak, meghatározások

Az *irányítástechnika* a műszaki tudományok azon ága, amely a műszaki folyamatok törvényszerűségeivel és gyakorlati megvalósításaival foglalkozik. Az irányítástechnika tárgyát azoknak a műszaki, technológiai módszereknek és eljárásoknak az összessége képezi, amelyeket a megfelelő irányító berendezések segítségével egy előre meghatározott irányban tudunk befolyásolni (1.3. ábra). Fő célja, hogy az ember a gépesített folyamatok alól felszabadítható legyen. *Az irányítás tehát, a folyamatokba történő beavatkozást jelenti egy bizonyos cél elérésének érdekében.* Általában nagy energiájú folyamatokat, kis energiájú hatásokkal befolyásol



1.3. ábra. Az irányítástechnikai rendszer

Az *elem* irányítástechnikai szempontból tovább nem bontható szerkezeti rész. Elemnek tekinthető például egy hőmérséklet érzékelő vagy egy logikai kapu. Egy vagy akár több alkatrészből is állhat, de irányítástechnikai szempontból alkotó elemei lényegtelenek.

Szervnek nevezzük az irányítórendszer irányítási részfeladatait önállóan ellátó egységet. Egy vagy több elemből állhat. A szervek között minden esetben jól meghatározható kapcsolat van. Ezt nevezzük *hatásláncnak*. A hatáslánc egy jól meghatározott sorrendet feltételez az irányító rendszer és a folyamat között. [5]

Jelnek nevezzük az irányítás szempontjából lényeges információt tartalmazó fizikai mennyiséget, de nem minden fizikai mennyiség tekinthető jelnek. Például egy tartály folyadékszint szabályozása szempontjából a folyadékszint jelnek tekinthető. De nem jel a folyadék hőmérséklete vagy koncentrációja, mert ezek a szabályozás szempontjából lényegtelenek.

1.2.1. Az irányítás részműveletei

Az irányítás szempontjából négy fontos részműveletet különböztetünk meg, amelyek jelen vannak mindenfajta irányítási rendszer esetében:

- információ-szerzés,
- információ feldolgozás,
- döntéshozatal,
- beavatkozás, végrehajtás.

Az *információ-szerzés* minden esetben magába foglalja mindazokat az eseményeket, amelyek segítségével adatokat kapunk a folyamat állapotáról. Ez rendszerint különböző érzékelő elemek, mérőműszerek, berendezések pillanatnyi értékeit jelenti.

Az *információ feldolgozás* az érzékelők által begyűjtött adatok feldolgozását jelenti. Ez a legtöbb esetben összetett művelet, mert egyszerre akár több beérkező adatot is elemezni kell. A feldolgozott információk alapján születik meg a *döntéshozatal*, amely meghatározza a beavatkozás mértékét. Ezt követi a *beavatkozás*, amely rendszerint valamilyen külső energiaforrás segítségével a döntéshozatalnak megfelelően az előírt irányban módosítja a folyamat állapotát.

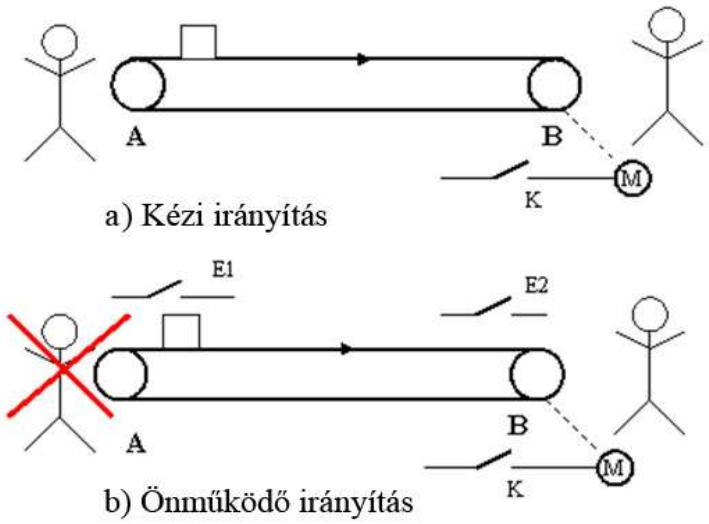
1.2.2. Az irányítás osztályozása

Attól függően, hogy az előző fejezetben felsorolt részműveleteket az ember végzi vagy automatikusan történik, az irányítást két nagy csoportra oszthatjuk:

- kézi irányítás,
- önműködő vagy automatikus irányítás.

Kézi irányítás az irányításnak az a módja, amikor az irányítás részműveleteinek többségét (információ-szerzés, információ kiértékelés, döntéshozatal) az ember végzi.

Önműködő irányítás az irányításnak az a formája, amikor valamennyi irányítási részművelet emberi beavatkozás nélkül megy végbe. (1.4. ábra)



1.4. ábra. Kézi és automata irányítás

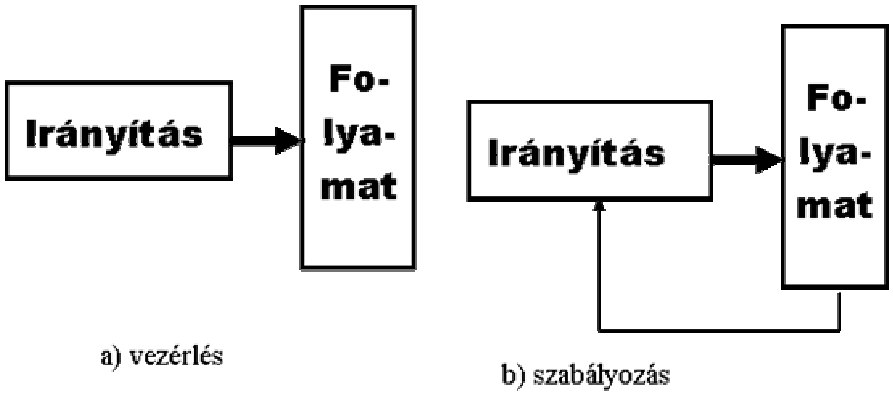
Az 1.4. ábra egy tárgy A pontból B pontba történő szállítási folyamatát mutatja be. Az a) ábra egy kézi irányítást ábrázol, ahol az irányítási részműveleteket (a szállítószalag indítását és megállítását) az A és B pontokban elhelyezett operátorok végzik. A b) ábrán ez a folyamat önműködően történik. Az A pontban elhelyezett érzékelő információja alapján a szállítószalag elindul, míg a B pontbeli érzékelő megállítja a szalagot. Ebben az esetben már nincs szükség operátorokra. A folyamat automatikusan működik, a kezelő személy legfeljebb felügyeleti szerepet fog betölteni.

Az irányítást osztályozhatjuk a folyamat állapotáról történő értesülés módja szerint is. Ennek alapján ugyancsak két nagy csoportra oszthatjuk az irányítást:

- vezérlés,
- szabályozás.

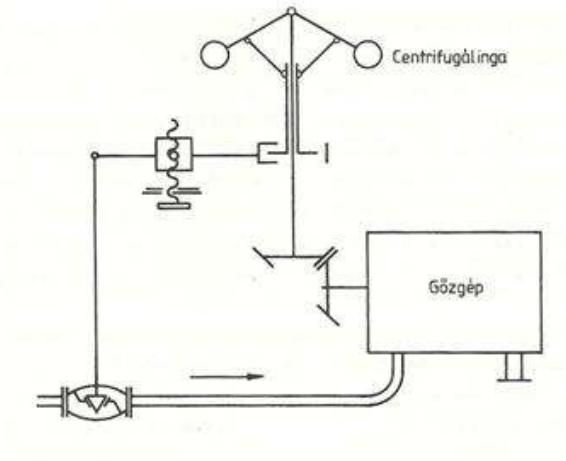
A *vezérlés* az irányításnak az a formája, amikor az irányítás során nem értesülünk a folyamat állapotáról. Nyílt hatáslánc jellemzi.

A *szabályozás* során vagy folyamatosan vagy, szakaszosan de értesülünk a folyamat állapotáról. Zárt hatáslánc jellemzi. (1.5. ábra)



1.5. ábra. Nyílt és zárt hatásláncú irányítás

Az 1.6. ábrán egy klasszikus szabályozás (talán az első szabályozó), a Watt-féle gőzgép fordulatszám-szabályozójának működési elvét szemlélteti. A centrifugálinga röpsúlyai érzékelik a fordulatszámot, a hozzákapcsolódó kar pedig zárja a szelepet, ha a fordulatszám elérte a felső határt.



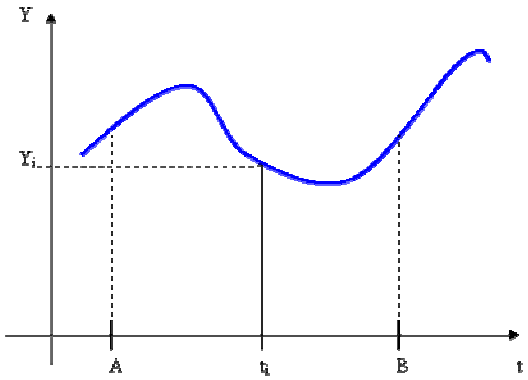
1.6. ábra. A Watt-féle gőzgép fordulatszám-szabályozója [3]

De egyéb egyszerű példákat is említhetnék, mint például a hőmérséklet-szabályozás, nyomásszabályozás, egy tartály folyadékszint-szabályozása vagy akár egy villamos motor fordulatszám-szabályozása.

1.2.3. Analóg és digitális jelek.

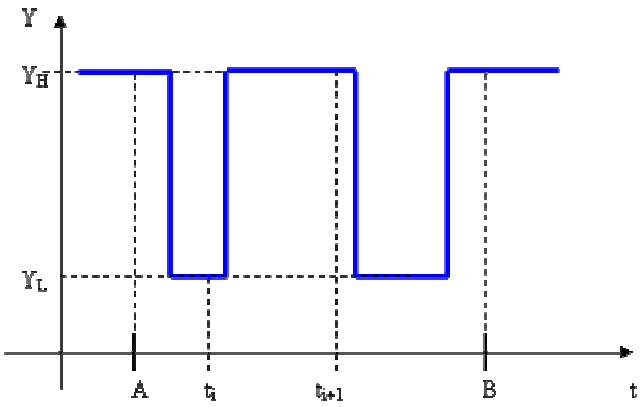
A jelek olyan mérhető fizikai mennyiségek, amelyek az irányítás szempontjából fontos információkat tartalmaznak. Két nagy csoportra oszthatjuk őket: *analóg* és *digitális* jelekre.

Analóg jelnek tekinthetők mindazok a fizikai mennyiségek, amelyek esetében egy AB időintervallumon belül bárhol felveszünk egy t_i időpillanatot, mindig egy jól meghatározott értéket (Y_i) kapunk. Az analóg jelek tehát folytonosak, értékük lehet állandó vagy változó az adott intervallum alatt. Pl. hőmérséklet, fordulatszám, egyenfeszültség, szinuszosan váltakozó feszültség, stb. (1.7. ábra)



1.7. ábra. Analóg jel

A digitális jelek meghatározását a következőképpen írhatjuk le. Az AB intervallumon belül bárhol felveszünk egy t_i időpillanatot, mindig legfeljebb két jól meghatározott értéket kapunk, egy alsó (Y_L) és egy felső (Y_H) szinthez tartozó értéket. A digitális jel nem folytonos, az átmeneti pontokban (tranzit pontok) nem határozható meg az értéke. (1.8. ábra). Ilyenek például kapcsolók, nyomógombok, mágneskapcsolók jelei.



1.8. ábra. Digitális jel

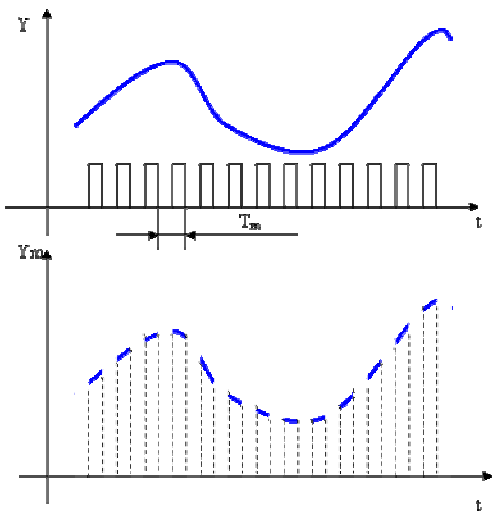
A folyamatokat leginkább jellemző fizikai mennyiségek (hőmérséklet, sebesség, fordulatszám stb.) zömében analóg jellegűek. Feldolgozásuk viszont a korszerű számítógépes irányítórendszerek esetében csak digitális formában lehetséges. Ezért fontos sok esetben ezeknek az analóg jeleknek a digitális jellé történő átalakítása, vagy ha szükséges, akkor a digitális jel analóg jellé történő visszaalakítása. Felmerül a kérdés, hogy hogyan tudunk egy adott intervallumban folyamatosan változó analóg jelet digitális jellé alakítani, amikor a digitális jel, az előbbi meghatározás szerint csak két értéket vehet fel?

A digitális mennyiségek alapértéke a bit. Egy bittel valóban csak két jól meghatározott értéket tudunk leírni. De ha növeljük a bitek számát, akkor már hatványozottan növekszik a jel értékkészlete is. *2* bites jellel *4* (2^2), *3* bites jellel *8* (2^3), *n* bites jellel 2^n érték írható le.

1.2.4. Mintavételezett jelek

Az irányítástechnikában sok esetben nincs szükségünk a teljes analóg jel minden pillanatbeli ismeretére. Vannak lassan változó jelek, mint például a hőmérséklet, amely nem tud hirtelen megváltozni egyik pillanatról a másikra. Egy kemence hőmérséklete nem tud hirtelen 20 C fokról például 250 C fokra változni. Ilyenkor elég, ha bizonyos időközömként mérjük a hőmérsékletet, azaz „mintát veszünk” az adott pillanatbeli hőmérsékletből.

Az analóg jelek digitális jelekké történő átalakítása során is hasonlóképpen kell eljárnunk. Itt is első lépésként jól meghatározott időnként mintát veszünk az analóg jelből. Az így létrejövő jelet nevezzük mintavételezett jelnek. (1.9. ábra)



1.9. ábra. Mintavételezett jel

A mintavételezés során nagyon fontos, hogy helyesen válasszuk meg a mintavételezés gyakoriságát (T_m). A túl gyakori mintavételezés felesleges adatmennyiséggel terhelheti a rendszert, a túlságosan ritka mintavételezés pedig információveszteséget okozhat. Anélkül, hogy túlságosan belemerülnénk a jelátalakítás elméleti kérdéseibe, néhány fontos problémát azért nem árt megjegyeznünk. A periodikusan változó jelek esetében a Fourier tétel alapján kijelenthetjük, hogy *bármely folytonos, periodikus jel előállítható különböző frekvenciájú és fázisú szinuszos jelek összegeként.* Ezek a jelek alkotják a vizsgált jel frekvenciaspektrumát.

A mintavételezett jelek elméletével Claude Shannon amerikai matematikus foglalkozott. Az ő elmélete alapján határozható meg többek között a helyes mintavételezési frekvencia. A Shannon tétel szerint *a mintavételezett jel információvesztés nélkül visszaállítható, ha a mintavételezési frekvencia (f_m) legalább kétszer nagyobb, mint a jel frekvenciaspektrumában szereplő legmagasabb frekvenciájú jel frekvenciája (f_{max}).*

$$f_m \geq 2 f_{\max} \tag{1.1}$$

Következik, hogy a mintavételezés periódusa (T_m):

$$T_m = \frac{1}{f_m} \tag{1.2}$$

1.2.5. Az analóg-digitális (AD) jelátalakítás elve

Az AD átalakítás célja, hogy az analóg jel a digitális eszközök és berendezések által értelmezhető jellé alakuljon. Az analóg-digitális átalakítás általában a következő lépéseket tartalmazza:

1. Nem villamos jelek átalakítása villamos jellé,
2. Analóg jel kondicionálása,
3. Analóg jel mintavételezése,
4. Minták kvantálása,
5. Kódolás.

A nem villamos jelek villamos jellé történő átalakításával egy későbbi fejezetben részletesen fogunk foglalkozni. A *jelkondicionálás* feladata egyrészt a megfelelő szintű jel előállítása, másrészt ez az eljárás hivatott arra, hogy szűrje az analóg jelet az esetleges villamos zajtól, amelyek akár téves információt eredményezhetnek az átalakítás során. A jelkondicionálást

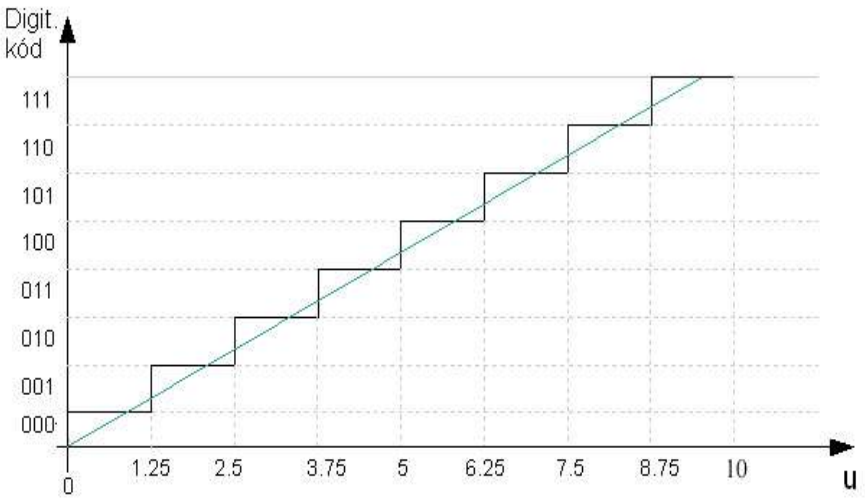
követi az előző fejezetben már bemutatott mintavételezés, illetve a mintavételezett jel előállítása. A *kvantálás* során az analóg jel értéktartományát (a minimális és maximális értékek közötti tartomány) egyenlő intervallumokra bontják. Az intervallumok szélessége, vagyis a kvantum (q) az AD átalakító (a digitális jel) bitjeinek számától függ (1.3). Ez határozza meg az átalakító felbontását, azaz az átalakító pontosságát.

$$q = \frac{\Delta U}{2^n} \tag{1.3}$$

Ahol ΔU az analóg jel intervallumát jelöli, n pedig a bitek számát.

Az irányítástechnikában leggyakrabban használatos villamos jelszintek a *±10 V* vagy a *0-10 V* közötti feszültségek illetve a *4-20 mA* közötti áramértékek. Ez utóbbinál a minimális áramszint azért nem *0 mA*, hogy különbséget lehessen tenni a minimális jel érték, illetve a jel hiánya között. Egy 8 bites AD átalakító esetében, alkalmazva az (1.3) összefüggést egy *0-10* voltos feszültség-átalakításra, a felbontás *39 mV* lesz. A következő lépés a *kódolás*, amikor a kvantum értékével elosztjuk az adott pillanatban vett minta értékét. Ehhez az értékhez hozzárendeljük az alkalmazott kódolási eljárás digitális kódját.

Az 1.10. ábrán egy 0-10 voltos feszültség 3 bites átalakítását és a hozzárendelt bináris kód értékeit láthatjuk. Jól látható, hogy ilyen alacsony bitszámnál a felbontás meglehetősen gyenge (*1,25 V*). Ez azt jelenti, hogy például 1,25-2,5 V közötti mintavételezett értékek mindegyike 001 bináris kódot kapja. Vagyis 1,25 V és 2,5 V között nem tudunk különbséget tenni. Ezért szükséges a bitek számának a növelése.



1.10. ábra. Az AD átalakítás elvének szemléltetése

Az irányítástechnikában alkalmazott AD átalakítók általában 16 bitesek, de láthattuk, hogy már egy 8 bites átalakító is elfogadható felbontást tud biztosítani.

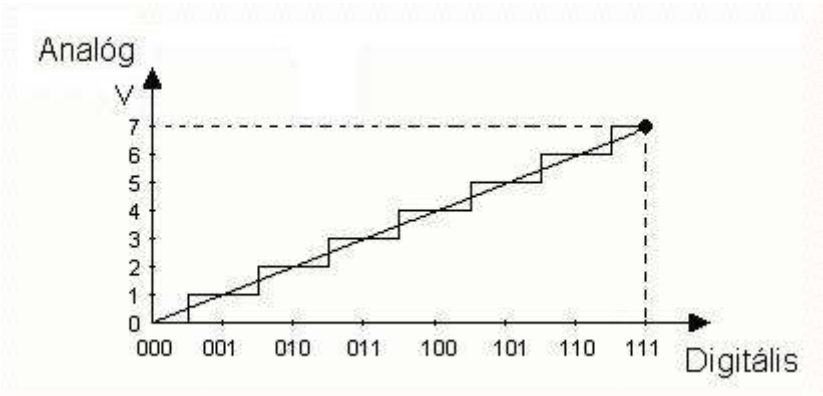
1.2.6. A digitális-analóg (DA) átalakítás elve

A DA átalakítók feladata az, hogy a bemenetére érkező digitális jelből (bináris információból) azzal arányos analóg jelet hozzon létre a lehető legkisebb hibával. A működéséhez szükséges egy U_R referenciafeszültség, ennek segítségével jön létre a kimeneti feszültség, és ez határozza meg annak a maximális értékét is.

Az átalakító kimenetén megjelenő feszültség a következő módon írható fel:

$$U_{ki} = z \cdot U_{LSB} \tag{1.4.}$$

Ahol U_{LSB} a legkisebb feszültségegység, amelyet a bitek száma (n) határozza meg, z pedig a bementi digitális mennyiség decimális értéke. Ez szabja meg a DA átalakító pontosságát. Az 1.11. ábrán a DA átalakítás elvét láthatjuk az egyszerűség kedvéért hárombites módban.



1.11. ábra. A DA átalakítás elve [12]

Az ábrán az U_{LSB} értéke 1 V. Ennek megfelelően a maximális kimeneti feszültség 7 V lesz.

