

Budapesti Műszaki Főiskola
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

Automatizálás gyakorlata
Gecsey László – Dr. Harkay Tamás - Neszveda József – Vajda Aurél

BMF KVK 2048
Budapest, 2009.

Lektor:
Kucsera Péter

Felelős kiadó: Dr. Turmezei Péter a BMF KVK dékánja
Készült a BMF Nyomdájában
Munkaszám: 2/2009
Műszaki vezető: Békky István
Jegyzetszám: BMF KVK 2048
Példányszám: 130

Tartalomjegyzék

5	1. Vezérléstechnikai érzékelők és végrehajlók vizsgálata (dr. Harkay Tamás)
21	2. Elektromechanikus és pneumatikus vezérlések (Neszveda József)
41	3. Vezérlés vezérlő relével (Neszveda József)
53	4. PLC programozás technikája (Neszveda József)
75	5. Vezérlés PLC-vel (Neszveda József)
85	6. Frekvenciaváltó konfigurálása (dr. Harkay Tamás)
101	7. PLC-vel vezérelt frekvenciaváltó (dr. Harkay Tamás)
111	8. Szabályozási körök értéktartása és értékkövetése (Vajda Aurél)
125	9. Szabályozási körök analízise (Gecsey László)
141	10. Szakaszenntíftítkálás (Neszveda József)
159	11. Valós idejű szabályozás optimalizálása (Neszveda József)
173	12. Kaszkádszabályozás vizsgálata (Vajda Aurél)
181	13. Diszkrétidejű rendszerek vizsgálata (Gecsey László)
197	14. Diszkrétidejű szabályozások tervezése (Gecsey László)
213	15. Állásos szabályozások vizsgálata (Gecsey László)
229	16. Kompenzált állásos szabályozások tervezése (Gecsey László)
245	17. Hőmérsékletérzékelők és programozható távadó vizsgálata (Vajda Aurél)
257	18. Áramlásmérők és távadók vizsgálata (Vajda Aurél)
265	19. Szinttávadók vizsgálata (Vajda Aurél)
271	20. Programozható villamos szabályozó vizsgálata (Vajda Aurél)
281	21. Szabályozástechnikai végrehajtó és beavatkozó (dr. Harkay Tamás)
293	22. Hőmérsékletszabályozás vizsgálata (Vajda Aurél)
301	23. Vizes oldatok villamos vezérlőképességének mérési módszerei (Vajda Aurél)
307	24. Vizes oldatok pH mérési módszerei (Vajda Aurél)

1. VÉZÉRLÉSTECHNIKAI ÉRZÉKELŐK ÉS VÉGREHAJTÓK VIZSGÁLATA

A hallgatók gyakorlati tapasztalatokat is szereznek a vezérlő berendezések (vezérlő relék, PLC-k) bemeneti és kimeneti csatornához leggyakrabban kapcsolódó érintkezős- és érintkező nélküli kétállapotú érzékelők és végrehajtók kapcsolástechnikájáról, megismerik ezek működési elvét, megvalósítási formáit, fontosabb műszaki paramétereit és szabványos jelöléseit.

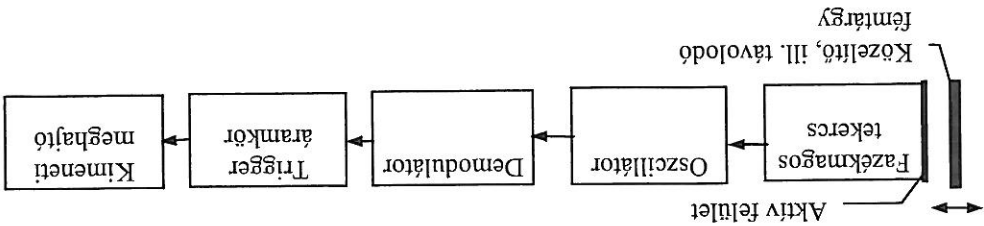
1. Elméleti ismeretek

1.1. Vezérléstechnikai kétállapotú érzékelők

1.1.1. Érintkező nélküli (villamos) kétállapotú érzékelők

Induktív közeliéskapcsolók

Ezek az érintkező nélküli kétállapotú érzékelő család első csoportját képezik. Működési elvüket tekintve egy ferrit fazékmagos tekercessel rendelkező LC oszcillátor tartalmaznak, amelynek mágneses erővonalai az érzékelő közeli, ill. tőle távolodó fémtárgyban örvényáramot indukálnak. A ferritmagos tekercset a közeli, ill. aktív felületnél helyezik el. A fémtárgyban keletkező örvényáram következtében a mágneses térből energia elvonás történik, amely viszont az oszcillátor lengési amplitúdó csökkenését eredményezi. Ez a csökkenő amplitúdóú oszcillátor jel egy demodulátor (egyenirányító) és schmitttrigger áramkörön keresztül a kimeneti meghajtó fokozatra jut, amely hisztereziszes kétállapotú kimeneti jelet szolgáltat. Az induktív közeliéskapcsoló blokkdiagramos felépítése az 1. ábrán látható.



1. ábra. Az induktív közeliéskapcsoló tömbvázlatos felépítése

Megjegyzés: Amennyiben alumínium fémekkel kívánjuk használni a két-három, négyvezetékes $s_n = 4\text{ mm}$ kapcsolási távolságú induktív közeli társolásokkal, akkor az alumíniumra értelmezett kapcsolási távolság csökkenteni fog az ötvözött alumínium anyag összetételétől függően $s_n = 1.2 \dots 1.8\text{ mm} - re$.

Anyag	Korrekciós tényező
Acél (Fe360)	1
Vörösréz	0.25...0,45
Sárgaréz	0.35...0.50
Alumínium	0.3...0.45
Rozsdamentes acél	0.6...1
Nikkel	0.65...0.75
Öntöttvas	0.93...1,05

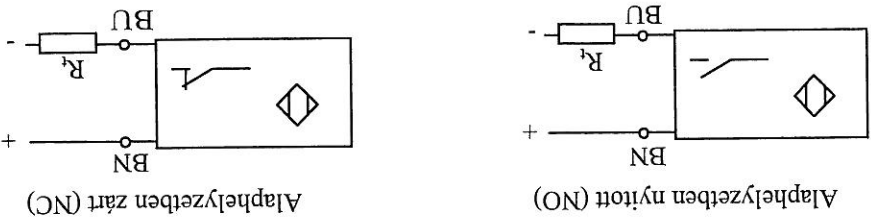
1.táblázat. Különböző fém anyagok korrekciós tényezői

A közeli fém társ (az induktív közeli társolásoknál csak fém lehet a közeli tárgy) alakját, méretét, vastagságát normalizálták az EN 60947-5-2 szabványban. E szerint egy normalizált mérőlemezre vonatkoztatja ez a szabvány az „s” kapcsolási távolságot. A négyzet alakú, 1mm vastagságú Fe360 acéllemez oldalainak hossza (a) az induktív közeli társoló aktív felületének az átmérőjével azonos, vagy $3 s_n$, ha ez az érték nagyobb a nevezett aktív felület átmérőjénél, hengeres kialakítású közeli társolások esetén (ilyen, OMRON gyártmányú közeli társolások találhatók, két-, három-, és négyvezetékes kivételben, valamennyinél az aktív felület átmérője: 12mm). A katalógusok az $[s_n]$ méretezési kapcsolási távolságot adják meg. A méretezési kapcsolási távolság olyan paraméter, amelynel figyelmen kívül hagyják a gyártási tűréseket, a példányok közötti szórás, külső kedvezőtlen hőmérsékleti és társolási távolság okozta hatásokat. A valós, tényleges kapcsolási távolságnak $[s_n]$ névelges társulási távolság és $+23^\circ C \pm 5^\circ C$ hőmérséklet tartomány esetén, a $[0.9 s_n \leq s_i \leq 1.1 s_n]$ tartományba kell esnie. A közeli társolások hiszterezisének kisebb-egyenlőnek kell lennie a valós kapcsolási távolság 20%-ánál ($H \leq 0.2 s_i$). A méretezési kapcsolási távolságot $[s_n]$ „korrekciós tényezővel” módosítani kell abban az esetben, ha a normalizált mérőlemez anyagától eltérő anyagú a közeli fém társ. Az EN 60947-5-2 szabvány szerint a korrekciós tényezők az 1. táblázatban láthatók.

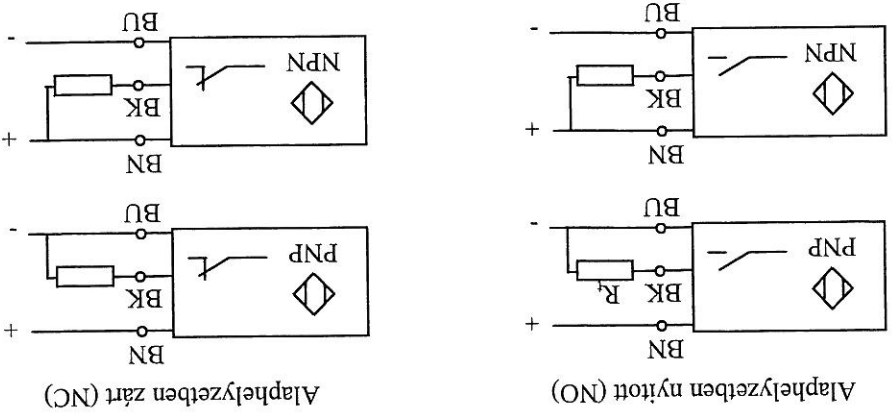
Az induktív közeliéskapcsolók külső tápfeszültséget igényelnek, amelyek típusától függetlenül egyen- vagy váltakozó feszültségűek lehetnek. Döntő többségük egyenfeszültségről üzemel. A vizsgálatoknál használt közeliéskapcsolók is egyenfeszültségről üzemelnek ($U_T = 24V\ DC$). A hengerestől eltérő kialakítási formákkal is gyártanak induktív közeliéskapcsolókat, mint pl. négyyszögű, gyűrűs-, réskialakítással. Az induktív közeliéskapcsolókat nagy elektromágneses zavarvédelemmel (EMI) és magas IP védelemmel készíthetik (IP67). Az egyenfeszültséggel működő közeliéskapcsolók meghajtó fokozatai PNP- és NPN tranzisztoros kimenetekkel, alaphelyzetben nyitott (NO: Normally Open) vagy alaphelyzetben zárt (NC: Normally Closed) változatokban kerülnek kialakításra. A közeliéskapcsolók két- három és négyvezetűek kialakítással készülnek, 2m-es kábellel, vagy csatlakozó aljzatos megvalósítási formában.

