

7. VEZÉRLÉS-ÉS SZABÁLYOZÁSTECHNIKA

7.1 Irányítástechnikai alapfogalmak

Az **irányítástechnika** műszaki-technológiai folyamatok irányításával foglalkozó tudományág. Az **irányítás** műszaki folyamatba történő célszerű beavatkozás, olyan művelet, mely a folyamatot *elindítja, fenntartja, megváltoztatja vagy megállítja*. Az irányítás lehet **kézi vagy önműködő**. Az előbbi esetben az irányítást egészében vagy részben az ember, az utóbbiban az ún. irányító berendezés a kezelőtől függetlenül végzi.

Az önműködő irányításokkal foglalkozó tudományágot nevezzük **automatikának**. Főbb fogalmai:

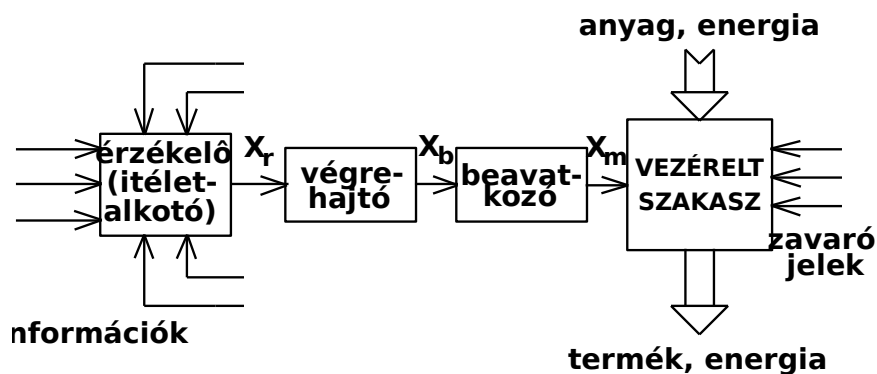
- **érzékelés:** értesülés-(információ-)szerzés az irányítandó folyamatból, ill. annak környezetéből.
- **ítéletalkotás:** a beszerzett információk értékelése, feldolgozása alapján döntés a folyamatba való beavatkozásról.
- **rendelkezés:** utasítás a beavatkozásra.
- **beavatkozás:** az irányított folyamat befolyásolása.
- **Tag:** a tömbvázlatnál a tömb (blokk) szokásos elnevezése. Az irányítási rendszer szervének, szervcsoportjának jelformáló tulajdonságaira utaló fogalom. Az irányított rendszert ábrázoló tagot **irányított szakasznak** nevezzük. Bemenete a bemenő-, kimenete a kimenő jel.
- **Szerv:** azon szerkezeti egység, mely önállóan lát el irányítási részfeladatot (pl.: beavatkozó szerv).
- **Elem:** irányítási szempontból a rendszer tovább nem bontható szerkezeti része.
- **Hatáslánc:** Az irányítás azon művelet, melyet szerkezeti elhatárolható egységek hajtanak végre. Ezen egységekből épül fel az irányítási lánc, melyen a rendelkező hatás áthaladva végül a folyamatot befolyásolja. Innen a *hatáslánc* elnevezés. A hatásláncon áthaladó hatásokat *jeleknek* nevezzük.

A hatáslánc fajtájától függően az irányítástechnika két fő funkcionális területre, a **vezérlésre** és **szabályozásra** osztható.

7.1.1 Vezérlés

A vezérlésre jellemző, hogy a begyűjtött információk csak a *rendelkező jel* kiváltására szolgálnak, a vezérlési művelet eredménye a berendezés állapotától függ. A zavaró jelek hatását csak

korlátozottan tudja ellensúlyozni, mivel a **hatáslánc nyitott**. A környezetből és a folyamatokból vett információk feldolgozása alapján keletkezik a rendelkező jel, melynek hatására létrejön a beavatkozás (rendszerint indítás és megállítás).



7.1 ábra A vezérlés hatáslánca

A különböző vezérléseket a rendelkezőjel származtatása alapján az alábbi csoportok szerint osztályozhatjuk:

Követő vezérlés: az irányítási lánc rendelkezőjelét valamilyen érzékelő állítja elő.

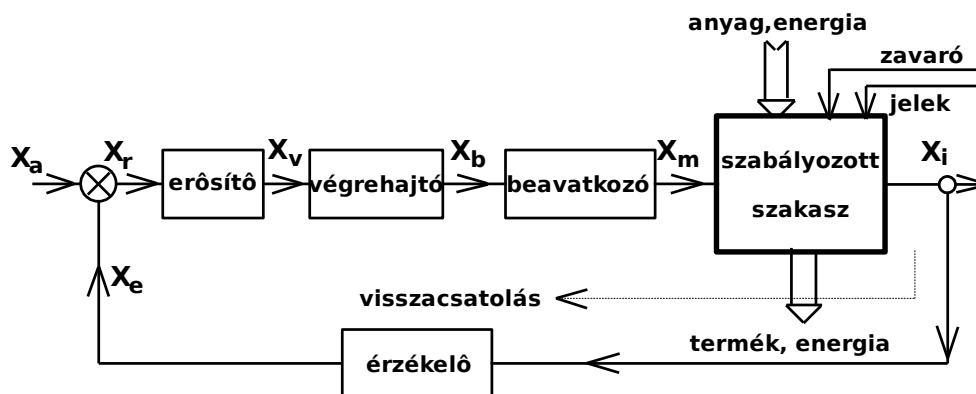
Menetrendi vezérlés: a rendelkezőjel egy előre meghatározott időterv vagy bizonyos feltételek alapján meghatározott program szerint fut le, így ezen belül lehet **időterv vezérlés**, vagy **lefutó vezérlés**.

A **lefutó vezérlés** tovább osztályozható **sorrendi vezérlésre**, ahol a rendszer egy meghatározott sorrendben kerül egyik állapotából a másikba, illetve **feltétel vezérlésre**, mely a kimenőjelét az egyes bemeneti jelkombinációk alapján szolgáltatja.

Ha villamos vezérléstechnikai példákat keresünk, akkor egy *csillag-delta indítókapcsolás* lehet időterv vezérlés, amennyiben az átkapcsolást egy időrelé végzi, más kialakításban lehet feltétel vezérlés is, ha ugyanerre a feladatra áramrelét, esetleg valamilyen fordulatszám érzékelőt alkalmazunk.

7.1.2 Szabályozás

A rendelkező jelet egy *alapjel* és a szabályozott szakaszból vett *ellenőrző jel* különbsége adja, mely felerősítve úgy hat a folyamatra, hogy ez a *különbség csökkenjen*. A szabályozás **hatáslánca zárt hurkú** (visszacsatolt). Ez az irányítási módszer alkalmas a folyamat fenntartására vagy megváltoztatására. A szabályozással minden zavaró hatás kiküszöbölhető.



7.2 ábra A szabályozás hatáslánca

A szabályozás elmélete és hatásainak modellezése csak igen komplex matematikai összefüggések ismeretében értelmezhető. Jelen jegyzetben azon alaptagok működési modelljeinek bemutatására szorítkozunk, melyek ismerete a fontos lehet egyes folyamatirányító rendszerek gyakorlati alkalmazásában.

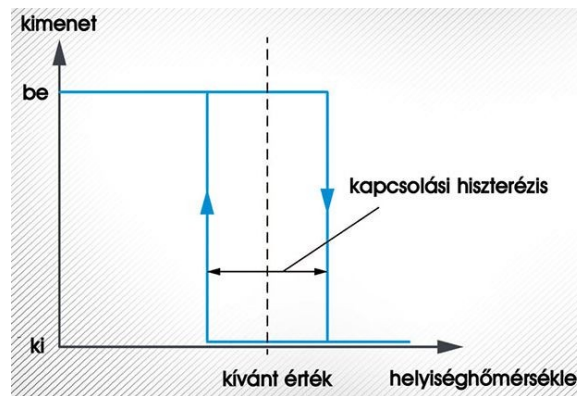
A szabályozott jellemző *stabilitási problémáinak* bemutatását egy szobatermosztát példáján keresztül illusztráljuk.

Az *alapjel* a felhasználó által beállított kívánt szobahőmérséklet (X_a).

A *beavatkozó* a hőtermelő (kazán), az általa biztosított fűtővíz hőmérséklete lesz az irányított jellemző (X_m).

Ne feledjük, a szoba hőmérséklete a *szabályozott szakasz*, amit stabilan kell tartanunk a radiátorban vagy padlófűtésben keringő fűtővíz hőmérsékletének szabályozásával, tehát a visszacsatolás – a szoba levegőjén keresztül ebben az esetben az érzékelő által mért levegő hőmérséklete, ami az *ellenőrzőjelet* (X_e) biztosítja a szabályozáshoz.