Az átalakító kimenetén elérhető legnagyobb analóg feszültség értéke:

$$U_{ki\max} = (2^n - 1) \cdot U_{LSB} \tag{1.5}$$

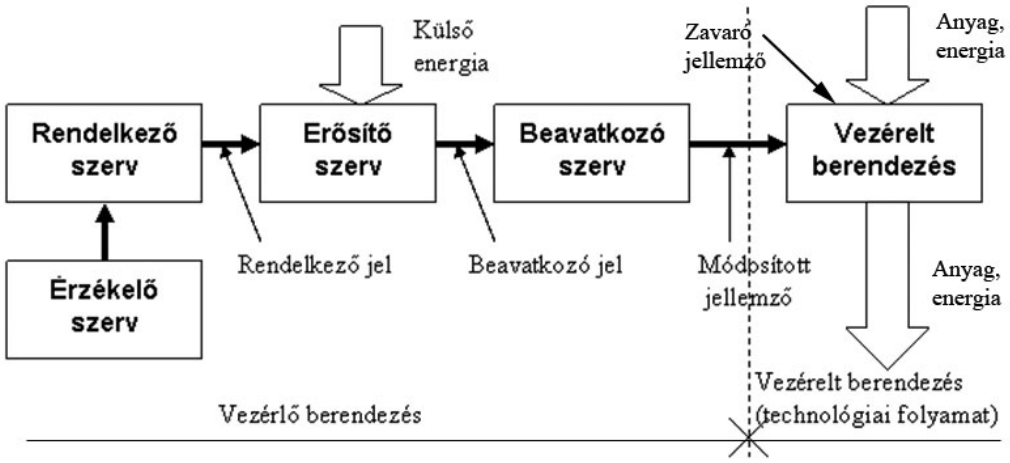
2. VEZÉRLÉSTECHNIKA

A vezérlés az irányításnak az a formája, amikor nem kapunk visszajelzést a folyamat állapotáról. A vezérlést nyitott hatáslánc jellemzi, vagyis az irányított jellemző nem hat vissza az irányítási folyamatra. A *vezérlő berendezést* szervek alkotják, amelyek révén megvalósul a vezérlés. A szervek közötti kapcsolat minden esetben jól meghatározott hatásláncot képez. A hatáslánc mentén a jelek csak egy irányban terjednek. A *vezérelt berendezés* a vezérléstől függetlenül meglévő műszaki létesítmény, technológiai folyamat, amely a vezérlés tárgyát képezi (2.1. ábra).

2.1. A vezérlés szervei, jelei és jellemzői

A vezérlést alapvetően négy fontosabb szerv és ezek kapcsolata határozza meg (2.1. ábra). Ezek a szervek a következők:

- Rendelkező szerv,
- Érzékelő szerv,
- Erősítő szerv,
- Beavatkozó szerv.



2.1. ábra. A vezérlés hatáslánca, szervei és jelei

A *rendelkező szerv*, a vezérlés legbonyolultabb szerve. Az érzékelők kimenő jeleinek hatására, a kezelő személy közreműködésével, az irányítóelemek segítségével a műveletek elvégzése után létrehozza a rendelkező jelet. Sok esetben bonyolult logikai kapcsolatok állnak a háttérben, amelyek meghatározzák a beavatkozás irányát és mértékét.

Az *érzékelő szerv* az információ szerzés legfontosabb eszköze, amely a folyamat állapotáról egyértelműen meghatározható jelet szolgáltat. (hőmérséklet, nyomás, elmozdulás, gyorsulás, stb.) Egy technológiai folyamat állapotjellemzői a legtöbb esetben nem villamos mennyiségek. A korszerű vezérlők viszont villamos működésűek. Ezért ezeknek az eszközöknek a feladata nem csak az érzékelés, hanem az érzékelt jelek átalakítása villamos jellé is. Éppen ezért sok esetben *érzékelő és átalakító szerv* a neve.

Az *erősítő szerv* a bemenő jelének hatására a külső segédenergia felhasználásával a rendelkező jelnél nagyobb energiájú kimenő jelet ad a beavatkozónak. Fontos része a vezérlőnek, mert segítségével kis energiájú vezérlő jelekkel (rendelkező jelek) tudunk a nagy energiájú folyamatokba beavatkozni, állapotukat a célnak megfelelően befolyásolni. A külső energia bármilyen lehet: villamos, hidraulikus, pneumatikus, mechanikai stb.

A *beavatkozó szerv* az a berendezés, amely képes megváltoztatni a folyamat állapotát. Ez a korszerű vezérléstechnikában általában villamos motor, mágneskapcsoló, mágnesszelep, de lehet pneumatikus vagy hidraulikus munkahenger.

További vezérléssel kapcsolatos fogalmak:

- A vezérlési vonal (hatáslánc) jellemzői:
  - **vezérelt jellemző:** - a folyamat azon jellemzője, amelyet a vezérléssel tudunk változtatni.
  - **módosított jellemző:** - a vezérelt jellemzőt a vezérlési feladat teljesítése végett befolyásolja.
  - **zavaró jellemző:** - a vezérelt berendezésre ható, az irányítástól független jellemző, amely a folyamatot nem kívánt módon, rendszerint negatív irányban befolyásolja
- A vezérlési vonal jelei:
  - **vezető jel:** - a rendelkező szerven belüli irányítóelemek jele, amely elindítja, a célnak megfelelően befolyásolja, vagy leállítja a vezérlési műveletet.

- **rendelkező jel:** - a rendelkező szerven belül végbemenő műveletek eredményeként jön létre. Ez határozza meg a beavatkozás mértékét és irányát.
- **beavatkozó jel:** - felerősített rendelkező jel, amely kellő energiával rendelkezik a beavatkozást illetően.

2.2. A vezérlések osztályozása [3]

A vezérléseket a rendelkezés létrejötte alapján *kézi* és *önműködő* vezérlésekre oszthatjuk:

- A *kézi vezérlésben* a rendelkező jelet a kezelőszemély tevékenysége határozza meg.
- Az önműködő vezérlésben a rendelkezést (rendelkező jelet) az érzékelők jelei és a vezető jel a vezérlési logikának megfelelően önműködően állítja elő.

Az önműködő vezérlések tovább oszthatók a vezetőjel alapján:

- A *követő vezérlésben* az érzékelt vezető jel határozza meg a rendelkező jelet. A rendelkezés és a beavatkozás minden esetben követi az érzékelt vezetőjelet.
- *Programozott vezérlés* esetében a rendelkező jelek előre meghatározott program szerint jönnek létre. A programozott vezérlések további két csoportra oszthatók:
  - Az *időterv vezérlésben* a beavatkozást az idő vagy az időtől függő előre megírt program határozza meg. Például az utca közvilágítás bekapcsolása és kikapcsolása az évszakoknak megfelelően egy előre elkészített program szerint valósul meg.
  - A *lefutó vezérlés* esetében a vezetőjelet a külső környezetből és a vezérelt folyamat állapotából származó feltételek határozzák meg. Egy adott vezérlési szekvencia csak akkor indulhat el, ha az előző vezérlési szekvencia (szekvenciák) már befejeződtek. Példaként említhetem a liftek vezérlését: a kabin csak akkor indul el, amikor az ajtók bezáródtak. Vagy a kabin ajtaja csak akkor nyitható, amikor megérkezett a kiválasztott szintre.

Számos esetben lényeges a vezérléseket a *segédenergia szerinti* csoportosítása is. Így beszélhetünk *villamos, pneumatikus, hidraulikus* vagy *vegyes* például *elektropneumatikus* vezérlésekről. A korszerű irányítórendszerek zömében villamos vezérléseket használnak. A felhasznált villamos elemek valamint a vezérlési logika módosíthatósága szerint a villamos vezérléseket két csoportra oszthatjuk:

- *Fix logikájú huzalozott vezérlés;* ez további két csoportra osztható*:*
  - *klasszikus érintkezős* (mozgó alkatrészes) vezérlések vagy relés vezérlések,
  - *elektronikus* (érintkezők nélküli) vezérlések.
- *Programozható vezérlők.*

A korszerű irányítórendszerek szinte kivétel nélkül valamilyen programozható vezérlőt használnak. A piaci versenyképesség megköveteli a termelés rugalmasságát, vagyis a vevői igények maradéktalan kielégítését. Ez csak úgy valósítható meg a leghatékonyabban, ha gyártósorokat ennek megfelelően konfigurálni tudjuk. Ez pedig csak programozható vezérlőkkel oldható meg. Amikor a gyártási paramétereken vagy a termékeken változtatni kell, nem kell a teljes vezérlést lecserélni, hanem elég csak átprogramozni.

3. BEAVATKOZÓ SZERVEK

A beavatkozó szervek a vezérlési hatáslánc utolsó elemei, amelyek képesek hatást gyakorolni a vezérlés tárgyát képező technológiai folyamat állapotára. A vezérléstechnikában leggyakrabban használt beavatkozó szervek a következők:

- mágneskapcsolók,
- relék,
- mágnesszelepek,
- villamos motorok,
- pneumatikus munkahengerek,
- hidraulikus munkahengerek.

3.1. Mágneskapcsolók

A *mágneskapcsolók* működési elve az elektromágneses hatásokon alapszik. Mágneskapcsolók olyan vezérléstechnikai végrehajtó szervek, melyek egyen- vagy váltakozó áramú tekercs segítségével rugó ellenében érintkezőket működtetnek. A kialakításuk olyan, hogy rendelkeznek a nagy áramok megszakítására alkalmas úgynevezett főérintkezőkkel, valamint segédérintkezőkkel, amelyeket vezérlési célokra lehet felhasználni. A nagyon nagy áramokat megszakító mágneskapcsolók rendelkeznek a keletkező elektromos ívek kioltására szolgáló mechanizmussal is. Ezeknek a célja az ív kialakulásának korlátozása.

Kialakításuk nagyon változatos de a legtöbb mágneskapcsoló rendszerint négy, de minimum három főérintkezőt, két-két (két záró, két bontó) segédérintkező tartalmaz. A tekercs kialakítása a leggyakrabban 24 voltos egyenáramú vagy 230 voltos illetve 400 voltos váltakozó áramú tekercs. (3.1. ábra)

3.1. ábra. Mágneskapcsolók kivitelezési formái.

A mágneskapcsoló tekercse és érintkezői között csak mágneses kapcsolat létezik, ezért a tekercs és az érintkezők áramkörei között nincs galvanikus kapcsolat.

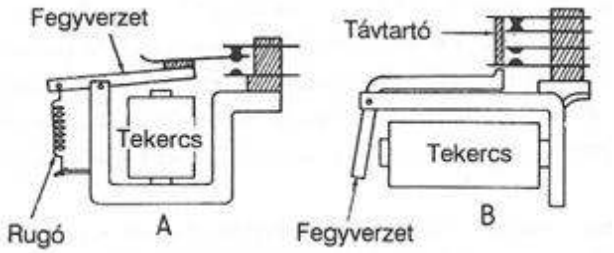
Villamos áramkörökben a mágneskapcsolók jelölésére többféle változatot is használnak, ezek közül a leggyakoribb jelölés a 3.2. ábrán látható.

3.2. ábra. A mágneskapcsolók egyik lehetséges jelölése

Az előbbi jelölés szerint a záró érintkezők (NO – Normally Open) balról és láthatóan normál (nyugalmi) állapotban nyitottak, míg a bontó érintkezők (NC – Normally Closed) jobbról és zárt állapotban vannak rajzolva.

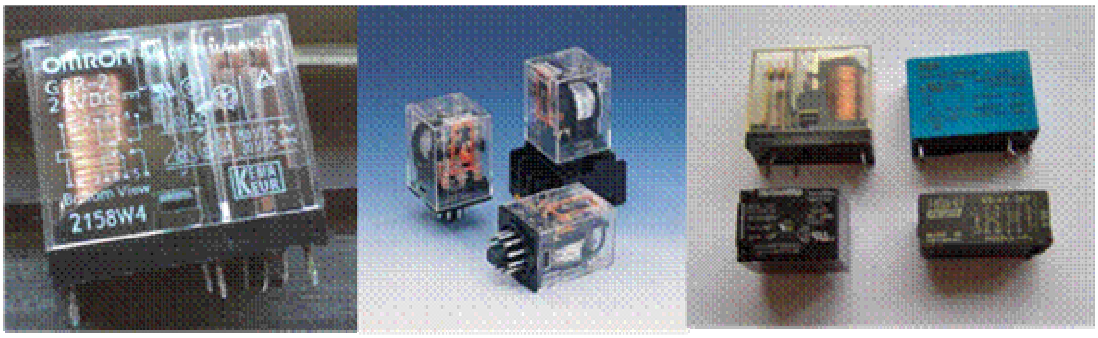
3.2. Relék

A relék működési elve megegyezik a mágneskapcsolóéval, de nincsenek főérintkezői. Az elektromágnes áram hatására magához vonzza a rugó ellenében mozgó fegyverzetet, így a záró érintkezők (NO) zárják, a bontó érintkezők (NC) pedig bontják a vezérlési áramkört. A fegyverzetet az egyik irányba rugó, a másik irányba mágneses tér működteti. A zárt kontaktus a rajta keresztül folyó áram számára rövidzár. Emiatt a kontaktusokból felépített áramköri ágban kell lennie egy terhelésnek is. Ha a kontaktusok bontanak, akkor a rajtuk keresztül folyó áram megszakad. (3.3. ábra).



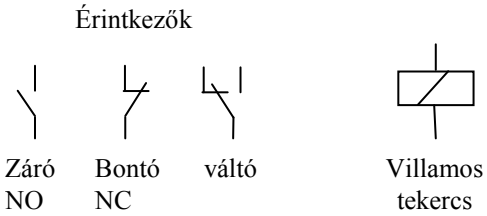
3.3. ábra. A relé szerkezeti felépítése [3]

Főleg vezérlési célokra használják. A vezérléstechnikában rendkívül sokféle és változatos kivitelezési formáival találkozhatunk. (3.4. ábra)



3.4. ábra. Különböző kivitelezésű relék

Villamos áramköri jelölésük megegyezik a mágneskapcsolók jelölésével. Az érintkezők és tekercsek MSZ EN 60617 szabványos jelöléseit a 3.5. ábrán láthatjuk.



3.5. ábra. Szabványos jelölések

A relék alkalmazási területei igen változatosak. A relék működési elvűkből adódóan alkalmasak kontaktusok nyitására, zárására, és jelsokszorozásra (egynél több kontaktust működetve). Logikai eszközként ezen tulajdonságait használják ki. Ugyancsak működési elvűkből adódóan alkalmasak galvanikus leválasztásra, teljesítményillesztésre, és jelváltásra (váltakozóból egyenfeszültségre, vagy fordítva), illetve jelszint váltásra. Végrehajtó eszközökben, és kapcsolók kimeneti elemeként elsősorban ez utóbbi tulajdonságait használják ki. Egyedüli hátrányuk, hogy mozgó alkatrészeket tartalmaznak, ezért élettartamukat

leginkább a gyártók által megadott kapcsolási szám és kapcsolási gyakoriság határozza meg. Az átlagos kapcsolási száma 10^5, védőgázos kivitelben $10^6 – 10^7$. A maximálisan megengedett kapcsolási gyakoriság 2500 – 3500 kapcsolás/óra.

A relék működésük alapján lehetnek:

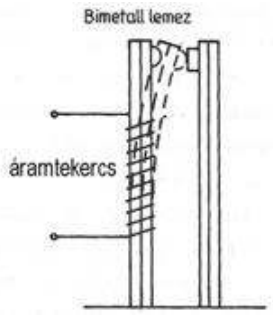
- *Normál relék* addig vannak vezérelt állapotban, ameddig áram folyik a tekercsükön.
- *Tartó-relék*, amelyeknél az érintkezőket működtető mechanikát egy ék megakasztja, és így a rugó nem tudja visszaállítani a rudat a nyugalmi helyzetébe. A tartó-reléknek két (engedélyező és elengedő) tekercse van. Az engedélyező tekercsen egy impulzus szükséges, hogy a tartó-relék meghúzott állapotba kerüljenek, és abban is maradjanak. Az elengedő tekercs impulzusa kiakasztja az éket, és a tartó-relé visszaáll alaphelyzetbe.
- *Szilárdtest relék* (Solid State Relay) SSR, olyan kontaktus nélküli félvezetős kapcsolók, amelynél kis teljesítmény szintű kétállapotú vezérlő egyenfeszültséggel (0-5 V; 0-24 V), nagy teljesítmény szintű kétállapotú váltakozó feszültség (0-24 V; 0-230 V_{AC}) kapcsolható a terhelésre. A terhelő (kapcsolható) áram 2-150 A tartományban is lehet.
- *Hőrelék,* amelyek hő hatására bontják, illetve zárják érintkezőiket.
- *Impulzus-relék* tekercseire kapcsolt, rendszerint nyomógombról érkező feszültség felfutó éle hatására nyugalmi állapotból meghúzott állapotba kerül, illetve a következő felfutó élre állapota meghúzottból nyugalmira változik.
- *Időrelék* kontaktusai meghatározott idődiagram alapján nyitnak, illetve zárnak. A hagyományos időrelékben különböző fizikai elven működő mechanikus, illetve elektromechanikus vezérlő szerkezetek valósították meg a korlátozottan konfigurálható idődiagramot. Napjainkban, minthogy az időrelékben is mikroelektronikai áramkör van, ezért pontosabb az idődiagram lefutása, és rugalmasan programozható az idődiagram.

A fenti relék közül a hőrelével és az időrelével részletesebben is foglalkozunk.

3.3. Hőrelék

A hőrelék különböző villamos berendezések, főleg villamos motorok túláramvédelmét biztosítja. Működési elve a bimetál lemez hő hatására történő viselkedésén alapszik. A

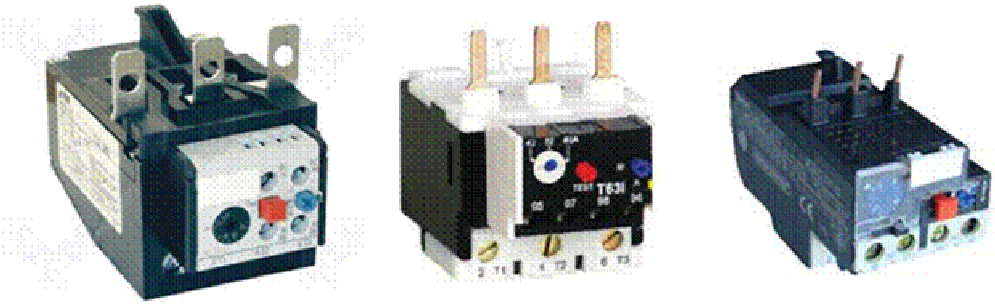
bimetál lemez két különböző hőtágulási együtthatójú fém összepréseléséből származik. Hő hatására a bimetál lemez a kisebb hőtágulási együtthatójú fém irányába elhajlik. Négy fő eleme van: az áramtekercs, a bimetál lemez, az áramhatár beállító és a kioldó mechanizmus. (3.6. ábra)



3.6. ábra. A hőrelé elvi felépítése [3]

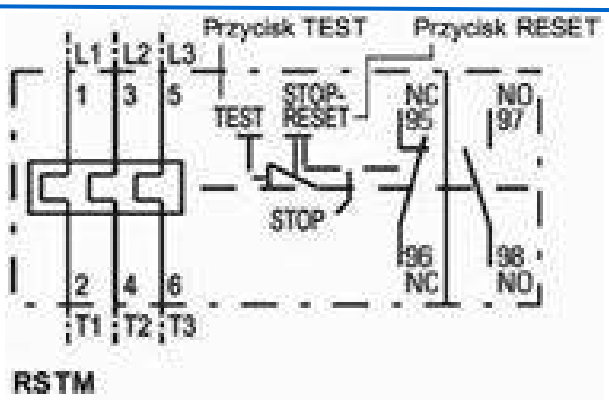
A főáramkörbe sorosan kapcsolt áramtekercsen áthaladó áram fűti a bimetall lemezt, amely túláram esetén a kisebb hőtágulási együtthatójú réteg irányába elhajlik és bontja a mechanikai reteszt. Bontó és záró érintkezőkkel egyaránt rendelkezhet.

Kivitelezését illetően a hőrelék rendszerint háromfázisú áramtekercccsel rendelkeznek, vagyis a bimetál lemez köré három, egymástól független tekercset helyeznek el. Így bármelyik fázison fellépő túláram működtetni tudja. (3.7. ábra)



3.7. ábra. Különböző típusú hőrelék

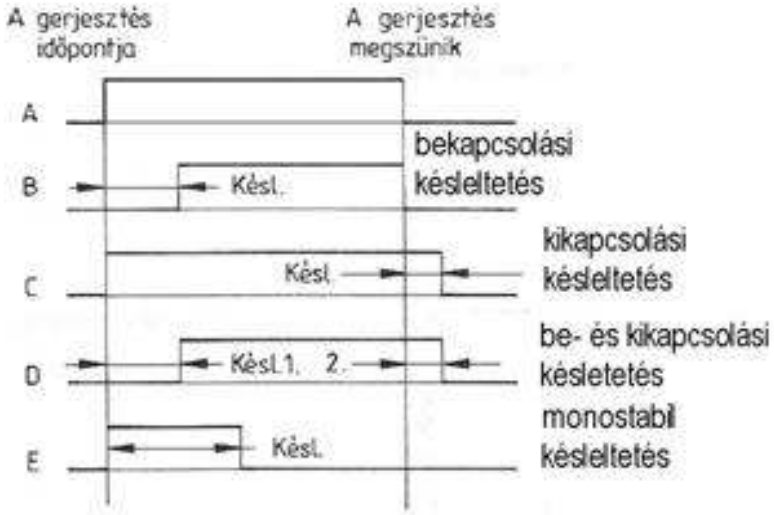
Villamos áramkörökben alkalmazott egyik lehetséges jelölését a 3.8. ábrán láthatjuk.



3.8. ábra. A hőrelé áramköri jelölése

3.4. Időrelék

Az *időrelék* egy adott folyamatot egy megelőző folyamathoz képest meghatározott időtartammal késleltetik. Az időzítések esetében a gerjesztés kezdete és megszűnése szerint megkülönböztethetünk: bekapcsolási, kikapcsolási, bekapcsolási – kikapcsolási és monostabil késleltetést. (3.9. ábra)



3.9. ábra. A késleltetések fajtái

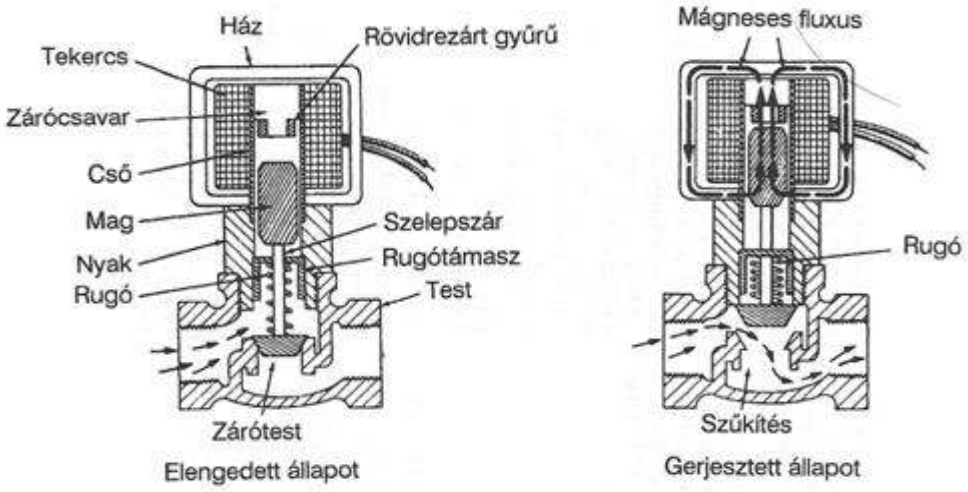
Felépítésük, szerkezetük és kivitelezésük szerint az időrelék lehetnek (3.10. ábra):

- elektromechanikus, óraszerkezettel ellátott időrelé (több óra késleltetés),
- elektronikus időrelék (1 s – 10 perc késleltetési idő),
- digitális időrelék (0,01 s – több óra késleltetéssel).