A vezetékek színkódjai nemzetközi szabványban (IEC60757) rögzítettek:

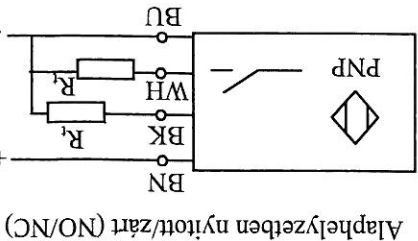
- BN (brown:barna) pozitív tápfeszültség vezetéke,
- BK (black:feketé) kimeneti jel vezetéke (ponált),
- WH (white:fehér) kimeneti jel vezetéke (negált),
- BU (blue:kék) negatív tápfeszültség vezetéke.



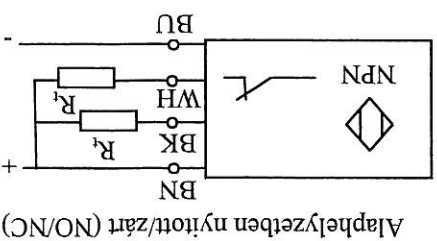
2. ábra. A kétvezetűes közeliéskapcsolók szabványos jelölései és színkódjai



3. ábra. A három-vezetűes közeliéskapcsolók szabványos jelölései és színkódjai



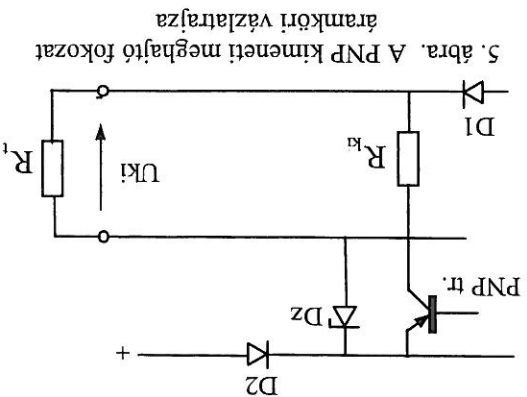
Alaphelyzetben nyitott/zárt (NO/NC)



Alaphelyzetben nyitott/zárt (NO/NC)

A három-vezetékű PNP ki-menet meghajtó fokozat (a ki-menet a pozitív pontra kapcsolja, ún. „áramforrás”-ként üzemel) szemléltető áramköri vázlatja az 5. ábrán látható.

D1: póluscserére elleni védelmi dióda,
Dz: határoló Zener dióda,
D2: póluscserére elleni védelmi dióda a terhelés áramkörében (csak rövid-zár védelmi kialakításnál létezik),

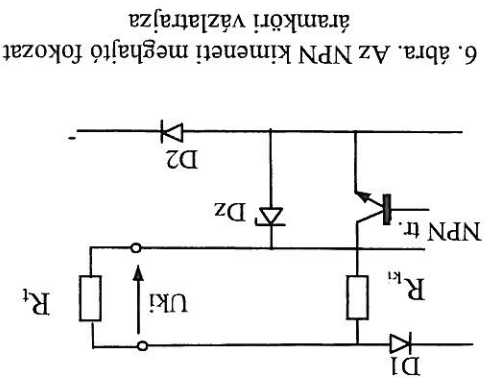


5. ábra. A PNP ki-menet meghajtó fokozat áramköri vázlatja

Rki: a közeliéskapcsoló ki-menet ellenállása,
Rt: a közeliéskapcsoló terhelő ellenállása (pl. vezérő relé, PLC bemeneti ellen-állása, mágnes kapcsoló-, relé tekercs ellenállása, stb.).

A három-vezetékű NPN ki-menet meghajtó fokozat (ki-menetet a negatívra kapcsolja, ún. „áramnyel-ő”-ként üzemel) szemléltető áramköri vázlatja a 6. ábrán látható.

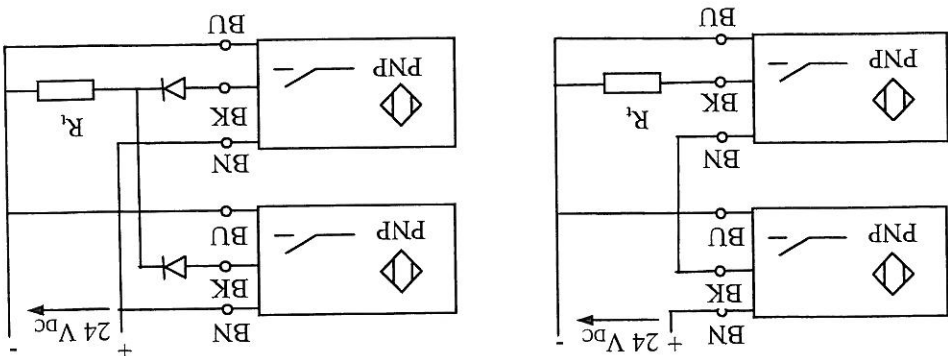
D1: póluscserére elleni védelmi dióda,
Dz: határoló Zener dióda,
D2: póluscserére elleni védelmi dióda a terhelés áramkörében (csak rövid-zár védelmi kialakításnál létezik),



6. ábra. Az NPN ki-menet meghajtó fokozat áramköri vázlatja

Rt: a közeliéskapcsoló terhelő ellenállása.
A közeliéskapcsoló soros és párhuzamos kapcsolásával „AND” és „OR” kapcsolás valósítható meg.

Alaphelyzetben nyitott (NO)



7. ábra. A három-vezetékű DC működésű, PNP kimenetű közeli tápellátás (ES kapcsolás) soros kapcsolása

8. ábra. A három-vezetékű DC működésű, PNP kimenetű közeli tápellátás (VAGY kapcsolás) mos kapcsolása

Kapacitív közeli tápellátások

Ezek az érintkező nélküli kétállapotú érzékelő család második nagy csoportját képezik. Rajztechnikai jelöléseik megegyeznek az induktív közeli tápellátásokkal. A kapacitív elven működő közeli tápellátások elvben különböznek az induktív elven működőktől. Ez esetben az érzékelő aktív felületénél egy gyűjtő kondenzátort helyeznek el. Az egyik elektródát a közeli tápellátás közeli tápellátási homlok felületén, a gyűjtőelektródát a közeli tápellátás közeli tápellátási kör alakú lemez képezi. A két elektród közötti elektromos erőter a közeli tápellátó ill. tápellátó érzékelendő tárgy hiánya esetén a levegőben zártódik. Amennyiben, e tárgy jelen van, akkor a két tápellátó közötti erőter e tárgyon keresztül zártódik, és ezáltal jelentősen módosul a kapacitás is, amelyet a tárgy sűrűségétől függő $[e_r]$ dielektromos együttható megváltoztatása okozza. A kapacitás az alábbiak szerint határozható meg:

$$C = e_0 e_r \frac{d}{A}$$

<1>

ahol e_0 : a légtér, azaz a vákuum dielektromos állandója,
 e_r : kondenzátor tápellátó közötti anyagok sűrűségétől függő dielektromos együttható,
 A : a kondenzátor tápellátó felülete (esetünkben az aktív felület),
 d : az aktív felület és az érzékelési tárgy közötti távolság.

A közelítő tárgy alakját, méretét, vastagságát az indukтив közelítéskapcsolókval megegyezően normalizálták az EN 60947-5-2 szabványban. Ezerint egy normalizált mérőlemezre vonatkoztatja ez a szabvány az „s” kapcsolási távolságot. Egy négyzet alakú, 1mm vastagságú Fe360 acéllemez képezi a normalizált mérőlemez, amely oldalainak hossza (a) a kapacitiv közelítéskapcsoló aktív felületének az átmérőjével azonos, vagy $3s_n$, ha ez az érték nagyobb a nevezett aktív felület átmérőjénél, hengeres kialakítású közelítéskapcsolók esetén (hengeres kialakítású kapacitiv közelítéskapcsolót vizsgálunk). Az aktív felülethez közeledő tárgy kapacitás változása okozza a közelítéskapcsolóban lévő RC oszcillátor lengési amplitúdójának a csökkenést. Ez a csökkenés amplitúdójú oszcillátor jel egy demodulátor (egyenirányító) és schmitttrigger áramkörön keresztül a kimeneti meghajtó fokozatra kerül, amely hiszterezízis kétállapotú kimeneti jelet szolgáltat, teljesen azonos módon, mint az 1. ábrán bemutatott indukтив közelítéskapcsoló. Abban különböznek jelentős mértékben a kapacitiv közelítéskapcsolók az indukтивokétól, hogy az érzékelendő tárgy ez esetben nemcsak fém lehet.