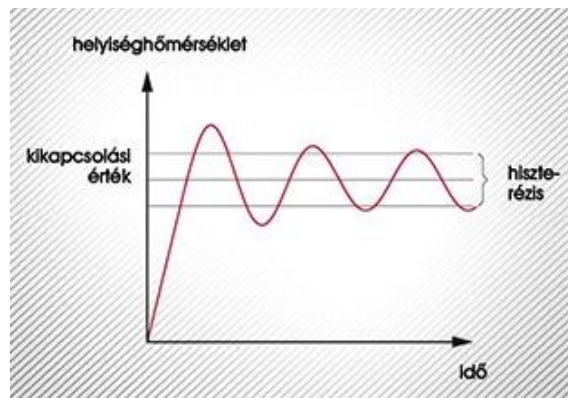
Nézzünk erre egy egyszerű szabályozástechnikai megoldást, amikor a feladatot egy normál ki/be kapcsolással rendelkező termosztátra bízunk. Tételezzük fel, hogy a termosztát ± 1 °C-os *histerézissel* dolgozik, tehát $+20$ °C-os beállítás esetén $+19$ °C-on húzza meg és $+21$ °C-on ejti ki a reléjét (a kazán előremenő hőmérsékletét tekintjük stabilnak ebben a példában). A termosztát a megadott 2 °C-os histerézis sávban a kazánt ki-be kapcsolgatja: megvalósult az ún. *kétpont-szabályozás*, melynek jellemzője, hogy a szabályozott jellemzőt a szabályozott szakasz ki-és bekapcsolása útján tartjuk a (gyárilag megadott) túrési tartományon belül.



7.3 ábra A kétpont-szabályozás idődiagramja (vgfszaklap.hu)

Ez a módszer, ha nem is a leggazdaságosabb, de az egyik legmegbízhatóbb szabályozási megoldást biztosítja egy olcsó és egyszerű fűtési rendszerekben. De mi történik akkor, ha szabályozott jellemzőnk, a levegő hőmérséklete túl lassan, vagy túl gyorsan változik, a beállított tartományon belüli kapcsolás ellenére az értéke „túllő”, vagy akár alá is esik a kívánt tartománynak?

Egy gyorsabb lehűlés esetén (pl.: szellőztetés miatt) bár a termosztát be fog kapcsolni a megadott hőmérsékleten, a szabályozott (fűtési) rendszer nem tud olyan gyorsan reagálni és felfűteni, hogy a szoba hőmérséklete ne zuhanjon be a komfort érték alá – tehát a válaszreakció túl lassú a szakasz változásának kompenzálására. Ugyanígy zavaró lehet, ha egy hirtelen felmelegedésre (pl.: az ablakon át érkező napsütés miatt meredeken kezd emelkedni a hőmérséklet) a szabályozó nem tud időben választ adni, a szabályozott szakasz (szobahőmérséklet) „túllő”, annak ellenére, hogy a termosztát ebben az esetben is a megadott határértéknél kapcsol ki, viszont ez az egyszerű szabályozás nem képes a **változás sebességének kezelésére**.



7.4 ábra A szobahőmérséklet változása kétpont-szabályozás esetén (vgfszaklap.hu)

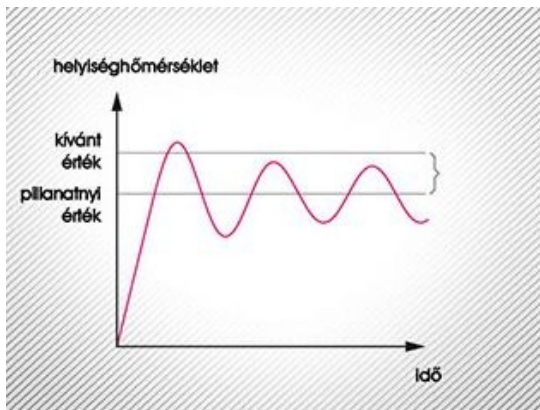
7.1.3 PID szabályozók alkalmazása

A szabályozott jellemző dinamikus változásait is értékelni képes szabályozásra biztosítanak megoldást az ún. **PID szabályozók**. Ezek az eszközök a három alaptagból összeállított komplex szabályozást valósítják meg, ahol a **P** (proporcionális) az arányos, **I** (integráló) a késleltetés mértékét, míg a **D** (differenciális) a szabályozás dinamizálásának mértékét adja meg. Az egyes alaptagok beavatkozásának mértékét – a szabályozott folyamat ismeretében – lehet külsőleg

paraméterezni előzetes számítások, helyszíni mérések, vagy akár a folyamat gyakorlati ismereteinek útján.

A fenti hétköznapi példában a hőtermelő elcsúszó indításának és leállításának megoldására a szabályozó dinamikáján kell erősíteni. De mi történik akkor, ha az említett behatásokra (szellőztetés, napsütés) túl gyorsan reagál a szabályozónk? Ebben az esetben az integráló jellemző erősítésével tudunk e folyamat érzékenységén csökkenteni.

Az egyes alaptagok alul-vagy túlzott mértékben való behatása eredményeként találkozhatunk alulszabályozott szakasszal, ami az integráló tag hiányára – vagy a differenciáló tag túlerősítésére – utalhat, hiszen a rendelkező jel változása a szabályozott jellemző túllövését okozza, rövid időn belül, akár mind a két irányban. Ez utóbbi esetben jellemzik úgy a folyamatot, hogy „leng”, „belengett”. A fenti példát hozva ilyen esetekben a hőtermelőnket indokolatlanul gyakran kapcsolgatja a szabályozót föl-le.



7.5 ábra *P*-szabályozós szakasz idődiagramja (vqfszaklap.hu)

Előfordulhat, hogy az integráló szűréssel túlzásba esünk, ez esetben a kimeneti jel nem követi elég gyorsan a bekövetkező gyors változást: a beavatkozó jel lassan lép közbe, a kimeneti jellemző akár hosszú időn keresztül is a meghatározott tartományon kívül maradhat (a kazán későn kapcsol be és/vagy ki is).

Egy optimálisan beszabályozott analóg szakasz esetén szintén megfigyelhető egy ciklikus lengés, viszont a megadott szabályozási értéken belül maradva olyan frekvencián és mértékben, amely nem zavaró a szabályozott szakaszra és környezetére.



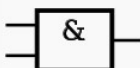
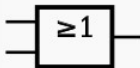
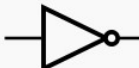
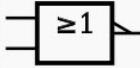
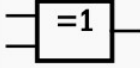
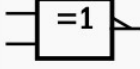
7.6 ábra *PI-szabályozóval optimálisan beállított szakasz idődiagramja (vgfszaklap.hu)*

Az optimális besabályozás *analóg szabályozástechnika* mellett szemléletesebb: a fenti példát elképzelhetjük kazán helyett egy háromjáratú motoros szeleppel, melynek szelepállásával tudjuk állítani a radiátorokba szivattyúzott fűtővíz hőmérsékletét.

A korszerű irányítástechnikai rendszerekben kompakt PID-szabályozó eszközökkel csak önálló, decentralizált szabályozást végző eszközökben találkozhatunk, viszont PLC és DCS rendszerek szoftveres fejlesztőkörnyezetében igény szerint bármilyen szabályozótagot (PI, PD) össze tudunk állítani, amelyben a paraméterezés is lehetséges, még a beüzemelést követően is, nagyban megnövelve a folyamat működési biztonságát és minőségét. A PID-szabályozó itt már csak virtuálisan létezik, a számításokat a szabályozás algoritmus alapján a PLC processzora végzi el a kimenet megfelelő beállításához, besabályozásához.

7.1.4 Logikai kapuk és alapfüggvények

Egyszerű logikai vezérlők programozásához szükségünk lehet a logikai alaptételek, ezzel együtt a digitális alapkapuk működési diagrammjaik ismeretére. Az alábbi táblázatban ezt foglaljuk össze a műszaki dokumentációkban alkalmazott hagyományos és szögletes szimbólumainak megfelelően (a gyakorlatban ezek keverékeivel is találkozhatunk):

Kapu	hagyományos jel	szögletes jel	művelet	Igazságtábla																		
AND (és)			$A \cdot B$	<table><tr><th colspan="2">bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A AND B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	bemenet		kimenet	A	B	A AND B	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
bemenet		kimenet																				
A	B	A AND B																				
0	0	0																				
0	1	0																				
1	0	0																				
1	1	1																				
OR (megengedő vagy)			$A + B$	<table><tr><th colspan="2">bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A OR B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	bemenet		kimenet	A	B	A OR B	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
bemenet		kimenet																				
A	B	A OR B																				
0	0	0																				
0	1	1																				
1	0	1																				
1	1	1																				
NOT (negálás)			$\overline{A}$	<table><tr><th>bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>NOT A</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	bemenet	kimenet	A	NOT A	0	1	1	0										
bemenet	kimenet																					
A	NOT A																					
0	1																					
1	0																					
A NOT kaput az elektronikában nevezik még <i>invert</i> nek is, hiszen gyakorlatilag megfordítja, idegen szóval invertálja a bemenetként kapott igazságértéket.																						
NAND (negált és)			$\overline{A \cdot B}$	<table><tr><th colspan="2">bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A NAND B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	bemenet		kimenet	A	B	A NAND B	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
bemenet		kimenet																				
A	B	A NAND B																				
0	0	1																				
0	1	1																				
1	0	1																				
1	1	0																				
NOR (negált vagy)			$\overline{A + B}$	<table><tr><th colspan="2">bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A NOR B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	bemenet		kimenet	A	B	A NOR B	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
bemenet		kimenet																				
A	B	A NOR B																				
0	0	1																				
0	1	0																				
1	0	0																				
1	1	0																				
XOR, EXOR vagy MOD2 (kizáró vagy, antivalencia)			$A \oplus B$	<table><tr><th colspan="2">bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A XOR B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	bemenet		kimenet	A	B	A XOR B	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
bemenet		kimenet																				
A	B	A XOR B																				
0	0	0																				
0	1	1																				
1	0	1																				
1	1	0																				
XNOR vagy EXNOR (negált kizáró vagy, ekvivalencia)			$\overline{A \oplus B}$	<table><tr><th colspan="2">bemenet</th><th>kimenet</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A XNOR B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	bemenet		kimenet	A	B	A XNOR B	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
bemenet		kimenet																				
A	B	A XNOR B																				
0	0	1																				
0	1	0																				
1	0	0																				
1	1	1																				

