

IPAR 4.0 tudást megalapozó zárt rendszerű elektronikus
távoktatási tananyag – Ipar 4.0 megoldások és trendek
részletes ismertetése
Kézirat

Kéziratíró:	Raptis Dimitrios
Szakmai lektor:	Dr. Tóth János

IKK Innovatív Képzéstámogató Központ Zrt.
H-1055 Budapest, Honvéd u. 13-15.
www.ikk.hu | iroda@ikk.hu

GINOP-6.1.10-VEKOP-19-2020-00002
azonosító számú, „A gazdaság fokozatváltását
támogató innovatív képzések” c. projekt

Kezünkben a digitális jövő

SZÉCHENYI  2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

TARTALOMJEGYZÉK

1	Szenzor – Processzor – Aktuátor struktúra bemutatása	6
1.1	Mechatronikai rendszerek	6
1.2	Mechatronikai rendszerek struktúrája	7
2	Szenzortechnika ismeretek, alapfogalmi és technikai paraméterek	11
2.1	Bevezetés - az érzékelők műszaki-gazdasági jelentősége	11
2.2	Induktív érzékelők	15
2.3	Kapacitív érzékelők	34
2.4	Ultrahangos érzékelők	40
2.5	Optoelektronikai érzékelők	64
2.5.1	Adóelemek	64
2.5.2	Vevőelemek	69
2.5.3	Optoelektronikus érzékelők üzemmódjai	74
2.5.4	Optoelektronikus érzékelők jelfeldolgozása	77
2.5.5	A zavarelnyomás szakaszai	78
2.5.6	Kiviteli változatok	80
2.6	Mágneses érzékelők	86
2.6.1	Hall-érzékelők	88
2.6.2	Magnetorezisztív érzékelők	89
2.6.3	Helyzetmeghatározás acélfalon át, mágneses tér érzékelőkkel	93
3	Az IEC 61131-3 szabványú PLC programstruktúra bemutatása	96
3.1	Bevezetés	96
3.2	Felhasználói szoftver IEC 61131-3 nemzetközi szabvány alapján	97
4	PLC programozási alapismeretek és PLC programanalízis	100
4.1	Utasításlista – IL (Instruction List)	100

4.2	Strukturált szöveg - ST (Structured Text)	101
4.3	Létradiagram - LD (Ladder Diagram)	102
4.4	Funkcióblokk diagram - FB (Function Block diagram)	105
4.5	Szekvenciális funkció diagram - SFC (Sequential Function Chart)	107
5	Intelligens aktuátorok, az új technológia építőelemei.....	109
6	Az I4.0 koncepciója, horizontális és vertikális integrációs struktúra	113
7	A kiber-fizikai valóság szerkezete (CPS)	117
8	Az I4.0 eszköztára, a hálózatba kapcsolt gyártósor elemei.....	121
9	Az intelligens munkaállomás fogalma, felépítése	123
10	Az egyes konkrét munkaállomások feltérképezése adott technológiai eszközön	126
11	RFID identifikációs rendszer és hálózatba kötése, működtetése.....	128
12	Centralizált és decentralizált adattárolás.....	130
13	Hálózati kommunikáció, ipari hálózatok	132
13.1	Topológiák	133
13.2	Átviteli fajták	135
13.3	Buszelérési eljárások	137
13.4	Terepi buszrendszerek	142
14	Kapcsolat a termelésirányítás (MES) és a vezérlési rendszer között	149
15	Valós idejű folyamatirányítás és vizualizálás.....	151
16	HMI megoldások bemutatása	155
16.1	HMI alkalmazása a berendezések kezeléséhez, felügyeletéhez	155
16.2	HMI szoftverháttér	157
17	Intelligens szenzorok, szenzorintegráció.....	158
18	Interaktív web alapú adatmegjelenítő rendszerek és kommunikációs platformok .	162
18.1	Alapok.....	162

18.2	Ipari folyamatok megjelenítése webszerveren keresztül	163
19	PLC programozás magas szintű programnyelveken.....	166
20	Alkalmazási példák az automatizálás technika témakörében.....	172
20.1	Pick&Place robotcella.....	172
20.2	Alkatrész vizsgáló manipulátor.....	173
21	Alkalmazási példák az I4.0 témakörében	176
21.1	Hidraulikus szelepek összeszerelését végző Multi-gyártósor	176
21.2	Cytopac – Intelligens hidraulikus tápegység.....	177
22	Biztonságtechnikai ismeretek és elemek I4.0 rendszerekhez.....	178
22.1	A gépek biztonságának alapjai-jogszabályok és normatív követelmények 178	
22.2	Kockázatértékelés – 1. lépés	182
22.3	A biztonsági funkciók azonosítása – 2. lépés	187
22.4	PLr meghatározása – 3. lépés.....	189
22.5	Kategória kiválasztása – 4. lépés	190
22.6	Blokkdiagram modellezése – 5. lépés	191
22.7	Hibák és diagnosztika – 6. lépés.....	198
22.8	A PL meghatározása – 7. lépés.....	202
22.9	A vezérlés robusztusságának értékelése – 8. lépés	202
22.10	Szoftver-követelmények – 9. lépés	203
22.11	Ellenőrzés és validálás - 10. lépés	206
23	Robotika alapjai.....	209
23.1	Robot helye az automatizált gyártásban.....	209
23.2	Robotok felépítése – kinematikai struktúrák.....	211
23.3	Robot jellemzők és alapfogalmak.....	216

23.4	Kollaboratív robotika	222
24	Tesztkérdések tudásellenőrzéshez	223
25	Ábrajegyzék	226
26	Táblázatjegyzék	233
27	Felhasznált irodalom	233

1 SZENZOR – PROCESSZOR – AKTUÁTOR STRUKTÚRA BEMUTATÁSA

1.1 MECHATRONIKAI RENDSZEREK

A mechatronika szó eredetileg a japán Yaskawa Electric Cooperation cégtől származik. A cég 1969-ben jelentette be a védjegyet, amely 1971-ben jóváhagyásra került. A vállalat 1982-ben lemondott a kizárólagos tulajdonlásról és ettől kezdődően a mechatronika szóösszetétel közkincsé vált.

Forrás: <https://docplayer.hu/16910297-Mechatronika-alapjai.html> (2022.03.18.)

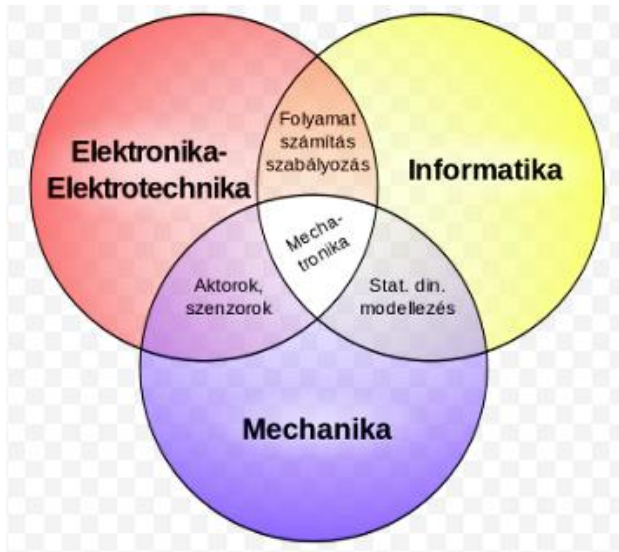
A mai korszerű automatizált berendezések és rendszerek a gépészetből kifejlődve, elektronikai és információ technológiai tudással kiegészülve, új struktúrát hoznak létre az automatizálásban és folyamatirányításban.

A mechatronikai rendszerek tehát alapvetően olyan gépek, amelyek nem csak a mechanikai modellt és a mozgató - vezérlő elektronikát jelentik, hanem szerves részük a számítógépes irányítás, az állapotfigyelés jeleinek a feldolgozása és a döntéshozatali algoritmusok jelenléte.

Egy, az EU által elfogadott definíció szerint:

A mechatronika az intelligens gépek tudománya, amely a gépészet, az elektronika és a számítógépes irányítás egymás hatását erősítő, szinergikus integrációja a berendezéseknél, a termékek előállításában és tervezésében.

A három összetevő „együttműködését” az 1. ábra mutatja.



1. ábra: A mechatronika összetevői

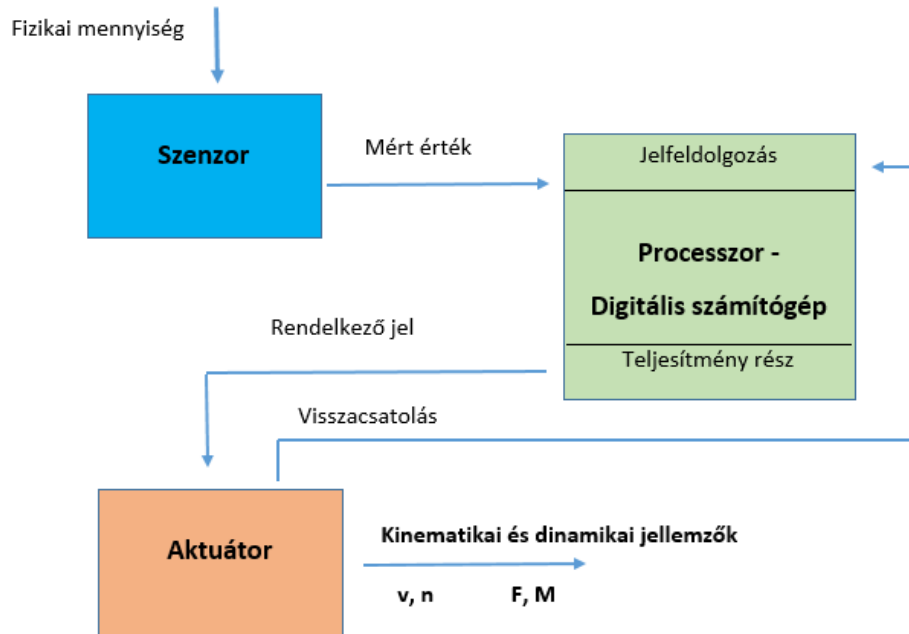
Napjainkban a mechatronikai rendszerek összekapcsolódtak a harmadik ipari forradalommal, a digitalizált gyártással, az azt támogató intelligens szoftverekkel és internet alapú szolgáltatásokkal. Jelentős termelékenység növekedés jellemzi ezeket a berendezéseket, miközben az állásidők lerövidülnek, a hibadiagnosztika és a gépállapot valós idejű figyelése és elemzése előtérbe kerül.

A jövőbeni fejlesztések azonban azt is célozzák, hogy a gépek ne csak automatikusan működjenek, hanem legyenek képesek rugalmasan alkalmazkodni a külső körülményekhez, öntanulóvá váljanak és egymással is tudjanak kommunikálni. Ehhez a mai fejlett mechatronikai alkalmazások egyre elterjedtebben igénybe veszik a mesterséges intelligenciát is, mindez a 21. századi mechatronika részévé válik.

1.2 MECHATRONIKAI RENDSZEREK STRUKTÚRÁJA

A mechatronikai berendezések kialakításánál a munkavégzésük hatékonysága szempontjából az emberi munkavégzés folyamatának a leképezése bizonyul a legcélszerűbbnek.

Ezek alapján alakult ki a Szenzor – Processzor – Aktuátor struktúra, a mechatronikai gépek strukturális modelljét mutatja az 2. ábra:



2. ábra: A mechatronikai rendszerek strukturális modellje

Szenzorok – a gép érzékelőinek a feladata az állapotfigyelés, a környezetből jövő fizikai mennyiségek detektálása és adott esetben átalakítása a „Központ” felé, feldolgozható formában. A szenzorok tehát a berendezés pillanatnyi állapotáról, vagy annak állapotváltozásáról közölnek információkat.

A környezetben jelen levő fizikai mennyiségek halmazában a mechanikus, termikus, nyomás és áramlás jellegű, elektromágneses és optikai jellemzők és kölcsönhatások találhatók. Ezek a jelek a természetben jellemzően analóg jelek, melyeknek az értelmezési tartománya és az értékkészlete is folytonos, a jel minden időpillanatban értelmezett. Ezeket a jeleket közvetlenül is tudjuk mérni, ugyanakkor a digitalizált folyamatirányítás szempontjából jobban kezelhetők digitális jelek, ill. a bináris jelek.

A szenzortechnikában is megvannak ennek megfelelően az analóg jeladó elemek, útmérők, forgó jeladók, nyomás távadók, valamint diszkrét és kétállapotú jelformát továbbító szenzor megoldások.

A szenzorok jelentik az IPAR 4.0 koncepcióra áttérés egyik legfontosabb pillérét, hiszen a gépek folyamatos és valós idejű adatközlésének részei, tehát ezeknek a szenzorelemeknek a mélyreható ismerete és alkalmazása fontos a mechatronika fejlődése szempontjából.

Aktuátorok – a gép munkavégző egységei azok, amelyek létrehozzák mindazon kinematikai és dinamikai jellemzőket, amelyek szükségesek az adott feladat megvalósításához. Ezek különböző technológiai műveletek, mozgások, megmunkálások. Az aktuátorok tehát végrehajtják mindazon mechanikai műveleteket, amelyek révén létrejön a berendezés állapotváltozása és a gyártandó termék. Az aktuátorok lehetnek elektromos, pneumatikus és hidraulikus hajtások.

Az elektromos hajtások jellemzően a forgómozgás megvalósításában vesznek részt, bár vannak villamos lineáris aktuátor megoldások is. Az elektromos hajtásokra jellemző a magas ismétlési és beállási pontosság, a kiváló vezérelhetőség és szabályozhatóság, különösen a szervo és léptetőmotoros megoldásoknál, amelyek a mai korszerű robot és manipuláció technikában is elterjedtek.

A pneumatikus hajtóművek leginkább a lineáris mozgások hajtásai, mellette a forgómozgás, és azon belül a szakaszos szögelfordulás megvalósításában is részt vesznek. Jellemző rájuk a gyors kinematika, mindezt viszont kisebb pontossággal látják el adódóan a sűrített levegő fizikájából. Az átvitt teljesítmény is alacsonyabb.

A hidraulikus hajtások, mind a forgó, mind pedig a lineáris mozgások létrehozásában azonos súllyal szerepelnek, jellemző rájuk a nagy teljesítmény sűrűség, nagy energiaátviteli képesség. Pontossági paramétereik jobbak a pneumatikus rendszerekénél, de gyengébbek a villamos hajtásokénál.

Processzor (ok) – a jel és információfeldolgozás, valamint a végrehajtás utasításainak és parancsainak a központja, azaz a gép „agya”. Itt jönnek létre azok a program szerinti döntések, amelyek az állapotváltozásért felelnek a rendszerben, ez a mechatronikai gép vezérlő- és szabályozó, vagyis folyamatirányító központja. A ma legelterjedtebb vezérlőrendszer a PLC, mely egy mikroprocesszoros, villamosan működtetett folyamatok szabályozását és vezérlését végző berendezés. A programozhatósága révén a benne tárolt logikai kapcsolatok és algoritmusok könnyedén módosíthatók, az így létrehozott mechatronikai berendezés ennek megfelelően adaptív és alkalmas a rugalmas gyártás megvalósítására. A PLC a bemenetein fogadja a szenzorok jeleit és a kimenetein keresztül utasítja az aktuátorokat a művelet végrehajtására.

Ehhez a döntéshozatalt végző csoporthoz sorolhatjuk a különböző numerikus vezérlőket, a mozgásvezérlő és robotvezérlő rendszereket is. Ide tartoznak a különböző ipari folyamatirányító számítógépek és az egyedi, speciális vezérlések elektronikai egységei is.

A cél tehát a mechatronikai rendszereknél, hogy ennek a struktúrának az alkalmazásával egyre okosabb és ügyesebb gépeket hozzunk létre, amelyek megkönnyítik, vagy helyettesíteni képesek az emberi munkát.

A funkció fogalma a mechatronikában

A mechatronikai rendszerekben előforduló funkciók az alábbiak szerint csoportosíthatók, a növekvő komplexitás és teljesség sorrendjében:

- Kinematikai funkciók; Ezen egy olyan megfelelő mozgásmechanizmus biztosítását értjük, amellyel a feladat megoldható.
- Dinamikus funkciók; Itt a fellépő és a rendszerre ható erőket, valamint a hajtás viselkedését is figyelembe vesszük.
- Mechatronikai funkciók; A funkcionális leírás a szabályozási algoritmusok, az érzékelők és egyéb összetevők bevonásával történik.



3. ábra: *Komplex mechatronikai autóiipari gyártórendszer*

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/robotics.html?offset=100&filter=all&qview=8869657> (2022.03.18.)

2 SZENZORTECHNIKA ISMERETEK, ALAPFOGALMAI ÉS TECHNIKAI PARAMÉTEREK

2.1 BEVEZETÉS - AZ ÉRZÉKELŐK MŰSZAKI-GAZDASÁGI JELENTŐSÉGE

A mechatronikát széles körben használjuk a gyártásban és számtalan más területen is, mint például a raktározásban, a logisztikában és általában a hétköznapi életben is.

A mechatronika céljai az alábbiak:

- a termékek minőségének javítása,
- energia- és anyagtakarékosság,
- a termelékenység növelése,
- a környezetterhelés csökkentése,
- a munkahelyek emberségessé tétele,

- a berendezések biztonságtechnikájának fokozása.

A hangsúly általában a számítógépes, vagy PLC-vezérelt termelés megvalósításán van. Ezek a rendszerek csak akkor tudják ellátni feladatukat, ha megbízhatóan megkapják a szükséges folyamatinformációkat.

Az információkat különböző fizikai elveken működő érzékelők szolgáltatják. A nem elektromos folyamatváltozókat – például út, szögérték, helyzet, töltöttségi szint, hőmérséklet, nyomás stb. – a vezérlőben vagy szabályozóban feldolgozható elektromos jelekké alakítják.

Pillanatnyilag kb. 100 fizikai - kémiai - biológiai hatást használó „technikai érzékelő” típus van forgalomban, vagy fejlesztés alatt. Különböző működési elvük miatt az egyes érzékelő típusok csak meghatározott alkalmazási területeken használhatók. Ezeket figyelembe kell venni a berendezések tervezésekor.

Fogalom meghatározás

Az érzékelők nem elektromos információkat alakítanak át leggyakrabban elektromos (ritkábban pneumatikus vagy hidraulikus) jellé. Az automatizálásban a szenzorok az emberi érzékelést helyettesítik.

Nem elektromos jelek lehetnek:

- mechanikus,
- kémiai,
- termikus,
- mágneses,
- optikai.

Fizikai jelek lehetnek:

p = nyomás,
l = út, távolság,
v = sebesség,
 ω = szögsebesség,
n = fordulatszám,
pH = ionkoncentráció,
% = térfogatszázalék,
gázkoncentráció,
T = hőmérséklet,
B = mágneses indukció,
U = feszültség,
R = ellenállás,
Q = rezgőkör jósági tényezője,
 Δt = időintervallum,
C = kapacitás,
E = elektromos térerősség,
W = elektromos energia,
H = mágneses térerősség,
 γ = fény kvantum.

A mechatronikában gyakran bináris jelre van szükség, például annak jelzésére, hogy van-e adott helyen tárgy, vagy nincs. Az ilyen feladatokat egy speciális kategóriáját képviselő közelítéskapcsolókkal oldják meg. Ezeknél az érzékelőknél a kimeneti jelet a jelátalakító után kötött küszöbérték-kapcsoló (pl. Schmitt-trigger) állítja elő, amely egy rögzített vagy állítható érték felett vagy alatt átkapcsolja a kimenetet.

Az érintésmentes érzékelők jelentős előnyöket kínálnak a mechanikus érintkezőkkel szemben:

- nem igényelnek erőt,
- nem idéznek elő ellenhatást,

- pergesmentes kimenőjelet adnak,
- nagyon gyorsak és nagy a kapcsolási frekvenciájuk,
- nem kopnak,
- nem igényelnek karbantartást,
- agresszív környezetben is használhatók.

Néhány alapfogalom:

Érzékelő szinonimái: jeladó, szenzor, jelmérő, mérőváltó, detektor, mérő-átalakító;

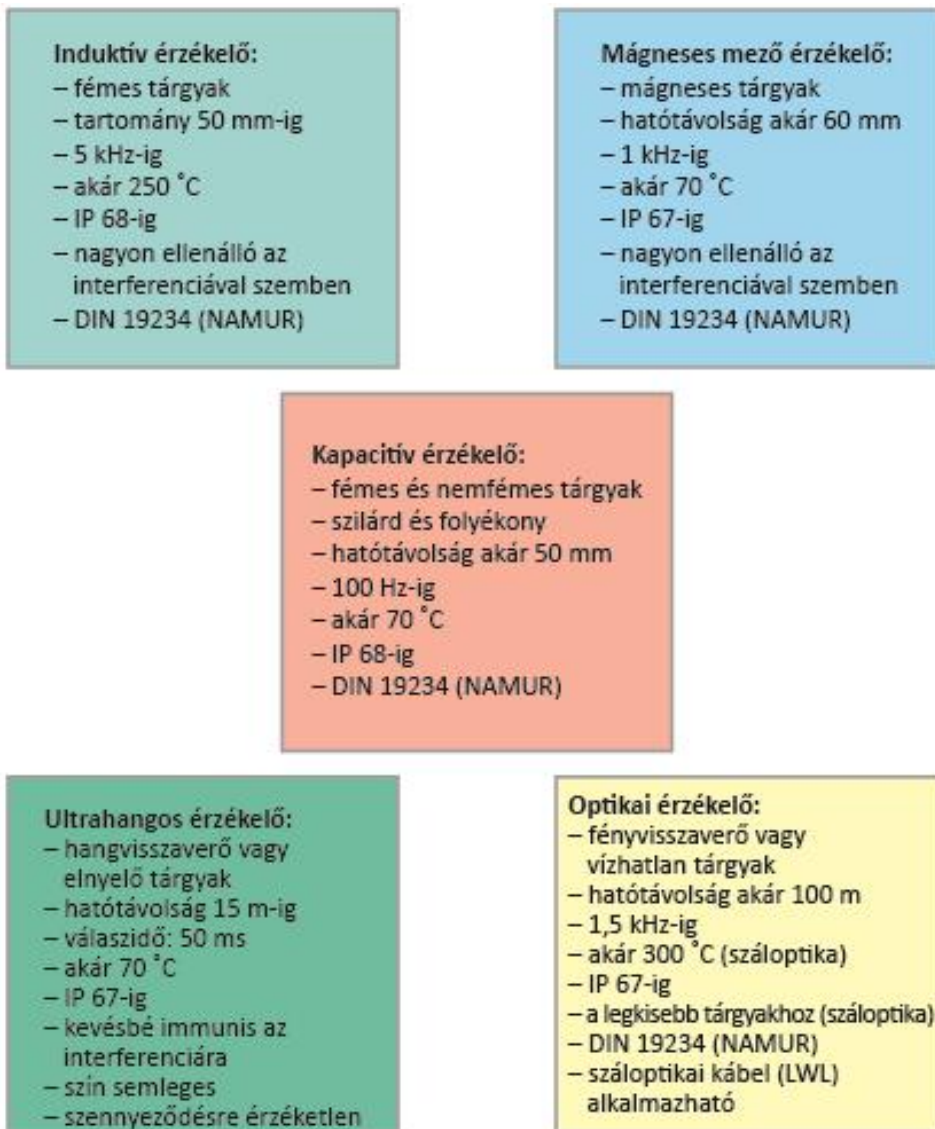
Közelítés kapcsoló: iniciátor;

Érzékelőelem: az érzékelőnek az a része, amely érzékeli a mérendő változót, de önállóan nem használható, mert kell hozzá pl. jelfeldolgozó és csatlakozó.

Több érzékelős rendszer: több egyforma, vagy különböző érzékelőből, érzékelőelemből álló, adott feladatot ellátó rendszer.

Az elemzési összetevők tömörítése elektronikusan, logikai és matematikai úton történik.

Példa: A munkadarabok alakját és anyagát megkülönböztető közelségi kapcsolók vagy gázelemzők kombinációja, ahol az egyes érzékelők érzékelési tartománya átfedésben van. Ahol a jelek együttes, intelligens kiértékelése több információt szolgáltat, mint az egyes érzékelők külön-külön.



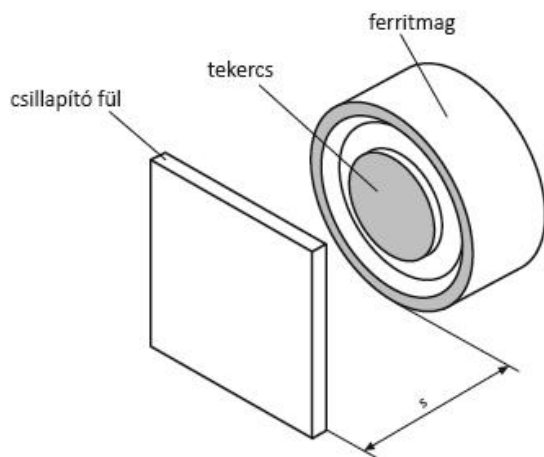
4. ábra: Tipikus alkalmazási jellemzők

2.2 INDUKTÍV ÉRZÉKELŐK

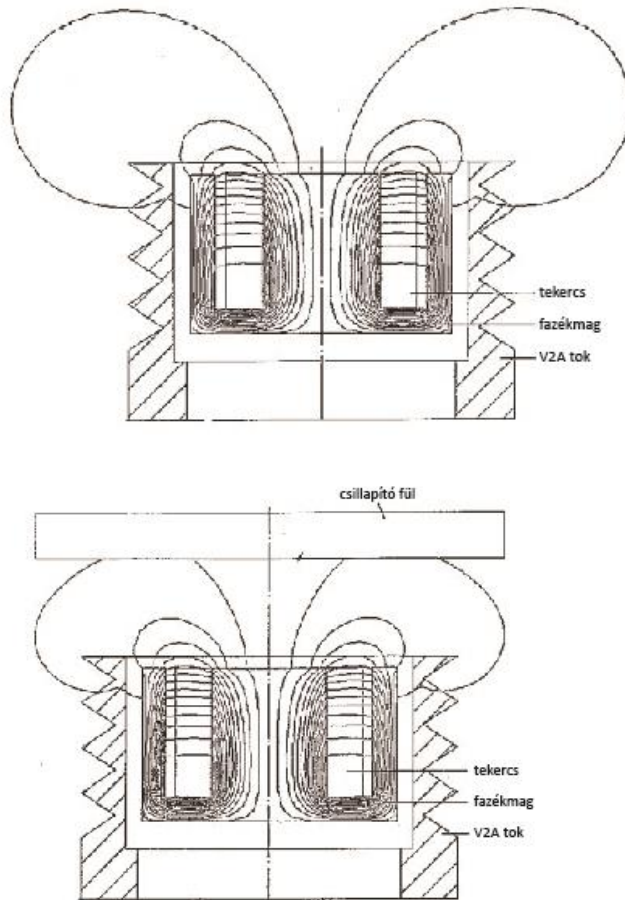
Az inductív érzékelők közelítéskapcsolók formájában már széles körben használatosak az automatikában és **folyamatirányításban**. Érintésmentesen működnek, zárt kivitelük révén érzéketlenek a környezeti hatásokra, és nagyon megbízhatók, nagy a kapcsolási frekvenciájuk és hosszú az élettartamuk.

Felépítése

Induktív érzékelőkben az aktív elem ferritmagos tekercsből áll. Váltakozó árammal táplált tekercs mágneses teret hoz létre, amelyet egy ferritmag úgy irányít, hogy az erővonalak csak az egyik oldalon lépnek ki, ez a közelítéskapcsoló aktív oldala vagy felülete. Az aktív felület közelében levő, elektromosan, vagy mágnesesen vezető anyagú tárgy deformálja a mágneses teret. Elektromosan vezető tárgyban a váltakozó mágneses tér örvényáramokat kelt. A csillapító fül ezáltal rövidre záró gyűrűként viselkedik. Az érzékelő tekercséből és a csillapítóból álló rendszer transzformátorként viselkedik. A primertekercs az érzékelő tekercse, a szekunder tekercs a rövidre zárt fémfül.



5. ábra: Induktív érzékelő működési elve



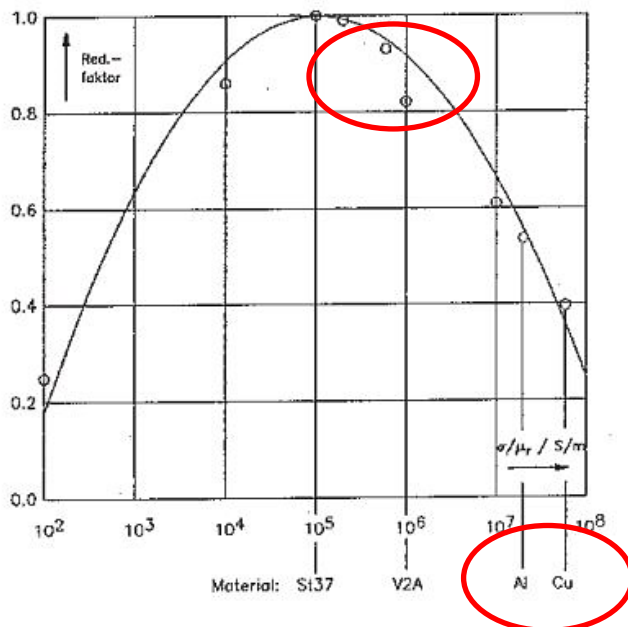
6. ábra: Induktív érzékelő erőtere St37 anyagú csillapító fül nélkül és füllel

A kölcsönös induktivitás által képviselt induktív csatolás miatt a szekunder áramkörben folyó áram visszahat a primer áramkörre. Ez a tekercs Z impedanciájának megváltozásában jelentkezik.

Z valós összetevőjének növekedése lényegében a következő két tényezőtől függ: a fül és a tekercs távolságától és a fül anyagától, különösen annak elektromos vezetőképességétől és μ permeabilitásától.

A legnagyobb változást szerkezeti acélból (St37) készült csillapító fül okozza. A különböző anyagokkal elérhető s kapcsolási távolságot ezért az St37 anyag s_n , kapcsolási távolságára normalizáljuk. A normalizált értéket csökkentési tényezőnek, más szóval korrekciós tényezőnek nevezzük. Csökkentési tényező = s/s_n .

E tényező megmutatja, milyen mértékben csökken különböző anyagok érzékelési távolsága a szabványos St37 mérőfűlhez képest.



7. ábra: Közelítéskapcsoló csökkentési tényezője, a csillapító fül elektromos vezetőképessége és relatív permeabilitása hányadosának függvényében

A tekercs mérete és a kapcsolási távolság

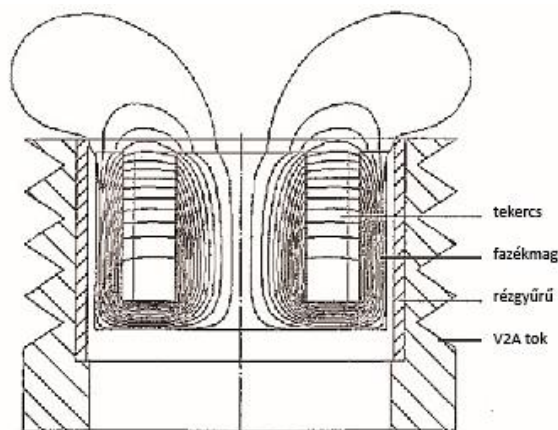
A mágneses tér korlátozott kiterjedése határozza meg az induktív közelítéskapcsolók legnagyobb lehetséges kapcsolási távolságát. A mágneses tér kiterjedése és ezáltal az s_n kapcsolási távolság arányos a mag d átmérőjével. A névleges kapcsolási távolság kissé progresszív módon nő a magátmérő függvényében.

Beépítési problémák

Induktív közelítéskapcsolók tekercsrendszerét az aktív területen kívül körülvevő vezető anyagok problémát jelentenek, mert befolyásolják a tekercs mágneses terét és ezzel impedanciáját. Ezért nem mindegy, hogy hová kerülnek elhelyezésre az érzékelők.

Tok

Ha nemesacél tokba építik az induktív közelítéskapcsolót, a tokban indukált örvényáramok alpból csillapítják a tekercsrendszert és az oszcillátort, ezáltal csökkentik az elérhető kapcsolási távolságot. Ez a negatív hatás rézgyűrű tokba építésével csökkenthető.



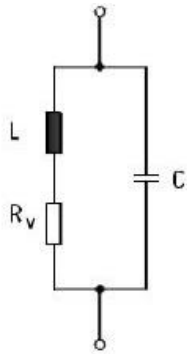
8. ábra: Beépített réz árnyékoló gyűrűs induktív érzékelő erővonalképe

Felület síkjába építés

További veszteséggel jár, ha az érzékelőt elvágólag építik elektromosan vezető anyagú felületbe, például acél géprészbe. Az acél veszteségi csillapítása csökkenti a kapcsolási távolságot.

Elektronikus áramkör

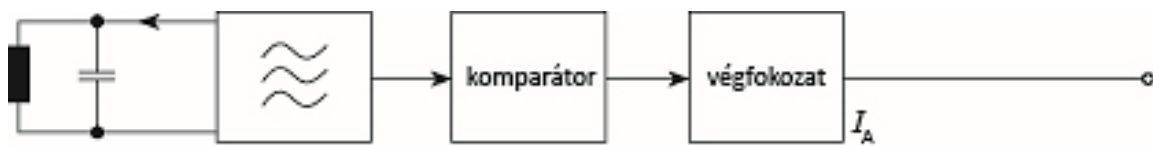
A közelítéskapcsoló tekercse egy külön kondenzátorral kombinálva párhuzamos rezgőkört alkot. Az 9. ábra szerinti helyettesítő áramkörében L a tekercs inuktivitása és $R_v = \text{Re}(\underline{Z})$ a tekercsnek a csillapító fül távolságától függő veszteségi ellenállása. C a veszteségmentesnek feltételezett párhuzamos kondenzátor. A rezgőkör jóságát az R_v veszteségi ellenállás határozza meg.



9. ábra: Induktív érzékelő rezgőkörének egyszerűsített helyettesítő áramköre

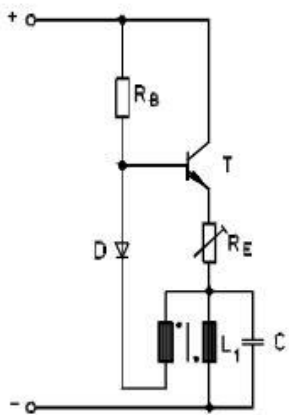
Induktív közelítéskapcsoló tömbvázlata

A rezgőkör egy oszcillátor része és $Q = \omega L / R_v$ jósági tényezője határozza meg a nagyfrekvenciás rezgések amplitúdóját. A fül közeledése növeli az R_v veszteségi ellenállást, csökkenti a rezgőkör jóságát, és ezzel a rezgések amplitúdóját. Ha az amplitúdó a beállított érték alá csökken, megszólal a komparátor és átkapcsolja a közelségi kapcsolót.

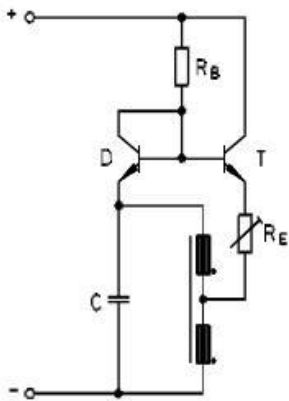


10. ábra: Induktív közelítéskapcsoló tömbvázlata

Az 11. ábrán egy egyszerű oszcillátor kapcsolás látható. A rezgőkört L_1 és C alkotja. A T tranzisztor közös kollektoros kapcsolásban működik, 1-nél kisebb feszültségerősítésű nem invertáló erősítőként. Ezért transzformátoros visszacsatolást igényel, amely gondoskodik a szükséges feszültségnövelésről. A transzformátort a tekercs megcsapolása adja. R_B és D a tranzisztor egyenáramú munkapontját állítja be. Az oszcillátor rezgési küszöbe, és ezzel az érzékelő kapcsolási távolsága, az R_E trimmerrel állítható. A gyakorlatban ez a fajta megoldás több szempontból is problémás, különösen a hőmérsékleti stabilitás tekintetében.



11. ábra: Az oszcillátor-kapcsolás elve

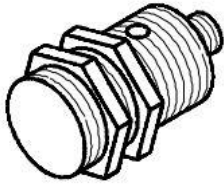


12. ábra: Hőkompenzált oszcillátor-kapcsolás

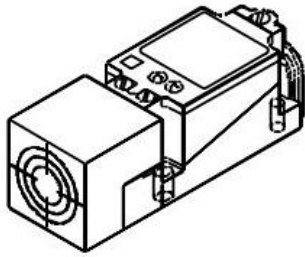
Ezért inkább a hőkompenzált, módosított változatot alkalmazzuk, ami a 12. ábrán látható. A rezgőkör C kondenzátora két sorba kötött tekerccsel van párhuzamosítva. Így azonos f rezgési frekvenciához kisebb kondenzátort kell használni.

Hengeres és hasáb alakú közelítéskapcsoló

A közelítéskapcsoló általában hengeres. A henger egyik homloka az aktív felület. Ugyanez az áramkör és tekerccs azonban négyzetes tokba is beépíthető.



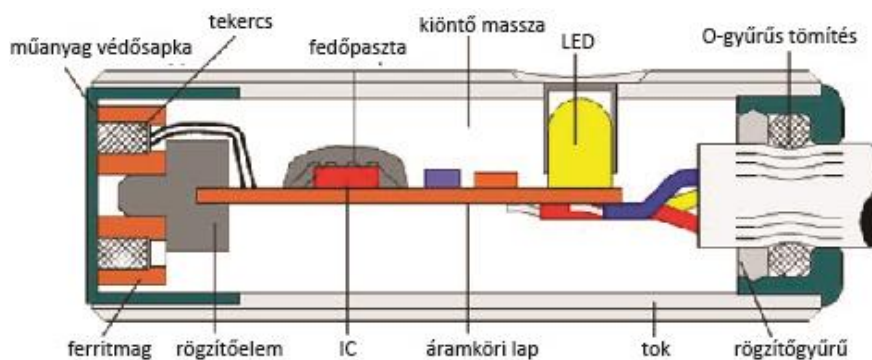
13. ábra: Hengeres és hasáb alakú induktív közelítéskapcsoló



14. ábra: Hengeres és hasáb alakú induktív közelítéskapcsoló 2.

A hengeres közelítéskapcsoló tokjának anyaga műanyag, vagy acél. Az aktív homloklfelületen helyezkedik el a ferritmagos tekercs, műanyag védősapka alatt. Mögötte van az elektronika, nyomtatott áramköri lapon vagy vastagréteg-áramkörben. A kapcsolási állapotot LED jelzi.

A tokot hátul fedél zárja, ebből ágazik ki a csatlakozókábel. A kapcsoló belseje teljesen ki van öntve műanyag masszával.

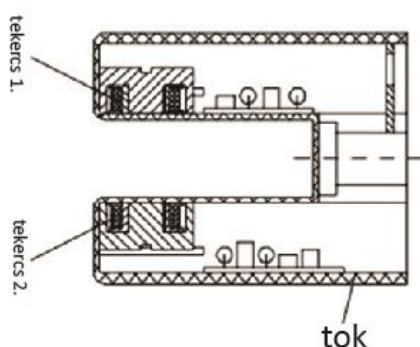


15. ábra: Hengeres induktív érzékelő elvi felépítése

Az induktív közelítéskapcsolók osztályozására és specifikációjára vonatkozó fogalmakat, valamint a legfontosabb paraméterek meghatározására szolgáló mérési módszereket a DIN EN 50010 és 50032 szabvány határozza meg. Mérőfülként egy 1 mm vastag St37 lemezből készült négyzet alakú lemezt írnak elő. Élhossza a közelségi kapcsoló s_n névleges kapcsolási távolságától függ. Az s_n névleges kapcsolási távolság csak egy paraméter, amely a közelítéskapcsolót a túrések figyelembevételével osztályozza. A tényleges s_r távolságot méréssel határozzák meg, névleges feszültségen és 20 °C környezeti hőmérsékleten. Értéke legfeljebb 10%-kal térhet el s_n értékétől.

Réses közelítéskapcsolók

A réses közelítéskapcsolók két egymással szemközt elhelyezett tekercsből állnak, amelyek nagy légrésű, lazán csatolt transzformátorként működnek. A két tekercs oszcillátor-áramköre transzformátorának egy-egy tekercse. Csillapítás nélkül a tekercsek közötti csatolás elegendő az oszcillátor működtetéséhez. Ha a tekercsek közötti résbe fémes fület helyeznek, lecsökken az induktív csatolás. Ha a fül bemelegítési mélysége meghaladja a kapcsolási értéket, az oszcillátor visszacsatolása a kritikus érték alá süllyed, a rezgés leáll, és a közelítéskapcsoló átkapcsol. Felépítésénél fogva a réses közelítéskapcsoló kifejezetten érzéketlen a fül mozgására a tekercsek tengelyének irányában, úgyhogy ebben az irányban nagy pontatlanságok engedhetők meg. Az érzékelő a tekercsek tengelyvonalára merőleges elmozdulásokra érzékeny.

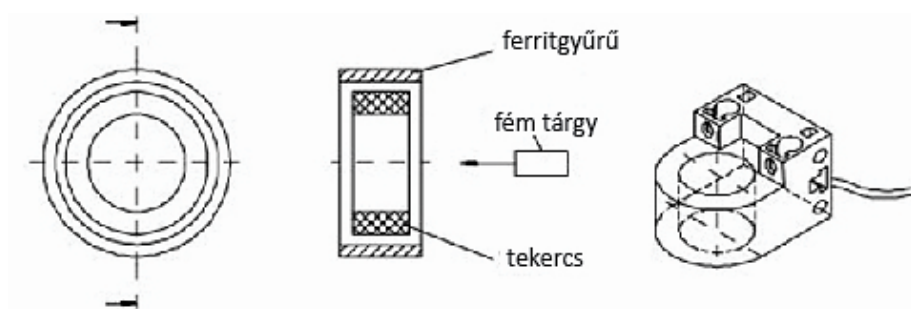


16. ábra: Réses közelítéskapcsoló elvi felépítése

Ez a kapcsolótípus lényegében a két tekercs közötti csatolás változását figyeli. A veszteségi ellenállás növekedése mellékes. Emiatt a csillapító fül anyagának paraméterei a réses közelségi kapcsolók esetén sokkal kevésbé befolyásolják a kapcsolási pontot, mint a hengeres közelségi kapcsolóknál.

Gyűrűs közelségi kapcsolók

Gyűrűs közelségi kapcsolókban a magot, a tekercset hengeresen körbevevő ferritgyűrű helyettesíti. Ez kifelé árnyékolja a mágneses teret, és az aktív teret a tekercs belsejében tartja. Itt is használható az oszcillátor-áramkör. A kapcsolót fémes tárgynak a gyűrűbe tolása kapcsolja át. A gyűrűs közelségi kapcsolók egyik gyakorlati alkalmazása a rajta keresztül mozgatott kis fémdarabok felismerése és megszámlálása. Vas és nemvas fémeket egyaránt felismernek, de a hengeres közelítéskapcsolókra vonatkozó csökkentési tényezővel összhangban a nemvas fémekből készült testeknek nagyobb méretekkel kell rendelkezniük ahhoz, hogy kapcsolást váltsanak ki.

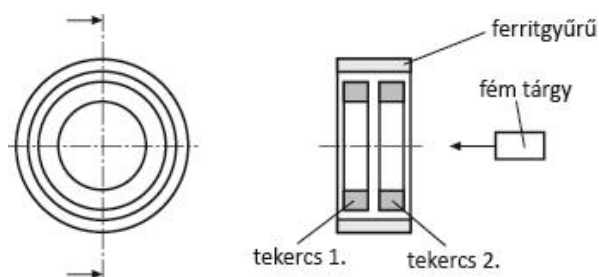


17. ábra: Gyűrűs közelségi kapcsoló tekercse és axonometrikus nézeti képe

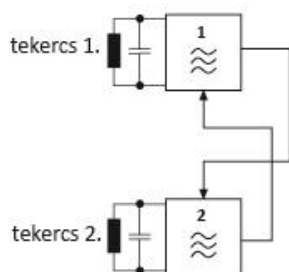
Bistabil kapcsolók

A bistabil kapcsolóknak két stabil helyzetük van, amelyben akkor is megmaradnak, ha az átkapcsolást kiváltó tárgyat eltávolítják. Működési elvét bistabil gyűrűs közelségi kapcsolóval szemléltetjük, amelynek tekercsrendszere és tömbvázlata az **17. ábrán** látható. A ferritgyűrűben két külön tekercs van, amelyek saját oszcillátorhoz kapcsolódnak. A két oszcillátor úgy van összereteselve, hogy egyidejűleg csak az egyikük tud rezegni. Az áramkör úgy van kialakítva, hogy a tápfeszültség bekapcsolásakor mindig az 1. oszcillátor kapcsol be. Ha balról jön egy fémtárgy, az először az 1. tekercset

csillapítja, amelyben megszűnik a rezgés, és bekapcsolódik a 2. oszcillátor. Amikor a fémtárgy eléri a 2. tekercset, azt kezdi csillapítani, és megszűnik benne a rezgés. Mihelyt megszűnik az 1. tekercs csillapítása, beindul az 1. oszcillátor. A fémtárgy balról jobbra való teljes áthaladása után az 1. oszcillátor rezeg, az első stabil kapcsolási helyzet szerint. Jobbról balra áthaladás esetén fordított a helyzet. A teljes áthaladást követően a 2. oszcillátor marad bekapcsolva. A bistabil közelségi kapcsolók tehát irányérzékelésre használhatók. Az oszcillátorok úgy vannak kialakítva, hogy eltérő üzemi áramot vegyenek fel, ezért áramfelvételükből felismerhető kapcsolási állapotuk.



18. ábra: Bistabil gyűrűs közelségi kapcsoló tekercsrendszere és tömbvázlata



19. ábra: Bistabil gyűrűs közelségi kapcsoló tekercsrendszere és tömbvázlata 2.

Hegesztőáram-álló közelítéskapcsolók

Ívhegesztő berendezések közelében az induktív közelítéskapcsolókat két káros hatás éri.

- Az erős hegesztőáram erős mágneses tere áthatol a közelítéskapcsoló burkolatán és telítésbe viszi a vasmagot, vagy úgy eltolja a munkapontját, hogy reverzibilis permeabilitása jelentősen lecsökken. Ez lerontja a tekercs jósági tényezőjét. A

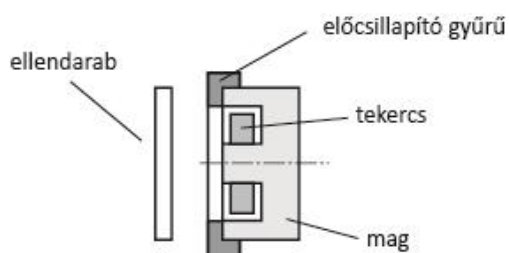
mágneses tér emellett csillapítja is a tekercsrendszert, ami miatt átkapcsolhat a közelségi kapcsoló. Lehetséges megoldás karbonil-vas tekercsmag alkalmazása, amelynek két-háromszor akkora a telítési indukciója, mint a szokásos ferriteknek. Az ilyen magoknak azonban kisebb a permeabilitása, ami kissé lerontja a tekercs jósági tényezőjét.

- A második káros hatás abból áll, hogy a hegesztőberendezés erős váltakozó mágneses tere elektromos feszültséget indukál az érzékelő tekercsében. A feszültség befolyásolja és átkapcsolhatja az oszcillátort. Ezt alkalmas kapcsolástechnikai megoldásokkal kell megelőzni.

A hegesztőáram-álló közelítéskapcsolók mechanikusan is strapabíróbbak, hogy bírják a nehéz üzemi feltételeket.

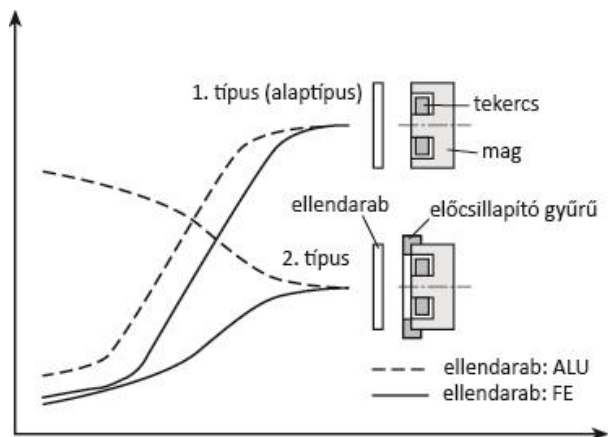
Anyagokat megkülönböztető érzékelők

Az 18. ábrán olyan induktív érzékelő látható, amely képes megkülönböztetni a ferromágneses anyagokat a nem ferromágnesesektől. Felépítése alapján az érzékelőn konstantán előcsillapító gyűrű van.



20. ábra: Anyagokat megkülönböztető érzékelő elvi ábrája

A gyűrű anyagminősége és méretei révén az érzékelő áramfelvétele csillapítatlan állapotban kb. fele akkora, mint a szokásos érzékelőké. Ha ezt az érzékelőt ferromágneses anyaggal (pl. St37) csillapítják, áramfelvétele minimálisra csökken. Ha nem ferromágneses anyaggal közelednek hozzá, a távolság csökkenésével a maximális értékig nő az áramfelvétele.



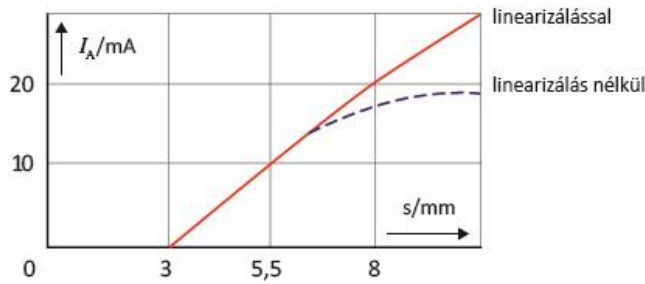
21. ábra: Áramfelvétel előcsillapítással és anélkül

Ez a viselkedése különféle alkalmazásokban hasznosítható. A kapcsoló használható például olyan biztonsági áramkörökhöz, amelyekben a szokásos érzékelőével ellentétes kapcsolási viselkedésre van szükség. Ehhez nem ferromágneses, pl. alumínium csillapító anyagra van szükség.

Alkalmazható induktív szelektív kapcsolóként is. Ilyenkor a kiértékelő egység két kapcsolási küszöbértéket figyel. Az egyik a csillapítatlan áramfelvétel fölé, a másik az alá esik. A két kiértékelő egység által vezérelt két független végfokozat beépítésével két anyagszelektív kimenőjel képezhető, a csillapító tárgy anyaga szerint.

Induktív analóg jeladó

Az induktív érzékelők külön csoportját képviselik az analóg jeladók, amelyek nem kétállapotú kapcsolójelet adnak, hanem a csillapító fül távolságával hozzávetőleg arányos analóg kimenőjelet. Az analóg jeladó kimeneti árama egy bizonyos tartományon belül szinte lineárisan függ a fül távolságától. Az analóg jeladó mechanikus felépítése és tekercsrendszere megegyezik a hengeres közelítéskapcsolóéval. Működési elvét a 22. ábra szemlélteti.



22. ábra: Analóg érzékelő tömbvázlata

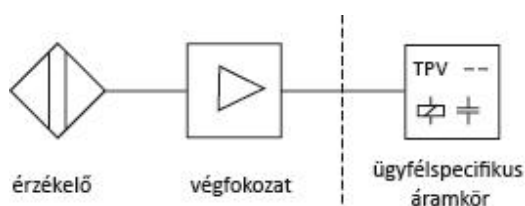


23. ábra: Analóg érzékelő tömbvázlata 2.

Induktív közelítéskapcsolók csatolófelületei

Az induktív közelítéskapcsoló lehet egyen- és váltakozó feszültségűek. Készülhet két-, három- és négyvezetékes kivitelben. Lehet nyugvóérintkezős, munkaérintkezős, vagy antivalens funkciójú. A csatolófelületet a végfokozat képezi, ami összekapcsolja az érzékelőt az ügyfél csatolófelületével és a következő feladatokat látja el:

- az érzékelő energiaellátása,
- az érzékelő jelének kiértékelése,
- szintváltás és erősítés,
- zavarelnyomás (szűrés),
- optikai kijelzés (LED),
- hibás bekötés elleni védelem,
- káros jelek (bekapcsolási impulzusok stb.) kizárása,
- különböző fogyasztók meghajtása különféle vezetéseken.



24. ábra: Induktív közelítéskapcsoló működése az érzékelő és az ügyfél csatolófelülete közötti láncszemként

Elektromos kivitelek és működési módok

Az egyenfeszültségű kapcsolók két szabványos feszültségtartománya a következő:
10-30 V és 10-60 V.

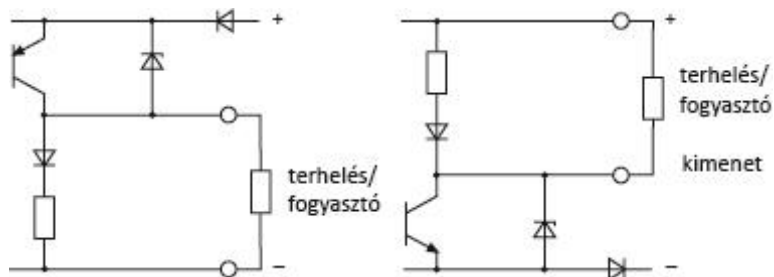
A váltakozó feszültségű kapcsolók üzemi feszültségtartománya 20-250 V. Vannak mindenfeszültségű kapcsolók is, amelyek a 20-300 V. Az egyenfeszültségű és 20-250 V váltakozó feszültségű tartományban működnek. Külön csoportot képviselnek a DIN 19234 (NAMUR – Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie – User Association of Automation Technology in Process Industries) gyűjtőszikramentes kivitelű szabványos csatolófelületű közelségi kapcsolók.

Egyenfeszültségű kapcsolók

Az egyenfeszültségű kapcsolók kettő-, három- és négyvezetékes kivitelben kaphatók. A kétvezetékes kapcsolók sorba kapcsolódnak a fogyasztóval és ezért csak két vezeték igényelnek. Tetszőleges polaritással köthetők be, és ezáltal mechanikus kapcsolóként viselkednek.

Az érzékelő áramellátása végett azonban nyitott állapotban is folyik kis maradék áram a fogyasztón, és zárt állapotban feszültségesés lép fel a kapcsolón. Ezt a csatlakoztatható fogyasztók kiválasztásakor figyelembe kell venni. A három- és négyvezetékes kapcsolóknak külön tápvezetéke és egy vagy két fogyasztói kimenete van. Ez kiküszöböli a kétvezetékes kapcsolók fent említett hátrányait. Megkülönböztetjük a plusz és mínusz pólust kapcsoló kivitelűt, attól függően, hogy a kapcsológimenetre kötött fogyasztó a tápellátás + vagy – pólusára kapcsolódik-e. A két- és háromvezetékes kapcsolók kaphatók nyugvóérintkezős vagy munkaérintkezős változatban. Az oszcillátor csillapításakor a nyugvóérintkezős változat kikapcsolja, a munkaérintkezős változat bekapcsolja a

fogyasztót. A négyvezetékes kapcsolókon van külön nyugvó (zárt) és munkaérintkezős (nyitott) kimenet.



25. ábra: Háromvezetékes egyenfeszültségű kapcsoló pnp és npn kimenőfokozata

2 huzalos technológia	3 huzalos technológia	4 huzalos technológia
	<p>$+U_B$</p> <p>pnp</p> <p>fogyasztó</p> <p>p-kapcsoló</p> <p>$+U_B$</p> <p>npn</p> <p>fogyasztó</p> <p>n-kapcsoló</p>	<p>$+U_B$</p> <p>pnp</p> <p>fogyasztó</p> <p>fogyasztó</p> <p>p-kapcsoló</p> <p>$+U_B$</p> <p>npn</p> <p>fogyasztó</p> <p>fogyasztó</p> <p>n-kapcsoló</p>

26. ábra: Induktív egyenfeszültségű kapcsolók csatlakoztatási módjai

Váltakozófeszültségű és mindenfeszültségű kapcsolók

A váltakozó- és mindenfeszültségű kapcsolók kettő- és háromvezetékes kivitelben kaphatók.