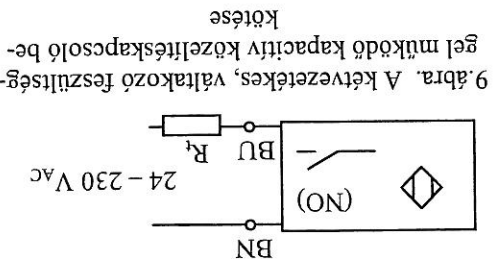
Néhány lehetséges alkalmazott anyagot példaképpen felsorolva: üveg, fa, kerámia, grafit, sav, műanyag, olaj, víz, stb. Amennyiben, a normalizált mérőlemezről eltérő anyagokat használnak, akkor korrekciós tényezőket szükséges alkalmazni. A 2. táblázatban néhány anyag EN 60947-5-2 szabvány szerint korrekciós tényezője látható.

2.táblázat. Néhány anyag korrekciós tényezője

Anyagok	Korrekciós tényezők
Acél (Fe360)	1
Víz	1
Üveg	0.4..0.6
Kerámia	0.2...0.5
PVC	0.2..0.47
Akriil-üveg	0.39..0.45
Polikarbonát	0.26..0.4

A kapacitiv közelítéskapcsolók egy részénél az s_n mértezési kapcsolási távolság állítható, mint pl. a vizsgálatoknál használt közelítéskapcsoló is, amelynek az s_n mértezési kapcsolási távolsága egy miniatűr potencióméterrel állítható 3...25 mm-es tartományban.

A kapacitív közelítéskapcsolók külső tápfeszültséget igényelnek, amelyek típusától függően egyen- vagy váltakozó feszültségűek lehetnek. Jelentős részük váltakozó feszültséggel üzemel, és kétvezetékes kialakítású.



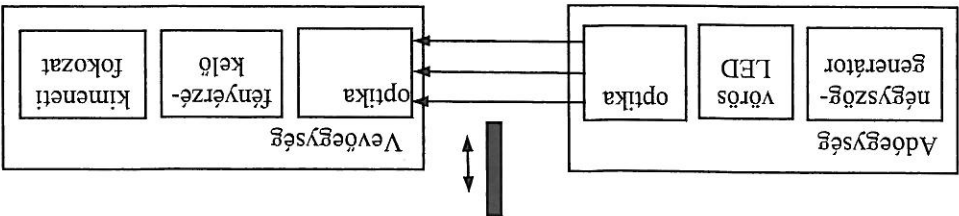
Az egyenfeszültséggel működtetett kapacitív közelítéskapcsolók meghajtó fokozatai PNP- és NPN tranzisztoros kimenetekkel, alaphelyzetben nyitott (NO:Normally Open) vagy alaphelyzetben zárt (NC:Normally Closed) váltózatokban kerülnek kialakításra. A közelítéskapcsolók két- három és négyvezetékes kialakítással készülnek, 2m-es kábelrel vagy csatlakozó aljzatos megvalósítási formában. A kábel ereinek színkódjai nemzetközi szabványban (IEC60757) rögzítettek, az induktív közelítéskapcsolókéival azonos. A vizsgálatoknál használt OMRON gyártmányú (E2K-C25MF1 típusú) kapacitív közelítéskapcsoló egyenfeszültséggel ($U_t = 24\text{V DC}$) üzemel, 3 vezetékes, PNP kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO), valamint kábeles kialakítással rendelkezik, aktív felületének az átmérője: 34mm.

Opto közelítéskapcsolók

Ezek az érintkező nélküli kétállapotú érzékelő család harmadik nagy csoportját képezik. Az opto közelítéskapcsolók két nagy (egy utas és reflexiós) csoportba oszthatók:

Az egy utas fénySOROMPÓK négySÖZÖGHASAB, vagy HENGERS KIALAKÍTÁSÚ házakban, külön-külön elhelyezett fényadó- és vevőegységből állnak. Az adóegységben fényforrásként 700nm hullámhosszú vörös LED-et, vagy 860nm hullámhosszú infravörös LED-et alkalmaznak. Lényegesen jobb megoldást jelent a környezeti zavarok szempontjából az infravörös LED fényforrás. Az egy utas fénySOROMPÓ elvi működési vázlatát a 10. ábrán látható.

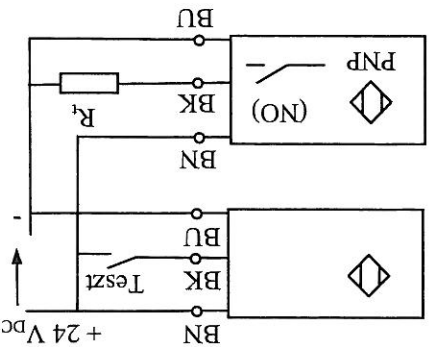
Az adóegységben lévő négySÖZÖGGENERÁTOR az optika fókuszában elhelyezett vörös-, ill. infravörös LED fényadót működteti. A párhuzamosított fénySUGARAK - amennyiben nincs mozgó tárgy általi takarás - a vevőegység optikájának gyújtópontjában elhelyezett fényÉRZÉKELŐ ESZKÖZRE (pl. fényelemre) kerülnek, amely a fényt fényÜLSÉGGÉ alakítja. Ez a fényÜLSÉG egy kimeneti fókuszra kerül. A kimeneti fókusz ez esetben magába foglalja az erősítőt, a schmitttriggeret, és a meghajtó (PNP/NPN) egységet. A kimeneti fókuszat hiszterezízis kétállapotú fényÜLSÉGGEL ad ki. Az egy utas fénySOROMPÓK döntően egyenfeszültséggel üzemelnek.



10.ábra. Az egy utas fénysorompó elvi működési vázlata

A meghajtó fokozat PNP- és NPN tranzisztoros kimenetekkel, alap- helyzetben nyitott (NO: Normally Open) vagy alaphelyzetben zárt (NC: Normally Closed) változatokban kerülnek kialakításra, három és négyvezetékesen, 2m-es kábellel vagy csatlakozó aljzatos megvalósítási formában készülnek. A vezetékek színekódja azonos az induktívével.

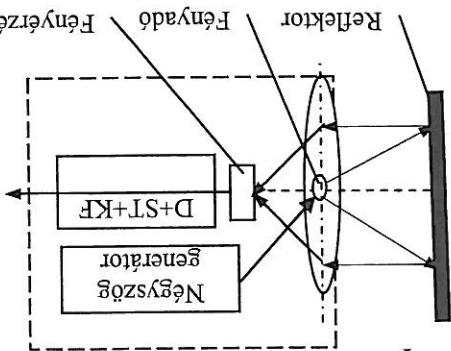
A vizsgálatoknál használt OMRON gyártmányú (E3Z-T81 típus) egyutas fénysorompó 700 nm-es vörös LED-et alkalmaz fénnyforrásként. Utáp: 12-24VDC. Három vezetékes, PNP és alaphelyzetben nyitott (NO) kimenettel rendelkezik. Az érzékelési távolsága: 0...10m. Az egy utas fénysorompó jelképi jelölése a 11. ábrán látható.



11.ábra. Az egy utas fénysorompó jelképi jelölése

Reflexióes rendszerű opto közeliérintéskapcsolók olyan eszközöket értenek, melyeknél a fénypadó egységet a vevőegységgel közös négyvezetékes, vagy hengeres kialakítású házban helyezik el. A reflexióes rendszerű opto közeliérintéskapcsolók, tükkör - és tárgy reflexióes formákban gyártják. A tükkör-reflexióes opto közeliérintéskapcsolóknál a visszaverő tárgy (reflektor) egy optikai prizma, míg a tárgy-reflexióes opto közeliérintéskapcsolók esetén a visszaverő felület különböző anyagu lehet, mint pl. papír, fém, pamut, PVC, fa, stb. Működési elvet tekintve (12. ábra) mindkét rendszerű reflexióes opto közeliérintéskapcsolónál a négyvezetékes jelöléssel működített fénypadót -amely ez esetben is vörös LED vagy infravörös LED lehet - az optikai tengelyen helyezik el. A reflektorról visszavert fénysugarakat a gyűjtőpontba (F) elhelyezett fényszerkező (mint pl. fénylelem) alakítja feszültségé. Ebből a feszültségből a

demodulátor (D), schmitttrigger (ST), és kimeneti fokozat (KF) állítja elő a hiszterezízis kétállapotú kimeneti feszültség jeleket. A kimeneti jel értéke reflektor létezése esetén „H” (magas) szintű (24V DC), ennek hiánya esetén „L” (alacsony) szintű (0V). Létezik ennek komplementis változata is.



12. ábra. A reflexió rendszerű opto közelítéskapcsoló működési vázlata

Reflexió rendszerű opto közelítéskapcsolók döntően egyenfeszültséggel üzemelnek (24V DC).

A meghajító fokozat PNP vagy NPN tranzisztoros. A kimeneti logika alaphelyzetben nyitott (NO:Normally Open), vagy alap-

helyzetben zárt (NC:Normally closed) változatokban kerülhet kialakításra. Az opto kapcsolók három vagy négyvezetékesek, 2m-es kábellel, vagy csatlakozó aljzat

tos megvalósítási formában készülnek. A vizsgálatoknál használt OMRON gyártmányú (E3F2-R2B4-E típus) hengeres kialakítású tükrereflexió PNP opto közelítéskapcsoló, alaphelyzetben nyitott (NO) kábeles kialakítású kimenettel rendelkezik, fényadóként

vörös 660nm hullámhosszúságú LED-et alkalmaz. Az aktív felületének átmérője 18mm. Az aktív felület és a reflektor-prizma közötti megengedett távolság 0.1...4m tartományú lehet.