7.7 ábra Logikai kapuk jelölése és igazságtáblázata

George Boole angol matematikus dolgozta ki a matematika nyelvén azokat a logikai törvényszerűségeket, amelyeket logikai algebrának, vagy **Boole-algebrának** hívunk. Alapvetően arról szól, hogy egy állítás igazságértéke lehet „igaz” vagy „hamis”. Ezt a két értéket könnyen lehet a bináris számrendszerben reprezentálni; ha a kijelentés igaz, akkor logikai értéke „1”, a hamisnak pedig „0”, villamosan értelmezve:

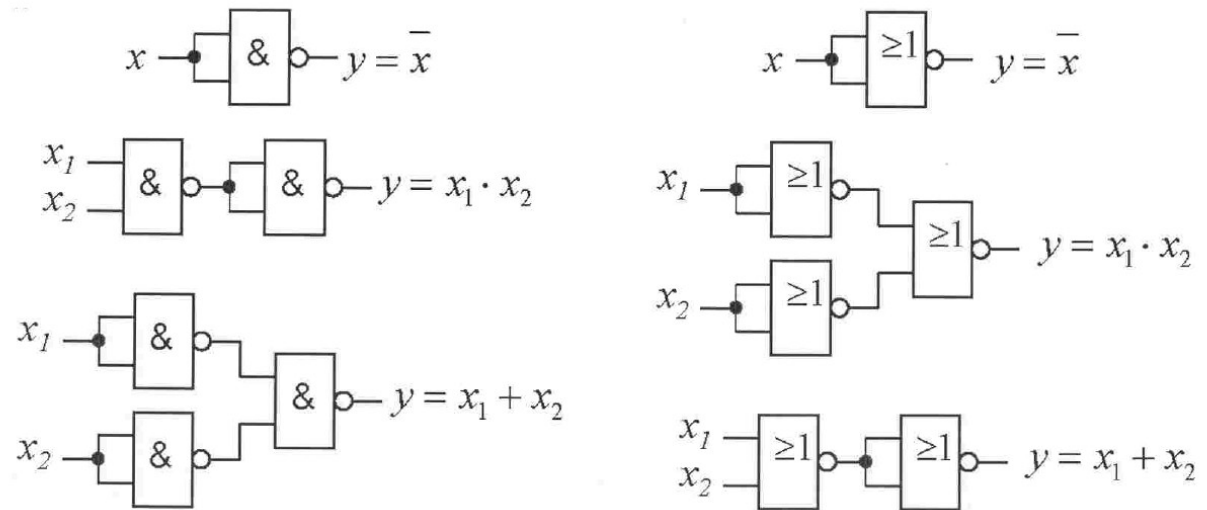
„1” = logikai „H” (magas) szint

„0” = logikai „L” (alacsony) szint

A Boole-algebra alaptételei:

1. Idempotencia:
 - (a) $x + x = x$ és
 - (b) $x \cdot x = x$
2. Korlátosság:
 - (a) $x + 1 = 1$ és
 - (b) $x \cdot 0 = 0$
3. Involúció: $(x')' = x$
4. Asszociativitás:
 - (a) $x + (y + z) = (x + y) + z$ és
 - (b) $x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z$
5. De Morgan azonosságok:
 - (a) $(x + y)' = x' \cdot y'$ és
 - (b) $(x \cdot y)' = x' + y'$,
6. Abszorpció:
 - (a) $x + (x \cdot y) = x$ és
 - (b) $x \cdot (x + y) = x$

A fenti tételek közül a *De Morgan szabály* szerinti átalakításnak nagy gyakorlati jelentősége van, hiszen ennek ismeretében tudunk logikai VAGY kapcsolatot kialakítani NAND kapukkal, illetve logikai ÉS kapcsolatot NOR kapukkal. A valós megoldásokban ugyanis gyakran fordul elő, hogy csak egyféle kapu áll rendelkezésre egy rendszerben vagy integrált áramkörben (csak NAND, vagy csak NOR), s abból kell előállítani a másik kettőt:

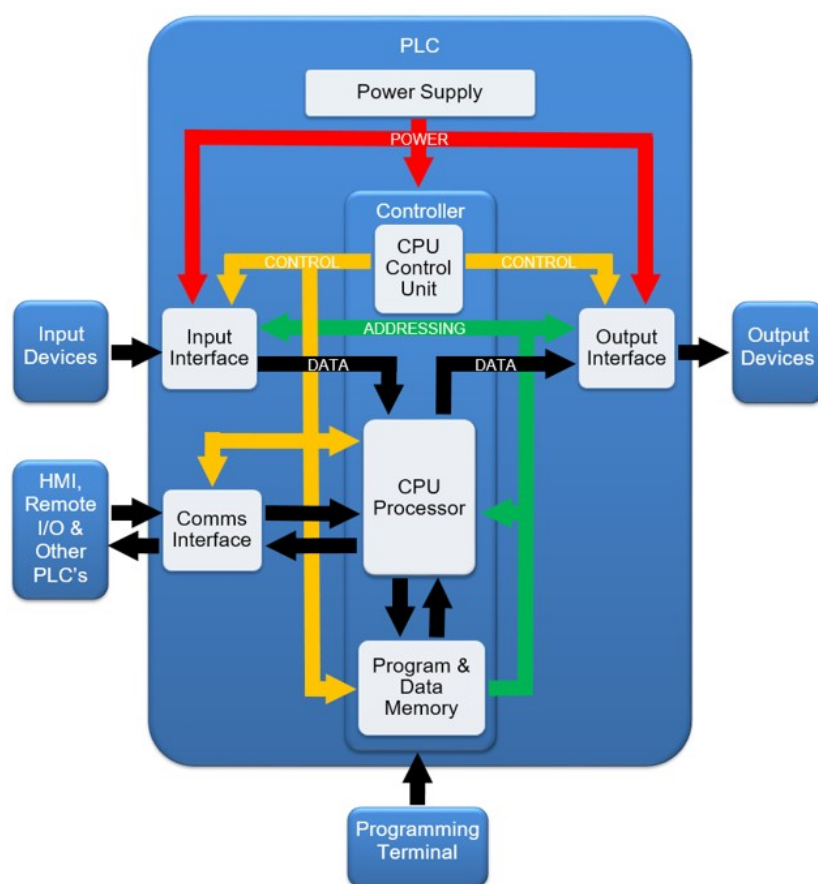


7.8 ábra Csak NAND, illetve csak NOR kapus alkalmazások (Óbudai Egyetem KVK, MTI)

7.2 Programozható logikai vezérlők alkalmazása

7.2.1 A PLC-k általános felépítése

Ipari környezetben általános és speciális vezérlési és szabályozástechnikai feladatok megoldására a legtöbb esetben programozható logikai vezérlőket, röviden PLC-ket (Programmable Logic Controller) alkalmazunk. A PLC-k általános felépítése alapján külön *bemeneti és kimeneti egységgel* rendelkeznek, melyeket általában csak I/O-ként (input/output egységként) hivatkozunk meg. A PLC fő egységét egy központ feldolgozó egység (CPU) és egy *programtároló* alkotja, mely kiegészül egy *adattároló* kapacitással is. A programtárolóba kerül értelemszerűen a kívánt vezérlőprogram vagy szabályozási algoritmus, melynek végrehajtása során a begyűjtött és számított adatokat a CPU az adatmemóriában tárolja le.



7.9 ábra Általános PLC architektúra (ladderlogicworld.com)

A PLC-k rendelkeznek kommunikációs portokkal is, melyeken keresztül – általában valamilyen ipari szabvány szerinti protokollon keresztül – kapcsolódni tudnak külső kijelző-és kezelőegységekhez (Pl. HMI-okhoz), más PLC-khez, külső hálózati rendszerelemekhez és ún. *Remote I/O* egységekhez is.

Korszerűbb vezérlőkben az I/O egység a vezérlőtől fizikailag távol is működhet, ami a terepi műszerekhez vagy ipari folyamatszabályozás mérő-távadóinak közelében történő letelepítés esetén nagyban lecsökkenti a vezérlőkábelek mennyiségét. Ezekben az architektúrákban a *Remote I/O* (távbeamenet/kimenet) egységekben történik meg az elsődleges jelfeldolgozás (szűrés, erősítés, analóg-digitális átalakítás), így a PLC felé a bemeneti – illetőleg a PLC-irányából a kimeneti – jelek már csak valamilyen kommunikációs protokollon és egyetlen kábelon keresztül jutnak el (vagy érkeznek meg) a feldolgozás és beavatkozás helyszínére.

7.2.2 A logikai leírásmód és a PLC programozás nyelvei

Egy probléma kezelésére irányuló irányítási feladat megvalósításánál a *folyamatábra* az egyik legkifejezőbb ábrázolásmód a bemeneti feltételekre adott válaszlépések lekövetéséhez. Ez nem pótolja a működés szöveges megfogalmazását, de egyértelművé modellezi le a kívánt működést, ezért a programozás megkezdése előtt ennek felvázolása mindenképpen ajánlott.