3.10. ábra. Különböző típusú időrelék

3.5. Mágnesszelepek [3]

A *mágnesszelepek* a legegyszerűbb szerkezetű, villamos működtetésű nyitó/záró szelepek. A 3.11. ábrán egy mágnesszelep felépítési vázlatát és működését láthatjuk nyugalmi és működtetett állapotban.



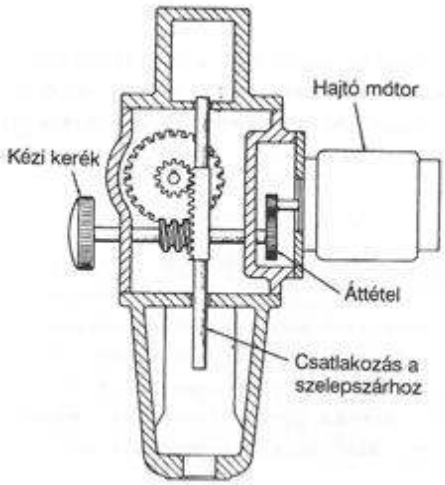
3.11. ábra. A mágnesszelep felépítése és működése

A tekercsre kapcsolt feszültség hatására, a rugó ellenében működő zárótestben végződő szelepszárat a vasmag a tekercs belsejébe húzza, ezáltal szabad utat biztosít a folyadék vagy gáz áramlásának. Biztonsági okokból nyugalmi állapotban a szelep mindig zárt állapotban van.

3.6. Motoros szelepek, tolózárak [3]

Nagyobb teljesítményű szelepek, tolózárak mozgatására villamos szervomotoros hajtást alkalmaznak. Rendszerint szelep- és véghelyzet érzékelővel vannak ellátva, hogy a

szervomotor helyes működtetéséhez szükséges feltételek biztosítva legyenek. A segédenergia kimaradása esetén a kézi működtetés is lehetséges. Ezt egy kézi kerék biztosítja. (3.12. ábra)



3.12. ábra. Motoros szelep

3.7. Villamos motorok

A villamos motorok az irányítástechnika legfontosabb és legelterjedtebben alkalmazott beavatkozó szervei, amelyek a villamos energiát közvetlenül alakítják át mechanikai energiává.

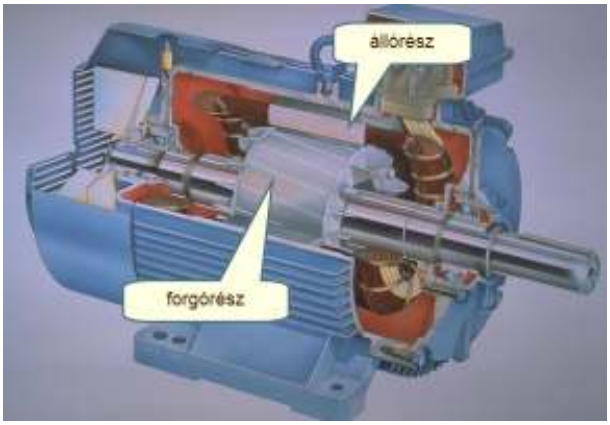
Villamos táplálásuk szerint két nagy csoportra oszthatjuk, azon belül pedig kialakításuk alapján tovább csoportosíthatjuk:

- Egyenáramú: - soros
  - párhuzamos
  - külső gerjesztésű
  - állandó mágneses gerjesztésű (szervo)
- Váltakozó áramú: - szinkron (ritkán használják)
  - aszinkron: - háromfázisú
    - egyfázisú

3.7.1. Háromfázisú aszinkronmotorok

Az ipari irányítástechnikában legelterjedtebb villamos motorok a háromfázisú aszinkron motorok. Felépítésük egyszerű, működésük üzembiztos, beszerzési áruk alacsony, és ha olyan

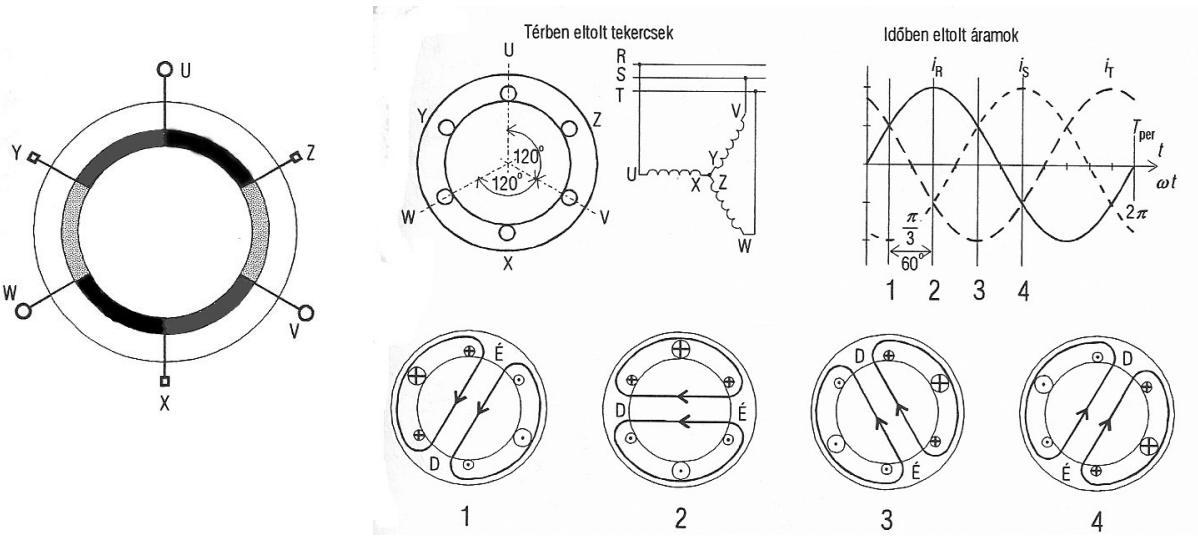
helyen kell használni, ahol nem kell a fordulatszámot tág határok között változtatni, akkor közvetlenül, egyéb berendezés nélkül is használhatóak. Elnevezését onnan kapta, hogy a forgórésze nem a szinkron fordulatszámon jár, hanem attól alacsonyabban. A 3.13. ábrán egy háromfázisú aszinkronmotor szerkezeti vázlatát láthatjuk.



3.13. ábra. A háromfázisú aszinkronmotor szerkezete

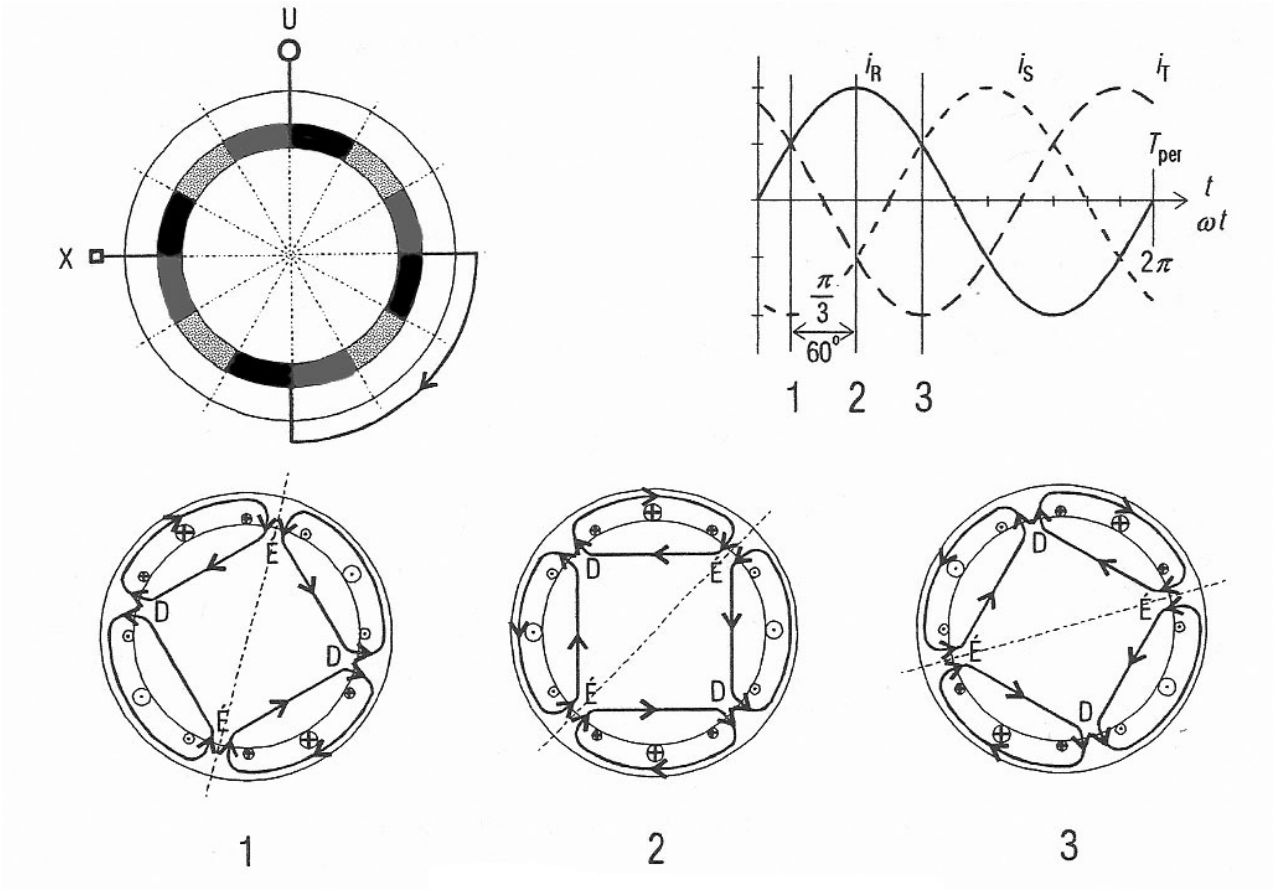
Az *aszinkronmotor állórésze* lemezelt vastestből és ennek hornyaiban 120 fokos geometriai szögben elhelyezett háromfázisú tekercselésből áll. Az állórész feladata a forgó mágneses mező előállítása. Ezen alapszik a működési elve. A forgó mágneses mező fordulatszámát szinkron fordulatszámnak nevezzük (n_0).

A 3.14. ábrán a forgó mágneses mező keletkezését látjuk egy póluspár esetében. Ekkor a mágneses mező elfordulása 60 fok lesz.



3.14. ábra. A forgó mágneses mező elfordulása egy póluspár esetében [3]

A póluspárok növelése a forgó a szinkron fordulatszám csökkenését eredményezi. Két póluspár esetében a felére csökken (30° lesz) az elfordulási szög, vagyis a szinkron fordulatszám is feleződik. Ez látható a következő 3.15. ábrán.



3.15. ábra. A forgó mágneses mező elfordulása két póluspár esetében [3]

A gondolatmenetet folytatva *p* póluspárú mágneses mező alakul ki, az elfordulási szög pedig *360°/6p* lesz. Ennek megfelelően a szinkron fordulatszám pedig:

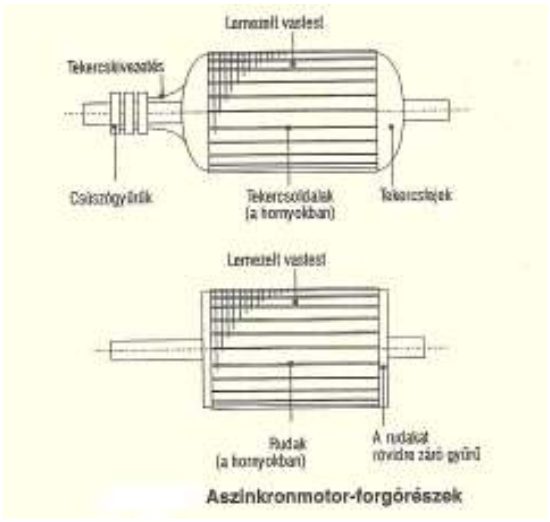
$$n_0 = 60\frac{f}{p} \tag{3.1}$$

ahol *f* a háromfázisú feszültség frekvenciája, *p* pedig a póluspárok száma. Mértékegysége *ford/perc* vagy *1/perc*.

A *forgórész* kialakítása szerint lehet *tekercselt* (csúszógyűrűs), vagy *kalickás* (rövidre zárt fémrudas).

A tekercselt forgórész rendszerint csillagkapcsolású, a tekercsek kivezetései pedig csúszógyűrűkhöz csatlakoznak. A csúszógyűrűkhöz kefék kapcsolódnak, ezek segítségével

ellenállások iktathatók a forgórész áramkörébe, vagy éppen rövidre zárhatók. A kalickás forgórész áramkörei a fémgyűrűknek köszönhetően mindig zártak. (3.16. ábra)



Kalickás forgórész

3.16. ábra. Aszinkronmotor forgórészek

Működési elve: Az egymástól 120 fokos geometriai szögben elhelyezett állórész tekercseire kapcsolt háromfázisú feszültség (a fázisok között 120 fokos villamos szög van) az állórész belsejében forgó mágneses mezőt hoz létre. A mágneses mező erővonalai metszik a forgórész zárt áramkörű tekercsfelületét. Ezekben feszültség indukálódik, a forgórész árama pedig létre hozza a forgórész mágneses mezejét. A két mező kölcsönhatása olyan nyomatékot hoz létre, amelynek következtében a forgórész elfordul a forgó mágneses mező irányába. A forgórész fordulatszáma megközelítheti a szinkron fordulatszámot, de azt még elméletileg sem érheti el, mert ekkor megszűnne az erővonalmetszés, ezáltal a nyomaték is. Tehát, a forgórész fordulatszáma mindig elmarad a forgó mágneses mező szinkron fordulatszámától, mert csak így lehetséges az erővonalmetszés. (Ezért aszinkron.) Az így keletkező fordulatszám eltérés a szlip (csúszás). Százalékban fejezzük ki.

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \cdot 100\% \tag{3.2}$$

Névleges nyomaték mellett határozható meg. Nagysága általában 2 – 6%.

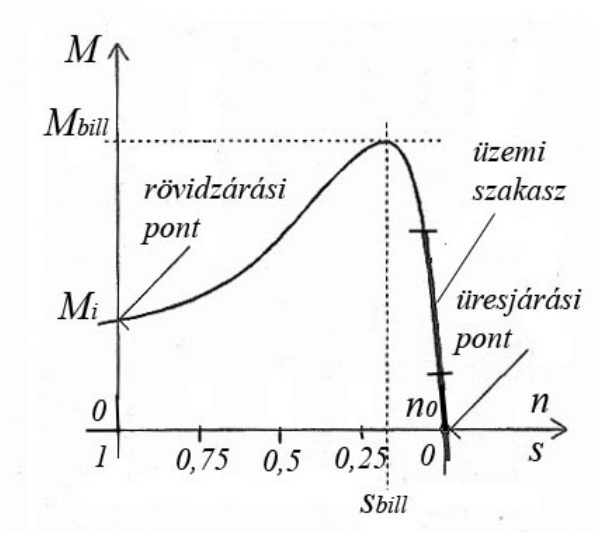
A szlip értékének ismeretében a motor fordulatszáma:

$$n = n_0(1-s) = 60\frac{f(1-s)}{p} \tag{3.3}$$

Üzemállapotok

- *Üresjárás ($M_t = 0$):* a motor tengelyére nem hat terhelő nyomaték, a csapágy és a levegő által keltett súrlódás elhanyagolható. Ilyenkor a szlip nagyon kicsi (közelítőleg nulla), a forgórész fordulatszáma nagyon megközelíti a szinkron fordulatszámot. Az áramfelvétel szintén kicsi.
- *Terhelés ($M_t \approx M_n$):* a névleges terhelés környezetében, a motor fordulatszáma állandónak tekinthető, a szlip kicsi, 4 – 6%, a motor árama a névleges áramérték körüli.
- *Rövidzár állapot ($M_t >> M_n$):* A szlip megnő, a fordulatszám lecsökken, akár le is állhat a motor. Az állórészben az áram nagyon nagy, akár 7-9-szerese is lehet a névleges áramnak. Ezt az üzemállapotot mindenképpen kerülni kell mert károsíthatja a motor tekercseit.

A 3.17. ábrán az aszinkronmotor nyomaték-fordulatszám jelleggörbéjét láthatjuk. A jelleggörbén jól behatárolhatók az előzőekben tárgyalt üzemállapotok.



3.17. ábra. A háromfázisú aszinkronmotor jelleggörbéje

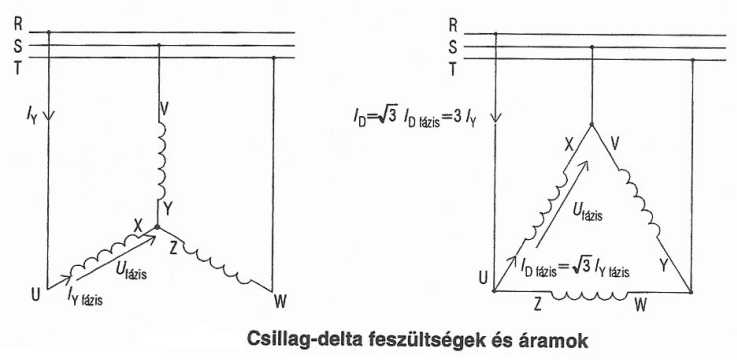
Indítási módok

A háromfázisú aszinkronmotor üzemének legkritikusabb fázisa az indítás, ugyanis ez rövidzár üzemmódnak tekinthető, mert az indítás pillanatában a fordulatszám nulla. A 2.18. ábrán látható, hogy a motor rendelkezik jelentős indító nyomatékkal, tehát képes elindulni, csak kezelni kell az indítás pillanatában fellépő nagy áramot, amely a névleges áram akár

kilencszerese is lehet. Kisebb teljesítményű motoroknál alkalmazható a *közvetlen indítás*, ha a motort tápláló villamos hálózat megfelelően van erre felkészítve.

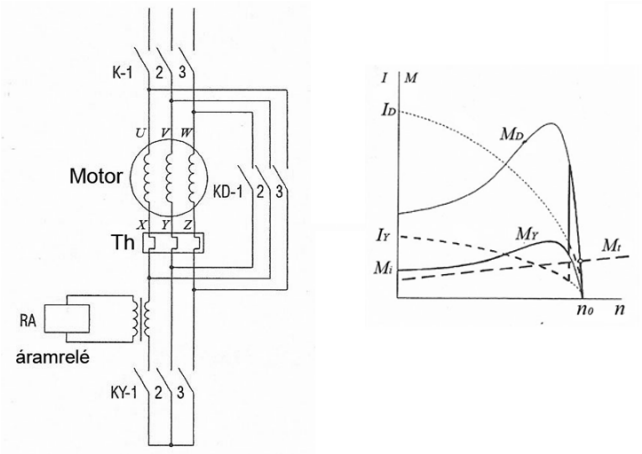
Nagyobb teljesítményű kalickás motoroknál a leggyakrabban alkalmazott indítási mód a *csillag-delta indítás*. A módszer lényege: a motort csillagkapcsolásban indítjuk, majd amikor a fordulatszám elérte a névleges értéket, átkapcsoljuk deltába (3.18. ábra). Az indítási áram 3x kisebb lesz, mint a közvetlen indításkor.

$$I_{Yfázis} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{Dfázis} \qquad (3.4)$$
$$I_{Dvonali} = \sqrt{3} I_{Dfázis} = 3 I_Y$$



3.18. ábra. A csillag-delta indítás elve

Az átkapcsolás történhet manuálisan vagy automatikusan: áramrelével vagy időrelével. A következő ábrán (3.19. ábra) egy konkrét, gyakorlati megvalósítást láthatunk áramrelével. Ugyancsak ezen az ábrán láthatjuk az indítás nyomaték és áramviszonyát is.



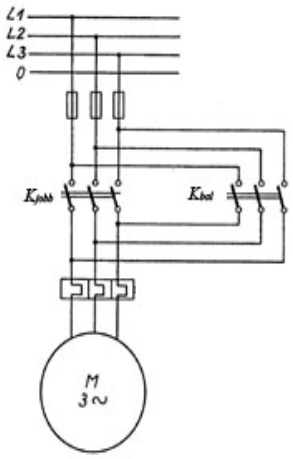
3.19. ábra. Csillag-delta indítás áramrelével és az indítási áramviszonyok

Irányváltás

A háromfázisú aszinkronmotor forgásirány váltása nagyon egyszerű. Két fázis felcserélésével, megváltozik a forgó mágneses mező forgásiránya, ezáltal a forgórész forgásiránya is megváltozik. A biztonságos irányváltásra vonatkozó szabály betartása a következő:

- Csak kikapcsolt állapotban legyen lehetséges,
- Ha az egyik irány be van kapcsolva, a másikat ne lehessen indítani csak leállítás után,
- A két irányt egy időben még véletlenül se lehessen kapcsolni.

Az alábbi ábrán (3.20. ábra) egy irányváltó kapcsolást láthatunk, ahol két mágneskapcsoló főérintkezői (K_{jobb} és K_{bal}) kapcsolják a két irányt.



3.20. ábra. Az irányváltás kapcsolása

Fordulatszám változtatás

A (3.3) összefüggés alapján látható, hogy a háromfázisú aszinkronmotor fordulatszáma függ a *póluspárok számától*, a táplálási feszültség *frekvenciájától* és a *szliptől*. Noha három lehetőség is a rendelkezésünkre áll, a fordulatszám változtatás mégsem egy egyszerű feladat.