3.táblázat. A reflektor anyagok korrekciós tényezői

Reflektor anyagok	Korrekciós tényezők
matte fehér papír 200g / m ²	1
polírozott fémtárgy	1.2...1.6
feketére oxtalt alumínium	1.2...1.8
fehér pamutanyag	0.6
szürke PVC	0.5
nyers fa	0.4
tükrös fekete karton	0.3
matte fekete karton	0.1

A vizsgálatoknál használt OMRON gyártmányú (E3Z-T81típ.) négy-szögű alakítású tárgyrelexió opto közelítéskapcsoló PNP, alaphelyzet-

ben nyitott (NO), kábeles kialakítású kimenettel rendelkezik, fényadóként infravörös 860nm hullámhosszúságú LED-et alkalmaz. A katalógus szerinti maximális érzékelési távolsága 15m. A tárgyreflexiós opto közeliéskapcsolók mérterezési kapcsolási távolságát s_n az ún. „Kodak szűrke kártyára” [normalizált mérőfelületre] vonatkoztatja az EU szabvány. (EN60947-5-2) Amennyiben a reflektor anyaga ettől eltér, akkor korrekciós tényezőket szükséges alkalmazni, melyek a 3. táblázatban láthatók.

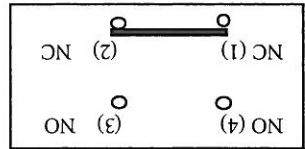
1.1.2. Érintkezős (mechanikus) kétállapotú érzékelők

Végállás- vagy biztonsági kapcsolók tokozott mikrokapcsolók, műanyag- és fémházas kivitelben készülnek szilárd-, por- és cseppálló kialakítás-sal (IP67). Ezek a kapcsolók elsősorban biztonságtechnikai funkciókat látnak el, ezért különösen nagy jelentőségűek a vezérléstechnikai alkalmazásoknál. A végállás kapcsolókat különböző működető szerkezetekkel látják el, mint pl. fém nyomófej, acélgörgős nyomófej, műanyag nyomófej, műanyaggörgős, rugós fémházas, rugósakarú, himbas kar acélgörgővel, stb.

A vizsgálatoknál egy OMRON gyártmányú görgős működtetésű (L-5000 típusú) végállás kapcsoló szerepel, amelynek rajzjele a 13. ábrán látható.

Végállás kapcsolóknál a gyártó cég katalógusa számos műszaki adatot közöl. Néhányat ezek közül megemlítve: mechanikai élettartam (10millió kapcsolás), működési sebesség

(5mm/s), szigetelési ellenállás (100Mohm), kontaktusok átmeneti ellenállása (25mohm), lökési szilárdság (1000 m/s^2) nagyfeszültség vizsgálata, védettség (IP67), megengedett környezeti hőmérséklettartomány ($-50^\circ \dots +65^\circ \text{C}$), stb.



13. ábra. A végállás kapcsoló rajzjele

1.2. Vezérléstechnikai végrehajtók

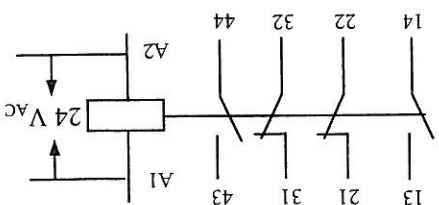
A mágneskapcsolók egyik megvalósítási formája az ún. **kontaktor relé**, olyan nagy élettartamú vezérléstechnikai végrehajtó szervek, melyek egy tekercs segítségével záró (NO) és bontó (NC) érintkezőket működtetnek. A kontaktor relék tekercsei egyen- és váltakozó feszültséggel működtetethetők. A katalógusokból szabványos működtető feszültségű tekercsek választhatók. Váltakozó feszültség esetén a szabványos feszültségértékek: 24V AC, 42V AC, 110V AC, 230V AC, 400V AC. Egyenfeszültség esetén a szabványos feszültségértékek: 24V DC, 48V DC, 60V DC, 110V DC és 230V DC.

Természetesen ezektől eltérő mű-

ködötő feszültségértékek is választhatók, de ez jelentős többletköltséggel jár. A kontaktor relék négy-, hat- és nyolcpólusú kivitelben és különböző konfigurációkban készülhetnek. Amint a 14. ábrán

látható, a kontaktor relé csak segédérintkező jelleggű érintkezőkkel rendelkezik. A kontaktusok számozása két számjegyű.

A számozást szabvány írja elő, így az a gyártótól független. A négypólusú kontaktor relék lehetséges konfigurációi: 4(NO)+0(NC); 3(NO)+1(NC); 2(NO)+2(NC). A vizsgálatoknál használt OMRON gyártmányú J7KNA-AR-22-24 típusú mini mágneskapcsoló (kontaktor relé) négypólusú és 2(NO)+2(NC) konfigurációjú, tekercsének a működtető feszültsége 24V AC.



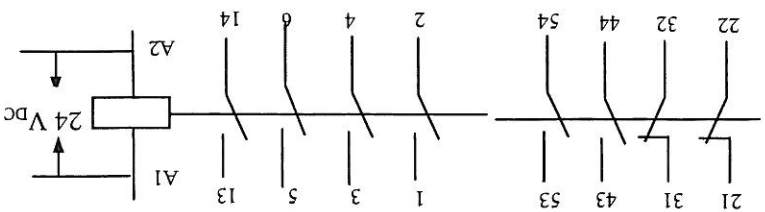
14. ábra. A 2(NO)+2(NC) konfigurációjú kontaktor relé rajzjele

A motorindító mágneskapcsolók képezik a vizsgálatokban szereplő kétállapotú végrehajtók másik csoportját. A motorindító mágneskapcsolók működőtekercsei fő- és segédérintkezőket működtetnek. A főérintkezők csak záró jelleggűek (NO) lehetnek és egy számjegyű jelzettek. A főáramkörű érintkezők nagy teljesítmények kapcsolására alkalmasak. Ezek működtetik, pl. a villanymotorokat. A két számjegyű segédérintkezők egyaránt záró (NO) és bontó (NC) jelleggű érintkezők lehetnek. Szerepük döntően vezérléstechnikai feladatok megoldásánál jelentős. A vizsgálatoknál az OMRON cég által gyártott, JKNA-12-10-24D típusú miniatűr motorindító mágneskapcsoló található. A típusszámában szereplő 12-es szám azt jelenti, hogy a főérintkezők 12A –al terhelhetők, a 10-es szám arra utal, hogy 1 záró (NO) és 0 bontó (NO) segédérintkezővel rendelkezik, a 24D pedig a tekercs 24VDC működtető feszültségére utal. Mivel a motorindító mágneskapcsoló csak egy záró (NO) segédérintkezőt

tartalmaz, ezért egy segédérintkezőket tartalmazó moduljegységgel bővítettük. A vizsgálatokban szereplő mini motorindító mágneskapcsolóhoz egy J73KN-AM-22 típusú segédérintkező moduljegységgel kapcsolódik, amely 2 záró (NO)+2 bontó (NC) segédérintkezővel rendelkezik. A segédérintkezős modullal ellátott motorindító mágneskapcsoló rajzjele a 15. ábrán látható.

J73KN-AM-22 típus.

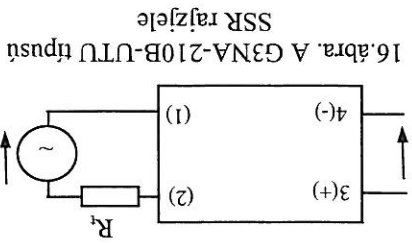
segédérintkező moduljegység



15. ábra. Segédérintkező modul motorindító mágneskapcsoló rajzjele

A feladatoknál a mágneskapcsoló működötetésére szolgáló **szilárdtest relé (SSR: Solid State Relay)** olyan kontaktus nélküli félvezetős kapcsoló, amelynél kis teljesítmény-szintű kétállapotú vezérlő egyenfeszültséggel nagy teljesítmény-szintű kétállapotú váltakozó feszültség kapcsolható a terhelésre (esetünkben a kontaktor relé működőtető tekercsére). Ipari alkalmazásuk e korszerű félvezető elemeknek nagyon széleskörű, a fűtőszabályozástól egészen a motorok vezérléséig. Megvalósítási formái panelel szerelhetők és aljzatba illeszthetők lehetnek és 2..150A –ig terjedő áramérték tartományban használhatók.

A vizsgálatoknál G3NA-210B-UTU típusú, panelel szerelhető kivitelű szilárdtest relét (rajzjele a 16. ábrán látható) használunk.
A névleges bemeneti vezérlő feszültség szintjei: L:0V; H:5..24V DC
A kimenetén kapcsolt váltakozó feszültség szintjei: L:0V; H:24..230V AC.



16. ábra. A G3NA-210B-UTU típusú SSR rajzjele

Hűtőborda nélkül 40°C-on 4A, hűtőbordára szerelten 10A max. névleges árammal terhelhető. Null-átmenet figyelő egységgel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a bemeneti vezérlő feszültség megjelenése utáni kimeneti szinuszhullám első null-átmeneténél kapcsolja a terhelésre a váltakozó feszültséget. A null-átmenet figyeléssel nagyfrekvenciás zavarmentes kapcsolás biztosítható.

A kimeneti feszültség kapcsolását kontaktus nélküli félvezető elem, triac végzi. A bemeneti vezérlőáramkör és a kimeneti teljesítmény fokozat között optocsatolt szigeteléssel megvalósított galvanikus leválasztás van. Szigetelési vizsgáló feszültsége: 2500V AC (1 min. időtartamig), szigetelési ellenállása: min. 100 Mohm.