Azon vezérlési feladatoknál, ahol csak digitális változókkal kell kombinációs hálózatot létrehozni, a működést egyszerűbb lehet *igazságtáblázatokkal* meghatározni (ld. a logikai kapukat).

A PLC-k programozására számos módszer létezik, a legegyszerűbb, amit általában kompakt PLC-ken alkalmaznak, hogy az eszközön található gombok és kijelző segítségével visszük be az egyszerű programokat bármilyen külső eszköz nélkül. Ez a megoldás remekül működik kisebb programoknál, ám nagyobb feladatok programozásához nem alkalmas. A moduláris PLC-eket általában nem látják el külön kezelőszervekkel, hanem a programot PC-n fejlesztik, majd megfelelő adatkábel segítségével töltik át a PLC-re. Ezek a programok általában képesek valamilyen szinten szimulálni a PLC működését, így a programok tesztelése már a PC-n megtörténhet. A különböző szakemberek különböző szemléletmódjaihoz is igazodtak a fejlesztőszoftverek, több különböző programmegjelenítés is lehetséges. Az **IEC 61131** szabvány a PLC felhasználói programnyelveket két osztályba sorolja:

1. *szöveges rendszerű*, melybe a **Strukturált** (Structured Text - **ST**) és az **Utasításlistás** (Instruction List - **IL**) programnyelv tartozik.
2. *grafikus szimbólumokat alkalmazó programnyelvek* **Létradiagram** (Ladder Diagram - **LD**), a **Funkcióblokkos** (Function Block Diagram- **FBD**) és a **Sorrendi folyamatábra** (Sequential Flow Chart - **SFC**)

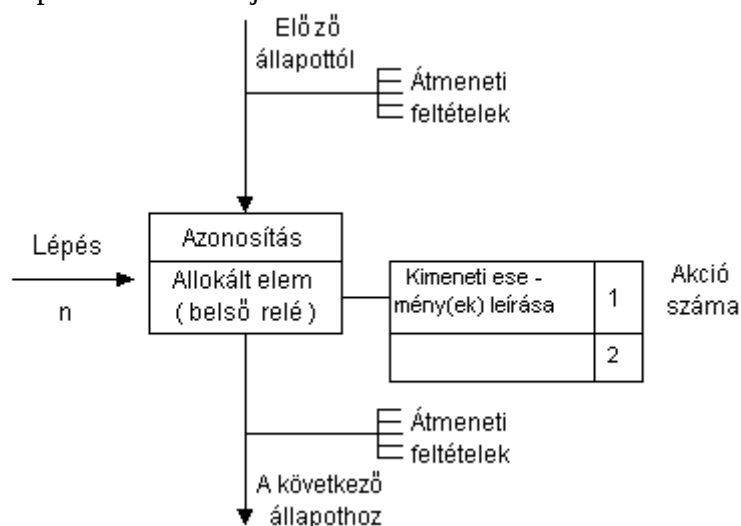
A **szöveges megjelenítési** mód hasonlít a hagyományos PC-s programnyelvekre leginkább. Ez azonban nem annyira áttekinthető, mint a grafikus módok. A lényege, hogy különböző a gép által érthető „mondatokkal” adjuk meg, hogy mit is csináljon majd a PLC. Ezeket a mondatokat a fordítóprogram lefordítja a PLC számára érthető programnyelvre, majd áttölthetjük azt a PLC programtárába. A lista minden egyes **sora** egy-egy **elemi műveletet** ír le. Egy művelethez általában egy **utasítás** és a művelethez tartozó **operandus** (cím, vagy adat) tartozik. Az utasítás-szó (a mnemonic) általában a műveletet jelentő szónak angol, vagy német nyelvű rövidítése. Pl. az **ÉS** művelet angolul **AND** (németül **UND**), a **VAGY** az angolul **OR** (németül **ODER**). Az utasítás-listában csak az első betűt, az **A-t** (**U**), vagy az **O-t** (**O**) írják. Az utasításhoz tartozó **címek**, vagy

különböző **változók** jelölése is sokban eltér az egyes PLC –k programozásában.

A Blokkdiagram olyan grafikus ábrázolási mód, amely inkább a logikai áramkörök tervezésében járatos szakemberek számára átlátható. Hasonlít egy normál áramköri rajzhoz, melyben a programozó a képernyőre rajzolhatja a logikai kapukat, logikai egységeket, időzítőket, egyéb alkotóelemeket. Ezeket összekötve áramkörként definiálhatja a programot.

A létradiagramos programozás a huzalozott vezérléstechnikában járatos emberek számára nyújt könnyű áttekinthetőséget. Itt egy sínre illeszthetünk bizonyos feltételekhez kötött kontaktusokat és relé kimeneteket. A PLC minden ciklusban megvizsgálja, hogy mely feltételek teljesülnek, és az előírt feltételek teljesülése esetén működteti az adott kimenetet.

A **sorrendi folyamatábrán** a sorrendi hálózat egy-egy *belső állapotát*, az ezen *állapotba* *kerülés feltételeit*, valamint az állapothoz rendelt *kimeneti eseményeket* tüntetik fel. Ez a módszer az „1 az nn”-ből típusú állapotkódolásból fejlődött ki.



7.10 ábra A sorrendi folyamatábra általános sejtje (regi.tankonyvtar.hu)

7.2.3 I/O-portok típusai és szabványosított jelszintjei

Az alábbi egy általános összefoglaló az irányítástechnikában leginkább elterjedt szabványos jelekről és jelszintekről.

Digitális jeleknél általánosan kontaktus jelekről van szó. Az ellenoldali bemenettől függően ez lehet egy energizált, ún. nedves (wet) kontaktus, vagy potenciálmentes, száraz (dry) kontaktus, melyhez a szükséges lekérdező feszültség a bemenet felől fog megérkezni. A lekérdező feszültség általában DC törpefeszültség, legtöbbször 24V, de lehet 125V vagy 240V-os feszültség is, ami leginkább a rendszerben működtetett relék és mágneskapcsolók tekercsfeszültségével van összefüggésben.

Stabil kapcsolást biztosítanak a **nyitott kollektoros** (O.C. = Open Collector) digitális kimenetek is, ahol egy kapcsolóüzemben működtetett bipoláris tranzisztor nyitott kollektorán keresztül kaphatunk

áramjelet a tápfeszültség pozitív (PNP) vagy pedig negatív (NPN) oldaláról. A kimenet azonosítója mellett szereplő PNP vagy NPN tranzisztor struktúra tehát megadja annak polaritását is (pl. OC PNP). Alkalmazása főként relék meghajtására kézenfekvő, ez esetben ügyelni kell arra, hogy a relében-mágneskapcsolóban legyen beépítve, vagy modulként csatlakoztatható (záróirányba kötött) *védődióda*; ha nincs külső kiegészítőként kell azt a relé kapcsaira csatlakoztatni. Amennyiben a nyitott kollektoros kimenetünket digitális feszültségjellé kívánjuk alakítani, akkor NPN kimenetnél felhúzó, PNP-nél lehúzó (néhány kOhmos) ellenállásokkal kell a megfelelő tápoldalra csatlakozni a fogadó oldal bemenetein alkalmazott feszültséggel.

A nyitott kollektor előnye még, hogy a kimeneti eszköz (PLC, közelítésértékelő, stb...) tápfeszültsége nem köti a fogadó oldalon alkalmazott lekérdező feszültség értékét, mivel a tápkörbe a OC kimeneteket külsőleg kapcsoljuk rá.

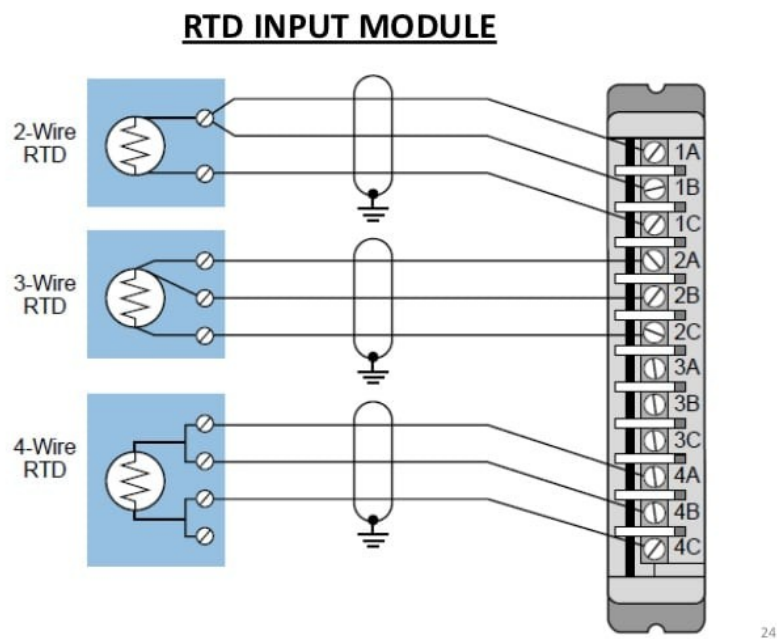
Analóg jelek közül elsősorban a **4-20 mA**-es szabvány áramjel említendő, amelynek elterjedést az áramhurkok zavartűrése és – az áramgenerátoros meghajtás miatt – nagy távolságok áthidalására való képessége segítette. Manapság a távadók többsége 4-20 mA-es jelszinten továbbítja jeleit, ami egy korábban rendszeresített jelszint, a 0-20 mA-es áramjel *élőnullás* változataként jelent meg. Ez azt jelenti, hogy a teljes analóg mérési tartományt úgy skálázzuk be, hogy a 4 mA reprezentálja a legalacsonyabb, míg a 20 mA (full scale) pedig a legmagasabb mérhető értéket. A 4 mA alatt mért értékeket így a mérővevő hibaként, kábelszakadásként veszi, nem skálázza be értelmezhető mérésként, ami így egyben egy kezdetleges jelvonali diagnosztikát is biztosított a rendszernek. További fejlesztéseknek köszönhetően léteznek HART-kommunikációval összekombinált 4-20 mA-es távadók, amelyek a szabvány jelre mérés közben képesek távdiagnosztikai és a méréssel kapcsolatos konfigurációs adatokat modulálni és ugyanazon csatornán keresztül azokat valós időben továbbítani.