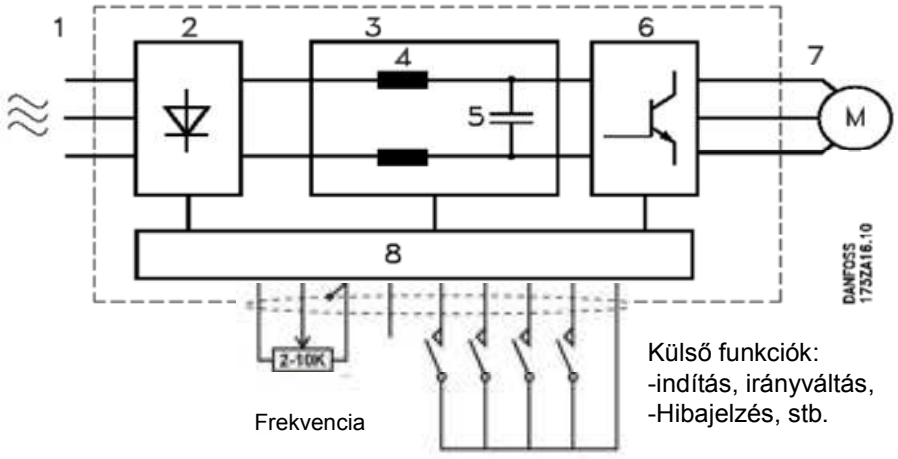
A póluspárok számának a változatása csak az erre a célra kialakított motoroknál lehetséges. A változtatás ugyan veszteségmentes, de csak szakaszosan lehetséges.

A szlip változtatásával történő fordulatszám változtatás csak a csúszógyűrűs motoroknál lehetséges. A csúszógyűrűk közé kapcsolt ellenállások növelik a motor szlipjét, ezáltal csökken a fordulatszám. A változtatás folytonos, de nem veszteségmentes, ugyanis a szlip növelése nyomatékcsökkenéssel jár.

A táplálási feszültség frekvenciáját közvetlenül nem tudjuk megváltoztatni. Ahhoz, hogy ez lehetséges legyen külön berendezésre van szükségünk. Ezt a berendezést frekvenciaváltónak hívják.

3.7.2. Frekvenciaváltók

A frekvenciaváltók egyenirányítják a hálózati feszültséget, majd a nyers egyenfeszültségből nagy teljesítményű szigetelt tranzisztoros kapcsolásokkal általában 0-50 Hz között változtatható háromfázisú feszültséget állítanak elő. A 3.21. ábrán egy frekvenciaváltó elvi felépítési vázlatát látjuk.



1. Betáplálás. Jellemzően 3x400V AC vagy egyfázisú; 2. Három fázisú egyenirányító híd; 3. Közbenső kör; 4. Szűrőtekercsek; 5. Nagy kapacitású szűrőkondenzátor (kb 520V-os egyenfeszültség); 6. Félvezetős kapcsoló üzemű teljesítmény fokozat. Három fázisú tranzisztor híd; 7. A meghajtott aszinkron motor 8. Vezérlő elektronika

3.21. ábra. A frekvenciaváltó elvi felépítése

A frekvenciaváltók segítségével a háromfázisú aszinkronmotor fordulatszáma fokozatmentesen, veszteség nélkül változtatható. E mellett számos olyan lehetőséget biztosít, amelyek segítségével a korszerű intelligens irányítórendszerekkel is használható. Így például:

- A vezérlő ki és bemenetek vagy azok egy részének funkciója programozható,
- Kommunikációs lehetőség számítógéppel, diagnosztikai és beállítási céllal,
- Digitális kommunikáció szabványos terepi buszon (CAN busz, Ethernet, stb.).

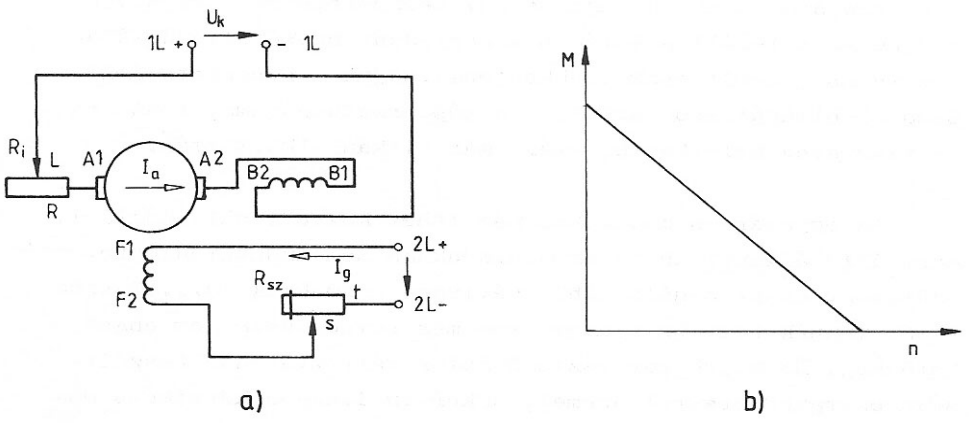
3.7.3. Egyenáramú motorok

Az ipari irányítástechnikában a háromfázisú aszinkronmotorok mellet széles körben használják az egyenáramú motorokat is. Előnyei, hogy a motor fordulatszámát tág határok között, folytonosan és veszteségmentesen lehet változtatni. Hátránya akárcsak a háromfázisú aszinkronmotornak, hogy fordulatszám változtatása berendezést igényel. Felépítésük két fő részre osztható: állórész, ezt *gerjesztésnek* hívjuk és forgórész vagy *armatura*. Az armatura tekercsei kommutátorokhoz vannak kivezetve. Ezek biztosítják azt, hogy az áram iránya olyan legyen, hogy a forgó mozgás megvalósuljon. Tulajdonképpen egy mechanikus egyenirányító szerepét töltik be. Attól függően, hogy a gerjesztés és az armatura milyen kapcsolásban van egymással, az egyenáramú motorokat négy csoportra oszthatjuk:

1. *külső gerjesztésű motor*: a gerjesztés és az armatura között nincs galvanikus kapcsolat (külön áramkörbe van kötve),
2. *párhuzamos gerjesztésű motor*: a gerjesztés a motoron belül párhuzamosan van kapcsolva az armaturával,
3. *soros gerjesztésű motor*: a gerjesztés sorosan kapcsolódik az armaturához,
4. *vegyes gerjesztésű motor*: soros és párhuzamos kapcsolat a gerjesztés és az armatura között.

Irányítástechnikai célokra leginkább a külső gerjesztésű motorokat használják, vagy ezeknek az állandó mágneses gerjesztésű típusait, úgynevezett *szervomotorokat*.

A 3.22. ábrán egy külső gerjesztésű egyenáramú motor elvi vázlatát, jelöléseit és nyomaték fordulatszám jelleggörbéjét látjuk.

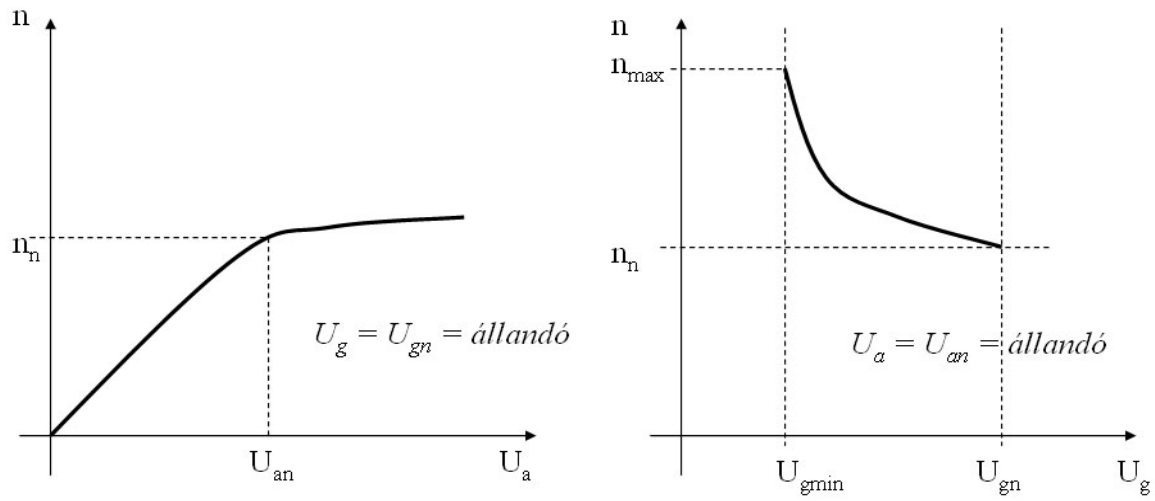


3.22. ábra. Külső gerjesztésű egyenáramú motor

A fenti ábrán F_1, F_2 a gerjesztő tekercs, B_1, B_2 a forgórész tekercse, A_1, A_2 pedig az armatura. A jelleggörbéből jól látszik, egyik nagy előnye a külső gerjesztésű motornak, hogy főleg alacsony fordulatszámon nagyon nagy nyomatékot képes leadni.

A külső gerjesztésű egyenáramú motor indítása két lépésben történik. Először a gerjesztő feszültséget kapcsolják a motorra, majd az armatura feszültségét fokozatosan növelik nulláról egy adott értékig. A fordulatszám változtatása két módon lehetséges (3.23. ábra):

1. az armatura feszültségének változtatásával
2. a gerjesztő feszültség csökkentésével (fluxus gyengítéssel).



3.23. ábra. A külső gerjesztésű egyenáramú motor fordulatszám változtatása

Névleges gerjesztést kapcsolva a motor állórészére (U_{gn}) az armatura feszültség növelésével arányosan növekszik a fordulatszám is, egészen a névleges értékig (n_n). Ezt az értéket a névleges armatura feszültségnél (U_{an}) éri el. További fordulatszám növelés érhető el fluxus gyengítéssel vagyis a gerjesztő feszültség csökkentésével, ha az armatura fezsültséget továbbra is a névleges értéken tartjuk. A gerjesztés maximum a névleges érték 30 - 35%-ára csökkenthető. Ezen érték alatt nem javasolt az üzemeltetés, mert a motor maximális fordulatszámra felpörög, és jelentősen veszít teljesítményéből.

A motor forgásirányának megváltoztatását ugyancsak két módon tehetjük:

1. az armatura feszültség polaritásának megváltoztatásával,
2. az állórészre kapcsolt gerjesztés feszültség irányának megváltoztatásával

Megjegyzés: Mindkét feszültség irányának egyidejű megváltoztatása nem idéz elő forgásirány változást.

3.8. Pneumatikus munkahengerek

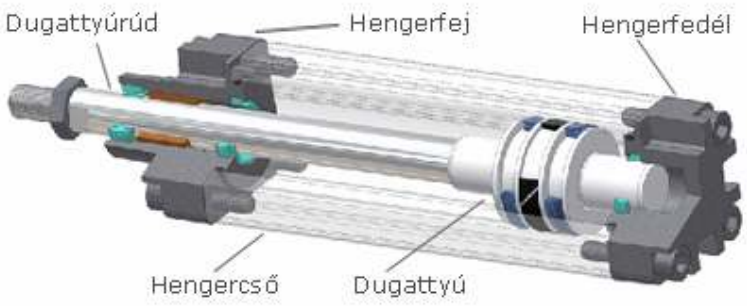
A pneumatikában a legfontosabb működtető szerkezet, végrehajtó elem a munkahenger. A munkahenger egy olyan energia-átalakító eszköz, amely az áramló közeg (levegő) nyomásának energiáját alakítja át lineáris vagy forgó mozgássá. A munkahengerek rendkívül sokfélék és változatosak. Fajtáikat a következő szempontok szerint osztályozhatjuk: [6]

- kivitelezés szerint
    - dugattyúrudas munkahenger
    - dugattyúrúd nélküli munkahenger
    - tömlő henger
    - membrán henger
    - forgató henger
- létrehozott mozgás szerint
    - lineáris mozgású (egyenes vonalú)
    - forgó mozgású
- működtetés szerint
    - egyszeres működésű (egyoldali)
    - kettős működésű (két oldali)
- helyzetstabilitás szerint
    - egyállású
    - kétállású
    - három-, vagy négyállású
- véghelyzet-csillapítás szerint
    - állítható pneumatikus löketvég-csillapítással
    - rugalmas löketvég-csillapítással
    - löketvég-csillapítás nélkül

A továbbiakban csak a gyakrabban előforduló dugattyús, egyszeres illetve kettős működtetésű munkahengerekkel foglakozunk. Ilyen munkahengereket láthatunk 3.24. ábrán.

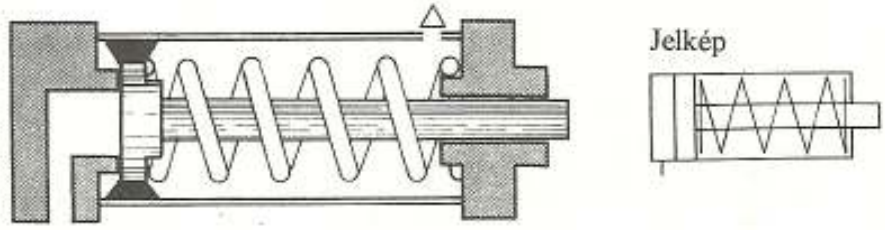
3.24. ábra. Dugattyús munkahengerek

A dugattyús munkahengerek legfontosabb elemei a hengercső, a dugattyú, a dugattyúrúd és a hengerfedél. (3.25. ábra)



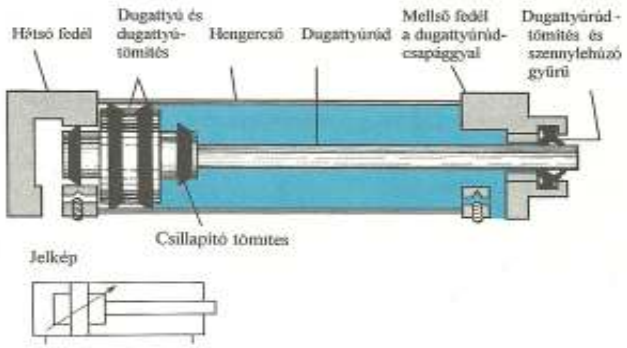
3.25. ábra. A dugattyús munkahenger felépítése [6]

Az egyoldali vagy egyszeres működtetésű munkahengerek esetében csak az egyik hengertér kap energiaellátást. Ezek a munkahengerek csak egy mozgásirányban végeznek munkát, a másik irányban a dugattyú rugó ellenében mozog. (Visszatér az alaphelyzetbe.) Felépítési vázlatát és jelölését pneumatikus dokumentációkban a következő ábrán (3.26. ábra) láthatjuk.



3.26. ábra. Egyszeres működtetésű munkahenger

Kettős működtetésű munkahengereket akkor használnak, amikor a dugattyúnak mindkét irányban munkát kell végeznie. Ezeknél a munkahengereknél a bevezetett levegő mindkét irányban képes a dugattyút mozgatni. A 3.27. ábrán egy kettős működtetésű munkahenger vázlatát és jelölését látjuk.



3.27. Kettős működtetésű munkahenger

4. ÉRZÉKELŐK ÉS ÁTALAKÍTÓK

Az irányítástechnikában az érzékelők és átalakítók rendszerint a folyamat közvetlen közelében vannak elhelyezve. A szakirodalom legtöbbször csak *szenzoroknak* nevezi őket. Feladatuk, hogy a rendelkező szervet információval lássák el. Mivel a folyamatok zöme nem villamos jellegű (mechanikus, termikus, stb.) ezért az érzékelők nem csak érzékelik, hanem át is alakítják ezeket a nem villamos fizikai mennyiségeket villamos mennyiségekké (feszültség, áram, ellenállás, stb.). Minél magasabb fokú automatizált berendezésről van szó, annál több és változatosabb érzékelőket használ.

Felépítésük és működési elvük szerint az érzékelők lehetnek:

- mechanikus érzékelők,
- optikai érzékelők,
- ellenállás-változáson alapuló érzékelők
- induktív érzékelők,
- kapacitív érzékelők,
- ultrahangos érzékelők.

4.1. Mechanikus érzékelők

A legegyszerűbb szerkezetű érzékelők az egyszerű mikrokapcsolós mechanikus érzékelők. Ezeket helyzetkapcsolók vagy végállás-kapcsolók néven ismerjük. Feladatuk a haladó mozgást végző gépelemek helyzeteinek érzékelése vagy túlfutásuk megelőzése. A rendszerint görgős működtetésű, rugó ellenében mozgó kar egy mikrokapcsolót kapcsol, amikor a tengelyre szerelt ütköző működteti azt. A 4.1. ábrán három különböző formájú, de ugyanolyan elven működő helyzet- illetve végállás-kapcsolókat láthatunk.

4.1. ábra. Mechanikus helyzetkapcsolók

Az érzékelőben elhelyezett mikrokapcsoló rendszerint közös kivezetéssel ellátott egy záró (NO) és egy bontó (NC) érintkezőt tartalmaz.

Egyszerű felépítésük miatt főleg végállás-kapcsolóként használják, de ahol a gépelem helyzete nem feltétlenül kell nagyon pontos legyen, ott helyzetkapcsolóként is használhatók. Például referenciapont felvételekor a referencia pont közelében gyorsmenetből lassú menetbe kapcsoláskor egy ilyen érzékelő is megfelel, mert a pontos helyzetfelvételt egy másik érzékelő fogja végezni.

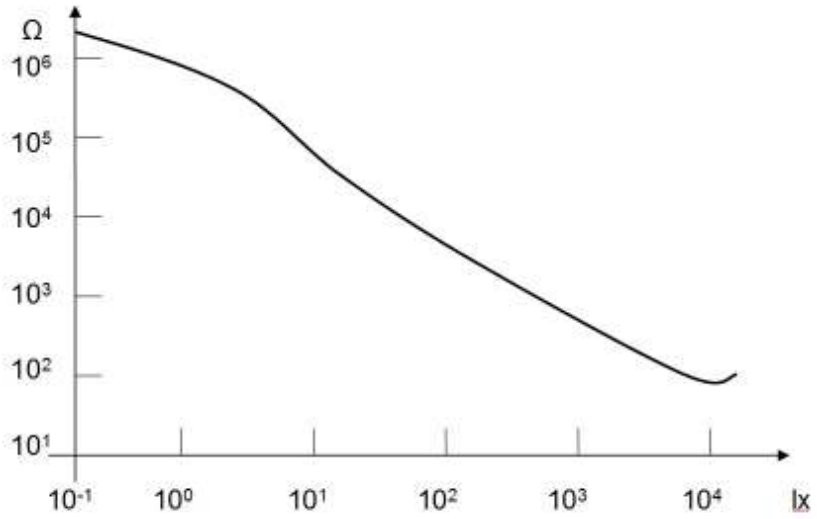
4.2. Optikai érzékelők

Az ipari irányítástechnika szinte minden területén találkozhatunk optikai érzékelőkkel. Működési elvük a fényvisszaverődésen illetve a félvezető elemek fényérzékenységén alapszik. Ennek megfelelően két nagy csoportra oszthatjuk őket:

1) Fényérzékenységen alapuló érzékelők,
    a) fotoellenállás,
    b) fotodióda,
    c) fototranzisztor
2) Fényvisszaverődés elvén működő érzékelők.
    a) optocsatoló,
    b) optikai kapuk,
    c) fényfüggönyök.

4.2.1. Fotoellenállások

A fotoellenállások olyan záróréteg nélküli speciális anyagokat tartalmazó félvezető elemek, amelyek villamos ellenállása fény hatására változik, rendszerint csökken. Anyaga szelén, ólom szulfid, kadmium szulfid vagy ólom szelenid. A következő ábrán a fotoellenállás jellegzetes karakterisztikáját láthatjuk. (4.2. ábra)

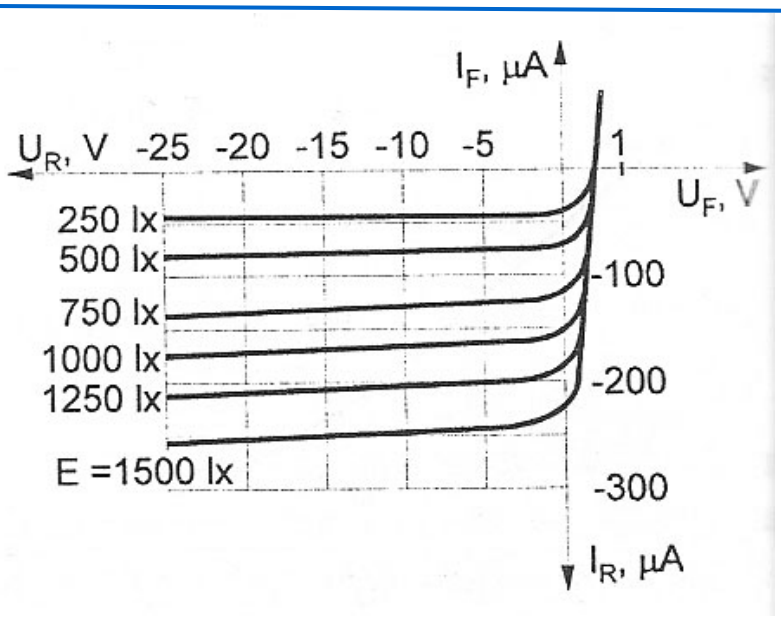


4.2. ábra. A fotoellenállás megvilágítás-ellenállás karakterisztikája

Látható, hogy a teljes sötétségbeli MΩ nagyságrendű ellenállás érték 1000 lux megvilágításnál már néhány száz ohm nagyságrendűre csökken. A karakterisztika nem teljesen lineáris, de lineáris szakasza jól használható fényérzékelésre, ott ahol az irányítás nem igényli a gyors változások érzékelését. Az ellenállás-változás ugyanis egyfajta tehetetlenséggel rendelkezi, azaz nem tudja követni a gyors változásokat.

4.2.2. Fotodióda

A fotodiódák működése a Si vagy Ge alapanyagú félvezető anyagok azon tulajdonságán alapszik miszerint a záróréteg megvilágítása befolyásolja a dióda záróirányú áramát. Megvilágítás hatására a záróirányú áram arányosan növekszik. (4.3. ábra)



4.3. ábra. A fotodióda jelleggörbéje. [10]

A fenti ábrán jól látható, hogy a megvilágítás hatására a dióda inverz irányú árama növekszik. Hátránya, hogy viszonylag kicsi, néhány száz mikroamper nagyságrendű áramokat kapunk. Ez sok esetben erősítést igényel, amely bonyolítja az érzékelő alkalmazását. A fotodióda legfontosabb jellemzője a fényérzékenység. Mértékegysége a *µA/lx*.