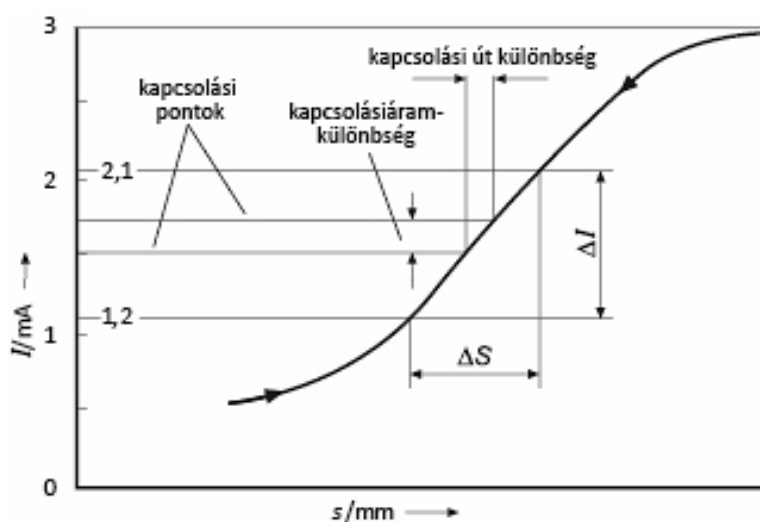
A korábban az egyenfeszültségű kiviteleknel leírtak vonatkoznak rájuk.

DIN 19234 (NAMUR) szabványos érzékelők

Ezek egyszerű, végfokozat nélküli, kétvezetékes egyenfeszültségű kapcsolók.

Csak oszcillátort tartalmaznak. A DIN 19234 szabvány leírja a kétvezetékes érzékelő és a kapcsolóerősítő vezérlő bemenete közötti együttműködést. Meghatározza a kapcsolóerősítő, az érzékelő és a kapcsolási pontok jellemzőit.

A kapcsolóerősítő feladata az érzékelő táplálása. Az érzékelő változó belső ellenállással, és ebből eredően változó árammal vezérli a kapcsolóerősítőt. Az üzemi értékek olyan alacsonyak, hogy a közelítéskapcsoló „gyújtószikramentes” védettségűként robbanásveszélyes környezetekben is használható, a vonatkozó előírások és irányelvek betartásával. Az érzékelő a befolyásoló test mozgását kimenőjellé alakítja. Az 24. ábrán ilyen érzékelő arányos elmozdulás-kimenőjel jelleggörbéje látható.



27. ábra: DIN 19234 (NAMUR) szabványos elmozdulás/áram jelleggörbe

Védelmi és biztonsági áramkörök

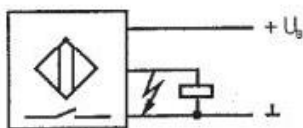
Induktív közelítéskapcsolók túlterhelés vagy szakszerűtlen kezelés miatti tönkremenetelét különféle védőáramkörökkel akadályozzák meg. Ezzel szemben a biztonsági áramkörök olyan téves jeleknek az érzékelő kimenetére kerülését akadályozzák meg, amelyek az érzékelő jelével működő berendezések hibás működését eredményeznék.

Védelem fordított bekötés és túlfeszültség ellen

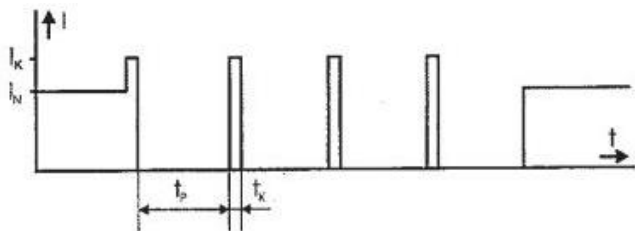
Fordított bekötés ellen védett érzékelők vezetékének téves bekötése nem teszi tönkre a kapcsolót. Erről védődiódák vagy egyenirányító hidak gondoskodnak. A túlfeszültség ellen védett kapcsolókat nem teszi tönkre és nem idéz elő bennük hibás működést az átmeneti feszültségnövekedés, például a tápegység rossz indulása vagy külső zavarjelek miatt. A túlfeszültség elleni védelem ellenállásokkal, Zener-diódákkal vagy varisztorokkal működik. Generátoros – és különösen mechanikus feszültségszabályozós – gépjárművekben időnként megnő a fedélzeti hálózat feszültsége. Ilyen például, ha maximális töltőáram mellett leválik az akkumulátorról a kábel, a szabályozó tehetetlensége miatt a fedélzeti feszültség átmenetileg akár 100 – 200 voltra nőhet. Fogyasztók be- és kikapcsolása rendszerben is jelentős túlfeszültségeket idézhet elő. Gépjárművekben használt kapcsolók tönkremenetele kiegészítő áramköri megoldásokkal akadályozható meg. Ilyen megoldás például a túlfeszültségvédelmi ellenállás értékének megnövelése, nagyobb feszültséget bíró félvezetők és erősebb túlfeszültségvédelem használata.

Túlterhelés elleni védelem

Túlterhelés ellen védett érzékelők kibírják a terhelőellenállás csökkenését vagy a kimenet rövidre zárását a specifikált hőmérséklet- és tápfeszültség tartomány egészében. A végfokozat túlterhelése azért veszélyes, mert a megengedett fölé növeli a benne működő félvezetők veszteségi teljesítményét, ami túlmelegedés miatt tönkre teheti őket. A túlterhelés elleni védelem legolcsóbb formája a fogyasztóval sorba kapcsolt PTC termisztor. Ennek azonban van néhány hátránya: Rövidzár esetén nagyon nagy csúcsáram folyik, a kikapcsolási áram erősen függ a környezeti hőmérséklettől, és a kapcsoló nagy hőterhelésnek van kitéve. Ez a védelem ezért csak kis terhelőáramok ($I_L < 100 \text{ mA}$) és kis tápfeszültségek ($U_s < 30 \text{ V}$) esetén használható. A védelem megszólalása után igen hosszú időt (kb. 1 percet) igényel a helyreállítás.

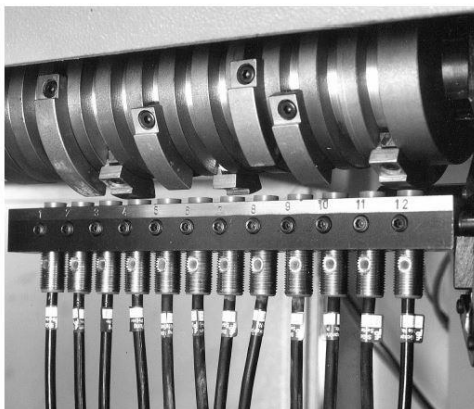


28. ábra: Induktív egyenfeszültségű kapcsoló ütemezett visszkapcsolásos túlterhelés- és zárlatvédelme



29. ábra: Induktív egyenfeszültségű kapcsoló ütemezett visszkapcsolásos túlterhelés- és zárlatvédelme 2.

Alkalmazási példák



30. ábra: Bütykös kapcsolómű lekérdezése inductív érzékelőkkel



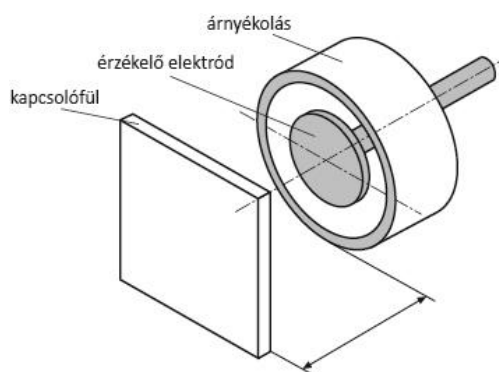
31. ábra: Elfordulási szög meghatározása induktív réses közelség kapcsolókkal

2.3 KAPACITÍV ÉRZÉKELŐK

A kapacitív érzékelők az induktív érzékelőkhöz hasonlóan érintésmentesen, visszahatásmentesen és fizikai érintkező nélkül működnek. Olyan helyeken alkalmazhatók, ahol az induktív működési elv nem funkcionál. Kapacitív érzékelőkkel nem vezető anyagok is érzékelhetők. A kapacitív érzékelők főként közelítéskapcsolóként kaphatók, de újabban analóg jeladóként is megjelentek, amelyek az érzékelt tárgy távolságával arányos analóg kimenőjelet adnak.

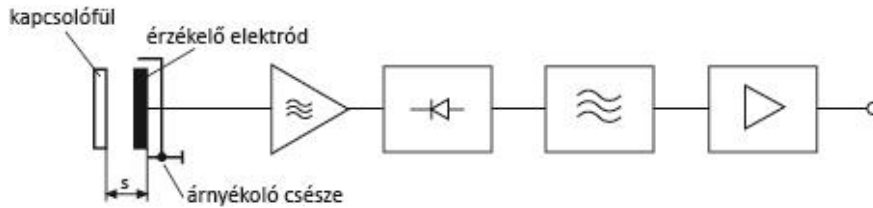
Az érzékelő felépítése

A kapacitív érzékelő aktív eleme a tárcsa formájú elektród és körülötte a csésze formájú árnyékoló. A két elektród C_g alapkapacitású kondenzátort képez. A kapcsolófüls s távolságra közeledése az érzékelő felületéhez ΔC mértékben megváltoztatja a kapacitást. A kondenzátor egy RC-generátor része. A generátor kimeneti feszültsége az érzékelő elektród és az árnyékolás közötti $C_a = C_g + \Delta C$ eredő kapacitás függvénye.



32. ábra: Kapacitív érzékelő működési elve

Az 29. ábrán kapacitív közelítéskapcsoló tömbvázlata látható. A generátor kimeneti feszültségét az elektronika egyenirányítja, szűri, és zavarimpulzus-elnyomóra adja. Ez kapcsolójelet képez, amelyet a végfokozat kimeneti jellé alakít.



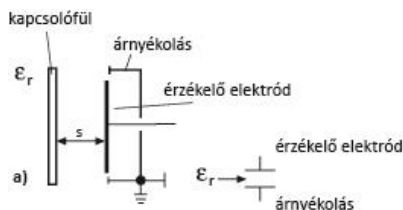
33. ábra: Kapacitív érzékelő tömbvázlata

Három módon lehet működtetni a kapacitív közelségi kapcsolókat:

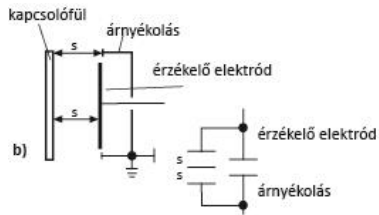
- nem vezető anyagú füllel,
- szigetelt vezető füllel,
- földelt vezető anyagú füllel.

Nem vezető anyagú (például üveg vagy műanyag) kapcsolófül a kondenzátor erővonalainak tartományában levő dielektromos állandó módosításával növeli meg a C_a kapacitást. Az így előidézett ΔC kapacitásnövekedés igen csekély, és a fül ϵ_r permittivitásától függ. Emiatt csak csekély kapcsolási távolság érhető el.

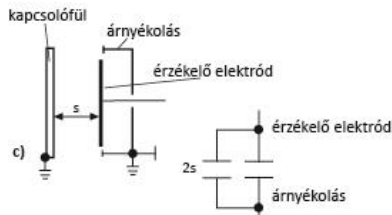
Szigetelt vezető anyagú (fém) fül közeledésekor a C_g alapkapacitással párhuzamosan két további, egymással sorba kapcsolódó, kondenzátor jön létre; az egyik az érzékelő elektród és a fül, a másik a fül és az árnyékoló között. A szigetelt vezető fül nagyobb ΔC kapacitásnövekedést ad, mint a nem vezető fül. A megszólalási érzékenység közepes értékű. A legnagyobb ΔC kapacitásnövekedés és ezáltal a legnagyobb kapcsolási távolság földelt fém füllel érhető el. Az érzékelő elektród és a fül közötti járulékos kapacitás közvetlenül kapcsolódik párhuzamosan a C_g -vel.



34. ábra: Kapacitív érzékelő működtetési lehetőségei a) nem vezető anyagú



35. ábra: Kapacitív érzékelő működtetési lehetőségei b) szigetelt vezető



36. ábra: Kapacitív érzékelő működtetési lehetőségei c) földelt fűlrel

Érzékenység

Az érzékenységet az érzékelő kimenetén kapcsolójel állapotváltást előidéző ΔC_s kapacitásváltozás határozza meg.

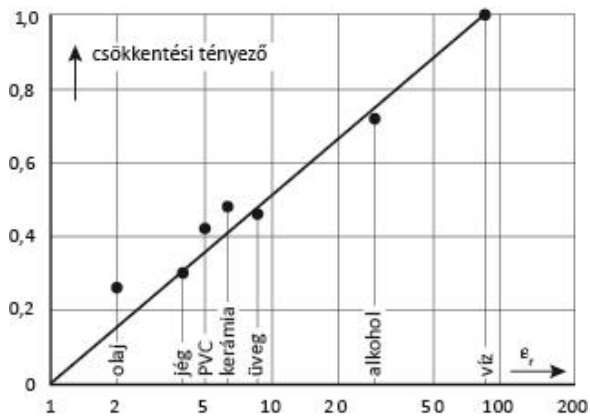
Csökkentési tényező

A nem vezető anyagú kapcsolófűl más ΔC kapacitásváltozást okoz. Ez a hatás kapcsoláspont-változásként jelentkezik a kapacitív közelítéskapcsoló kimenetén. Ennek megfelelően – az induktív közelítéskapcsolóhoz hasonlóan – itt is anyagfüggő csökkentési tényezőt határozunk meg. Ez a szorzótényező megadja, milyen mértékben csökken a kapcsolási távolság adott anyag esetén, a földelt fémlappal mért s_n névleges kapcsolási távolsághoz képest.

Az 37. ábrán a csökkentési tényező $= s/s_n$, különböző anyagok ϵ_r permittivitásának függvényében van ábrázolva.

Ha a permittivitás hőmérsékletfüggő, akkor számolni kell a kapcsolási távolság hőmászásával. Annak érdekében, hogy kompenzálni lehessen a különböző anyagok csökkentési tényezőiből adódó eltérő kapcsolási távolságokat, egyes érzékelő típusoknál

lehetőség van a kapcsolási pont beállítására. Megjegyezzük, hogy a közelségi kapcsoló biztonságos működése érdekében a kapcsolási távolságot nem szabad túl nagyra állítani, mert akkor az RC-oszcillátor instabillá válik. Ez az állapot a megnövekedett hiszterézisben ($h > 0,1$ s) jelenik meg.



37. ábra: Kapacitív érzékelő csökkentési tényezője a kapcsolófül ϵ_r permittivitásának függvényében

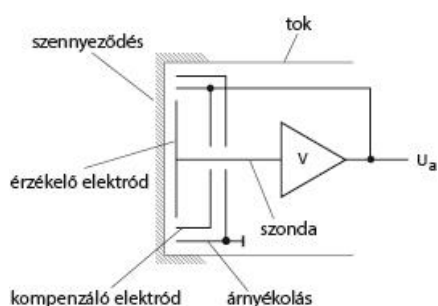
Zavaró hatások - zavarjel-elnyomás

Kapacitív érzékelők legerősebb zavaró tényezői a váltakozó elektromos terek. Ezeket az érzékelő elektródok becsatolják az oszcillátor nagyohmos bemeneti körébe, ahol rezgéseket gerjeszhetnek. Ilyen zavaró tereket kelthetnek például a fénycsövek, mágnesszelepek, tirisztoros hajtások és rádióadók. Tartós zavaró hatások csak az oszcillátor frekvenciájának módosításával küszöbölhetők ki, ha nem túl erősek.

További zavarforrás a hőmérséklet változása. A hőmérsékletváltozások különösen erősen hatnak az RC-oszcillátorokra. Hatásuk a munkapont alkalmas beállításával minimalizálható. A nedvesség, a por és az egyéb szennyeződés az aktív felület körüli terület permittivitásának befolyásolásával zavarja az érzékelőt. A szennyeződés-kompenzációval sok alkalmazás esetén kielégítő javulás érhető el.

Szennyeződés-kompenzáció

A szennyeződés-kompenzálás célja az „s” kapcsolási távolság állandó értéken tartása, az érzékelőfelület elszennyeződése, nedvesedése stb. ellenére is. Ez csésze formájú kompenzáló elektróddal érhető el, amely az érzékelő elektród és az árnyékoló között helyezkedik el és össze van kötve az oszcillátor kimenetével. A szennyeződés megnöveli a kapacitást az érzékelő elektród és az árnyékoló között. Ez megnöveli a V_1 erősítését. Egyidejűleg azonban megnő az érzékelő- és a kompenzáló elektród közötti kapacitás is. Ez a hatás csökkenti a $V = V_1 \cdot V_2 \cdot A$ körerősítést. Az érzékelő, kompenzáló és árnyékoló elektród geometriai méretezésével a V erősítés állandó értéken tartható, ha homogén az érzékelőfelület szennyeződése.



38. ábra: A szennyeződés-kompenzálás elve

Zavaró impulzusok elfojtása

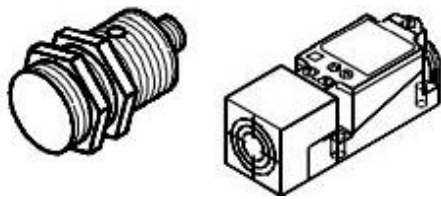
Az elektromos terek hibás működésre készíthetik az oszcillátort. Az oszcillátor kimeneti jelének egyenirányítása és aluláteresztő szűrése elfojtja a zavaró impulzusokat. A nemlineáris szűrőelemek elnyomják a zavaró impulzusokat, amennyiben időtartamuk nem halad meg egy beállítható értéket. Ennek a zavarelnyomásnak az a hátránya, hogy az impulzusszélességnél rövidebb idejű hasznos kapcsolójeleket is elnyomja, tehát korlátozza a kapacitív közelségi kapcsoló legnagyobb lehetséges kapcsolási frekvenciáját, amely 1-10 Hz közé esik.

Kiviteli formák

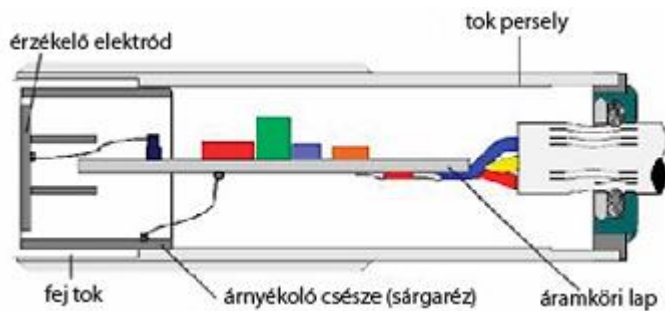
A kapacitív érzékelők nagyrészt henger vagy hasáb formájú közelítéskapcsolóként kaphatók, homlokoldali aktív felülettel. Vannak azonban különleges kivitelek is, például hajlékony érzékelők, amelyek görbült felületekre ragaszthatók. Az érzékelő elektródok

áramköri lapokon vagy rugalmas, rézzel laminált fóliákon történő elhelyezése nagy szabadságot biztosít a tervezésben.

Elektromos csatolófelületként az induktív közelítéskapcsolóknál ismertetett minden változat rendelkezésre áll. Kaphatók kettő-, három- és négyvezetékes, egyen- és váltakozó feszültségű változatok, nyugvóérintkezős (záró), munkaérintkezős (nyitó) és antivalens (váltó) kivitelben. DIN 19234 (NAMUR) szabványos érzékelők is kaphatók.



39. ábra: Hengeres és hasáb alakú kapacitív érzékelő

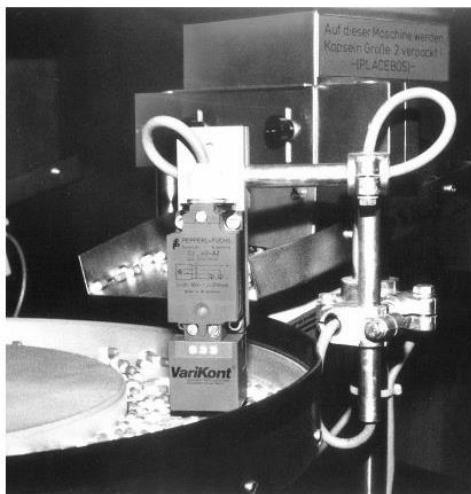


40. ábra: Hengeres érzékelő elvi felépítése

Alkalmazási példák:



41. ábra: Helyzetérzékelés kapacitív érzékkelővel



42. ábra: Műanyag termékek feltöltési szintjének érzékelése

2.4 ULTRAHANGOS ÉRZÉKELŐK

Hanghullámok terjedése levegőben

Ultrahangnak a 20 kHz feletti frekvenciatartományban lévő, ember által nem hallható hanghullámokat nevezzük. Az elektromágneses hullámokkal ellentétben a hanghullámok csak anyagban terjednek. A hanghullám a közeg r sűrűségének, P nyomásának és T hőmérsékletének térbeli és időbeli ingadozásával, valamint a közeg részecskéinek térbeli és sebességi ingadozásával jár együtt. A fenti változók rögzített középértékük körül rezegnek. Hangok közegekben terjedésének a feltétele a rugalmasság.

Ultrahang terjedési sebessége gázokban:

$$c = (k \cdot P / \rho)^{1/2} = \lambda \cdot f,$$

ahol:

P a gáz nyomása,

k a gáz adiabatikus együtthatója, $P = 1013$ Pa nyomású levegő adiabatikus

együtthatója $k = 1.4$ sűrűsége $\rho = 1,29$ kg/m³

Mivel a gázok sűrűsége csökken a hőmérsékletük növekedésével, bennük a hang terjedési sebessége is hőmérsékletfüggő. Levegő esetén a terjedése sebesség hőmérsékletfüggését a következő egyenlet írja le:

$$c = c_0 \cdot (1 + T/273)^{1/2}$$

ahol:

$c_0 = 331,6$ m/s (a hang terjedési sebessége $T = 0$ °C hőmérsékleten)

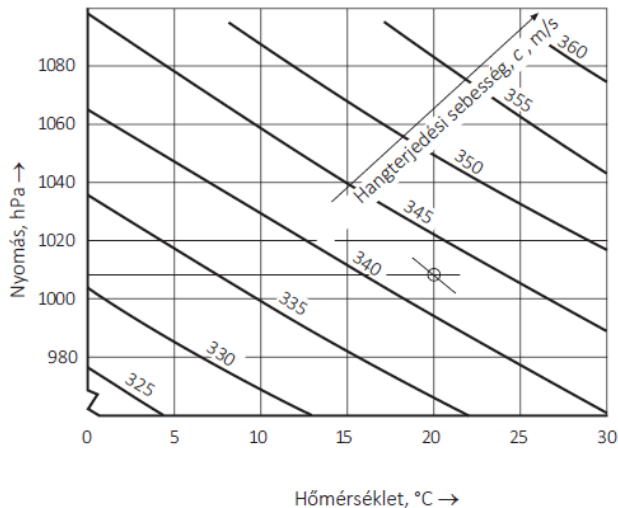
T a hőmérséklet [°C]

A hang terjedési sebessége Kelvin fokenként kb. 0,17%-kal változik. A következő táblázat hat hőmérsékleten adja meg a hang terjedési sebességét a levegőben:

T [°C]	-20	0	20	40	60	80
c [m/s]	319,3	331,6	343,8	355,3	366,5	377,5

1. táblázat: Hanghullámok terjedése levegőben

A hangterjedési sebesség hőmérsékletfüggése mellett a légnyomástól való erős függés is megfigyelhető, vagyis a hangterjedési sebesség a légnyomás emelkedésével nő. A hangterjedési sebesség relatív változása a légnyomás függvényében kb. 5% a szokásos légköri nyomástartományban. A 43. ábra a hőmérséklet, légnyomás és hangterjedési sebesség közötti összefüggést ábrázolja.



43. ábra: A hőmérséklet és a légnyomás hatása a hangterjedési sebességre

A hangterjedési sebesség függ még a levegő összetételétől is, például CO_2 -tartalmától és relatív nedvességtartalmától. A relatív légnedvesség kevésbé befolyásolja a hangterjedési sebességet, mint a hőmérséklet és a légnyomás. A száraz és a nedves levegő hangterjedési sebessége csak kb. 2%-nyit tér el.

Ultrahang előállítása levegőben

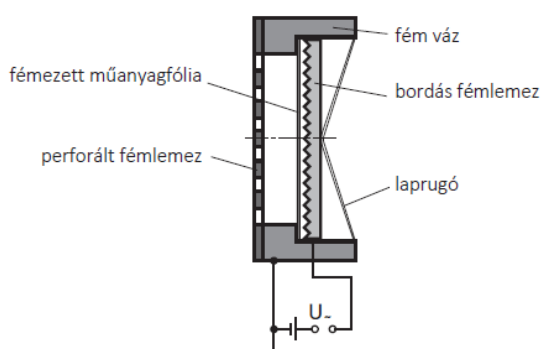
Hangkeltőként túlnyomórészt piezokerámiás átalakítókat használunk az ultrahangos érzékelő technikában. A magnetostrikció elvén működő ultrahangos energiaátalakítót csak az ultrahangos hegesztéstechnikában használjuk, ezért itt most nem foglalkozunk velük. A piezoelektromos átalakítók mellett az elektrosztatikus átalakítók is elterjednek tekinthetők.

A piezoelektromos kristályok külső feszültség hatására képesek megváltoztatni geometriai méreteiket, azaz az elektromos energiát mozgási energiává tudják alakítani. A hatás fordítva is érvényesül, azaz külső erő hatására a kristályok felületén 100 V nagyságrendű feszültség keletkezik. Az ilyen piezokristályok anyaga többnyire ólom-titanát (PbTiO_3) és ólom-cirkonát (PbZrO_3). Mivel piezoelektromos makrokristályokat nehéz növeszteni, széles körben a piezokerámiák terjedtek el.

Piezokerámia piezoelektromos mikrokristályok adalékokkal (kötőanyagokkal) végzett szinterezésével állítható elő. A szinterezett kerámiát nagy polarizáló feszültséggel és magas hőmérsékleten polarizálni kell az eredetileg rendezetlen piezoelektromos mikrokristályok dipólusainak összerendezéséhez. A polarizálással maximálisan növelhető a hosszváltozás a polarizációs tengely mentén. Az ilyen kerámiák néhány száz volt hatására bekövetkező tipikus relatív hosszváltozása $d_l/l = 10^{-4}$ nagyságrendű, a hosszváltozáskor fellépő erők nagyságrendje néhány 10^6 Pa. Ultrahang levegőben történő előállításakor mindig nagy jelentősége van a hanggenerátor és a környező levegő közötti anyagátmenetnek. Az ultrahangnak a közegbe történő hatékony becsatolása érdekében a hanggenerátornak nagy felületi amplitúdóval kell rendelkeznie. Illesztőmechanizmusra van szükség a piezokerámiában ébredő nagy erők és kis amplitúdók nagy amplitúdójú, de kisebb erejű mozgássá alakításához.

Elektrosztatikus ultrahangos energiaátalakítók

A rezgőelem egy vékony, fémezett műanyagfóliából és egy bordás fémlamezből áll, amelyek együtt kondenzátort alkotnak. Feszültség rákapcsolásakor a fólia elektrosztatikus erőt fejt ki.



44. ábra: Elektrosztatikus ultrahangos energiaátalakító vázlata

A fólia és a lemez vonzza egymást. Egyenfeszültségre szuperponált váltakozó feszültség a fóliát a váltakozó feszültség frekvenciájával megegyező frekvenciájú rezgésre kényszeríti. Az egyenfeszültségre azért van szükség, mert a fémfóliára ható erő a rákapcsolt feszültség négyzetével arányos és egyenfeszültség nélkül a fólia a váltakozó feszültség

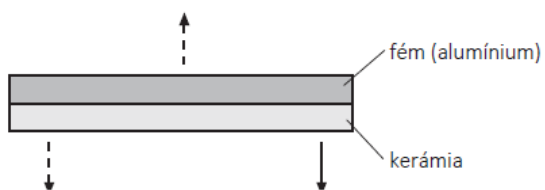
frekvenciájának kétszeresével rezegne. A fóliát laprugó feszíti elő állandó erővel. A fólia és a fémlemez bordái közé zárt légpárnával a rendszer kb. 500 kHz-ig hangolható.

Jellemzők:

- szélessávú,
- nagyon rövid lecsengési és berezgési idő,
- viszonylag kicsi hangnyomás,
- nyitott felépítés (hátrányos, mivel a nagyfeszültség a külső oldalon van).

Hajlításos rezgőelem

A rezgőelem piezoelektromos tárcsája fémtárcsára van ragasztva. Feszültség rákapcsolásakor a piezo tárcsa megváltoztatja átmérőjét, amivel nyíróerőt kelt és nagy amplitúdójú rezgésre kényszeríti a rendszert.



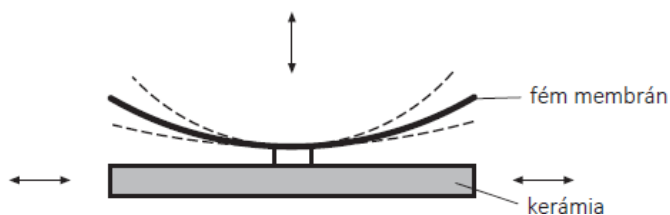
45. ábra: Hajlításos rezgőelemes hanggenerátor szemléltető vázlata

Jellemzők:

- széles sugárzási szög,
- viszonylag alacsony frekvencia,
- kicsi hangszint,
- kis sáv szélesség,
- mert ez rezonáns rendszer,
- nagyon hosszú lecsengési idő,
- tokozható.

Membrános rezgőelem

A piezokerámia a fémből készült rugalmas membránt sajátfrekvenciás rezgésbe hozza.



46. ábra: Hajlításos rezgőelemes hanggenerátor szemléltető vázlata

Jellemzők:

- széles sugárzási szög,
- viszonylag alacsony frekvencia,
- kicsi hangszint,
- kis sávzélesség,
- nagyon hosszú lecsengési idő,
- nyitott kivitel (nagyfeszültség).

$\lambda/4$ -rezgőelem

Amikor a hanghullám a piezokerámiáról a levegőbe lép át, útközben különböző akusztikus impedanciájú anyagokon hatol át. Az átviteli együttható meghatározó jelentőségű az elérhető hatékonyság szempontjából. A piezokerámia és a levegő közötti átviteli együttható azonban 10^{-5} - 10^{-4} nagyságrendű, azaz olyan kicsi, hogy nem hoz létre említésre méltó hangszugárzást. A piezokerámia és a levegő között olyan közvetítő anyagra van szükség, amely lényegesen megnöveli az átviteli együtthatót.

Ilyen anyag az üreg üveggolyókból és műgyantából készült keverék. Az impedanciaillesztés szempontjából kompromisszumos megoldás, de a környezeti hatásokkal szembeni jó ellenállása, kis belső csillapítása és egyéb mechanikai jellemzői miatt alkalmas.

Az impedanciaillesztés végett az ebből az anyagból készült kicsatoló réteget pontosan $\lambda/4$ (negyedhullámhossz) vastagságban viszik fel. A $\lambda/4$ réteg rezonancia-erősítő viselkedése megnöveli a rezgések amplitúdóját a külső, sugárzó felületen.



47. ábra: $\lambda/4$ negyedhullámú rezgőelem vázlata

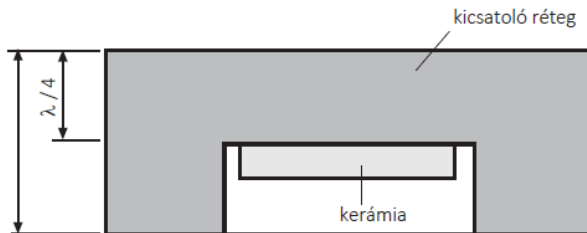
Jellemzők:

- nagy hangnyomás,
- keskeny sugárzási szög,
- közepes lecsengési idő,
- kis sáv szélesség,
- nagy elérhető frekvencia,
- nincs feszültség alatt álló rész a felületen.

„P+F rezgőelem”

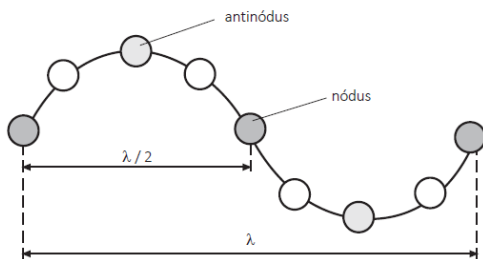
Távolságmérő ultrahangos érzékelőknél többnyire kívánatos a kis sugárzási szög (kis nyalábszélesség). Ultrahangos adók iránykarakteristikája a sugárzó felület geometriájától (különösen annak nagyságától), az adófrekvenciától és a rezgő felület fázishelyzetétől függ. Ha rögzített hullámhosszon jó irányhatást kívánunk elérni, az adófelületet nagyra kell választani a levegőben mért hullámhosszhoz képest. A gyakorlatban azonban abba a problémába ütközünk, hogy a kerámiák átmérőjének növekedésével csökken a sajátfrekvenciájuk. A $\lambda \ll D$ feltétel teljesítéséhez kis átmérőjű piezokerámiát kell nagy kicsatoló réteggel kombinálni úgy, hogy a kicsatoló réteg teljes sugárzó felülete azonos fázisban rezgjen. Tekintve, hogy nagy kicsatoló rétegek esetén a tisztán vastagsági rezgések mellett más rezgési **nódusok** is fellépnek, a gyakorlatban nehezen teljesíthető a

fázisfeltétel. A fázisfeltételt legalább közelítőleg teljesítő ultrahangos energiaátalakító az 42. ábrán látható „P+F rezgőelem” (Becker-féle).



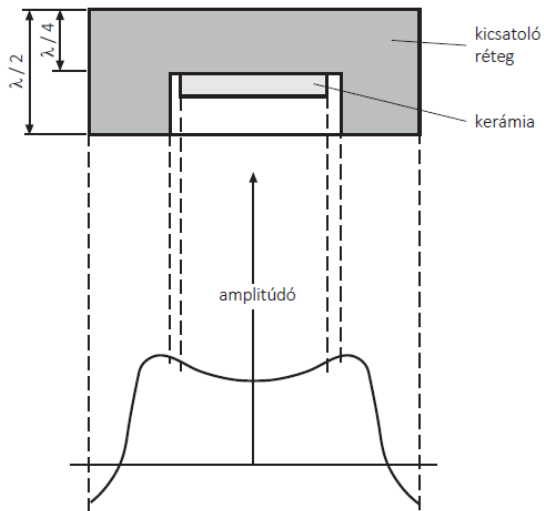
48. ábra: A „P+F rezgőelem” vázlata

A piezokerámia/kicsatoló réteg ragasztási felületen a rezgések amplitúdója nagyon kicsi a kicsatoló réteg felületi amplitúdójához képest ($\lambda/4$ -rezonátor). Ez a felület a rezgések **nodális** (csomós) síkjának tekinthető. P+F rezgőelemeknél a kerámián kívüli parazita rezgéseket úgy küszöböljük ki, hogy a nodális síkot kifelé egy $\lambda/2$ réteggel megtoldjuk. Az $\lambda/2$ réteg elülső és hátsó oldalán egy-egy antinódus, közepén nódus található.



49. ábra: Antinódusok és nódusok

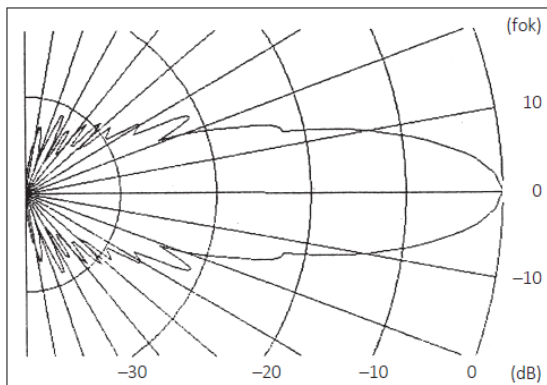
A gyakorlatban elérhető rezgési amplitúdókat az 50. ábra szemlélteti.



50. ábra: A „P+F rezgőelemmel” a gyakorlatban elérhető rezgési amplitúdók

Az amplitúdógörbén látható, hogy a kicsatoló réteg azonos fázisban rezgő tartománya nagyrészt kifelé irányul. Csak a peremzónában fordul meg a fázishelyzet, de itt kisebb az amplitúdó. Az 50. ábra egy 4 m hatótávolságú P+F rezgőelem mért sugárzási karakterisztikáját szemlélteti. A hangnyomásszint a 0° irányra van normalizálva. Az átalakító átmérője 50 mm, hatótávolsága 4 m, rezgési frekvenciája 90 kHz.

Minden ultrahangos energiaátalakítóban kisebb-nagyobb tömegek vesznek részt a rezgésben, ezért impulzusszerű gerjesztés esetén a berezgés és lecsengés exponenciális görbét követ, jellemző időállandóval. A fenti energiaátalakító rezgőelem 1/10 amplitúdóra lecsengési ideje kb. 500 μs.



51. ábra: UJ-4000-FP-H12 típusú ultrahangos energiaátalakító mért sugárzási karakterisztikája

Üzem módok

Ha az ultrahangos energiaátalakítót olyan készülékbe építjük, amellyel szomszédos tárgyak távolsága vagy alakja mérhető, akkor érzékelőt kapunk.

Az ultrahangos érzékelők többféle üzemmódban működtethetők:

Távolságot mérő érzékelők

- egyfejes letapogatók (adó-vevők),
- kétféjes letapogatók,

Sorompó üzemmódú érzékelők

- kétutas/reflexiós rendszerűek,
- egyutas, kétféjes rendszerűek.

Adó-vevős letapogatók

Erre az üzemmódra kisméretű érzékelők készíthetők. Ugyanaz az ultrahangos rezgőelem szolgál adóként és vevőként. A rezgőelemet ezért angolul transceiver-nek (transmitter+receiver, adó+vevő) is nevezik. Ennek az üzemmódnak a hátránya a viszonylag nagy köztér (holtzóna), amit a rezgőelemnek az adófeszültség lekapcsolását követő hosszú utórezgési ideje okoz. A visszhang ugyanis csak a rezgés kellő lecsengése után mérhető és dolgozható fel. A közeli tárgyakról visszaverődő visszhang túl korán, a rezgőelem lecsengési ideje közben érkezik be, és ezért nem észlelhető.

Kétféjes letapogatók

Két külön rezgőelem használatával a köztér csökkenthető az egyfejes rendszerhez képest. Ha a vevő rezgőelem (receiver) akusztikusan külön van választva az adó rezgőelemtől (transmitter), a visszhang elvileg az adás után azonnal vehető. Itt

lényegében csak a vevő rezgőelem holtidejét kell figyelembe venni. A két rezgőelem elhelyezhető közös tokban, vagy telepíthető különválasztva.

Reflexiós sorompó üzemmód

Fokozottan zavarálló működés érhető el reflexiós sorompó üzemmódban. A rendszer az érzékelő és fixen beépített visszaverő közötti szakaszt figyeli. Ezáltal hangelnyelő anyagot is képes felismerni. Az ilyen érzékelők kapcsolási tartománya többnyire állítható. Két kimenettel és két LED jelzővel készülnek. Az érzékelő itt is letapogató üzemmódban működik, s ezért itt sem ismerhetők fel a közelemben levő tárgyak.

Egyutas üzem, kétfejes rendszerrel

Ebben az üzemmódban nagy hatótávolság érhető el, mert a hangnak csak egyszer kell megtennie az adó és a vevő közötti távolságot. Zavarállósága is jobb a letapogató üzemmódnál, mert itt csak a kibocsátott impulzus beérkezését vagy elmaradását kell érzékelni. A visszaverődések és zavarjelek így könnyebben elnyomhatók. Telepítése azonban drágább.

Távolságot mérő ultrahangos érzékelők

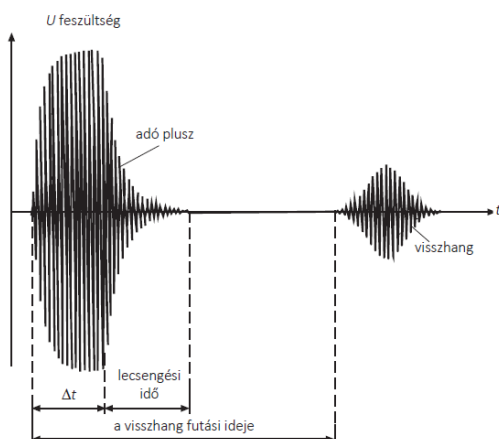
Ezek az ultrahangos érzékelők távolságmérése a visszhang futási idejének mérésén alapul. Mivel a visszhang kiértékelése ugyanazon a helyen folyik, ahol az ultrahangot kibocsátották, ezt az üzemmódot letapogató üzemmódnak nevezzük. Az ultrahangos energiaátalakító a t_0 időpontban Δt hosszúságú hullámcsomagot bocsát ki, amely c sebességgel terjed a közegben. Ha a hullámcsomag tárgynak ütközik, egy része visszaverődik és 2τ futási idő elteltével visszaérkezik az érzékelőbe (51. ábra). A t_1 időpontban beérkező visszhangot ugyanaz vagy egy másik ultrahangos energiaátalakító érzékeli, és jelét erősítő dolgozza fel kiértékelhető jellé. A tárgy távolságát meghatározó kiértékelő elektronika a visszhang futási idejét méri. A mérés a t_0 időpontban indul és a t_1 időpontban áll le. Ha ugyanazt az ultrahangos energiaátalakítót használjuk adásra és vételre, akkor egyfejes rendszerről, ha két energiaátalakítót használunk, akkor kétfejes rendszerről beszélünk.

Egyfejes rendszer

Az egyfejes rendszernek az a hátránya, hogy az adás után ki kell várni a rezgőelem lecsengését. A lecsengési holtidőben nem lehetséges a vétel. A visszhangjel csak akkor ismerhető fel, ha amplitúdója meghaladja a rezgőelem lecsengési amplitúdóját. A holtidő miatt az egyfejes rendszereknek tiltott közeltére van, amelyben a visszhang nem érzékelhető. A rezgőelem lecsengési idejét több tényező befolyásolja, például a rezgő össztömeg, a kicsatoló anyag belső csillapítása és a rezgőelem mechanikus felfüggesztése. 1-6 m hatótávolságú P+F ultrahangos energiaátalakítók közeltére 0,2-0,8 m mély. Ez kb. 1-5 ms lecsengési időnek felel meg.

Kétféjes rendszer

A közeltér jelentősen csökkenthető kétféjes rendszer használatával. Itt az adást és a vételt külön ultrahangos energiaátalakító végzi. A rendszer kiépítésekor ügyelni kell arra, hogy az adó legnagyobb adási és a vevő legnagyobb vételi érzékenysége egyazon frekvenciára essen.

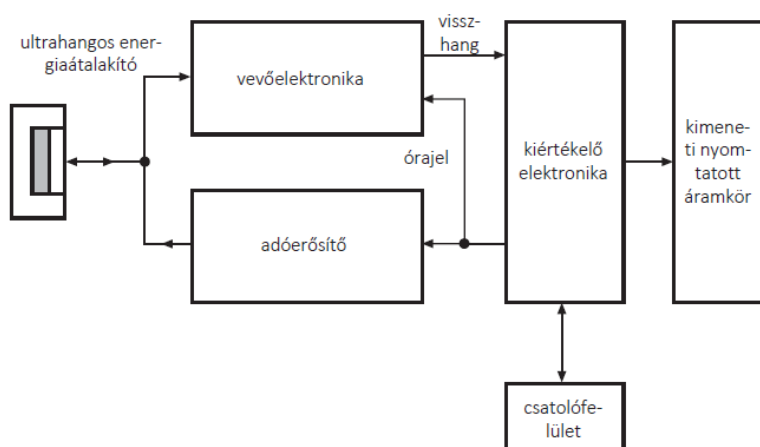


52. ábra: A rezgőelem feszültségének időbeli alakulása egyfejes rendszerben

Tömbvázlat

Az 47. ábrán letapogató üzemmódban működő ultrahangos energiaátalakító elektronikájának tömbvázlata látható. A triggerimpulzus hatására a végfokozat kb. 250 V (csúcs-csúcs) feszültséget küld az ultrahangos energiaátalakítónak. A kiadott

impulzuscsomagot egyidejűleg a vevőerősítő bemenete is megkapja, s ettől túlvezérlődik. Az adó kikapcsolása után a vevő erősítőjének kb. 300 μ s-ra van szüksége a túlvezérlésből való felépülésre és vételre állásra. A felépülési idő általában rövidebb, mint az adó lecsengési ideje, s emiatt nem befolyásolja a közelteret. Ha van kellően visszaverőképes tárgy az ultrahangos energiaátalakító észlelési tartományában, akkor a visszhang futási idejének leteltével nagyfrekvenciás váltakozófeszültség keletkezik az ultrahangos energiaátalakítón. Ezt a vevőerősítő felerősíti, egyenirányítja és komparátorral négyszögimpulzussá alakítja.



53. ábra: Egyfejes ultrahangos érzékelő tömbvázlata

A kiértékelő elektronika triggerimpulzust generál, meghatározza a triggerimpulzust és a visszhang megérkezése közötti futási időt, előállítja a kapcsoló vagy a távolsággal arányos kimenőjeleket. Az első visszhangimpulzus beérkezése után a kiértékelő elektronika addig késlelteti a következő adóimpulzus kiadását (Time out), amíg már nem érkeznek további visszhangok távolabbi tárgyról.

Zavarjel-elnyomás

Többszörös visszhangok hibás információkat kelthetnek, s ezért el kell nyomni őket. Ezért a vevőerősítést a szabályozó feszültség fokozatosan növeli a triggerimpulzust követő időszakban. Ez biztosítja, hogy adóimpulzus kiküldése után az előző adóimpulzus távoli tárgyról visszaverődő visszhangjai „süket” erősítőre érkezzenek és hatástalanok

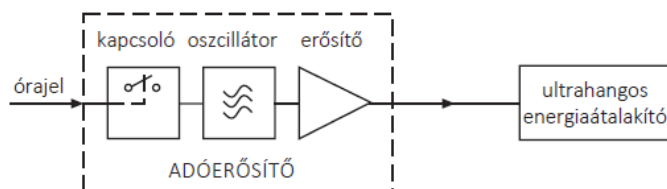
maradjanak. A szabályozó feszültség másik feladata az észlelt tárgy távolságának növekedésével meredeken csökkenő visszhang amplitúdó kellő felerősítése. A szabályozó feszültséget a vevőerősítő állítja elő, az óraimpulzushoz szinkronizálva.

Váltó ütemidő

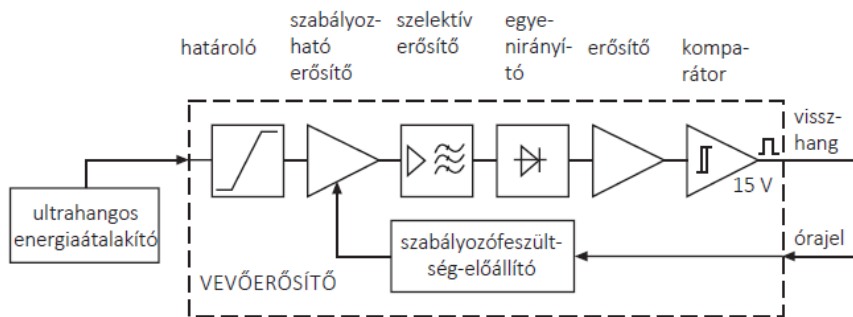
Többszörös- és háttérimpulzusok elnyomására további megoldás a triggerimpulzus szélességének és ezzel az adóimpulzus hosszának a variálása. Ez azt a jelenséget használja ki, hogy a négyszög formájú feszültségimpulzus rákapcsolásakor a felületi amplitúdó nem ugrásszerűen, hanem a berezgési idő alatt növekedve jelenik meg. Az adóimpulzus hossza és a legnagyobb előállított hangnyomás kihasználásával az adási energia a tárgy távolságához igazítható. Kis tárgytávolsághoz kisebb impulzusszélesség állítható be, ami csökkenti a messzebről jövő háttérvisszhangokat.

Elektronikus felépítés

Az adó elektronikus kapcsolóból, oszcillátorból és erősítő végfokozatból áll. Az utóbbi szolgáltatja a piezokerámia 250 V-os meghajtójelét. Az oszcillátort az üzembe helyezéskor be kell állítani az ultrahangos energiaátalakító rezonanciafrekvenciájára, a lehető legjobb hatásfok eléréséhez. P+F ultrahangos energiaátalakítóknál ez a rezonanciafrekvencia típusfüggő, 6 m hatótávolságú átalakítónál 70 kHz, 1 m hatótávolságúnál 170 kHz. Az elektronikus kapcsoló a triggerimpulzus szélessége szerint be- és kikapcsolja az oszcillátort és ezáltal lehetővé teszi rövid adóimpulzusok előállítását. Tekintettel az adóelektronika és az ultrahangos energiaátalakító korlátozott terhelhetőségére, az impulzus/szünet arányt 1:50 vagy kisebb értéken kell tartani.



54. ábra: Az adó- és vevőfokozat tömbvázlata



55. ábra: Az adó- és vevőfokozat tömbvázlata

Vevő

Az erősítő határolóból, szabályozható erősítőből, szelektív erősítőből, demodulátorból, utóerősítőből és komparátorból áll. Mivel a beérkező ultrahangos jel néhány voltól néhány mikro voltig terjedő értékű feszültséget képes kelteni, a határoló $\pm 0,7$ V-ra korlátozza a vevő bemeneti feszültségét. Ez megvédi az erősítőt a túlzott feszültségcsúcsoktól. A szabályozható erősítő a háttérvisszhangok elnyomására és a növekvő távolsággal gyengülő visszhang-amplitúdó kompenzálására szolgál. A szelektív erősítő kiszűri a más frekvenciájú idegen hangokat és csak a hasznos jelet engedi tovább.

Ahhoz, hogy kis ráfordítással nagy erősítést lehessen megvalósítani, alacsony frekvenciájú jelekre van szükség. Ezért az ultrahang jelet először demoduláljuk és egyenirányítjuk, és csak az így kapott burkológörbét erősítjük tovább. A komparátor összehasonlítja a burkolófeszültség értékét egy előre beállított küszöbfeszültséggel. A küszöbfeszültség túllépése esetén a tápfeszültséggel megegyező feszültségimpulzust bocsát ki, amelyet ezután a kiértékelő elektronika dolgoz fel.

Kiértékelő egység

Az adó- és vevőoldali egységek mellett a komplett ultrahangos érzékelőnek kiértékelő egységre is szüksége van, az órajel-funkció vezérléséhez és az érzékelő kimenőjelének előállításához. Tekintve, hogy a kiértékelő logikának komplex vezérlési feladatokat kell ellátnia, mikroprocesszorral működik. Az ilyen felépítés azzal az előnnyel is jár, hogy a kiértékelő logika nincs fixen behuzalozva, hanem rugalmasan módosítható program

formájában a programtárban helyezhető el. Ugyanazzal az elektronikus áramkörrel ezáltal különböző kimeneti végfokozatok vezérelhetők és módosítható a kiértékelő algoritmus.

A kiértékelő elektronika feladatai közé tartozik az órajel előállítás, az adóimpulzus szélességének vezérlése, a visszhang futásidejének meghatározása, zavarjelek felismerése, a jelkimenetek vezérlése és az öntesztelés. Mikroprocesszora révén az érzékelő fölrendelt számítógéppel is tud kommunikálni.

A mért érték helyesbítése

A visszhang futási idejének meghatározásakor a levegő paramétereinek ingadozása miatt ugyanazon tárgy mérési eredményei mérésenként kissé eltérnek. Nagy mérési pontosság eléréséhez több mérés eredményét átlagoljuk. Ennek fejében viszont el kell fogadnunk a mérések kisebb ismétlődési gyakoriságát. Zavaró visszhangok úgy nyomhatók el, hogy a mért értéket összehasonlítjuk a pillanatnyi középértékkel, és nagy eltérés esetén eldobjuk a mért értéket.

Nagy ismétlődési gyakoriságot igénylő mérési feladatok esetén külön algoritmust alkalmazhatunk a zavarok elnyomására. Ilyenkor a két legutóbbi mért érték különbségét vizsgáljuk és tároljuk. Ha nulla a különbség, akkor áll a tárgy. Ha állandó értékű, akkor egyenes sebességgel mozog a tárgy. Ha eltérőek a különbségek, akkor gyorsul vagy lassul a tárgy.

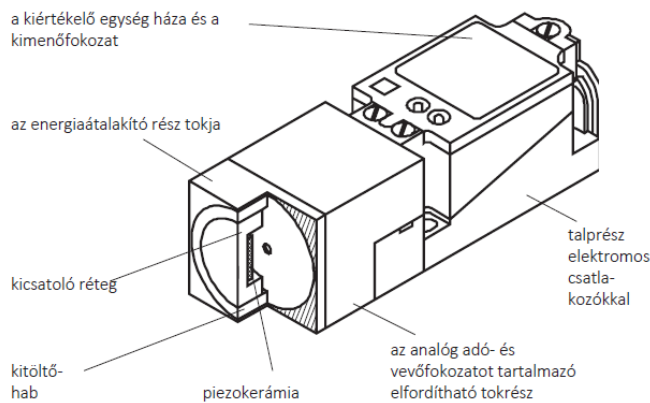
Mért távolságot akkor fogadunk el érvényesnek, ha a két legutóbb mért különbség különbsége nem túl nagy. E szabály lehetővé teszi gyorsuló tárgyak felismerését is.

Mechanikus felépítés

A tokozás három részből áll: Az energiaátalakító rész az analóg adó- és vevőfokozattal, a kiértékelő egységet és a kimeneti fokozatot tartalmazó házrész, valamint a talprész az elektromos be- és kimenetekkel. Az ultrahangos energiaátalakítót tartalmazó rész különféle szöghelyzetekben dugaszolható a fő tokrésze, s ezáltal a tok rögzített

felerősítése esetén is figyeltethetők különböző térrészek. A teljes elektronikát tartalmazó fő tokrész és a talprész közötti dugaszolós csatlakozás szerelési munka nélkül teszi cserélhetővé az érzékelőt.

Az 56. ábra mutatja az érzékelő szerkezetét. A metszet a piezokerámiát, a kicsatoló réteget (itt P+F rezgőelem kivitelben) és a rezgőelem kitöltőhabos felfüggesztését mutatja. A kitöltőhab feladata a rezgőelem mechanikus tartása oly módon, hogy a rezgőképes rendszert minél kevésbé csillapítsa. A hab ezenkívül nedvesség behatolása ellen is védi a tok belsejét.



56. ábra: Ultrahangos érzékelő (UJ 2000+U1+H12+P1) mechanikus felépítése

Sorompó üzemmódú ultrahangos érzékelők

Működési mód

Helyiségfelügyelet esetén gyakran előnyösebb a sorompó üzemmód a letapogató üzemmódnál. A sorompó üzemmód lehet kétutas, amikor az adó és a vevő ugyanott áll, egy visszaverővel szemben. Egyutas: amikor az adó és a vevő szembenéz egymással. Az adót és vevőt mindkét üzemmódban adott hosszúságú impulzussal látja el a kiértékelő elektronika. Ebből az impulzusból (órajelből) állítja elő az adó a **börsztöt**, a vevő pedig az erősítőt szabályozó feszültséget. Az adó és a vevő felépítése nem különbözik a letapogató üzemmódban használttól.

Kétutas sorompó

Kétutas (reflexiós) üzemmódban az ultrahangos érzékelő folyamatosan figyeli az adó-vevő és a vele szemközt rögzített visszaverő közötti teret. A kiértékelő elektronika a visszaverőről vagy tárgyról érkező visszhangok futási idejét méri. Ha a mért távolság eltér a visszaverő távolságától, a kapcsoló kimenet átvált. A levegő jellemzőinek elkerülhetetlen ingadozása miatt a visszaverőről érkező visszhang $t_r \pm dt$ időintervallumban szóródhat.