1.3. A ZEN típusú vezérlő relé

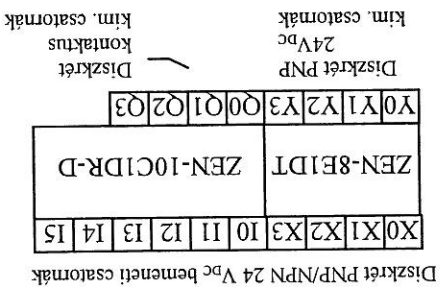
A vizsgálatoknál egy vezérlő relét mint vezérlő berendezést is szerepeltetünk azért, hogy szemléletesen bemutathassuk a vezérlő relé bemeneti csatornai és a különböző kialakítású (PNP, NPN, kontaktus) érzékelők, valamint a különböző kialakítású vezérlő relé-kimenetek (kontaktus, PNP tranzisztoros) és a végrehajtók közötti lehetséges kapcsolódási formákat. Tehát ez esetben nem a vezérlő relé magas szintű programozásának elcsajátítása a cél, hanem a lehetőség hardver kapcsolatok megismerterése és ezek elcsajátítása (a vezérlő relék programozásának elcsajátítása ugyanis a Zelio mérésnél korábban már megtörtént). Ennél a feladtnál egy OMRON gyártmányú ZEN-10C1DR-D típusú vezérlő relé található, amelynek kompakt központi egysége hat PNP/NPN 24V DC diszkrét bemenettel, és négy kontaktus kimenettel rendelkezik. A vezérlő relé tápfeszültsége: 24V DC.

A vezérlő relé központi egységéhez egy I/O bővíti modul kapcsolódik, amelynek a típuszáma: ZEN-8E1DT. A bővíti modul-egység négy PNP/NPN 24V DC diszkrét bemenettel és négy PNP nyitott kollektoros tranzisztoros kimenettel rendelkezik. A vezérlő relé vázlatos ábrázolása a be- és kimenetek megnevezésével a

17. ábrán látható.

A bővíti egység alkalmazásával kontaktus- valamint tranzisztoros kimenettel egyaránt lehetséges az egyen- és váltakozó feszültséget a terhelésre kapcsolni (mérésben a kontaktor relé tekerésére). Természetesen, amennyiben a PNP tranzisztoros kimenettel kívánjuk a váltakozó feszültségű kontaktor relét működtetni, akkor szilárd test relét szükséges alkalmazni!

A feladatoknál csak nagyon egyszerű logikai kapcsolásokat (AND, OR, esetleg XOR) kell létradiagramos programnyelven elkészíteni, amely a Zelio



17. ábra. A bővíti modul ZEN vezérlő relé-

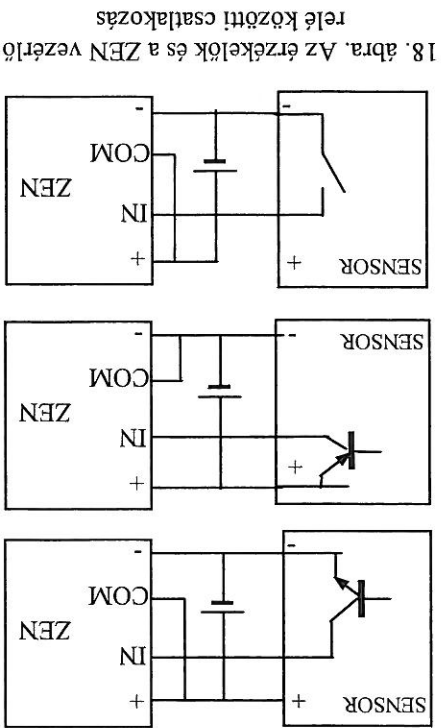
vezérlő relénél tanultak alapján nagyon könnyen elvégezhető. Nagyon fontos annak ismerete, hogyan kapcsoljuk a kontaktus, NPN, PNP kimenetű érzékelőket a ZEN vezérlő relé diszkrét bemeneti csatornáira. Ezeknek a megvalósítása a 18. ábra szerint történjen. A ZEN típusú családhoz tartozó vezérlő relék felhasználói programjának a készítése PC-n, ZEN-SOFT01-V4 fejlesztő program segítségével történhet. A felhasználói program készítése létradiagramos formában lehetséges. A program készítésének az első lépése a hardver konfigurálás elvégzése. A feladatnál a 10C1DR-D-V2 típusú CPU-t, és a 8E1DT típusú bővítő

modult szükséges kiválasztani.

Ezután megjelenik a létradiagramos fejlesztő felület, amelynek minden sorában három, kontaktusos bemeneti változó helyezhető el. Bemeneti változók a feladatoknál I(0..5), X(0..3), a kimeneti változók Q(0..3), Y(0..3) lehetnek. A bemeneti változók megnevezése, valamint annak megadása, hogy zárt vagy bontó érintkezővel jellemezhető legyen, egy a megjelölt mezőre való klikkeléskor megjelenő tábláról történhet. A kimeneti változók megnevezése, vagy tartó relé (S,R) funkcióiukak lehetnek. A kimeneti változók megnevezése, valamint annak megadása, hogy azok normál vagy tartó relé funkciókkal rendelkezzenek, szintén tábláról történhet.

A Zelio vezérlőnél már megismeren ez esetben is minden változóhoz szöveg írható és minden lettra sorhoz kommentár fűzhető.

Az elkészített felhasználói programnak a vezérlő relé nélküli off-line tesztelése szimulációval történhet, amelyet a ZEN-SOFT01-V4 fejlesztő program menürendszerének a ZEN menüpontjában lehet kiválasztani, vagy a Ctrl+L billentyű kombinációval elindítani ill. leállítani. A programfejlesztő PC-nek a vezérlő relével történő összekapcsolását (on-line üzem) szintén a ZEN menüpontban lehet kiválasztani, vagy Ctrl+W billentyű kombinációval megvalósítani. On-line üzemben való-sítható meg a PC-ből a vezérlő relébe, ill. a vezérlő reléből a PC-be történő program áttöltése.



18. ábra. Az érzékelők és a ZEN vezérlő relé közötti csatlakozás

A PC-ből a vezérlő relébe történő program áttöltése után, a ZEN menü-pontban található RUN üzemmód kiválasztásával a felhasználói programot futtatjuk, és meggyőződünk a bemeneti és kimeneti periferiákkal felépített kapcsolás helyes működéséről (monitorozás).

2. Feladatok

- Működtesse 24V DC tápfeszültségű kétvezetékű, alaphelyzetben nyitott (NO) induktív közeliéskapcsolóval [E2E2-X3D1 (NO) típ.] a motor-indító mini mágnes-kapcsolót! Ugyanezt a feladatot valósítsa meg alaphelyzetben zárt (NC) induktív közeliéskapcsolóval [E2E2-X3D2 (NC) típ.] a 24V AC tápfeszültségű kontaktor relét. (a feladatnál szilárdtest relét alkalmazzon)!
- Határozza meg méréssel a 24V DC tápfeszültségű, 3 vezetékes, PNP kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO) OMRON E2A-M12KS04-WP-B1 típusú induktív közeliéskapcsolónak a kapcsolási távolságát (s) és a hiszterézist különböző fémekből (acél, alumínium, sárgaréz, vörösréz, rozsdamentes acél) készült közeliítő tárgy esetén!
- Működtesse 24V DC tápfeszültségű, három vezetékes, PNP kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO) OMRON E2A-M12KS04-WP-B1 típusú induktív közeliéskapcsolóval a mini motorindító mágneskapcsolót! Ugyanezt a feladatot valósítsa meg NPN kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO) OMRON E2A-M12KS04-WP-C1 típusú induktív közeliéskapcsolóval.
- Hozzon létre ES kapcsolatot egy 24V DC tápfeszültségű, OMRON E2A-M12KS04-WP-B1 típusú három vezetékes, PNP (NO) kimenetű, és egy 24V DC tápfeszültségű, OMRON E2A-M12KN08-WP-B3 típusú négyvezetékes, PNP (NO/NC) kimenetű induktív közeliéskapcsolókkal, és az ES kapcsolatot kimenetével működtesse egy 24V AC tápfeszültségű kontaktor relét (szilárdtest relét alkalmazzon)!
- Hozzon létre VAGY kapcsolatot egy 24V DC tápfeszültségű, OMRON E2A-M12KS04-WP-B1 típ. három vezetékes, PNP (NO) kimenetű, és egy 24V DC tápfeszültségű OMRON E2A-M12KN08-WP-B3 típusú négyvezetékes, PNP (NO) kimenetű induktív közeliéskapcsolókkal, és a VAGY kapcsolatot kimenetével működtesse egy 24V DC tápfeszültségű mini motorindító mágneskapcsolót!
- A bővítő modul ZEN vezérlő relé bemeneteihez (I1, X1) kapcsoljon OMRON E2A-M12KS04-WP-B1 típusú háromvezetékes, PNP kimenetű,