Analóg *feszültségjelek* közül a $0... \pm 5V$ vagy $0... \pm 10V$ szintek rendszeresítése volt kézenfekvő a digitális jelfeldolgozás korai évtizedeiben, de zavarérzékenységük és a kábelek ellenállásából fakadó feszültségesések és mérési hibák miatt alkalmazhatóságuk mindig korlátozott volt. A mérőerősítők fejlődésével egyre kevésbé volt jelentősége a szimmetrikus jelek alkalmazásának, így a későbbiekben csak a **0-10V**-os jelszintek maradtak alkalmazásban, főként a 0-20 mA-es jelszintre történő egyszerű konverzióknak köszönhetően (egyetlen 500 ohmos ellenállás soros beiktatásával megoldható), amely ma már – a távadók programozhatóságával 4-20 mA-es tartományba is egyszerűen áttehető.

A remote I/O-k kivételével ma már igyekeznek minden analóg jelet 4-20 mA-es I/O-kkal kezelni a fent vázolt előnyök miatt, de van néhány egyedi mérés, amelyek több okból kifolyólag megmaradtak a gyakorlati felhasználásban.

Az **ellenálláshőmérők** (RTD) jelei tipikusan ebbe a kategóriába esnek. Közülük leggyakoribbak a Pt100-as és Pt1000-es típusúak; a Pt a hőmérő anyagára (platina) utal, míg az utótagban a számérték a hőmérő $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on mért ellenállásértéke Ohmban megadva. Platinán kívül találkozhatunk még nikkellel (Ni), illetve rézzel (Cu) ellenálláshőmérőkkel is. Az ellenállásmérés, mint ahogy azt megtanultuk, visszavezethető feszültségmérésre, ami így a feszültségjelek problémáit (vezetékellenállás, zavarérzékenység) fogja magával hozni. Az ellenálláshőméréseket ezért a hozzávezetett kábelek ellenállását kiküszöbölni képes *4-vezetékes ellenállásmérésre* vezették vissza, ami így már pontosabb volt, de a felhasznált kábelmennyiség miatt kevésbé gazdaságos. Egy

mérőhidas összeállítás ötletes egyszerűsítésével – egyforma vezetékellenállást feltételezve mind a három ágon – a négy mérővezeték közül egy elhagyható, így az RTD mérések 3-vezetékes kialakítása is lehetségessé vált, melyet mind a mai napig alkalmaznak az iparban. Az RTD hőmérőket – típustól függően – különböző számú kötésponthoz alakítják ki, ettől függetlenül egyszerű ikresítéssel bármelyiket 3-vezetékesre lehet alakítani. A különböző számú bekötési pontokkal kialakított ellenálláshőmérők 3-vezetékes bekötését szemlélteti a következő ábra:



7.11 ábra 3-vezetékes mérés alkalmazása különböző (2-, 3- és 4-kötésponthoz) hőmérők esetén

A hőmérsékletmérés másik nagy csoportjába a **hőelemek** (TC – thermocouple) tartoznak, melyekkel inkább a magasabb, akár $+1000^{\circ}\text{C}$ fölötti hőmérsékleti tartományokban is tudunk méréseket folytatni. A mérés azon a termoelektromos jelenségen alapszik, miszerint két különböző fém közös érintkezési pontjának melegítésekor a fémek szabad végei között – a hőmérséklet nagyságától függő – potenciálkülönbség alakul ki, amit *termofeszültségnek* neveznek. Az így létrejött feszültség nagyon kis értékű, legfeljebb néhány 10 mV lehet, így vagy a mérés közelében konvertálni kell, vagy a fémek anyagával megegyező „kompenzált” termokábelek segítségével továbbíthatjuk a termofeszültséget, ami külön bánásmódot igényel, hiszen nem csak zavarérzékeny, de a speciális kábel, de speciális sorkapocs is szükséges a továbbításukhoz, melyeket polaritáshelyesen kell bekötni, különben a bekötési pontokon újabb hőelemek keletkeznének, ezért fontos, hogy **a hőelemek kompenzált kábeleit ne érvéghüvelyezzük!**

A hőelem az alkalmazott fém pár alapján különböző típusúak lehetnek, közülük az automatizálásban leggyakrabban alkalmazott típusok a K, T, és a J.

7.2.4 Felettes irányítástechnikai rendszerek

Egy gyártó vagy energiatermelő létesítmény teljes működését, illetve az állapotát egy adott pillanatban átlátni, ezek alapján magas szintű döntésekkel beavatkozni az egyes helyi vezérlőrendszereken keresztül, egy hierarchiában felettük álló irányítási rendszerrel lehetséges. A gyakorlatban ez a PLC-k (berendezések) szintje fölött álló, a működéseiket összehangolni képes átfogó rendszer működését feltételezi, melyek közül három kialakult formát említünk most meg:

A különböző helyi és funkcionálisan berendezésekhez köthető alrendszerek összehangolt működését elsősorban *osztott-intelligenciájú folyamatirányító rendszereken*, rövidítve DCS-eken (Distributed Control System) keresztül lehet megteremteni. A **DCS** nem csak a PLC-ken keresztüli adatokhoz fér hozzá, hanem saját méréseket és adatgyűjtéseket is folytat annak érdekében, hogy valós-idejű (real-time) döntéseket hozva avatkozhasson be a teljes rendszer vagy folyamat előírt működésének és funkciójának biztosítása érdekében. A rendszer HW-kialakítását tekintve nem mutat nagy különbséget a PLC-khez képest: jel-és buszkábelek futnak be azon vezérlőegységeibe, melyek – önmagukban egyébként – PLC-ként is alkalmazható készülékek lennének.

A felügyeleti irányítást és adatgyűjtést megvalósító **SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition) rendszerek számítógépes adatfeldolgozást és megjelenítést tesznek lehetővé a gyártási vagy energiatermelési folyamat legfelsőbb szintjén. A DCS rendszer alternatívájaként tekinthető PLC-SCADA rendszerekben a folyamatjeleket PLC-k vagy intelligens szabályozók kezelik, azaz a vezérlést-szabályozást ezen eszközök végzik, míg az ember-gép kapcsolat (HMI – Human Machine Interface) a PC-n vagy munkaállomáson keresztül valósul meg, s az eszközöket valamilyen ipari lokális hálózat (pl. terepibusz rendszer) köti össze. A SCADA *egy központi számítógépen futó szoftver*, amelynek révén a rendszert alkotó PLC-k, szabályozók, CNC-k stb, valamilyen lokális hálózaton keresztül a DCS-hez hasonló funkciókkal rendelkező komplex folyamatirányító rendszer létrehozására alkalmasak.

A magas szintű folyamatirányítás legújabb kezdeményezése az **Ipar 4.0**, avagy a 4. ipari forradalomként beharangozott virtuális gyártástechnológia bevezetése. Ebben az architektúrában a még szintén decentralizáltan működő helyi logikai, intelligens, vagy egyre inkább „okos” vezérlőegységek a tárgyak (vezeték nélküli) internet hálózatán (IoT – Internet Of Things) keresztül állnak kapcsolatban egymással és a platform felhőben futó alkalmazásával, ami a *felettes irányítórendszer* funkcióját látja el – napjainkban még inkább csak termelési alapadatok meghatározásának és a működés optimalizálásának érdekében, mintsem a DCS-ekhez hasonló funkcionális koordináció és finomhangolás részeként.

▪

7.3 Irányítástechnikai rendszerek kiviteli dokumentumai

7.3.1 Alaprajzok, beépítési terek és funkcionális azonosítók

Ipari rendszerek jelöléstechnikája és különböző alegységeinek osztályozása az **IEC 81346** szabványsorozat alapján történik. Lényegében az elkülönítés három összefüggő viszonyrendszer szerint teljesül:

= / = = Funkcionális szempontból, az adott egység működése, rendeltetése alapján;

+ / + + Lokáció szerint, az adott egység fizikai elhelyezkedése alapján;

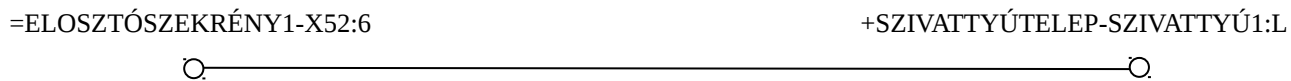
- Eszköz szinten, ami annak kialakítására, szerkezeti oszthatatlanságára utal.

A fentiek alapján az ”=” vagy az efelett álló ”= =” szinteken a rendszer **funkcionális azonosítói**, mellyel a működés és rendeltetés alapján összetartozó egységeket fogja össze, és olykor fizikai elkülönülést is jelenthetnek.