Az adóimpulzusok f ismétlődési frekvenciájának meghatározásakor a következő három esetet különböztetjük meg.

- van felismerhető tárgy a sorompó terében
- nincs felismerhető tárgy
- nincs visszhang

1) Ha van felismerhető tárgy a sorompó terében, az ismétlődési frekvencia értéke

$$f = 1 / (2 \cdot t_o),$$

ahol:

t_o az ultrahang-impulzus futási ideje az érzékelő és a tárgy között.

2) Ha nincs felismerhető tárgy, akkor kisebb az ismétlődési frekvencia; értéke a visszaverőig oda-vissza megtett út futásidejéből adódik:

$$f = 1 / (2 \cdot t_r).$$

3) Erősen hangelnyelő vagy ferdén álló tárgy közeledésekor nincs visszhang. Ebben az esetben az adó a visszaverő távolságának megfelelő $t_r + dt$ idő elteltével bocsátja ki a következő impulzust, amelynek ismétlődési frekvenciája ezáltal megegyezik a „nincs felismerhető tárgy” esetével:

$$f = 1 / (2 \cdot (t_r + dt)).$$

A kétutas (reflexiós) sorompóknak két hátrányuk van az egyutasokkal szemben. Egyrészt az oda-vissza út kétszeresre növeli reagálási idejüket, másrészt a kétszeres távolság nagyobb csillapítási veszteséggel jár, s ezért csökkenti az érzékelő és a visszaverő között megengedhető távolságot.

Egyutas sorompó

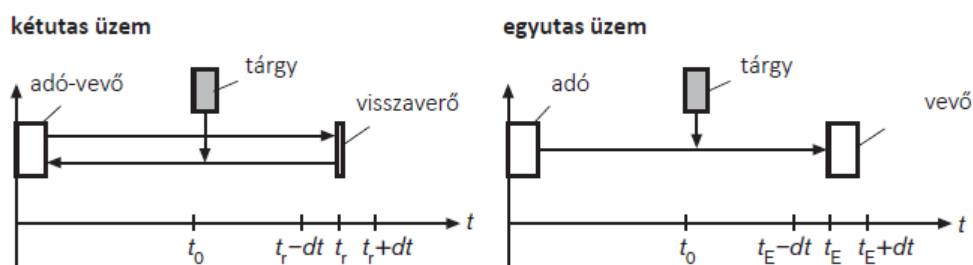
Mindkét hátrány kiküszöbölhető az egyutas ultrahangos sorompókkal, ahol az adó és a vevő szembenéz egymással. A feleakkora út és a visszaverődési veszteségek elmaradása miatt az egyutas sorompók hatótávolsága 2,5-3-szor akkora lehet, mint a kétutasoké. A legkisebb távolság csak a rezgőelemek és az elektronika reakcióidejétől függ, és néhány centiméter lehet. Egyutas sorompó esetén a futási idő mérése az adóimpulzus kibocsátásával kezdődik. A kiértékelő elektronika csak az adó és a vevő távolságának megfelelő t_E futási időn belül beérkező impulzusokat veszi figyelembe.

A sorompó megszakításakor a vevő nem kap impulzust és a kiértékelő elektronika átváltja a kapcsolókimenetet. Ebben az esetben a következő mérési ciklus $t_E + dt$ idő elteltével indul. Ha nem szakadt meg a sorompó, a következő ciklus t_E idő elteltével indul; tehát függetlenül a sorompó megszakított vagy megszakítatlan voltától, az ismétlődési frekvencia:

$$f = 1 / (t_E + dt) \text{ illetve}$$

$$f = 1 / t_E$$

azaz nagyjából állandó.



57. ábra: Egyutas és kétutas ultrahangos sorompók működésének magyarázata

Zavarjel-elnyomás

Zavaró hangok elnyomásához a kiértékelő elektronika bevár több érvényes visszhangot, mielőtt átkapcsolja a kimenetet. Ez azonban csökkeni a sorompó maximális kapcsolási frekvenciáját. 30 cm sorompótávolság és 5 visszhangnak megfelelő várakozási idő esetén a kapcsolási frekvencia legfeljebb 200 Hz körüli lehet.

Változó ütemidő

Zavaró hangok további elnyomásához a kiértékelő elektronika megváltoztatja a letapogató impulzus szélességét, a visszaverő távolsága, illetve az adó és a vevő közötti távolság függvényében, ugyanúgy, mint a letapogatóknál. Ezáltal a sorompó hosszához igazítja az adási amplitúdót. A vevőerősítő szabályozó feszültsége ugyanazt a feladatot látja el, mint az ultrahangos letapogatóknál és az elektronika ugyanúgy állítja elő.

Hibalehetőségek ultrahangos távolságmérésnél

Ultrahang futásidejének mérésekor általános gond a mérési eredmény függése a hang terjedési sebességétől. A hang terjedési sebessége függ például a levegő hőmérsékletétől, nyomásától, nedvességtartalmától és összetételétől. E befolyásoló hatások kiszűréséhez drága érzékelőkkel meg kellene határozni értéküket és az eredményekből ki kellene számolni a hang pillanatnyi terjedési sebességét. Ehelyett a gyakorlatban megelégszünk a **hőmérséklet** mérésével, mert ez befolyásolja legerősebben a hang terjedési sebességét. E megoldás hátránya, hogy a hőmérsékletet csak pontszerűen méri, és emiatt nem veszi figyelembe eloszlását a teljes mérési szakasz mentén.

Jobb megoldás referencia-érzékelő használata, amely ismert hosszúságú referencia szakaszon méri a visszhang futási idejét. Az így mért terjedési sebességet csatolófelületen el kell juttatni az egyes érzékelőkbe, vagy külső, központi kiértékelő egységre kell bízni a tárgy távolságának meghatározását, a visszhang futási idejéből és a hang pillanatnyi terjedési sebességéből.

Ha két közel azonos **frekvencián** működő ultrahangos érzékelő működik egymás közelében, a kiértékelő egység nem tudja eldönteni, hogy a kapott jel visszhang vagy

idegen adójel-e. Az egymás észlelési tartományában működő érzékelők kölcsönösen zavarhatják egymást. Az ilyen zavarok csökkentésére különböző módszerek léteznek:

Az **eltérő adófrekvenciával** működő keskenysávú érzékelők használata. Ilyenkor azonban minden adófrekvenciához külön rezgőelemet kellene használni, ami nem egy jó megoldás.

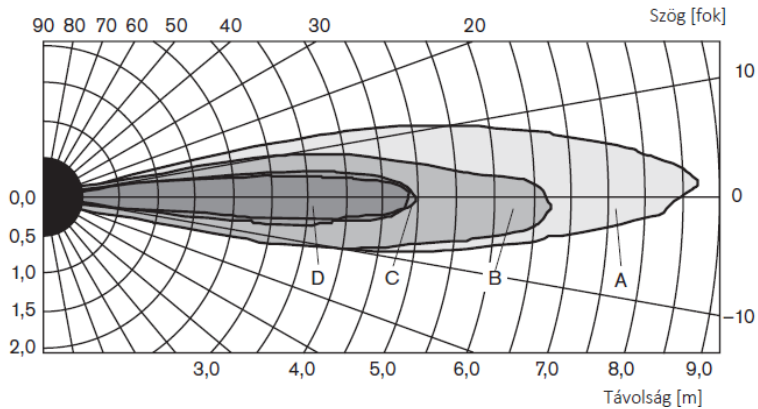
Jobb megoldás az **impulzuskódolás** használata. Itt az egyes ultrahangos érzékelők nem egyszerű impulzusokat bocsátanak ki, hanem egyedi kódolású impulzussorozatokat. Az impulzussorozatok eltérő impulzus-szünet arányaikban különböznek egymástól. A vevők csak azokkal a vett jelekkel foglalkoznak, amelyeket saját adójuk kódolt. Így több azonos adófrekvenciájú érzékelő használható egymás mellett, egymás befolyásolása nélkül. A módszernek az a hátránya, hogy az egyszerű impulzusok helyett kódolt impulzussorozatok küldése több időt igényel, ami csökkenti a legnagyobb elérhető kapcsolási frekvenciát.

További lehetőség az érzékelők kölcsönös befolyásolásának megakadályozására a rögzített, de **eltérő órajel-frekvenciák** használata. Az ultrahangos érzékelők ilyenkor azonos frekvenciájú, de eltérő ismétlődési gyakoriságú impulzuscsomagokat adnak. Kedvezőtlen elhelyezkedésű tárgyak ultrahangos észleléséhez nagyobb X távolságot kell választani!

Alkalmazási feltételek

Iránykarakterisztika

Ultrahangos érzékelők használatakor a zavarokat főként az érzékelő környezetében levő tárgyakról visszaverődő zavaró visszhangok vagy a tárgyak kedvezőtlen visszaverési tulajdonságai okozzák. Ezért a legfontosabb érzékelők gyártói iránykarakterisztikákat adnak meg katalógusaikban. Az iránykarakterisztikából megítélhető, mely tárgyak milyen távolságban váltanak ki kapcsolást.



58. ábra: Iránykarakterisztika

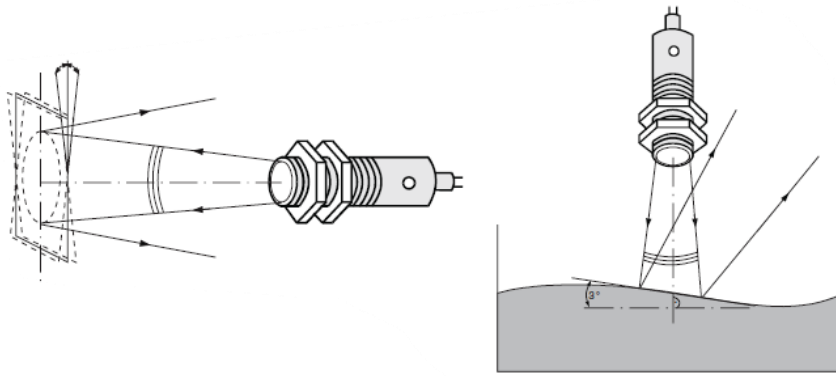
Az iránykarakterisztika görbéinek felvételéhez jellegzetes tárgyakat közelítenek különböző irányokból az érzékelőhöz és kimérik a kapcsolási pontokat. A következő mérőtárgyakat használják:

- A 700*700 mm-es sík lap, a legkülső burkológörbe felvételéhez, amelyen túl rendszerint nem érzékelhető tárgy,
- B 100*100 mm-es sík szabványos mérőlap a vonatkoztatási műszaki adatok kiméréséhez,
- C 160 mm átmérőjű műanyag cső, ráragasztott nemezzel, **szabványos nadrágszár**
- D 25 mm átmérőjű fa rúd, például hátrameneti biztosítóberendezésekhez.

A zavarmentes üzemhez a legkülső burkológörbe tartományában az észlelendő tárgyon kívül nem lehet más tárgy. Megfordítva, az észlelendő tárgynak a burkológörbén belül kell elhelyezkednie ahhoz, hogy felismerhető legyen alakja és nagysága.

A felület ferdesége

A tárgy felülete minél nagyobb kell, hogy legyen és az érzékelő tengelyéhez képest legfeljebb 3°-ban állhat ferdén, hogy a hang ne másfelé verődjön vissza róla. Ez a követelmény gondot okozhat gömbölyű tárgyknál vagy hullámzó felületű folyadékoknál (keverőknél).



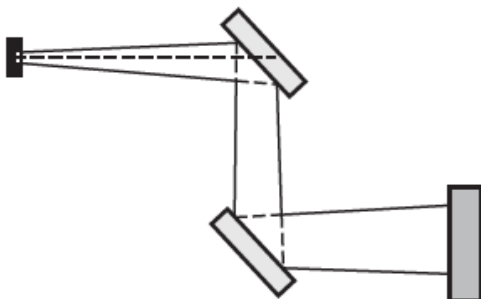
59. ábra: A felület ferdesége

Rézsűszög

Ultrahangokkal granulátumok és ömlesztett anyagok is érzékelhetők. Az ömlesztett anyag felülete legfeljebb 45° -ban dőlhet a hangkúp tengelyéhez képest. Az észlelhető visszhangot keltő diffúz visszaverődést befolyásolja a szemcseméret és a szemcsék felületi érdessége. Nagy távolságból azonban a visszhang olyan gyenge lehet, hogy már nem észlelhető megbízhatóan.

Hang eltérítése

Az ultrahang szinte tetszőleges anyagból készült egyszerű visszaverőkkel eltéríthető. Az észlelési tartomány változatlan marad, ha a visszaverő felületek kellően nagyok és a hangot legfeljebb kétszer térítik el. A visszaverőket pontosan be kell állítani. Ily módon az érzékelő távol tartható agresszív közegektől és a közeget elnyomható.



60. ábra: Hang eltérítése

Kiviteli változatok

Analóg kimenet

Mivel a távolságot mérő ultrahangos érzékelők letapogató üzemmódban a hang futási idejét mérik, ebből közvetlenül kiszámolható a tárgy távolsága. Így ezek az érzékelők analóg jeladóként is használhatók. Kaphatók olyan kombinált érzékelők, amelyeken két kimenet van: egy analóg kimenet és egy állítható ablaktartományú kapcsolókimenet.

A kiértékelési tartomány/méréstartomány különböző érzékelőkön eltérő módon állítható:

- kettő potenciométerrel,
- kódoló kapcsolóval,
- paraméterezéssel a csatolófelület útján.

Az analóg kimenet lehet áramkimenet (4-20 mA) vagy feszültségkimenet (2-10 V). Van olyan érzékelő is, amelyen kapcsolóval beállítható, hogy áram-, vagy feszültségkimenetként működjön-e az analóg kimenet a terheléstől függően.

Digitális csatolófelület

Az ultrahangos érzékelők szinte kizárólag digitálisan értékelik ki a jeleket. Ezért kézenfekvő, hogy digitális csatolófelülettel is elláthatók. Szokásos például az RS 232 soros csatolófelület. Az RS 232 széleskörű lehetőségeket biztosít, mert megengedi a párbeszédet az érzékelő és a vezérlés között. Ezáltal a jel kiértékelése paraméterezhető a csatolófelület útján. Például kívülről beállítható a kiértékelési távolság alsó és felső határa (a kapcsolási tartomány), a kapcsolókimenet viselkedése (nyugvó-/munkaérintkező), a folytonos vagy egyszeri lekérdezés, és paraméterezhető a hangterjedési sebesség és a hőmérséklet. Ezáltal ugyanazzal az érzékelővel ellenőrizhető tárgy jelenléte az észlelési tartományban, majd észlelés esetén meghatározható a tárgy távolsága. Itt is rendelkezésre áll 2 kapcsolókimenet.

8-bites kimenet

A legegyszerűbb digitális csatolófelületnek 8 párhuzamos logikai kimenete van, amelyek a tárgy távolságát 8-bites szóként képviselik. Az elérhető felbontás ekkor a kiértékelési tartomány 1/256 része (1 számjegy).

Alkalmazási példa



61. ábra: Torlódás ellenőrzése ömlesztett anyagot mozgató szállítószalagon

2.5 OPTOELEKTRONIKAI ÉRZÉKELŐK

2.5.1 Adóelemek

Az itt leírt alkatrészek alapvető tulajdonsága az elektromos áram átalakítása elektromágneses hullámmá (fényvé), vagy fordítva. Fényen az ibolyántúli tartomány szélétől ($\lambda=0,3 \mu\text{m}$) a látható fény tartományán ($0,38 \mu\text{m} < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$) át az infravörös tartomány széléig ($\lambda = 1,2 \mu\text{m}$) terjedő elektromágneses spektrumot értjük. Korszerű adóelemek a fénydiódák (LED, IRED) és a félvezetős lézerdiodák. Vevőelemként fotodiódákat (PN- és PIN (P, Intrinsic, N)), fototranzisztorokat és PSD (position sensitive detector) diódákat alkalmazunk.

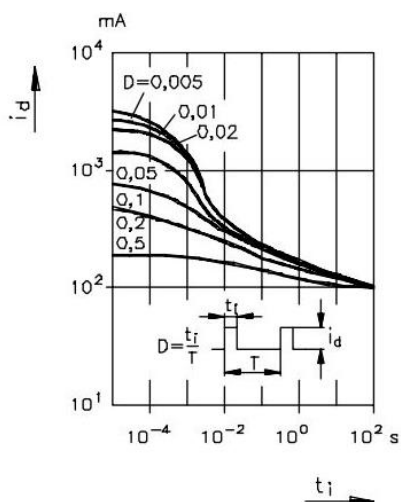
Fénydiódák (LED, IRED)

A fénydiódák lényegében pn-átmenettel rendelkező félvezetők. A pn-átmenetre nyitóirányban kapcsolt feszültség és az ebből fakadó áram elektronokat injektál a p-tartományba és lyukakat az n-tartományba. A jó hatásfok eléréséhez a fénydiódákat GaAs félvezető anyagból készítik. A GaAs hullámhossza $\lambda = 0,9 \mu\text{m}$. Ez az infravörös tartomány

közelébe esik. GaAs anyagból ezért jó kvantumhatásfokú (fényhasznosítású) infravörös diódák (IRED) készíthetők.

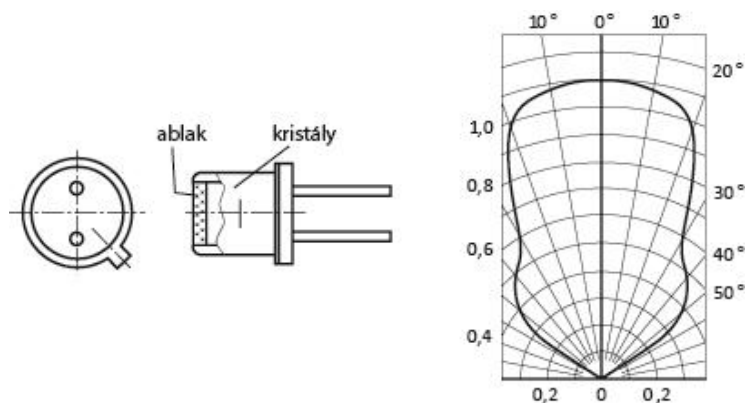
A közvetett félvezetők fontos képviselője a GaP. A félvezetőt nitrogénnel (N) vagy cink-oxigén párral (ZnO) dópolva az idegenatomos hibahelyeken levő elektron lyuk párok a rekombinálódás során fényt bocsátanak ki. A fény nem alakuló energia hővé alakul és elvész. Közvetett félvezetők fényhasznosítása (kvantumhatásfoka) kisebb, mint a közvetlen félvezetőké. A hullámhossz a félvezető és az abban izoelektromos hibahelyeket képző dópoló anyag megválasztásával állítható be. Látható fényt kibocsátó fénydiódák kvantumhatásfoka kisebb az infravörös diódákénál. Figyelembe véve a félvezető kristály disszipálási határait és legnagyobb megengedett átmenet-hőmérsékletét, a fénydióda nagyobb, impulzusszerű I_d árammal modulálható. Ezáltal fénykibocsátásuk pillanatértéke sokszorososan meghaladhatja tartós fénykibocsátásukat.

Az 62. ábra a tipikusan megengedett impulzus-terhelhetőségi áramértékeket mutatja a t_i impulzusidő függvényében. A görbék paramétere a D kitöltési tényező. R-fénydiódák fénykibocsátásának tipikus felfutási és lefutási ideje 400 ns és 1 μ s közé esik, és ezért ezek a diódák alkalmasak a fény modulálására.



62. ábra: Impulzus-terhelhetőség

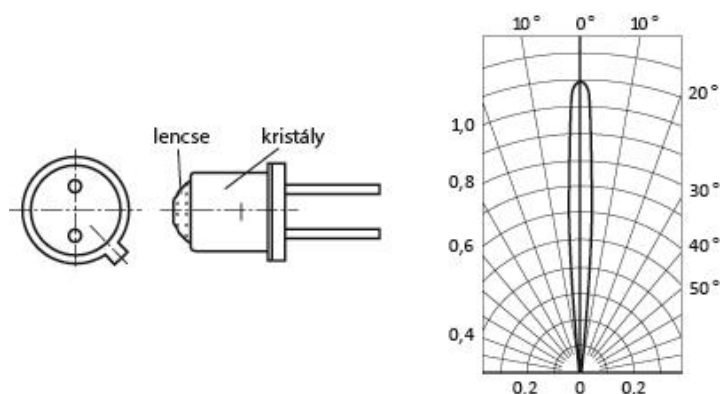
Kiviteli formájukat tekintve ezek az alkatrészek lehetnek síklakosak vagy lencseoptikásak. A síklakosoknak igen széles a nyitásszöge.



63. ábra: Síklakos LED tokozása és intenzitás-eloszlása

Bár ezek az alkatrészek viszonylag alacsony sugárzási intenzitással rendelkeznek, kiegészítő optikai rendszerekkel jól definiált leképezést tesznek lehetővé. A síklakos fénydiódák különösen kedvezően alkalmazhatók reflexiós fénysorompókban, ahol követelmény a minél párhuzamosabb fénymenet.

A lencsés fénydiódák sugárzási intenzitása viszonylag erős, sugárnyalábjuk nyitásszöge keskeny. Széles körben használják őket alsó és közepes letapogatási szélességi tartományú reflexiós fényszkennerekben. Fényvezetőkkel is használhatók.



64. ábra: Lencsés LED tokozása és intenzitás-eloszlása

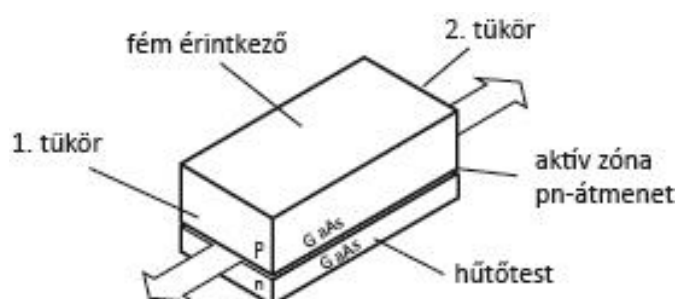
Félvezetős lézerdiódák

A félvezetős lézerek a legegyszerűbb esetben (közvetlen félvezetős változatban) erősen dópolt/doppingolt GaAs anyag pn-átmenetét használják fénykeltésre.

A félvezető lézer jellegzetes tulajdonságát, koherens fény kibocsátási képességét két alapvető tényező okozza: az úgynevezett indukált emisszió és a félvezető kristályban lévő optikai rezonátor. A koherencia azt jelenti, hogy a kibocsátott fényhullámok spektruma azonos frekvenciájú és a hullámok között merev fáziskapcsolat áll fenn. A fénydiódák spontán emissziójával ellentétben az indukált emisszióban a megfelelő frekvenciájú fény külső hatására rekombinációs folyamat indul be. Egy elektront pontosan akkor lehet emisszióra készíteni, amikor a beeső fényhullám felfelé oszcillál. Ezáltal minden kibocsátott fény automatikusan koherens lesz.

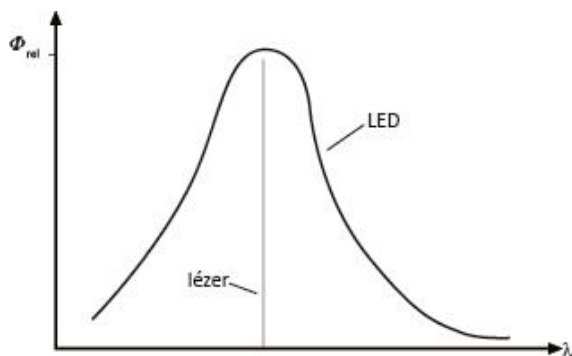
Itt is erősítés történik, amennyiben egy gyenge primer sugárzás erős szekunder sugárzást kelt. A folyamat fenntartásához gondoskodni kell az optikai visszacsatolásról. A pontosan az átmeneti frekvenciára hangolt optikai rezonátor teljesíti ezt a követelményt, mert az adott frekvencián állóhullám képződik benne, ami az indukált emisszió egyik alapfeltétele.

Félvezetős lézereknél az optikai rezonátor a GaAs kristály pn-átmenetének plánparallel homloklapjai között jön létre. Ezen a rézfelületeken a visszaverődés kb. 30%-os, ami elegendő a szükséges visszacsatoláshoz. A nem visszaverődött fény kétoldalt lép ki a kristályból.



65. ábra: Félvezetős GaAs lézer

A fénydiódával ellentétben a félvezetős lézer emissziós spektruma nagyon keskeny, az indukált emisszió és a rezonátoros erősítés miatt. A fénydiódák folytonos spektrumával ellentétben a lézer spektruma többnyire az alaphullám sajátrezgéseinek diszkrét spektrumvonalalaiból áll. Speciális fényvezetési megoldásokkal a spektrum a gyakorlatban egyetlen vonalra szűkíthető.



66. ábra: A LED és a lézer spektruma

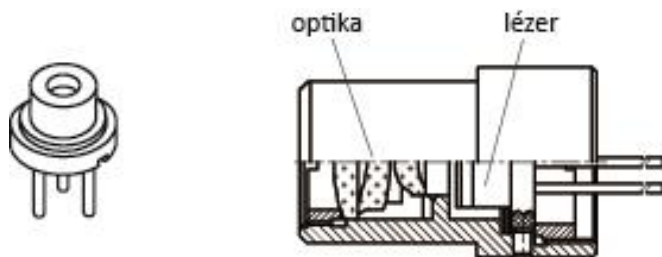
A félvezetős lézerek nagyon érzékenyek a hőmérsékletingadozásokra. A küszöbáram hőmérsékleti együtthatója $1,5\% / ^\circ\text{C}$. Ez a hatás különösen csökkenő hőmérséklet esetén kritikus, mert a lézer jelleggörbe nagyon meredek és a dióda a nagyteljesítményű tartományba sodródik, ami tönkreteszi. Emiatt gondoskodni kell a kristály kellő hőstabilizálásáról.

További lehetőség a kimeneti teljesítmény szabályozása és állandó értéken tartása. A szabályozáshoz számos félvezetős lézerbe monitordiódát építenek.

A félvezetős lézerdiódák tipikus felfutási és lefutási ideje 1-5 ns közé esik, ezért ezek a diódák kifejezetten alkalmasak a fény nagyfrekvenciás modulálására.

Lézerdiódák leképezendő kilépő rése nagyon kicsi a hagyományos fénydiódákéhoz képest, így megfelelő optika előtétkezésével szinte teljesen párhuzamos sugarak képezhetők.

A beépített monitordiódás lézerdiodák mellett komplett, diódás és optikás egységek is kaphatók.

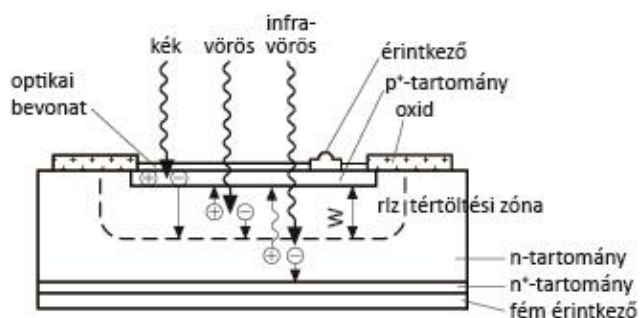


67. ábra: Optikás lézerdioda

2.5.2 Vevőelemek

Fotodiódák (PN és PIN diódák)

A fotodiódák feladata a vett optikai jelek elektromos árammá alakítása. Míg fénydiódáknál töltéshordozók pn-átmenetbe injektálásakor a rekombináció fény bocsát ki, fotodiódáknál fordítva játszódik le a folyamat.



68. ábra: Fotodiódák működési módja

A p- és n-tartomány eltérő töltéshordozó-koncentrációja miatt külső hatás nélkül úgynevezett tértöltési zóna alakul ki, amelyben nincsenek mozgó töltéshordozók.

Fotonok beérkezése elektron-lyuk párokat hoz létre a pn-átmenetben vagy annak környezetében. A tértöltési zónában keletkező töltéshordozó párokat az ottani elektromos tér szétválasztja és a töltéshordozókat a megfelelő oldalra továbbítja.

A lyukak a p-tartományba, az elektronok az n-tartományba mennek. Külső feszültség hatására tehát fotoáram (drift áram) folyik a zárórétegben. A tértöltési zónán kívül keletkező töltéshordozó pároknak előbb a tértöltési zónába kell diffundálniuk ahhoz, hogy ott szétválhassanak és a fotoáramhoz diffúziós áram formájában hozzájárulhassanak.

Míg a drift áram viszonylag gyorsan létrejön a töltéshordozó párok szétválásából és kétfelé mozgásából, a diffúziós áram lassabban alakul ki, a töltéshordozó pároknak a tértöltési zónába való lassú bediffundálása során.

A fotoáram típusa és ezáltal a fénydióda dinamikus viselkedése a dióda felépítésének kialakításával befolyásolható.

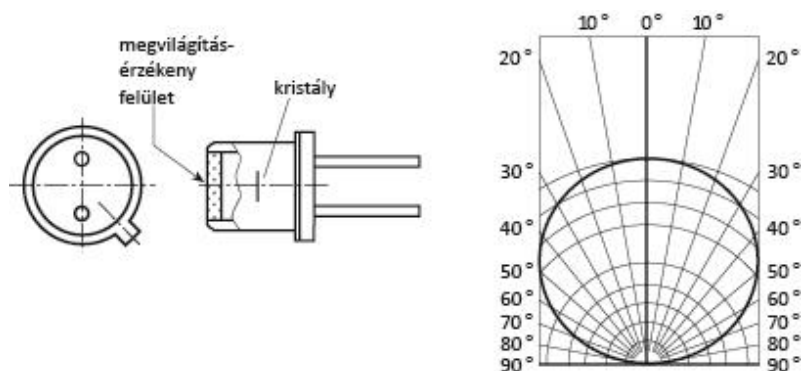
Úgynevezett PN-diódáknál a tértöltési zóna igen keskeny. A töltéshordozó párok elsősorban a tértöltési zóna határain kívüli szegélyzónákban képződnek. Ennek eredményeként a diffúziós áram dominál, így a PN-diódákat viszonylag alacsony határfrekvencia és hosszú felfutási idő jellemzi.

Ezzel szemben az úgynevezett sötétáram viszonylag kicsi. A PN-diódák különösen alkalmasak kis megvilágítások mérésére. PN-diódák felfutási és lefutási ideje 1-3 μ s közé esik, zárórétegük kapacitása 100 pF – 1 nF.

Széles tértöltési zónájú PN-diódák kis C_j záróréteg-kapacitása a terhelőellenállással aluláteresztő szűrőt alkot, és ezáltal lényegesen befolyásolja a rendszer frekvenciamenetét. Az ilyen PIN-diódákra a nagy határfrekvencia és a kis felfutási idő jellemző.

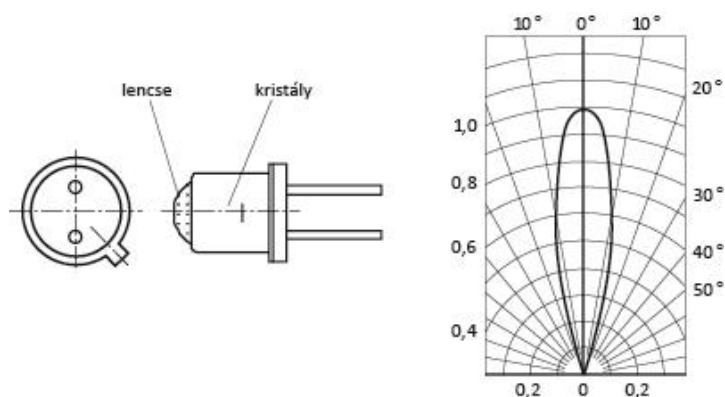
A fénydiódákhoz hasonlóan a fotodiódák is két nagy kiviteli csoportba sorolhatók.

A síklablakos fotodiódák iránykarakterisztikája igen széles. Ezért különösen alkalmasak megvilágítás mérésére. Optikai előtéttel pontosan meghatározott, keskenyebb iránykarakterisztika hozható létre, így az ilyen fotodiódák például reflexiós sorompókban használhatók, ahol pontosan ilyen iránykarakterisztikára van szükség.



69. ábra: Síklablakos fotodiód tokozása és intenzitás-eloszlása

A beépített lencsés fotodiódák iránykarakterisztikája viszonylag keskeny. Ezeket elsősorban kicsi és közepes kapcsolási távolságú optikai kapcsolókban használjuk, különösen akkor, ha fényvezetőkkel együtt kívánjuk használni őket.



70. ábra: Lencsés fotodiódatokozása és intenzitás-eloszlása

Fototranzisztorok

A fototranzisztorok alapvetően fotodiódák, a fotóáram erősítőjeként utánuk kötött tranzisztorttal. Dinamikus viselkedésük viszonylag gyenge a fotodiódákéhoz képest. A fototranzisztorok tipikus fel- és lefutási ideje 20 μ s. Ennek oka az erősítési

mechanizmusban keresendő, mivel az ún. Miller-effektus miatt a záróréteg kapacitása B-szeresére nő, ami jelentősen csökkenti az elérhető határfrekvenciát.

A fotodiódákkal ellentétben a fototranzisztorok esetében a beeső sugárzási teljesítmény és a keletkező fotóáram közötti kapcsolat nem szigorúan lineáris, és négy nagyságrenden belül akár 20%-kal is eltérhet az ideális viselkedéstől.

A hőmérsékletfüggés szintén kedvezőtlen. Az erős hőmérsékletfüggés azonban előnyé fordítható. Ha ugyanis egy infravörös fénydiódát fototranzisztorral kombinálunk, hőmérsékleti karakterisztikájuk nagyjából kiegyenlíti egymást.

A fototranzisztorok a fotodiódákéhoz hasonló tokozásban és optikai jellemzőkkel kaphatók.

Az egyszerű és mindenekeelőtt kicsi fototranzisztoroknak csak a kollektoruk és az emitterük van kivezetve. Vannak azonban báziskivezetéses fototranzisztorok is, amelyek munkapontja ezáltal beállítható.

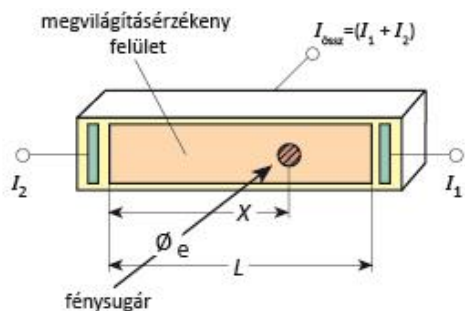
PSD dióda

A fotodióda egy érdekes változata az úgynevezett PSD dióda (position sensitive detector).

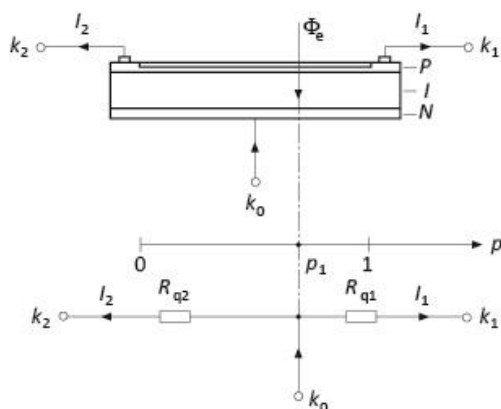
A PSD elvileg egy fotodióda, amelynek megvilágítás érzékeny felülete szalag alakú. A szerkezet két homlokoldalán helyezkedik el a K_1 , K_2 érintkező; az alsó oldalán található a közös K_0 szubsztrátumérzékelő.

A PSD a záróréteg-ellenálláson kívül úgynevezett keresztirányú R_q ellenállással is rendelkezik, a megvilágításérzékeny felület hosszirányában. Ez az ellenállás a K_1 és K_2 kapocs között mérhető.

Ha a PSD-t pont alakú képzeletbeli fényforrással sugározzuk be, akkor a megvilágított ponton I_{ges} áram keletkezik. Az R_q keresztirányú ellenállás itt kettéválik R_{q1} és R_{q2} részellenállásra. Az I_{ges} áram is kettéválik I_1 és I_2 részáramra, amelyek a K_1 és K_2 kapcspon érhetőek el.



71. ábra: PSD dióda



72. ábra: PSD dióda

Érdekes, az a kapcsolat a pontszerű besugárzás p_1 helye és az ebből keletkező I_1 és I_2 részáramok között. Az 64. ábrán egy normalizált p abszcissa látható, amelynek 0 és 1 pontja megfelel a megvilágításérzékeny felület végpontjainak. Ez az abszcissa lehetővé teszi a fénypont p_1 helyének meghatározását.

Az R_{q1} és R_{q2} részellenállás értéke:

$$R_{q2} = p_1 \cdot R_q \text{ és } R_{q1} = (1 - p_1) \cdot R_q$$

Ezt behelyettesítve az

$$\frac{R_{q2}}{R_{q1}} = \frac{I_1}{I_2}$$

egyenletbe a következő kifejezést kapjuk:

$$p_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2}.$$

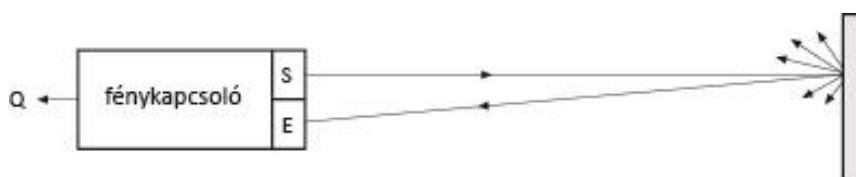
Ez egyértelművé teszi, hogy az I_1 , I_2 részáramok megméréssel meghatározható a fénypont p_1 helye a PSD felületén. A beeső Φ_e sugárteljesítmény és az általa keltett fotoáram között csaknem lineáris a kapcsolat (mint a szokásos fotodiódáknál). Érdekes, hogy a beeső sugárteljesítmény változásai vagy ingadozásai elméletileg nem befolyásolják a (fenti összefüggések szerinti) helyzetmeghatározást, mivel ezek az ingadozások ugyanolyan mértékben érintik az I_1 és I_2 részáramot, és kiesnek a hányadosokból. Annak érdekében, hogy az általában igen nagy felületű PSD diódák fel- és lefutási idejét a lehető legrövidebbre lehessen csökkenteni, a PIN-diódaszervezeteket részesítik előnyben. Optikailag aktív felületük méretétől függően kapcsolási idejük 500 ns – 50 μ s közé esnek.

Vannak kétdimenziós szerkezetek is, ezekkel az alkatrészekkel kétdimenziós koordinátarendszert lehet felállítani, és egy felületen lehet meghatározni a helyzetet.

2.5.3 Optoelektronikus érzékelők üzemmódjai

Reflexiós fényszkennerek

Reflexiós fényszkennerek esetén az S adó által kisugárzott fényt az optikailag érdes O tárgy diffúzon visszaveri és az E vevő érzékeli. A beállított vételi amplitúdó túllépésekor a vevő Q kapcsolókimenete átkapcsol.



73. ábra: Reflexiós fényszkenner

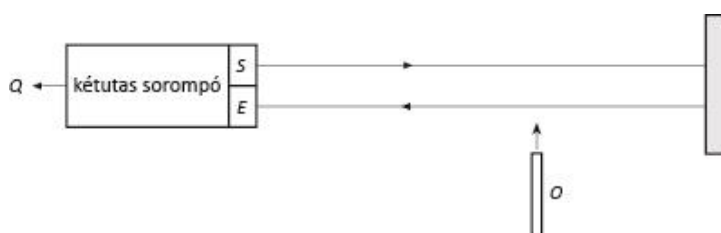
Reflexiós fényzkennerek tipikus kapcsolási távolsága 0-500 mm. Speciális változatokkal akár 10 m kapcsolási távolság is elérhető.

Reflexiós fényzkennerekkel minden optikailag érdekes tárgy érzékelhető. A kapcsolónak a tárgyra irányítása elegendő, speciális telepítésre és beállításra nem nagyon van szükség. Fényvezetőkkel kombinálva a legkisebb tárgyak és észlelhetőek. Mivel a reflexiós fénykapcsolók a vételi amplitúdót értékelik, a kapcsoló optikájának szennyeződése és a tárgy visszaverő képességének ingadozása megváltoztatja a kapcsolási távolságot. Diffúz visszaverődés esetén a vett optikai teljesítmény igen csekély, emiatt viszonylag kicsi az elérhető kapcsolási távolság.

A visszavert fényt érzékelő fényzkennер működési elvéből következően átlátszó és tükröző tárgyak nem vagy csak feltételesen érzékelhetőek.

Reflexiós fényesorompó

Reflexiós fényesorompók esetén az S adó által kisugárzott fényt az R macskaszem visszaveri és az E vevő érzékeli. A Q kapcsolókimenet akkor kapcsol át, amikor az O tárgy megszakítja a fény útját.



74. ábra: Reflexiós fényesorompó

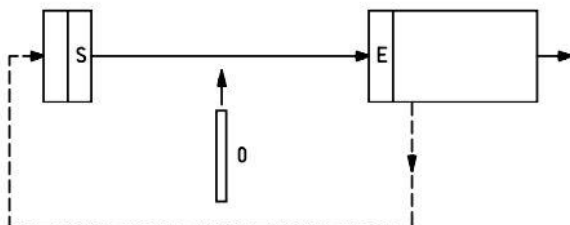
Reflexiós fényesorompókkal 0,1-20 m közötti hatótávolság érhető el. Reflexiós fényesorompóval minden nem átlátszó tárgy érzékelhető. A fényzkennereket érő diffúz visszavert fényvel ellentétben a reflexiós fényesorompók vevői sokkal nagyobb teljesítményű visszavert fényt kapnak, s ezért hatótávolságuk is viszonylag nagy. Ennek

megfelelően az optika szennyeződése és a tárgy optikai jellemzőinek szóródása is sokkal kevésbé befolyásolja őket.

Ugyanakkor szerelési és beállítási munkaigényük sokkal nagyobb különösen a fénysorompó feje és visszaverője közötti nagy távolság esetén, ahol fontos a pontos beirányozás. Átlátszó tárgyak csak feltételesen észlelhetők a fénysorompóval, mert az optikai szakaszba lépő átlátszó tárgy fénycsillapítása kevésnek bizonyulhat. Tükröződő tárgyak esetén előfordulhat, hogy olyan helyzetet vesznek fel, amikor pontosan a vevőbe tükrözik vissza a kibocsátott fényt. Ekkor nem lehet megkülönböztetni a macskaszem és a tárgy által visszavert fényt.

Egyirányú/átvilágító fénysorompó

Az S adó által kisugárzott fény az optikai szakasz másik végén elhelyezett E erősítőbe esik. A Q kapcsolókimenet akkor kapcsol át, amikor az O tárgy megszakítja a fény útját.



75. ábra: Egyirányú/átvilágító fénysorompó

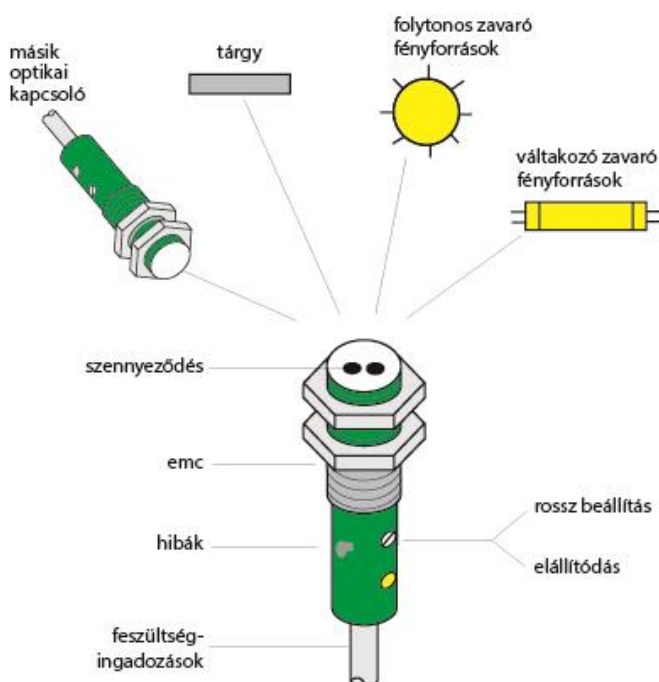
Átvilágító fénysorompókkal akár 100 m távolság is áthidalható. A reflexiós fénysorompókhoz hasonlóan az átvilágító sorompóval is mindennemű nem átlátszó tárgy észlelhető. Átvilágító fénysorompóknál a tükröző tárgyak sem okoznak gondot. Ezek a sorompók a legkevésbé érzékenyek az optika szennyeződésre és a tárgy optikai tulajdonságainak ingadozására.

Az adó és a vevő egység között az esetek többségében elektromos összeköttetésre van szükség. A szerelési ráfordítás ezért az átvilágítós fénysorompóknál a legnagyobb. A beállítási munkaigény is viszonylag nagy, a reflexiós fénysorompókéhoz hasonlóan. Átlátszó tárgyak itt is csak feltételesen vagy egyáltalán nem észlelhetők.

2.5.4 Optoelektronikus érzékelők jelfeldolgozása

Zavaró hatások optoelektronikus érzékelőknél

Az 68. ábrán jól látható, hogy az optoelektronika rendszerek kifejezetten ellenséges környezetben működnek. Jelfeldolgozásuk képes kell, hogy legyen mindezen zavaró hatások elnyomására és kiküszöbölésére. A vizsgálathoz a zavaró mechanizmusokat célszerű kettéválasztani optikai és nem optikai típusúakra.



76. ábra: Az optikai kapcsoló működését sokféle zavaró hatás akadályozza

Az optikai zavarok fő forrásai a folytonos és váltakozó fényforrások. Folytonos zavaró fényforrás a Nap, az infravörös sugárzók és a mesterséges fényforrások (izzólámpák). Ezek a fotoáramban akkora egyenáramú összetevőt hoznak létre, amely többszörösen

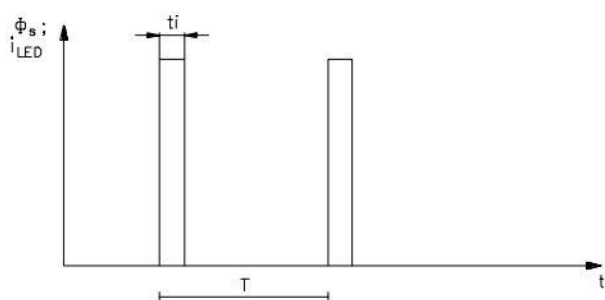
meghaladhatja a hasznos jel összetevőjét. Ez az egyenáram ezenkívül bezajosítja a vevőt, lerontja jel/zaj viszonyát. Kedvezőtlen körülmények között nem zárható ki az optikai kapcsolók hibás működése.

Váltakozó zavaró fényforrás például a fénycső, a villámlás, a hegesztőív és a szomszédos optikai kapcsolók fénye. Ezek a vevőben kisebb egyenáramú, de nagyobb váltakozó áramú összetevőt hoznak létre, amely szintén többszörösen meghaladhatja a hasznos jel összetevőjét. E zavarjel-források frekvenciaspektruma tetszőleges lehet és hibát okozhat a kapcsolók működésében.

2.5.5 A zavarelnyomás szakaszai

Zavarelnyomás az adójel optikai modulálásával

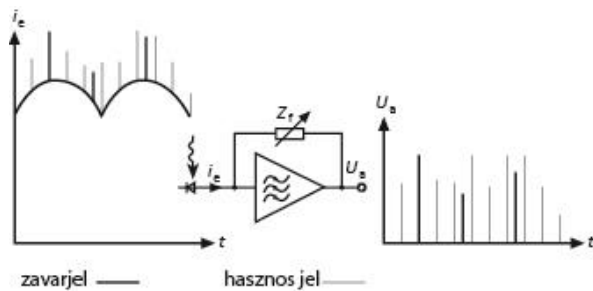
A CW (folytonos) működéssel ellentétben az optikai érzékelő adóját időben változó i_{LED} árammal vezérik, és ezáltal optikailag modulálják. Az esetek többségében a moduláló jel négyszögimpulzus.



77. ábra: A diódaáram és ezáltal a fény négyszögjeles modulálása

Zavarelnyomás vétel utáni sávszűréssel

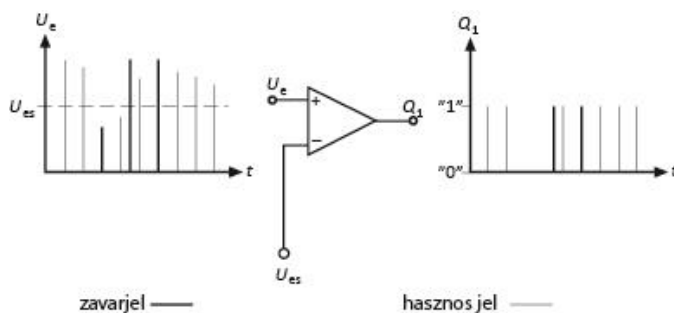
A sáváteresztő szűrés korlátozza a rendszer egészének frekvenciatartományát. A felső frekvenciatartományban csillapítja a nagyfrekvenciás váltakozó zavaró fényt, az alsó frekvenciatartományban pedig a folytonos zavaró fényt (például a nappali fényt), a kisfrekvenciás váltakozó zavaró fényt (például izzólámpák 50 Hz-cel modulált fényét) és a zajokat.



78. ábra: A sávszűrő kiszűri a kislekvenciás zavarokat

Zavarelnyomás kitakarással

A vevőerősítő által előkészített jelet az A/D csatolófelület digitalizálja. A csatolófelület U_{es} döntési küszöbű komparátor. Az U_{es} -nél nagyobb feszültségű zavarjelek digitalizálódnak és megőrződnek. A hasznos jel röviddel az adóimpulzus után várható. Kicsi annak a valószínűsége, hogy zavarimpulzusok éppen ebben az időpontban zavarnak be. Ezt a tényét használja ki a zavarkitakarás.



79. ábra: A komparátor kiszűri a gyenge jeleket

Zavarelnyomás digitális szűréssel

E zavarok elnyomásához a gyakoriság statisztikai kiértékelésére van szükség. Itt azzal a feltételezéssel élünk, hogy az előzetes jelfeldolgozás annyira kitisztította a zavarjeleket, hogy a megmaradók gyakorisága kisebb a hasznos jelekénél.

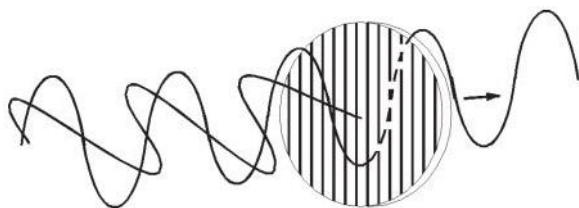
Kölcsönös zavarás elleni védelem

Adott optikai térben több optikai kapcsoló is elhelyezhető. Ilyenkor előfordulhat, hogy egy kapcsoló –„zavarónak” – jelét egy másik veszi és feldolgozza. A zavaró fél adóimpulzus-ismétlődési ideje T_1 , a zavarté T_2 .

2.5.6 Kiviteli változatok

Polárszűrős reflexiós fénySOROMPÓK

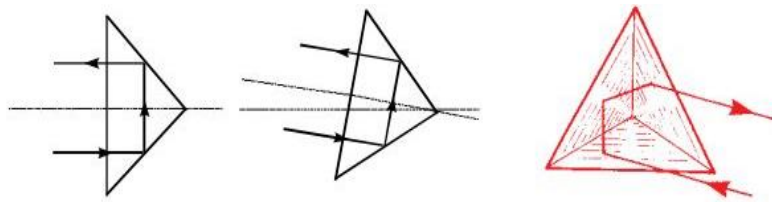
Fénysugaraknak nemcsak a terjedési iránya vagy iránykarakterisztikája befolyásolható, hanem a rezgési jellemzői is. Erre szolgálnak az optikai szűrők, amelyek csak adott hullámhosszat vagy tartományt (pl. vörös, ibolyántúli) engednek át. A kiszűrendő fényt visszaverhetik, elnyelhetik vagy eltéríthetik. Ilyen szűrés során mindig elvész az optikai energia egy része, mert a fénynek csak egy része hasznosul. Optikai érzékelőknél különösen fontosak a lineáris polárszűrők, amelyek csak egy bizonyos rezgési sík fényhullámait engedik át.



80. ábra: Polárszűrő

A polárszűrők a fényt visszaveréssel vagy fénytöréssel két sugárra bontják, amelyek egyike vagy mindkettő lineárisan polarizált. A fénytöréshez és a visszaverődéshez hasonlóan ez a hatás is a felhasznált közeg optikai tulajdonságaitól függ. Polárszűrőket fényvisszaverős fénySOROMPÓKban alkalmazunk.

Míg tükör vagy két optikai közeg határfelületéről a beeső fény szabályosan verődik vissza, a macskaszemek (prizmák) a beeső fénysugarat mindig azzal párhuzamosan verik vissza. Ezt több 3 oldalú piramis (tetraéder) elrendezésével vagy üreges üveggömbökkel ellátott speciális fóliákkal érik el.

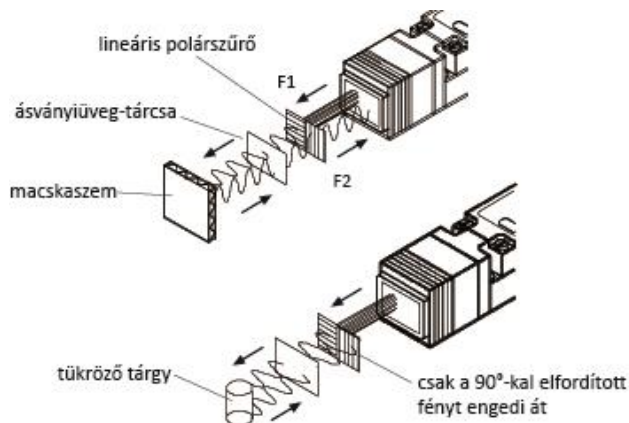


81. ábra: Macskaszemek (Prizmák)

Többszörös fénytörésük vagy visszaverésük révén a macskaszemes fényvisszaverők képesek a polarizált fényt depolarizálni és/vagy a polarizációs síkot 90° -kal elfordítani. A macskaszemeket például fényvisszaverő útjelző táblákon és fényvisszaverős fénysorompókban használjuk.

Reflexiós fénysorompó

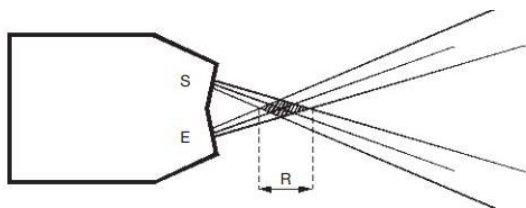
Reflexiós fénysorompóval érzékelendő tükröző tárgyaknak van egy olyan helyzete, amikor az adó fényt pontosan a vevőbe verik vissza. Mivel a reflexiós fénysorompó a fény megszakításával működik, ebben a speciális esetben nem szakad meg a fénysugár, mert a macskaszem helyett a tükröző tárgyról verődik vissza. Ezt a hibát polarizált fény alkalmazásával lehet megelőzni.