- alaphelyzetben nyitott (NO) induktív-, és egy OMRON E2K-C25MFI típusú háromvezetékű, PNP kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO) kapacitív közeliéskapcsolót. Vezérlő relével valóstísa meg ezek E5 kapcsolát, és az Y1 kimeneten normál relé funkcióval működtesse a 24V DC tápfeszültségű, motorindító mágneskapcsolót!
8. A bővítő modulos ZEN vezérlő relé bemeneteihez (I2,X3) kapcsoljon OMRON E2A-M12KS04-WP-C1 típusú három- és OMRON E2A-M12KN08-WP-C3 típusú négyvezetékű, NPN kimenetű, (alaphelyzetben nyitott kimenet választva) (NO/NC) induktív közeliéskapcsolókat, és vezérlő relével megvalósított VAGY kapcsolattal az Y1 kimeneten normál relé funkcióval működtesse a 24V AC tápfeszültségű kontaktor relét (szilárdtest relét alkalmaazzon)! Ugyanezt a feladatot valóstísa meg úgy is, hogy a kontaktor relét Q1 kimenetről üzemelteti!
9. A végállás kapcsolót kapcsolja össze a ZEN vezérlő relé I2 diszkrét bemeneti pontjával, a 24V DC üzemi OMRON E2A-M12KS04-WP-C1 típusú alaphelyzetben nyitott (NO) NPN kimenetű induktív közeliéskapcsolót a bővítő modul X2 bemeneti pontjára kössse! A két érzékelő jelének E5 kapcsolátával, az Y2 kimeneten normál relé funkcióval működtesse a 24V AC tápfeszültségű kontaktor relét (szilárdtest relét alkalmaazzon)! Ugyanezt a feladatot valóstísa meg úgy is, hogy a kontaktor relét Q2 kimenetről üzemeltesse!
10. Határozza meg méréssel a 24V DC tápfeszültségű, OMRON E2K-C25MFI típusú 3 vezetékű, PNP kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO) kapacitív közeliéskapcsolónak a kapcsolási távoltságot (s) és hiszterezízist különböző anyagokból (acél, alumínium, műanyag, üveg, papír, plexi) ké-szült közeli tárgy esetén! A kapcsolási távoltságot mérését digitális tolómé-róval mérje!
11. Határozza meg méréssel a 24V DC tápfeszültségű, 3 vezetékű, PNP kimenetű, alaphelyzetben nyitott (NO) tárgyreflexiós opto közeliéskapcsolónak a kapcsolási távoltságot (s) és hiszterezízist különböző anyagokból (matt fehér papír, fa, polirozott fém, fekete karton lemez, szürke PVC) készült közeli tárgy esetén! A kapcsolási távoltságot közeli meg-határozását mérőszalaggal végezze!
12. A 24V DC tápfeszültségű egy utas fényerősségű üzemeltesse a motorindító mini mágneskapcsolót! A mágneskapcsoló I3,I4; 43,44; 53,54; Az I1, I3 bemeneti jelek VAGY kapcsolátának az X1 bemeneti jel E5 kapcsolátával Y3 kimeneten normál relé funkcióval működtesse a 24V AC üzemi kontaktor relét (szilárdtest relét alkalmaazzon)!

2. VEZÉRLÉS ELEKTROMECHANIKUS PNEUMATIKUS ESZKÖZÖKKEL

Ez a fejezet ismerteti a végrehajtó és beavatkozó eszközként elterjedten alkalmazott relék, és a hasonló elven működő mágneskapcsolók működését, valamint relés alapkapszolásokon keresztül bemutatója a kontaktus vezérlési al-
 goritmuskészítésének szabályait. Továbbá ismerteti a végrehajtó és beavat-
 kozó eszközként alkalmazott pneumatikus munkahengerek és a munkahenge-
 reket vezérlő elektro-pneumatikus útszelepek működését, valamint pneumati-
 kus alapkapszolásokon keresztül bemutatója a pneumatikus vezérlési algoritmu-
 sok készítésének szabályait.
 Gyakorlatiája, hogy egyszerű, csupán néhány jelet tartalmazó szöveges
 célmeghatározásból, hogyan lehet kontaktusokkal, illetve útszelepekkel vezér-
 lési algoritmust készíteni.

1. Elméleti ismeretek

Az összetett rendszerek irányító algoritmusait úgy készítik, hogy a nagy
 rendszert önmagukban logikailag zárt részekre bontják, és ha szükséges és le-
 hetőséges, akkor ezeket a részeket tovább bontják, amíg egy vagy csak néhány
 vezérelt jelre kell megfogalmazni az algoritmust. Az önmagukban logikailag
 zárt részek működésének összehangolására is alkalmasak az ismertetésre kerü-
 lő vezérlési algoritmuskészítési módszerek. A részeket, mint egységeket lehet
 indítani, leállítani, és a köztük levő ok-okozat kapcsolatokat alapján alakul ki a
 teljes rendszer főalgoritmusait. Manapság a rendszer főalgoritmusait PLC-ben
 (Programmable Logic Controller), vagy vezérlő relében (Control Relay) fut, mert ezek
 jóval olcsóbbak, rugalmasabbak, és ma már megbízhatóbbak is.

*Megjegyzés: A mikroprocesszorok és memória áramkörök (a PN árame-
 netnél fellelhető elektron-lyuk pár sodródás következtében) körül-belül 10 év el-
 telével veszítik el a rendkívül nagy megbízhatóságukat, és így számos iparág-
 ban ilyen időtartamoként akkor is lecserelik őket, ha a technológia nem válto-
 zott. Ezen időtartam alatt azonban gyakorlatilag végtelen gyakran kapcsolható-
 zott, és fokozott üzembiztonságot nem igénylő helyen, akár még újabb évtizedig
 használhatók. A relék kapcsolási szema azonban véges, így a logikai döntése-
 ket végző relés vezérlő szekrények 1-2 év alatt elvesztették megbízhatóságukat.*

*Ha ritkán kapcsolják őket szintén hosszú ideig használatuk, ezért manapság a kontaktusvezérlés típusos felhasználási területe a vész, védelmi áramkörök. A pneumatikus munkahengerek és szelepek 10-15 év alatt használatból el-
 A kontaktus vezérlés szabályainak megismerését az indokolja, hogy a védelmet szolgáló reteszelési funkciókat gyakran ma is relék kontaktusával, illetve a mágneskapcsolók segéd kontaktusával valósítják meg.
 A pneumatikus vezérlés szabályainak megismerését az indokolja, hogy ezek az elektromos energia ellátás hiánya esetén is működnek. Egyszerű vezérlési feladatok esetén, a pneumatikus munkahengerek vezérlése néhány útszeleppel gazdaságosabb lehet, mint az elektromos tápellátás kiépítése.*

1.1. Kontaktusvezérlés.

A relék és a mágneskapcsolók tekercsből, kontaktusokból, és a kontaktusokat nyitó, záró mechanikából állnak. A mágneskapcsolók rendelkeznek a nagy áramok megszakításakor keletkező ív kioltására alkalmas szerkezettel is. A kontaktus, ami két rugalmas fémes anyag érintkezése, alap (nyugalmi) állapotban lehet nyitott (ekkor záró érintkezőnek nevezik), vagy zárt (ekkor bontó érintkezőnek nevezik). A kontaktusok nyitását, zárását a kontaktusokat működ-tető mechanika vezérelt elemének néhány mm-es elmozdulása okozza. Ez a vezérelt elem a tekercs belső feléig belőgő jól mágnesesezhető rud, amit egy rugó tart ebben a helyzetben. A tekercs gerjesztésekor, a tekercs belső felében keletkező mágneses tér, a tekercs centrális középpontjába vonzza a rudat, amit a gerjesztés megszűnésekor a rugó visszatéríti az eredeti helyzetébe.

Pozitív logikát alkalmazva: a záró érintkezők nyugalmi állapotban nyitottak (nem folyhat rajtuk keresztül áram), és logikai „0”-nak értelmezettek, vezérelt állapotban zártak (folyhat rajtuk keresztül áram), és logikai „1”-nek értelmezettek. A bontó érintkezők ezzel ellentétesen működnek. A sorba kapcsolt kontaktusok logikai „E”, a párhuzamosan kapcsolt kontaktusok logikai „VAGY” kapcsolatot valósítanak meg, a tekercset gerjesztő áram, mint eredmény szempontjából. A bontó érintkezők logikailag negált értékek tekintetében. Közismert, hogy az „E” (AND), „VAGY” (OR), valamint a „NEGÁCIO” (NEGATION) műveletekkel bármilyen logikai függvény megadható.

A kontaktusvezérlésekben az algoritmus megvalósításához, a kontaktusokon kívül szükség van, a kontaktusokat működető eszközökre (kapcsoló, nyomógomb, tekercs) is.

A kapcsoló és a nyomógomb mechanikai működését, A működetés-kor a kontaktusok állapota azonnal változik. A kapcsolóval működtetett kon-

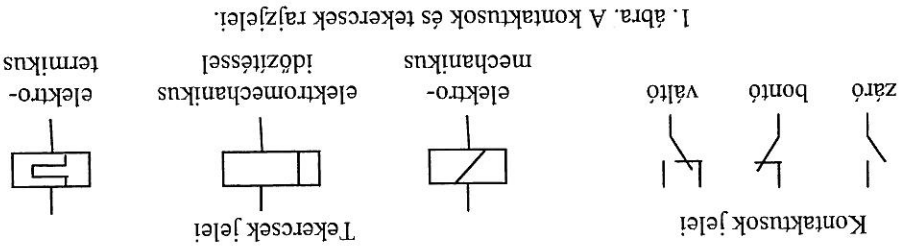
taktusok, a működőtető hatás után megtartják az utolsó állapotukat, míg a nyomomb kontaktusai visszaállnak a nyugalmi állapotukba.

Normal relék addig vannak vezérelt állapotba, ameddig áram folyik a tekercsükön.

A tartó-releknél a kontaktusokat vezérlő működőtető mechanikát egy ék megakasztja, és így a rugó nem tudja visszaállítani a rudat a nyugalmi helyzetbe. Ezért elég egy impulzus, hogy meghúzott állapotba kerüljenek. Szükség van egy másik tekercsre is, amely kiakasztja ezt az éket. Ezt szintén elég egy impulzussal vezérelni. A hagyományos időrelekkben különböző fizikai elven működő mechanikus, illetve elektromechanikus vezérlő szerkezeteket fejlesztek ki az idődiagram megvalósítására. Manapság az időrelekkben is digitális áramkör van.