A ”+” és ”+ +” szintek **beépítési terek azonosítói**, mely alapján az adott berendezés fizikai elhelyezkedéséről tájékozódhatunk.

A ”-”ködőjel után szereplő TAG-név vagy **tervjel** utal az adott eszköz – további alegységekre nem osztható – szerkezeti egységére.

Ha egy összeköttetést kell a kapcsolási rajzra felvinni az 1.Elosztószekrény -X52 sorkapocstömb 6-os kapcsáról a Szivattyútelepen lévő 1. szivattyú L pontja között, akkor az szabványos kivitelben így fog kinézni (a kettőspont után a bekötési pont áll):



A kapcsolási rajzon megjelenített azonosító rövidíthető, ha egy oldalon csak egyféle funkciót-beépítési teret jelenítünk meg. Ilyenkor a rajzkeretbe kerül az aktuális azonosító és a hosszú előtag így elhagyható. Hasonlóan egyszerű a helyzet, ha a beépítési/funkcionális azonosítót egy kiemelt rajzrészletre kívánjuk csak érvényesíteni. Ezt szaggatott vonalas területkijelöléssel tesszük meg, benne a meghivatkozott azonosítóval:



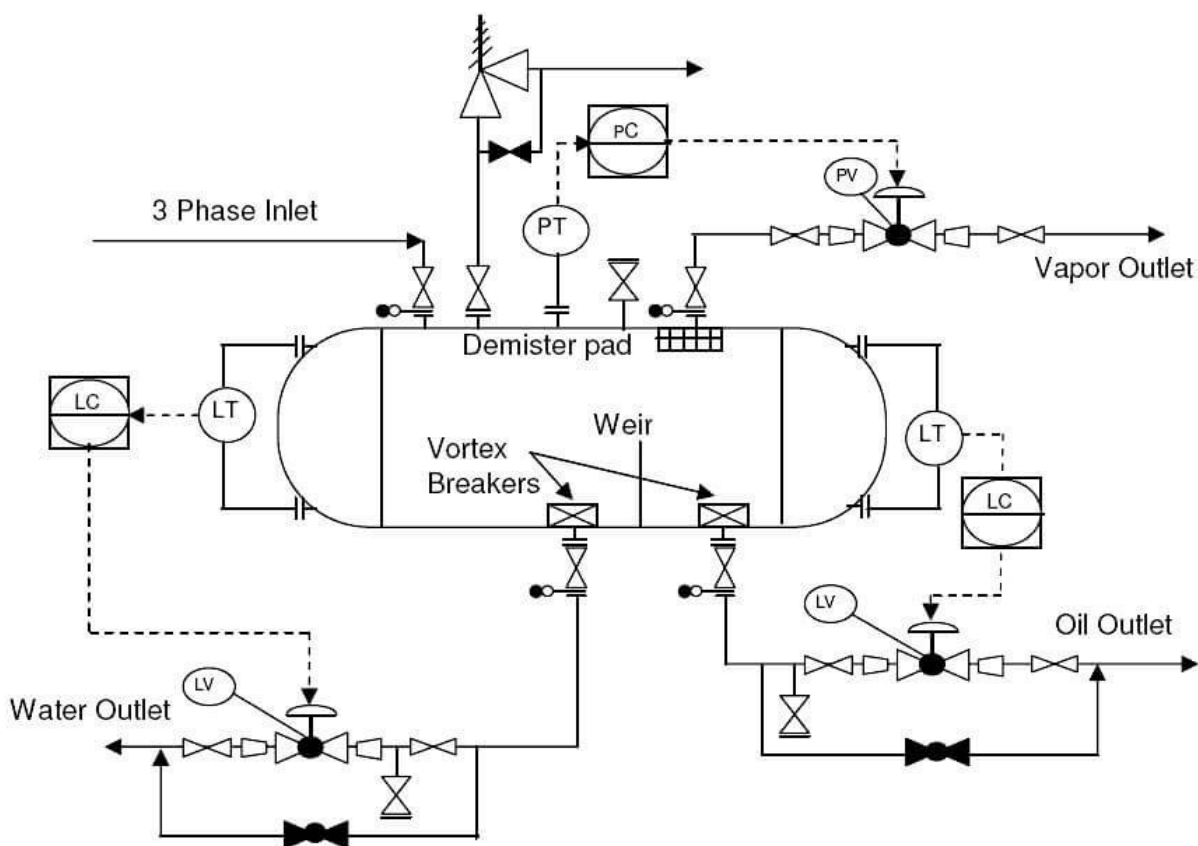
Ha ugyanezt a bekötést nem a szivattyútelepi, hanem a tartálytéri szivattyúhoz vezetjük, akkor a rajzkeretbe írt azonosítókkal tudunk egyszerűsíteni, melyek az adott oldalon található összes szerkezetre egyetemlegesen érvényesek lesznek, leszámítva a szaggatott vonallal kiszakított területeket: ott az oda beírt azonosító az irányadó.



7.3.2 A folyamatszabályozások technológiai leírása

Egy ipari folyamat és annak automatizálásának kidolgozás kialakítása több szakág együttműködését feltételezi. Szükség van tehát egy olyan rajzdokumentációra, melynek szimbólumai azonos jelentéssel bírnak a vegyészmérnök, a gépészeti kivitelező, az irányítástechnikai tervező-programozó és a műszerezést végző kivitelező számára is. E közös nyelvezet lehet a folyamatára **PFD** (Process Flow Diagram), megmutatja az üzemi létesítmény főbb berendezései közötti kapcsolatot, de egyéb részleteket nem.

A csővezeték- és műszerezési diagram a **P&ID** (Piping and Instrumentation Diagram) egy olyan grafikus megjelenítés, melyben az egyes részegységek mellett megjelennek az irányítástechnikai rendszer számára kialakított mérőműszerek és beavatkozó szervek is, azok „beszédese” azonosítójukkal együtt. A P&ID számos ipari szektorban a *folyamatműszerezés* egyik *alapidokumentuma*. Villamos kivitelezés során önmagában ritkán kerül fókuszba, viszont minél több technológiai részletet sikerül megérteni belőle technológusi-tervezői segítséggel, helyszíni egyeztetésekkel, annál inkább tisztázódhat a rendszerrel kapcsolatos elvárások és paraméterek szükségessége, s végül így maguknak a telepített elektromos egységeknek a szerepe is.



7.12 ábra Vegyipari P&ID

A P&ID egyes elemeinél megjelenő TAG-neveket a következőképpen tudjuk értelmezni.

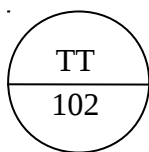
Az **első betűjel** mutatja azt a paramétert, amit szabályozni vagy monitorozni akarunk, például:

T – hőmérséklet,

F – áramlás,

L – tartályszt,

P – nyomás.



A **második betűjel** utal az alkalmazott szabályozóeszköz típusára, úgymint:

T – távadó,

V – szelep,

C – szabályozó,

S – kapcsoló.

I – kijelzés a helyszínen vagy a képernyőn

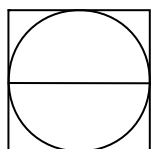
A betűkódok után álló szám az eszköz logikai (vagy futó) számozása.

A betűkód és a szám közötti vonal kialakítása is jelentéssel bír:

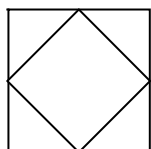
- Folytonos vonal: irányítástechnikára kötött mérés;
- Dupla vonal: helyi szabályozásra kötött mérés
- Vonal nincs: nincs irányítástechnikára kötve – helyi mérés

Folytonos vonallal a *csővezetéseket*, míg a szaggatottak az *elektromos összeköttetéseket* jelölik a rajzban.

Amennyiben műszereket nem csak a PLC-re, hanem attól függetlenül működő irányítástechnikai rendszer (DCS, vagy SIS biztonsági rendszer) bemeneteire is kapcsolódhatnak, akkor az elkülönítésükre az alábbi jelöléseket használjuk:



Általános irányítástechnika jelei (PLC)

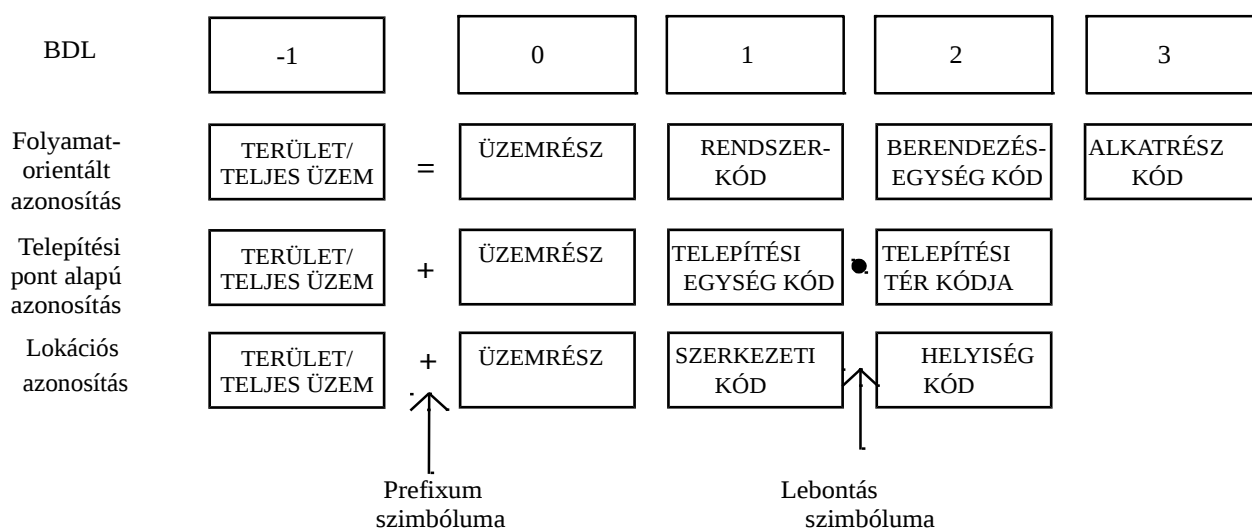


DCS vagy SIS (Safety Instrumented System) jelei

7.3.3 KKS kód: az erőművi kódolási rendszer

Az erőművi KKS (Kraftwerk Kennzeichnensystem) azonosító rendszer az objektumok egyértelmű, funkció-, lokáció- és alrendszerorientált azonosítása végett jött létre, amelyben minden szakági tervező, építész, gépész, villamos és az irányítástechnikai ugyanazt a közös nyelvezetet tudja használni. Az alábbiakban a KKS rendszert korlátozottan, csak a villamos, irányítástechnikai és műszerezés területeit érintően ismertetjük.