82. ábra: Polarizált fényvel működő reflexiós fénysorompó

Háttérelnyomással működő optikai érzékelő

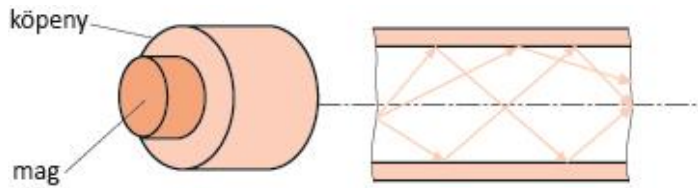
Az optikai kapcsolók a diffúzan visszavert fény intenzitását értékelik, függetlenül attól, hogy mi okozta a visszaverődést. Kedvezőtlen esetben előfordulhat, hogy a háttérben lévő zavaró visszaverődések hasonló mértékben járulnak hozzá a vételi amplitúdóhoz, mint maga a tárgy. Emiatt a tárgy nehezen vagy egyáltalán nem észlelhető. Ezen úgynevezett háttérelnyomással lehet segíteni, amely élesen megkülönbözteti a hasznos észlelési- és az elnyomandó háttértartományt. Sokféle eljárás létezik ezek megvalósítására. Pl.: ha az adó- és vevőoptikát úgy állítjuk be, hogy optikai tengelyük metszse egymást, akkor a két sugárkúp metszési tartománya R aktív optikai teret ad. Belátható, hogy csak az R térben levő tárgyak képesek hozzájárulni a diffúz reflexiók vételéhez; a háttérreflexiók el sem jutnak a vevőbe. Az optikai tengelyek átállításával az R tér helye az alkalmazás igényeihez igazítható.



83. ábra: Háttérelnyomás

Fényvezetővel működő optikai érzékelő

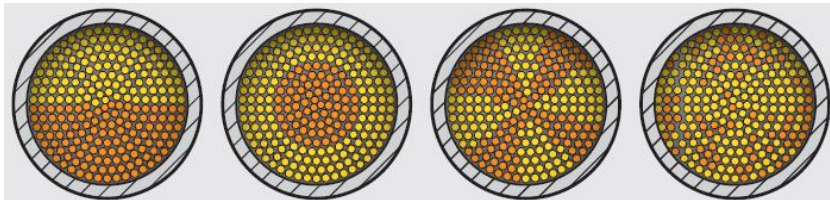
A fényvezetők üvegből vagy műanyagból készült optikai szálak/szálkötegek, amelyek vezetik a beléjük táplált fényt. A fény követi a fényvezető formáját, akkor is, ha meghajlítják. A fényvezető működése két közeg határán történő teljes visszaverődés elvén működik. A fényt optikailag „sűrű” közeg (pl. üveg, műanyag) vezeti, amelynek átmérőjét úgy választják meg, hogy az optikailag „ritkább” köpeny felületén a beesési szög mindig nagyobb legyen a teljes visszaverődéshez szükséges határszögnél. A fénysugarak a belső fényvezető szál és külső köpenye között folyamatosan visszaverődve cikk-cakkban haladnak a szálban.



84. ábra: Fényvezető működési elve

Üvegszálás fényvezetők

Üvegszálás fényvezetőkben rendszerint sok vékony (kb. 0,05 mm-es) szál halad kötegelve egy PVC, szilikon vagy nemesacél burkolatban. Ez biztosítja a szükséges hajlékonyságot. A szálak többféleképpen oszthatók el az adó- és vevőoptika között.



85. ábra: Fényvezető keresztmetszete

Minden alkalmazáshoz más elrendezés választható. Rendszerint félkör alakú elrendezést használunk. Kisebb tárgyak felismeréséhez koncentrikus vagy szegmenses elrendezést célszerű választani. A rendelkezésre álló szálak számától függően nagy köteggel keresztmetszet alakítható ki. Ettől függően nő vagy csökken a veszteség és a fényvezető végén elérhető hatótávolság.

Katalógus adatok adják meg az összefüggést az érzékelő által meghatározott hatótávolság, a választandó üvegszál-keresztmetszet és az áthidalható szakasz hossza között. Az üvegszálás fényvezetők az infravörös tartományban kisebb csillapításúak. Ezért infravörös tartományban működő érzékelőkkel szoktuk kombinálni őket.

Műanyagból készült fényvezetők

Az a műanyagból készült fényvezetők rendszerint egy-egy 1-2 mm vastag szálát tartalmaznak az adó és a vevő számára. Lágyabb anyaguk révén kisebb sugárban

hajlíthatók, mint az üvegszálás fényvezetők. Optikai jellemzőik rosszabbak az üvegszálás fényvezetőkénél. Különösen az infravörös tartományban lényegesen nagyobb a csillapításuk. Ezért ezek a fényvezetők vörös fényrel működő érzékelőkkel használhatók optimálisan.

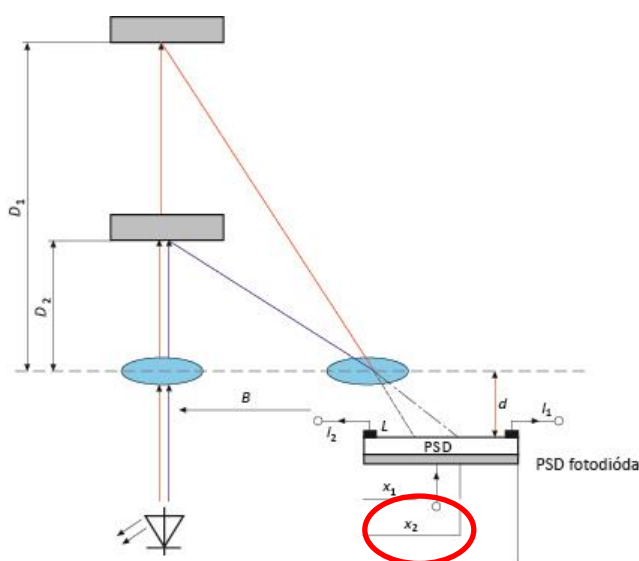
A műanyagból készült fényvezetők két fő előnye az olcsóbb ár és a mechanikus igénybevételekkel szembeni érzéketlenség.

Optikai érzékelők végfokozatai

Az optikai érzékelők működhetnek munkaérintkezős vagy nyugvóérintkezős üzemmódban. Munkaérintkezős (záró) üzemmódról akkor beszélünk, ha a kapcsoló a tárgy felismerésekor zár. Ha a kapcsoló nyit a tárgy felismerésekor, akkor nyugvóérintkezős (bontó) üzemmódu. Az üzemmód az alkalmazástól függ és különféle érzékelőknél eltérő módon állítható be a felhasználás helyén.

Háromszögelő érzékelők

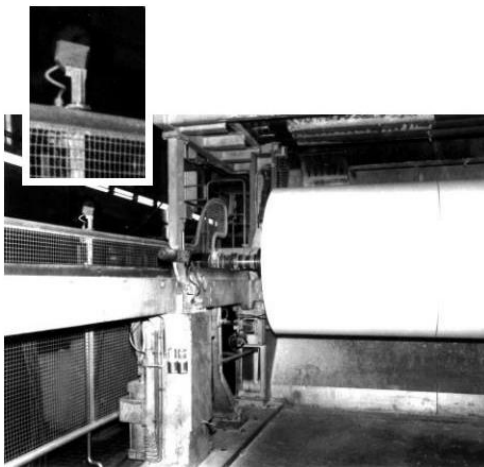
Egyszerű fényzkennereknél a kapcsolási távolságnak a tárgy visszaverődési tulajdonságaitól (színétől) való függése kiküszöbölhető a háromszögelési elv alkalmazásával. A mérési elv színfüggetlen távolságmérést tesz lehetővé.



86. ábra: A háromszögelés elve

Az adó és a vevő egy közös házban, egymástól B távolságra és adott szöghelyzetben van elhelyezve. Vevőként PSD fotodióda szolgál. A visszavert fény a tárgy távolságától függően más-más szögben éri a vevőt és annak más-más helyére esik. I_1 és I_2 fotoáramot hoz létre a PSD fotodiódán, amelyből meghatározható az x_1 vagy x_2 rész szakasz. Ezekből, a rendszer B és f méretének ismeretében, kiszámolható a tárgy távolsága.

Alkalmazási példa



87. ábra: Papír feltekeréselés figyelése optikai érzékelővel



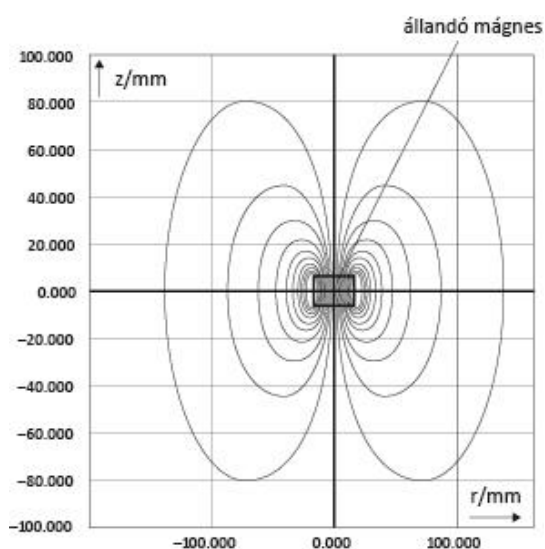
88. ábra: Görgős raklapmozgató

2.6 MÁGNESES ÉRZÉKELŐK

Az automatikában általában nem szokás mágneses tereket mérni. Gyakori azonban a mágnessel jelölt, illetve ferromágneses tárgyak érzékelése mágneses terekre érzékeny érzékelőkkel. Mérhetők például:

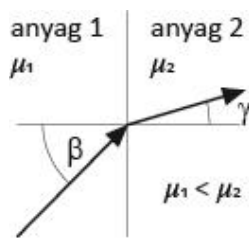
- távolságok (analóg módon),
- darabszámok,
- fordulatszámok (digitálisan),
- elfordulási szögértékek (analóg módon).

Mágneses tér kelthető állandó mágnessel vagy elektromágnessel. Az érzékelőtechnikában túlnyomórészt állandó mágneseket használunk, mert nem igényelnek energiaellátást. A 81. ábrán hengeres állandó mágnes erővonalai láthatók.



89. ábra: Hengeres állandó mágnes mágneses tere

Az erővonalak az északi pólusból kilépve a déli pólusba lépnek, és a mágnes belsejében záródnak.



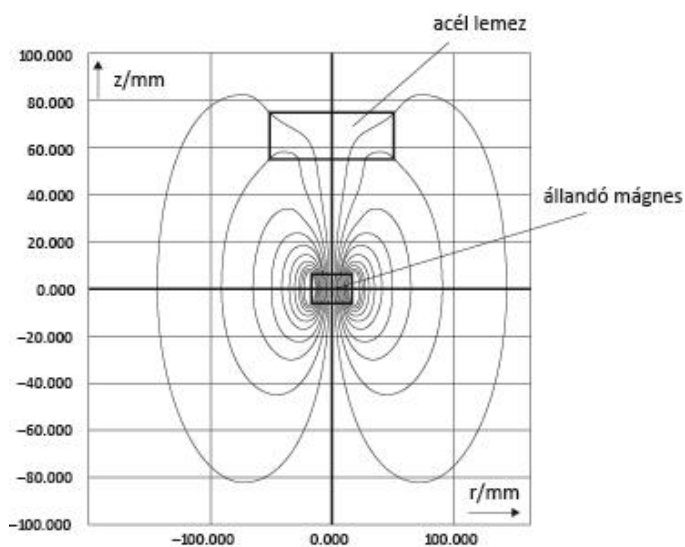
90. ábra: Mágneses erővonalak törése határfelületen

Két eltérő permeabilitású anyag határfelületén az erővonalak megtörnek, ha nem merőlegesen érkeznek. A törés egyenlete:

$$\frac{\tan\beta}{\tan\alpha} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

Ez a hatás kihasználható az erővonalak eltérítésére és vezetésére ferromágneses anyagokkal, például ferrittel vagy acéllal. Az 83. ábrán a korábban bemutatott mágnes látható, amelynek mágneses terét acéllemez torzítja.

Ez a torzulás alkalmas mágnesmér-érzékelővel megmérhető, s ezzel a lemez jelenléte felismerhető. Az automatikában főként Hall-érzékelőket, magnetorezisztív érzékelőket és telítődőmagos szondákat használunk mágneses terek érzékelésére.

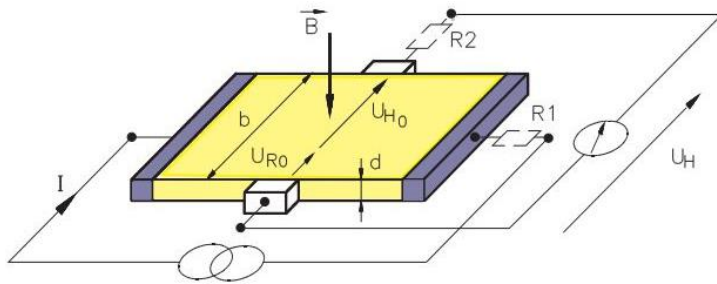


91. ábra: Állandó mágnes mágneses tere, amelyet acéllemez befolyásol

2.6.1 Hall-érzékelők

Hall-effektuson (E. Hall, 1879) a következő jelenséget értjük:

Ha áram folyik lapka alakú vezetők, akkor az I áramra merőlegesen Lorentz-térerősség keletkezik amennyiben B mágneses tér dőfi át a lapkát merőlegesen.



92. ábra: Hall-érzékelő elvi felépítése

Az üresjárású Hall-feszültség:

$$U_H = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{B \cdot I}{d}$$

ahol:

- d – a Hall-lapka magassága,
- n – az e vezetési elektronok koncentrációja,
- B – mágneses erőtér nagysága,
- v – az elektronok sebessége,
- Az $1/(n \cdot e)$ tag az R_H Hall-állandó, [cm^3/As].

Ha B nem merőleges a lapkára, hanem a merőlegesével α szöget zár be, akkor:

$$U_H = R_H \cdot \frac{B \cdot I}{d} \cdot \cos \alpha.$$

A vezetési elektronok koncentrációja erősen hőmérsékletfüggő az alkalmazott félvezető anyagok esetén. Tiszta fémeknél R_H túl kicsi a mérési alkalmazásokhoz. Hall-lapkákhoz főként GaAs, InSb, InAsP és InAs félvezető anyagot használunk. Egyre népszerűbbek a GaAs vagy Si anyagú Hall-érzékelők, mert a fejlett planáris technológiával további elektronikus elemek – például áramforrások, hőkompenzálás, kimeneti erősítő – integrálhatók a lapkára.

Az adatlapokon R_H Hall-állandó helyett gyakran az úgynevezett üresjárás érzékenységet (K_H) szerepel:

$$K_H = \frac{1}{n \cdot e \cdot d} = \frac{U_H}{B \cdot I}$$

A **84. ábrán** a Hall-elem helyettesítő áramkörének a következő változói szerepelnek még:

- R_1 – az áramút pályaellenállása,
- R_2 – a Hall-generátor belső ellenállása,
- U_H – a Hall-generátor üresjárás feszültsége,
- U_{R0} – a Hall-elektrodok között $B = 0$ esetén is fellépő egyenfeszültség

A fenti paraméterek mindegyike hőmérsékletfüggő. Számértékük érzékelőtípusonként erősen eltérő lehet. Függ az anyaguktól, gyártástechnológiájuktól és geometriájuktól (pl. d vastagságtól).

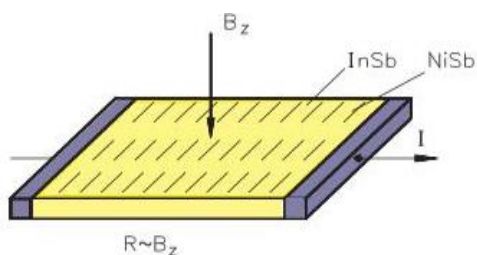
2.6.2 Magnetorezisztív érzékelők

Mágnesestér-függő ellenállásokkal ugyanazok a feladatok végezhetők el, mint a Hall-érzékelőkkel. Az automatikában elsősorban közelségkapcsolóként és helyzetérzékelőként használjuk őket.

Magnetorezisztív érzékelők anyagaként gyakran használunk félvezetőket. Szubsztrátumuk anyaga például gyakran InSb. Ezekbe a félvezetőkbe az áramirányra merőlegesen vezető NiSb anyagú tűket ágyaznak.

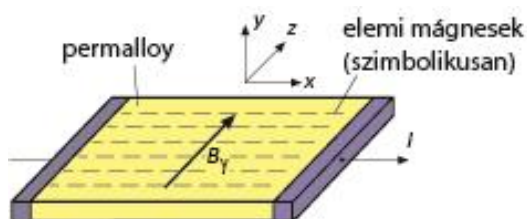
Mágneses tér nélkül az áram a legrövidebb úton halad át a félvezetőn. Mágneses tér jelenléte oldalirányban eltéríti az áramot (ugyanúgy, mint a Hall-érzékelőknél), amely nagyobb utat kénytelen megtenni és emiatt nagyobb ellenállásba ütközik. A NiSb tűk vezetőképessége sokkal nagyobb az InSb szubsztrátuménál, és ezért rövidzárként viselkednek. Ezáltal szinte homogén elektromos tér alakul ki a félvezetőben, és homogén módon oszlanak el a töltéshordozók.

Az áram cikk-cakkban folyik át a félvezetőn. Kis térerősség esetén az ellenállás közelítőleg a mágneses indukció négyzetével arányosan változik. A kb. 25 μm vastag lapkán kialakított kanyargó áramúttal néhány száz Ohm ellenállás érhető el.



93. ábra: InSb félvezető anyagú magnetorezisztív érzékelő

Különböző cégek mágneses tér érzékelésére a ferromágneses permalloy anyagot használják (80% Fe, 20% Ni). Ezt az anyagot úgy gyártják, hogy a benne levő elemi mágnesek a vékony érzékelőszalag hosszirányába álljanak be.



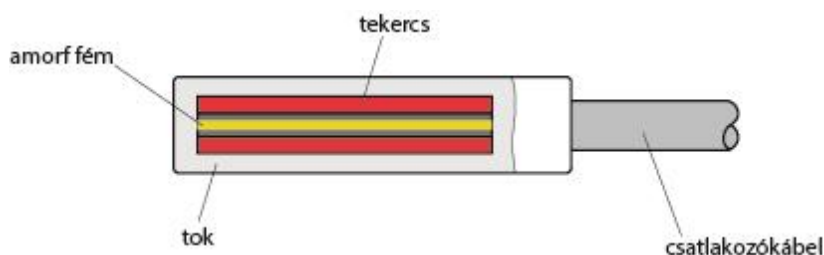
94. ábra: Ferromágneses permalloy anyagból készült magnetorezisztív érzékelő

Az R függése B -től a tér feltüntetett iránya esetén a legnagyobb. A szalag ellenállása külső tér nélkül a legnagyobb ($R=R_0$). Külső mágneses tér hatására csökken, a térerősség négyzetével arányosan. Az érzékelőszalag ésszerű kialakításával a jelleggörbe a $B=0$ pontra szimmetrikusan elhelyezkedő egyes tartományokban linearizálható.

A fentebb említett kétféle érzékelő esetében a hatásos mágneses térnek más-más irányba kell mutatnia! A mag anyagát a mágnesező tekercsben folyó I áram periodikusan telítésbe hajtja. Az áram a szondatekercsben U feszültséget indukál.

Működés és kiértékelő áramkör

Újabban a telítődőmagos szondákban amorf fémből készült magot használnak, ellentétben a korábbi kristályos ötvözetekkel. Az amorf fémek jellemzője az óriási (akár 500.000) permeabilitás, kis koercitív erő, kis örvényáramú- és hiszterézis-vesztés. Vékony (20-50 μm vastagságú) szalag formájában készülnek, amely nagyon rugalmas és ezért viszonylag érzéketlen a mechanikus behatásokra. Az 87. ábrán a mágnes tér-helyzetérzékelő elvi felépítése látható. Műanyag perselybe tokozott amorf fém szalagból és egyetlen tekercsből áll.



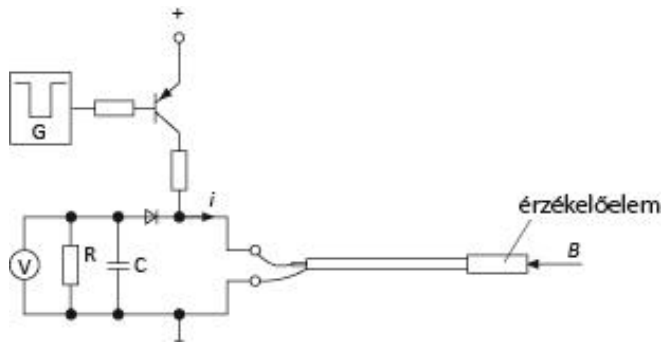
95. ábra: Mágnes tér-érzékelő elvi felépítése

Kiértékelés oszcillátorral

Ha a telítődőmagos tekercs induktív érzékelő frekvenciameghatározó eleme, akkor a tekercsrel működő LC-oszcillátor rezgési frekvenciáját, illetve amplitúdóváltozását értékeljük ki. A közeledő mágnes erősödő mágneses térereje megváltoztatja a tekercs impedanciáját és ezzel az oszcillátor jóságát.

Kiértékelés impulzusárammal

Ebben az egyszerű kiértékelésben a magot i impulzusárammal (pl. 100 kHz-en) telítésbe vezérlük.



96. ábra: Az impulzusáramos üzemmód elvi kapcsolási rajza

Az áramimpulzus minden éle a tekercsben feszültségimpulzust kelt, amelynek értéke a tárolt mágneses energiától és ezzel a mérendő mágneses tér nagyságától és irányától függ. Az indukált feszültséget az elektronika egyenirányítja és aluláteresztő szűrővel szűri. Az így létrejött U feszültség jó közelítéssel arányos a mágneses térrel, ha a külső B mágneses tér önmagában nem viszi telítésbe az érzékelő magját. Az ilyen érzékelő tipikus adatai a következők:

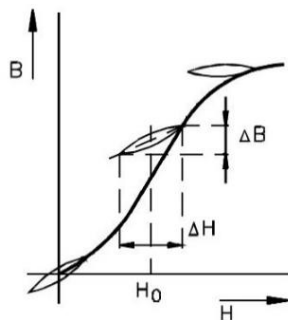
- Méréstartomány 0,5 mT,
- érzékenység 10 V/mT,
- linearitás 1%,
- határfrekvencia > 20 kHz.

Kiértékelés impedanciaméréssel

Kiértékelési lehetőség az induktivitás vagy az érzékelőtekercs jóságának a mérése. A tekercs induktivitása a mag anyagának reverzibilis permeabilitásától függ. Ez a váltakozó tér permeabilitása kis ΔH kivezérléssel és H_0 szuperponált állandó térrel:

$$\mu_{\text{rev}} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H} \text{ ha } \Delta H \rightarrow 0$$

Kis ΔH kivezélés esetén a hiszterézishurok lándzsahegy alakú, amelyet a szuperponált állandó tér a mágnesezési görbe mentén eltol (97. ábra). A lándzsahegy meredeksége a reverzibilis permeabilitás.



97. ábra: A reverzibilis permeabilitás meghatározása

2.6.3 Helyzetmeghatározás acélfalon át, mágneses tér érzékelőkkel

Működtető hengerekben mozgó dugattyú helyzete az eddig említett mágnesestér érzékelőkkel legfeljebb vékonyfalú alumíniumhengerekben érzékelhető, és itt is csak akkor, ha a dugattyúgyűrűk kellően mágnesezettek, vagy ha a dugattyúhoz állandó mágnes van rögzítve.

A vastag falú, acélból készült hidraulikus hengereknél, amelyekkel nagy erőket lehet kifejteni, a dugattyú helyzetének vagy véghelyzetének érzékelése a henger falán keresztül eddig nem volt lehetséges. Az újabb mágnesestér érzékelők azonban „átlátszóvá” teszik a ferromágneses anyagokat, és lehetővé teszik a működtető eszköz érzékelését a falon keresztül. Ehhez a következő feltételeknek kell teljesülniük:

- A dugattyúra mágnesrendszert kell erősíteni, amely kellően erős mágneses teret kelt.
- A henger falát olyan ferromágneses anyagból kell készíteni, amelyben a mágnesrendszer áthaladása után hengertengely-irányú mágneses remanencia marad fenn.

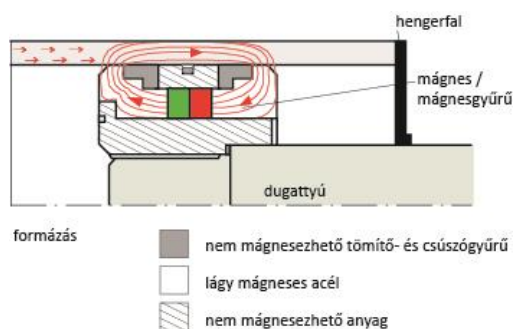
- A hengerfal külső oldalán elhelyezett érzékelő két mágneses vezetővel (pl. dinamólemez) rendelkezik, amelyek a fal remanens mágnesességéből mágneses mellékfluxust nyernek.

A mágnesmér-érzékelő felépítése

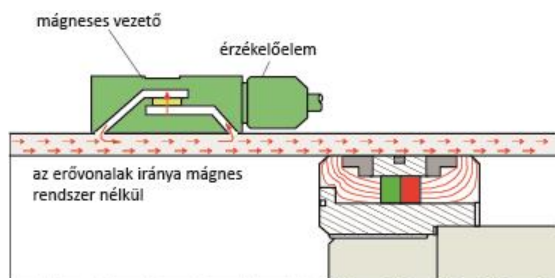
A mellékfluxus annál erősebb, minél nagyobb a vezetők egymástól mért távolsága. Az erővonalak az érzékelő homlokfelületeinél indulnak, és az érzékelő középpontjában futnak össze. Köztük az érzékelőelem képez mágneses hidat. Az érzékelőelem Hall-érzékelő vagy magnetorezisztív érzékelő. Ez a hengerfalból elvezetett mágneses mellékfluxust vagy a mágnesrendszer térerejét érzékeli.

Működés

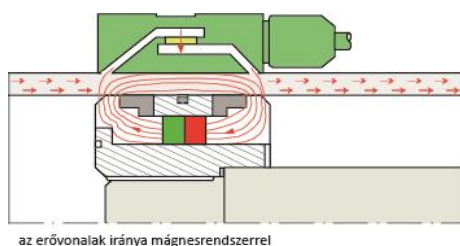
A hengerfalat mágnesesen megformázza a mágnesrendszer egyszeri áthaladása a teljes lökethosszon. A remanens mágnesesség irányát a mágnesrendszer határozza meg. A hengerfalra helyezett érzékelő a csőfal menti mágneses feszültségessést méri. Az érzékelő észleli a remanens mágnesesség polaritását, azaz irányát. A dugattyú érzékelő felé közeledésekor a mágnesrendszer erősebb tere válik uralkodóvá. Az érzékelőelem észleli a tér polaritásának megfordulását. A kapcsolási információt nem a megváltozott térerősség, hanem a polaritásváltás tartalmazza.



98. ábra: Mágnesmér-érzékelő belső szerkezet



99. ábra: Mágnes tér-érzékelő beépítése



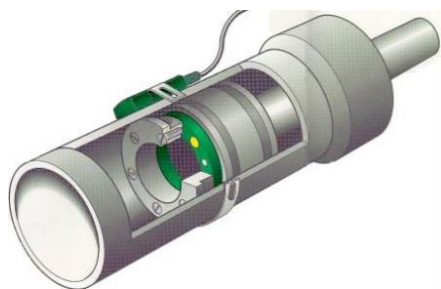
100. ábra: Mágnes tér-érzékelő beépítése 2.

Kapcsolási zóna

A kapcsolási zóna szélessége a hengerfal vastagságától és anyagától, a mágnesrendszer felépítésétől és méreteitől, és a dugattyú mozgási sebességétől függően változó.

A szükséges mágnesrendszer

A dugattyún elhelyezett mágnesesen vezető elemek célzottan a hengerfalba vezetik a mágnesrendszer terét és ott egy kis szakaszon kellően erős teret hoznak létre. A kis szakaszt az érzékelő mágneses elvezetőinek távolsága adja. A tér iránya a henger tengelyirányába kell, hogy mutasson. Az alkalmazandó mágnesrendszer a henger és a dugattyú átmérőjétől, falvastagságától és a dugattyú mozgási sebességétől függ.



101. ábra: Külön mágnesekből álló mágnesrendszer

3 AZ IEC 61131-3 SZABVÁNYÚ PLC PROGRAMSTRUKTÚRA BEMUTATÁSA

3.1 BEVEZETÉS

Egy automatizálható folyamat számos részterületre és alfolyamatra oszlik, amelyek kapcsolódnak egymáshoz, de függetlenek is egymástól. Az alkalmazások a következő részfeladatokra bonthatók.

Hardverkövetelmények, hardver választása:

- bemenetek és kimenetek száma,
- részegységek száma és jellege,
- kezelő és felügyelő részegységek,
- processzoregység teljesítmény igénye.

Szoftverkövetelmények:

- programstruktúra,
- program- és projektdokumentáció,
- adattárolás,
- konfigurációs adatok.

Operációs rendszer

Minden processzoregységnek saját operációs rendszere van, amely lehetővé teszi az autonóm működést. Ez a PLC része, feladatköréhez tartoznak a következők:

- PLC vezérlő indítása és újraindítása feszültségkieséskor,
- más modulokkal történő adatforgalom lehetősége,
- processzoregység szabadon programozható memóriájának (RAM) szervezése,
- hardver és szoftver felügyelet,

- intézkedés és beavatkozás hiba esetén.

3.2 FELHASZNÁLÓI SZOFTVER IEC 61131-3 NEMZETKÖZI SZABVÁNY ALAPJÁN

A PLC rendszerek hagyományos programozása az IEC 61131-3 nemzetközi szabvány alapján egységesített. Az IEC 61131-3 szabvány (International Electrotechnical Commission) a PLC programozási nyelvére és a PLC-projektek felépítésére tartalmaz szabványosított előírásokat.

A felhasználói program legkisebb, önállóan kezelhető szoftveregysége a programszervezési egység, azaz POU (Program Organisation Unit). A POU-k egy részét a gyártó hozza létre, egy másik részét a felhasználó. A megfelelően megírt és tesztelt felhasználói programok segítségével POU könyvtárak hozhatóak létre, melyek később újra felhasználhatóak egy következő projektekben.

Megkülönböztetünk standard, gyártó-specifikus és felhasználó által készített programszervezési egységeket. Az IEC 61131-3 szabvány előírja a leggyakrabban előforduló standard függvények (pl.: aritmetikai, összehasonlító függvények stb.) ill. standard függvényblokkok (pl. időzítők, számlálók) felületeit és viselkedésüket.

Az IEC 61131-3 szabványban az alábbi három POU típus, vagy „blokk típus” került definiálására az új szabványban, a POU típusai lehetnek függvények, funkcióblokkok és programok.

- A **FÜGGVÉNY** típusú POU függvény értékkel és I/O egységekkel rendelkező blokk, mely az alap PLC műveleti készlet kibővítését szolgálja. Ez egy olyan POU, amelyhez rendelhetőek paraméterek, ugyanakkor nincs statikus változója

(memória nélküli). Mindez azt jelenti, hogy ha a függvényt ugyanazokkal a paraméterekkel hívjuk meg, minden esetben ugyanazt a kimenetet kapjuk.

- A **FUNKCIÓ BLOKK** típusú POU a leggyakrabban használt POU típus, mely az I/O változókat tartalmazza. Egy paraméterevezhető POU statikus változókkal, az azonos bemeneti értékekre adott kimeneti értékek függenek a belső, ill. a globális változók memóriában tárolt értékeitől. Ehhez a POU típushoz hozzá tudunk rendelni paramétereket és van statikus változója (rendelkezik memóriával), tehát képes az előző állapotok információira emlékezni. Amikor egy funkcióblokkot többször meghívunk ugyanazokkal a bemeneti paraméterekkel, akkor a kimenet eltérő is lehet a funkcióblokk aktuális állapotától függően. Tehát a kimenetet nem csak a bemenetek, hanem a funkcióblokk belső változóinak és külső változóinak értékei is meghatározzák.
- A **PROGRAM** típusú POU tartalmazza az I/O-khoz, a globális változókhöz és az elérési utakhoz a hozzárendeléseket. Ez a típusú POU a fő programot reprezentálja. A teljes program összes olyan változója ebben a POU-ban, vagy ezen POU felett van deklarálva, amely fizikai címhez van rendelve. Minden más szempontból hasonlóan viselkedik, mint egy funkcióblokk. A programok jelentik a felhasználói program legmagasabb hierarchia szinten lévő egységét, a programok biztosítják a többi POU-nak is a PLC-perifériákhoz való hozzáférés lehetőségét.

Deklaráció

Az IEC 61131-3 szabvány a változókat a felhasználói adatok inicializálására, további feldolgozására és köztes tárolására használja. Ezeket a változókat minden POU elején deklarálják, a deklaráció megadja, hogy a változó milyen adattípusba tartozik, illetve milyen egyéb sajátosságokkal rendelkezik.

Az IEC 61131-3 szabvány alapján kettő szöveges és három grafikus programnyelv áll rendelkezésre vezérlők programozására.

Az IEC 61131-3 szabvány programozási nyelvei:

- Utasításlista (Instruction List - IL),
- Strukturált szöveg (Structured Text - ST),
- Létradiagram (Ladder Diagram - LD),
- Funkcióblokk diagram (Function Block diagram - FB),
- Szekvenciális funkció diagram - (Sequential Function Chart - SFC).

Az első két felsorolt nyelv szöveges, a programokat a soronként írt és strukturált szöveg adja.

Az utolsó három nyelv grafikus, melyeknél grafikus elemek összekötésével alkotjuk meg a programkódot. Minden nyelvnek megvannak a maga előnyei és hátrányai. Jellemzően nem minden PLC vezérlő támogatja az öt megnevezett programozási nyelvet.

Programszerkezet

Automatizálható folyamatot úgy tehetünk átláthatóbbá, hogy kisebb, önálló részfolyamatokra osztjuk. Ez egyrészt megkönnyíti a tervezést, másrészt lehetővé teszi a részfolyamatok egyidejű, párhuzamos programozását. Ennek eredményeként egyszerűsödik a programok tesztelése, valamint a szervizelés és karbantartás.

A részfeladatok mindegyike hardver- és szoftverkövetelményeket támaszt az automatizálási rendszerrel szemben.

A tervek rendeltetése az automatizálási megoldás létrehozásakor felmerülő adatok és programok rendezett számontartása. A projektekben keletkező adatok a következő három nagy csoportba oszthatók:

- hardverek konfigurációs adatai és a felhasznált modulok és részegységek paraméterezési adatai,
- hálózati kommunikációs tervezési adatok,
- programozható részegységek programjai.

Az abszolút programozást akkor használjuk, ha csak kevés be- és kimenetet kell címezni.

A programot olvashatóbbá teszi a **szimbolikus címzés** használata az **abszolút címzés** helyett. A felhasználó nevet vagy szimbólumot rendel az abszolút címhez, ezáltal mind a programolvasás, mind pedig a hibadiagnosztika áttekinthetőbb.

4 PLC PROGRAMOZÁSI ALAPISMERETEK ÉS PLC PROGRAMANALÍZIS

Ebben a részben bemutatásra kerülnek a szoftverben használható szabványos PLC programozási nyelvek, rövid példákon keresztül, rávilágítva az előnyökre és hátrányokra.

4.1 UTASÍTÁSLISTA – IL (INSTRUCTION LIST)

Az utasításlistás programozási nyelv, egy hagyományos assembly jellegű programozási nyelv. Univerzálisan használható szöveges programnyelv, mely utasítások sorozatára épül. Az utasítások, operátorok, vagy függvények és a hozzájuk tartozó egy vagy több operandusból épülnek fel. Az operátoroknak rendszerint egy, a függvényeknek egy vagy több operandusuk lehet. Az utasítás, azaz a PLC által futtatható parancs egyetlen sorba van megadva, vagyis minden parancsot új sorba kell írni. Egyes környezetekben növekvő számozással kell ellátni a megfelelő sorokat. Minden sorban szerepel egy operátor (például: AND a bitenkénti „és” műveletre, vagy ADD az összeadásra) és egy, vagy több operandus. Kommenteket a sorok végére tehetünk zárójelben, csillagok közé beírva. A legtöbb programban a sorok elnevezhetők, ha eléjük írunk egy szót és mögé kettőspontot teszünk. Ez ad lehetőséget a megfelelő sorra ugráshoz. Az IL programozás használatának legfőbb hátránya, hogy a nyelv nem olyan általános, mint a többi PLC nyelv.

0001	PROGRAM IL_pelda (* Komment így helyezhető el*)
0002	VAR (*Változók deklarálása*)
0003	parameter:INT:=0; (*így adhatunk default értéket*)
0004	eredmeny:INT;
0005	egyenlo:BOOL;
0006	END_VAR
0007	
<	
0001	LD parameter (*betöltjük a parameter változót*)
0002	ADD 1 (*Hozzáadunk egyet*)
0003	MUL 15 (*Megszorozzuk 15-tel*)
0004	ST eredmeny (*Eltároljuk az eredmeny változóban*)
0005	EQ 15 (*Megvizsgáljuk egyenlő-e 15-tel*)
0006	ST egyenlo (*Az összehasonlítás eredményét tároljuk*)

102. ábra: Utasításlista példaprogram

Ez egy viszonylag egyszerű felépítésű nyelv, amely könnyen tanulható és megfelelő kommentekkel átlátható programokat lehet vele létrehozni.

4.2 STRUKTURÁLT SZÖVEG - ST (STRUCTURED TEXT)

Az utasításlistás programozáshoz hasonlóan a strukturált szöveg is az IEC 61131-3 szabvány egy szöveges nyelve. Az ST egy magasabb szintű nyelv, számos absztrakt utasítást tartalmaz, melyek rövid formában adnak meg komplex funkciókat. Az ST programozási nyelvben az utasítások különböző ST kulcsszavakból álló kifejezéseket tartalmaznak, amelyek vezérlik a program futását. A kifejezések operátorokból, függvényekből és a hozzájuk tartozó operandusokból épülnek fel. A program utasítások sorozatából áll, amelyek végrehajtása során már alkalmazhatunk pl.: ciklusokat, IF, Case struktúrákat.

Az ST nyelv előnye, hogy a program könnyen átlátható az utasítás blokkok alkalmazása révén és a programozási feladat tömör formában megoldható.

Hátránya, hogy a gépi kódra történő fordítás a felhasználó által nem követhető nyomon, mert automatikusan történik és az absztrakció magas szintje miatt csökken a programhatékonyság, a lefordított programok hosszabbak és lassúbbak.

Az ST nyelv szabad formátumú, azonban a kód olvashatósága érdekében a programozás során célszerű a megfelelő tagolást, struktúrát alkalmazni. Ez a nyelv már nem olyan egyszerűen elsajátítható, mint az utasításlista, ugyanakkor komplexebb feladatok is könnyen megoldhatók vele.

A változó deklarációban nincs igazán különbség. Az „enable” bool változó igaz értéke esetén a „parameter” változó értéke megegyezik a ciklus aktuális számával (ez az i+1 érték, hiszen i nulláról indul). Hamis érték esetén a for ciklus rögtön bezárul és a „parameter” változó nulla értéket kap.

```
0001 PROGRAM ST_pelda
0002 VAR
0003     parameter:INT;
0004     i:INT;
0005     enable:BOOL:=0;
0006 END_VAR
0007
0008 <
0001 FOR i:=0 TO 9 BY 1 DO
0002 IF enable=1 THEN
0003 parameter:=i+1;
0004 ELSE parameter:=0;
0005 END_IF;
0006 END_FOR;
```

103. ábra: Strukturált szöveg példaprogram

4.3 LÉTRADIAGRAM - LD (LADDER DIAGRAM)

A LD a kombinációs és szekvenciális hálózatok jelfogós megvalósításának dokumentálására alkalmas áramutas ábrázolás. Az áramutas logikát ismerő szakemberek könnyebben értelmezik a létradiagramos programozási nyelvet, tehát könnyebben megtanulható, mint más PLC nyelvek. A létradiagramos programnyelvet az is indokolja, hogy a logikai kapcsolások jelfogós áramút logikáját ma már felváltotta a PLC. Az LD betartja a programozható logikai vezérlők IEC 61131-3 szabványát, ami azt jelenti, hogy egy hivatalosan elismert PLC programozási nyelv. A kiértékelés fentről lefele egymás után

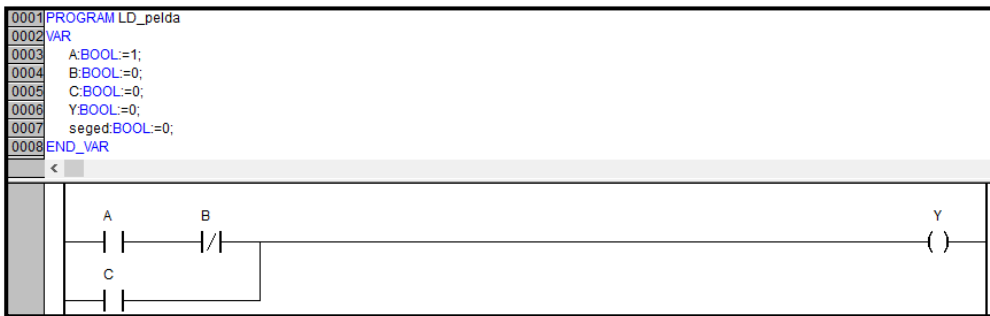
sorrendben történik. Ez a programnyelv kezdetben az alapvető Boole függvények és logikai jelek feldolgozására lett kifejlesztve. Miután a létradiagram kialakítása az elektromos hálózatok analógiájára épül, ezért a létra két függőleges rúdja képezi a 0V és a tápfeszültségnek megfelelő feszültség bevezetését. A létradiagram hálózat elemei:

- huzalozás és kontaktusok,
- tekercsek, logikai kimenetek,
- a végrehajtási sorrendet meghatározó grafikus elemek (ugrások),
- a függvényhívás és funkcióblokk hívás grafikus elemei (szabványos, és felhasználói POU-k),
- számlálók és időzítők,
- csatlakozók.

Minden változó Boole adattípusú, ezért a hozzájuk tartozó összeköttetések Boole értékeket továbbíthatnak. Két típust különböztetünk meg, az egyik alapállapotában nyitott (Normally Open, NO), a másik alapállapotában zárt (Normally Closed, NC). A kontaktushoz tartozó változó nevét a kontaktus grafikus szimbólumához kell beírni.

A létra fokain helyezhetjük el a megfelelő elemeket, amelyekkel a programot alakítjuk. Baloldalra helyezhetünk kontaktusokat, amelyek bemeneti feltételnek felelnek meg (gyakorlatilag kétállású kapcsolóként működnek). Ezeket helyezhetjük egymással párhuzamosan, illetve egy sorban többet is lerakhatunk, így a megfelelő logikai függvények kialakíthatók. A jobb oldalra tekercseket helyezhetünk el, amelyek a működtetett elemeket szimbolizálják (például mágnesszelepek tekercsei stb.). Mind a kontaktusok, mind a tekercsek negálhatóak, ekkor az eredeti értékük ellentettjét fogják adni.

Elhelyezhetünk a létradiagramon funkciós blokkokat is, amelyek igazából előre megírt program részletek becsomagolva egy dobozba. A blokk bemenetére bekötjük a megfelelő vezetékeket és a kimeneten megkapjuk az eredményeket, de a belső működést nem látjuk. Egy logikai függvényt megvalósító példaprogram látható az alábbi ábrán.

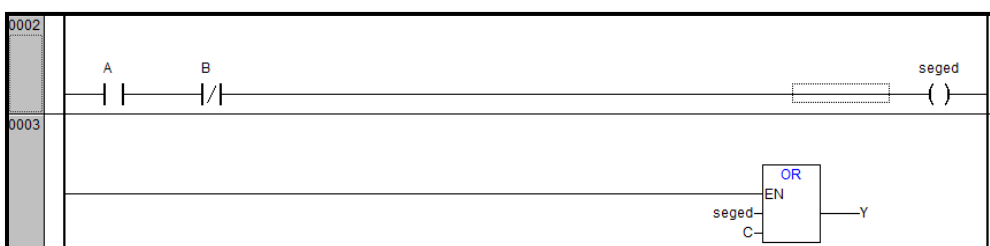


104. ábra: Létradiagram példaprogram

Az első hálózat az $Y = (A \cdot \bar{B}) + C$ logikai függvényt valósítja meg. Ennek az igazságtáblája a táblázatban látható.

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

2. táblázat: A példaprogram igazságtáblája



105. ábra: Létradiagram példaprogramjának alternatív megoldása

A másik két sor egy alternatív megoldást mutat be, ahol a VAGY kapcsolatot egy funkcióblokkal valósítjuk meg. Mivel a szoftverben funkcióblokk egyes bemeneteire csak egy változót lehet kötni, így az „A” és „B” változók közti kapcsolatot külön kell megvalósítani, és egy segédváltozóban tárolni. A segédváltozó már ráköthető a blokk bemenetére.

A grafikus nyelvek közül talán ez a legegyszerűbb, és elég könnyen átlátható kisebb feladatok esetén. Logikai kapcsolatok megvalósítására különösen praktikus és jól átlátható. Komplex problémák megoldására is használható, viszont ügyelni kell, mert hosszú program esetén a hálózatok nehezen átláthatóvá válhatnak.

4.4 FUNKCIÓBLOKK DIAGRAM - FB (FUNCTION BLOCK DIAGRAM)

Ez egy olyan grafikus nyelv, amely az adatokat a bemenetekről a kimenetekre vezeti azáltal, hogy ezeket egymásba ágyazott adatok blokkjain keresztül küldi. Az FB programozás alapvető elemei az azonosítók, kulcsszavak, adattípusok és változók. Az FB lehetővé teszi, hogy megjelenítsük a programozandó rendszert az egyes elemei közötti jeláramlás szempontjából. Az FBD-vel leírhatjuk a vezérlési ciklusokat és a logikát. Az FB nyelven grafikus formában megadott POU hasonlóan épül fel, mint a szöveges nyelvek esetén:

- POU kezdeti és bezáró része,
- deklarációs rész,
- kód rész.

A deklarációs rész lehet grafikus vagy szöveges. A kód rész hálózatokra bontható. A hálózatok segítségével jól strukturálható a POU végrehajtásának menete. A hálózat az alábbi részekből épül fel:

- hálózati címke,
- hálózati megjegyzés,

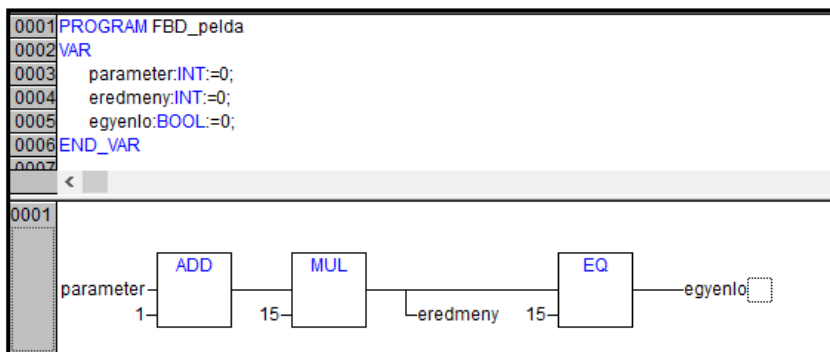
- hálózati grafika.

A hálózati címke a hálózatok összekötését teszi lehetővé. Minden olyan hálózat, melybe egy másik hálózatból történő ugrással lépünk be, egy a felhasználó által megadott alfanumerikus azonosítóval, vagy egy előjel nélküli decimális egésszel kezdődik. Ezeket az azonosítókat nevezzük hálózati címkének.

A funkciót blokk (FB) a program egy olyan jól elkülöníthető része, amit újra fel lehet használni egy másik alkalmazásban vagy projektben. A funkció blokkok egy vezérlő rendszer alap építő elemei, és az IEC 61131-3 szabvány szerinti nyelvek bármelyikén megírt algoritmusokat tartalmazhatnak.

A funkcióblokk diagram a már az előbb említett funkcióblokkokból épül fel. Ebben a nyelvben a program hálózatok sorozatából áll, amelyek mind tartalmaznak egy struktúrát, amely egy logikai, vagy aritmetikai kifejezést, funkció blokk hívás, ugrás vagy visszatérés parancsot képviselnek.

Vizuálisan dobozok és vezetékek rendszeréből áll egy funkcióblokk diagramban írt program. Összetettségében talán a létradiagram és a szekvenciális funkció diagram között helyezkedik el. Kisebb feladatokra nem minden esetben előnyös a használata, de nagyobb méretű programok esetén valamennyivel átláthatóbb, mint az LD létradiagram.



106. ábra: Funkcióblokk diagram példaprogram

Ez a program a korábbi utasításlista (IL) 106. ábra példaprogram megvalósítása funkcióblokk diagramban. Látható, hogy az egyes műveletek az utasításlistában blokkonként jelennek meg. Az értékek tárolása változóban egyszerűen a vezeték elvezetésével és elnevezésével történik.

4.5 SZEKVENCIAÁLIS FUNKCIÓ DIAGRAM - SFC (SEQUENTIAL FUNCTION CHART)

A PLC programok gyakran összetettek, ugyanakkor a hibátlan és biztonságos működésük elengedhetetlen követelmény. Az IEC 61131-3 szabványban definiált sorrendi folyamatábra (SFC) programozási nyelv moduláris felépítésű és lehetővé teszi komplexebb folyamatok programozását. Az SFC elsődlegesen egy grafikus nyelv, de szöveges leírására is lehetőséget ad.

A szekvenciális funkció diagram egy programon belül különböző programrészletek időrendi sorrendben történő elvégzésére képes, adott feltételek mellett. A programrészleteknek megfelelő elemek itt a lépések, amelyekben több műveletet lehet végrehajtani. Ezeket vezetékek (átmenetek) kötik össze, amelyekre feltételeket írhatunk. Egy átmenet mentén akkor halad át a program, ha a feltétel teljesül, vagy ha nem volt feltétel.

A programrészletek írhatók az eddig tárgyalt nyelvek bármelyikén, így mindig az adott részfeladatra leghatékonyabb módot választhatjuk a programkód írásánál. A lépésekhez hozzáadhatók belépési és kilépési műveletek, amelyek egyszer futnak le, amikor a program be- illetve kilép onnan. A diagramban elhelyezhetők alternatív ágak, melyeknél egy pontból több vezeték indul ki. Itt a kiértékelés balról jobbra történik. Elhelyezhetők benne párhuzamos ágak is és további alternatív ágak.

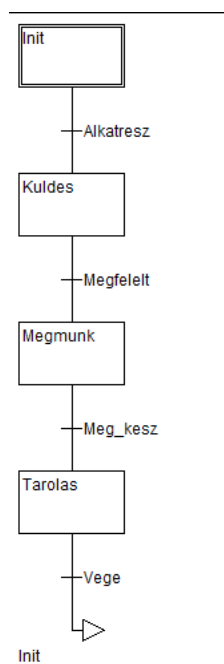
A párhuzamos ágak esetén a kiértékelés egymással párhuzamosan történik. Úgy különböztethetők meg az alternatív ágaktól, hogy ezek mindig dupla vonalból indulnak és dupla vonalba, vagy „ugrás” utasításba térnek vissza. Tartalmazhatnak alternatív ágakat vagy további párhuzamos ágakat is.

```

0001 PROGRAM SFC_pelda
0002 VAR
0003   Alkatresz: BOOL;
0004   Megfelelt: BOOL;
0005   Meg_kesz: BOOL;
0006   Vege: BOOL;
0007 END VAR

```

107. ábra: Szekvenciális funkciódiagram gyártósor egyszerűsített működési példaprogramja



108. ábra: Szekvenciális funkciódiagram gyártósor egyszerűsített működési példaprogramja

Amikor egy alkatrész rendelkezésre áll, akkor az „Alkatresz” átmenet igaz értékre vált és az alkatrész beküldésre kerül. Ezután, ha az alkatrész megfelelt, a program átengedi a megmunkáló egységbe. Amikor a megmunkálás kész, akkor elhelyezésre kerül a termék

egy tárolóban, majd, ha ez megtörtént, a program újraindul és a következő alkatrész fogadására készen áll.

Itt fontos megemlíteni, hogy kívülről ugyan csak az átmenetek és a lépések nevét látjuk, de ezek belül hosszú, bonyolult programok is lehetnek, az egyszerű külső kinézet ellenére.

A három grafikus nyelv közül ez a legösszetettebb, és talán a leglassabban elsajátítható, hiszen a többi nyelv ismerete is szükséges, viszont könnyebben átlátható kódot írhatunk vele, és a programrészletek különböző nyelveken való írásának lehetősége miatt is mindenképpen előnyös.

5 INTELLIGENS AKTUÁTOROK, AZ ÚJ TECHNOLÓGIA ÉPÍTŐELEMEI

Az intelligens aktuátorok leginkább a manipulációs és robottechnika építőelemei és olyan hajtásrendszerek, amelyek gyakran integrált jeladókkal vannak felszerelve.

Jellemzően az aktuátor technika az alábbi három csoportra osztható:

- pneumatikus hajtások,
- hidraulikus hajtások,
- elektromos hajtások.

A **pneumatikus hajtások** elsősorban gyors lineáris mozgásokat végeznek, jó kinematikai paramétereket képviselnek. Jellemzően kétállapotú rendszerek, melyek a teljes löket két végpontja között mozognak. A manipulációs-, és munkadarab adagolási műveletekhez gyakran olyan pneumatikus végrehajtó elemeket használnak, amelyek akár két, vagy három tengely mentén tudnak mozgást végezni egy energiaátalkotó segítségével. Ilyenek a különböző lineáris fordítóművek, vagy pneumatikus átrakóegységek, amelyek egyetlen pneumatikus hajtóműben egyesítik a lineáris és forgómozgást. A hajtásokban kialakított

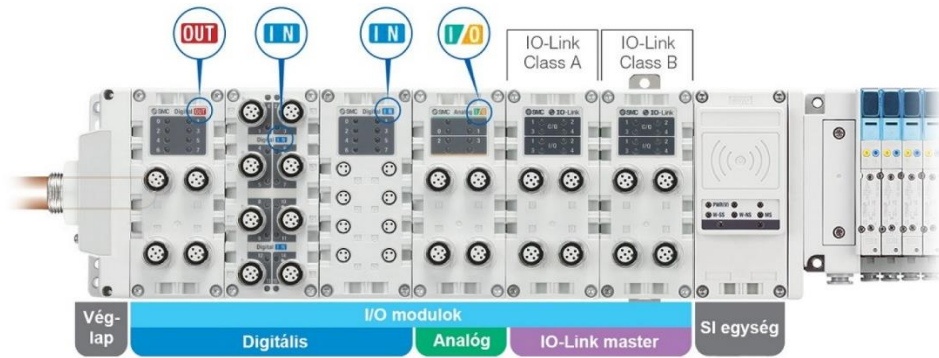
mozgásprofil alkalmassá teszi ezen egységeket a munkadarabok nagysebességű mozgatására és adagolására, az egy hajtásba integrált két szabadságfok által. A pozíciókat a mozgásprofil mentén elhelyezett jeladók detektálják. Gyakran használnak pneumatikus aktuátort a robotkar végén elhelyezett megfogó rendszerben tárgyak megfogásához. A pneumatikus robotmegfogó szerkezet állapotának figyelését Hall szenzorok látják el. Egy robot adaptivitását a robotkar és a megfogó rendszer együttesen fogja meghatározni, hiszen a megfogó a legkülső, közvetlen elem, amelyik kapcsolódik a tárgyhoz, vagy a szerszámhoz.



109. ábra: *Pneumatikus kétujjas megfogó*

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/similar-images/241078302.html?qview=464695592> (2022.03.18.)

A **pneumatikus integrált elemek** másik nagy csoportja az integrált szeleprendszerek, a szelepsziget megoldások, melyek terepi busz rendszeren kommunikálnak a PLC vezérlővel. Ezek a megoldások már gyakran decentralizált vezérlést biztosítanak, adatgyűjtő rendszerrel és és dignosztikai lehetőséggel is rendelkeznek.