A zárt kontaktus a rajta keresztül folyó áram számára rövidzár. Emiatt a kontaktusokból felépített áramkörti ágban kell lennie egy terhelésnek is. A terhelés lehet ohmos (jelzőlámpa, jelzőkürt, stb.), vagy induktív (tekercs). Ha a kontaktusok bontanak, akkor a rajtuk keresztül folyó áram megszűnik. A gyors áramérték változás a tekercséken jelentős feszültséget indukál. E miatt, az egyértelmű, és megbízható működés, azaz a kölcsönhatások elkerülése érdekében a tekercseket nem szokás sorba kötni. Legtöbbször a tekercs egyik pontja a hi-degpontra (földre) van kötve.

A kontaktusok és relé tekercsek MSZ EN 60617 szabványos jelölései:



Megjegyzés: A relék működési elvükből adódóan alkalmasak kontaktusok működőtetőre, jelsokszorozásra (egy-nél több kontaktust működőtető, jelváltásra (egyenfeszültség váltakozó feszültség kapcsolás, vagy fordítva), jelszint váltásra, galvanikus leválasztásra (ha a tekercs és a kontaktus tápellátása független), teljesítményillesztésre. Végrehajító eszközként elsősorban az utolsó három-négy tulajdonságát, logikai eszközként az első két tulajdonságát használják ki.

A kontaktus vezérlés logikai algoritmusait többféle módon megtervezhetjük. A legegyszerűbb esetekben a logikai függvény fejben átlátható. Több eszköz egymásra ható, összehangolt működőtetése esetén azonban a fejben ter-

vezés nem céliravezető. A 60-as, 70-es években az egyik legelterjedtebb tervezési mód az ütemdiagram volt.

Az ütemdiagram egy táblázat, melyben az eszközök vezérelt állapota és a zárt kontaktusok logikái „1”-nek, az eszközök nyitva állapota és a nyitott kontaktusok logikái „0”-nak vannak ábrázolva. A bit-sorozat ábrázolása helyett szokás az egyes tartalmazó cellák besatírozása. Az ütemdiagram első oszlopa („0”) a vezérléshez szükséges jeleket (kapcsolók, nyomógombok, érintékek), valamint a végrehajtó relék vagy mágneskapcsolók visszajelző kontaktusait), továbbá a vezérelt jeleket (mágneskapcsolók, illlesztő relék, elektro-pneumatikus átalakítók tekercseit, valamint lámpákat, és egyéb jelző berendezéseket) tartalmazza. Az ütemdiagram második oszlopa („1”) a felsorolt eszközöket alaphelyzetben ábrázolja. Az ezt követő oszlopok a vezérelt berendezés állapotait tüntetik fel oly módon, hogy csak egy eszköz állapota változhat az előző oszlophoz képest. Több eszköz állapotának változtatása csak akkor engedélyezett, ha a változások sorrendje magától értetődő, vagy érdektelen.

1.1.1. Ütemdiagram szerkesztés menete.

Az ütemdiagram szerkesztés menétét egy mintafeladaton keresztül lehet legjobban megérteni. A feladat egy csiszoló szerkezet szávjának folyamatos előre, majd hátra mozgatása. Az N1 start nyomógomb hatására induljon előre, az N0 stop nyomógomb hatására alaphelyzetben álljon le a száj. Felhasznált eszközök két mágneskapcsoló, két nyomógomb, két végárlás érintékelő, egy motorvédő hőrelé, egy időrelé, és esetleg segédrelék. *Megjegyzés: Minthogy mágneskapcsolókra, nyomógombokra, végárlásokra, és motorvédelemre amúgy is szükség van, csak az időrelét, és esetleg segédreléket kell a vezérléshez megvenni.*

A működés leírása: Az N1 start nyomógomb hatására meghúz a K1 mágneskapcsoló. A K1 mágneskapcsoló olyan fázissorrendet ad egy háromfázisú motorra, hogy a száj előre mozog. A H1 végárlás kapcsoló által érzékelte pozícióban a K1 mágneskapcsoló bont, és mivel nincs forgáserzékelő, csak egy adott idő eltelével, amit T időrelé T0 kontaktusa jelez, kapcsol az K0 mágneskapcsoló, ami visszaviszi a szájt az alaphelyzetbe. Az alaphelyzetet a H0 végárlás kapcsoló érzékeli. Minthogy nincs forgáserzékelő, csak egy adott idő eltelével, amit szintén a T0 jelez, kapcsolhat ismét a K1 mágneskapcsoló. Ez a ciklus folytatódik, míg az N0 stop nyomógombbal le nem állítjuk a működést. A száj az alaphelyzetben áll meg. A motorvédő BR hőrelé kontaktusa bontsa a mágneskapcsolókat.

Megjegyzés: Az ütemdiagramm szerkesztés iteratív művelet. Hamar észrevehető, hogy problémát okoz, hogy a KI mágneskapcsoló először az NI start nyomógomb és késleltetéssel a H0 végállás kapcsoló, később késleltetéssel csak a H0 végállás kapcsoló indítja. A problémát segédrelé alkalmazása oldja meg. Legyen az S0 segédrelé az üzemeles feltetele. Az S0 segédrelét az NI start nyomógomb bebillenti, és az N0 stop nyomógomb állítja alaphelyzetbe. Így az S0 felhasználható arra is, hogy a szán alaphelyzetben álljon le. A motorvédő hőrelének a mágneskapcsolókat, és az S0 segédrelét is bontania kell. A motorvédők bontó (alaphelyzetben zárt) kontaktusát szokás bekötni, mert így a vezetékszakadás is hibaként érzékelhető. Az ütemdiagramm szerkesztését befolyásolja a felhasználói eszköz típusa is.

A példában a T időrelé tartó-rele' jellege. Az időrelé tekercsei (TT en-gedélyező, TR törítő tekercs) nem azonos ütemben kapcsolnak, ezért ezeket kü-lön sorban kell ábrázolni. Az S0 segédrelé, és a K0, K1 mágneskapcsolók nor-mál relé jellege. A mágneskapcsolók és segédrelé tekercsét (gerjesztett esz-közök) és kontaktusát (a logikai műveletekben vesznek részt), külön sorban, de azonos betűvel célszerű ábrázolni. A BR hőrelé tekercsét nem kell ábrázolni, mivel nem mi vezéreljük.

[illegible]

2. ábra. Ütemdiagram

Az 2. ábrában először a logikai műveletekben részt vevő kontaktusok, majd gerjesztett eszközök tekercsei vannak egymás alatt felsorolva (0. oszlop). Az ok-okozat relációk alapján végig vezethető a működési sorrend.

Az ütemdiagrammból felírhatók a logikai függvények. Azon oszlopokat kell megkeresni, amelyek után a vezérelt jelek (S0, K0, K1, TT, TR) állapotot váltanak. A logikai függvények ezen oszlopban érvényes állapota alapján definiálhatók.

A korrekci felíráshoz ismerni kell a működített tekeres típusát. Normál tekercsű relé, és mágneskapcsoló esetén úgynevezett öntartó kapcsolást kell alkalmazni. Az öntartó kapcsolás a gerjesztet eszköz egy kontaktusát felhasználja.

1.1.2. Logikai függvények

- Alaphelyzetben (1. oszlop) a H0 végállás érzékelő jelez. Ehhez kötik az időrelé indítását (TT), és ha elegendő ideig alaphelyzetben van, akkor a T0 kontaktus is meghúzott állapotban van.
- Az N1 start nyomógomb hatására (2. oszlop) az S0 segédrelé meghúzza (3. oszlop). Az K1 mágneskapcsoló (4. oszlop) ráadja a feszültséget a számtartó motorra, a számláló elindul és így elhagyja a H0 helyzetérezékelőt (5. oszlop). A K1 mágneskapcsoló visszajelző segédérintkezőjét az időrelé TR törli bemenetére kell vezetni, hogy az időrelé újra indítható legyen.
- Előre a H1 helyzetérezékelőt (6. oszlop), a K1 mágneskapcsoló elenged (7. oszlop), és így az időrelé újra indul. A beállított idő leletével a T0 kontaktus meghúzza (8. oszlop), ami után a K0 mágneskapcsoló olyan fázis sorrendet kapcsol (9. oszlop) a számláló motorjára, hogy az visszafelé mozog (10. oszlop). A K0 visszajelző segédérintkezőjét, a K1 segédérintkezőjével párhuzamosan szintén az időrelé TR törli bemenetére kell vezetni.
- Előre a H0 végállás kapcsolót (11. oszlop) a ciklus újra indul. Lekapcsolja a K0 mágneskapcsolót, és indítja az időzítőt (12. oszlop), majd az időleletével (13. oszlop), rákapcsolja a K1 mágneskapcsolót (14. oszlop).
- Az összes többi esetet magába foglaló helyzet, hogy az N0 stop nyomógombot akkor nyomjuk meg (X1. oszlop), amikor a számláló kifut, mint az 5. és a 15. oszlopban. Az N0 stop nyomógomb törli az S0 segédrelét (X2. oszlop), majd előre a H1 helyzetérezékelőt (X3. oszlop), indítja az időrelét (X4. oszlop). Az ütemdiagram most már minden információt tartalmaz.
- A H0 helyzetérezékelőt elérve, mivel S0 feltétel megszűnt, nem fog a számláló újraindulni. Ha a BR hőrelé meghúzza, a kontaktusa bont. Az 2. ábra alapján kézzel kell alaphelyzetbe hozni, hogy indulhasson. A gyakorlatban a vezérelt (esetünkben a csiszoló) szerkezetet kézi működítésre szokás ilyenkor kapcsolni. Az ehhez tartozó logikát a mintapélda nem tárgyalja.

va, azt a gerjesztési feltétellel párhuzamosan köve biztosítja, hogy a tekercs meghúzva maradjon a gerjesztési feltétel megszűnése után is. A megszakítás feltétel negáltját „ES” kapcsolatba (sorba) kell kötni a gerjesztési feltétellel.