A KKS kódolást az alábbi lebontási szintek (BDL, Break-Down Level) alkotják és szimbólumai, előjelek:



7.13 ábra KKS kódolás lebontási szintjei szimbólumokkal és előjelekkel

BDL	- 1	0	1	2
Definíció	Terület / Teljes üzem	Üzemrész	Telepítési egy- ség kódja code	Beépítési tér kódja
Név	S ₁ S ₂ S ₃	G	F ₀ F ₁ F ₂ F ₃ F _N F _N	A ₁ A ₂ A _N A _N A _N A ₃
Típus of key	A A A/N	A/N A/N N	N A A A N N	A A N N N (A)

7.14 ábra Telepítési pont alapú azonosítás

F ₁	F ₂	F ₃	F _N	F _N	BERENDEZÉS
A	-	-	-	-	Hálózat és elosztás
B	-	-	-	-	Energiatermelés és segédüzemi táplálás
C	-	-	-	-	Mérés-és irányítástechnikai berendezések
D	-	-	-	-	Mérés-és irányítástechnikai berendezések (segédüzem részére)

7.15 ábra Villamos erőművek és elosztórendszerek kódolása BDL1 szinten

F ₁	F ₂	F ₃	F _N	F _N	Feszültség szint
A	A	-	-	-	➤ 420 kV, (szabad felhasználású)
A	B	-	-	-	➤ 420 kV, (szabad felhasználású)
A	C	-	-	-	380 (420) kV
A	D	-	-	-	220 (245) kV
A	E	-	-	-	110 (150) kV
A	F	-	-	-	60 (72) kV
A	H	-	-	-	30 (35) kV
A	J	-	-	-	20 (25) kV
A	K	-	-	-	10 (15) kV
A	L	-	-	-	6 (5) kV
A	M	-	-	-	1 (3) kV
A	N	-	-	-	<1 kV

7.16 ábra Villamos elosztórendszerek feszültség szintjének kódolása BDL1 szinten

A ₁	A ₂	A _N	A _N	A _N	A ₃	Berendezés
G	S	1	0	0	-	Megszakítók
G	S	2	0	0	-	Szakaszoló áramsínen
G	S	2	1	0	-	Szakaszoló „A” áramsínre kapcsolva
G	S	2	2	0	-	Szakaszoló hálózaton és transzformátoron
G	S	2	3	0	-	Szakaszoló, bypass-átkapcsoló
G	S	2	4	0	-	Szakaszoló, közvetlen hálózati összeköttetésben
G	S	2	5	0	-	Szakaszoló „V” tartalék áramsínre kapcsolva
G	S	2	7	0	-	Szakaszoló „B” áramsínre kapcsolva
G	S	2	9	0	-	Szakaszoló „A” és „B” áramsínre kapcsolva
G	S	3	0	0	-	Földelő kapcsoló hálózaton, transzformátoron és áramsínen
G	S	3	1	0	-	Földelő kapcsolók megszakítón
G	S	3	2	0	-	Földelő kapcsolók megszakítón
G	S	3	3	0	-	Földelő kapcsolók hálózaton, transzformátoron

7.17 ábra Villamos megszakítók, szakaszoló és földelő kapcsolók kódolása BDL2 szinten

A ₁	A ₂	A _N	A _N	A _N	A ₃	Berendezés
C	E	1	0	0	-	Áram
C	E	1	0	1	-	Áram az L1 vagy R fázison
C	E	1	0	2	-	Áram az L2 vagy S fázison
C	E	1	0	3	-	Áram az L3 vagy T fázison
C	E	2	0	0	-	Feszültség
C	E	2	0	1	-	Feszültség az L1 vagy R fázison
C	E	2	0	2	-	Feszültség az L2 vagy S fázison
C	E	2	0	3	-	Feszültség az L3 vagy T fázison
C	E	3	-	-	-	Mérés különböző változókkal, (úgy mint teljesítmény, energia, induktivitás és ellenállás, cosφ)
C	E	4	-	-	-	<Nincs használatban>, tartalék
C	E	5	-	-	-	Frekvencia
C	E	6	-	-	-	Speciális mérések (pl. földhiba mérések)
C	E	7	-	-	-	<Nincs használatban>, tartalék
C	E	8	-	-	-	<Nincs használatban>, tartalék
C	E	9	-	-	-	Közös / összetett mérések

7.18 ábra Áram-és feszültségmérések kódolása BDL2 szinten

DC tápellosztás					Akkumulátorok					Töltők					Feszültség
F1	F2	F3	F _N	F _N	F1	F2	F3	F _N	F _N	F1	F2	F3	F _N	F _N	[Volt]
B	U	A	-	-	B	T	A	-	-	B	T	L	-	-	≥220 V DC
B	U	B	-	-	B	T	B	-	-	B	T	M	-	-	125 V DC
B	U	C	-	-	B	T	C	-	-	B	T	N	-	-	110 V DC
B	U	D	-	-	B	T	D	-	-	B	T	P	-	-	60 V DC
B	U	E	-	-	B	T	E	-	-	B	T	Q	-	-	48 V DC
B	U	F	-	-	B	T	F	-	-	B	T	R	-	-	36 V DC
B	U	G	-	-	B	T	G	-	-	B	T	S	-	-	24 V DC
B	U	H	-	-	B	T	H	-	-	B	T	T	-	-	12 V DC
B	U	J	-	-	B	T	J	-	-	B	T	U	-	-	6 V DC
B	U	K	-	-	B	T	K	-	-	B	T	V	-	-	<6 V DC

7.19 ábra DC rendszerek kódolása BDL1 szinten

A ₁	A ₂	A _N	A _N	A _N	A ₃	Tétel
G	A	-	-	-	-	Kábelek és vezetők
G	B	-	-	-	-	Csatlakozó dobozok ("kis" méretben)
G	C	-	-	-	-	Átviteli hálózat
G	D	-	-	-	-	DC-áramsín
G	E	-	-	-	-	AC- áramsín
G	F	-	-	-	-	HV áttáplálása
G	G	-	-	-	-	HV végződtesítés
G	H	-	-	-	-	Csatlakozó szekrények ("nagyobb" dobozok és szekrények)
G	J	-	-	-	-	Kondenzátorok (szuperkapacitások)
G	L	-	-	-	-	Induktivitások, tekercsek (szuperkapacitások)

7.20 ábra Kábelek, vezetők, összekötő dobozok, áramsín és nagyfeszültségű áttáplálások kódolása BDL2 szinten

F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	F _N	F _N	Location
-	A	P	-	-	-	Vezérlő konzolok
-	A	Q	-	-	-	Méréstechnikai és elszámolásos mérők eszközei
-	A	R	-	-	-	Védelmi berendezések
-	A	S	-	-	-	Osztott intelligenciájú panelek és szekrények
-	A	T	-	-	-	Transzformátor berendezések
-	A	U	-	-	-	Vezérlések, visszaellenőrző és kiegészítő berendezések
-	A	V	-	-	-	Vezérlő és kapcsolóterek
-	A	W	-	-	-	Műszerpanelek
-	A	X	-	-	-	Központi berendezések
-	A	Y	-	-	-	Kommunikációs berendezések

7.21 ábra Mérési-és irányítástechnikai rendszerek kódolása

7.4 Hajtástechnika

7.4.1 Aszinkron motorok frekvenciaváltós hajtása

A háromfázisú elektromos motorok fordulatszám-szabályozása és a forgásirány-változtatás igénye gyakorlatilag kezdettől fogva jelen van az ipari automatizálás területén. Az iparban leginkább elterjedt háromfázisú aszinkron elektromos motorok működtetése alapesetben 50 Hz-es váltakozó feszültségű hálózatról történik, ami viszont egy adott fordulatszámon történő üzemet jelent. Azokhoz a folyamatokhoz, ahol a motor fordulatszámának változtatására van igény, ott a váltakozó feszültség – s vele együtt a frekvencia – növelésére vagy csökkentésére van szükség, amire speciális invertereket, *frekvenciaváltókat* alkalmaznak. Ezekkel szabályozhatóvá válik nem csak a motorok fordulatszáma és akár forgásiránya is.