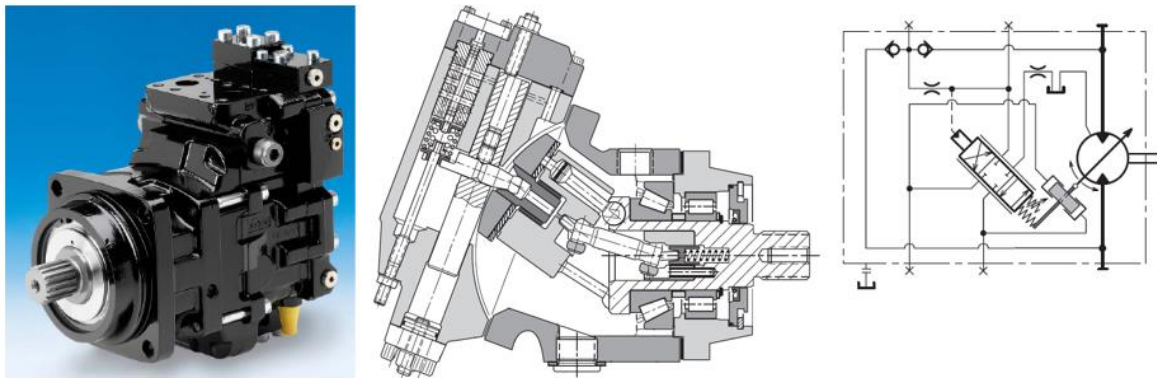


110. ábra: Pneumatikus szelepsziget

A proporcionális, vagy arányos pneumatikában útmérő rendszerrel integrált pneumatikus lineáris hajtóműveket használnak, amely hajtás rendszer megfelelő arányos szeleppel és vezérlő elektronikával felszerelve képes tetszőleges számú közbenső pozíció felvételére.

A **hidraulikus hajtásokat** elsősorban a jelentős teljesítmény átvitel és a nagy dinamikai jellemzők miatt használják a mechatronikai rendszerekben. Mind a lineáris, mind pedig a forgó mozgások esetében az aktuátorok választéka igen széles. A hidraulikus aktuátorok teljesítménysűrűsége nagy, vagyis kis térfogatban tudnak magas teljesítményt átvinni. Gyakran vezérlő szelepekkel és analóg jeladókkal szerelik fel a hajtóműveket, így olyan integrált hajtásrendszert alkotva, amelyik önállóan is képes szabályozási és pozicionálási feladatokra.

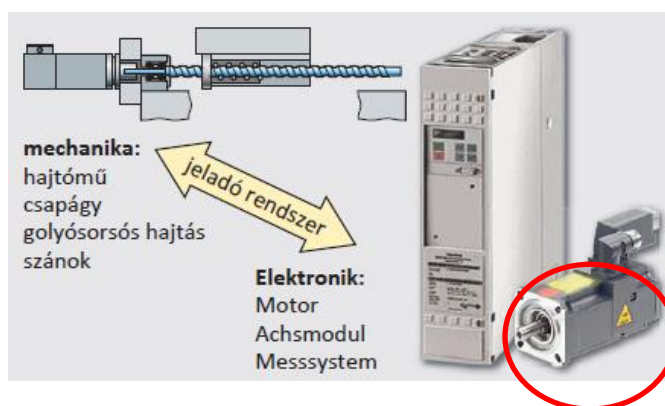
A forgó mozgású hidraulikus aktuátorok esetében sok konstrukciónál állítható a fajlagos munkatérfogat munkaciklus közben is, ezáltal a szükséges energiafelhasználás is optimalizálható.



111. ábra: Szabályozott, változtatható munkatérfogatú hidromotor

Ezen hajtóművek állítóegységei önmagukban komplett szabályozást tesznek lehetővé és ehhez már az analóg jelekkel működő arányos technikát és korszerű jeladó elemeket használnak.

A korszerű **elektromos szervo és léptetőmotoros aktuátorok** elsősorban a nagy pontosságú, jó kinematikával és dinamikával rendelkező, a manipulátorok és robotika területén is elterjedt hajtástípusok. A hajtómotorok forgómozgását mechanikai tengelyekkel alakítjuk át lineáris mozgássá. A mechanikai tengelyek fogazott szíjas, vagy golyósorsós kialakításúak, utóbbiak pontossága magasabb. A szervo, ill. léptetőmotorok pozíció érzékelése encoder segítségével történik. A villamos hajtásokat mozgásvezérlők működtetik.



112. ábra: Szervorendszer mechanikája és elektronikája

Az iparban jellemzően a különböző hajtások előnyeit egyesítve hibrid rendszereket használnak. Ezek előnye, hogy mindig az elvégzendő feladat és folyamat dönti el, hogy a gyártóbázis milyen hajtáselemet fog használni a felsorolt pneumatikus, hidraulikus és elektromos megoldások közül.



113. ábra: Hibrid rendszer pneumatikus, elektropneumatikus és elektromos tengelyekkel

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/similar-images/241078302.html?qview=464695592> (2022.03.18.)

6 AZ I4.0 KONCEPCIÓJA, HORIZONTÁLIS ÉS VERTIKÁLIS INTEGRÁCIÓS STRUKTÚRA

A harmadik ipari forradalom a mechatronikai rendszerek, a gépek és a folyamatok automatizálását jelenti. Az IPAR 4.0 koncepció egy jelentős továbblépést hoz, hiszen a célja a fizikai eszközök és folyamatok végpontok közötti összekapcsolása, digitalizálása és hálózatba kötése. Mindezt pedig az értéklánc összes szereplőjének az integrálásával szeretné megvalósítani. Így az adatgyűjtés és elemzés, valamint az ebből levont következtetések tovább növelik a digitalizáció nyújtott előnyöket.

A vertikális és horizontális hálózatok digitalizált kiépítése és az IPAR 4.0 koncepcióba integrálása képezheti a digitalizált gyártás egyik alapját a jövőben.

De mit is takar a vertikális és horizontális hálózati struktúra a vállalatok szempontjából?

Minden termelővállalat rendelkezik egy belső vertikális struktúrával, ahol megjelennek a megrendelők és a szolgáltatók cégen belül is. Az energiaközpont szolgáltat a termelésnek, a termelést kiszolgálja a raktárrendszer, a termelés terméket előállítva kiszolgálja a rendelésállományt és így tovább.

Amennyiben egy iparvállalat digitalizálja és integrálja belső üzemi folyamatait, a termékfejlesztéstől kezdve a gyártáson át a logisztikáig és a belső szolgáltatásokig, ezzel növeli a gyártási hatékonyságot költség és mennyiség és minőség oldalról egyaránt.

A vertikális integrációs koncepció fontos eleme, hogy a gépeket, a raktárrendszert, a munkadarabokat és termékeket felszereljük szenzorokkal és hálózati eszközökkel, ezzel a gyártási folyamatot digitalizáljuk. Ennek eredménye, hogy a gyártási folyamatokat egy magasabb hatékonysági szintre emeljük, hiszen a termékek tervezése, a minőségellenőrzés és a teljes gyártási folyamat adataihoz valós időben hozzáférhetünk az integrált hálózaton keresztül.

A vertikális integráció során a termelőgépek és a munkaerő, valamint az egyéb erőforrások egy komplex digitális modell részeként a kiber - fizikai (CPS – Cyber-Physical System) rendszereken keresztül kommunikálnak.

Mindez a vertikális integrációs struktúra pedig még rugalmasabbá, alkalmazkodóbbá és termelékenyebbé teszi a gyártást és a vállalatirányítást.

A folyamatok digitalizációja erősíti a horizontális partnerekkel való együttműködést is. A horizontális integráció ezáltal kilép a szokásos vevők és szállítók, megrendelők és szolgáltatók az értékláncban szereplő partnerek közötti belső kapcsolati hálóján. Kiterjed a különféle fejlesztésekre és technológiákra is. Magában foglalva a termékek és eszközök nyomon követését, a valós idejű integrált tervezést és gyártást.

Forrás: <https://computerworld.hu/uzlet/ipar-4.0-igy-modernizalodnak-a-vallalatok-211037.html> (2022.03.18.)

A horizontális integrációban tehát az „okos gyár” igazodni képes környezetéhez, annak megváltozott körülményeihez és eszerint optimalizálja a termelését. Ez az ügyfelek/megrendelők és beszállítók integrációja révén tud megvalósulni.

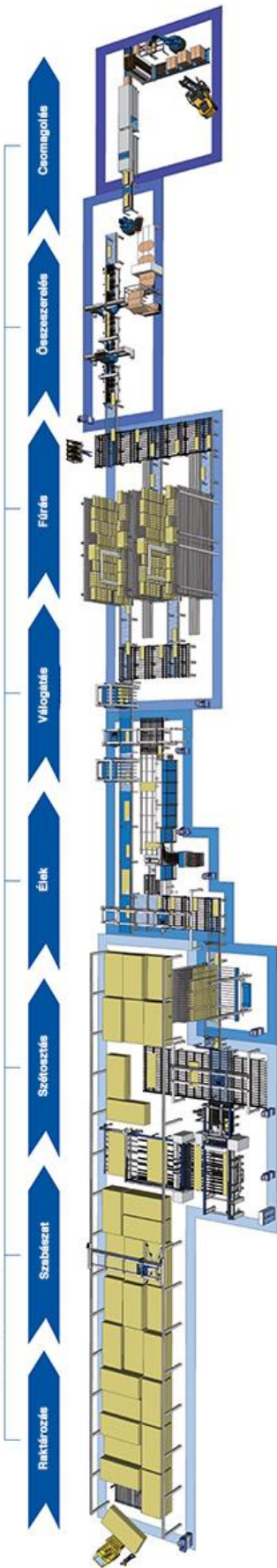
A horizontális integrációs struktúra tehát új üzleti modellt is jelent, mely magában foglalja az összes partnert, vevőket és beszállítókat.

⑤ Vertikális hálózat



Gyártásirányítási rendszer

④ Horizontális hálózat



114. ábra: Horizontális és vertikális hálózati struktúra

Forrás: <https://kltbaratikore.unideb.hu/lpar%204.0..pdf> (2022.03.18.)

7 A KIBER-FIZIKAI VALÓSÁG SZERKEZETE (CPS)

A kiber-fizikai rendszerek - CPS (Cyber-Physical System) egyre elterjedtebbé válnak nem csak az iparban, hanem életünk egyéb területein is, mint a logisztika, vagy biztonságtechnika. Az új funkcionalításokra való törekvés, a megnövekedett igény a biztonság, a minőség és az adaptív megoldások irányában új technológiai folyamatokat indít el.

Kiber-fizikai rendszer alatt egy olyan összetett struktúrát értünk, ahol az informatikai és szoftvertechnológiai, valamint mechanikai és elektronikai elemek egységbe kapcsolódnak és egy olyan „adat-infrastruktúrán” keresztül kommunikálnak egymással, mint pl. az internet. Egy kiber-fizikai rendszer egyik legfőbb jellemzője az igen magas fokú komplexitás.

Így a beágyazott rendszerek egyfajta kibertérbéli interfészként megteremtik a kapcsolatot a CPS rendszer egyes elemei között.

A kiber-fizikai rendszerekben a két világ közötti kapcsolat egyfajta interfészként a **beágyazott rendszerek** hálózatba kapcsolása révén jön létre, vezetékes, illetve egyre inkább vezeték nélküli kommunikációs hálózatok segítségével.

A kiber-fizikai rendszer (CPS) feladata és célja olyan új funkciókkal rendelkező gépek és berendezések fejlesztése, amelyek képesek rugalmasan alkalmazkodni a változó folyamatokhoz és követelményekhez. Ezen eljárás ipari termelésre kidolgozott megoldásai a CPPS rendszerek, mint kiber-fizikai termelő rendszerek (Cyber-Physical Production System). A kiber-fizikai rendszer különböző algoritmikus módszerek által

támogatott módon képes lesz kiválasztani a megfelelő technológiát annak érdekében, hogy teljesítsék a rendszer elvárásait.

A CPS, vagy a gyártásautomatizálásban CPPS tehát a fizikai világ és az informatika által biztosított digitális világ összekapcsolódásaként jön létre, megjelenik az alkalmazásnál a „digitális iker” fogalma.



115. ábra: CPS – a digitális iker (illusztráció)

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/cps.html?filter=all&qview=345381602> (2022.03.18.)

A fizikai világból származó adatok feldolgozásához szolgáló logika megosztható a helyi erőforrások és a kibertérben létrehozott felhő alapú technológiák között. A kibertér egyben adat és intelligenciaforrás is (pl. GPS adatok, prediktív karbantartás adatállománya, intelligens közmű hálózat, egy távoli és adatelemzési és feldolgozási feladat). Az adatok nem csak a rendszer belső működését határozzák meg, hanem lehetőség nyílik a digitális iker oldaláról a beavatkozás a fizikai világba, vagyis mind az adatáramlás, mind az abból levont következtetések és döntések érvényesítése kétirányú.

A CPS struktúrában bővül a gyártások és a szolgáltatások halmaza, az eljárások egyre pontosabbak lesznek azáltal is, hogy az egyes CPS egységeket egy nagyobb rendszerré kapcsoljuk össze. A hardver és a szoftver elemek jellemzően szoros kapcsolatban

működnek egymással, akár térben és időben eltérő módon, olyan viselkedési modelleket alkotva, melyek adaptációs képessége és rugalmassága követi a változó környezetet. Az elosztott, kiterjedt informatikai és a hozzá kapcsolódó fizikai közös rendszerben az informatikai rendszerrész a begyűjtött információk alapján képes a fizikai rendszer működésébe beavatkozni optimalizálási, hatékonysági, költségcsökkentési és akár biztonsági céllal.

A CPS rendszer architektúrája:

- intelligens összeköttetés szint - mérések/adatok, integrált szenzortechnológia,
- rendszer működésével kapcsolatos adat/információ átalakítási szint,
- kiber-fizikai szint - modellalkotás az adat/információ alapján,
- megismerési szint - helyzetelemzés/döntéshozatal a megfelelő működéshez,
- automatizmusok - öntanulási/optimalizálási folyamatok.

A CPS rendszer komponensei:

- szenzorok és aktuátorok,
- kommunikációs hálózat,
- informatikai infrastruktúra,
- biztonság szempontú környezet.

Forrás: https://konferencia2015.infoter.eu/_eloadasok/2/12-30-dr-kovacshazy-tamas.pdf
(2022.03.18.)

Az kiber-fizikai struktúrában alkalmazott algoritmusok feladata a fizikai és az informatikai rendszer specifikus modellalkotása számítógép segítségével, a megalkotott modell alapján helyzetértékelés, és azt követően pedig a döntések létrehozása.

Forrás: https://konferencia2015.infoter.eu/_eloadasok/2/12-30-dr-kovacshazy-tamas.pdf
(2022.03.18.)

Az algoritmusok szerkezete hierarchikus, az alacsony szintű szabályzásoktól az összetett modell létrehozásán át a döntéshozatalig terjed. Mindezek alapján a gyártásban alkalmazott, a kiber-fizikai rendszerek ipari termelésre vonatkoztatott CPPS koncepciója lehetőséget ad egy flexibilis és kellően adaptív gyártási mechanizmushoz azáltal, hogy a rendszerek és berendezések, képesek lesznek az információk folyamatos érzékelésére és ezekből döntéseket hoznak, megváltoztatják viselkedésüket, tárolják a tapasztalati úton szerzett ismereteket.

Egy gyártóberendezés ezáltal képes optimalizálni és újra konfigurálni a gyártási paramétereit, hozzáigazítva a „viselkedését” a változó termelési feltételekhez és megrendelésekhez.

A valós és a digitális világ közötti kapcsolat alapja a modern gyárakban az IoT, melynek ipari formája, az IIoT (ipari dolgok internete, Industrial Internet of Things). Az intelligens gyártás és a hatékony tervezés lesznek a legfontosabb tényezői a jövő „intelligens gyáraiban” és ezek egyik bázisa a CPS struktúra.

Forrás: <https://maddock.hatter.it.unideb.hu/portal/displayDocument/Szervezeti%20t%C3%A1rak/Kari%20t%C3%A1rak/MK/Szervezetek/Mechatronikai%20Tansz%C3%A9k/Mechatronikai%20m%C3%A9rn%C3%B6ki%20BSc/Kiberfizikai%20rendszerek.pdf> (2022.03.18.)

Összefoglalóan elmondható, hogy a CPS rendszerek érzékelőkön keresztül generálnak adatokat és elemzik azokat az interneten keresztül. Képesek autonóm módon kölcsönhatásba lépni hasonló rendszerekkel különböző informatikai platformok segítségével.

8 AZ I4.0 ESZKÖZTÁRA, A HÁLÓZATBA KAPCSOLT GYÁRTÓSOR ELEMEL

Az IPAR 4.0 koncepcióban az emberek, gépek és termékek, valamint a vállalatok és az ügyfelek közvetlenül tudnak egymással kommunikálni a megfelelő hálózatok kiépítése és a rendelkezésre álló infokommunikációs technológiák miatt.

A termelési és logisztikai folyamatok rugalmasan és hatékonyan képesek reagálni ezáltal a változásokhoz és a piaci igényekhez, a termelési folyamatok ezáltal optimalizálhatók.

A gépek közötti kommunikáció platformja az internet, web szervereken keresztül történik, ezáltal megszűnik a távolságkorlátozás, az adatok feldolgozása valós időben történik.

A termékeket és a termelő berendezéseket ez a gyártási koncepció információs eszközökkel és intelligens szenzorokkal szereli fel, ezáltal a munkadarabok képesek önállóan a megmunkálás helyére irányítani magukat a gyártásban résztvevő gépekkel történő kommunikáció révén.



116. ábra: Automatizált, adaptív és hatékony gyártási folyamatok



117. ábra: Automatizált, adaptív és hatékony gyártási folyamatok

Ezt az önszerveződést tekinthetjük a rendszer intelligens viselkedéseként, amelynek megvalósulása mögött konkrét lépések és megoldások vannak.

A hálózatba kapcsolt gyártósor elemei:

- **IoT és IIoT:** a „dolgok internete” és az „ipari dolgok internete” valójában az eszközök/gyártóberendezések azon képessége, hogy internet alapú hálózaton képesek egymással kommunikálni, adatokat cserélni. Ehhez megfelelő elektronikával és szenzorrendszerrel kell ellátni a hálózatba kötött berendezéseket.
- **Hálózatok** - vertikális/horizontális hálózatosodás: mind a vállalati belső vertikális struktúra, mind pedig a külső ügyfél struktúra hálózatba kötése azzal a céllal, hogy az így létrejövő üzleti és gyártási modell naprakészen és flexibilisen tudjon reagálni a környezeti változásokra.
- **CPS és CPPS:** kiber-fizikai rendszer olyan hardver és szoftver elemekből megépített modell, amely érzékelőkön keresztül adatokat generál és elemzi azokat az interneten, képes autonóm módon kölcsönhatásba lépni más hasonló rendszerekkel és együttműködni, adaptálódva a változó kontextushoz. A gyártásban alkalmazott megoldása a kiber-fizikai termelőrendszer (CPPS).
- **Virtuális valóság - digitális iker:** a virtuális valóság az adott tárgy, vagy berendezés komponenseinek, objektumainak virtuális, valós idejű megjelenítése

a teljes folyamat során. A virtuális elemek szorosan kapcsolódnak a fizikai valójukhoz, egyfajta digitális ikerként és információt nyújtanak a folyamatok valós idejű fejlesztéséhez. A fizikai és a virtuális gyártás intelligens rendszerré olvad össze. A fizikai gyártásról teljes digitális tükörkép készül. A fizikai valóság virtuális ikertestvére nemcsak a gyártóüzemet és gépeit szemlélteti, hanem a dinamikus folyamatokat és a rendszerrészek viselkedését is, valós időben. A virtuális ikertestvéren részletesen megfigyelhető a gyártási folyamat. Az érzékelők folyamatosan tudatják a rendszerrel az egyes munkaállomások üzemállapotát.

- **A kiterjesztett valóság (Augmented Reality):** a fizikai valóságban észlelt információk virtuális adatokkal történő kiegészítése. Legfontosabb tulajdonsága, hogy a tárgyi világ kontextusába a virtuális tárgyak valós időben épülnek be.
- **Mesterséges intelligencia:** olyan algoritmusok rendszere, amely az „intelligens” gépek gépi tanulásának alapvető része. Feladata a tudás hatékony tárolása, osztályozása, rendezése és gyors lehívása. Ezenkívül képes az újonnan elsajátított tudás célzott felhasználására a logika segítségével. Az MI alkalmazása automatizálja az intelligens viselkedést egy adott folyamaton.

Az IPAR 4.0 eszköztárához számos más eljárás és részegység is kapcsolódik, mint a Big Data adatbázis elemzés, a felhő alapú számítástechnika (Cloud Computing), a különböző tervezési és felügyeleti rendszerek (ERP, MES, SCADA), a H2M ember-gép, az M2M gépek közötti kommunikációs kapcsolatok, vagy az RFID rádiófrekvenciás identifikációs rendszer, mely kapcsolatot teremt a gépek és a termékek között. Mindezek a technológiák részei a hálózatba kapcsolt gyártás koncepciónak.

9 AZ INTELLIGENS MUNKAÁLLOMÁS FOGALMA, FELÉPÍTÉSE

Az „intelligens” munkaállomás egy sor olyan lehetőséggel és eszközzel rendelkezik, amelyek a kezelővel létrejövő interakció során megkönnyítik és biztonságosabbá teszik, az ember-gép kapcsolatot.

- **Biztonságtechnika az elsődleges:** a gépekre vonatkozó biztonsági irányelvek előírják, hogy gépek nem képezhetnek veszélyforrást, hogy a gépek az emberi műveletet csak megfelelően elhatárolt és tesztelt biztonsági rendszer aktiválása során engedi megkezdeni. A kockázatot nullára nem lehet csökkenteni, ezért a szándék csak az lehet, hogy a biztonsági kockázat egy elfogadható szintet ne lépjen túl. A felhasznált megoldások a legegyszerűbben megépített mechanikai munkatér védelemtől, az optikai függönyön át a kamerás rendszer alkalmazásáig terjedhetnek. Kézenfekvő, hogy ezeket az eljárásokat és modulokat már a vezérlés részeként kerüljenek beépítésre.



118. ábra: Fényfüggönyvel védett veszélyzóna

- **Ergonómia és azonosítás:** az adaptív munkaállomások munkaterülete igazodik a gépet kezelő emberhez. Fontos az ergonómia, a szerszámok és kezelőfelületek elérhetősége, az egyértelmű vezérlés és a folyamatok azonosítása és vizualizálása. A korszerű gyártásautomatizálási berendezéseknél a HMI jelenti a közvetlen kapcsolatot az ember-gép struktúrában. Az azonosítási eljárásban a személyzet digitális identifikációja is fontos, a kompetenciaszintek hozzárendelése és a folyamatokban bekövetkező eltérések megfelelő naplózása miatt. Egy jövőbeni koncepció a biometrikus biztonsági rendszerek kiépítése, amely elemzi az emberi arcot a személyes adatok ellenőrzéséhez.



119. ábra: Arcfelismerő technológia a dolgozó számára a gép hozzáférés engedélyezéséhez

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/similar-images/215079462.html?qview=440973174> (2022.03.18.)

- **Szenzorok és mesterséges intelligencia a prediktív karbantartásért:** a megfelelő számú és minőségű szenzorral felszerelt munkaállomás az egyes gépegységek állapotáról és paramétereiről folyamatosan adatokat közöl. A nagy mennyiségű adatállomány feldolgozása emberi erővel nem lehetséges. A mesterséges intelligencia algoritmusai alkalmasak erre a feladatra, így az adatállományból statisztikai elemzések készülhetnek, amelyek segítségével az prediktív, előrejelző karbantartás megtervezhető.



120. ábra: Prediktív karbantartás

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/366609614/stock-photo-writing-note-showing-predictive-maintenance.html> (2022.03.18.)

- **Digitalizált megoldások:** a munkaállomás virtuális felületének a létrehozása, a gép digitális tükrözése esetén a gép komponensek virtuális valós idejű reprezentációként jelennek meg. Ezek a virtuális elemek szorosan kapcsolódnak fizikai társaikhoz és információkat nyújtanak a folyamatok valós idejű fejlesztéséhez.
- **Kommunikációs platformok:** egy hálózatba kötött munkaállomás folyamatos és valós időben történő adatszolgáltatással információt közöl a munkaműveletekről és a vezérlési állapotáról. A terepibusz rendszer alkalmazása kiterjeszti a vezérlési folyamatot a többi munkaállomás felé. Webszerverek beépítésével pedig lehetőséget teremt a gépet kezelő és karbantartó személyzetnek a távfelügyeletre, hatékonyabb az üzemeltetés és a karbantartás.

10 AZ EGYES KONKRÉT MUNKAÁLLOMÁSOK FELTÉRKÉPEZÉSE ADOTT TECHNOLÓGIAI ESZKÖZÖN

Egy adott berendezés esetében annak vezérlési állapotáról, helyzetéről, az egyes hajtások élettartamáról, a karbantartási igényekről annál pontosabb adatokkal rendelkezünk, minél átgondoltabban van szenzorokkal és diagnosztikai műszerekkel felszerelve az adott berendezés.

A szenzor-processzor-aktuátor struktúra alapján a berendezés állapotát és állapotváltozását a jeladó elemek, szenzorok detektálják.

Munkaállomás feltérképezése PLC segítségével a vezérlés elemzésével

A korszerű automatizált gyártórendszerekben a vezérlés legelterjedtebb eszköze a PLC.

A PLC a bemeneti jeleket lekérdezi, értékeli és a program alapján utasítást ad adott

kimenetekre, amelyek a beavatkozó egységeket, aktuátorokat irányítják. A folyamatirányításban a PLC nem csak, mint vezérlő eszköz, hanem mint diagnosztikai eszköz is részt vesz. Hiszen a bemeneti oldalon „látja” a szenzorjeleket, a kimeneti oldalon pedig az aktuátorok állapotát. A már tesztelt program üzemszerűen működteti a berendezést. A program értelmezése alapján meghatározhatók azok a funkciók, amiket a munkaállomás ellát. Az egyes funkciók bekövetkezését, vagy elakadását tehát a programban a bemeneti/kimeneti felület pillanatnyi állapotának az elemzésével tudjuk megállapítani és így hibadiagnosztikai eszközként is használni a PLC vezérlőt.

Munkaállomás feltérképezése a kiterjesztett valóság alkalmazásával

A berendezés nem látható, vagy nehezen hozzáférhető részeiről információt kapunk a kiterjesztett valóság információs felülete segítségével. Egy kép felismerésével további információk érhetők el az adott rendszerről, berendezésről. A kiterjesztett valóság kiegészíti mindazon az információkat, amelyeket általában észlelünk. Ezt a technológiát használhatjuk a kezelő betanításához, és karbantartási munkák ellátásához is.



121. ábra: Kiterjesztett valóság megjelenítése tablet segítségével

A jövő berendezéseinél az gép vizualizálására, feltérképezésére a kiber-fizikai koncepció (CPS) és az intelligens szenzorok jelentenek hatékony és biztonságos platformot.

11 RFID IDENTIFIKÁCIÓS RENDSZER ÉS HÁLÓZATBA KÖTÉSE, MŰKÖDTETÉSE

Az RFID (Radio Frequency Identification - rádiófrekvenciás azonosítás) technológia tárgyak azonosítására alkalmas és a gépek közötti kommunikáció egyik alapeleme. RFID esetén az adó és a vevő közötti kommunikáció jön létre, az adatok továbbítása rádióhullámokkal történik. Ennek előnye, hogy a rendszer alkalmas vezeték és kontakt nélküli adat továbbításra több száz méteres távolságról is. A kommunikáció része az RFID címke, vagy RFID tag, transponder és az író/olvasó fej. Az RFID működését meghatározza a frekvenciatartomány és a rendszerében használt aktív, vagy passzív eszközök. Az működési elvben közös, hogy a címkék adatokat tárolnak, az olvasó pedig rádiójel segítségével lekéri ezen adatokat. A lekérésre válaszként küldi el a tárolt információkat a címke, ez egyértelműen fogja azonosítani a címke hordozóját. Az RFID egy kellően adaptív azonosító rendszer, mely nagymértékben igazodik a felhasználás körülményeihez. A feladattól függően különböző rendszereket lehet kiépíteni, amely rendszerek néhány dologban azonosak.



122. ábra: RFID struktúra

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/rfid.html?filter=all&qview=245330510> (2022.03.18.)

Az RFID alapelemei:

- címkék, vagy tagek,
- olvasó (író) fej,
- antenna.

A címkék, vagy tagek jelölik meg az egyes elemek, tárgyak, szerszámok, termékek, amiket a rendszeren belül akarunk azonosítani. A címkék lehetnek aktív, vagy passzív jellegűek. Az aktív címkék rendelkeznek saját, beépített áramforrással és képesek önállóan továbbítani a jeleket.

A passzív címkék működéséhez szükséges energiaellátást az olvasófej rádióhullámai biztosítják, vagyis nem rendelkeznek saját energiaforrással, akkumulátorral.

Az RFID olvasó fejek azonosítják az RFID címkéket és az adatokat összehasonlítják a saját belső, vagy külső adatbázisukkal. Jeleket küldenek és fogadnak, így képesek kommunikálni a címkékkel, és feldolgozzák adataikat.

Az RFID antennák segítenek fogadni és továbbítani a rádiójeleket. Antennát tartalmaznak a tagek és az olvasófejek is. További antennákra akkor van szükség, ha ki akarjuk terjeszteni az olvasási távolságot.

Frekvenciatartományok

Az RFID rendszerek különböző frekvenciájú rádióhullámokat használhatnak, amelyeket alapvetően három kategóriába sorolunk.

- Alacsony frekvenciatartomány: Ebben a tartományban 30-300 kHz között működnek az eszközök.
- Magas frekvencia: Itt az RFID eszköz 13,5 MHz-es frekvencián kommunikál. Az elterjedtebb, mint az alacsony frekvenciatartomány.

- Ultra magas frekvencia: a 300-3000 MHz között tartomány, ezen belül az RFID rendszerek 433 MHz, a 860-960 MHz közötti tartomány és a 2,45 GHz.

RFID felhasználási területek

Az RFID az adat továbbítás elemi funkcióját tölti be, ezért a felhasználási területe nagyon kiterjedt s sokrétű. Alább néhány terület felsorolásszerűen:

- készletek nyomon követése,
- gyári folyamatok ellenőrzése,
- termékek nyomon követése,
- beléptető rendszerek,
- használati eszközök leltározása,
- járműkövetés,
- gépek közötti kommunikáció M2M rendszerben.

Az RFID technológia felhasználási területe ennél is szélesebb, rengeteg más területen is használható.

12 CENTRALIZÁLT ÉS DECENTRALIZÁLT ADATTÁROLÁS

Centralizált adattárolás

Az adattárolásban ma még a centralizált tárhelyek dominánsak, amelyek fő jellemzője, hogy minden esetben egy központra keresztül áramlanak. Ez lehet az adattárolásra kijelölt szerver és lehet a „felhőben” bérelt tárhely, mindkét esetben adatközpontként működtetve. A felhőalapú számítástechnika fejlődése révén a felhőben történő adattárolás egyre gyakoribb.

A centralizált adattárolásnak számos előnye van, de adódnak hátrányok is.

Az előnyei között legfőképp a strukturált adatkezelés szerepel, amely biztosítja a gyors visszakereshetőséget, az egyszerűen elvégezhető mentést és archiválást. Amennyiben egy

munkaállomás meghibásodik, a szerveren, vagy a felhőben tárolt adatokhoz hozzáférhetünk egy másik munkaállomásról.

Az adatközpont kezeli az elektronikus adatokat és dokumentumokat és lehetővé teszi, egyes adatcsoportokhoz jogosultságaikat rendeljük hozzá.

Ennek az adattárolásnak a hátránya abból adódik, hogy egy centralizált adatrendszerben könnyebb nyomon követni és begyűjteni az információkat.

Decentralizált adattárolás

A decentralizált tárolási megoldások és protokollok a centralizált, felhőalapú technológiával szemben nagyobb biztonságot jelentenek adatok tárolása és elérése szempontjából. Az adat lekérés ideje lerövidül. Biztonságosabbak az adatszivárogtatás, szerverhiba, vagy akár hackertámadás tekintetében is.

A decentralizáció egy blokklánc architektúrával rendelkezik, ami azt jelenti, hogy az adatbázisnak nincsen egy centrális középpontja, hanem el van osztva a folyamatban, az eljárásban résztvevők között.



123. ábra: Decentralizált adattárolási struktúra

Forrás: <https://www.bitcoinbasis.hu/a-decentralizalt-tarolasi-protokollok-a-csucsra-tornek-a-blokklanc-jelenti-a-jovot/> (2022.03.18.)

A decentralizált rendszerek egyik előnye tehát sok pont kapcsolódik össze, vagyis az információk nem egyetlen központon haladnak át. Ezeket a hálózatokat peer-to-peer (P2P) rendszernek is hívják. A P2P hálózatban több számítógép osztozik meg fájlokkal és hozzáféréssel eszközökhöz anélkül, hogy külön szerverszámítógépre vagy kiszolgálószoftverre lenne szükség.

Másik előnye, hogy miután nincsen egy definiált központja, ha bármilyen hiba bekövetkezik, nem fog leállni a teljes rendszer. Egy decentralizált hálózat nagyobb eséllyel tud nyílt fejlesztői platformokat is biztosítani.

A decentralizált tárolási protokollok a közeljövőben egyre inkább elterjednek, kiegészítik, vagy akár fel is válthatják a felhőalapú centrális szolgáltatásokat.

13 HÁLÓZATI KOMMUNIKÁCIÓ, IPARI HÁLÓZATOK

Az automatizálás technikában és különösen az IPAR 4.0 koncepció megvalósításában elengedhetetlen az eszközök közötti kommunikáció, mindez az eszközök hálózatba kötésével történik. A mai fejlett érzékelők, beavatkozó modulok és PLC vezérlők rendelkeznek digitális kommunikációs interfésszel, ami lehetőséget ad paraméterek beállítására, az állapotok és a folyamatadatok lekérdezésére, szoftverfrissítésre, vagy akár konfigurációk módosítására. Az eszközök hálózatba kapcsolása azonban nem csak új lehetőségeket ad, hanem új problémákat is hoz a biztonságos működés területén. A kommunikáció e formája az iparban buszrendszeren keresztül valósul meg.

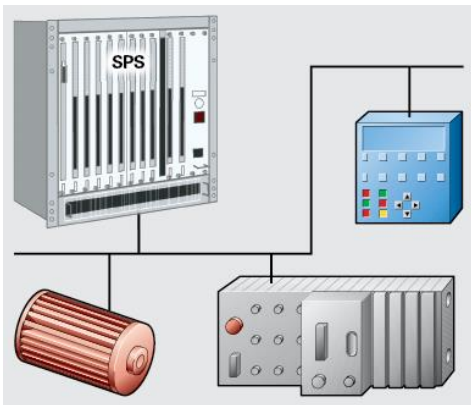
Ipari gyártó és technológiai rendszereknél azonban nem elegendő csak az érzékelők és beavatkozó szervek buszrendszeres bekötése. Gyártócelláknak adatokat kell cserélniük, PLC programokat kell továbbítani, üzemi adatokat kell begyűjteni, konstrukciós rajzokat kell készíteni és tárolni, készletállományokat kell lekérdezni és kezelni, mindehhez stabil és biztonságos hálózatok szükségesek.

13.1 TOPOLOGIÁK

Topológián az egyes állomások egymással való összekötésének módját értjük. A terepi buszrendszerek esetében a következő 4 fő topológiát különböztetjük meg:

- busz (vonal) topológia,
- fa topológia,
- gyűrűs topológia,
- csillag topológia.

A **busz (vonal) topológia** esetén minden állomás közvetlenül csatlakozik ugyanarra az átviteli közegre. Az állomások általában rövid bekötővezetékekkel csatlakoznak a gerincvezetékre.



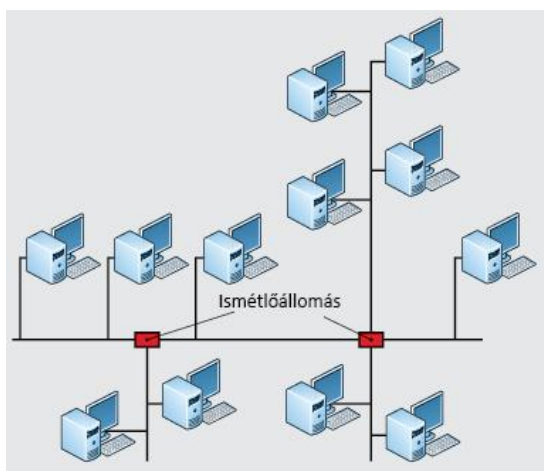
124. ábra: Busz (vonal) topológia

Minden állomás minden más állomással tud kooperálni. Ennek előfeltétele, hogy minden állomásnak egyedi címe legyen. Ez a buszrendszer nem tűri a címkettőződést. Busz topológiát használ például a PROFIBUS és az AS interfész is.

A buszra köthető állomások száma korlátozott. Egy-egy szegmensben általában legfeljebb 32 állomás lehet. Ez a korlát az RS485 interfész fizikai adottságából következik.

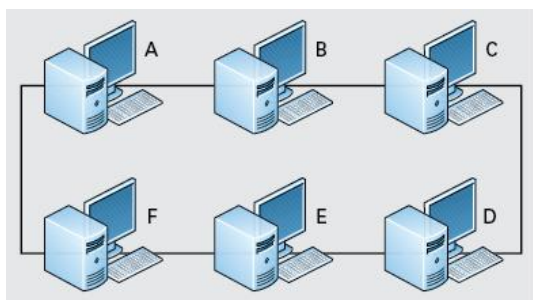
Mivel a busz topológia esetén minden állomás ugyanazon az átviteli közegen osztozik, meg kell határozni, hogy mikor, melyik állomás forgalmaz adatot. Az erre szolgáló mechanizmust buszelérési eljárásnak nevezzük. A buszelérési eljárással meghatározható, hogy egy buszrendszer determinisztikus-e (kiszámítható-e a ciklusideje) vagy sem.

Ha az ismétlődőállomásokat nem a szegmensek végére tesszük, hanem közbenső helyre, **fa topológiát** kapunk, amely a busz topológia bővített változata. A fa topológiában megjelennek az egyedülálló, perifériális csomópontok.



125. ábra: Fa topológia

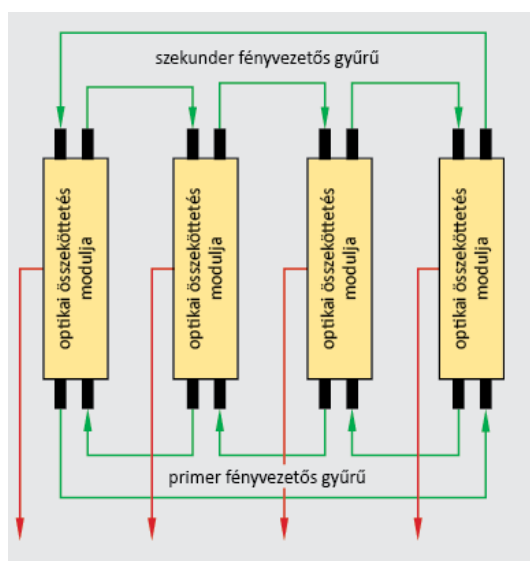
Az egyes állomások **gyűrűs topológiával** is összekapcsolhatók. Ekkor a szomszédos állomások pont-pont összeköttetésben vannak és így alkotnak zárt gyűrűt. Az információ a gyűrűn keresztül csomóponttól csomópontra terjed, amíg a címzethez nem kerül.



126. ábra: Gyűrűs topológia

Ha az A állomás D-nek küld üzenetet, akkor elsőként B veszi. Ez felerősíti és továbbküldi C-nek, majd a C állomás végül átadja a címzettnek. Adatbiztonsági okokból a D továbbküldi E-nek, az F-nek, és végül az üzenet visszakerül a feladóhoz.

Terepi busz rendszerekben a gyűrűs topológiát nagyon gyakran fényvezetőkkel építik meg. A szomszédos állomások pont-pont kapcsolata viszonylag egyszerűvé teszi az összekapcsolást.

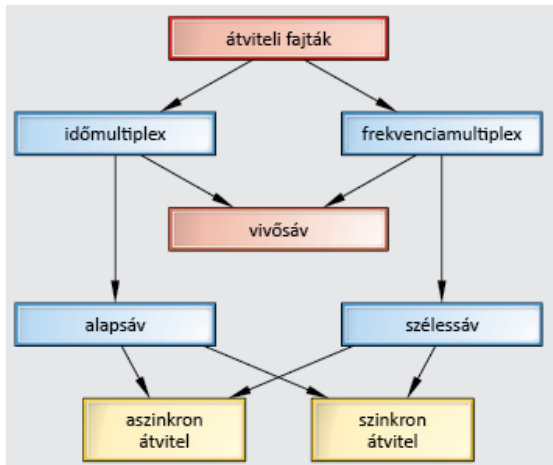


127. ábra: Redundáns fényvezető gyűrű

A negyedik, **csillag topológiát** a terepi busz rendszerek kevésbé használják. A csillag topológia lényege, hogy van egy központi csomópont, amihez minden állomás hozzákapcsolódik. Ha a központi csomópont aktív, akkor az egész hálózatot vezérli és meghatározza az útvonalakat (routing).

13.2 ÁTVITELI FAJTÁK

Két átviteli fajtát különböztetünk meg, az alapsávú és szélessávú átvitelt.

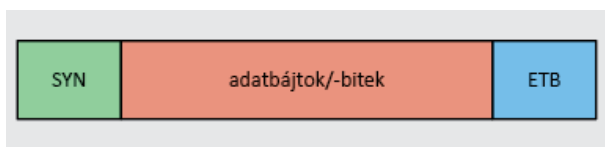


128. ábra: Átviteli fajták

A **szélessávú átvitel** azt jelenti, hogy az átviteli közegen (például koaxiális kábel) egyidejűleg több jel vihető át. A szélessávú átvitel legismertebb alkalmazási területe a kábeltévé és telefon átvitel. Terepi busz rendszerekben nem használják a szélessávú átvitelt, mert összetevőit viszonylag bonyolultak és drágák.

Az **alapsávi átvitel** azt jelenti, hogy egyszerre csak egy jel halad az átviteli közegen. Folyamatban levő adatátvitel tehát a közegre kötött összes többi állomást blokkolja. Az alapsávi átvitel lehet szinkron, vagy aszinkron.

A szinkron ebben az összefüggésben azt jelenti, hogy az adó és a vevő egymáshoz van szinkronizálva. Ennek előfeltétele a szinkronizáló jel (órajel) átvitele. Ezt gyakran úgy oldják meg, hogy az adatjelbe ágyazzák az órajelet. Ezt alkalmazza például a PROFIBUS-PA.



129. ábra: Alapsávi átvitel Szinkron időkerete



130. ábra: Alapsávi átvitel aszinkron időkeret (UART karakter)

A szinkron adatátvitel előnye, hogy az adó és vevő összeszinkronizálását követően tetszőleges számú bájt vihető át, további szinkronizálás nélkül.

Aszinkron adatátvitelnél nincs órajel. Ezért az adót és a vevőt rendszeres időközönként újra kell szinkronizálni. Ez úgy történik, hogy az információs bájt (8 bit) kezdőbittel (SB), záró bittel (EB) és paritásbittel (PB) keretezzük körbe. Ezt a keretet **UART karakternek** hívjuk.

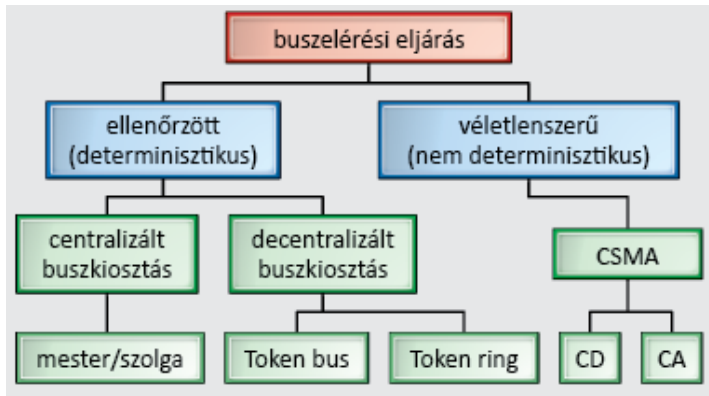
Aszinkron átvitelnél a nyugalmi állapot definiálva van és adott logikai állapotnak (például 0-nak) felel meg. A kezdőbit ilyenkor mindig logikai 1 állapotú. Küldésekor tehát mindig él, keletkezik. A vevő ezt felismeri és megtudja belőle, hogy új bájt következik. Az UART karakteres aszinkron átvitelt alkalmazza a PROFIBUS-DP.

13.3 BUSZELÉRÉSI ELJÁRÁSOK

Buszelérési eljárás annak meghatározását értjük, hogy melyik időpontban melyik állomás használhatja az átviteli közeget.

Kétféle elérési eljárás létezik: az ellenőrzött és az ellenőrizetlen (véletlenszerű).

Ellenőrzött elérési eljárásnál már az átvitel megkezdése előtt egyértelmű, kié az adási jogosultság.



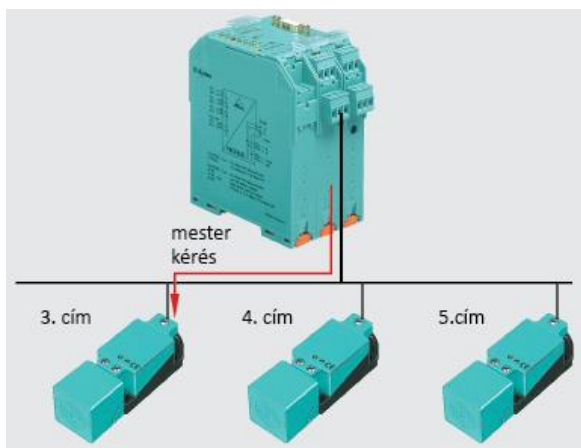
131. ábra: Buszélési eljárások áttekintése

Az **ellenőrzött** elérési eljárásnak három változata van:

- mester/szolga eljárás,
- token elv,
- hibrid elérési eljárást.

Mester/szolga eljárás

Ennél az eljárásnál pontosan egy állomás vezérli a vezetéken folyó kommunikációt, a mester. A mester pontosan egy szolgának küld felszólító táviratot, úgynevezett „master request”-et. Ebben egyidejűleg adatokat is küld a szolgának. A megszólított szolga, „slave response” válasszal reagál a „master request”-re. A választáviratban a szolga elküldi a kért adatokat. Miután megkapta a választáviratot, a mester a következő szolgától kéri az adatokat. Miután lekérdezte az összes szolgát, előlről kezdi.



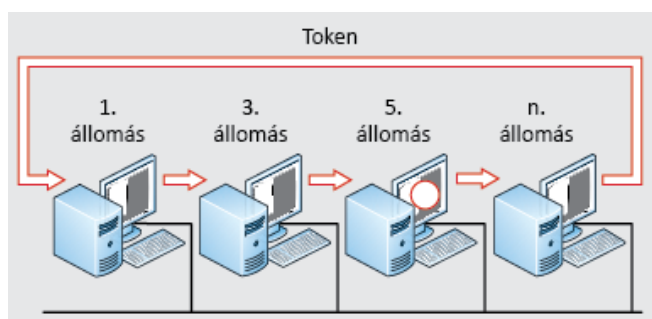
132. ábra: Mester/szolga elv

Az eljárás működésének előfeltétele, hogy minden állomásnak egyedi címe legyen. Ezt az üzembe helyezéskor a mesternek és minden szolgának ki kell adni. Kivétel az AS-i rendszer, ahol a mesternek nincs címe. Ennél az eljárásnál nem használhat több előfizető egyforma címet ugyanazon az átviteli vonalon. Mivel minden adat, paraméter és a ciklus idő kiszámítható. A mester/szolga eljárást alkalmazó buszrendszer általában determinisztikus.

A token elv

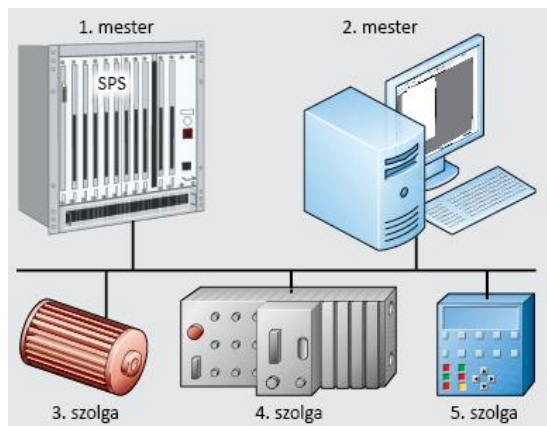
Tokenen rövid hírt értünk. A tokent pillanatnyilag birtokló állomás jogosult adni a buszon. Az összes többi állomás passzív és veszi az átvitt adatokat. A paraméterrel beállítható időkerete lejártával az állomás tovább kell, hogy adja a tokent a következő állomásnak. Ez az elv tehát logikai gyűrűt épít fel.

Abban különbözik a mester/szolga elvtől, hogy a token buszra csak azok az állomások csatlakoznak, amelyek képesek vezérelni a buszon folyó kommunikációt. A mester/szolga elvnél csak a mester vezérelhet. Ezáltal a token buszon az az állomás, amely adatokat kér egy másiktól, nem kap közvetlen választ, mint a mester/szolga elv esetén. Az állomás, amelytől az adatokat kérték, tárolja a kérést és akkor megy adásba, amikor hozzá kerül a token.



133. ábra: Token elv

Ipari automatikai rendszerekben igen ritkák a tiszta tokenes rendszerek. Gyakoribb a token és mester/szolga elv vegyítése. Ezt hibrid elérési eljárásnak nevezzük.



134. ábra: Hibrid elérési eljárások

A hibrid rendszerben több mester és több szolga működik együtt. A tokenet birtokló mester a mester/szolga elv szerint szervezi az adatcserét a szolgákkal. Az adatcsere végeztével továbbadja a tokenet a következő mesternek, amely ismét a mester/szolga elv szerint kommunikál a szolgákkal. Ezt az eljárást alkalmazza például a PROFIBUS.

A PROFIBUS két osztályba sorolja a mestereket: mester 1 és mester 2. Ma már olyan intelligensek a mesterek, hogy új mester csatlakozását automatikusan felismerik és külső beavatkozás nélkül megállapodnak a token kezeléséről.

A **véletlenszerű elérési** eljárásnál az adni készülő állomás hallgatja az adatvezetéken folyó forgalmazást. Ha szabad a vezeték, azonnal ad. Ha foglalt a vezeték, adott idő elteltével újra próbálkozik. Mivel nem lehet tudni, mikor szabad és mikor foglalt a vezeték, nem ismerhető az átviteli idő és ezzel a ciklusidő. A véletlenszerű buszelérési eljárást alkalmazó terepi busz rendszerek általában nem determinisztikusak. Ilyen véletlenszerű eljárást alkalmaz például a CAN busz és az Ethernet. Mechanizmusaik neve CSMA/CA és CSMA/CD. A CS a „carrier sense” (a hordozó közeg letapogatása), az MA a „multiple access” (többszörös hozzáférés) rövidítése.

A CSMA eljárás

A CSMA angol rövidítés, kifejtve „*carrier sense multiple access*”. Itt az adni kívánó állomás hallgatja a közös busz forgalmát (*carrier sense*) és azonnal adásba megy, mihelyt szabad a busz. Ha a buszt időközben lefoglalta egy másik állomás, az adni kívánó állomás visszavonja adási szándékát és később újra próbálkozik (*multiple access*). Mivel egy-egy előfizető csak akkor foglalja le az átviteli vonalat, ha adni akar, nem határozható meg előre, melyik állomás fog adni. Ez a buszelérési eljárás tehát véletlenszerű, sztochasztikus. Mivel adási igény esetén a busz szabad állapota sem garantálható, maximális adatátviteli időkeret sem szabható meg. Ez az eljárás tehát nem determinisztikus és ezáltal nem rendelkezik kiszámítható ciklusidővel.

A CSMA eljárásnál nem küszöbölhető ki az ütközések, ezért fel kell ismerni őket. Az ütközés felismerés elvileg a következők szerint zajlik: a pillanatnyi adó összehasonlítja az adott és vett adatokat. Ha különböznek, ütközés történt és azonnal leállítja az átvitelt. Ezt az eljárást ütközésérzékelésnek (*collision detection*) nevezzük, rövidítése CSMA/CD.

Az ütközést felismerő állomás a felismerést követően rövid zavarjelzést (*jam*) küld. Ezzel tájékoztatja az összes többi állomást, hogy ütközést észlelt. Erre az összes adni kívánó állomás véletlenszerű hosszúságú időszakra visszavonul, és később próbálkozik újra.

CSMA/CA

Ennél az eljárásnál az adni kívánó állomás ugyanúgy „hallgatózik” a vonalon, mint a CSMA/CD esetén és adásba áll, ha szabad a közeg. Ha nem szabad, akkor kivárja a folyó átvitel végét, és annak észlelésekor azonnal adásba megy, folyamatosan veszi is az adását. Ha két állomás egyidejűleg ment adásba, életbe lépnek az elsőbbségek (prioritások), a kisebb elsőbbségű állomás visszahúzódik, azaz megszakítja az adását, ha nem azt veszi, amit adott. Ez az eljárás elkerüli az ütközést (*collision avoidance, CA*).

Távirat mindig az átvitelkezdés jelzetével kezdődik. Ez az információ minden adni kívánó állomásnál azonos, így két egyidejű adás nem befolyásolja egymást. Ezt követheti az adó azonosítója, az úgynevezett *identifier*. Ha egy logikai állapotot, például a „0”-t

dominánsként definiálunk, a másik állapotot recesszívnek, akkor az alacsonyabb című állomás dominál. A magasabb című állomás megszakítja adását és megpróbálja adatait a pillanatnyi átvitel befejeződésekor elküldeni. A működőképesség előfeltétele, hogy minden állomás ugyanabban az időpontban ugyanazt a bitet tapogassa le. A vezeték futási ideje nem játszhat közre.

Ez az eljárás működési elvénél fogva sem determinisztikus. Megfelelő szoftverrel azonban elérhető, hogy egy CSMA/CA-alapú rendszer determinisztikusan viselkedjen. Példa erre a CAN-on alapuló DeviceNet. A CAN a CSMA/CA eljárást alkalmazza; a DeviceNet a CAN-chipet használja a kommunikációhoz. A DeviceNet esetén választható az úgynevezett Poll I/O üzemmód, amely kiszámítható maximális ciklusidőt garantál.

13.4 TEREPI BUSZRENDSZEREK

AS-interfész

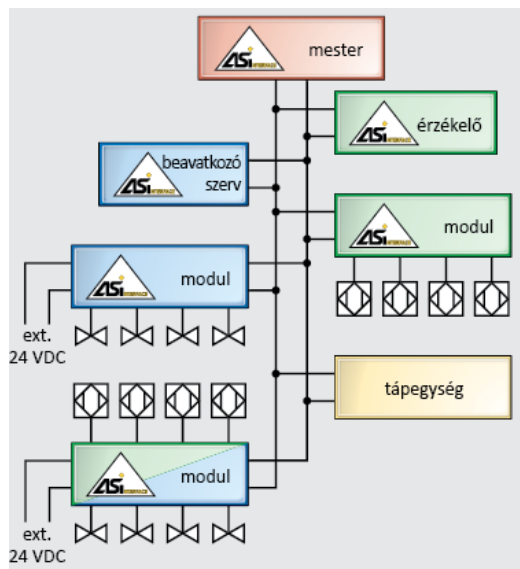
Az AS-interfész úgynevezett „nyitott buszrendszer”, ugyanúgy, mint az InterBus, PROFIBUS, CAN és sok más buszrendszer. Ez azt jelenti, hogy AS-i termékek sok forrásból beszerezhetők, nemcsak egy gyártótól. Biztosított további a buszrendszer kifogástalan működése abban az esetben is, ha különböző gyártók termékei csatlakoznak a buszra (átjárhatóság, interoperability). Ha egy terméket más gyártótól származó, de kivételében azonos termékre cserélnek, az új termék is működik (csereszabotosság, interchangeability).

Az AS-interfész működési elve

Az AS-interfész főként igen kis adatforgalmú készülékekhez lett kifejlesztve. Ilyenek például a kezdeményezők, kapcsolók, szelepek. Analóg értékek átvitelére is használható.