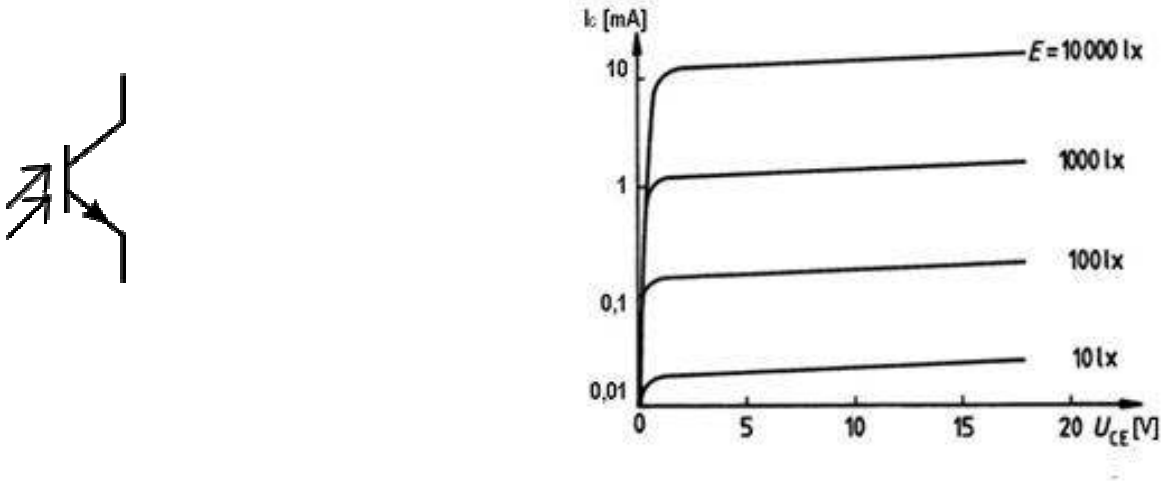
$$S = \frac{I_R}{E}\left[\frac{\mu A}{lx}\right] \tag{4.1}$$

Egyéb fontosabb jellemző adatok: *sötétáram* értéke *1nA*, a maximális érzékenység *hullámhossza 0,85 µm*, a *határfrekvencia 1 MHz*. [10]

4.2.3. Fototranzisztor

A fototranzisztorok olyan n-p-n vagy p-n-p struktúrájú bipoláris tranzisztorok, amelyeknek bázis-kollektor záróréteg fotodiódaként működik és megvilágítható. Fény hatására a bázis-kollektor zárórétegben töltéshordozók keletkeznek, vagyis megnő az I_{CB0} záróirányú árama. Ez bázisáramként jelentkezik anélkül, hogy a bázis-emitter záróréteget polarizálnánk. A bázis munkapontját nem szükséges beállítani, ezért a legtöbb esetben a bázis nincs is kivezetve. Érzékenysége jóval nagyobb, mint a fotodiódáé, mert a fény hatására létrejövő bázisáram felerősítve jelenik meg a kollektoron.

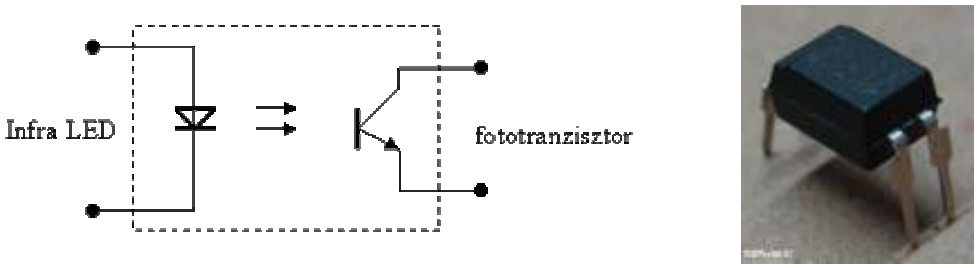
Áramköri jelölése és jelleggörbéje a 4.4. ábrán látható. A kollektor áram 1000 lx megvilágításnál már milliamper nagyságrendű, vagyis jóval nagyobb, mint a fotodióda árama.



4.4. ábra. A fototranzisztor áramköri jelölése és karakterisztikája

4.2.4. Optocsatolók [10]

Az optocsatolók vagy más néven fénycsatolók egy fénykibocsátó diódából (LED) és egy fototranzisztorból állnak. Külső fényhatástól elzárva, integrált áramkörös formában gyártják. (4.5. ábra) A jobb hatásfok elérésének céljából a LED infravörös tartománybeli fényt bocsát ki. Nagyobb kimeneti áramerősség elérésének érdekében gyakran Darlington fokozatos fototranzisztort használnak.



4.5. ábra. Az optocsatoló felépítése és kivitelezési formája

Működése egyszerű. Ha a fénykibocsátó diódán keresztül nincs áram, a fototranzisztor bázisa nem kap megvilágítást, így a kollektor áram is nulla. Ha megfelelő nagyságú áram megy át a LED diódán, az fényt bocsát ki és megvilágítja a fototranzistor bázisát. A kimeneten megfelelő áramköri kapcsolásban megjelenik a kollektor áram.

Az optocsatoló legfontosabb jellemzője a *csatolási tényező*, amely a kimeneti és a bemeneti áram hányadosa. Ennek tipikus értéke egy fototranzisztoros változatnál $\alpha = 10 – 300$, Darlington-fototranzistor esetén $\alpha = 100 – 1000$.

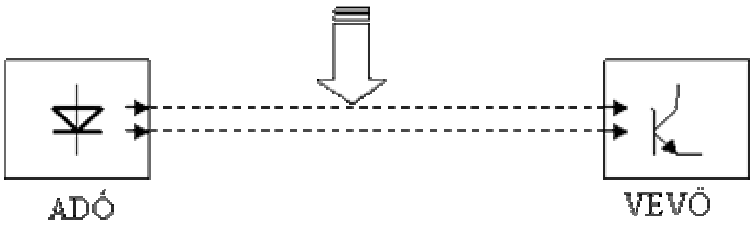
$$\alpha = \frac{I_{ki}}{I_{be}} \tag{4.2}$$

A csatolási tényező helyes megválasztása, biztosítja az optimális működési feltételeket az optocsatoló számára. A bemeneti áram növelése csak addig indokolt, ameddig a kimeneti áram el nem éri a maximális értéket az adott áramkörben. További bemeneti áram növelés teljesen feleslegessé válik a kimenet szempontjából.

Egyszerű felépítése miatt az optocsatolót elterjedten alkalmazzák az irányítástechnika minden területén ott, ahol szükséges két áramkör galvanikus elválasztása. A 4.5. ábrán jól látható, hogy a bemeneti és kimeneti áramkörök között csak optikai kapcsolat van.

4.2.5. Optikai kapuk (fotocellák)

Optikai kapuk segítségével különböző nem átlátszó tárgyak jelenlétét vagy hiányát lehet detektálni olyan helyen, ahol nincs más akadály a tárgy és az érzékelő között. $\lambda = 880$ *nm*-es infravörös tartományban működnek a legjobban, de ha láthatóvá szeretnénk tenni a fénysugarat, akkor a vörös, $\lambda = 660$ nm-es hullámhossz a legmegfelelőbb. Alapvetően két változat terjedt el: az egyutú fénykapu és a reflexiós fénykapu. Az egyutú fénykapu esetében külön egységet képez az adó és a vevő. A közöttük lévő egyenest átszelő tárgy ilyenkor érzékelhető. (4.6. ábra)

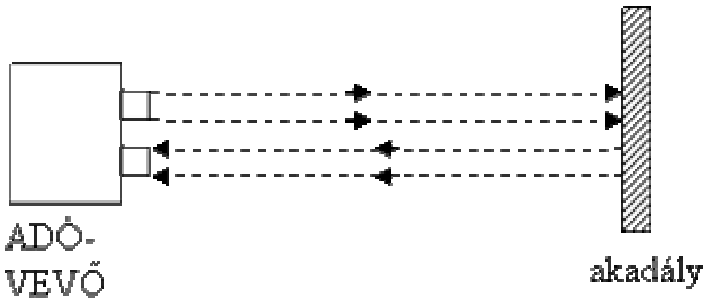


4.6. ábra. Egyutú fénykapu működési elve.

Az adó és a vevő közötti távolság általában néhány méter, de akár száz méter is lehet. Érzékelési gyakorisága viszonylag alacsony, általában 20 Hz – 10 kHz között.

Az egyutú fénykapu egyik kiterjesztett változata a fényfüggöny. Egymás fölött egyvonalban több adót és vevőt helyeznek el. Ezeket főleg szerszámgépek, robotok, gyártócellák munkaterületének elhatárolására használják, ott ahol ezek mozgása illetéktelen személyek balesetét okozhatják. A fényfüggöny útját keresztező tárgy érzékelése a balesetek elkerülése végett azonnal leállíthatja a gép mozgó elemeit.

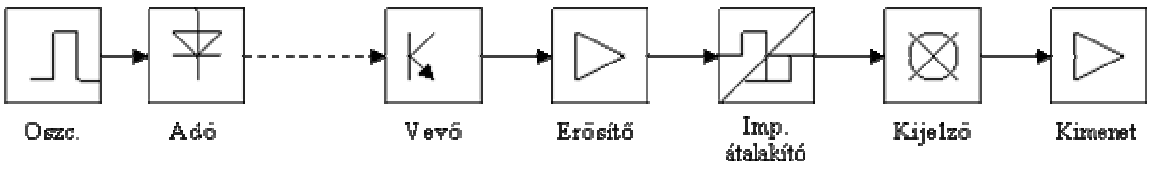
A reflexiós fénykapu esetében az adó és a vevő egy egységben foglal helyet. Működési elve a kibocsátott fényimpulzusok az akadályról történő visszaverődésén alapszik. (4.7. ábra). Ha az érzékelési tartományon belül nincs akadály, a fénysugarak nem verődnek vissza. A környezetből származó fények zavaró hatásának kiküszöbölése, csökkentése érdekében az optikai jelet modulálják. A vevő az adó ütemével össze van hangolva. Infraérzékelők esetében további javulást érnek el fényszűrők alkalmazásával.



4.7. ábra. A reflexiós fénykapu működési elve.

Fontosabb jellemzői: érzékelési távolság *10 – 20 m*; működési frekvencia *10 – 1000 Hz*; kimeneti áramerősség *100 – 500 mA*.

Elvi felépítési vázlatát a 4.8. ábrán láthatjuk.



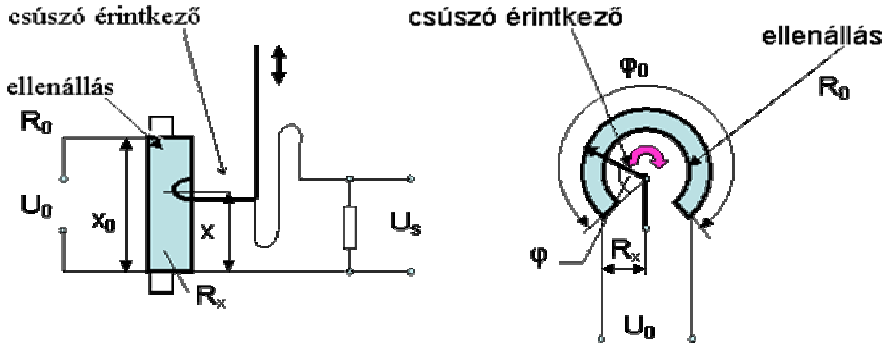
4.8. ábra. A reflexiós fénykapu felépítési vázlata

4.2.6. Ellenállás-változáson alapuló érzékelők [4]

Az ellenállás-alapú érzékelők közös jellemzőjük, hogy a bemenő jelként érzékelt fizikai mennyiség hatására mindig ellenállás-változás jön létre, amely aztán könnyen feszültség vagy áramváltozássá alakítható. Leggyakoribb kivitelezési formái a *potenciométeres jelátalakító*, a *nyúlásmérő bélyeg* és a *hőellenállás*.

A potenciométeres jelátalakítók lineáris mozgás, elmozdulás illetve szögelfordulás érzékelésére alkalmasak. Felépítésük és mérési elvük a 4.9. ábrán látható. A legegyszerűbb

esetben a mérendő elmozdulás vagy elfordulás egy csúszóérintkezőt mozgat egy lineáris vagy kör alakú mérőellenálláson.



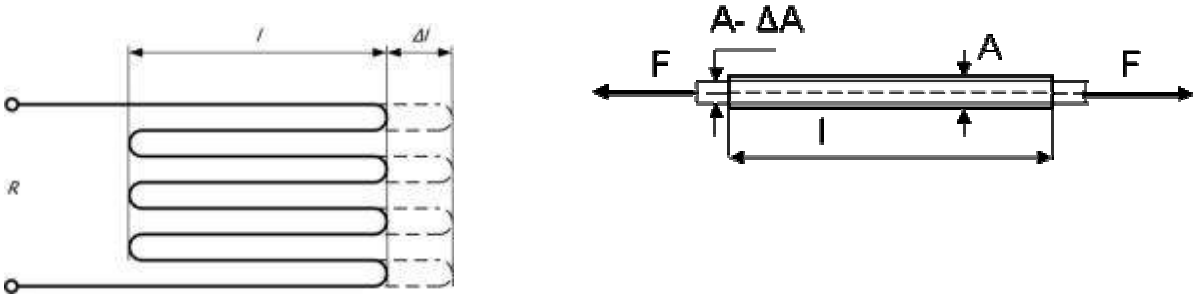
4.9. ábra. Potenciométeres jelátalakítók (*forrás: http://e-oktat.pmmf.hu/irtech2*)

A letapogatott R ellenállás értéke arányos az x elmozdulással. Az x_0 véghelyzethez R_0 ellenállás tartozik. Felírhatjuk az adott csúszkához tartozó R meghatározását:

$$R_x = \frac{x}{x_0} \cdot R_0 \qquad\qquad R_x = \frac{\varphi}{\varphi_0} \cdot R_0 \qquad (4.3)$$

A fenti összefüggés viszont csak akkor igaz, ha az érzékelő kimenetére kapcsolt terhelés ellenállása jóval nagyobb, mint az R_0 ellenállás. Ellenkező esetben a 4.3 összefüggés már nem tekinthető lineárisnak.

A fémek rugalmas deformációinak mérésére vagy mérőcellákban használják a *nyúlásmérő bélyegeket*, más néven *tenzoellenállásokat*. A bélyeg elnevezés onnan ered, hogy a deformációt szenvedő acélszerkezetre (próbatestre) ragasztással rögzítették. Az így rögzített nyúlásmérő bélyeg ellenállás huzala terhelés hatására a próbatesttel együtt megnyúlik, keresztmetszete pedig csökken. (4.10. ábra)



4.10. ábra. A nyúlásmérő bélyeg alakváltozása terhelés hatására

A Δl deformáció hatására mérhető ellenállás a következő összefüggéssel határozható meg:

$$R_{\Delta l} = \rho \cdot \frac{n \cdot (l \pm \Delta l)}{A \mp (\Delta A)} \tag{4.4}$$

Ahol ρ a huzal fajlagos ellenállása, l a huzal hossza, A a huzal keresztmetszete, Δl a hosszváltozás, ΔA pedig a keresztmetszet változása.

A nyúlásmérő bélyegek

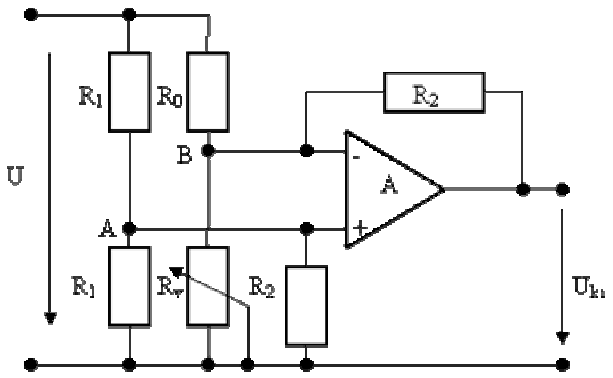
különböző névleges ellenállással (R_0) készülnek. A leggyakoribb értékek: R_0 = 120 Ω, 300 Ω, 350 Ω, 600 Ω, 1000 Ω. A gyakorlatban a relatív megnyúlási értéket ($\Delta R/R_0$) szokás használni, amelyet a következő összefüggésekkel adhatunk meg:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon \qquad k = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} = 2 \cdots 2{,}7 \qquad \varepsilon = \frac{l - l_0}{l} \cdot 100\% \tag{4.5}$$

ahol k a bélyegállandó (a gyártó megadja), ε pedig a fajlagos megnyúlás.

Ellenálláshuzal alapú nyúlásmérő bélyegeknél a fajlagos ellenállás nem változik, ezért a bélyegállandó meglehetősen kicsi. Félvezető alapú nyúlásmérő bélyegeknél, ahol a terhelés hatására főleg a fajlagos ellenállás változik, ez az érték elérheti a 100-at is.

A viszonylag kismértékű ellenállás-változás miatt a nyúlásmérő bélyeg kivezetéseit Wheatstone hídba kapcsolják, és műveleti erősítőhöz illesztik. (4.11. ábra). Az erősítő kimenetén a feszültség már felhasználható és a 4.6. összefüggéssel határozható meg.

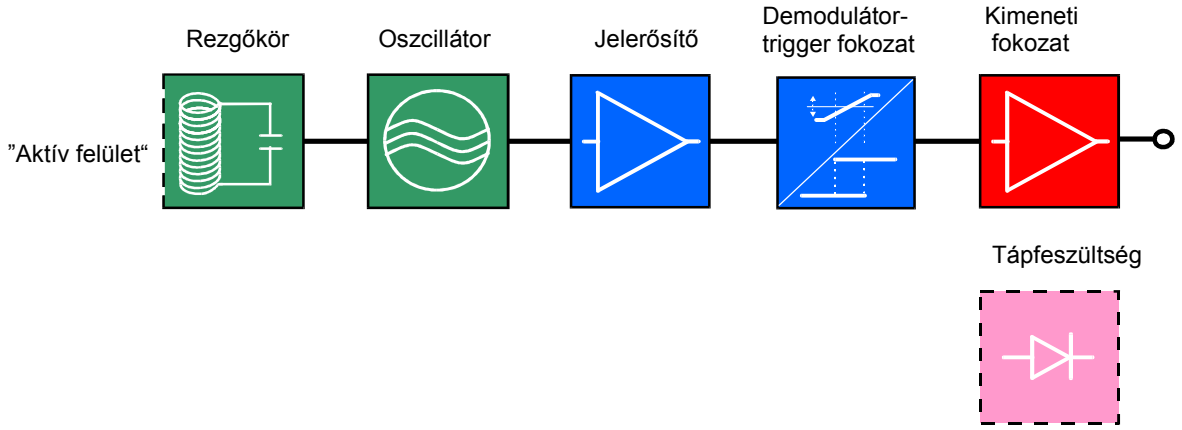


4.11. ábra. Wheatstone hídba kapcsolt nyúlásmérő bélyeg

$$U_{ki} = U_{AB} \cdot A = U \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2 + \frac{\Delta R}{R_0}} \right) \cdot A \tag{4.6}$$

4.2.7. Induktív érzékelők [11]

Az induktív érzékelők többnyire fémtárgyak jelenlétét érzékelik. Ezért gyakran közelítéskapcsolónak hívják. A tápfeszültség bekapcsolásakor az oszcillátortekercs által generált induktív mező jelenik meg az érzékelő aktív felületén. Fémtárgy közelében a mágneses permeabilitás változásának hatására az érzékelőbe épített LC rezgőkör tekercsének induktivitása is megváltozik. Az induktivitás változásának hatására a beépített oszcillátor amplitúdója csökken. Ennek oka a fémtárgyban indukált örvényáramok által okozott energia-elvétel. Az oszcillátor szinuszos rezgését egy demodulátor egyenirányítja és a triggerfokozat kiértékeli. Attól függően, hogy a küszöbérték alatt marad vagy fölé kerül, ad egy bináris kapcsoló-jelet. A 4.12. ábrán az induktív közelítéskapcsoló tömbvázlata látható.



4.12. Az induktív közelítéskapcsoló felépítése

A kapcsolási távolság függ a fémtárgy anyagának elektromos vezetőképességétől, mivel a kisebb ellenállás kisebb örvényáram-veszteséget okoz. A névleges kapcsolási távolságot egy szabványos, 1mm vastag St37 -es acéllemez próbatesttel határozzák meg. A lemez négyzet alakú, oldalhosszúsága vagy az érzékelő aktív felületének átmérőjével, vagy a névleges kapcsolási távolság háromszorosával egyenlő. A két érték közül a nagyobbat kell figyelembe venni a próbatest méretének megválasztása során. Az acéltól eltérő anyagoknál úgynevezett redukciós tényezőt alkalmazunk.

4.1. táblázat. Néhány fontosabb fém redukciós faktora

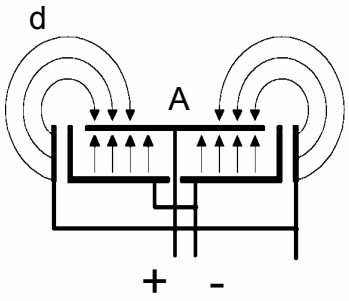
Anyag	Redukciós faktor
Acél	100%
Réz	0,25-0,4%
Alumínium	0,35-0,5%
Sárgaréz	0,35-0,5%

Az induktív közelítéskapcsolók kis módosítással analóg útmérőként is használhatók. A módosítás lényege, hogy a trigger fokozat helyett a demodulált feszültséget egy jelformáló erősítő fokozatba vezetik, amely 0 – 10 V-os vagy 4 – 20 mA-es analóg kimenet biztosít. A redukciós faktornak köszönhetően az ilyen típusú útmérők alkalmasak különböző fémek azonosítására. Ha az érzékelőt megfelelő távolságban rögzítjük a próbatesttől, akkor a különböző fémek jelenléte a kimeneten különböző feszültség vagy áramértéket fog adni.

4.2.8. Kapacitív érzékelők

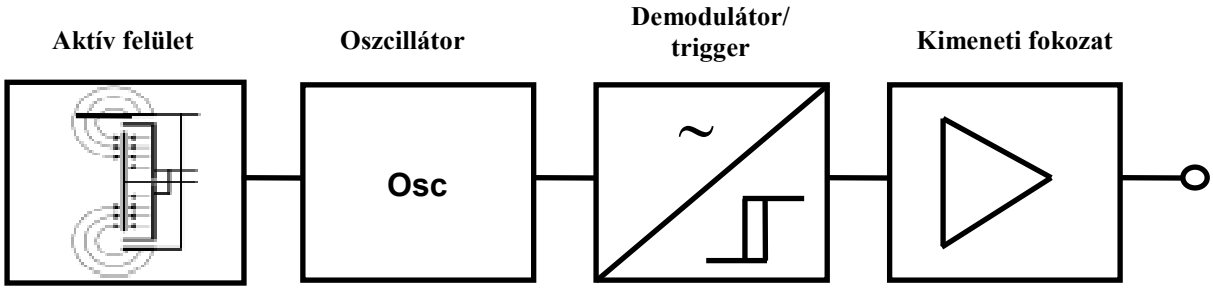
A kapacitív érzékelők működési elve a kondenzátor kapacitásváltozásán alapszik. Egy kondenzátor kapacitása függ a közeg elektromos permittivitásától, a fegyverzetek felületétől és a közöttük lévő távolságtól. Ennek köszönhető a kapacitív érzékelők széleskörű alkalmazási területe. Mivel a különböző anyagoknak más és más az elektromos permittivitása, a kapacitív érzékelőket leggyakrabban közelítéskapcsolóként használják. Előnye az induktív érzékelőkkel szemben, hogy bármilyen tárgy jelenlétét érzékelik.