Alkalmazásukkal a *fokozatmentes fordulatszám-változtatás* igénye úgy teljesíthető, hogy közben a nyomaték változatlan marad. Emellett a frekvenciaváltók használatával a *lágylégyindítás* is megvalósul, s így megkíméljük a hálózatot a felesleges áramlökésektől is, hiszen *nem direkt indítás* történik, hanem csak *frekvenciafelgyújtás* megy végbe. Ennek „ára” a hálózatra termelt zaj miatt a magasabb felharmonikus tartalom, melynek szűrése külön feladat lehet, ha nem tudjuk azt a készülék szintjén behatárolni. A mikroprocesszorok fejlődése ezek az eszközök már sokkal többre képesek, így egyre több olyan helyen is megjelennek az iparban, ahol hagyományosan **egyenáramú hajtásokat** alkalmaztak.

Amikor egy aszinkron motort váltakozó áramú hálózatra csatlakoztatunk, a motor állórészében egy olyan *forgó mágneses mező* keletkezik, amelynek a fordulatszáma a hálózat frekvenciájával egyenes, míg a motor póluspárjaival fordított arányban van. A forgó mágneses mező hatására a motor forgórészének tekercseiben feszültség indukálódik, a kialakult áram és a mágneses mező kölcsönhatásának eredményeként pedig a forgórész mozgásba kezd. Ahhoz, hogy a nyomaték létrejöjjön, a forgórésznek lassabban kell mozognia, mint a körülötte lévő forgó mágneses mező. Ezt a fordulatszám-különbséget nevezzük *slip*-nek, értéke a terheléssel egyeneses arányban változik. Ha a slip értéke túl magas, a motor túlterhelődhet, és kibillenhet a stabil üzemiállapotból.

Általában elmondható, hogy az aszinkron motorok 150%-os nyomatékkal, legfeljebb 60 másodperc időtartamig túlterhelhetők, amennyiben rendelkeznek hővédelemmel. Szintén fontos tudni, hogy egy motor minimális fordulatszáma a *névleges fordulatszámának legfeljebb 50%-a lehet*, ha ez alá megyünk, mindenképpen szükség van a frekvenciaváltó motorvédelmi funkciójára!

A fordulatszám változtatásának eszköze lehetne a tápfeszültség **frekvenciájának** módosítása. A frekvencia csökkentésekor viszont a motorra jutó feszültséget is csökkenteni kell, ellenkező esetben a motor fluxusa túl magas lenne. Ha pedig a hálózati frekvencia fölé növeljük a frekvenciát, a motor feszültségét kellene növelni, hogy a fluxus állandó legyen, és így ne csökkenjen a motor nyomatéka.

A frekvenciaváltók egyik típusát a *feszültségvezérelt frekvenciaváltók* képezik. Ezekben az eszközökben egy az egyenirányított hálózat feszültséget stabilizálják, majd ezt követően a motorhoz tartozó inverter váltakozó feszültséget állít elő az igényelt kimeneti frekvencián – és szükséges fázisszámmal (a kimenet lehet 3-fázisú egyfázisú betáplálás mellett is, és fordítva). A szükséges motorfordulatszám a feszültség/frekvencia arányból adódik. A pontos fordulatszám-tartás érdekében a feszültségvezérelt frekvenciaváltókhoz legtöbbször egy szenzoros fordulatszám-szabályozót is

kapcsolnak.

Igen elterjedtek azonban a szenzorikát nem igénylő ún. **vektoros frekvenciaváltók** is. Ebben az esetben a visszajelzés nem a fordulatszámról, hanem a motor áramáról és a kimenő feszültség értékéről történik. A fejlettebb készülékekben felépített részletes motormodellnek köszönhetően a frekvenciaváltó folyamatosan leképezi magának a motor állapotát, és biztosítja az alapjelnek megfelelő szabályozást. Ehhez szükség van természetesen *a frekvenciaváltó paraméterezésére*: a meghajtott motor villamos paramétereinek megadására.

Akkor érdemes ilyen eszközt alkalmazni, ha alacsony fordulatszám mellett is nagy nyomatékra van szükség, fontos a sebességtartás, vagy a nyomaték tartása mellett kell forgásirányt váltani. A vektoros szabályozás segítségével a túlterhelés korlátozható, és akár a rövid terhelés-ingadozások is jobban kezelhetők.

7.4.2 Egyenáramú motorok

Az egyenáramú motorok az állórész és a forgórész gerjesztésének függvényében lehet *külső* illetve *állandó mágneses, párhuzamos, soros és vegyes gerjesztésű*. A fordulatszám-szabályozása lehetséges a forgórész kapocsfeszültségének követlen változtatásával, mellyel még a névleges fordulatszám fölé is emelkedhetünk.

Állandó mágnesből készült fópólusokkal rendelkező motorokat pár kW-ig gyártanak csak. Előnyük, hogy nincs gerjesztőtekercsük, így a felépítésük jóval egyszerűbb. Hajtásukat tekintve a felvett áramuk egyenesen arányos a terhelőnyomatékkal, fordulatszámukat a kapocsfeszültséggel szabályozni lehet.

A fordulatszám változtatása a fluxussal is lehetséges. Ha egy gépet több motor is hajt (pl. villamosok esetén), a motorok soros, illetve párhuzamos kapcsolásával lehet veszteségmentes fordulatszám-változást elérni.

7.4.3 Szervomotorok hajtástechnikája

Szervohajtás definíciója: A szervohajtások olyan hajtásrendszerek, amelyek dinamikus, pontos és túlterhelhető viselkedéssel rendelkeznek egy széles fordulatszám-tartományon belül. A szervomotorok olyan állandómágnesű egyenáramú motorok, melyek tárcsás forgórészrel rendelkeznek. Tulajdonságaik

- széles fordulatszám-tartomány mellett magas fordulatszám-stabilitás;
- nagy pozicionálási pontosság és dinamika
- nyugalmi nyomaték (nulla fordulatszám)
- nagy mértékben túlterhelhető ($3 \times M_0$)

A szervomotorok a meghajtásukkal arányos mozgásról resolveres vagy encoderes visszacsatolás útján adnak jelzést a meghajtó elektronika felé, ami nagy felbontásban és pontossággal teszi lehetővé a forgó elmozdulás megvalósítását. A fordulatszám-vezérléséhez többszáz Hz-es kimeneti meghajtófokozat áll rendelkezésre.

7.4.4 Léptetőmotorok vezérlése

A léptetőmotorok olyan egyenáramú gépek, amelyek a folyamatos forgású motorokkal szemben diszkrét szögelfordulások megtételére képesek. Az állórészt kiálló pólusú vasmag alkotja, rajta a gerjesztőtekercseléssel. A kerület mentén szimmetrikusan és egymással szemben elhelyezkedő póluspárok tekercselése soros kapcsolású. Egy póluspárt itt egy fázisnak is nevezhetünk, tehát egy 10-pólusú állórész eszerint 5-fázisú.

A léptetőmotorok hajtását az állórész sorbakötött póluspárjainak impuzusos gerjesztésével lehet szögelfordulásra kényszeríteni, vagy folyamatos forgómozgásra, melynek csak a gép határfrekvenciája szab határt. Mivel a hajtástechnikája egyszerű impulzusteknikával kivitelezhető, ez a forgógép igen népszerű a digitálisan vezérelhető hajtástechnika területén, nem véletlen, hogy – korábban a winchesteres háttértárolók is léptetőmotoros hajtással dolgoztak, majd átvették a helyüket a léptetőmotoros technológiára alapuló, de sima járású *kefe nélküli motorok*.

7.4.5 Kefe nélküli (brushless) motorok meghajtása

A kefe nélküli (BLDC) vagy elektronikus kommutációjú egyenáramú motor (ECDC) egy szinkron villanymotor egyenáramú táplálással, ami *elektronikusan vezérelt kommutációs rendszerrel rendelkezik* a kefés mechanikus kommutáció helyett.

Egy BLDC motorban a tekercsek (elektromágnesek) nem mozognak; helyettük az állandómágnesek forognak és az armatúra marad nyugvó. A kefe-kommutátor rendszert felváltja egy elektronikus vezérlő. A vezérlő hasonlóan osztja el az áramot, mint az egyenáramú kefés motornál történik, de ez egy félvezetős áramkör a kefe-kommutátor rendszer helyett.

A BLDC motorok minden olyan területen megtalálhatóak, ahol korábban kefés egyenáramú motorokat alkalmaztak. Számos elektromos kerékpár BLDC motort használ, amit gyakran a kerékagyba építenek: az állórészt fixen van a tengelyhez rögzítve, míg a mágnesek együtt forognak a kerékkel.

Bár a BLDC motorok gyakorlatilag azonosak az állandó mágnesű váltakozó áramú motorokkal, a vezérlő miatt lehetséges az egyenáramú működtetés. Míg a váltakozó áramú motorok szinuszos táplálást kapnak egyszerre minden tekercsen (egyenlő fázis elosztással), az egyenáramú meghajtásban csak a teljes pozitív vagy teljes negatív feszültség kapcsolása történik meg egyszerre a két szemben elhelyezkedő tekercsen. A legnagyobb előnye ennek az, hogy a vezérlő és az elemek/telepek is egyenáramúak, mint a számítógépek és az e-járművek.

Részlet a Magyar Kereskedelmi és Iparkamara gondozásában kidolgozott Villanyszerelő mesterképzésre felkészítő jegyzetből. Szerző: Sumicz Árpád