Az AS-interfész mester/szolga rendszer. Az AS-interfész intelligens szolgákat is tud kezelni, ezek közé tartoznak a saját AS-i interfészt tartalmazó érzékelők és beavatkozó szervek, és

az úgynevezett modulok. A modulok csatolófelületet képeznek az AS-i rendszer és a szabványos érzékelők és beavatkozó szervek között.



135. ábra: AS-interfész struktúrája

PROFIBUS

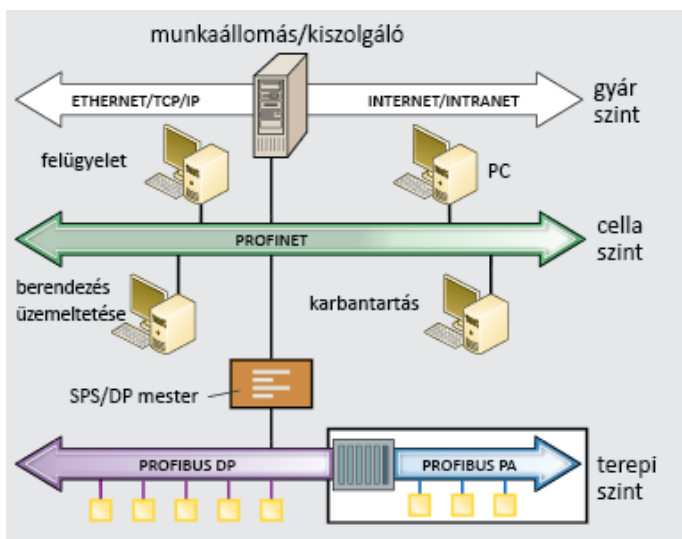
Alkalmazási területétől függően a PROFIBUS a következő három kommunikációs profilt kínálja:

- PROFIBUS-FMS
- PROFIBUS-DP
- PROFIBUS-PA

A PROFIBUS-FMS igényes feladatokra készült általános kommunikációs profil, a PROFIBUS első fejlesztési lépcsője. Az FMS az angol Fieldbus Message Specification (terepibusz-üzenet specifikáció) rövidítése, teljesítő képes funkciókat kínál intelligens készülékek egymás közötti adatcseréjéhez. A további fejlesztések során a PROFIBUS-FMS szerepét egyre inkább átvette az Ethernet-alapú ProfiNet.

A PROFIBUS-DP (a DP a Decentralizált Periféria rövidítése) gyors adatcserére optimalizált kommunikációs profil. Ez a leggyakrabban alkalmazott kommunikációs profil.

A PROFIBUS-PA (PA = Process Automation) kifejezetten folyamatautomatizálási feladatokra készült. PROFIBUS-MBP néven is ismert. Az MBP az angol Manchester Bus Powered rövidítése, és az átviteli fizikai megvalósítására utal. IEC 61158-2 szabványos, és egyazon vezetéken teszi lehetővé tápáram és adatok átvitelét (Bus Powered). Gyújtószikramentessé tehető és ezáltal robbanásveszélyes környezetekben is használható.



136. ábra: A PROFIBUS alkalmazási területei

A PROFIBUS-DP bináris és analóg érzékelők és beavatkozó szervek be- és kimeneti jeleit viszi át. A PROFIBUS mester rendszerint PLC-be van beépítve. Az AS-interfész átjáró útján PROFIBUS-DP-hez kapcsolható. PROFIBUS-PA szegmens úgynevezett szegmenscsatolóval nyitható meg, jelenleg nem létezik PROFIBUS-PA mester.

A PROFIBUS-DP és más kommunikációs rendszerek ProfiNet útján összekapcsolhatók. Ez történhet például PROFIBUS-DP és ProfiNet interfészt egyaránt tartalmazó PLC, számítógép vagy folyamatirányító rendszer útján.

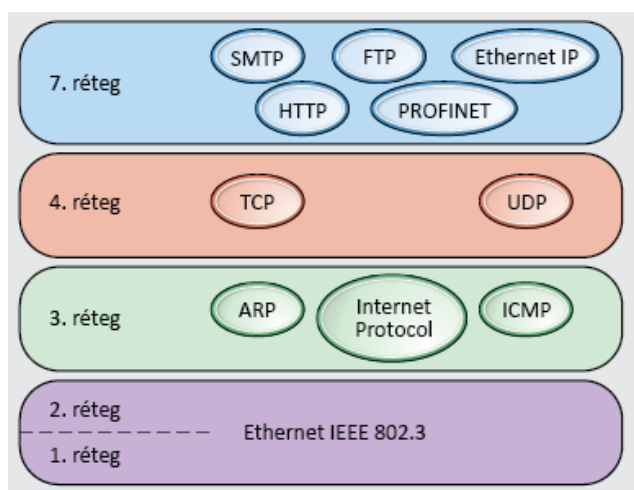
Ethernet

Az Ethernetet a 70-es években fejlesztették ki, a fejlesztés abból indult ki, hogy minden állomás egyenrangú. Az átviteli sebesség eredetileg 10 Mbit/s volt. Az Ethernet buszelérési eljárásaként a CSMA/CD-t alkalmazza. Ez az elérési eljárás távirat-ütközéseket okozhatott, miután az Ethernet nem volt determinisztikus.

Az ilyen ütközések a mai rendszerekben kapcsolási technológiával elkerülhetők. A táviratok prioritizálásával az Ethernet determinisztikussá is tehető. Korszerű technikával ma már 100 Mbit/s, 1000 Mbit/s, sőt akár 10 Gbit/s átviteli sebesség is elérhető.

Az Ethernet a hétrétegű ISO/OSI modellnek csak az első és második rétegében van definiálva. Az ipari automatizálás hálózati és szállítási rétegében is használjuk az irodai kommunikációból már ismert protokollokat, mint például az Internet Protocol (IP), az Adress Resolution Protocol (ARP), Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP).

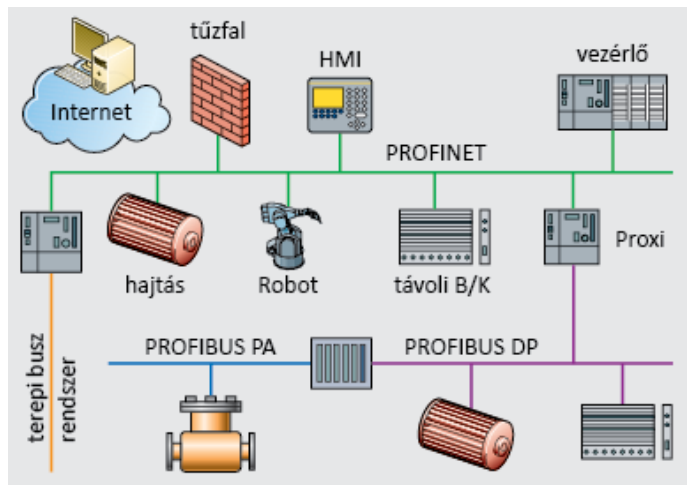
Az ethernetetes alkalmazások, például PROFINET, Ethernet IP, EtherCAT, vagy akár a Modbus TCP/IP alkalmazási réteggént rétegződnek a szállítási rétegre. Ez ugyanolyan elven működik, mint az internet.



137. ábra: Az Ethernet helye a hétrétegű modellben

PROFINET

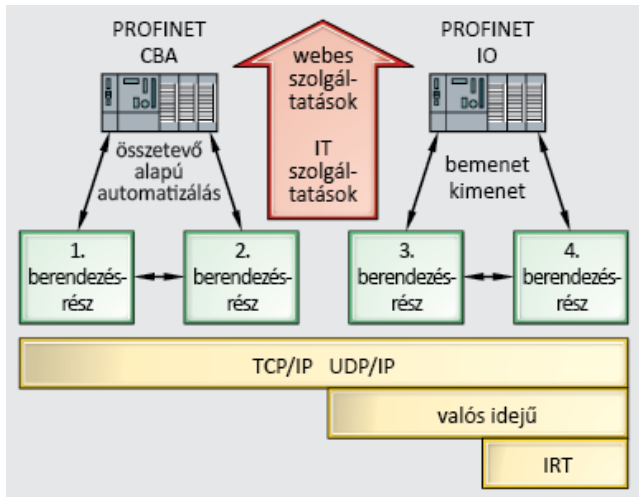
A PROFINET Ethernetes szabvány, amely minden ipari alkalmazási területet képes lefedni, a gyártástól a folyamatautomatizálásig. Spektruma digitális kapcsolójelek átvitelétől hajtások szinkronizálásáig terjed.



138. ábra: A PROFINET alkalmazási területe

Megvalósításában a PROFINET úgynevezett „kapcsolt Ethernet”. Ez azt jelenti, hogy PROFINET állomások kizárólag kapcsolók útján csatlakozhatnak a hálózatra. E kapcsolóknak támogatniuk kell az „automatikus crossovert”, az átviteli paraméterek automatikus kiadását, és a teljes duplex átvitelt. Átviteli sebessége 100 Mbit/s-ban van meghatározva, az átviteli közeg lehet rézkábel vagy fényvezető. Vezeték nélküli technológiával (WLAN, Bluetooth) is működtethető.

A PROFINET megkülönbözteti a komponens-alapú kommunikációt (PROFINET CBA, Component Based Automation) a be- és kimeneti adatok cseréjétől (PROFINET IO). Komponensen egymással összekapcsolandó gépeket vagy berendezésrészeket értünk.



139. ábra: PROFINET protokollok

A PROFINET-IO decentralizált perifériás egységek csatlakoztatására szolgál. Ez az alkalmazási terület a PROFIBUS-DP-éhez hasonlít.

A PROFINET eltérő protokollokat használ különböző alkalmazási területekhez.

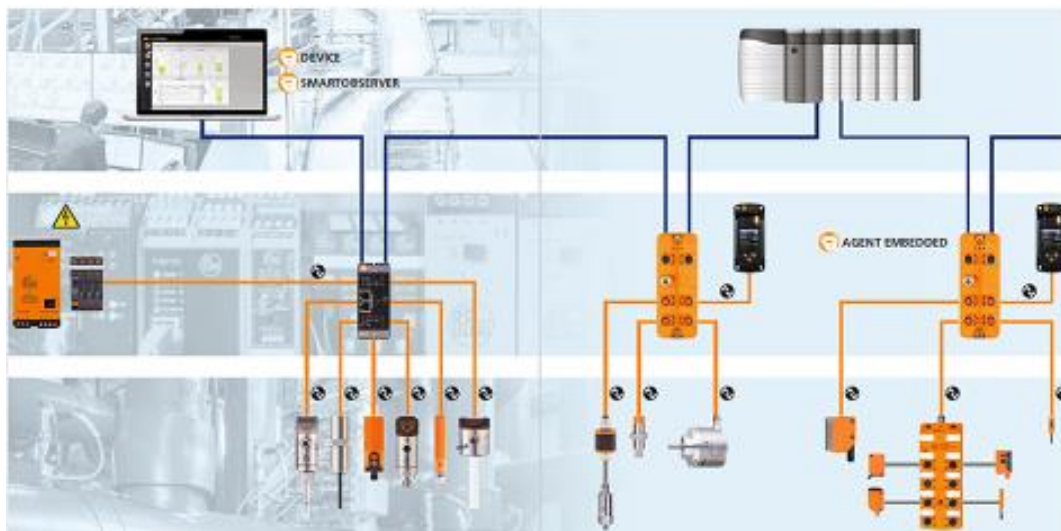
- TCP/IP-t a PROFINET-CBA-hoz. A TCP nyugtázós protokoll. Az adó értesül arról, hogy a vevő pontosan megkapta az adatokat.
- UDP/IP-t a PROFINET-IO-hoz. Az UDP nem nyugtázó protokoll.
- RT-t (Real Time Protokoll). PROFINET IO esetén RT-kommunikációra épül az adatcsere. A PROFINET-nél a Real Time azt jelenti, hogy egy buszcikluson belül fenntartott idők vannak csak az RT-kommunikáció számára. Az RT táviratok prioritása magasabb a TCP vagy UDP táviratokénál. Ez megakadályozza a késleltetést a kapcsolóban. Itt 1-10 ms közötti ciklusidők érhetők el.
- IRT-t (Isochronous Real Time-Protokoll). Ez a protokoll kifejezetten hajtások egymáshoz szinkronizálására készült. Ezek a táviratok a buszciklus elején mennek át és 1 μ s-nyit térhetnek el. A tényleges szinkronizálásra másik protokoll, a precision time protocol (PTP) szolgál.

Az eddig bemutatott terepi buszrendszerek a rendszereknek csak kis részét képviselik. A leírt terepi buszrendszereket szinte kizárólag gyártás- vagy folyamatautomatizálásra használják.

További fontos busz rendszer a CAN, **C**ontroller **A**rea **N**etwork. A CAN buszt az autóipar fejlesztette ki és gyakran használják kis kiterjedésű berendezésekben. Sokféle változata van, például CANopen, CANrho, CANKingdom. Más terepi buszrendszerek, például a DeviceNet is a CAN busz elvén működnek.

IO-Link

A terepi eszközökkel, érzékelőkkel és beavatkozókval való kommunikáció legújabb képviselője az IO-Link. Ez a szabvány (IEC 61131-9) az intelligens érzékelők és beavatkozók kommunikációs szabványa. Topológiáját tekintve kétpontos megoldás, egy mester és egy terepi eszköz közötti kommunikáció. A mester több, 1-8 terepi eszközzel tartja a kapcsolatot és rendelkezik, legalább egy ipari hálózati interfész-el, melyen keresztül kapcsolódik az integrált automatizálási rendszerhez.

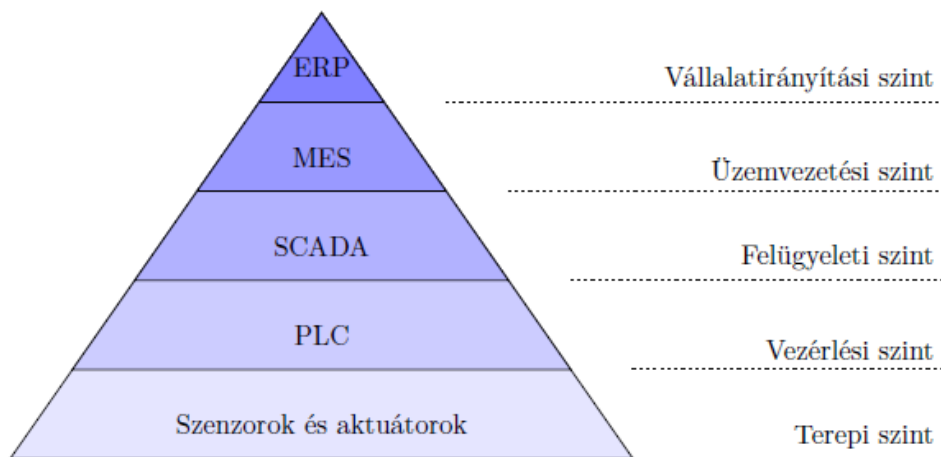


140. ábra: IO-Link kommunikációs rendszer

Forrás: <https://www.pierreguerin.de/news/37/io-link-sensors-a-network-of-the-future>
(2022.03.18.)

14 KAPCSOLAT A TERMELÉSIRÁNYÍTÁS (MES) ÉS A VEZÉRLÉSI RENDSZER KÖZÖTT

Ha megvizsgáljuk az ipari automatizálás szintjeit, látható egy hierarchikus rendszer struktúra, ahol minden szintnek megvan a maga feladata a termelésben. Ezek a szintek, bár jól definiálhatók, mégis az adott ipari helyzettől függően elmosódott határokkal rendelkeznek. Az egyes szintek feladatainak ellátására, a mechatronika fejlődésével az egyre több analóg és digitális adatátvitelre, illetve adatfeldolgozásra, speciális technológiákat dolgoztak ki.



141. ábra: Az ipari automatizálás szintjei, struktúrája

A **terepi szint** ebben a struktúrában a legalacsonyabb, itt helyezkednek el a folyamat érzékelő és beavatkozó elemei. A terepi szint legfontosabb feladata a szenzorok jelek és a beérkező vezérlőjelek továbbítása az aktuátorok felé. A perifériák lokális vezérlése, szabályozása, illetve egyes diagnosztikus és biztonságtechnikai funkciók megvalósítása is megjelenik ezen a szinten. A szenzorok és aktuátorok be- és kimeneti jelei alapján ezen a szinten zajlik a kommunikáció nagy része.

A **vezérlési szinten** a decentralizált perifériákat gyors kommunikációra alkalmas buszok kötik össze. Az ipari vezérlés, a PLC itt helyezkedik el és a szenzorok és aktuátorok globális

vezérlését, illetve szabályozását végzi. A PLC-k biztosítják a terepi szint elemeinek megfelelő működését és az ezekből érkező adatok feldolgozását, továbbítását.

A **felügyeleti szinten** helyezkednek el a felügyeleti rendszer - SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) és az ember – gép kapcsolat interfészei - HMI (Human-Machine Interface), amelyek a vezérlők kezelését, felügyeletét és a mért adatok tárolását, elemzését végzik. A SCADA rendszerek alkalmazásával valósíthatók meg a globális biztonságtechnikai és diagnosztikai funkciók, mint például az egyes vezérlők paramétereinek vizsgálata, a szenzoradatok elemzése és tárolása. A HMI rendszerek ezen adatok helyszíni megjelenítéséért és felhasználói szintű manipulálásáért felelnek.

Az **üzemvezetési szint** felel a felügyeleti szinten működő rendszerekből érkező adatok központi feldolgozásáért és az adatok alapján történő üzemszintű beavatkozásért. Ezen a szinten történik a gyártástervezés, a termelési, illetve gyártási adatok gyűjtése és üzemszintű elemzése. Az elemzések alapján történik a termelés minőségbiztosítása, ami főként a teljesítménymutatók vizsgálatára terjed ki. Ez lehet a selejtes termékek, vagy a meghibásodások közt átlagosan eltelt idő vizsgálata. Az ilyen jellegű feladatokat a gyártás végrehajtási rendszerek - MES (Manufacturing Execution Systems) végzik.

Az **vállalatirányítási szint** – ERP (Enterprise-Resource-Planning) áll a struktúra legtetején és a vállalati folyamatokért felel.

Az ERP segítségével automatizálható a vállalati cél értelmében a személyzet és az erőforrások kezelése, a működési és pénzügyi erőforrások, az anyaggazdálkodás és az infokommunikációs technológia időbeni és igény szerinti tervezése és ellenőrzése.

Látható, hogy a MES, mint üzemvezetési szint a hierarchiában a csúcs közelében van, közvetlenül kapcsolódik a felügyeleti szinttel és azon keresztül a vezérlési szinttel.

Egy iparvállalatnál a gyártás a vevői megrendelés és a kiszállítás-számlázás között helyezkedik el. A gyártásért annak végrehajtói felelnek, a tervezést végző mérnökség, az üzemeltetést ellátó művezetés és a gépkezelést végző operátori csapat. Egy megfelelően működő MES rendszerrel a feladatok döntően vagy nagyobb részt automatizáltak, a folyamatok követése digitalizált és informatikai megoldásokat használ.

A MES rendszer a következő feladatokban tud hatékonyan részt venni:

- megrendelések feldolgozása,
- erőforrások elosztása,
- készletgazdálkodás és anyagáramlás,
- gépi rendelkezésre állás optimalizálása,
- üzemzavarok feltérképezése,
- minőségbiztosítás felügyelete a munkafolyamat során,
- karbantartási stratégiák kidolgozása.

A MES tehát egy folyamat közeli rendszer, ami közvetlenül kapcsolódik a folyamat automatizálásához és valós időben teszi lehetővé a gyártási folyamatok irányítását, vezérlését és ellenőrzését. A vállalati struktúrában horizontálisan összekapcsolt eszközök hálózatában a MES a gyártási folyamatok és információk vertikális összekapcsolását jelenti és felel a gyártásvezérlésért és a megfelelő karbantartási stratégiák alkalmazásáért.

Forrás: <http://industry4.hu/hu/fogalomtar/mes-manufacturing-execution-system>
(2022.03.18.)

15 VALÓS IDEJŰ FOLYAMATIRÁNYÍTÁS ÉS VIZUALIZÁLÁS

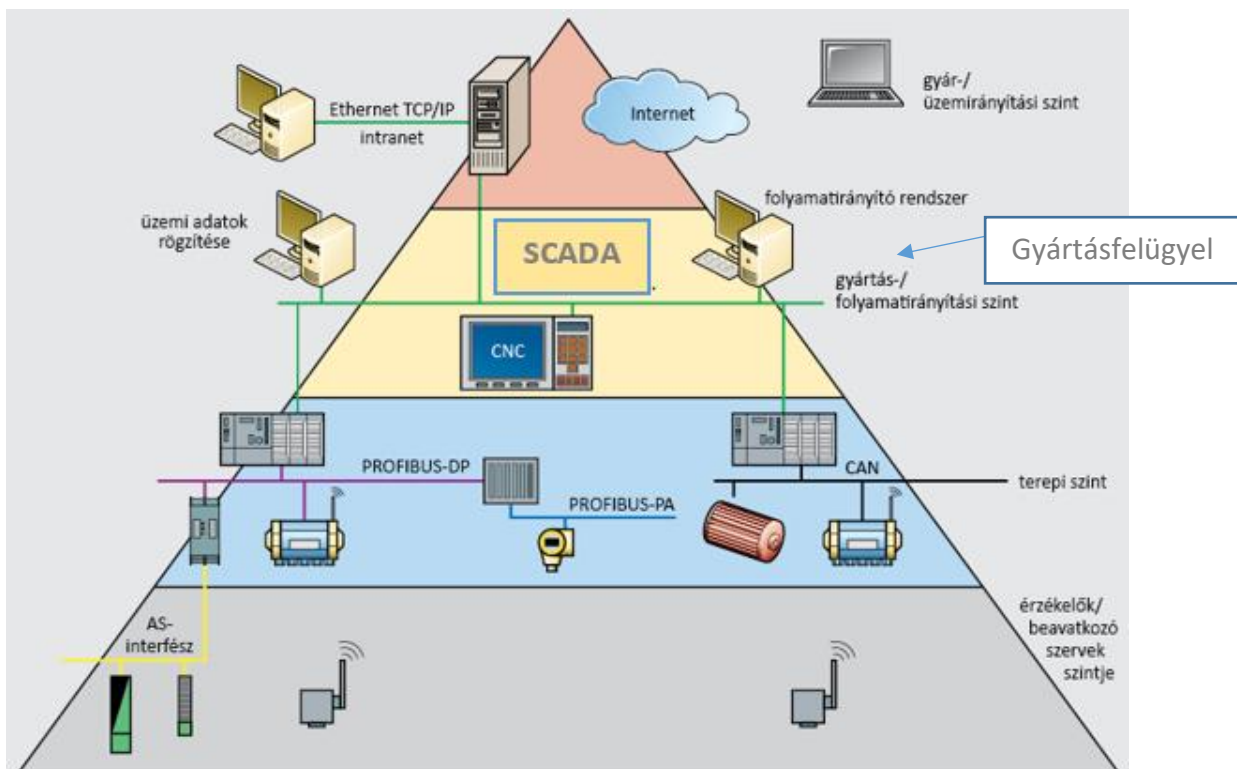
A valós idejű rendszerek az adatok fogadásával, feldolgozásával és az eredmények visszaküldésével szabályozzák a környezetet a berendezések állapotait. A „valós idejű” kifejezést a szimulációban is használjuk, ami azt jelenti, hogy a szimuláció időbeni lefolyása a valódi folyamat idejével egyenértékű.

A valós idejű informatika egyik alapja a valós idejű operációs rendszerek és valós idejű hálózatok alkalmazása.

A valós idejű feldolgozás olyan adatátvitellel foglalkozik, amelyet valós időben rögzítenek, és minimális késleltetéssel dolgoznak fel valós idejű (vagy közel valós idejű) riportok, vagy automatizált válaszok létrehozásához. Az ipari folyamatok vizualizációjának is ez az egyik feltétele.

Azok rendszereket melyek lehetővé teszik az ipari folyamatok valós idejű vizualizációját, adatgyűjtést és a beavatkozást egy vizuális felületen, SCADA rendszereknek nevezzük (Supervisory Control And Data Acquisition). A SCADA egy olyan gyártásfelügyeleti rendszer, amely vizuális elemeken keresztül mutatja meg egy-egy ipari folyamat állapotát.

Amennyiben el akarjuk helyezni a SCADA rendszert az automatizálási hierarchiában, akkor a MES üzemvezetés és a főleg PLC által definiált vezérlési szint között van.



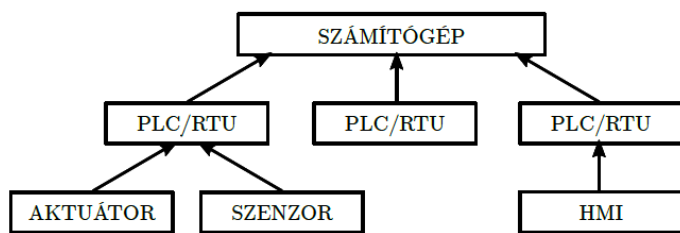
142. ábra: A SCADA helye az automatizálási hierarchiában

A valós idejű folyamatirányítás eléréséhez a gyártásfelügyelet alatt levő szinteknek is bizonyos feltételeket kell teljesíteniük.

- Az érzékelők/beavatkozó szervek szintjén, a rendszer válaszüjének ismerete.
- A válaszüjők kiszámíthatósága. Ehhez ismerni kell a válaszüjöt befolyásoló minden összetevő időbeli viselkedését. Ez különösen vonatkozik a buszrendszerekre és a PLC vezérlők programjaira. A buszrendszerek egy része determinisztikus, azaz kiszámítható időbeli viselkedésű, ugyanakkor vannak nem determinisztikus buszrendszerek is, amelyek ciklusideje nem számítható ki.
- A terepbusz rendszer mellett sok más összetevő is befolyásolja a válaszüjöt, ezért fontos, hogy a busz ciklusideje kiszámítható legyen.

A gyártásfelügyeleti SCADA rendszer, tehát nem egy teljes körű szabályozási rendszer, hanem inkább a felügyeleti feladatok ellátására összpontosít. Ennek alapján nagyrészt szoftveresen van kialakítva és csatlakozik egy valóságos hardverhez, ami általában valamilyen ipari vezérlő, mint például egy PLC. Egy SCADA rendszer általában az 133. ábrán is látható fő elemekből épül fel.

- felügyeleti külső számítógép,
- ipari vezérlő (PLC),
- távoli hozzáférést biztosító egység (RTU),
- kommunikációs infrastruktúra,
- Human Machine Interface (HMI),
- analóg és digitális szenzorok,
- analóg és digitális aktuátorok.



143. ábra: A SCADA rendszerek egyszerűsített felépítése

A külső számítógép a SCADA rendszer központi eleme, amely adatokat gyűjt a folyamatról, vezérlőparancsokat küld a terepi szinten csatlakoztatott eszközöknek. A számítógép felelős továbbá az ipari vezérlőkkel és távoli hozzáférést biztosító egységekkel való kommunikációért és tartalmazza a munkaállomásokon futó HMI szoftvert is.

A PLC-k végzik a központi jelfeldolgozást mind a szenzoroktól beérkező, mind az aktuátorokhoz kimenő jelek esetében. A vezérlők hálózatba vannak kötve a felügyeleti számítógéppel általában TCP/IP alapú kommunikáció révén. A vezérlők mellett opcionálisan alkalmazhatunk RTU-kat (Remote Terminal Unit) is, amelyek távoli hozzáférést biztosítanak a felügyeleti számítógéphez a hálózati kapcsolat alapján. Az ember-gép interfész (HMI) a felügyeleti rendszer kezelői ablaka. Az üzemi információkat grafikusán mutatja be a kezelő személyzetnek diagramok, riasztási és eseménynaplózó oldalak formájában. A HMI össze van kötve a SCADA felügyeleti számítógéppel, hogy élő adatokat biztosítson a diagramok, riasztási kijelzők és grafikonok megjelenítéséhez. Sok esetben a HMI csupán egy szoftveres grafikus felhasználói felület, amely a kezelő számára összegyűjti az összes adatot a külső eszközökről, jelentéseket készít, riasztást végez és értesítéseket küld.

A kommunikációs infrastruktúra segítségével csatlakoztathatjuk a PLC-ket vagy RTU-kat a felügyeleti számítógéphez. A kommunikáció különféle ipari szabványokon vagy akár a gyártó által készített protokollokon alapulhat. A legelterjedtebb kommunikációs protokoll az ipari ethernet kapcsolat. A vezérlők a felügyeleti számítógéptől függetlenül, autonóm módon működnek, így a kommunikációs hálózat meghibásodása nem feltétlenül állítja le

az üzemi folyamatszabályozást. A kommunikáció újraindulásakor az üzemeltető folytathatja a felügyeletet és az ellenőrzést.

A SCADA rendszer struktúrájuk szerint a hibrid rendszernek számít, mivel tartalmaz analóg technológiai eszközöket (mérő, végrehajtó eszközök stb.), számítógépes rendszereket, valamint a rajtuk futó szoftvereket is.

A SCADA alkalmazása az alábbi előnyöket biztosítja:

- erőforrások gazdaságos kihasználása, alacsony selejtgyártási százalék,
- gyártási paraméterek optimalizálása, gyártási minőség javítása,
- technológiai eszközök állapotának folyamatos követése, szükség esetén riasztások generálása,
- hatékony hibadiagnosztika és leállási idő minimalizálás,
- átlátható termelési struktúra, optimális termeléstervezés és készletkezelés,
- flexibilis gyártás, gyors alkalmazkodás a piaci igényekhez.

Mindezek az előnyök abból adódnak, hogy folyamatos és valós idejű betekintést ad a rendszer a gyártási folyamat egészére és az abban résztvevő technológiákra és paraméterekre. A hatékonysága akkor érhető el, ha az alsóbb szinten levő eszközök is kellően intelligensek és korszerűek (érezkelők, aktuátorok, vezérlők és szabályozók, HMI).

16 HMI MEGOLDÁSOK BEMUTATÁSA

16.1 HMI ALKALMAZÁSA A BERENDEZÉSEK KEZELÉSÉHEZ, FELÜGYELETÉHEZ

A HMI (Human Machine Interface) az ember és a gép közötti kapcsolat megteremtésére szolgáló eszköz általános megnevezése. A HMI megfelelő kialakítása elengedhetetlen ahhoz, hogy a géppel történő „kommunikációnk” kellően fejlett és biztonságos legyen.

A HMI gyakran egy olyan képernyőre, kezelőfelületre utal, amely információkat, adatokat és mérőszámokat közöl grafikusán, vagy az adatok vizuális megjelenítése révén.

A képernyőt az ember működteti, aki ezáltal a legegyszerűbb berendezés irányítási feladatoktól a komplexebb üzemi – technológiai vezérlésesekig felügyeli a folyamatokat és döntéseket hoz.

A HMI tehát egy olyan eszköz, amellyel az ember a géppel kapcsolatba lép.

Az emberi gép interfész egyik legelterjedtebb példája a számítógép billentyűzet és az érintőképernyő.

Ezek az eszközök lehetővé teszik az ember számára a számítógépes programok elérését és használatát, vagy a mai korszerű okos telefonok esetében az adatok megszerzését, továbbítását.

A termelésben és a technológiában ma már az ember-gép interfészek a folyamatok részegységei, nem csak irányítási feladatokhoz használjuk, hanem statisztikai feladatokhoz, a kiterjesztett valóság megjelenítéséhez, vagy akár a preventív és prediktív karbantartásban.

Számtalan felhasználási területük van még, említhetjük pl. a gépjárműtechnikát, háztartási gépek üzemeltetését, otthoni riasztórendszer panelek. Lényegében a HMI-k segítenek, hogy az ember, mint kezelő biztonságosan működtesse a gépi folyamatokat, egyszerűbben végezhesse el a keletkező problémák/hibák azonosítását.

Forrás: <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>
(2022.03.18.)



144. ábra: Egy HMI alkalmazás

Forrás:

[https://www.automationdirect.com/adc/overview/catalog/hmi_\(human_machine_interface\)](https://www.automationdirect.com/adc/overview/catalog/hmi_(human_machine_interface)) (2022.03.18.)

16.2 HMI SZOFTVERHÁTTÉR

A HMI-k integrált szoftverrel rendelkeznek, amely lehetővé teszi az üzemeltetőnek a képernyőn megjelenő információk értelmezését és kezelését. A szoftver elengedhetetlen a parancsok végrehajtásához, a gépek vezérléséhez, valamint a gyártási folyamatok kézben tartásához.

A kezelők grafikus felhasználói felületen keresztül lépnek kapcsolatba ezekkel a folyamatokkal és gépekkel.

A grafikus felhasználói felület egy vizuális információs rendszer, amely a HMI-vel képes kommunikálni emberi-felügyelői és gépi szinten egyaránt.

Segítségével diagramok, fotók, grafikák, vagy akár kapcsolási rajzok formájában kapunk információt a géptől.

A HMI-szoftver több hálózaton is tud kommunikálni, és biztosítja a kezelő számára a folyamatok és gépek vezérlését különböző helyeken.

Az ipar által is preferált korszerű adatgyűjtő és felügyeleti rendszereknél, mint a SCADA rendszerek a HMI eszköz elengedhetetlen. A gépet felügyelő számára egy adott vezérlőponton keresztül távoli felügyeleti és vezérlési lehetőséget ad.

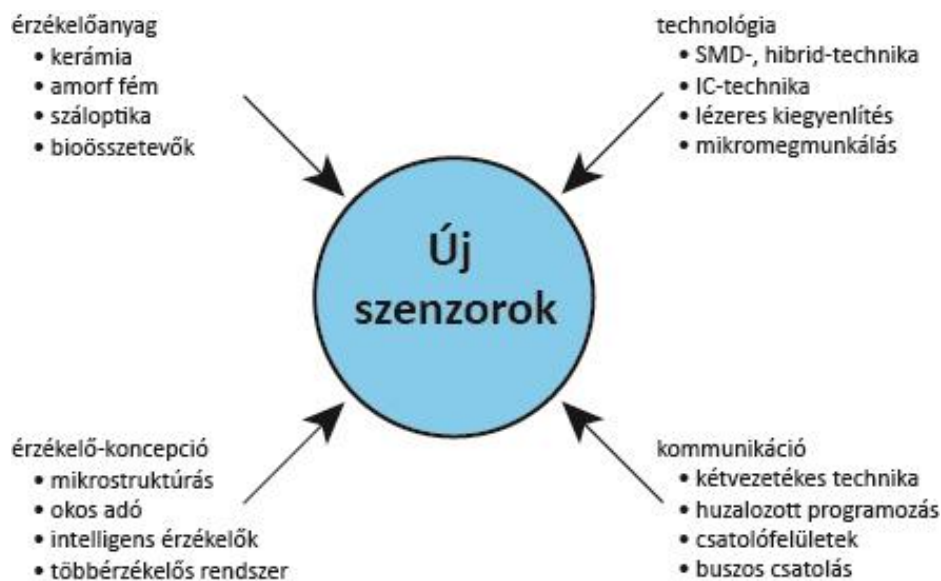
17 INTELLIGENS SZENZOROK, SENZORINTEGRÁCIÓ

Integrált szenzorrendszerek

Korszerű érzékelő rendszerekben az érzékelőelem (jelátalakító) és a jelfeldolgozó rész nagyon kis helyet igényel. Összeépítésük költséghatékony és optimális működést eredményez. Az integrált áramkörökkel kapcsolatos technológiák és tapasztalatok szinte maradéktalanul hasznosíthatók az szenzortechnikában is. Előtérbe kerültek azok a megoldások, melyeknél több hasonló, vagy akár különböző szenzor, vagy szenzorelem közösen oldja meg a komplex feladatot.

A jövőben a jeladó elemek és a beavatkozó szervek integrálása egyre szélesebb körben kerül alkalmazásra, hiszen erre már most is vannak elterjedt megoldások, mint például analóg úttávadókkal egybeépített lineáris hajtások, vagy forgó jeladókkal konfigurált forgó mozgású kinematikák.

Léteznek mikroelektronikával működő mechanikus elemek, például tintasugár fúvókák, kapcsolók, sőt miniatűr motorok és hajtóművek.



145. ábra: Új szenzortechnikai irányok

Előrejelzés

Csak idő kérdése, hogy mikor jelennek meg az egy szilícium, gallium – arzénid, vagy más anyagú félvezetőlapkára épített integrált érzékelők.

Érdekes fejlemény az enzimek, mikrobák és sejtek érzékelőelemként való használata „bio érzékelőkben”.

Buszos csatolás érzékelőknél

Gyártásautomatizálási rendszerekben, amelyek összetettsége folyamatosan nő, a tendencia egyre inkább a decentralizált rendszerek irányába mutat. Ez megnöveli a kommunikációs igényt minden szinten, a legalsó terepi szintig bezárólag, ahol az érzékelők működnek. Mivel a terepi összetevők (érezkelők, végrehajtóelemek, multiplexerek stb.) egyre inkább digitális mikroelektronikával működnek, kézenfekvő, hogy busz interfészt kell, hogy kapjanak. Ez több előnnyel is jár. Egyrészt a berendezés áttekinthetőbb, mint az összetevők csillag topológiájú egyenkénti bekábelezése esetén, és rugalmasabb, mert nagyobb ráfordítás nélkül bővíthető vagy módosítható. Másrészt a kétirányú buszrendszeren további információk vihetők át, például konfiguráló és inicializáló utasítások, paraméter-adatok, állapot és hibajelzések. Ez lehetővé teszi a

jelenleg központi funkciók (pl. jel előfeldolgozás, linearizálás, hő kompenzálás, középértékképzés, analóg-digitális átalakítás) helyszíni elvégzését, az érzékelőkben. Nem elhanyagolható a kábel megtakarítás sem.

Ezek az előnyök és a terepi buszrendszerek szabványosítása a közeljövőben az egyszerűbb érzékelők, közelítéskapcsolók és úradók, busz - interfésszel való elérhetőséghez vezetnek.

A gyártásban alkalmazott legújabb elektronikai megoldások a közelítéskapcsolókban is teret nyernek. A hagyományos nyomtatott áramköröket egyre inkább SMD-, hibrid- és IC-áramkörök váltják fel. Az áramkörök bonyolultsága és megbízhatósága a előbb felsorolt sorrendben nő. Míg korábban a közelítéskapcsolókban a helyhiány miatt csak kevés alkatrészrel működő egyszerű áramköröket lehetett elhelyezni, ma már pár milliméter él hosszúságú készen kapható, vagy egyedi integrált áramkörökbe több száz, vagy ezer tranzisztor is beleszűfolható. Az SMD és a hibrid technikát ma már széles körben alkalmazzák az érzékelők gyártásában. Szintén évek óta kaphatók például induktív közelségi kapcsolókhoz kereskedelmi IC-k, amelyek az oszcillátoron kívül a jelkiértékelőt és a kapcsolójellé átalakítót is tartalmazzák. Ezek az IC-k számos kiegészítő funkciót is tartalmaznak, például feszültség szabályozást, indítási impulzus elnyomást, rövidzár túlterhelés-érzékelést és kezelést, ami egyszerűbbé teszi kiváló minőségű érzékelők tervezését. Egyéni igények szerint testre szabott IC-k induktív közelítéskapcsolókban való használata azonban még gyerekcipőben jár.

Intelligens érzékelők

A paraméterezhető érzékelőkkel szemben, amelyek vezérléssel illeszthetők környezetükhöz, léteznek „intelligens” érzékelők is. Ezek az úgynevezett „öntanuló” érzékelők tárolni tudják a visszhangképet a bekapcsoláskor vagy a tanulási folyamat aktiválásakor. Az ultrahangos szenzorok esetében például a tanulás befejeztével a vett visszhangokat összehasonlítják a tároltakkal. Ezzel ki tudják szűrni az észlelési

tartományban levő zavaró tárgyakat. Az érzékelő csak a tárolttól eltérő visszhangokra reagál.

Egy példa:

A kifejezetten a töltöttségi szint mérésére készült ultrahangos érzékelők kimérik és elmentik az üres tartály és beépített szerkezetei (keverő, fűtőkígyók, létrák stb.) visszhangprofilját. A töltöttségi szint mérésakor ehhez a profilhoz hasonlítják a mért visszhangot. Csak a profiltól eltérő jeleket értékelik ki. A szórványos zavaró visszhangokat hihetőségi ellenőrzéssel szűrik ki.

A jövőben a vezeték nélküli kommunikáció fogja jellemezni a szenzortechnológiát is.

Az intelligens, vezeték nélküli érzékelők képesek hozzájárulni a termelésben megkívánt rugalmassághoz és alkalmazkodáshoz a változó környezethez. A szenzorok olyan információk közvetítésére lesznek alkalmasak, amelyek értelmezik is az adatokat és továbbítják azokat a hálózatba kötött fölérendelt rendszerek felé.

Mindez hozzájárul a prediktív, előrejelző karbantartási stratégia megvalósításához is.



146. ábra: Autópálya forgalmi adatok megosztása vezeték nélküli szenzorok jeleinek számítógépes feldolgozásával

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/vezet%C3%A9k-n%C3%A9lk%C3%BCli-szenzor.html?offset=100&filter=all&qview=156438582>
(2022.03.18.)

18 INTERAKTÍV WEB ALAPÚ ADATMEGJELENÍTŐ RENDSZEREK ÉS KOMMUNIKÁCIÓS PLATFORMOK

18.1 ALAPOK

A web alapú adatmegjelenítés alapja, hogy egy berendezés rendelkezzen azzal a platformmal, amelyik segítségével az adatok, eljárások, felügyeleti modulok és keletkező hibák egy berendezés esetében az interneten keresztül megjeleníthetők, lekérdezhetőek és a beavatkozás lehetősége is adott.

A webszerver technológia képezi ma is az internet működési alapját. Minden webszerver, a mindennapokban használt webhelyek egy nagyon egyszerű kétparancsos protokoll, az úgynevezett http (HyperText Transfer Protocol) révén érhetők el.

Amikor beírunk egy URL-t, vagy másképp egy webcímet, vagy egy hivatkozásra kattintunk, elérjük a kívánt információs tartalmat.

Az URL (Uniform Resource Locator) az interneten meglévő erőforrások szabványosított címe.

A HTTP mögött megjelenő ötlet lényege, hogy egy kliens eszközön létrehozunk egy kérést, bizonyos információk lekérdezésére és azt megküldjük egy webszervernek az IP cím, vagy a webhely nevének a használatával.

Az interneten tehát a mi böngészőnk egy web kliens, amely megfogalmaz kéréseket és ezekre a kérésekre a webhelyet tároló számítógép válaszol.

Minden alkalommal, amikor rákattintunk egy hivatkozásra, egy másik fájl kerül átvitelre a webszerverről a böngészőnkbe. Az internetes kommunikációban ez a fájl HTML-ben van, amely tartalmazza a forrástartalmat és a formázási parancsokat, amelyek megmondják, hogy a weboldal egyes részeit hol kell elhelyezni a képernyőn, és hogyan kell formázni.

Ez a leegyszerűsített eljárása az internet informatikai folyamatának.

18.2 IPARI FOLYAMATOK MEGJELENÍTÉSE WEBSZERVEREN KERESZTÜL

Amennyiben a webszerver technológiát az ipari eszközök folyamatainak és adatainak a megjelenítésére akarjuk használni, az eljárás hasonló. Az ipari berendezést el kell látni olyan adatközlő rendszerrel, amely hasonlóan, az internetes felületen keresztül biztosítja a berendezés információit.

Ehhez az ipari berendezésen is kell egy eszköz, amelyik „látja” a berendezést. Ez lehet a PLC, hiszen a vezérlés látja a szenzorok, bemenetek állapotát és utasítja az aktuátorokat adott munkaműveletek végrehajtására a kimenetek kapcsolásával. A PLC önmagában nem tárol webhelyeket, elsősorban terepi busz rendszerrel kommunikál, mint a Modbus TCP, EtherNet/IP és PROFINET IO és egyéb hálózatok. Az ipari PLC-t tehát webszerverrel kell felszerelni annak érdekében, hogy egy távoli helyről is elérjük a berendezés információit.



147. ábra: PLC webszerver megoldás

Forrás:

<https://www.google.com/search?q=PLC%20webszerver&tbm=isch&hl=en&tbs=rim:QCQ VuDrcOsZJYXpKmOhOM4desgIMCgIIABAAOgQIABAA&sa=X&ved=0CCAQuIIBahcKEwjQrY3 0g-v1AhUAAAAAHQAAAAAQw&biw=1583&bih=757#imgcr=7wM4c1WyEf6SPM>
(2022.03.18.)

Erre azért lehet szükségünk, mert amint kilépünk a berendezés közvetlen információs környezetéből a felügyeleti és beavatkozási lehetőségeink lecsökkennek.

Ma már az információs technológia lett az elsődleges összekötő csatorna a termelőüzem és a menedzsment funkció között. Nem csak a termelési adatok, tervek és minőségi mutatók, hanem a karbantartás és diagnosztika is aktiválható ezen a struktúrán keresztül.

A gépvezérlés webszerverrel történő összekapcsolása lehetőséget ad a gyártásautomatizálási adatok megjelenítésére akár tableten, vagy okos telefonon. Az adatok hozzáférését pedig korlátozhatjuk az egyénileg beállítható felhasználói lista segítségével.

Az eljárás része az IoT koncepciónak, ahol a termelési eszközök képesek egymás között kétirányú kommunikációt folytatni, a működés során keletkező adatokat képesek megosztani netes adatbázisok, vagy felhőalapú rendszerek révén.

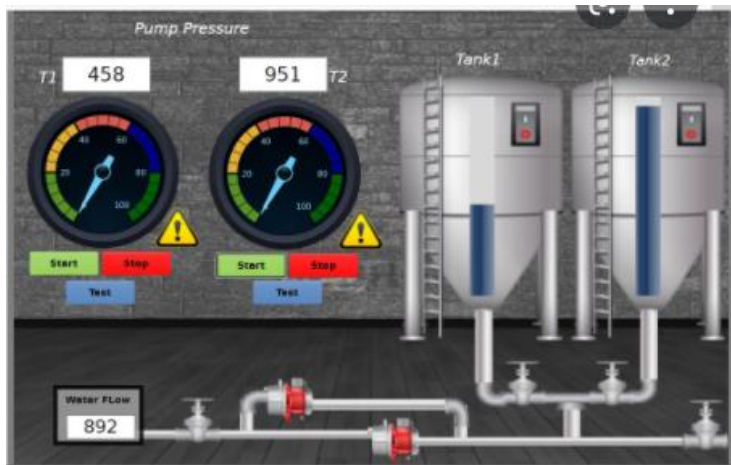
Gyakran egy leállt berendezés csak kisebb beavatkozást igényel a munkaműveletek folytatásához paraméterek beállításával, vagy a vezérlőprogramban történő beavatkozással.

Ezekben az esetekben a szakember helyszíni jelenléte nem mindig szükséges, távfelügyelettel is megoldhatjuk a feladatot.

Egy PLC eszköz webszerverrel kiegészítve biztosítja a hozzáférést a gép vezérlőrendszeréhez és működési paramétereire. Mindez lehetőséget ad, hogy a gép állapotát web böngészőn keresztül figyeljük, ellenőrizzük a statisztikai adatokat és beavatkozzunk a vezérlőprogramba, módosítsuk a paramétereit.

Alább néhány példa, amiket az interaktív web alapú kommunikáció biztosít:

- valós idejű adatgyűjtés és adatelemzés,
- távfelügyeleti lehetőség a berendezés üzemeltetéséhez,
- PLC vezérlésbe történő beavatkozás lehetősége,
- figyelmeztető üzenetek azonnali küldése akár email és SMS, vagy egyéb szöveges formában a technológiai működés során,
- távoli segítség a gépkezelőknek a keletkező kisebb problémák elhárításához,
- megelőző karbantartási feladatok megoldása,
- webszerver elérése Ethernet, Wifi és mobilhálózat segítségével,
- kommunikációs kapcsolat helyi üzembe helyezéshez és távműködtetéshez, távfelügyelet és riasztás,
- kapcsolt a MES gyártásvezérléssel.



148. ábra: Paraméterek megjelenítése a webszerver adatai alapján egy vizualizált felületen

Forrás:

https://www.google.com/search?q=PLC%20webszerver&tbm=isch&hl=en&tbs=rimg:Cfw p07tO-DkUYbBjvawmEbx2sgIMCgIIABAAOgQIABAA&sa=X&ved=0CB0QuIBahcKEwilK8T9hev1Ah UAAAAHQAAAAQKA&biw=1583&bih=757#imgrc=mznflmgcnOKxUM&imgdii=PQnKFxlx UOS_iM (2022.03.18.)

Az ipari automatizálásban, a mechatronikai rendszereknél a hatékony üzemeltetés és diagnosztika szempontjából nagy a jelentősége a távfelügyeleti megoldásoknak az automatizálással foglalkozó szakemberek részére. Így megnő a gépek rendelkezésre állási ideje, hatékonyan csökkenthetőek az állásidők és az üzemeltetési költségek.

19 PLC PROGRAMOZÁS MAGAS SZINTŰ PROGRAMNYELVEKEN

Az SFC (Sequential Function Chart) programnyelv bemutatása.

Az IEC 61131-3 szabvány által meghatározott programnyelvek közül a sorrendi folyamatábra-SFC, a szabvány egy szöveges nyelve, amelyik komplex programozási lehetőséget nyújt és moduláris szerkezetű. Ezen a programnyelven áttekinthető

struktúrájú és könnyen tesztelhető PLC programot lehet létrehozni. Az SFC programozás lehetőséget ad arra, hogy a komplexebb, összetettebb programokat felbontsuk kisebb, könnyebben kezelhető programmodulokra. A párhuzamos és soros folyamatok vezérlése egyaránt megtervezhető a sorrendi folyamatábra segítségével. Az SFC nyelven megírt programegységek futását a program által definiált statikus és dinamikus feltételek -az I/O felület viselkedését is tartalmazzák- egyaránt meghatározzák.

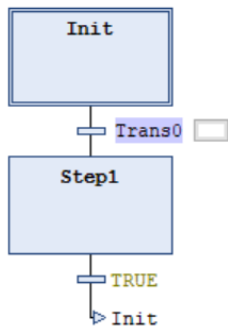
Jól alkalmazható ismétlődő műveletekhez és egymáshoz kapcsolódó folyamatok esetén is. A végfelhasználó számára is könnyen követhető a folyamat (hibadetektálás). Egyéb nyelvekre automatizáltan nem fordítható le.

Az SFC a sorrendi vezérlés egy hálózati struktúrájú grafikus programnyelve.

Az SFC nyelvben egy program egység egy lépésnek tekinthető, amit téglalap jelöl. A megírt program célja, hogy meghatározzuk az egyes programegységek végrehajtásának sorrendjét és szerkezetét. A végrehajtás sorrendjét grafikus szimbólumokkal írjuk le és az alábbi jelöléseket használjuk:

- **Init** – inicializáló lépés,
- **Step** – normál programegység, mely a szimbólumon belül a lépés nevét tartalmazza és tetszőleges nyelven megfogalmazható, utasításokat tartalmaz,
- **Trans** – kilépési feltétel, amit vízszintes vonallal jelölünk. A program akkor lép a következő lépésre, ha a (BOOLE) feltétel igaz (TRUE),
- **Action** – az utasítás addig hajtódik végre, amíg aktív,
- Action speciális funkciói:
 - Entry / Exit Action**
 - Qualifier** (minősítők)

Az **Init** inicializáló lépést a **Step1** programlépés követi, ami egy programegységet jelent.

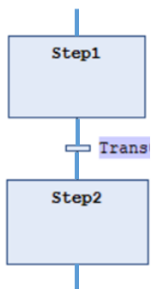


149. ábra: Init és Step programlépések

Property	Value
Common	
Name	Init
Comment	
Symbol	
Specific	
Initial step	<input checked="" type="checkbox"/>
Times	
Minimal active	
Maximal active	
Actions	
Step active	
Step entry	
Step exit	

150. ábra: Init és Step programlépések

Két egymást követő lépés **sorrendi végrehajtását** az 151. ábra szerint írhatjuk le.



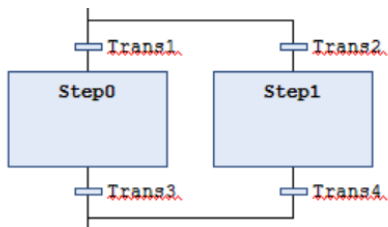
151. ábra: Egymást követő sorrendi végrehajtás

A **Step1** végrehajtását követően a **Step2** akkor hajtódik végre, ha a kilépési (BOOL) feltétel igaz (TRUE).

Alternatív elágazás

Jelölése vízszintes vonal. A program azon az ágon fut, amelyiken a belépési feltétel teljesült.

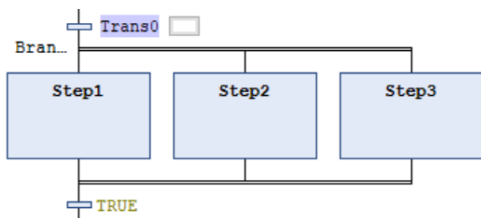
Ha egyszerre több ágon is teljesül a feltétel, akkor a bal oldali ág lesz aktív (konvenció).



152. ábra: Alternatív elágazás

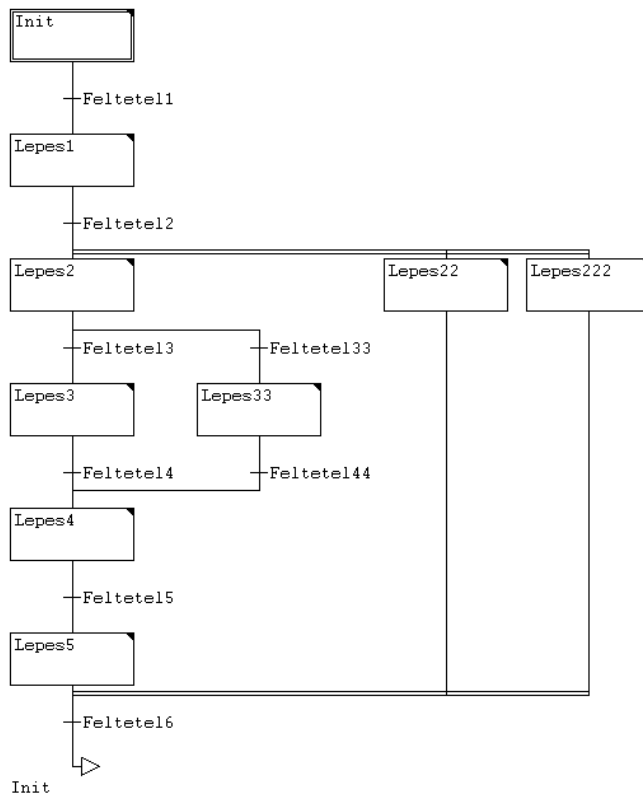
Párhuzamos elágazás

Jelölése dupla vízszintes vonal. A párhuzamos ágak mindegyike aktív és párhuzamos ágak a találkozásnál bevárják egymást. A végrehajtás akkor következik be, ha mindegyik lépés teljesül.



153. ábra: Párhuzamos elágazás

Miután a párhuzamos ágak a találkozásnál bevárják egymást, továbblépés csak akkor, ha az összes párhuzamos ág futása befejeződött.



154. ábra: Elágazások

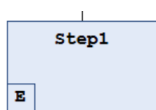
Az **Ugró utasítások**, sem párhuzamos ágakból kifelé, sem befelé nem engedélyezett.

A **Hurkok** SFC programozási nyelvben kerülendő (végtelen ciklus).

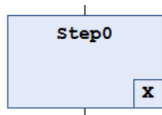
A **Belépési utasítás**, az adott lépésbe lépve végrehajtódik.

A **Kilépési utasítás**, az adott lépésből kilépve hajtódik végre.