A kapacitív érzékelők aktív eleme egy kondenzátor, amely egy tárcsa alakú elektródából és egy, az aktív felületet határoló kehelyformájú félig nyitott fegyverzetből áll.



4.13. ábra. A kapacitív közelítéskapcsoló működési elve

Akár fém, akár elektromosan szigetelő anyag kerül az aktív zónába, az kapacitásváltozást okoz. Folyékony, szemcsés és porított anyagokat kimutatására is alkalmas. A kondenzátor egy RC-oszcillátor része, amely úgy van méretezve, hogy akkor rezeg be, ha ez a kapacitásváltozás bekövetkezik. Míg az induktív érzékelőkre az amplitúdómoduláció jellemző, itt a frekvencia változik. A demodulátor a frekvencia változását feszültség változássá alakítja, amelyet a trigger fokozat a kimenet állapotát határozza meg. (4.14. ábra).



4.14. ábra. A kapacitív közelítéskapcsoló felépítési vázlata

A kapacitív érzékelők kapcsolási távolsága általában 2 – 20 mm között van. Ez függ a tárgy anyagától, méretétől és formájától. A legtöbb kapacitív érzékelőn található egy potenciométer, amelynek segítségével állítani lehet a szenzor érzékenységét. Ez lehetővé teszi bizonyos anyagok detektálásának elfojtását. Így pl. lehetővé válik a folyadékszint változásának érzékelése vizes oldatok esetén egy műanyag tartály falán keresztül.

5. VEZÉRLÉSTECHNIKAI ALAPKAPCSOLÁSOK

Az érzékelők és irányítóelemek jelei alapján, folyamatokba történő beavatkozásokhoz szükséges döntéshozatalokat meghatározó rendelkező jeleket a rendelkező szerv állítja elő. Ez képezi a vezérlés legbonyolultabb részét. A rendelkező szerv felépítése és műszaki megvalósítása nagymértékben függ a vezérlés bonyolultságától. Nem túl bonyolult vezérléseket akár nagyon egyszerűen, akár klasszikus módon, relés érintkezős megoldásokkal is készíthetünk. Bonyolultabb vezérléseket elektronikusan digitális áramkörökkel vagy programozott módon célszerű elkészíteni. Ennek megfelelően a vezérléstechnikai megoldásokat két nagy csoportra oszthatjuk:

- Huzalozott vezérlések
- Programozott vezérlések

Függetlenül attól, hogy milyen megoldást választunk, a rendelkező jelek létrehozása a legtöbb esetben vezérlési állapotegyenletek alapján vagy ütemterv szerint történik.

5.1. Huzalozott vezérlések

Huzalozott vezérlésről akkor beszélünk, amikor a vezérlő kivitelezési megoldása nem teszi lehetővé, vagy csak nagyon körülményesen módosítható a rendelkező jel, ha a vezérlési feltételeket változtatni szeretnénk. Vagyis egy ily módon kialakított rendelkező szerv csak az előre megtervezett vezérlési követelményeket képes maradéktalanul teljesíteni. A vezérlő áramkörök módosítása gyakorlatilag nem kivitelezhető. Elnevezését onnan kapta, hogy a klasszikus relés vezérléseknél, a különböző relék érintkezőinek összehuzalozásával valósult meg a tervezett logika. De hasonló a helyzet, amikor digitális áramkörökkel épül a vezérlés, csak ebben az esetben az áramkörök összehuzalozása a nyáklapon történik.

5.1.1. Érintkezős vezérlések áramútterve [3]

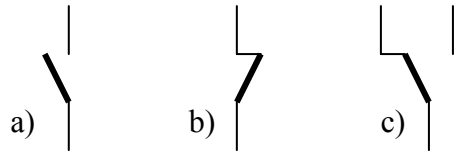
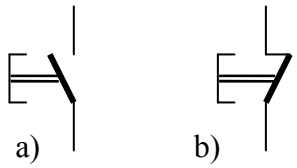
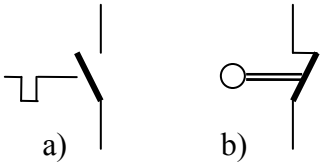
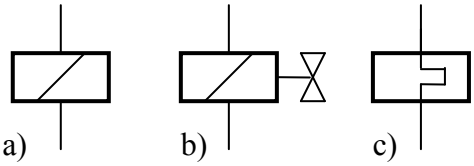
A klasszikus relés vezérlések fontos dokumentumát képezi az úgynevezett áramútterv. Egyaránt alkalmas a működés tanulmányozására vagy a kész berendezésen ellenőrző mérések végzésére, hibakeresésére.

Az áramútterv jellegzetessége, hogy benne az egyes áramköri elemeket úgy ábrázoljuk, hogy az áramkör tápfeszültségének pozitív pólusától vagy a fázisvezetőtől kiindulva a negatív pólusig vagy a nullvezetőig vezetékkeresztezés nélkül jussunk el. A rajzon felülről lefelé az egyes áramkörök lehetőleg a vezérlési műveletek logikájának megfelelően kövessék egymást. Lent, utolsó elemként rendszerint valamilyen beavatkozó (relé, mágneskapcsoló tekercsei, stb.) szerepelnek

. Ez folytatódik időbeli sorrendben ballról jobbra, akár több oldalon keresztül.

Az áramútterv jelölései két csoportra oszthatók: *rajzjelek* és *tervjelek*. A készülékek rajzjeleit mindig nyugalmi (nem működtetett) úgynevezett raktári állapotban ábrázoljuk. A működtetett helyzetet mindig kikövetkeztetjük a rajzból, de nem ábrázoljuk. A következő táblázatban (5.1. táblázat) néhány gyakrabban használt elem rajzjele látható.

5.1. táblázat. Gyakrabban használatos rajzjelek

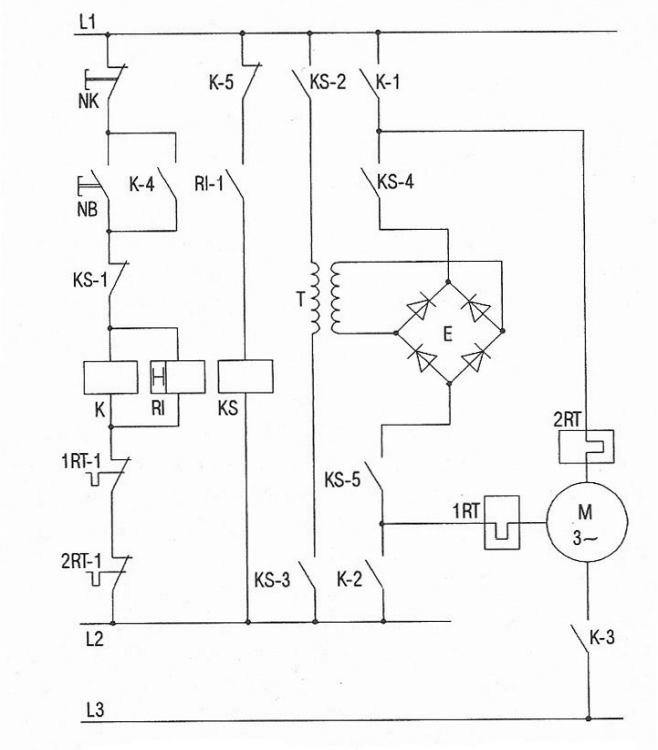
Érintkező általános jelölése: a) záró (normál nyitott, NO) b) bontó (normál zárt, NC) c) váltó	
Nyomógomb: a) záró (normál nyitott, NO) b) bontó (normál zárt, NC)	
Egyéb érintkezők: a) hőrelé érintkezője b) végálláskapcsoló	
Beavatkozó elemek: a) relé, mágneskapcsoló működtető tekercs b) mágnesszelep c) hőrelé tekercs	

A tervjelek első betűje általában az elemnek a rajzjelben is szimbolizált fajtájára utal (pl. R relé, K kapcsoló, N nyomógomb stb.). A további betűk az elemnek a vezérlésben betöltött szerepét mutatják (pl. B be, K ki, I indító, G gerjesztő stb.). Ha több azonos funkciót betöltő elem is van, akkor a betűk elé írt számmal tudjuk őket megkülönböztetni. A tervjel után pedig kötőjellel elválasztott számmal jelöljük, ha ugyanannak a készüléknek több elemét is feltűntetjük. Például a 3. számú indító nyomógomb 2. számú érintkezőjének jelölése: *3NI-2*, vagy a 8. számú mágneskapcsoló 5. számú segédérintkezője: *8MK-5*.

Megjegyzés: Természetesen az előbbiektől eltérő jelöléseket is lehet használni, csak egyértelmű legyen, hogy az adott elem melyik készülékhez tartozik.

5.1.2. Példa áramúttervre [3]

Az 5.1. ábrán egy háromfázisú aszinkronmotor indítását és dinamikus fékezését vezérlő áramkör áramútterve látható.



5.1. ábra. A háromfázisú aszinkronmotor dinamikus fékezésének áramútterve

A motort a K mágneskapcsoló K-1, K-2, K-3 főérintkezői kapcsolják a háromfázisú hálózati feszültségre az NB indítógomb megnyomása után. A motor kikapcsolása az NK bontó

érintkezős nyomógombból történik, de ugyanezt eredményezhetik az 1RT-1 és 2RT-1 hőrelék érintkezői is. A kikapcsoláskor megvalósuló fékezést a KS mágneskapcsoló végzi, amelynek időzítése a K mágneskapcsolóval párhuzamosan kötött RI kikapcsolási késleltetésű időrelé érintkezője kapcsol ki. A KS mágneskapcsoló érintkezői (KS-4, KS-5) ilyenkor a motor két fázistekercsére egyenfeszültséget kapcsolnak. Az RI időrelé időzítését úgy kell megválasztani, hogy a fékezés vezérlése még a teljes leállás előtt befejeződjön, azért, hogy ne károsítsa a motor tekercseit.

5.1.3. Tervezési lépések

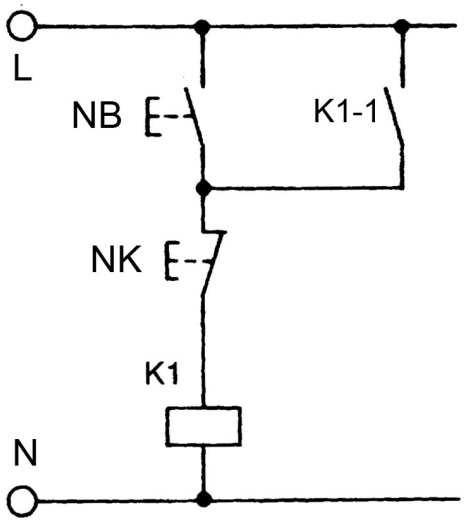
1. Az áramútterv elkészítéséhez először ki kell választani a feladat megvalósításához szükséges vezérlőelemeket.
2. A vezérlőelemeket felhasználva, logikusan átgondolva a vezérlési fázisok működési feltételeit és sorrendjét, meg kell határoznunk a beavatkozók (relék, mágneskapcsolók, jelzőlámpák, stb.) logikai állapotegyenleteit. Minden egyes beavatkozóhoz legalább egy vezérlési állapotegyenletet kell hozzárendelnünk.
3. Az állapotegyenletek alapján, kialakítva az elemek között a megfelelő logikai kapcsolatokat, elhelyezzük az elemeket a tápfeszültség két vonala között.
4. Ha szükséges használhatunk segédérintkezőket, például *öntartásra*. (A működtetett relé vagy mágneskapcsoló segédérintkezőjét párhuzamosan kapcsoljuk az indító nyomógombbal.)
5. Biztonsági okokból a vészkikapcsoló, vagy egyéb biztonsági elem érintkezőjét közvetlenül a tápfeszültség vonalához csatlakoztatva helyezzük el.
6. A rajz minden egyes elemét jól azonosítható tervjelekkel kell ellátni.
7. A rajzon minden elemet kötelezően nyugalmi állapotban kell ábrázolni.

5.1.3. Alapkapcsolások

Ebben a fejezetben az érintkezős vezérléseknél leggyakrabban alkalmazott kapcsolások közül az *öntartó* és a *keresztretesz* kapcsolást fogom bemutatni.

Az 5.2. ábrán látható kapcsolás szinte minden nyomógombról történő indításkor megtalálható. Azért, hogy a vezérlés fennmaradjon a nyomógomb elengedése után is, a nyomógomb záró

érintkezőjével párhuzamosan kapcsoljuk a működtetni kívánt mágneskapcsoló egyik segédérintkezőjét.



5.2. ábra. Öntartó kapcsolás

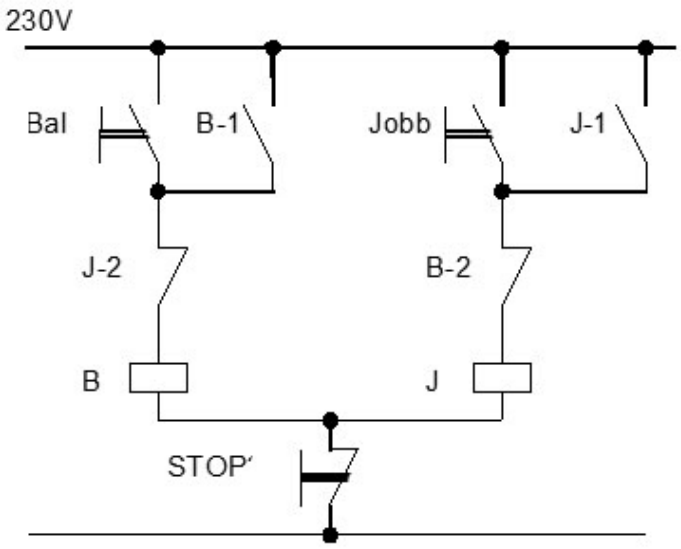
Az NB nyomógomb megnyomásakor, az NK nyomógomb bontó érintkezőjén keresztül záródik a K1 mágneskapcsoló tekercsének áramköre. Ebben a pillanatban a mágneskapcsoló K1-1 segédérintkezője is záródik. Ekkor a nyomógomb elengedése már nem módosítja az áramkör állapotát. Ez a helyzet mindaddig fennmarad, ameddig az NK nyomógomb működtetésével a K1 tekercsének áramkörét meg nem szakítjuk.

<u>*Megjegyzés:*</u> Az NK bontó érintkezős nyomógomb működtetését *elengedésre kitüntetett kapcsolásnak* nevezik. Az elnevezés onnan adódik, hogy a nyomógomb működtetése „elengedi” a mágneskapcsolót.

Az 5.3. ábra a biztonságos irányváltáskor használt keresztretesz kapcsolást mutatja be. A kapcsolás lényege, hogy adott irány indítása csak akkor lehetséges, amikor a másik irány működtetése befejeződött.

Feltételezzük, hogy a *Bal* nyomógombbal kiválasztottuk és elindítottuk a „Bal” irányt. Ekkor a *B* relé behúz, *B-1* záró érintkezője biztosítja az öntartást, *B-2* bontó érintkezője pedig megakadályozza a „Jobb” irány indítását. Az irányváltás csak akkor lesz lehetséges, amikor a *STOP* nyomógombból megszakítottuk a *B* relé tekercsének áramkörét. Ugyanez a helyzet áll fent, amikor a „Jobb” irány van kiválasztva. Ekkor a *J* relé *J-2* bontó érintkezője akadályozza meg a „Bal” irány indítását. Feltevődik a kérdés, hogy mi történik, ha mindkét indítógombot

egyszerre működtetjük? Valójában olyan, hogy „egyszerre” nem létezik. Bármilyen ügyesek is legyünk, valamelyik nyomógombot biztosan, hamarabb fogjuk működtetni, mint a másikat és ez elég ahhoz, hogy megakadályozza a másik irány kiválasztását.



5.3. ábra. Keresztretesz kapcsolás

A kapcsolás az elnevezését onnan kapta, hogy az adott irányt működtető relé érintkezője sorosan keresztbe van kapcsolva a másik irány vezérlési ágában. A kapcsolás rendkívül egyszerű és biztonságos. Ilyen kapcsolást célszerű használni minden olyan vezérlés esetében, amikor két egymásnak ellentétes művelet egyidejű működését akarjuk megakadályozni.

Hasonló módon lehet megoldani a 3.7.1. fejezetben, a 3.19. ábrán bemutatott háromfázisú aszinkronmotor csillag-delta indításnál azt, hogy még véletlenül se fordulhasson elő, hogy egyszerre egy időben mindkét üzemmód működhessen. Ez ugyanis súlyos zárlatot idézne elő a háromfázisú hálózatban.

5.2. Elektronikus vezérlések

A félvezető alapú elektronikus vezérlések sok tekintetben kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az érintkezős vezérlések. Első sorban ezek nem tartalmaznak mozgó elemeket, kisebb helyet foglalnak, lényegesen gyorsabbak, élettartamuk nagyobb és nem utolsó sorban kisebb a fogyasztásuk.

Az elektronikus vezérlések ugyancsak huzalozott módon készülnek. Az elemeket nyáklapon helyezik le, amelyeket az elektronikus kapcsolási rajznak megfelelően a nyákvezetékek kötnek össze egymással. Az áramköri elemek rendszerint integrált áramkörös logikai kapuk (ÉS, VAGY, NEM, ÉS-NEM, stb.), flipflopok, számlálók, vagy akár léptető regiszterek.

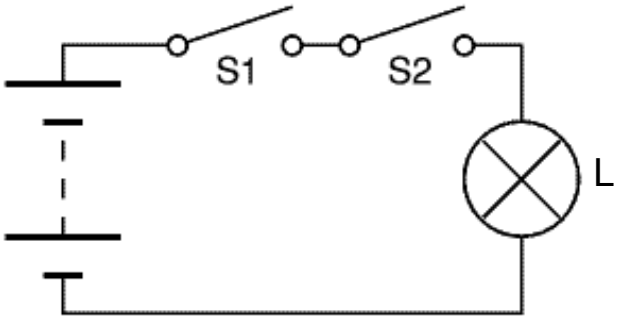
Elektronikus vezérléseket első sorban bonyolult vezérlési logikát megvalósító vezérlések esetében érdemes használni. Az előző fejezetben bemutatott vezérlési példa annyira egyszerű, hogy ebben az esetben az elektronikus vezérlés túl sok előnyt nem jelentene. Mágneskapcsolóra, nyomógombokra, hőrelékre továbbra is szükség lenne. Legfeljebb a kialakított érintkezős logikát és az időrelét lehetne elektronikus áramkörökkel helyettesíteni.

Az elektronikus vezérlések többsége a digitális technikában használt integrált logikai áramkörökkel valósíthatók meg. Ezek közül az ÉS, a VAGY és a NEM logika alapkapcsolásnak számit, ami azt jelenti, hogy bármely tetszőlegesen bonyolult logika eme három alapkapcsolás megfelelő kombinációjával elkészíthető.

A vezérléstechnikában a logikai függvényeket a legtöbb esetben a bemeneti változók felhasználásával algebrai formában adjuk meg, de kifejezhetjük igazságtáblával vagy kanonikus formában.

5.2.1. ÉS (AND) logikai fuggvény

Az ÉS logika soros kapcsolatot jelent kettő vagy több bemeneti változó között. A logikának megfelelően a kimenet állapota akkor lesz aktív, amikor az összes bemeneti feltétel teljesül. A következő 5.4. ábrán az ÉS függvény egyszerű két változós villamos áramköri kialakítását és a hozzárendelhető igazságtáblát láthatjuk.



S1	S2	L
0	0	**0**
0	1	**0**
1	0	**0**
1	1	**1**

5.4. ábra. A soros kapcsolatot megvalósító ÉS logika és igazságtáblája

Az előbbi ábra szerint az *L* lámpa akkor világít, amikor mindkét kapcsoló, az *S1* és az *S2* is zárva van, azaz mindkét bemeneti feltételnek teljesülnie kell ahhoz, hogy a kimenet aktív legyen. A logikát leíró függvény algebrai formája:

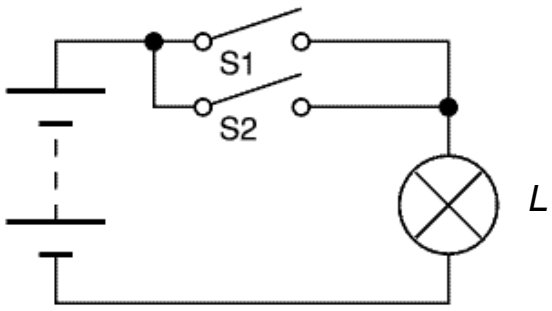
$L = S1 \cdot S2$; vagy általános formában: $L = S1 \cdot S2 \cdot \ldots \cdot Sn$ (5.1)

A kapcsolási rajzokban az ÉS függvény jelölésére az európai és az amerikai szabványt szokás használni (5.5. ábra)

5.5. ábra. Az ÉS függvény áramköri jelölései

5.2.2. VAGY (OR) logikai függvény

A vezérléstechnikában a VAGY logika párhuzamos kapcsolást jelent kettő vagy több bementi elem között. Ebben az esetben a kimenet állapota akkor lesz aktív, ha a bemeneti feltételek közül legalább egy teljesül. Az 5.6. ábrán a VAGY függvény kétváltozós áramköri kialakítását és igazságtábláját láthatjuk.



S1	S2	L
0	0	**0**
0	1	**1**
1	0	**1**
1	1	**1**

5.6. ábra. A VAGY logika és igazságtáblája

Az előbbi ábrán látható, hogy a kimenetet képező *L* lámpa akkor világít, ha legalább az egyik kapcsoló, *S1* vagy *S2*, vagy akár mindkettő zárva van, vagyis a bementi feltételek közül legalább egynek teljesülnie kell. A VAGY logikát leíró függvény algebrai alakja:

$L = S1 + S2$; vagy általános formában: $L = S1 + S2 + \ldots + Sn$ (5.5)

A VAGY függvényt digitális kapcsolási rajzokban az 5.7. ábrán látható módon szokás jelölni.

hagyományos amerikai európai

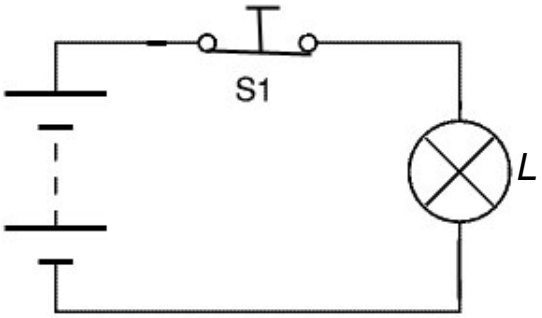
5.7. ábra. A VAGY függvény jelölései

5.2.3. NEM (NOT) függvény

A NEM logikai függvény a digitális technikában invertálást, illetve tagadást jelent. A vezérléstechnikában bontó érintkezőt vagy elengedésre kitüntetett kapcsolást jelent. Vagyis amikor működtetjük az adott bemeneti változót, akkor rendszerint a kimenet inaktívvá válik. Más szóval, ilyen esetben, ha azt akarjuk, hogy aktív legyen a kimenet, az ilyen jellegű bementeket nem szabad működtetnünk. Pl. a *STOP* gombot NEM szabad működtetni, ha indítani akarunk.

Megjegyzés: Míg az ÉS illetve a VAGY függvényeknek legalább két bementi változójuk kell legyen, addig a NEM függvény csak egy bementi változót tartalmazhat.

A következő ábrán (5.8. ábra) a NEM függvény áramköri megvalósítását valamint az igazságtábláját láthatjuk.



S1	L
0	**1**
1	**0**

5.8. ábra. A NEM függvény és igazságtáblája

Az ábrán látható *L* lámpa mindaddig világít, míg az *S1* kapcsolót nem működtetjük.

A NEM függvény változójának tagadását a változó feletti vonallal (negált) jelölik. Algebrai formája a következő:

$$L = \overline{S1} \tag{5.6}$$

A kapcsolási rajzokban a változó tagadását szokás egyszerűen csak egy kis körrel jelölni, vagy az 5.9. ábra szerinti jelöléseket használják.

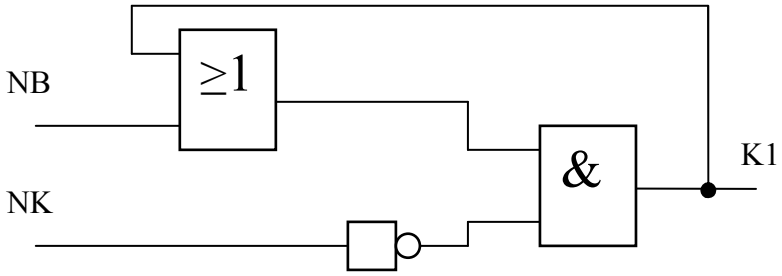
5.9. ábra. A NEM logika jelölései

5.3. Vezérlési állapotegyenletek

Az előző fejezetekben bemutatott logikai alapfüggvények megfelelően kialakított kombinációjával bármilyen bonyolult vezérlési állapotegyenlet leírható illetve megvalósítható. Például az 5.1.3. fejezetben az 5.2. ábrán bemutatott öntartó kapcsolás vezérlési állapotegyenletének algebrai formája a következő:

$$K1 = (NB + K1) \cdot \overline{NK} \tag{5.7}$$

A logikai áramkörökkel való megvalósítása pedig a következő ábrán látható. (5.10. ábra)



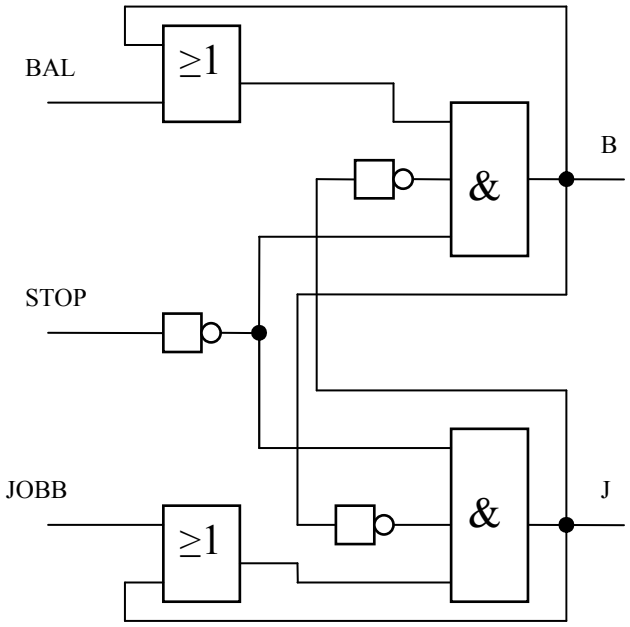
5.10. ábra. Öntartó kapcsolás logikai kapukkal

A logikai áramkörökkel megvalósított öntartás nem igényel semmilyen plusz elemet, a kimenetet egyszerűen visszacsatoljuk a bemeneti VAGY kapuba.

Ugyancsak az 5.1.3. fejezetben az 5.3. ábrán bemutatott keresztkapcsolás vezérlési állapotegyenletei a következők:

$$\begin{aligned} B &= (BAL + B) \cdot \overline{J} \cdot \overline{STOP} \\ J &= (JOBB + J) \cdot \overline{B} \cdot \overline{STOP} \end{aligned} \tag{5.8}$$

A vezérlési állapotegyenletek szerint logikai áramkörökkel megvalósított kapcsolás az 5.11. ábrán látható.



5.11. ábra. Keresztretesz kapcsolás logikai kapukkal

A huzalozott vezérlések működését, vagyis a rendszer logikáját az szabja meg, hogy hogyan vannak összehuzalozva a rendszer elemei. Ha más működést szeretnénk a rendszertől, más módon kellene összehuzalozni. Ez a legtöbb esetben megvalósíthatatlan. Ezért a korszerű vezérlések egyre inkább a *programozható vezérlőket* alkalmazzák. A program könnyen és gyorsan cserélhető. A programozható vezérlők logikáik rugalmasan alakíthatók az igényeknek megfelelően.

6. PROGRAMOZOTT VEZÉRLÉSEK

Napjaink korszerű irányítórendszerei szinte kivétel nélkül valamilyen formában intelligens, programozható vezérlőket használnak. Nagy előnyük ezeknek a rendszereknek, hogy az adott vezérlő, a betöltött vezérlési programnak megfelelően többféle feladat elvégzésére is alkalmas. Használatukkal a gyártás rugalmassá válik. A gyártott termékek a vevői igényeknek megfelelően könnyen módosíthatóak. A termékek korszerűsítése, fejlesztése gyakran a technológia változtatását igénylik. A programozható vezérlésekkel ez is megvalósítható. A technológiai módosítások után a vezérlő programját lecserélik az új technológiának megfelelően. A programozható vezérlők központi egységét rendszerint valamilyen mikroprocesszor vagy mikrokontroller alkotja. Felépítésük a mikroszámítógépeknél is alkalmazott sínrendszeres megoldást követi. Tárkialakításuk viszont eltérő lehet. A legtöbb estben ezek a vezérlők a Harvard-elvű számítógépes struktúrát alkalmazzák, azaz külön egységet képez a programtár és az adattár.

6.1. Mikroprocesszorok

A mikroprocesszor egy olyan áramkör, amely egy tokozaton belül egy valóságos mikroszámítógépet tartalmaz. A mikroprocesszor funkcionális szempontból egy szinkron szekvenciális logikai hálózat. Belső állapota, mint bármely szinkron szekvenciális logikai hálózatnál, az órajel ütemére változik meg. Minél nagyobb az órajel frekvenciája, annál gyorsabban hajtja végre az utasításokat.

A hetvenes évek elején az integrált áramköri technológia magas fokú fejlődése lehetővé tette, hogy néhány négyzetcentiméternyi szilícium lapkán egyre több és több tranzisztort integráljanak. Jelenleg ez több millió tranzisztor 1 cm^2 szilícium felületen.

Az első kereskedelemben is kapható mikroprocesszort az INTEL cég készítette 1971-ben. Az I4004-es egy négybites mikroprocesszor volt. 2300 tranzisztorból épült fel és 29000 számítást volt képes elvégezni egy másodperc alatt. Ezt rövidesen követte az INTEL 8080-as 8 bites

processzora, amely forradalmasította a számítógépek fejlődését. A mikroprocesszorok fejlődési ütemét a 6.1. táblázat foglalja össze.

6.1. táblázat. Az INTEL mikroprocesszorok fejlődése

Típus	Adatsín szélessége	Címsín szélessége	Címezhető tár mérete	Gyártási év
I4004	4	10	1k	1971
I8008	8	16	16k	1972
I8080	8	16	64k	1973
I8085	8	16	64k	1974
I8086	16	20	1M	1978
I80186	16	20	1M	1982
I80286	16	24	16M	1983
I80386	32	32	4G	1985
I80486	32	32	4G	1989
Pentium	32	32	4G	1993-2000
Többmagos	32-64	32-36	4-64G	2005-….

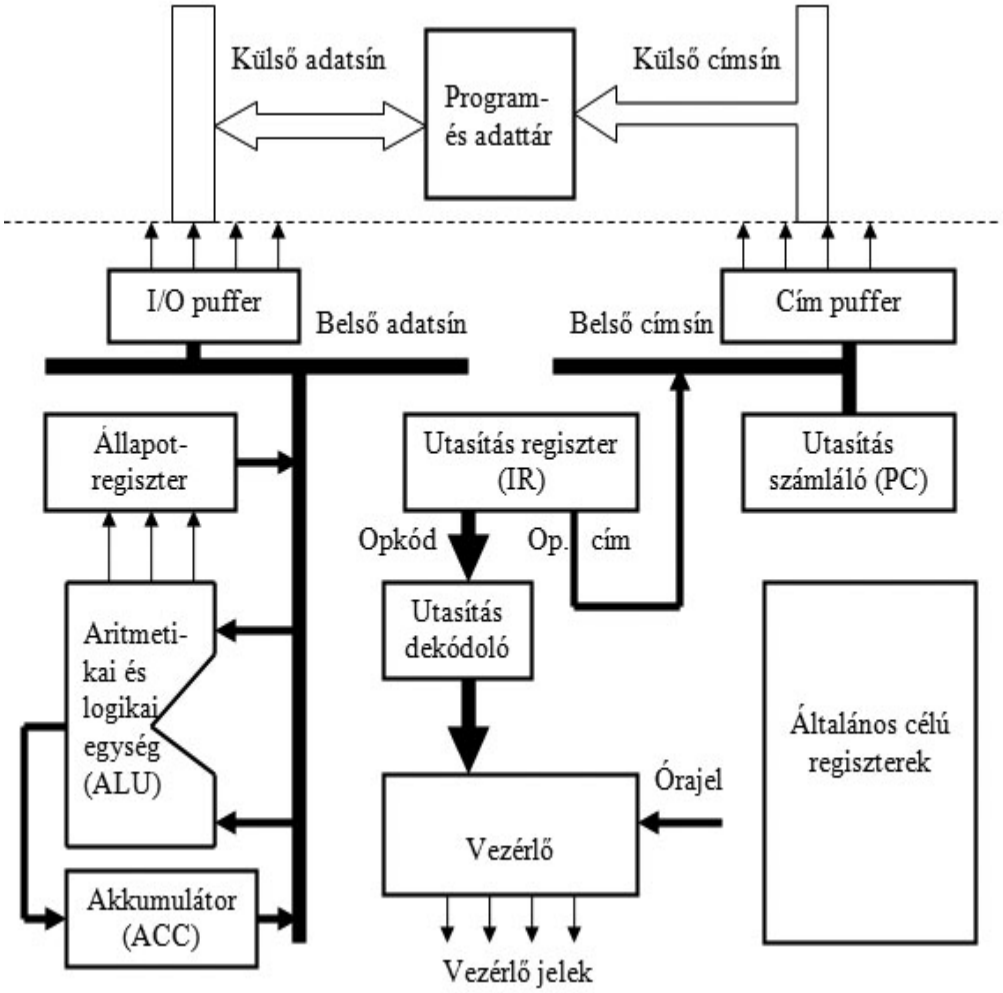
Felépítésük szerint a processzorok CISC (Complex Instruction Set Computer) vagy RISC (Reduced Instruction Set Computer) architektúrájúak lehetnek.

A CISC processzorok előnye a nagyszámú utasításkészlet és a sokféle címzési módban nyilvánul meg. Az alkalmazott vezérlési mód, a mikroprogramozott vezérlési eljárás, minek értelmében a végrehajtás alatt lévő utasítás egy mikroprogramtárban lévő programot indít el. A mikroprogramozott vezérlés hátránya, hogy hosszabb időt és több hardver-erőforrást vesz igénybe a párhuzamosan elvégezhető részműveletek szimultán elvégzéséhez.

A RISC processzorok kifejlesztésénél elsődleges cél volt, hogy kiiktassák a mikroprogramozott vezérlést, ami nem más, mint egy számítógép a számítógépen belül. A felépítés így bonyolult és lassítja az utasítás-végrehajtást. A RISC processzortípusban a mikroprogram helyett sok, gyorsan hozzáférhető regisztert alkalmaznak. Utasításkészlete kevesebb számú, csak a belső regisztereken elvégezhető és egyszerű memóriába író, illetve onnan olvasható utasításokból áll. Az utasítások általában egy órajel alatt végrehajtódnak és egyforma hosszúságúak. Minden bonyolultabb műveletet ezek segítségével kell úgymond

szoftveresen megoldani. Végeredményül több utasításból álló programot kapunk, de a tapasztalat szerint, a bonyolult (sok RISC utasítást igénylő) műveletekre viszonylag ritkán van szükség.

A 6.1. ábrán egy mikroprocesszor általános, egyszerűsített vázlata látható. Három fő egységre oszthatjuk: műveletvégző egység, vezérlő egység és regisztertömb. A processzor funkcionális egységei a belső sínrendszeren keresztül kapcsolódik össze. A sínrendszer fizikailag kialakított vezetékrendszer a mikroprocesszoron belül. Három részre osztható: címsín, adatsín és vezérlősín. A címsín szélessége határozza meg a megcímezhető memória nagyságát. Pl. a 32 bites címsín, 2^{32} azaz 4 Gb nagyságú memóriát címezhet. Az adatsín az adatok szélességét határozza meg. A vezérlősín a vezérlőjelek továbbítására szolgál.



6.1. ábra. Egy mikroprocesszor általános felépítése

6.1.1. Utasításvégrehajtás

A mikroprocesszor egyik legfontosabb feladata a programutasítások végrehajtása. Az utasítás-végrehajtás két fázisra bontható: *utasítás lehívás* (FETCH) és a *végrehajtás* (EXECUTION). A lehívás fázisa alatt a *programszámláló* (PC) regiszter által megcímzett utasítás bekerül az *utasításregiszterbe* (IR). Az utasítás címrészében szereplő címről az ott szereplő operandus az *akkumulátor* regiszterbe (ACC) kerül. A végrehajtás fázisában a *dekódoló* értelmezi az utasítás *műveleti kódját* (opkód), a vezérlő ennek alapján előállítja a *műveletvégző* egység (ALU; Arithmetical, Logical Unit) számára a szükséges vezérlőjeleket. A vezérlőjelek alapján tudja az ALU, hogy milyen műveletet kell elvégezzen. A művelet eredményét az akkumulátorban tárolja felülírva ezzel az ott lévő operandust, de arra már nincs is szükség, ha megvan az eredmény. A műveletvégzéshez sorosan kapcsolódik még az állapotregiszter (FLAG), amely az eredménnyel kapcsolatos információkat tartalmazza. Pl. pozitív vagy negatív az eredmény, zérus-e az eredmény, történt-e átvitel, vagy túlcsordulás, stb.

Megjegyzés: az akkumulátorban lévő eredményt, ha az nem egy további művelet egyik operandusát képezi, akkor célszerű elmenteni regiszterbe vagy memóriába mielőtt újabb operandust töltenénk be.

Az Aritmetikai logikai egység fontosabb műveletei:

- *Aritmetikai műveletek:* összeadás (ADD), kivonás (SUB), összehasonlítás (CP), inkrementálás (INC), dekrementálás (DEC);
- *Logikai műveletek:* ÉS (AND), VAGY (OR), KIZÁRÓ VAGY (XOR), léptetés balra, jobbra (SLA, SRA), forgatás balra, jobbra (RLA, RRA), értékadás (SET), törlés (RES).

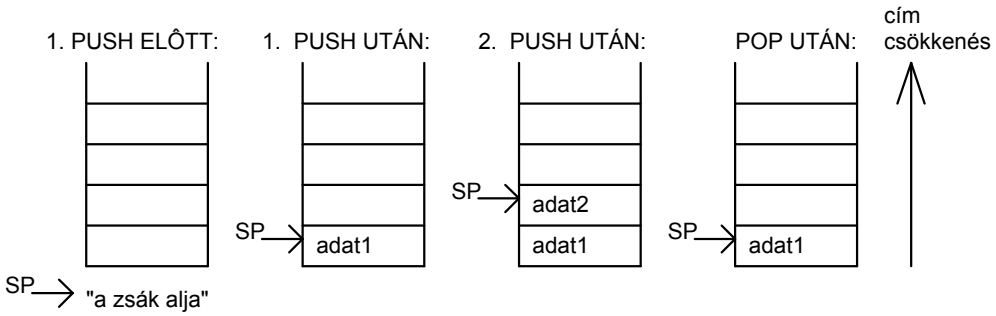
A mikroprocesszor néhány fontosabb további funkciói:

- Perifériakezelés: az I/O eszközökről adatokat vesz át, illetve adatokat továbbít számukra.
- Megszakításkezelés: az érkező megszakításokat prioritásuk szerint kiszolgálja. Ilyenkor megszakítja az éppen futó programot, végrehajtja a megszakítási kérelmet, majd folytatja a programvégrehajtást.
- Kiszámítja a címzési módoknak megfelelő címeket.

- Engedélyezi a sínhasználatot. A sínt mindig csak két egység használhatja. Az egyik legtöbbször a processzor, a másik lehet a memória, vagy valamelyik periféria, de előfordulhat olyan eset is, amikor a processzor lemond a sínhasználatról egy periféria javára pl., amikor az adatokat küld a memóriába. Ezt hívják közvetlen memória-elérésnek (DMA; Direct Memory Access)
- Az órajel alapján szinkronizálja a többi egység működését, előállítja a szükséges vezérlőjeleket.

6.1.2. Megszakításkezelés

A processzor megszakításkezelési stratégiáját egy erre a célra elkülönített memória terület az úgynevezett *veremtár* (Stack) és a *veremmutató* regiszter (Stack Pointer; SP) segíti (6.2. ábra).



6.2. ábra. A veremkezelés és a veremmutató regiszter

A veremmutató regiszter mindig a szabad helyek számát mutatja. Amikor a verem üres a veremmutató regiszter a teljes veremkapacitást mutatja. Amikor megszakításkérés érkezik a processzorhoz, az felfüggeszti az éppen futó programot. Ahhoz, hogy a megszakítás-kiszolgálás után hibátlanul folytassa a programvégrehajtást, a megszakítás kiszolgálás előtt a programhoz tartozó összes adatot elmenti a veremtárba. A veremtár olyan, mint egy zsák, az adatok érkezési sorrendben egymásrapakolódnak. Kivenni belőle csak fordított sorrendben lehet. Ezt hívjuk LIFO (Last In First Out) típusú tárnak. Amikor egy adat bekerül a verembe, a veremmutató dekrementál (csökkenti a tartalmát). A művelet addig folytatódik, míg az összes adat a verembe kerül. Közben érkezhetnek újabb megszakítások, amelyeknél ugyanígy jár el a processzor. A veremtár telítődése kritikus. Amikor az SP = 0 mutat, az hibaüzenetet (Stack overflow) generál. Azt jelenti, hogy a processzor nem tud több megszakítást kiszolgálni. A megszakítások kiszolgálása után a processzor fordított sorrendben visszaveszi a

verembe tett adatokat. A veremmutató minden alkalommal inkrementál (növeli a tartalmát). A művelet akkor zárul hibátlanul, ha a veremtárban nem marad egy adat sem.

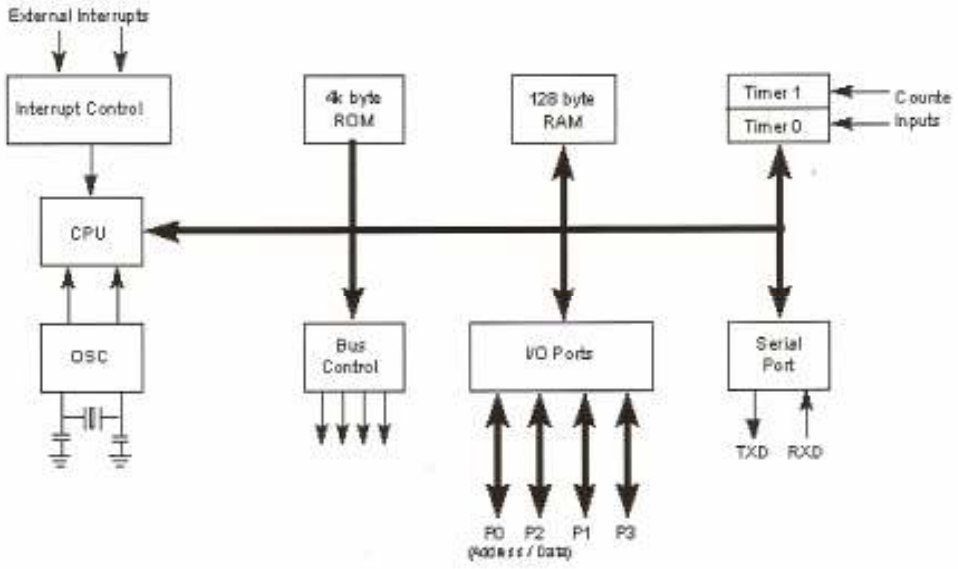
6.2. Mikrokontrollerek

A mikrokontroller tulajdonképpen egy tokozaton belül elhelyezett, önállóan működni képes mikroszámítógép. Felépítése a Harvard elvű számítógépes struktúrát követi, azaz külön tartalmazza a programtárat és az adattárat. Főleg vezérlési célokra fejlesztették ki. Műveletvégző egysége jóval kisebb teljesítményű, mint a mikroprocesszoré, de perifériakezelési funkciói sokkal fejlettebbek, sőt speciális funkciókat ellátó áramkörökkel is rendelkezik. Fontosabb egységei:

- Műveletvégző egység,
- Tároló-áramkörök (programtár, adattár),
- Periféria-áramkörök,
- Időzítő- és számláló-áramkörök,
- Felügyeleti áramkörök (watchdog),
- Sorosvonali (USB) illesztő áramkör.

6.2.1. INTEL 80C51 mikrikontroller

A következő ábrán (6.3. ábra) egy INTEL gyártmányú 80C51-es mikrokontroller tömbvázlatát látjuk.