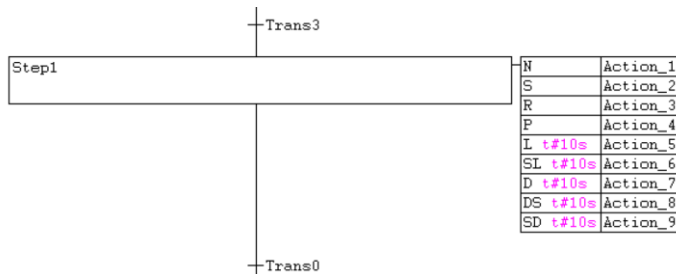
A **Minősítő (Qualifier)** IEC – SFC bővített programozási nyelv esetén engedélyezett



155. ábra: Belépési utasítás



156. ábra: Kilépési utasítás



157. ábra: Minősítők

N - Nem tárolt minősítő. Amíg a lépés aktív, addig fut az akció.

S - Tárolt minősítő. Az akciót tároltan indítja, ami a lépés után is aktív marad.

R - Tárolt akció leállítása.

P - Az akció csak a lépés aktívvá válásakor és deaktiválásakor fut le. Az akciók a minősítő aktiválódásakor és deaktiválódásakor is lefutnak. Így minden minősítő legalább kétszer aktivál egy akciót. Ez leginkább a P minősítőnél érdekes.

L - Időkorláttal végrehajtott akció. Az idő lejárt, vagy a lépésből való kilépés után az akció véget ér, attól függően, melyik következik be előbb.

SL - Tárolt limitált minősítő. A lépésből való kilépés után is fut még az akció, de egy bizonyos idő lejárt, vagy leállító (R) utasítás után automatikusan leáll.

D - Akció késleltetett indítású, de a lépés végével az akció is véget ér. Ha a késleltetés lejárt előtt vége lesz az adott lépésnek, akkor az akció sosem lesz aktív.

DS - Késleltetve tárolt minősítő. Ha a késleltetés a lépésből való kilépés után jár le, akkor nem fog elindulni az akció, viszont, ha az aktív lépés alatt jár le a késleltetés, akkor az akció tárolódik (S).

SD - Tárolva késleltetett akció. Az akció tárolódik, de csak késleltetve indul el. Ennek köszönhetően, ha a lépés előbb véget ér, mint a késleltetés, akkor is aktiválódni fog az akció.

SFC program Step állapot lekérdezések

Step érvényességének (aktivitásának lekérdezése): STEP0.x

Step aktiválásának kezdete óta eltelt idő: STEP0.t

Az SFC programnyelv tehát sok lehetőséget tartalmaz egy PLC program kellően strukturált megírásához, szerkezete szemléletes és áttekinthető.

20 ALKALMAZÁSI PÉLDÁK AZ AUTOMATIZÁLÁS TECHNIKA TÉMAKÖRÉBEN

20.1 PICK&PLACE ROBOTCELLA



158. ábra: P&P robotcella SCARA robottal



159. ábra: P&P robotcella SCARA robottal 2.

A robotcellában egy SCARA rendszerű robot alkatrészeket tölt tégelyekbe. A robot két konvektor között mozog, az egyikén jönnek az alkatrészek, a másik konvektor a tégelyek adagolását végzi. A munkadarabokat szállító konvektort frekvenciaváltós villamos hajtás működteti, a frekvenciaváltóval be lehet állítani a szállítópálya sebességét, ami ciklus közben is változtatható. A robot szinkronizálja a mozgását a szállítópálya sebességéhez. A feltöltött tégelyeket a robotcellában kiépített pneumatikus manipulátor palettázza.

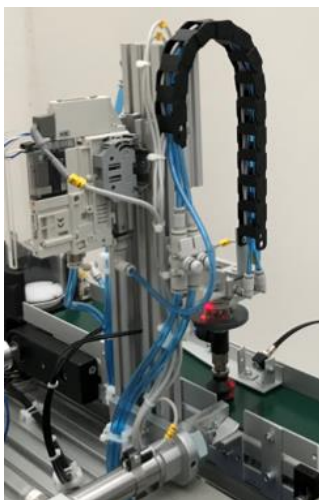
Alkalmazott mechatronikai tartalom:

- programozható optikai szálak a munkadarabok azonosításához,
- munkatér figyelés optikai jeladókkal,
- energiatakarékos vákuum ejektor a levegőfogyasztás csökkentése érdekében,
- integrált elektropneumatikus szeleprendszer-szelepsziget a pneumatikus manipulátor tengelyeinek működtetéséhez,
- moduláris PLC, amelyik a perifériákat és a robotot vezérli.

20.2 ALKATRÉSZ VIZSGÁLÓ MANIPULÁTOR

A berendezés különböző geometriájú munkadarabokat vizsgál. A munkadarabok egy ejtő táras adagolóból érkeznek és a konvektor munkatérébe, majd egy pneumatikus hajtású sorompónál pozícióba kerülnek. Az egyes munkadarabokat és pneumatikus két szabadságfokú manipulációs egység megemeli és elforgatja 270 fokos szögben az optikai

szálak között. Az optikai szálak a munkadarab geometriáról adatot közölnek, mely adatok a PLC regiszterébe kerülnek. Az állapot és munkadarab geometriát figyelő szenzorok jeleit IO-Link gyűjti. A munkadarabok megfogása vákuummal történik, a vákuum ejektorba beépített vákuumszenzor folyamatosan figyeli a vákuumértéket és csak akkor kapcsol a vákuum ejektor, ha a vákuumérték egy adott érték alá csökken.



160. ábra: Vizsgáló egység



161. ábra: Vizsgáló egység 2.



162. ábra: Vizsgáló egység 3.

Alkalmazott mechatronikai tartalom:

- programozható optikai szálak a munkadarabok azonosításához,
- IO-Link szenzorok jeleinek adatgyűjtéséhez,
- energiatakarékos vákuum ejektor a levegőfogyasztás csökkentése érdekében,
- integrált elektropneumatikus szeleprendszer-szelepsziget a pneumatikus hajtómű működtetéséhez,
- PLC vezérlés.

21 ALKALMAZÁSI PÉLDÁK AZ I4.0 TÉMAKÖRÉBEN

21.1 HIDRAULIKUS SZELEPEK ÖSSZESZERELÉSÉT VÉGZŐ MULTI-GYÁRTÓSOR



163. ábra: Multi-gyártósor

A gyártósor az I4.0 koncepció bevezetésével jelentős eredményeket ért el a raktárkészlet gazdálkodásban, az előkészítési és termelési idők lecsökkentésében. Összességében a teljesítmény növekedés 20%-os, az átszerelési idő pedig nullára csökkent.

Mindezt az alábbi, a digitalizált gyártást támogató elemekkel érte el:

- pontos termékazonosítás RFID-n keresztül,
- a munkautasítások szinkronizálása,
- egyedi összeszerelési lépések kialakítása,
- rugalmas, autonóm munkaállomások fejlesztése, virtuális munkaállomások konfigurálása,

- a gyártásfelügyelet és a termék állapotfigyelése valós időben az „Active Cockpit” vizualizációs felületen.

21.2 CYTROPAC – INTELLIGENS HIDRAULIKUS TÁPEGYSÉG

A CytroPac tápegység egy integrált hidraulikus rendszer, amelyik kis helyigénnyel rendelkezik, maximális teljesítményt biztosít, miközben rugalmasan igazodik a szükséges hidraulikus energiaigényhez és folyamatos adatszolgáltatást biztosít a működésről.

A hidraulikus tápegység IPAR 4.0 kompatibilis, integrált frekvenciaváltóval és Multi-Ethernet csatlakozással rendelkezik (Sercos, EtherCAT, EtherNet/IP, PROFINET RT, VARAN).



164. ábra: *CytroPac tápegység*

Az alábbi digitalizált lehetőségekkel rendelkezik:

- paraméter beállítás webes felületen, vagy Etherneten keresztül,
- személyzetnek nincs szüksége mélyebb hidraulika ismeretekre az üzemeltetéshez,
- integrált érzékelők gyűjtik az elemek és a folyadék működési paramétereit,
- üzemi adatok biztosítása az adatok intelligens elemzéséhez és a kopások észleléséhez,

- magasabb üzemidő elérése az állapotfigyelés és az előrejelző karbantartás alapján,
- változtatható fordulatszámú szivattyú akár 80 százalékos energia megtakarítást eredményez,
- frekvenciaváltó, mint érzékelő csomópont minden mért adatot valós időben továbbít a gép vezérlésébe,
- hozzáférés Etherneten, vagy webes interfészen keresztül a paraméterek megváltoztatásához.

22 BIZTONSÁGTECHNIKAI ISMERETEK ÉS ELEMELK 14.0 RENDSZEREKHEZ

22.1 A GÉPEK BIZTONSÁGÁNAK ALAPJAI-JOGSZABÁLYOK ÉS NORMATÍV KÖVETELMÉNYEK

A gép biztonsága fogalom a gép azon képességét vizsgálja, hogy az teljesíti-e tervezett feladatát a teljes életciklus alatt, amelyre vonatkozóan a kockázatot megfelelően csökkentették.

Irányelvek

Termékcsoportokra vonatkozó alapvető biztonsági követelményeket rögzítik, de a célok elérésének módja nincs rögzítve. A gépek tervezésénél és konstrukciós kialakításánál a gépekre vonatkozó irányelveken kívül általában más irányelveket is figyelembe kell venni, mint pl. „Elektromágneses Kompatibilitási Irányelvek”, „Kisfeszültségű Irányelvek”, stb.

Szabvelvek

A követelmények részletes specifikálását konkrét műszaki tartalommal a (honosított) harmonizált szabványok, és egyéb műszaki előírások tartalmazzák. Az adott típusú gépekre vonatkozó részletes meghatározások, – amennyiben léteznek – a vonatkozó szabványokban található. A gyártó (tervező) a szabvány előírásaitól eltérhet, de

garantálnia kell az irányelvekben és szabványokban rögzített, azonos szintű biztonsági és egészségi megfeleléseket.

Európai uniós irányelvek és nemzeti jogszabályok

A gépekről szóló európai uniós irányelv harmonizált szabványokkal (pl. ISO 13849, IEC 62061 együtt teremti meg a működés biztonságosságának kereteit. A gyártóknak és az üzemeltetőknek statisztikai mutatókat tartalmazó, átfogó értékeléssel kell igazolniuk a személyek megfelelő védelmét. Ehhez a gépben vagy berendezésben felhasznált valamennyi biztonsági komponenst és rendszert megítélés alá kell vonni.

Az Európai Unió működéséről szóló szerződésen (EUMSZ) alapuló, európai uniós irányelvek célja egyfelől az európai uniós belső piac harmonizálása a kereskedelmi akadályok lebontásával, másfelől a szociális standardok – pl. a munkavállalók biztonságára és védelmére vonatkozóan – egységes szintre hozása egész Európában. Több irányelv előírja, hogy a termékeknek alapvető biztonsági követelményeket kell teljesíteniük. A CE-jelölés feltüntetésével a gyártó kezkesedik azért, hogy a terméke teljesíti a vonatkozó irányelv szerinti biztonsági követelményeket. Az irányelveknek való megfelelést a piacfelügyeleti hatóságok ellenőrzik. A piacfelügyelet fontos eszköz az irányelvek megfelelő, egységes betartásának ellenőrzése terén. A gépekről szóló 2006/42/EK irányelv írja elő a gépek biztonságára irányadó követelményeket az európai piacra vonatkozóan. Emellett a munkavédelemre vonatkozó helyi előírások kötelezik a gépek üzemeltetőit a munkahelyi biztonságról való gondoskodásra.

A gépekről szóló irányelv hatálya

A következőkre terjed ki:

- gépek,
- cserélhető berendezések,
- biztonsági alkatrészek,
- emelő berendezések tartozékai,
- láncok, kötelek és hevederek,

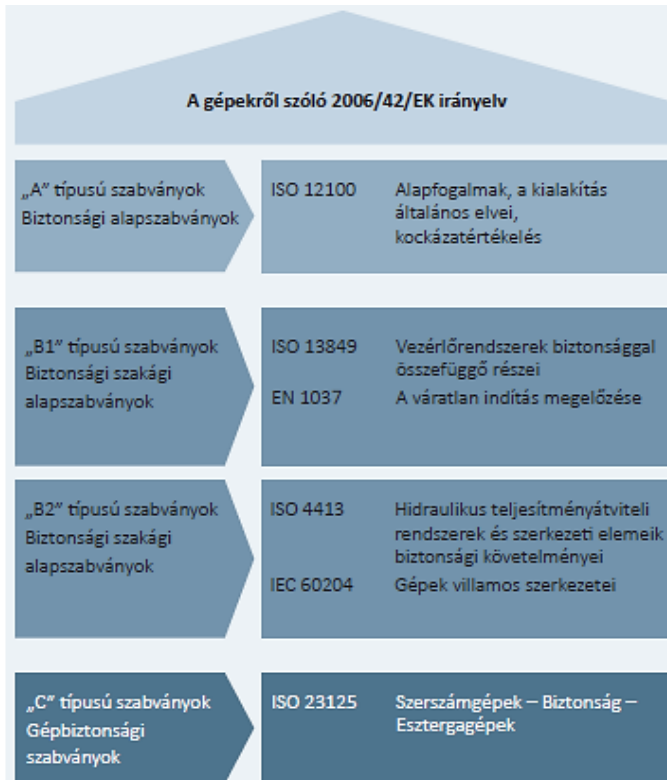
- leszerelhető mechanikus erőátviteli szerkezetek,
- részben kész gépek.

Mit jelent a CE - jelölés?

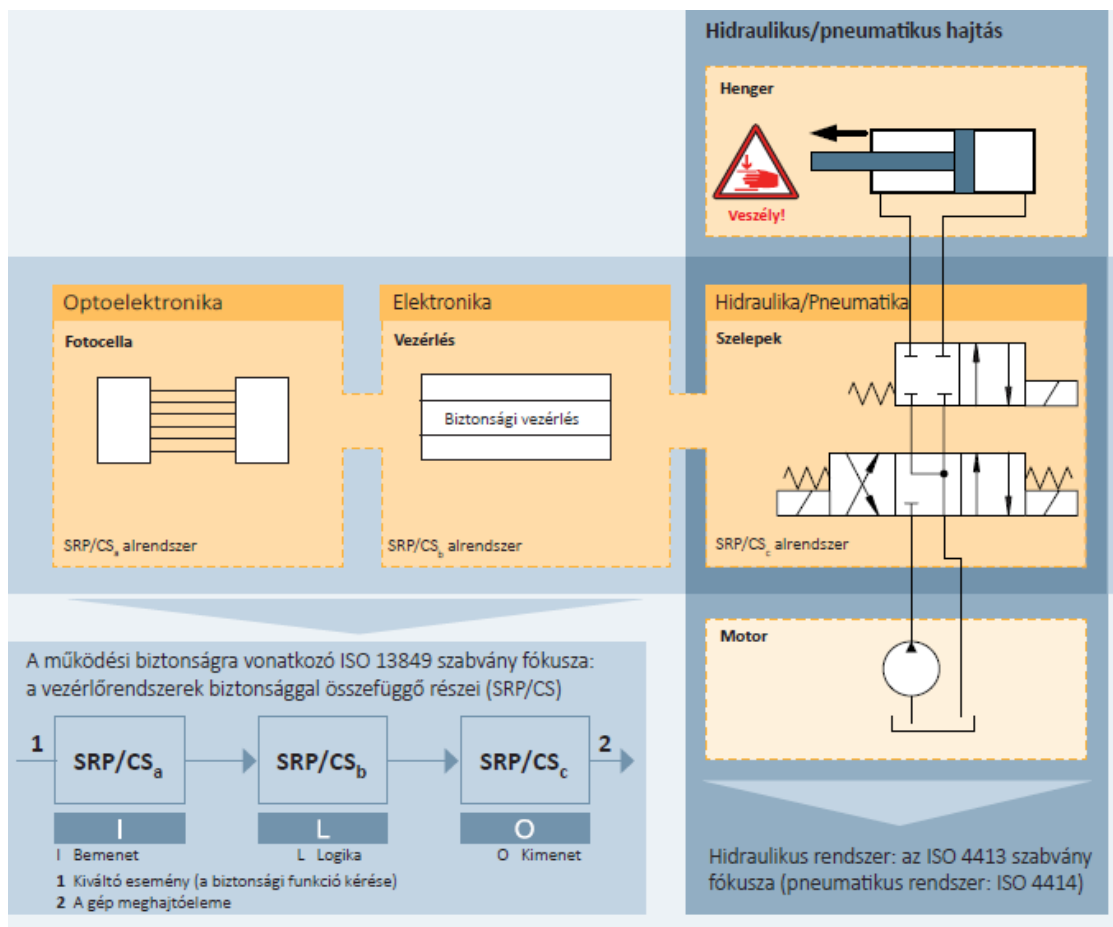
A „CE” a „Conformité Européenne” megnevezés rövidítése, ami körülbelül „európai megfelelést” jelent. Ez alatt az európai uniós irányelvek biztonsági követelményeinek való megfelelés értendő. A CE - jelölés a termékeken azt mutatja, hogy azok legalább egy európai uniós irányelv szerint készültek, teljesítik az abban foglalt biztonsági követelményeket, valamint megfelelőség értékelési eljárást végeztek el. A CE jelölés garantálja a szabad áruforgalmat az EU tagállamaiban. Az európai államközösség valamennyi tagjának meg kell engednie a piacon az adott termék forgalmazását. A CE jelölés nem minőségi jelölés, mivel a gyártó maga nyilatkozik a megfelelőségről, így a megfelelőség csak „vélelmezhető”. A terméket nem kell független szervezetnek bevizsgálnia. Mindazonáltal a piacfelügyeleti hatóságok kivonhatják a terméket a piacról, ha jogos kételyeik merülnek fel.



165. ábra: CE-jelölés



166. ábra: A szabványok struktúrája a gépekről szóló irányelvek

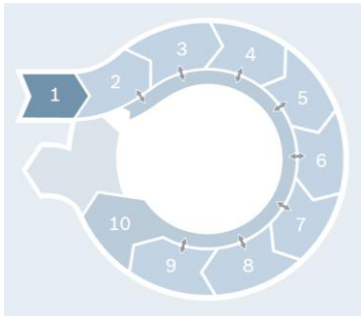


167. ábra: A vezérlőrendszerek biztonsággal összefüggő részei (SRP/CS)

A gépbiztonság meghatározása a mechatronikai rendszerekben a fejezetben következő 10 lépésben történik meg.

22.2 KOCKÁZATÉRTÉKELÉS – 1. LÉPÉS

A teljesítményszint meghatározásának első lépése a kockázatértékelés. A lépést követően meg kell határozni a kockázat csökkentéséhez szükséges védőintézkedéseket.



168. ábra: A kockázatelemzés, mint a gépbiztonság alapja

Az ISO 12100 a következőképpen határozza meg a gépbiztonságot:

„A gép biztonságának fogalma azt veszi figyelembe, hogy a gép az élettartamának ideje alatt képes-e ellátni rendeltetészerű funkcióját (funkcióit), a kockázat kellően csökkentett szintje mellett.”

A gépbiztonság alapja a kockázatértékelés (korábban: veszélyelemzés) folyamata a kapcsolódó kockázatcsökkentéssel, az ISO 12100 szabványban meghatározottak szerint.

Kockázatértékelés a szabványok szerint

A kockázatértékelési folyamat kockázatelemzéssel kezdődik, ahol meghatározzuk a gép határait, azonosítjuk a veszélyeket és értékeljük a kockázatokat. Ezután elvégezzük a kockázatértékelést, végül ellenőrizzük, hogy a megfelelő biztonság adott-e vagy sem. Ha a biztonság nem elégséges, akkor kockázatcsökkentő intézkedéseket kell végrehajtani, és tesztelni kell azok hatékonyságát.

Ha új veszélyek merülnek fel, a kockázatértékelést újra el kell végezni.

Az ISO 12100 szerint néhány alapvető fogalom meghatározása:

„Kockázat: egy kár bekövetkezési valószínűségének és mértékének kombinációja”

„Kár: fizikai sérülés vagy egészségkárosodás”

„Veszély: a kár potenciális forrása”

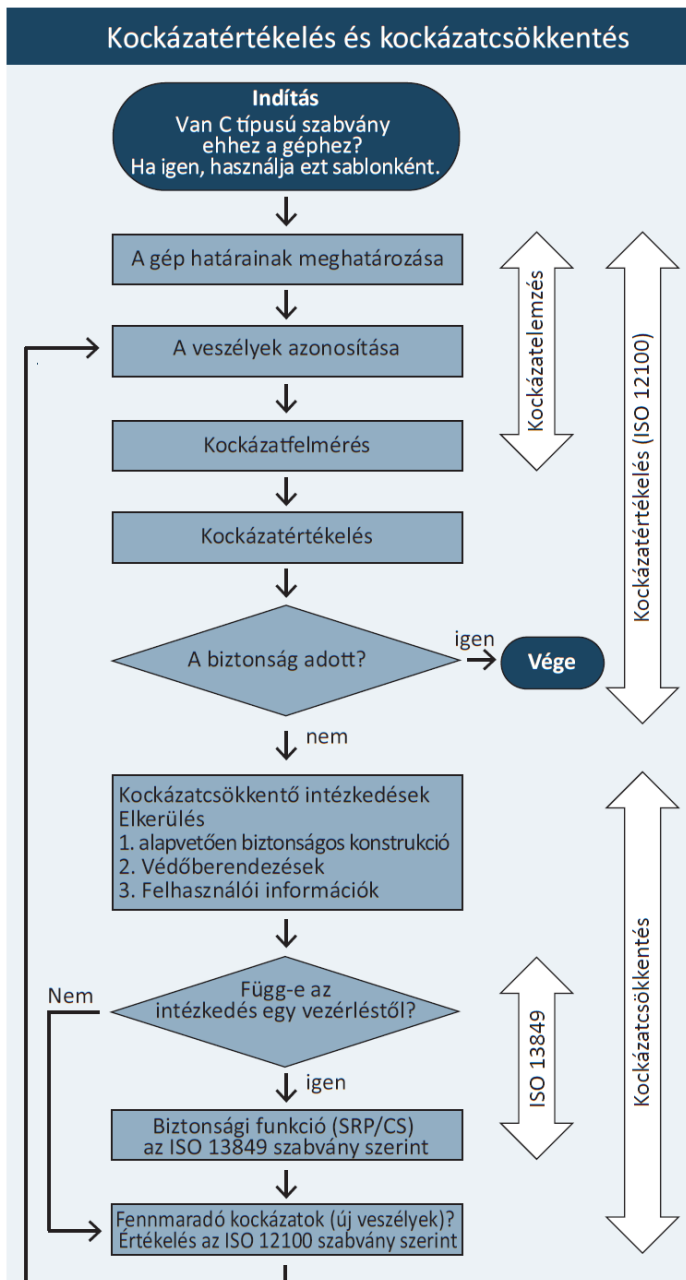
„Veszélyhelyzet: olyan helyzet, amelyben egy személy legalább egy veszélynek van kitéve. Ez a helyzet azonnal vagy hosszabb időn keresztül kárt okozhat.”

A kockázatértékelés lépései az alábbiak:

- Meghatározzuk a gép határait és rendeltetésszerű használatát.
- Azonosítjuk a veszélyeket és a kapcsolódó veszélyhelyzeteket.
- Értékeljük a kockázatot minden egyes azonosított veszély és veszélyhelyzet esetében.
- Értékeljük a kockázatot, és döntést hozunk a kockázat csökkentésének szükségességéről.
- Védőintézkedésekkel megszüntetjük a veszélyt, vagy csökkentjük a veszélyhez kapcsolódó kockázatot.

Minden egyes veszély esetében elvégezzük az azonosítást az ISO 12100 szabvány kritériumai szerint, és a fent leírtak szerint járunk el.

A veszélyes terület pontos meghatározása nagyon fontos a biztonsági funkció pontos megtervezéséhez.



169. ábra: A kockázatértékelés folyamata









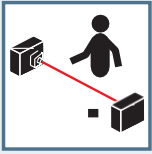

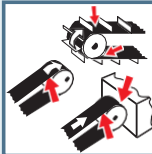

Kockázatértékelés

Míg korábban a kockázati elemeket számszerűsítettünk, most a kockázatértékelés során értékeljük, hogy szükséges-e a kockázat csökkentése megfelelő védőintézkedésekkel.

Ennek eredményeképpen három lehetőséget kapunk:

- A „szükséges” azt jelenti, hogy védőintézkedésre van szükség.

- Az „ajánlott” azt jelzi, hogy egy védőintézkedés (pl. felhasználói tájékoztatás) hasznos lenne.
- A „nem szükséges” azt jelenti, hogy nincs szükség kockázatcsökkentő intézkedésekre.

Veszély típusa	Példa	Eredet	Lehetséges következmények	pl. piktogram
mechanikai veszélyek		leeső tárgyak	Becsípődés Ütközés	
elektromos veszélyek		feszültség alatt álló alkatrészek	Ütés Égés Beszúrás	
termikus veszélyek		Magas/alacsony hőmérsékletű tárgyak vagy anyagok	Égés	
Zajveszélyek		Zajos gyártási folyamat	Fáradtság Halláscsökkenés Eszméletvesztés Stressz	
Sugárzási veszélyek		Lézersugarak	Égés Szem- és bőrkárosodás	
A veszélyek kombinációja		mozgó alkatrészek (három példa)	Behúzás Súrlódás Ütközés	

3. táblázat: *Példák a veszélyekre – (Kivonat az ISO 12100 szabványból)*

22.3 A BIZTONSÁGI FUNKCIÓK AZONOSÍTÁSA – 2. LÉPÉS

A második lépés az ISO 13849 szabvány szerinti biztonsági funkció formájában végrehajtott védelmi intézkedések azonosítását írja le.

Ha egy védelmi intézkedés egy vezérléstől függ, akkor az ISO 13849 szerint biztonsági funkciónak minősül. Az ISO 13849 szabványban a „vezérlés” kifejezés nem korlátozódik egy jelnek egy logikai egység által történő feldolgozására (SPS/PLC). Magában foglalja a teljes jelfeldolgozó rendszert is, a veszély észlelését szolgáló jelgyűjtéstől (érezkelők/gombok) a kiértékelésen (logika) át a beavatkozás végrehajtásáig (végrehajtóelemek). A vezérlés kialakítása alapvető szerepet játszik a gép tervezési folyamatában, a kockázat megfelelő csökkentése érdekében.

Az ISO 13849-1 a következőképpen határozza meg a biztonsági funkciót:

„A gép olyan funkciója, amelynek meghibásodása a kockázat (ok) azonnali növekedéséhez vezethet.” (megfelel az ISO 12100 szabványnak).

Példák a biztonsági funkciókra:

- Amikor a felhasználó belép a robotkar veszélyes területére, a robotkar leáll.
- Csak akkor indulhat el a tengely, ha a kétkezes készülék mindkét működtető elemét egyszerre működtetik.

A biztonsági függvények jellemzően „ha-akkor” megfogalmazásban fejezhetők ki. Először nevezze meg a kiváltó eseményt („Ha egy felhasználó belép a robotkar veszélyes területére, ...”), majd a biztonságra irányuló reakciót („... akkor a robotkar leáll”).

A biztonsági funkció megvalósításához használt alkatrészeket „az irányítási rendszer biztonsággal kapcsolatos részeiként” (SRP/CS) határozza meg.

Az ISO 13849 előírja, hogy valamennyi biztonsági funkció biztonságtechnikai tulajdonságait le kell írni és dokumentálni kell. Ez magában foglalja a kiváltó eseményt, a biztonságos állapotot és az eseményre adott, a biztonságos állapot eléréséhez szükséges származtatott választ.

A veszélyes helyzet azonosítása

Minden egyes biztonsági funkció esetében a kockázatértékelésben meghatározzuk azokat a veszélyes helyzeteket, amelyek esetében az ellenőrzéssel kapcsolatos védőintézkedésről döntünk.

A kiváltó esemény meghatározása

A következő feltételek vagy események válhatnak ki biztonsági funkciót:

- érzékelő (pl. biztonsági fényfüggöny megszakítása),
- elválasztó, mozgatható védőberendezés (ajtó) nyitása,
- egy engedélyező kapcsoló működtetése adott üzemmóddal vagy nyitott ajtóval.

A biztonságos állapot meghatározása

A biztonságos állapotot például akkor érjük el (pl. egy pneumatikus rendszer esetén):

- ha a henger mozgása leáll,
- ha henger nem hosszabbítható tovább,
- ha hajtás energiaellátása megszakad.

A reakció meghatározása

A biztonsági funkció helyes végrehajtása esetén a következő reakciók léphetnek fel:

- az elektromos meghajtó rendszer nyomatéka le van kapcsolva,
- a szelepek zárva vannak,
- a fékrendszer aktiválódik.

A biztonsági funkciók elnevezése

Eddig a különböző biztonsági tulajdonságokat rögzítettük. Ebből kell levezetni a teljes gép biztonsági funkciójának vagy az egyes alrendszerek biztonsági alfunkcióinak megfogalmazását.

A biztonsági funkciók változatai

Normális esetben a gépen kialakult veszélyes helyzetet érzékelőkkel lehet felismerni (pl. vészleállító gomb vagy helyzetkapcsoló). Ezenkívül attól függően, hogy egy személy hol tartózkodik a gépben, a gép alkatrészeinek (pl. munkadarabtartó, megmunkáló tengely) különböző reakciói lehetnek szükségesek az egyes veszélyes területeken. Ez azt jelenti, hogy a biztonsági funkció különböző változatait kell megvalósítani az érzékelők és végrehajtóelemek számától, valamint a veszélyes területektől függően.

22.4 PLR MEGHATÁROZÁSA – 3. LÉPÉS

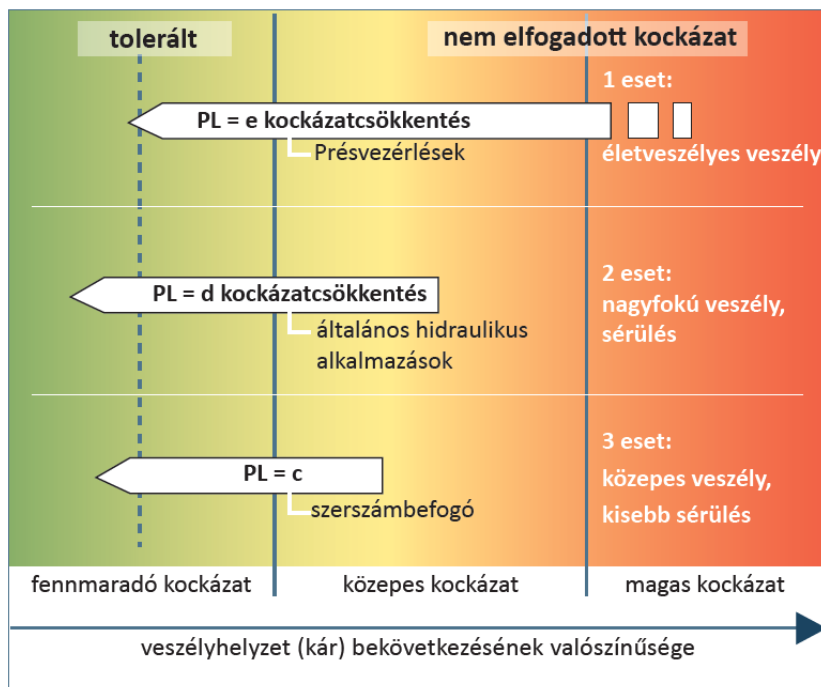
A teljesítményszint meghatározásának harmadik lépésében meg kell határozni, hogy milyen magasak a biztonsági funkciókkal szemben támasztott követelmények.

Erre az értékre, amelyet a szükséges teljesítményszintként (PLr, „Performance Level required“) fejezünk ki, mint a szabályozó által biztosított teljesítményszinttel való összehasonlításhoz szükséges „beállítási pontra“ van szükség.

A kockázatértékelés kimutatja, hogy a vezérlés kockázatcsökkentő intézkedéseket tesz szükségessé.

A kockázat csökkentését egy biztonsági funkcióval kell végrehajtani, amelyet egy vezérlés hajt végre. A szükséges teljesítményszint itt a biztonsági funkció, pontosabban a megfelelő vezérlés (SRP/CS) hozzájárulását jelenti a kockázatok csökkentéséhez.

A kockázatcsökkentés csak csökkenteni tudja a kockázatokat, de teljesen kiküszöbölni nem. Mindig van fennmaradó kockázat.



170. ábra: A kockázatcsökkentés elve a biztonsági funkció révén

22.5 KATEGÓRIA KIVÁLASZTÁSA – 4. LÉPÉS

A negyedik lépésben megismerkedünk a kategóriák jelentésével és az ellenőrzés (SRP/CS) koncepciójára gyakorolt hatásukkal. Ezt a lépést követően egy vagy több kategóriát határozunk meg, amelyek szerint modellezhetjük az SRP/CS-t.

A teljesítményszint és a kategória közötti kapcsolat

Ha a vezérlés (SRP/CS) biztonsággal kapcsolatos részeire vonatkozó követelmények rögzítve vannak, azaz a PLr minden egyes biztonsági funkcióra ismert, akkor elkezdhetjük a vezérlés (SRP/CS) tervezését.

A vezérlések öt kategóriában valósíthatók meg, amelyek a tipikus „Vezérlések struktúrái” struktúrákat térképezik fel.

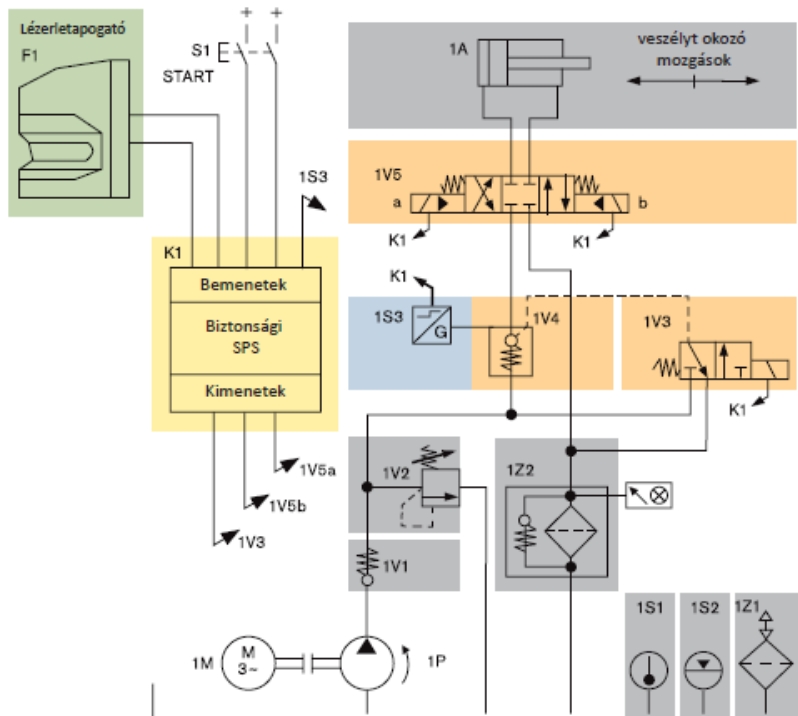
A Kategória Kiválasztási szempontok kategóriák kiválasztásának kritériumai a következők:

- Egycsatornás vagy többcsatornás (redundáns) legyen a struktúra?
- Vannak bevált elemek ehhez az alkalmazáshoz?
- Van-e felügyelet (vizsgálóberendezés)?

22.6 BLOKKDIAGRAM MODELLEZÉSE – 5. LÉPÉS

Az ötödik lépésben ki kell elemezni a biztonságot érintő vezérlést, és modellezni kell a blokkdiagramot. Ez a lépés előfeltétele a biztonsági funkció veszélyt okozó meghibásodásához kapcsolódó valószínűség kiszámításának.

A 171. ábra egy biztonsági funkcióval rendelkező gép kapcsolási rajzát mutatja be, melyet blokkdiagramként kell ábrázolni.



171. ábra: Kapcsolási rajz kiindulási alapként a blokkdiagramhoz

A biztonsági funkció modellezéséhez elemezni kell a kapcsolást. Az elemzésből megtudhatók azok az információk, hogy a kapcsolási rajz mely részegységei relevánsak a biztonsági funkció szempontjából, és milyen funkciót látnak el. Az elemzés a vezérlés biztonságot érintő részeire vonatkozik és csak a hozzá kapcsolódó biztonsági funkciókat vizsgálja.

Elemzés - relevancia (az egyes részegységek szerepe)

A teljesítményelemek, mint például a henger vagy a lineáris tengelyek nincsenek az ISO 13849 szerint vizsgálva.

Egy vezérlés biztonságot érintő részei (SRP/CS):

Csak olyan részegységek vannak figyelembe véve, melyek a biztonsági funkció aktív részei.

Bemenet/érzékelők: felismeri a veszélyt okozó helyzeteket

Logika: az érzékelők információiból és a gép állapotából levezeti a megfelelő reakciókat

Kimenet/működtetők: a levezetett intézkedések alapján vezérli a teljesítményelemeket.

Ha egy érzékelő információja nem csak felügyeletre szolgál, hanem a biztonsági funkció aktiválásához is szükséges, akkor ezeket a modellezés és a számítás során figyelembe kell venni.

Segédelemek: A rendelkezésre állás fenntartása érdekében felhasznált részegységek, mint például szűrők, illetve a hőmérséklet, a töltöttségi állapot vagy a nyomás felügyeletére szolgáló részegységek, a blokkdiagram modellezése során nincsenek figyelembe véve. Jelentősen hozzájárulnak azonban a rendszerszintű meghibásodások megelőzéséhez és elhárításához, a közös okra visszavezethető hibák leküzdéséhez, illetve alapvető vagy

bevált biztonsági elveket képviselnek. Az ISO 13849 keretein belül ezeknek a részegységeknek az értékelése csak kvalitatív módon történik.

A modellezés elvei

A modellezés egy biztonsági funkció (SRP/CS) biztonságot érintő részei, és azok logikai kapcsolódásai elemzése segítségével történik. Ennek során a biztonságtechnikával kapcsolatban két jelentős elv jelenik meg:

Redundancia (párhuzamos kapcsolás, VAGY kapcsolódás)

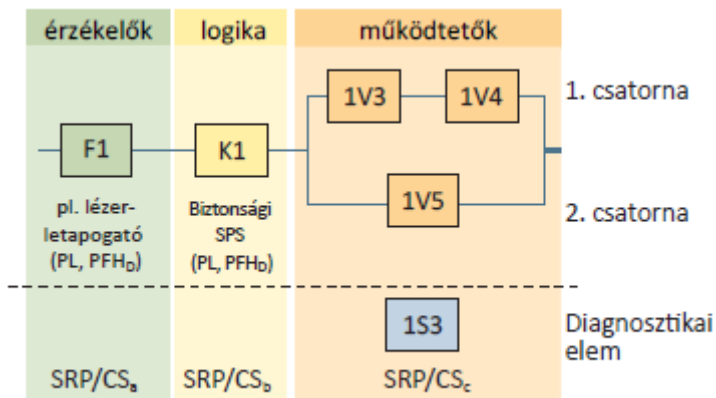
A redundanciák a blokkdiagramban alapvetően párhuzamos útvonalként vannak ábrázolva. Annak meghatározása érdekében, hogy a valós kapcsolásban mely részegységek működnek párhuzamosan, a következő kérdéseket kell megválaszolni:

Ha egy részegység meghibásodik, melyik részegység veszi át a funkcióját?

A 159. ábrán látható példa megmutatja, hogy ugyanazon működés fizikai kapcsolási rajza és blokkdiagramja különbözőképpen ábrázolható:

Két részegység fizikai soros kapcsolása, mely esetén az egyik részegység meghibásodása nem vezet a biztonság elvesztéséhez, a blokkdiagramban párhuzamos kapcsolásként kerül ábrázolásra.

Két egymástól függetlenül vezérelt, sorba kapcsolt szelep a blokkdiagramban két párhuzamos útvonalat jelenthet. Az ábrán ezek az elővezérelt 1V4 szelep és az 1V5 útszelepek. A gép mozgatása érdekében a normális működéshez mindkét szelepnak működnie kell. A biztonság szempontjából kielégítő azonban, ha a két 1V4 „vagy” 1V5 szelep egyike a logikai kapcsolat alapján megszakítja az olajáramot. Ebből adódik az 160. ábrán látható modell.



172. ábra: Három alrendszerből (SRP/CS_a–c) álló SRP/CS

Függőség (soros kapcsolás, ÉS kapcsolat)

A kérdés:

„Mitől függenek ezek a részegységek – a biztonsági funkció tekintetében?” megmutatja, mely részegységeket kell soros kapcsolásba rendezni. Egy két szelepből álló kombináció, mely egymás között úgy van kapcsolva, hogy az egyik (1V3 elővezérlő szelep) a másikat (1V4 főszelep) vezérli, mind a valós kapcsolási rajzon, mind a blokkdiagramon soros kapcsolásként van feltüntetve. Az egyik részegység meghibásodása a biztonsági funkció elvesztéséhez vezet.

Az, hogy a blokk-kapcsolási rajz ábrázolása eltérhet a kapcsolási rajztól, szintén látható a következő példán:

A térfogatáram növelésére szolgáló két, párhuzamosan kapcsolt szelep a biztonságot érintő részben található. Mindkét szelepnak ki kell tehát kapcsolnia ahhoz, hogy a mozgás leálljon. A blokkdiagramban ezek a részegységek egy sorban találhatóak. Ugyanez érvényes a párhuzamosan kapcsolt relékre is (árammal való terhelhetőség).

Alrendszerekre való felosztás

Ennek a lépésnek a célja a biztonsági funkció blokkdiagram formájában történő modellezése. Ennek során ésszerűnek tűnik a biztonsági funkciót több alrendszerre ((SRP/CS_n) felosztani. Az ilyen alrendszerek ezután egymástól elválasztva vizsgálhatók.

Az 172. ábra blokkdiagramja három alrendszerre (SRP/CS_{a-c}) van felosztva, az érzékelőkre, a logikára és a működtetőkre.

Az érzékelő (SRP/CS_a) és a logika (SRP/CS_b) alrendszerek tanúsított részegységek. A működtetők (SRP/CS_c) alrendszerben az összes működtető egy alrendszerre van összefogva.

Eljárás

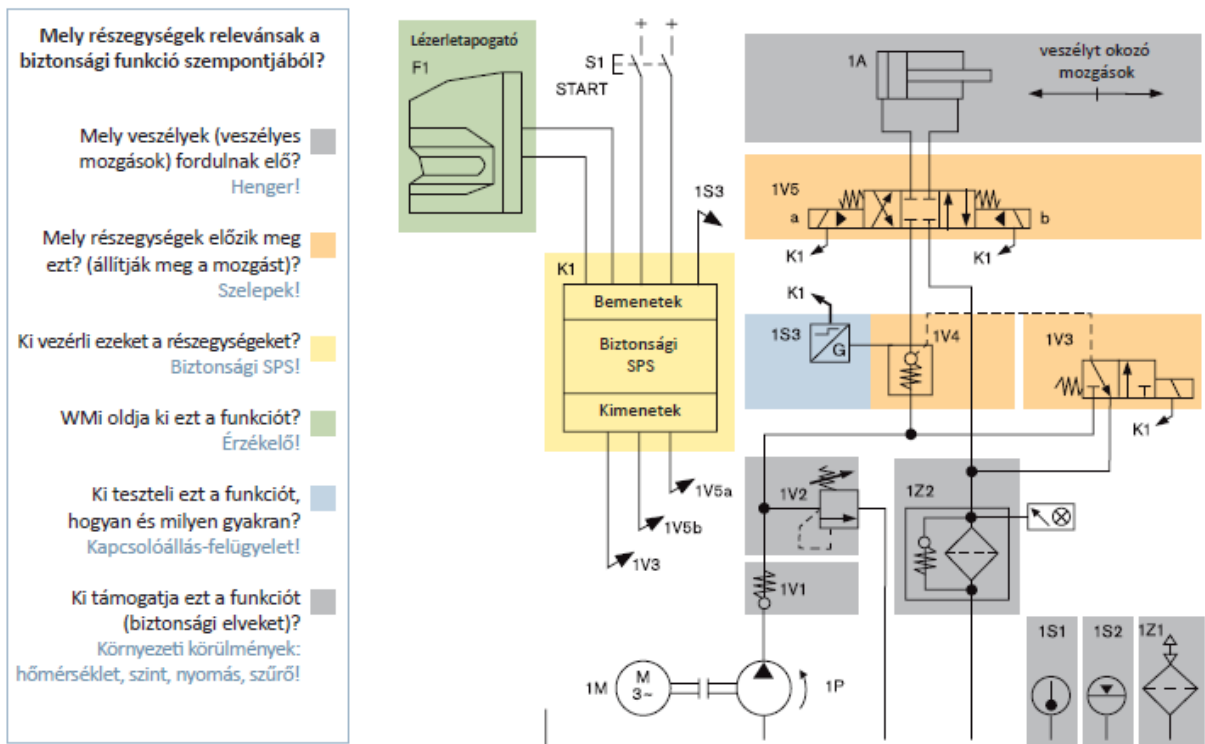
A modellezés során a következőképpen járunk el:

1. Azonosítjuk a biztonságot érintő részegységeket a vezérlés (SRP/CS) blokkjaiként, és rendezük a blokkokat érzékelők, logika és működtetők szerint.
2. Rendelünk tesztberendezéseket a blokkokhoz.
3. Összekötjük a biztonságot érintő blokkokat a részegységek összekapcsolásának megfelelően soros kapcsolásban vagy párhuzamos kapcsolásban.
4. Rendezük a blokkokat az érzékelők, logika és működtetők alrendszereken belül technológiák és kategóriák szerint.

A biztonságot érintő részegységek azonosítása

Azonosítjuk a kapcsolásban található részegységeket az alábbi kritériumok szerint

Teljesítményelemek: Milyen veszély áll fenn? Mely részegységek okozzák ezt a veszélyt?



173. ábra: Kapcsolási rajz elemzése a biztonságot érintő részegységek beazonosításához

Henger,
Géptengelyek.

Működtetők/Kimenet: Mely részegységek előzik meg a veszélyt, illetve a mozgást?

Szelepek,
Kontaktorok/Relék,
Fék- és rögzítő rendszerek.

Logika: Mely részegységek vezérik ezt a veszélyes gépi folyamatot?

(Biztonsági) Relék/Kapcsolókészülékek,
(Biztonsági) Vezérlés (pl. biztonsági SPS).

Érzékelők/Bemenet: Mely részegységek ismerik fel a veszélyes helyzetet, és oldják ki a biztonsági funkciót?

Biztonsági kapcsoló,

VÉSZLEÁLLÍTÓ készülékek,
Optikai biztonsági berendezések (pl. lézerleolvasó, biztonsági fénySOROMPÓ),
Némító érzékelők,
Megerősítő-/Érintőgombok (Engedélyezés vezérlésére szolgáló készülékek [IEC 60204]),
Útmérő rendszerek (sebesség, illetve forgásirány felügyelete esetén).

Mely részegységek szolgálnak a hibafelismerésre? Itt különbséget teszünk a közvetlen és a közvetett hibafelismerés között:

Közvetlen hibafelismerés (részegység állapota): Helyzetkapcsoló/közelítésérzékelő a szelepek kapcsolóállásának, relék, illetve kontaktorok tükörérintkezőinek felügyeletéhez.

Közvetlen hibafelismerés (vezérlési, illetve gépállapot): Nyomáskapcsoló, végálláskapcsoló, útmérő rendszerek.

Mely részegységek segédelemek?

Nyomásfelügyelet,
Hőmérsékletfelügyelet,
Töltöttségi felügyelet,
Szűrő.

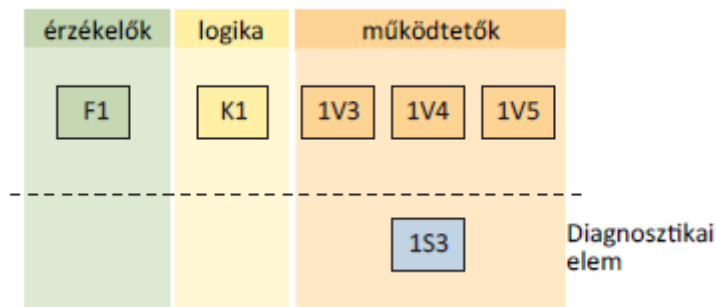
Mindegyik beazonosított, biztonságot érintő részegységhez rajzolunk egy blokkot.

Csoportosítjuk ezeket a blokkokat érzékelők, logika és működtetők szerint.

A segédelemek és a teljesítményelemek a blokkdiagramban nincsenek tovább modellezve.

Tesztberendezések hozzárendelése a blokkokhoz

Hozzárendeljük blokkokhoz a hibafeltárásukra szolgáló, azonosított tesztberendezéseket.



174. ábra: Vezérlések (SRP/CS) azonosított, biztonságot érintő alkatrészei

Biztonságot érintő blokkok összekötése

A logikai kapcsolódás alapján modellezzük az érzékelők, a logika és a működtetők mindegyik csoportjára a soros vagy párhuzamos kapcsolásban levő részegységeket. Legjobb, ha a működtetőkkel kezdjük, mivel a hozzárendelés a veszélyeztetés felől nézve könnyebbnek tűnik. Mindegyik részegységet az alábbi kritériumok alapján értékeljük

Soros kapcsolás: Egyetlen részegység meghibásodása a teljes ág meghibásodásához vezet.

Párhuzamos kapcsolás: Meghibásodás esetén egy másik részegység veszi át annak funkcióját.

Rendezzük a blokkokat az érzékelők, logika és működtetők alrendszeren belül technológiák és kategóriák szerint.

22.7 HIBÁK ÉS DIAGNOSZTIKA – 6. LÉPÉS

A hatodik lépésben a vizsgált biztonsági funkció esetén értékeljük a részegységek viselkedését hiba esetén.

A biztonságtechnika egyik alapelve, hogy elkerüljük a biztonsági funkció egyes részegységeinek meghibásodását. Azoknak a részegységeknek a meghibásodása, melyek nem érintik a gép biztonságát (ún. „biztonságos meghibásodások”), a funkcionális

biztonság szempontjából irrelevánsak. Vizsgálva ezért csak a veszélyt okozó meghibásodások vannak, azaz azok a meghibásodások, melyek veszélyeztetik a gép használóját. Ha egy veszélyt okozó meghibásodás nem kerülhető el, akkor a gép biztonságos állapotba vitele érdekében ezt egy tesztberendezés, azaz diagnosztika vagy felügyeleti rendszer segítségével idejekorán fel kell ismerni. A kategória ennek során meghatározza a részegységek viselkedésével szembeni követelményeket hiba esetén, tehát hogy egy hiba vezethet-e a biztonsági funkció elvesztéséhez, és hogy az esetleges hibahalmazódást fel kell-e ismerni.

A hibafeltárás jóságát a diagnosztikai lefedettség foka (DC) határozza meg. Ez az érték a felismert veszélyes hibáknak az összes veszélyes hibára vonatkozó részarányából adódik. Az elérendő PL függvényében vannak követelmények a DC értékkel szemben, melyet a tesztberendezés segítségével kell megvalósítani.

Lehetséges hibák elemzése

Minden releváns hiba esetén szükség van a vezérlés biztonságot érintő részegységei viselkedésének rendszerszintű elemzésére. A választott kategóriától függően a vezérléssel szemben eltérő követelmények vannak támasztva, hogyan történjen a hibák elkerülése, felismerése és kezelése.

Hibalista

Az ISO 13849-2 megadja a figyelembe veendő hibák listáját, mely az alábbi struktúra alapján táblázattá alakítható.

Figyelembe vett hibák: Az ISO 13849-2 A-tól D-ig terjedő mellékletei megadják a pneumatikus, hidraulikus és elektromos vezérlési technológiákhoz az általános hibákat tartalmazó listákat. Ezeket a gép gyártójának a saját tapasztalatain alapulva további hibákkal kell kibővítenie. Azokra a részegységekre, melyek nem találhatók az ISO 13849-2-ben, annak meghatározása érdekében, hogy e részegységek kapcsán mely hibákat kell figyelembe venni, meghibásodási és hatáselemzést (FMEA) kell végezni.

A hiba kihatása: Megtörténik a hibás működés és a vizsgált hiba kihatásának leírása.

Veszélyt okozó hiba: Itt értékeljük, hogy a hiba egy „biztonságos meghibásodást” vagy egy „veszélyt okozó meghibásodást” okoz-e. Csak a veszélyt okozó hibákat kell tovább vizsgálni.

Hibakizárás: Egy hibakizárás végrehajtása érdekében az ISO 13849-2 a hibalistáiban megadja a specifikus kritériumokat. Itt „Igen”-t írunk, ha teljesülnek a feltételek, és ezáltal a vizsgált hiba előfordulását annyira valószínűtlennek becsüljük meg, hogy ki tudjuk azt zárni. Ha nem zárhatjuk ki a hibát, a diagnosztikai lefedettségi fok meghatározása során továbbra is figyelembe kell venni azt.

A hibakizáráshoz kapcsolódó indoklás: Ha itt „Igen”-t adunk meg, a döntést az ISO 13849-2-ből származó hibalisták kritériumai szerint itt meg kell indokolni. Az ott fel nem sorolt hibák esetén meg kell adni egy ésszerű magyarázatot. Ennek alapja lehet a részegységek műszaki tulajdonságain és a specifikus alkalmazással szembeni követelményeken.

A biztonsági funkció elvesztése: A vezérlésekhez a 3. kategóriától nyilatkozni kell, hogy ennek a részegységnek veszélyt okozó meghibásodás esetén a biztonsági funkciója megmarad, pl. redundáns csatornák segítségével.

Megfelel az alábbi kategóriáig: A gyártói adatok figyelembevételével itt megadjuk, hogy a vizsgált részegység a vezérlések mely kategóriáira alkalmas.

Ez a hibalista később kiegészül a közös okra visszavezethető hiba és a rendszerszintű hiba elhárítására tett intézkedésekkel.

Hibakizárás

A hibakizárás egy kompromisszum a biztonságtechnikai követelmények és egy hiba előfordulásának elméleti valószínűsége között.

Diagnosztikai lefedettség foka (DC)

A Performance Level-re további befolyással van a diagnosztikai lefedettség foka (DC). Ha nem kerülhető el egy veszélyt okozó meghibásodás, ennek a meghibásodásnak a felismerése, és a rendszer biztonságos állapotba vitele érdekében alkalmazható egy tesztberendezés. Ez az elv jellemzi az ISO 13849-1 szerinti 2. kategória vezérléseit („diagnosztika” tesztberendezés segítségével). Azonban a 3. és 4 kategória vezérléseivel kapcsolatban is, a hibás működés felismerése érdekében, mielőtt azok személyek veszélyeztetéséhez vezetnének, a funkció biztosítása mellett egy második csatorna segítségével elő van írva a biztonsági funkció felügyelete.

A diagnosztikai lefedettség foka (DC) leírja egy részegység veszélyt okozó hibáinak azon részét, mely a diagnosztika segítségével ismerhető fel. Ennek során azok a veszélyt okozó hibák, melyek előfordulási valószínűsége ki lett zárva (hibakizárás), már nincsenek figyelembe véve. A 175. ábra megmutatja a diagnosztikai lefedettség fokának meghatározását.



175. ábra: A diagnosztikai lefedettség fokának meghatározása

22.8 A PL MEGHATÁROZÁSA – 7. LÉPÉS

A hetedik lépésben meg kell határozni azt a Performance Level-t, mely az Ön által modellezett biztonsági funkcióval elérhető. Ezzel az értékkel ellenőrizheti, hogy sikerült-e elérni a szükséges Performance Level-t (PLr)

Egy biztonsági funkció által elérhető Performance Level a következőktől függ:

A vezérlés kategóriájától.

A részegységek megbízhatóságától (MTTFd/B10d).

A diagnosztikai lefedettség fokától (DCavg), amennyiben egy 2., 3. vagy 4. kategóriába tartozó rendszerről van szó.

Az 5. lépés hogyan történik a biztonsági szempontból releváns részegységek azonosítása, és a technológiájuknak, illetve szerkezetüknek megfelelően hogyan kell őket ún. SRP/CS_n alrendszerekre felosztani. A legegyszerűbb esetben a biztonsági funkció egyetlen alrendszerből áll, azaz azonos kategóriájú részegységekből.