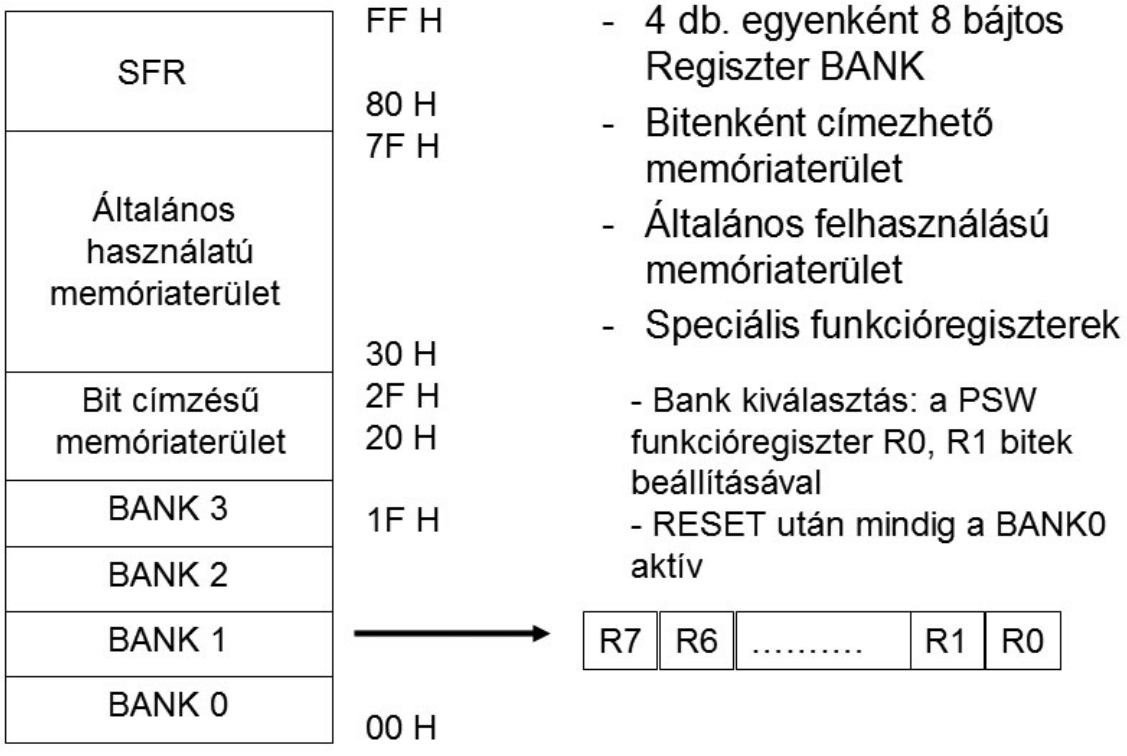


6.3. ábra. INTEL 80C51-es mikrokontroller felépítési vázlata

A mikrokontroller különböző egységei a sínrendszeren keresztül kapcsolódnak egymáshoz. A központi vezérlő és műveletvégző egység az órajelvezérelt CPU. A sínhasználatot a *BUS vezérlő* (Bus control) menedzseli. A buszhasználat stratégiája: egyszerre egyidőben csak két egység kapcsolódhat a sínre. Ez rendszerint a CPU és a tár vagy valamelyik perifériaillesztő egység.

Másik fontos vezérlő egység a *megszakítás-vezérlő* (Interrupt control). Feladata a külvilág felől érkező megszakítások prioritás szerinti rendezése és továbbítása a CPU felé. A CPU miután engedélyezi a megszakítást, felfüggeszti a programvégrehajtást és kiszolgálja a megszakítási kérelmet, majd visszatér a programvégrehajtás folytatásához.

A programtár csak olvasható memória (ROM) típusú. A „csak olvasható” memória viszont ebben az értelemben nem azt jelenti, hogy az ide egyszer beírt vezérlési program többé nem módosítható, hanem azt, hogy a memória megtartja a tartalmát a táplálási feszültség megszűnése után is. Vagyis a beírt program nem törlődik még akkor sem, ha a kontroller hosszabb ideig kikapcsolt állapotban van. A 80C51-es mikrokontroller programtár mérete 4 kbájt. Az operatív tár 128 bájt RAM területet és 128 bájtnyi regiszterterületet jelent. (6.4. ábra).



6.4. ábra. A 80C51-es operatív tárfelosztása

Érdemes megjegyezni, hogy a mikrokontrollerek képesek bizonyos memóriaterületet bitenkét címezni. Ez igencsak lényeges szempont, figyelembe véve azt, hogy a mikrokontrollerek nagyon sok egybites bemeneti illetve kimeneti változóval dolgoznak, így a bitműveletek végzéséhez nem kell egy teljes bájtot lefoglalniuk. A 20H – 2FH memóriaterület bitenként címezhető. A címzés kétféleképpen történhet:

- *Bájtcím.bitszám* (pl. 21.4, a 21H bájt 4. bitje, bitszám: 0-7 között);
- *Abszolút címzéssel* 00H-tól 7FH-ig. Az összesen 128 bitnyi terület (16*8) a legelső bájt első bitjével (20.0 ->00H) kezdődik, majd a legutolsó bájt legnagyobb helyértékű bitjével (2F.7 -> 7FH) fejeződik be.

A mikrokontroller speciális funkcióregiszterei a következők:

- A CPU regiszterei: ACC, B, PSW, SP;
- Címző regiszterek: PC, DPTR;
- Portok regiszterei: P0, P1, P2, P3;
- Belső perifériák regiszteri:
  - Időzítő/számláló: TMOD, TCON, TH0, TL0, TH1, TL1;
  - Soros vonal: SCON, SBUF;
  - Megszakítás: IP, IE.

Műveletvégzés szempontjából a legfontosabb regiszterek az ACC (akkumulátor) és a PSW (állapot) regiszter. Az akkumulátorban mindig a műveletvégzés egyik operandusa foglal helyet, majd műveletvégzés után az eredményt tárolja. A PSW regiszter a műveletvégzés állapotjelzőit és a BANK-ok kiválasztását címzik (RS0, RS1 bitek; 6.5. ábra).

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

6.5. ábra. A PSW regiszter bitjei

- CY átvitelbit. CY=1, műveletvégzéskor átvitel történt.
- AC – alsó négy bites túlcsordulás
- F0 – a felhasználó által használható jelzőbit
- RS0, RS1 – bank kiválasztására szolgál
- OV - aritmetikai túlcsordulás
- P - paritásbit

6.2.2. PIC mikrokontroller család

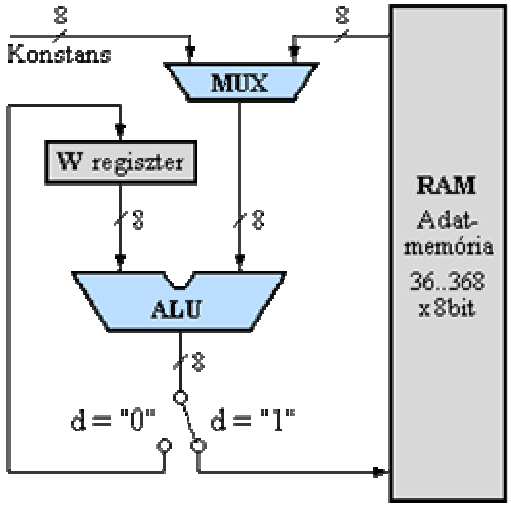
Elnevezésük a Programmable Integrated Circuits (programozható integrált áramkörök) rövidítésről kapták. Gyártója a Microchip Technology Inc., amely 8 bites mikrovezérlőket gyárt három teljesítménykategóriában:

- 12 bites utasítások: kis teljesítményű (Base-Line) mikrovezérlők: PIC10Fxxx, PIC12x5xx, PIC16x5xx;
- 14 bites utasítások: közepes teljesítményű (Mid-Range) mikrovezérlők: PIC12x6xx, PIC14000, PIC16xxx;
- 16 bites utasítások: nagy teljesítményű (High-End) mikrovezérlők: PIC17xxx, PIC18xxx.

A PIC mikrovezérlők a viszonylag nagy teljesítményüket a következő jellemzőknek köszönhetik:

- RISC processzor architektúra, külön program és adattár használattal;
- hosszú (14 bites) utasításkód;
- egyszavas utasítások;
- az utasítások egyetlen belső órajelciklus alatt végrehajtódnak;
- átfedéses utasítás-végrehajtás;
- csökkentett utasításkészlet;
- különleges regisztermező.

A következő ábrán a PIC mikrokontrollerek műveletvégzési stratégiáját láthatjuk.



6.6. ábra. A PIC mikrokontroller műveletvégző egysége

A 6.6. ábrán láthatjuk, hogy a PIC mikrokontroller műveletvégző egysége (*ALU*) kiegészült egy adatszelektor bittel (*d*). Ha az adatszelektor bit logikai 1-es értéket kap, akkor a műveletvégzés eredménye közvetlenül a RAM memóriába kerül. Nulla értéknél az eredmény a *W* munkaregiszterben tárolódik. (A *W* munkaregiszter az akkumulátor szerepét tölti be.)

A RISC processzorkialakításnak köszönhetően a műveletvégzés fázisainál bizonyos fokú párhuzamosítás (pipeline) is tapasztalható. Például a 14 bites utasításos PIC16XXX mikrokontrollereknél egy adott utasítás végrehajtási fázisa alatt a soron következő utasítás lehívása is megtörténik. Ez nagymértékben növeli a PIC műveletvégzési teljesítményét. Ezen kívül a regiszterek bitenként is címezhetőek, de közvetlen és relatív címzéssel is elérhetőek.

6.3. Programozható logikai vezérlők

A programozható logikai vezérlők (PLC) a korszerű ipari irányítás legfontosabb eszközei. Elnevezésük az angolszász **P**rogrammable **L**ogic **C**ontroller (Programozható Logikai Vezérlők) elnevezésből ered. Szokás még a német irodalom szerinti SPS (Speicher-Programmierbar Steuerung), vagy PEAS (Programmierbar Eingang-Ausgang System) elnevezést használni.

Az első PLC-ket a hetvenes évek elején a Modicon cég fejlesztette ki az autóipar (General Motors) számára. Központi egységét huzalozott CPU alkotta, 1 kB memóriával, és 128 kimeneti/bemeneti csatornával rendelkezett. Az igazi fejlődés a mikroprocesszorok megjelenésével indult. Előbb a bitprocesszor, majd később a 8 illetve 16 bites processzorok alkották a központi egységet. Egyre több I/O csatornát tudtak kezelni, de növekedett a program-, illetve az operatív tár mérete is. A nyolcvanas évek közepétől megjelentek az olcsó, kompakt felépítésű un. „mini” PLC-k, elsősorban nem ipari vezérlőrendszerekben. A nyolcvanas évek végétől a nagy ipari gyártósorok PLC-it hálózatba kapcsolták, ezáltal lehetővé vált ezen PLC-k integrálása a számítógépes folyamatirányításba, megvalósult a távfelügyelet vagy akár a távoli (remote) programozási mód is.

Kivitelezésük szerint a PLC-ket két nagy csoportra oszthatjuk:

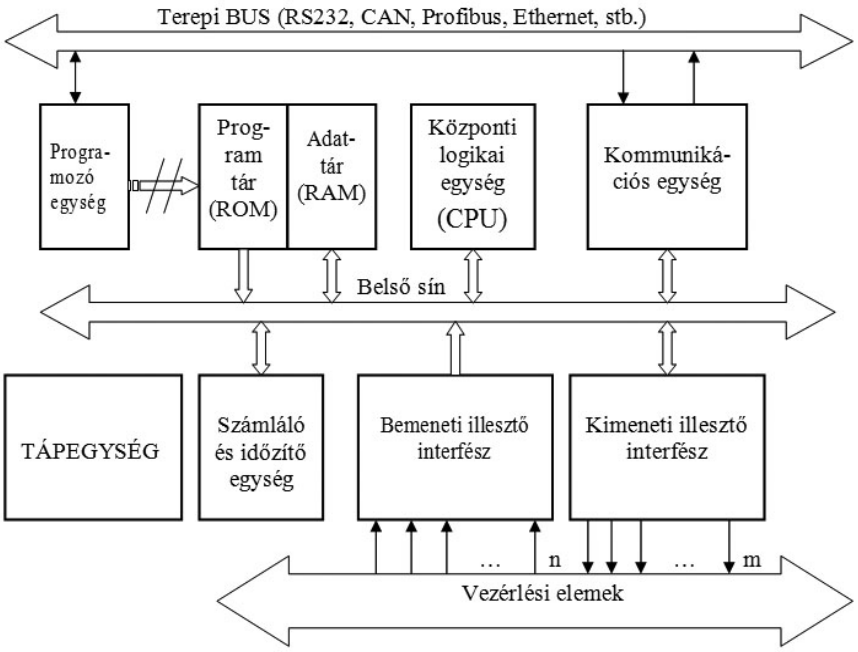
- kompakt felépítésű,
- moduláris szerkezetű.

A kompakt felépítésű PLC-ket elsősorban egyszerűbb vezérlési feladatok végzésére készítették. Előnyük a viszonylag kis méret, egyszerű programozás. Hátrányuk, hogy bemeneti/kimeneti csatornáik száma és tulajdonsága adott, nem módosítható.

A moduláris szerkezetű PLC-k funkcionális egységei önállóak, modulok formájában kapcsolhatók egymáshoz, így a célnak megfelelően bemeneti/kimeneti csatornáinak száma bármikor módosítható. Ipari gyártósorok, gyártócellák, ipari folyamatirányító rendszerek vezérlési feladataira fejlesztették ki.

6.3.1. A PLC-k felépítése és fontosabb egységei

A korszerű, moduláris felépítésű PLC-k, a hagyományos kommunikációs kapcsolatokon (RS232, USB, CAN, Profibus, stb.) kívül, Ethernet interfésszel is rendelkeznek, vagy Ethernet modul illeszthető hozzá. (6.7. ábra)



6.7. ábra. Egy PLC általános felépítése

A *központi logikai egység* feladata a programtárba betöltött vezérlési program utasításainak valós időben történő végrehajtása. Ennek érdekében a programvégrehajtás ciklikus működésű, azaz a másodperc töredéke alatt akár többször is lefut a program. A bemenetekre érkező állapotjeleket az utasításoknak megfelelően feldolgozza, majd az eredményeket a kívánt kimeneti csatornákra irányítja. Ezen kívül a CPU előállítja PLC belső funkcionális működését irányító vezérlőjeleket, biztosítja a különböző egységek szinkronizálását.

A *programmemória* tartalmazza egyrészt a PLC működését biztosító rendszerprogramot. Ez a PLC „operációs” rendszere. Ezt rendszerint a gyártó programozza, ennek módosítására nincs szükség, ezért ROM vagy EPROM típusú, csak olvasható tárakba teszik. Ugyancsak a programmemóriába kerül a felhasználói program. Ennek megvalósítása érdekében biztosítani kell a kapcsolatot a tár és a programozó egység között. A programozó egység lehet csupán erre a célra kifejlesztett eszköz (ez inkább régebbi megoldás), vagy PC számítógép (laptop), amely valamilyen interfészen keresztül kapcsolódhat a programtárhoz. Betöltés és tesztelés után, ha további módosításokra nincs szükség a programozó egységet el is lehet távolítani. A felhasználói program is csak olvasható memóriába kerül, ez újabban FlashROM, vagy MMC kártya (Micro Memory Card), de kerülhet EPROM-ba is.

Az *adatmemóriába* kerülnek a bemeneti és kimeneti csatornák memória térképei, az utasítás végrehajtáshoz szükséges és a végrehajtás során keletkező átmeneti változók értékei, vagy olyan kimeneti értékek, amelyeket a program futása során több alkalommal is használ.

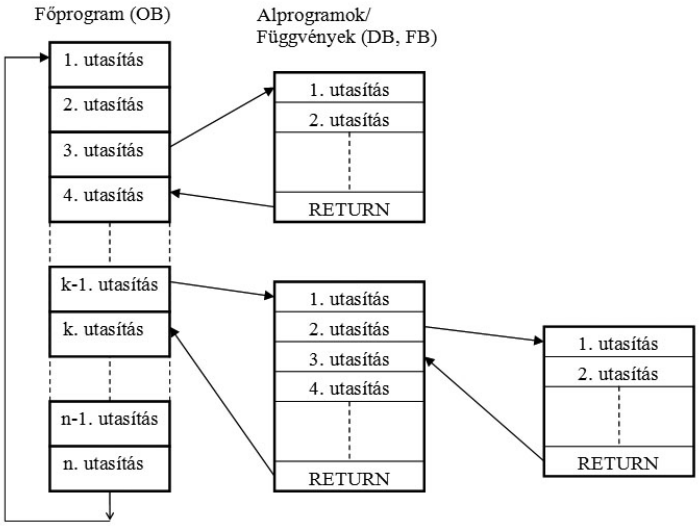
A *bemeneti* és *kimeneti* illesztők a PLC speciális funkcionális egységei. Ezeken keresztül kapcsolódik a PLC a vezérlési elemekkel. A bemeneti csatornákra bemeneti elemek, nyomógombok, kapcsolók, analóg és digitális érzékelők kerülhetnek. Ezeknek a csatornáknak mindegyikének jól meghatározott címük van, amely alapján a CPU azonosítani tudja őket. A bemeneti csatornák száma (n) rendszerint nagyobb, mint a kimeneti csatornáké (m), mert egy vezérlés megvalósításához jóval több bemeneti elemre van szükség, mint beavatkozóra. A kimeneti csatornákra kapcsolódnak a kimeneti elemek, vagyis a vezérlés beavatkozó szervei: relék, mágneskapcsolók, mágnes szelepek, lámpák, kijelzők stb. Ezek a csatornák is egyedi, jól meghatározott címmel rendelkeznek.

A jelenlegi korszerű PLC-k mindegyike rendelkezik valamilyen *kommunikációs* csatornával is, amelyen keresztül összekapcsolhatók egymással akár a terepi buszokon, akár ipari Ethernet hálózaton keresztül.

A PLC-knek saját, a vezérlés többi részétől független tápellátása van. Ezt egy belső *tápegység* biztosítja, amely speciális zavarszűrő rendszerrel van ellátva, hogy a néha meglehetősen mostoha ipari körülmények között dolgozó CPU zavartalanul működhessen.

6.3.2. Működési elv

A PLC rendszerprogramja ciklikus működést biztosít a felhasználói program számára. Indítás vagy RESET után a rendszerprogram beolvassa a bemeneti változókat és elindítja a főprogram utasításainak szekvenciális végrehajtását. A legtöbb felhasználói program strukturált szervezésű, vagyis a főprogramból szubrutinok (taszkok) vagy függvények hívhatóak. Ezek hívása sok esetben eseményvezérelten történik, de lehetnek periodikusan ismétlődő idővezérelt, vagy prioritással ellátott taszkok is. Az utolsó utasítás után a rendszerprogram az eredményeknek megfelelően aktualizálja a kimeneti csatornákat és visszatér a főprogram elejére (6.8. ábra).



6.8. ábra. A felhasználói program szerkezete

Az utasítások szerkezetét tekintve, két fontosabb részt különböztetünk meg: műveleti rész (OPKÓD) és címrész (CÍM)

OPKÓD	CÍM

Az OPKÓD leírja, hogy milyen jellegű műveletet kell elvégezni, a CÍM, pedig megmutatja, hogy hol található az operandus, akivel a műveletet el kell végezni. A cím lehet I/O cím, memória cím, de lehet regiszter címe is. Az OPKÓD részt minden utasításnak tartalmaznia kell. A CÍM rész hiányozhat, ugyanis vannak olyan utasítások, amelyek nem operandusokra vonatkoznak, de vannak olyanok is, amelyek kettő vagy annál több címet tartalmaznak. Éppen ezért, az utasítás bonyolultságától függően, a memóriában elfoglalt helyük is lehet egy vagy

több bájt hosszú. Például az A103H címen lévő 2 bájt hosszú utasítás, második bájtja elfoglalja az A104H memóriarekeszt is, így a soron következő utasítás címe A105H lesz.

6.3.3. A PLC-k fontosabb funkciói

A programozható logikai vezérlő a következő fontosabb funkciók ellátására képes:

- jel (adat) feldolgozási funkció,
- technológiai interfész funkció az érzékelők kezelésére, illetve a beavatkozók működtetésére,
- kommunikációs funkciók (PLC-PLC, PLC-számítógép, PLC-hálózat),
- ember-gép (HMI) funkció,
- programozási, tesztelési, dokumentálási funkció,
- tápellátási funkció.

A fejlődés során a programozható logikai vezérlők funkciói nagymértékben közeledtek a számítógépek funkcióihoz. Tehát a PLC olyan ipari számítógépnek tekinthető, amely speciális hardveregységei és felhasználói programja révén a technológiai folyamatok programozott vezérlésére, szabályozására és korszerű *hierarchikus* vagy *osztott folyamatirányító rendszerek* létrehozására alkalmas. Ezekkel a rendszerekkel a tananyag második része foglalkozik.

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

[1] Dr. CSÁKI Frigyes, BARS Ruth: *Automatika*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1972

[2] ***, *A szerszámgépgyártás története*, www.szerszamgepgyartas.hu, 2006

[3] Dr. BALÁZS László, *Automatika*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000, ISBN 963 16 1683 5

[4] HORVÁTH Zoltán, JUHÁSZ Róbert, MASA László: *Ipari elektronika*, Műszaki Könyvkiadó, 2000, ISBN 963 16 1775 0

[5] Dr. AJTONYI István, Dr. GYURICZA István: *Programozható irányítóberendezések, hálózatok és rendszerek,* Műszaki Könyvkiadó, 2002, ISBN 963 16 1897 8

[6] KÉRI János: *Dugattyús munkahengerek*, http://www.pneuplus.hu/pneumatika_oktatas_files/Pneumatikus_munkahengerek.pdf

[7] BÁNHIDI László, OLÁH Miklós, GYURICZA István, KISS Mátyás, RÁTKAI László, SZECSŐ Gusztáv, *Automatika mérnököknek*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest,2001, ISBN 963 19 2322 3

[8] Dr. TÓTH János, *Automatika*, Terc Kft. Budapest, 2013, ISBN 978 963 9968 57 8

[9] KARCZUB Béla: *Pneumatikus alapkapcsolások és összetett vezérlések készítése*, NSZFI 0907-06 szakképzési követelménymodul, 2008.

[10] KOVÁCS Csongor, *Elektronika,* General Press Kiadó, 1999, ISBN 963 9076 71 6

[11] KRÁMLI György, Szenzorika, Festo tanfolyami jegyzet, 2006.

[12] PSZOTA József, *Digitális áramkörök*, 2009, http://centroszet.hu/tananyag/digit_aramkorok/2_digitlisanalg_da_talaktk.html