A biztonsági funkció általában több alrendszerből áll. Ebben az esetben a PL_{SF} -t minden egyes alrendszer PFHD értékének összeadásával határozhatja meg. A PFHD érték (Probability of dangerous failure per hour) egy statisztikai mérték, és megadja, elméletileg hány veszélyes hiba fordulhat elő egy órában. Ha képezzük a reciprokját, leolvasható, statisztikailag hány óra után léphet fel a biztonsági funkció egy veszélyes meghibásodása.

22.9 A VEZÉRLÉS ROBUSZTUSSÁGÁNAK ÉRTÉKELÉSE – 8. LÉPÉS

A nyolcadik lépésben kiértékeljük a vezérlés robusztusságát, azaz azt a képességét, hogy ellenálljon a hibáknak.

A funkcionális biztonsággal kapcsolatos szabványok esetén a gépek biztonsága nem csak a meghibásodási valószínűségnek a hibafelismerést is magában foglaló vizsgálata által

biztosított, hanem a hibamegelőzéshez kapcsolódó további intézkedések által is. Ez alatt a rendszerszintű hibákat, beleértve a közös ok miatt fellépő hibákat, valamint a rendszerrel szemben támasztott szerkezeti követelményeket, az ún. biztonsági alapelveket értjük. Ahhoz, hogy a Performance Level meghatározása lezárható legyen, ezeknek a szoftverkövetelményekkel együtt kell teljesülniük.

Egy példa a fentiek magyarázatára:

Egy kétcsatornás vezérlés a két csatornában két azonos részegységből lett kialakítva. A két részegység azonos, és egy redundáns struktúrában magas megbízhatósági értéket ($MTTF_d$) eredményeznek. A valószínűség azonban nagyobb, ha mindkét részegység – és ezáltal mindkét csatorna is – egy közös ok miatt, pl. a maximálisan megengedett üzemi hőmérséklet túllépése esetén, egyidejűleg kiesik. A meghibásodási valószínűség ténylegesen magasabb lenne, mint a PL-ben számított. A gép biztonsága ezután a magas $MTTF_d$ értékkel rendelkező redundáns vezérlési struktúra ellenére már nem lenne biztosított.

Az ilyen hibák elkerülés érdekében az ISO 13849 különböző intézkedéseket ír elő:

A közös okra visszavezethető hibák elleni intézkedések

Az alapvető és bevált biztonsági elvek.

Bevált alkatrészek alkalmazása.

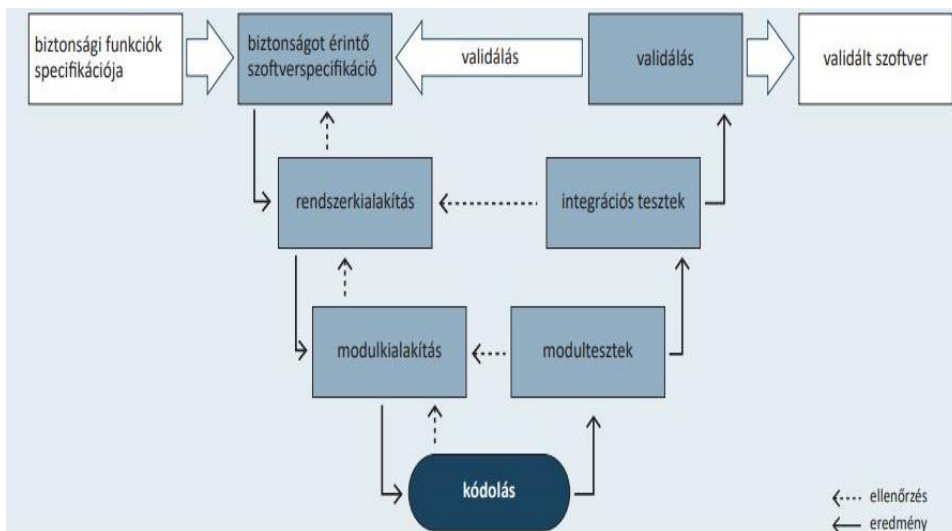
A rendszerszintű hibák megelőzésével és ellenőrzésével kapcsolatos intézkedések.

22.10 SZOFTVER-KÖVETELMÉNYEK – 9. LÉPÉS

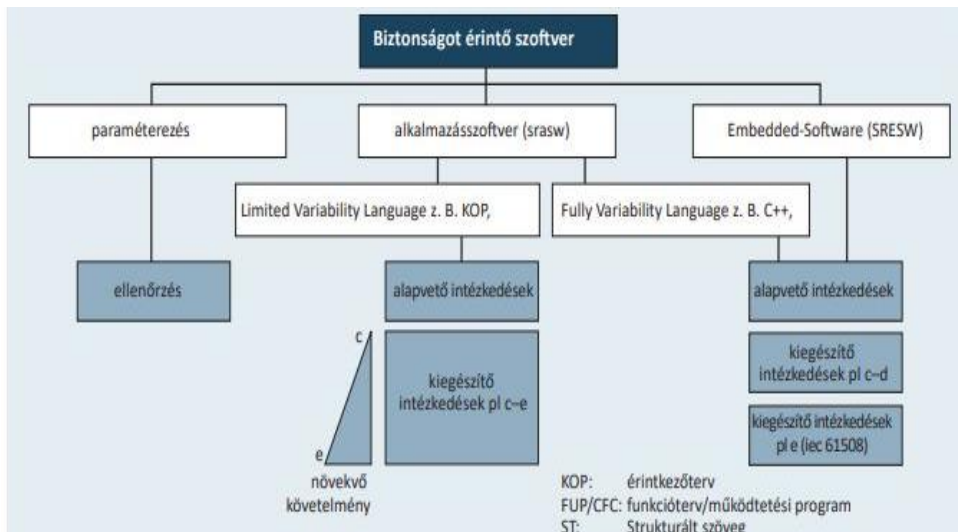
Ebben a lépésben kerülnek megvalósításra a hiba megelőzésére szolgáló intézkedések a szoftver életciklusa során. A fő cél egy világos, érthető, tesztelhető és karban tartható szoftver. Ha nem használunk paraméterevezhető vagy programozható részegységeket, akkor ez a lépés elmarad.

A „Biztonság minőségi szoftver segítségével” mottó alapján az ISO 13849-1 éppúgy, mint az IEC 62061 minőségi követelményeket támaszt a biztonságot érintő szoftverrel szemben a szoftver teljes életciklusa alatt. Nem csak a gép gyártója által beszerzett szoftver tartozik ide, hanem a gép gyártója által elkészített is, legyen az akár applikációs program (alkalmazásszoftver), vagy alkalmazás specifikus paraméterek összessége (paraméterezés).

Az alábbi ábra alapján a biztonságot érintő szoftverrel szembeni követelmények feloszthatók paraméterezéssel, alkalmazásszoftverrel és beágyazott szoftverrel szembeni követelményekre.



176. ábra: A szoftver életciklus V modellje



177. ábra: A biztonságot érintő szoftverrel szembeni követelmények felosztása

Szoftveralapú paraméterezés

„Paraméterezés” alatt az alkalmazás specifikus paraméterek paraméterező szoftver általi meghatározását értjük. A szoftver megfelelése mellett az ISO 13849 az adatintegritás biztosítása érdekében követelményeket támaszt a paraméterező eszközök kezelőivel szemben, illetve megközelítésükkel szemben.

Kötelező feladatok:

Az alkalmazáshoz a helyes adatok meghatározása.

Az adatok helyes átvitele a készülékbe.

Annak biztosítása, hogy az átvitt adatok előidézik a meghatározott funkciót.

A paraméterezést csak képzett személyzet végezheti el, amit a műszaki dokumentációban jegyzőkönyvezni kell. A paramétereknek védetteknek kell lenniük a jogosulatlan módosítás ellen.

22.11 ELLENŐRZÉS ÉS VALIDÁLÁS - 10. LÉPÉS

A 10. lépésben ellenőrizni és validálni kell az eredményeket, melyeket az előző lépések során kaptunk. Ennek a lépésnek a lezárásával validálta és dokumentálta a biztonsági funkciót a hozzá tartozó PL-lel.

Egy biztonságot érintő vezérlés megtervezése után mindegyik biztonsági funkcióra el kell végezni az ellenőrzést és a validálást.

Az ellenőrzés az ISO 13849 értelmében azt jelenti, hogy megvizsgáljuk, sikerült-e elérni egy biztonsági funkció megkövetelt Performance Level-jét. Ha ez nem történt meg, a vezérlési funkción javítani kell.

Mit tehet, pl. egy magasabb PL elérése érdekében?

Magas élettartammal (MTTF_d, B₁₀) rendelkező részegységek használata.

Magasabb kategória elérése (pl. 3. kategória az 1. kategória helyett) redundáns részegységek hozzáadásával.

A DC érték növelése érdekében több erőfeszítés megtétele a vezérlés felügyeletének területén.

A biztonsági funkció elválasztása a normál funkciótól, hogy így a ciklusok alacsonyabb számával megnőjön a B₁₀ értékkel rendelkező részegységek élettartama (MTTF_d).

A biztonsági funkció validálása rendszerszinten megállapítja, hogy teljesülnek-e a vezérlés biztonságot érintő részeinek teljesítménnyel kapcsolatos követelményei. A validálásnak a tervezési folyamattal párhuzamosan kell történnie. Mindegyik lépésből a validáláshoz szükséges információk és dokumentumok keletkeznek. Az 1.-től a 9.-ig terjedő lépéseket a tervezők hajtják végre, míg a 10. lépést egy másik független személy, pl. egy vizsgáló, követi végig a „négy szem elv” alapján.

Az ellenőrzéssel és validálással többek között a következő pontok vizsgálatát végezheti el:

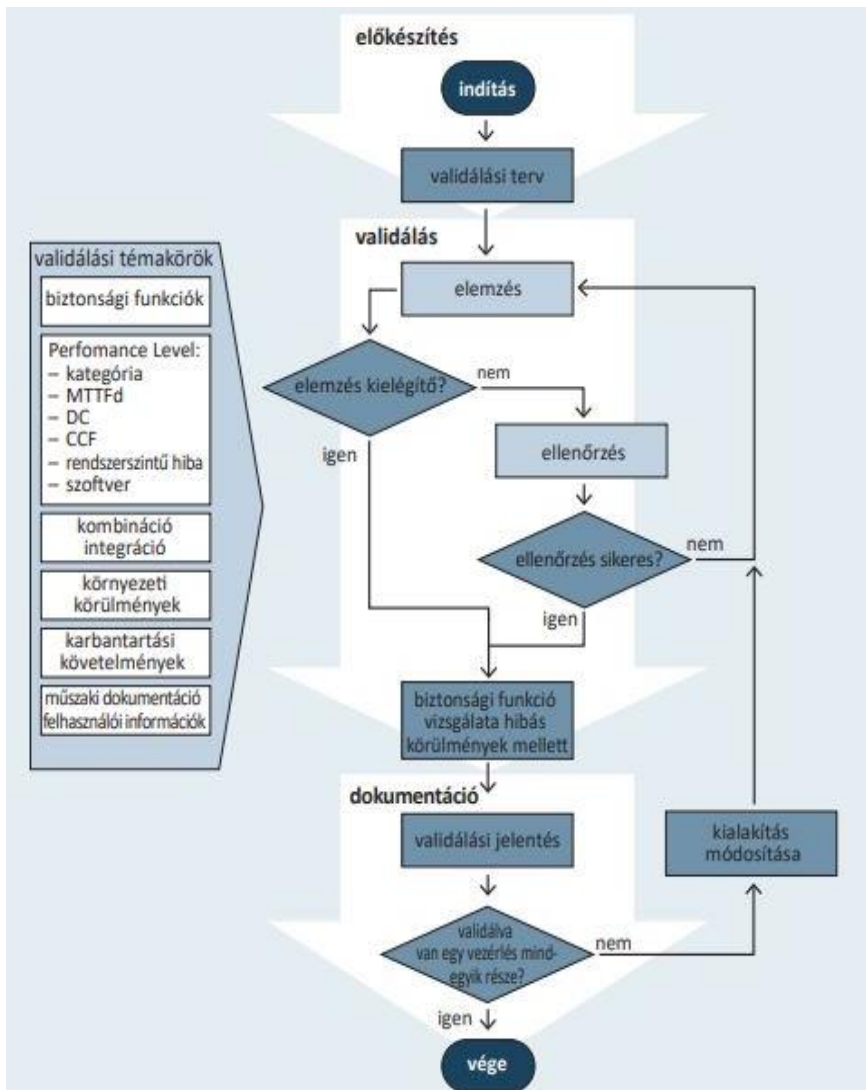
A 2. lépésben kidolgozott biztonsági funkció biztonsági tulajdonságai,

A 3. lépésben megállapított Performance Level-lel (PL_r) szembeni követelmények,
A 4. lépésben megállapított kategóriával kapcsolatos követelmények,
Az 5. , 6. és 7. lépés szerint minőségi követelmények teljesítése,
A vezérlésben fellépő rendszerszintű hiba megelőzéséhez kapcsolódó intézkedések, a
8. lépésben leírtak szerint, amennyiben vannak ilyenek, a szoftverrel szembeni
követelmények, melyek a 9. lépésben vannak leírva, a megengedett környezeti
feltételek mellett egy biztonsági funkció végrehajtásának a képessége.

Az ellenőrzéshez és a validáláshoz kapcsolódó valamennyi tevékenységet egy tervben kell rögzíteni.

A validálási folyamat két lényeges ága az elemzés segítségével történő validálást és az ellenőrzés segítségével történő validálást jelenti. Világosan dokumentálva kell lennie, az SRP/CS mely részeinek validálása történik elemzés, és melyik ellenőrzés (tesztelés) segítségével.

Ezeket az alapvető elgondolásokat ezért egy validálási tervben kell rögzíteni. Az „elemzés” ebben az összefüggésben a teljes műszaki dokumentáció, és a benne található feltételezések és követelmények értékelését jelenti. „Ellenőrzés” alatt az SRP/CS tesztjét értjük, azaz például a biztonsági funkciók helyességének ellenőrzése kísérlet útján történik. Az ellenőrzés azonban végrehajtható egy szimuláció segítségével is.



178. ábra: A validálási folyamat végrehajtása az ISO 13849-2-re támaszkodva

Validálási terv

A validálási terv leírja a biztonsági funkciók validálásának végrehajtását és tartalmát. Kialakítja az elemzésre és az ellenőrzésre szolgáló kereteket. A tervnek a következő témaköröket kell magában foglalnia:

A validálandó biztonsági funkciókkal kapcsolatban releváns dokumentumok azonosságát.

A keretfeltételek vizsgálatát az ellenőrzés során, azaz az üzemi és környezeti feltételekét.

Az alkalmazandó elemzéseket és ellenőrzéseket.

Az alkalmazandó vizsgálati szabványokra való hivatkozásokat.

A felelős személyeket és fokozatokat.

A validálásnak valamennyi olyan témakörrel foglalkoznia kell, mely releváns az összes biztonsági funkcióval rendelkező vezérlés tervezéséhez és megvalósításához. Ezért a validálási igény a PLR-től, az alkalmazás típusától, a technológiától és a vállalaton belül már meglévő minőségbiztosítási és ellenőrzési eljárásoktól függ.

A validálási folyamat dokumentációja

Az egyes lépések validálás által nyújtott eredményeket egy jelentésben kell rögzíteni. Ennek tartalmaznia kell valamennyi, a vezérlés tervezése során elkészült dokumentumot is. Annak érdekében, hogy áttekinthető maradjon, a validálási jelentést szisztematikusan kell felépíteni.

23 ROBOTIKA ALAPJAI

23.1 ROBOT HELYE AZ AUTOMATIZÁLT GYÁRTÁSBAN

A robot meghatározására több definíciót is megfogalmaztak már, két lehetséges meghatározást sorolunk fel alább:

A japán **Gazdasági, Kereskedelmi és Ipari Minisztérium** meghatározása szerint a robot egy "intelligens gépi rendszer, amely három alapvető technológiára épül: szenzorokra, intelligenciára/vezérlő rendszerre, illetve meghajtásra.

Forrás: <https://www.cnc.hu/2019/09/az-ipari-robotokrol/> (2022.03.18.)

A **Japán Ipari Szabvány (JIS)** definíciója szerint "egy automatikusan vezérelt, újraprogramozható, többcélú manipulátor, melynek három vagy annál több programozható tengelye van és vagy rögzített helyű vagy motoros funkciókkal, ipari

automatizálási célokra használt”. A manipulátor alatt pedig egy olyan mechanizmust értünk, amely az emberi kar és kéz működését helyettesíti. Az ipari robotoknál ez maga a test, azaz a robotkar.

Forrás: <https://www.cnc.hu/2019/09/az-ipari-robotokrol/> (2022.03.18.)

Az ipari robotika történelme az 1950-es évekig nyúlik vissza, az első robot prototípus modellt 1958-ban az USA-ban készítette az **Unimation** cég, majd 1968-ban az akkori Japán Kawasaki Heavy Industries céggel közösen kifejlesztették a Kawasaki UNIMATE típust. Ma már a robotrendszerek nagyon elterjedtek a mechatronikai és digitalizált gyártásautomatizálásban, a szenzortechnika és a mesterséges intelligencia fejlődésével előtérbe kerültek az emberrel együttműködő, kollaboratív robotok, a Cobotok.

Robot alkalmazási területek

A robot egy univerzális eszköz, amit adott ipari területre lehet specifikusan alkalmazni. A robotok alkalmazásuk szerint ellátnak technológiai, szerelő és kiszolgáló feladatokat. A technológiában a robotok jellemzően hegesztést, festést és egyéb technológiai műveleteket folytatnak. A szerelési technológiában a robotok gyakran robotcellákban a termékek összeszerelésében vesznek részt. Egy önálló feladatkört képvisel az anyagmozgatási és a kiszolgálási feladatok ellátása, a munkadarabok adagolása, munkatérbe elhelyezése, CNC berendezések kiszolgálása, a palettázás, a különböző tárolók feltöltése.



179. ábra: Gyári hegesztő robotok

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/robotika.html?filter=all&qview=14422345> (2022.02.18.)

23.2 ROBOTOK FELÉPÍTÉSE – KINEMATIKAI STRUKTÚRÁK

Az ipari robotok két fő szerkezeti egysége a kinematikai mozgásokat végző robotkar és a robotvezérlő, harmadik egységként megjelenik tanító modul (Teachbox). A robotkar tartalmazza a hajtórendszert és a pozíció érzékelő elemeket. A robothajtás, történetiségét tekintve lehet pneumatikus, hidraulikus és villamos. A mai korszerű robotikában a villamos hajtások és azon belül az AC szervomotorok terjedtek el, a pozíciók visszacsatolására pedig jeladóként encoder, vagy resolver egység kerül beépítésre. A robotvezérlőn keresztül tudjuk az eszközt programozni, koordináta adatokat tárolni és a perifériákat megszólítani. A robotvezérlők rendelkeznek I/O egységekkel is, amelyekhez kapcsolhatjuk a technológiai környezet, az érzékelőket és a beavatkozó egységeket. A robotvezérlő tartalmazza a biztonsági hardvereket és a vész – stop kört is. A tanító modul segítségével különböző funkciókat tudunk elérni, betanítási műveletek és paramétereket állíthatunk be.

Kinematikai párok

Egy kinematikai párt két egymáshoz kapcsolt elemből keletkező mechanizmus alkot. Az így létrejövő kinematikai párok lehetnek translációs, vagy rotációs kinematikai párok attól függően, hogy egyenes vonalú, vagy forgó mozgást hajtanak végre.

Ha két elemet a robotrendszeren úgy kötünk össze, hogy az egyik a másikban elmozdul, az a mozgás transláció (T), ha az elemek egy közös pont körül mozognak, az a rotáció (R). A szabadságfokot a lehetséges egymástól független szabad mozgások jelentik.

Forrás: <https://muszakiesinformatikainevelo.wordpress.com/7-osztaly-uj/eroforrasok-es-termeles/a-robot-fogalma-robotfajtak-es-alkalmazasuk-a-robot-szerkezete-es-modellezese/> (2022.03.18.)

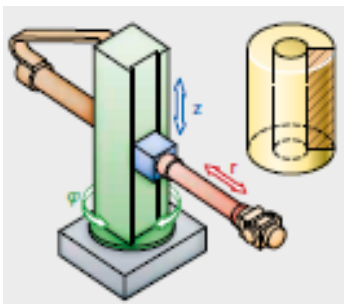


180. ábra: Kinematikai párok

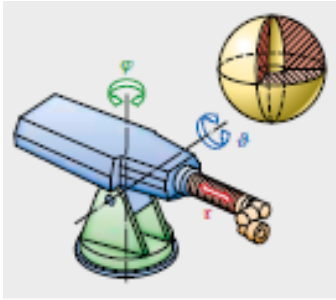
A térbeli mozgás három kinematikai pár kinematikai láncba történő összekapcsolásával valósítható meg.

Az így létrejövő térbeli koordináta rendszer alapján egy manipulációs feladatra alkalmas szerkezet lehet:

- Derékszögű koordinátarendszerű robotszerkezet – TTT
- Henger koordináta rendszerű robotszerkezet – RTT
- Gömbi koordináta rendszerű robotszerkezet – RRT
- Csuklókaros robotszerkezet – RRR+



181. ábra: RTT és RRT kinematikai párok



182. ábra: RTT és RRT kinematikai párok 2.

Robot kinematikai struktúrák

Feladattól és alkalmazási területtől függően sokfajta ipari robotot különböztetünk meg. A robotváltozatokat a kinematikai felépítésük alapján az alábbi csoportokba sorolhatjuk.

- Csuklós robotok,
- SCARA robotok,
- Delta robotok,
- Portál (ortogonális) robotok.

Csuklós, vagy csuklókaros robotok

A csuklós robotkar felépítésében az emberi váll, kar, könyök és csukló mozgását képezi le, amely rendszer ezáltal összetett mozgásokra képes. A robotkar ennek megfelelően lehet 4-, 5-, 6- vagy 7-tengellyű, vagyis hét szabadságfokú rendszer. Az emberi kar jellemzően 7 szabadságfok megvalósítására képes. Ahogy növekszik a szabadságfokok száma egy csuklós robotkarban, a szerkezet mozgási tartománya is bővül.



183. ábra: Csuklós robotkar

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/robot-arm.html?offset=100&filter=all&qview=43433475> (2022.03.18.)

A tengelyek sorban helyezkednek el és az egyes tengelyek elfordulási síkja lehet párhuzamos, vagy 90 fokos szöget zár be egymással. Ennek megfelelően vannak rotációs, forgó tengelyek és csukló tengelyek. A forgó tengelyek az alapra, vagy az őket tartó csuklóra merőleges síkúak. Mindig a feladat fogja eldönteni, hány szabadságfokú robotkar kerül beépítésre az adott technológiába. Például egy palettázási művelethez elegendő lehet a 4 szabadságfok, egy szerszámgép kiszolgálásához, vagy egy hegesztéshez szükség lehet a 6, vagy akár a 7 szabadságfokú robotkarhoz. A csuklókaros robotok munkatere igen komplex, sokrétű feladat ellátására alkalmasak.

Forrás: https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/02/48/20/dd/1/lpari_robotika_kezikonyv.pdf (2022.03.18.)

SCARA robotok

Az alap SCARA robotok egy függőleges és két vízszintes tengelyből épülnek fel, tehát 3 szabadságfokú robotrendszerek. Az újabb, ma már leginkább elterjedt változatoknál a 4 tengelyes megoldás a jellemző, a csuklórészen levő vízszintes forgótengely által. A forgó

tengelyek segítségével pozícionál a robotkar a tárgy fölé, majd a függőleges tengely mozgásával közelíti meg a tárgyat. Erre a robotkar típusra a legfőbb jellemző a gyors mozgás, ugyanakkor korlátozott a munkatere és kisebb a teherbírása. Tárgyak áthelyezésére, Pick&Place technológiában jól használható.



184. ábra: SCARA robotkar

Forrás: <https://www.alamy.com/hu/scara-robot-3d-render-image226928633.html>
(2022.03.18.)

Delta robotok

A delta robot, vagy paralel robot három, kar párból áll, melyek univerzális csuklókkal csatlakoznak a robottesthez. A robot bármelyik 2-2 tengelye közös pontban csatlakozik a szerszám egységgel, ezáltal egy háromszöget alkot, ezért is hívják delta robotnak. A karokon alkalmazott paralelogrammák alapján a szerszám mozgás közben mindig párhuzamos a robot alapjával. Nagy sebesség és kis terhelhetőség jellemzi őket, valamint a szerkezeti kialakításukból adódóan a munkaterület felett kerülnek telepítésre.



185. ábra: Delta robot

Forrás: <https://www.qigranola.top/ProductDetail.aspx?iid=57681930&pr=42.88>
(2022.03.18.)

Portál robotok

A portál robot lineáris és egymáshoz képest derékszögben felszerelt tengelyekből áll. A hajtás lineáris vezetékek közé épített golyósorsón keresztül mozgatja a szánegységet. A tengelyek számát mindig az alkalmazás határozza meg. Nem képes bonyolult műveletekre, viszont egyszerűen működtethető és alacsony költségű robot.



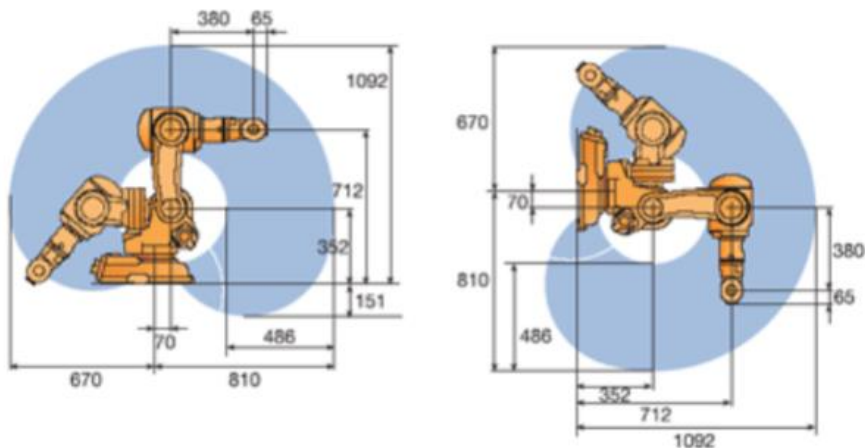
186. ábra: Portál robot

Forrás: <https://docplayer.hu/117199946-lpari-robotok-kinematikai-strukturak-munkatertipusok-2-eloadas-dr-pinter-jozsef.html> (2022.03.18.)

23.3 ROBOT JELLEMZŐK ÉS ALAPFOGALMAK

A robot kar adott feladatra történő beépítését, a robotcella biztonsági követelményeit alapvetően az alkalmazott robot technikai paraméterei és a feladat együttes rendszere határozzák meg. A robotot tehát műszaki szempontból a gyártó által garantált paraméterek alapján választjuk ki. Ehhez szükséges néhány alapfogalmat tisztázni.

A robot munkatér jellemzően a robot geometriával függ össze és leegyszerűsítve az egyes tengelyek maximum és minimum kinyúlása közötti térrész, amit még a robot szerszám középpont elér. Minden robottípusnak megvan a saját kinematikai modellje, amely a saját egyedi munkatérével rendelkezik.



187. ábra: Csuklós robotkar munkatér

Forrás: <https://docplayer.hu/117199946-lpari-robotok-kinematikai-strukturak-munkatertipusok-2-eloadas-dr-pinter-jozsef.html> (2022.03.18.)

A robotkar kinyúlás egy meghatározott, számszerű érték. A maximális karkinyúlás meghatározza, hogy a robot a rögzítési ponttól mekkora legnagyobb távolságot tud áthidalni. Az érték nem veszi figyelembe a kinyúlás irányát. Az érték csak a robotkarra vonatkozik, a szerszám és bármilyen más, a robot által mozgatott eszköz, vagy külső tengely nélkül. A karkinyúlás számszerű ismerete biztonságtechnikai okokból is nagyon fontos, hiszen a robotrendszer biztonsági területe a robot maximális kinyúláson kívül található.

A robot terhelhetőség egy számszerűen megadott érték, amely a robot szerszámközpontjára erősített teljes tömeg maximális értékét jelenti. Ez az érték tartalmazza a mozgatott munkadarab és szerszám együttes tömegét. A terhelhetőséget a

maximális tömegre, normál üzemi körülményekre maximális sebességgel és maximális kinyúlással történő mozgatásra kell érteni.

A **szerszám** rész a robotkar munkavégző egysége és csuklókaros robotoknál utolsó tengely rögzítő karimájára felszerelt eszközt jelenti. A szerszám lehet technológiai, amelyik sokrétű és bonyolult egység és lehet egy egyszerű munkadarab megfogó. A szerszám lényeges paraméterei, a tömeg, szerszám tömegközéppont, és a szerszám középpont – TCP (Tool Center Point) A TCP lényeges paraméter, mint referencia pont a robot programozása során.

Forrás: https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/02/48/20/dd/1/lpari_robotika_kezikonyv.pdf
(2022.03.18.)



188. ábra: Robotkar szerszámmal

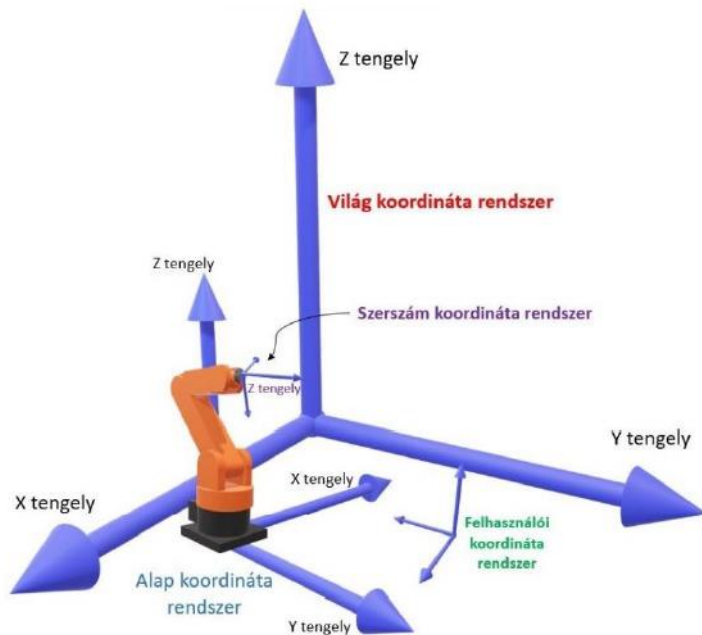
Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/robotika.html?filter=all&qview=235786272> (2022.03.18.)

Koordinátarendszerek

A robotrendszereknél az alábbi négy koordinátarendszert használjuk.

- Alap koordinátarendszer,
- Világ koordinátarendszer,
- Szerszám koordináta rendszer,

- Munka koordináta-rendszer.



189. ábra: Robot koordináta rendszerek

Forrás: https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/02/48/20/dd/1/lpari_robotika_kezikonyv.pdf
(2022.03.18.)

Leggyakrabban a világ koordináta-rendszert használjuk, amely a teljes munkaterület koordináta rendszere és sokszor az alap koordináta rendszerrel azonos.

TCP (szerszám) koordináta-rendszer pozíciója és orientációja a szerszám helyzetét fogja egyértelműen meghatározni világ koordináta-rendszerhez képest.

A TCP koordináta-rendszerben kiszámíthatjuk a megfogandó munkadarab távolságát és megközelítési irányát. A munka koordináta-rendszer az éppen végzett munkafolyamat alapját jelöli. Az egyes munkadarabok helyzetét ehhez a koordináta-rendszerhez rendelhetjük. Programozás szempontjából az egyes pontok meghatározásánál és a szerszámközpont (TCP) mozgatásánál van jelentősége az felsorolt koordináta-rendszerek alkalmazásának.

Pozíció és orientáció

A pozíció a szerszámnak, vagy munkadarabnak a pontos helyzete a robot munkatérben, egy tetszőleges pont. A munkatérben egy adott koordináta rendszerben úgy adhatunk meg egy pontot, hogy definiáljuk térbeli pozícióját X-Y-Z koordináta értékekkel és meghatározzuk orientációját (irányítottságát).

A pont pozíció megadása tehát az aktív koordinátarendszer origójától mérten kerül megadásra más és más adatot kapunk, attól függően, hogy melyik koordináta rendszerben értelmezzük. A programozás szempontjából ezért fontos a robot koordinátarendszert is meghatározni a pont pozíció megadásához. A pont pozíciót a robot TCP pontjával célszerű felvenni.

Ha a pont pozíció adataival rendelkezünk, a pontot a munkatérben végtelen irányból közelíthetjük meg, ezért a pont meghatározása csak a koordinátákkal és a koordinátarendszer megadásával nem egyértelmű. Az orientáció fogja meghatározni a robot aktív szerszám koordinátarendszerének az állásszögét az adott pontban. Ezen értékek megadása két megadási módszert jelent. Egy derékszögű koordináta rendszer helyzete a térben megadható Euler-szögek hármásának segítségével vagy kvaternió négyessel. A két megadási mód egymásba átszámítható megfelelő matematikai művelet elvégzésével. A legegyszerűbben az Euler-szögek segítségével adható meg az alábbiak szerint:

„Egy geometriai objektum tetszőleges térbeli helyzetbe hozásához három egymás után következő forgatás szükséges, melyet az Euler-szögek írnak le.

Az Euler-szögek egy tetszőleges koordináta-rendszer térbeli helyzetét jelölik egy rögzített koordináta-rendszerhez képest.”

Ez a leírás azt jelenti, hogy az alap koordináta rendszerhez képest a mozgatott koordináta rendszer egyes tengelyei milyen szögeltérést mutatnak.

Roboti rányítás

A robotkar egy előre meghatározott útvonalon, pályán mozgatja a szerszámot, vagy a megfogó egységet. A pálya bejárását pont irányítással, vagy pálya irányítással hajtja végre.

A **Point to Point - PTP** irányítás esetén a robothajtások tengelyei számára nem definiált a pálya, csak a soron következő pont, vagyis nem határozzuk meg előre az útvonal pontjai közötti mozgást. Ilyenkor minden egyes tengely pozíció szabályzója alapjelként megkapja a soron következő pont megfelelő csuklókoordinátáját (pontonként konstans alapjel). Ha egy munkadarabot akarunk mozgatni egyik pontból egy másikba elég a kezdő és a végpontot megadni ilyenkor. Ezt az irányítást nem célszerű alkalmazni, ha a robot környezetében akadályok vannak.

Azokban az esetekben, amikor a robotkar TCP pontja egy szigorú pályát jár be, mert a technológia ezt megköveteli, **folytonos pályairányításról – CP** beszélünk, (Continuous Path). Ilyen irányítást alkalmazunk hegesztésnél, vagy akár festésnél.

Fontos jellemzői még a robotnak a **pontosság és ismétlési pontosság**, valamint a sebesség és gyorsulás. Pontosság alatt azt értjük, hogy a robotkar egy adott térbeli pontot mekkora hibával, eltéréssel ér el. Az ismétlési pontosság megmutatja, hogy a robotkar egy korábbi pontot és ugyanazt a pontot, többszöri művelet során milyen tűréshatáron belül éri el.

Hajtás és jeladók

A mai korszerű robottechnikában az egyes csuklók, kinematikai párok mozgatására villamos hajtásokat használnak. Jellemzően a tengelyeket váltakozó áramú szinkron motorokkal, vagy DC motorokkal szerelik fel. A pozíció jeleket a motorokra szerelt forgás jeladók encoderek és resolverek biztosítják. Az encoder egy optikai elven működő jeladó,

mely egy forgó tárcsából és egy fényforrásból áll és a kimenetén a szögelfordulással arányos digitális értéket ad meg.

A revolver a váltóáramú motorhoz hasonló eszköz, amely a szögelfordulással arányos analóg jelet biztosít a kimeneten.

A villamos robothajtás része még az elektromechanikus fék, amely a villamos hajtás forgórészének tengelyét rögzíti, ha a robotmozgás megszűnik, vagy a robot áramtalanítva van, vagy biztonsági ókból megállt.

23.4 KOLLABORATÍV ROBOTIKA

A robotika egy újonnan fejlődő ága a kollaboratív robotok – cobotok területe. Ez a robot koncepció alkalmas arra, hogy a gyártástechnológiában közvetlen kapcsolatot létesítsen az emberrel.

A cobot speciális óvintézkedések nélkül (elhatárolt munkaterület, fénySOROMPÓK és rácsos cellák nélkül) képessé válik, hogy biztonságosan együtt dolgozzon az emberrel. A mozgása során figyelembe veszi az emberi mozgást is és elkerüli ezáltal az ütközéseket. A cobotok megfelelő biztonsági intelligenciával és fejlett szenzorrendszerrel felszerelve tehetők alkalmassá az emberrel történő együttműködésre. Az esetleges ütközések előzetes észlelését az integrált kapacitív, vagy ultrahangos szenzorok és kamerás rendszerek segítik. Mindez a rugalmasság és adaptivitás megteremti a lehetőségét a teljesen új, digitális hálózatba kapcsolt folyamatok kialakítását.

A cobot ember közeli alkalmazása előtt még további kérdéseket is kell tisztázni, mint például a munkabiztonság jogi kérdései. A kollaboratív robotokat elsősorban az összeszerelésben és a szerszámgépek kiszolgálásában használják a közeljövőben.



190. ábra: Kollaboratív robotkar 3D rendszer

Forrás: <https://hu.depositphotos.com/stock-photos/kollaborativ-robot.html?filter=all&qview=522092752> (2022.03.18.)

24 TESZTKÉRDÉSEK TUDÁSELLENŐRZÉSHEZ

1. Mi a mechatronikai rendszerek struktúrája?
 - a) Energiaforrás - Szenzor – Robot
 - b) Szenzor – Processzor - aktuátor

2. A Hall – érzékelőnek az alábbiak közül melyik egy jellemző alkalmazása?
 - a) Folyadékszint érzékelés
 - b) Műanyag alkatrészek érzékelése
 - c) Mágnes dugattyús munkahenger pozíció érzékelése

3. Az alábbi felsorolásban melyik az a programnyelv, amelyik sorrendi folyamatábrákból épül fel?
 - a) Utasításlista
 - b) Szekvenciális funkciódiagram

4. Az alábbi lehetőségek közül válassza ki a horizontális hálózati struktúrára jellemző megoldást!
- a) Termékfejlesztés – gyártás - logisztika
 - b) Vevők – szállítók - megrendelők - szolgáltatók
5. Az alábbi meghatározások közül melyik a kiber – fizikai termelőrendszer rövidítése? CPPS rövidítés között?
- a) A CPPS a kiber-fizikai termelő rendszer
 - b) A CPS a kiber-fizikai termelő rendszer
6. Mi a kiterjesztett valóság lényege?
- a) Egy tárgy, vagy berendezés komponenseinek, virtuális, valós idejű megjelenítése
 - b) A fizikai valóság információinak virtuális adatokkal történő kiegészítése
7. Az alábbi megfogalmazások közül jelölje meg a az RFID rendszerre vonatkozó megfogalmazásokat IGAZ-HAMIS jelző megadással:
- a) Az RFID működését nem befolyásolja a frekvenciatartomány.
I H
 - b) Az RFID működéséhez nem feltétlenül kell külső antenna.
I H
 - c) Az RFID csak a magas frekvencia tartományban működik.
I H
8. Az alábbi megfogalmazások közül jelölje meg azt, amelyik az AS- Interfészre jellemző!
- a) Az AS – interfész mester/szolga rendszerű
 - b) Az AS – interfész buszelérési eljárása nem determinisztikus

9. Hol helyezkedik el a SCADA felügyeleti szint a mechatronikai hierarchiában?

- a) A MES üzemvezetési szint alatt
- b) A MES üzemvezetési szint felett
- c) Ez a legmagasabb szint a hierarchiában

10. Mi a HMI?

- a) Az ember – gép kapcsolat egy általános az eszköze
- b) Szensorjelek adatgyűjtő kártyája
- c) PLC központi egysége

11. Melyik az alábbiak közül egy magas szintű PLC programnyelv?

- a) Létradiagram
- b) Strukturált szöveg
- c) Szekvenciális funkció diagram

12. Mennyi lépésből áll a gépbiztonság meghatározása a mechatronikai rendszerekben?

- a) 5
- b) 7
- c) 10

13. Egy SCARA robot jellemzően hány szabadságfokú?

- a) 1-2
- b) 3-4
- c) 5-7

25 ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A mechatronika összetevői	7
2. ábra: A mechatronikai rendszerek strukturális modellje	8
3. ábra: Komplex mechatronikai autóiipari gyártórendszer	11
4. ábra: Tipikus alkalmazási jellemzők	15
5. ábra: Induktív érzékelő működési elve	16
6. ábra: Induktív érzékelő erőtere St37 anyagú csillapító fül nélkül és füllel	17
7. ábra: Közelítéskapcsoló csökkentési tényezője, a csillapító fül elektromos vezetőképessége és relatív permeabilitása hányadosának függvényében	18
8. ábra: Beépített réz árnyékoló gyűrűs induktív érzékelő erővonalképe	19
9. ábra: Induktív érzékelő rezgőkörének egyszerűsített helyettesítő áramköre	20
10. ábra: Induktív közelítéskapcsoló tömbvázlata	20
11. ábra: Az oszcillátor-kapcsolás elve	21
12. ábra: Hőkompenzált oszcillátor-kapcsolás	21
13. ábra: Hengeres és hasáb alakú induktív közelítéskapcsoló	22
14. ábra: Hengeres és hasáb alakú induktív közelítéskapcsoló 2.	22
15. ábra: Hengeres induktív érzékelő elvi felépítése	22
16. ábra: Réses közelségi kapcsoló elvi felépítése	23
17. ábra: Gyűrűs közelségi kapcsoló tekercse és axonometrikus nézeti képe	24
18. ábra: Bistabil gyűrűs közelségi kapcsoló tekercsrendszere és tömbvázlata	25
19. ábra: Bistabil gyűrűs közelségi kapcsoló tekercsrendszere és tömbvázlata 2.	25
20. ábra: Anyagokat megkülönböztető érzékelő elvi ábrája.....	26
21. ábra: Áramfelvétel előcsillapítással és anélkül	27
22. ábra: Analóg érzékelő tömbvázlata.....	28
23. ábra: Analóg érzékelő tömbvázlata 2.....	28
24. ábra: Induktív közelítéskapcsoló működése az érzékelő és az ügyfél csatolófelülete közötti láncszemként.....	29
25. ábra: Háromvezetékes egyenfeszültségű kapcsoló pnp és npn kimenőfokozata	30
26. ábra: Induktív egyenfeszültségű kapcsolók csatlakoztatási módjai.....	30
27. ábra: DIN 19234 (NAMUR) szabványos elmozdulás/áram jelleggörbe	31

28. ábra: Induktív egyenfeszültségű kapcsoló ütemezett visszakapcsolásos túlterhelés- és zárlatvédelme.....	33
29. ábra: Induktív egyenfeszültségű kapcsoló ütemezett visszakapcsolásos túlterhelés- és zárlatvédelme 2.....	33
30. ábra: Büttykös kapcsolómű lekérdezése induktív érzékelőkkel.....	33
31. ábra: Elfordulási szög meghatározása induktív réses közelség kapcsolókkal.....	34
32. ábra: Kapacitív érzékelő működési elve.....	34
33. ábra: Kapacitív érzékelő tömbvázlata.....	35
34. ábra: Kapacitív érzékelő működtetési lehetőségei a) nem vezető anyagú.....	35
35. ábra: Kapacitív érzékelő működtetési lehetőségei b) szigetelt vezető.....	36
36. ábra: Kapacitív érzékelő működtetési lehetőségei c) földelt füllel.....	36
37. ábra: Kapacitív érzékelő csökkentési tényezője a kapcsolófül ϵ_r permittivitásának függvényében.....	37
38. ábra: A szennyeződés-kompenzálás elve.....	38
39. ábra: Hengeres és hasáb alakú kapacitív érzékelő.....	39
40. ábra: Hengeres érzékelő elvi felépítése.....	39
41. ábra: Helyzetérzékelés kapacitív érzékelővel.....	40
42. ábra: Műanyag termékek feltöltési szintjének érzékelése.....	40
43. ábra: A hőmérséklet és a légnyomás hatása a hangterjedési sebességre.....	42
44. ábra: Elektrosztatikus ultrahangos energiaátalakító vázlata.....	43
45. ábra: Hajlításos rezgőelemes hanggenerátor szemléltető vázlata.....	44
46. ábra: Hajlításos rezgőelemes hanggenerátor szemléltető vázlata.....	45
47. ábra: $\lambda/4$ negyedhullámú rezgőelem vázlata.....	46
48. ábra: A „P+F rezgőelem” vázlata.....	47
49. ábra: Antinódusok és nódusok.....	47
50. ábra: A „P+F rezgőelemmel” a gyakorlatban elérhető rezgési amplitúdók.....	48
51. ábra: UJ-4000-FP-H12 típusú ultrahangos energiaátalakító mért sugárzási karakterisztikája.....	49
52. ábra: A rezgőelem feszültségének időbeli alakulása egyfejes rendszerben.....	51
53. ábra: Egyfejes ultrahangos érzékelő tömbvázlata.....	52

54. ábra: Az adó- és vevőfokozat tömbvázlata	53
55. ábra: Az adó- és vevőfokozat tömbvázlata	54
56. ábra: Ultrahangos érzékelő (UJ 2000+U1+H12+P1) mechanikus felépítése	56
57. ábra: Egyutas és kétutas ultrahangos sorompók működésének magyarázata.....	58
58. ábra: Iránykarakterisztika.....	61
59. ábra: A felület ferdesége	62
60. ábra: Hang eltérítése	62
61. ábra: Torlódás ellenőrzése ömlesztett anyagot mozgó szállítószalagon.....	64
62. ábra: Impulzus-terhelhetőség	65
63. ábra: Síkablakos LED tokozása és intenzitás-eloszlása.....	66
64. ábra: Lencsés LED tokozása és intenzitás-eloszlása	66
65. ábra: Félvezetős GaAs lézer.....	67
66. ábra: A LED és a lézer spektruma	68
67. ábra: Optikás lézerdióda	69
68. ábra: Fotodiódák működési módja	69
69. ábra: Síkablakos fotodiód tokozása és intenzitás-eloszlása.....	71
70. ábra: Lencsés fotodiódatokozása és intenzitás-eloszlása	71
71. ábra: PSD dióda	73
72. ábra: PSD dióda	73
73. ábra: Reflexiós fényszkenner	74
74. ábra: Reflexiós fénysorompó	75
75. ábra: Egyirányú/átvilágító fénysorompó	76
76. ábra: Az optikai kapcsoló működését sokféle zavaró hatás akadályozza	77
77. ábra: A diódaáram és ezáltal a fény négyszögjeles modulálása	78
78. ábra: A sávszűrő kiszűri a kisfrekvenciás zavarokat	79
79. ábra: A komparátor kiszűri a gyenge jeleket.....	79
80. ábra: Polárszűrő	80
81. ábra: Macskaszemek (Prizmák)	81
82. ábra: Polarizált fényel működő reflexiós fénysorompó.....	81
83. ábra: Háttérelnyomás.....	82

84. ábra: Fényvezető működési elve	83
85. ábra: Fényvezető keresztmetszete	83
86. ábra: A háromszögelés elve.....	84
87. ábra: Papír feltekerés figyelése optikai érzékélővel	85
88. ábra: Görgős raklapmozgató	85
89. ábra: Hengeres állandó mágnes mágneses tere	86
90. ábra: Mágneses erővonalak törése határfelületen.....	87
91. ábra: Állandó mágnes mágneses tere, amelyet acéllemez befolyásol	87
92. ábra: Hall-érzékelő elvi felépítése	88
93. ábra: InSb félvezető anyagú magnetorezisztív érzékélő.....	90
94. ábra: Ferromágneses permalloy anyagból készült magnetorezisztív érzékélő	90
95. ábra: Mágnes-tér-érzékelő elvi felépítése.....	91
96. ábra: Az impulzusáramos üzemmód elvi kapcsolási rajza	92
97. ábra: A reverzibilis permeabilitás meghatározása	93
98. ábra: Mágnes-tér-érzékelő belső szerkezet	94
99. ábra: Mágnes-tér-érzékelő beépítése	95
100. ábra: Mágnes-tér-érzékelő beépítése 2.	95
101. ábra: Külön mágnesekből álló mágnesrendszer	95
102. ábra: Utasításlista példaprogram	101
103. ábra: Strukturált szöveg példaprogram	102
104. ábra: Létradiagram példaprogram	104
105. ábra: Létradiagram példaprogramjának alternatív megoldása	104
106. ábra: Funkcióblokk diagram példaprogram	106
107. ábra: Szekvenciális funkciódiagram gyártósor egyszerűsített működési példaprogramja	108
108. ábra: Szekvenciális funkciódiagram gyártósor egyszerűsített működési példaprogramja	108
109. ábra: Pneumatikus kétujjas megfogó.....	110
110. ábra: Pneumatikus szelepsziget	111
111. ábra: Szabályozott, változtatható munkatér fogatú hidromotor	112

112. ábra: Szervorendszer mechanikája és elektronikája.....	112
113. ábra: Hibrid rendszer pneumatikus, elektropneumatikus és elektromos tengelyekkel	113
114. ábra: Horizontális és vertikális hálózati struktúra.....	117
115. ábra: CPS – a digitális iker (illusztráció).....	118
116. ábra: Automatizált, adaptív és hatékony gyártási folyamatok	121
117. ábra: Automatizált, adaptív és hatékony gyártási folyamatok	122
118. ábra: Fényfüggőnnyel védett veszélyzóna	124
119. ábra: Arcfelismerő technológia a dolgozó számára a gép hozzáférés engedélyezéséhez	125
120. ábra: Prediktív karbantartás.....	125
121. ábra: Kiterjesztett valóság megjelenítése tablet segítségével.....	127
122. ábra: RFID struktúra	128
123. ábra: Decentralizált adattárolási struktúra	131
124. ábra: Busz (vonal) topológia.....	133
125. ábra: Fa topológia.....	134
126. ábra: Gyűrűs topológia.....	134
127. ábra: Redundáns fényvezetős gyűrű.....	135
128. ábra: Átviteli fajták.....	136
129. ábra: Alapsávi átvitel Szinkron időkerete.....	136
130. ábra: Alapsávi átvitel aszinkron időkeret (UART karakter)	137
131. ábra: Buszelérési eljárások áttekintése.....	138
132. ábra: Mester/szolga elv.....	139
133. ábra: Token elv.....	139
134. ábra: Hibrid elérési eljárások.....	140
135. ábra: AS-interfész struktúrája	143
136. ábra: A PROFIBUS alkalmazási területei.....	144
137. ábra: Az Ethernet helye a hétrétegű modellben.....	145
138. ábra: A PROFINET alkalmazási területe.....	146
139. ábra: PROFINET protokollok.....	147

140. ábra: IO-Link kommunikációs rendszer	148
141. ábra: Az ipari automatizálás szintjei, struktúrája	149
142. ábra: A SCADA helye az automatizálási hierarchiában	153
143. ábra: A SCADA rendszerek egyszerűsített felépítése	154
144. ábra: Egy HMI alkalmazás.....	157
145. ábra: Új szenzortechnikai irányok	159
146. ábra: Autópálya forgalmi adatok megosztása vezeték nélküli szenzorok jeleinek számítógépes feldolgozásával	161
147. ábra: PLC webserver megoldás.....	164
148. ábra: Paraméterek megjelenítése a webserver adatai alapján egy vizualizált felületen	166
149. ábra: Init és Step programlépések	168
150. ábra: Init és Step programlépések	168
151. ábra: Egymást követő sorrendi végrehajtás.....	168
152. ábra: Alternatív elágazás	169
153. ábra: Párhuzamos elágazás	169
154. ábra: Elágazások	170
155. ábra: Belépési utasítás	170
156. ábra: Kilépési utasítás.....	171
157. ábra: Minősítők	171
158. ábra: P&P robotcella SCARA robottal.....	172
159. ábra: P&P robotcella SCARA robottal 2.....	173
160. ábra: Vizsgáló egység	174
161. ábra: Vizsgáló egység 2.	174
162. ábra: Vizsgáló egység 3.	175
163. ábra: Multi-gyártósor	176
164. ábra: CytoPac tápegység.....	177
165. ábra: CE-jelölés.....	180
166. ábra: A szabványok struktúrája a gépekről szóló irányelvek	181
167. ábra: A vezérlőrendszerek biztonsággal összefüggő részei (SRP/CS)	182

168. ábra: A kockázatelemzés, mint a gépbiztonság alapja.....	183
169. ábra: A kockázatértékelés folyamata	185
170. ábra: A kockázatcsökkentés elve a biztonsági funkció révén	190
171. ábra: Kapcsolási rajz kiindulási alapként a blokkdiagramhoz	191
172. ábra: Három alrendszerből (SRP/CSa–c) álló SRP/CS.....	194
173. ábra: Kapcsolási rajz elemzése a biztonságot érintő részegységek beazonosításához	196
174. ábra: Vezérlések (SRP/CS) azonosított, biztonságot érintő alkatrészei.....	198
175. ábra: A diagnosztikai lefedettség fokának meghatározása.....	201
176. ábra: A szoftver életciklus V modellje	204
177. ábra: A biztonságot érintő szoftverrel szembeni követelmények felosztása	205
178. ábra: A validálási folyamat végrehajtása az ISO 13849-2-re támaszkodva.....	208
179. ábra: Gyári hegesztő robotok.....	210
180. ábra: Kinematikai párok	212
181. ábra: RTT és RRT kinematikai párok.....	212
182. ábra: RTT és RRT kinematikai párok 2.	213
183. ábra: Csuklós robotkar	214
184. ábra: SCARA robotkar	215
185. ábra: Delta robot.....	216
186. ábra: Portál robot.....	216
187. ábra: Csuklós robotkar munkatér.....	217
188. ábra: Robotkar szerszámmal	218
189. ábra: Robot koordináta rendszerek	219
190. ábra: Kollaboratív robotkar 3D rendszer.....	223

26 TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: Hanghullámok terjedése levegőben	41
2. táblázat: A példaprogram igazságtáblája	104
3. táblázat: Példák a veszélyekre – (Kivonat az ISO 12100 szabványból)	187

27 FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Bosch Rexroth Industry szakmai dokumentumai
2. <https://computerworld.hu/uzlet/ipar-4.0-igy-modernizalodnak-a-vallalatok-211037.html> (2022.03.14)
3. <https://kltebaratikore.unideb.hu/lpar%204.0..pdf> (2022.03.14)
4. https://konferencia2015.infoter.eu/_eloadasok/2/12-30-dr-kovacshazy-tamas.pdf (2022.03.14)
5. <https://maddock.it.unideb.hu/portal/displayDocument/Szervezeti%20t%C3%A1rak/Kari%20t%C3%A1rak/MK/Szervezetek/Mechatronikai%20Tansz%C3%A9k/Mechatronikai%20m%C3%A9rnek%C3%B6k/Kiberfizikai%20rendszerek.pdf> (2022.03.14.)
6. <https://ident.hu/rfid> (2022.03.14)
7. Gerhard Lämmlin, Otto Spielvogel, Walter Eichler, Philipp Schott, Hans Hebel, Carsten Sartor, Ulrich Winter, Eckhard Thiele, Alexander Scheib (2019). Fachkunde Mechatronik. Europa Lehrmittel
8. <http://industry4.hu/hu/fogalomtar/mes-manufacturing-execution-system> (2022.03.14)
9. <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi> (2022.03.14)
10. <https://www.cnc.hu/2019/09/az-ipari-robotokrol/> (2022.03.14)
11. <https://muszakiesinformatikainevelo.wordpress.com/7-osztaly-uj/eroforrasok-es-termeles/a-robot-fogalma-robotfajtak-es-alkalmazasuk-a-robot-szerkezete-es-modellezese/> (2022.03.14)
12. https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/02/48/20/dd/1/lpari_robotika_kezikonyv.pdf (2022.03.14)