1. táblázat Logikai függvények

Eszköz	Normál tekercsű eszközök		Tartó tekercsű eszköz	
S0	$(N1 + S0) \cdot \overline{N0} \cdot \overline{BR}$		N1	N0 + BR
K0	$(H1 \cdot T0 + K0) \cdot \overline{H0} \cdot \overline{BR}$		H1 · T0	H0 + BR
K1	$(H0 \cdot T0 \cdot S0 + K1) \cdot \overline{H1} \cdot \overline{BR}$		H0 · T0 · S0	H1 + BR
	A T időrelé vezérlése		A T időrelé vezérlése	
TT	H0 + H1		H0 + H1	
TR	K0 + K1		K0 + K1	

A teljesesség kedvéért a 1. táblázat a tartó-rele jellegű (S0 segédrele, és K0, K1 mágneskapcsoló) tekercsek logikai függvényeit is tartalmazza. Tartó-rele esetén nincs szükség őntartásra.

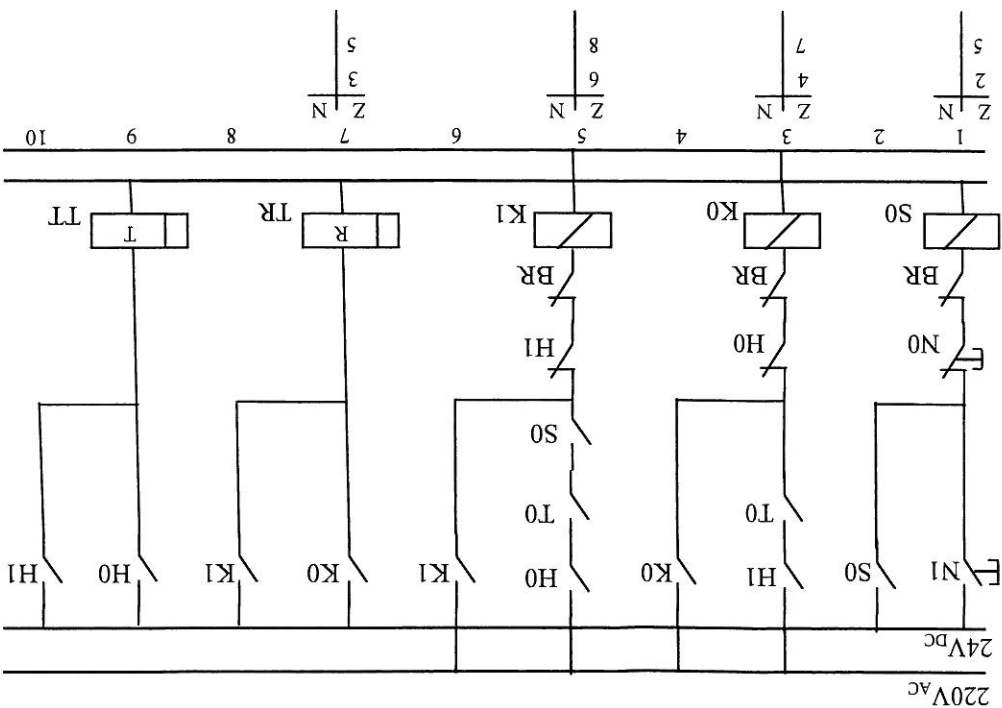
1.1.3. Áramút-rajz

Logikai függvények helyett a kontaktus vezérlés leírására elterjedtebb az áramút-rajz. Ez olyanmódon elterjedt volt, hogy a 80-as évek elején a legtöbb PLC gyártó olyan grafikus programozási nyelvet is kifejlesztett, amely grafikus objektumai az áram-út-rajz szimbólumaira hasonlítottak, és annak szintaktikai szabályait követték. Ebből alakult ki az LD (Ladder Diagram = Létra Diagram), és lett az egyik nemzetközi szabványban rögzített PLC programozási nyelv.

Megjegyzés: A Vezérlő Relék létrehozása az áram-út-rajz szimbólumait, és nem az LD PLC programozási nyelvet alkalmazza.

Az áramút-rajzon könnyen követhető, hogy mi a feladata a tekercs meghúzásának. Az áramút-rajzon a felső vízszintes vonal a tápellátás meleg-pontja, az alsó vízszintes vonal a tápellátás hidegpontja. A tekercsek egyik pontját mindig a hidegpontra kell kötni. A tápellátás a tekercs típusától függően lehet egyen vagy váltakozó feszültségű, és eltérő amplitúdójú. Különböző tápellátás esetén több összetartozó alsó, felső tápvonalat kell rajzolni.

Az őntartó kapcsolásokat alkalmazó az áramút-rajzot (normál tekercsű S0, K0, K1) a 3. ábra mutatja.



3. ábra. A mintapéláda áramút-rajza.

Nagy terjedelmű áramút-rajzok áttekinthetősége érdekében minden kontaktust tartalmazó oszlop rendelkezik egy sorszámmal és a tekercs szimbólumok alatt egy kis táblázattal. A tekercs által működtetett záró (Z) kontaktusok a táblázat bal oszlopában, a nyitó (N) kontaktusok a táblázat jobb oszlopában vannak felsorolva.

Megjegyzés: Probléma okoz, hogy fizikailag adott a záró és a bontó érintkezők aránya, és hogy egy relé tekercs csak korlátozott számú kontaktust tud meghívni. Több tekercset párhuzamos kötvé és morzeérintkezők alkalmazásával oldhatók fel ezek a korlátok.

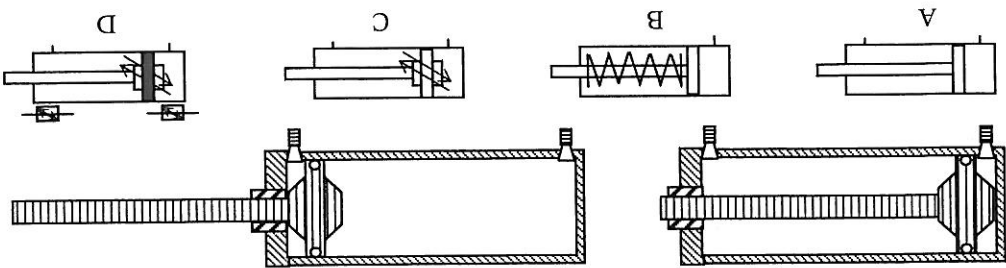
Ha csak egy vagy két összefüggő (Set, Reset) kimenetet (tekercset) kell működtetni, akkor a logikai függvény felírása közvetlenül a szöveges megfogalmazásból történhet.

Gondolja át és oldja meg a következő vezérlési feladatot: Ha a motorindító start bemenetére feljutó 0 (0 → 1) érkezik és a stop bemeneten a jelzint 0, akkor indul a motor. A motor nem működhet, ha jelez a túláramrelé, ha nincs feltéve a védőárcs, és ha a stop bemeneten magas jelzint van.

1.2. Pneumatikus vezérlés.

Villamosmotorok helyett gyakran alkalmaznak pneumatikus munkahengereket. A pneumatikus munkahenger alkalmazásának előnyei: ugyanabban a mérettartományban a pneumatikus munkahenger jóval nagyobb erőfejlesztésre képes; nincs szükség a forgómozgást egyenes vonali mozgássá alakító mechanikai szerkezetre; automatikusan felveszi a véghelyzeiteit, és nem okoz problémát, ha a vezérlés a véghelyzeiben is rajta marad. Jelentős előny, hogy a tápláló levegő nyomását biztosító kompresszor egyenletesebben táplálja a hálózatot (a hálózat csúcssterheisésekor kikapcsolható, ha elegendő a puffertartály nyomása). A pneumatikus munkahengerek jellegzetes konstrukciója mikor a tolatyú mozog előre és hátra. A szokásos nyomáskülönbség 3-6 Bar.

A 4. ábra a pneumatikus munkahenger sematikus rajzát és rajzjeleit ábrázolja. A munkahenger rajzjeleit az ISO 3320 szabvány írja le. A munkahenger néhány rajzele: A) kétoldali működésű, B) egyoldali működésű, C) kétoldali működésű lökétvégi lökétvégi fékezéssel, D) mágnes-tolatyú kétoldali működésű lökétvégi fékezéssel. A mágnes-tolatyú lehetővé teszi a munkahenger pozíciójának érzékelését induktív érzékelőkkel.



4. ábra. Pneumatikus munkahenger sematikus rajza, és néhány rajzele

Megjegyzés: A munkahenger kiválasztásában a mozgás jellege (egyenes vonali, vagy forgó), a lökethossz, a maximális terhelő erő, és a maximális működési frekvencia a legfontosabb műszaki paraméterek.

A munkahengerek vezérlését útszelepekkel valósítják meg. Az útszelep feladata hasonló, mint a kontaktusé, csak az áram helyett a levegő áramlás útját engedélyezi, vagy szakítja meg. Az útszelep a tolatyúfejjel két részre osztott munkahenger egyik térészét levegővel tölti, miközben a másik térészről elszállítja az ott felhalmozott levegőt.

Az utszелеpek y/x-es szelepeknek nevezik. Az első szám („y”) a levegőcsatlakozók számát mutatja, a második szám („x”) jelzi, hogy hány állapot van. Az utszелеpek (5. ábra) rajzjeleit az ISO 1219-1 szabvány írja le. A rajzjelek négyzetekből állnak, amelyekben az összekötött levegőcsatlakozók láthatók. Amnyi négyzetet helyezendő egymás mellé, ahány állapot van az utszелеpek. A levegőcsatlakozók sorszáma utal a funkciójára: „1” táplevegő, „2, 4” kimenet, „3, 5” kípufogás.

A 2/2-es szelepek két levegőcsatlakozója („1” táplevegő, „2” kimenet), és két állapot (nyitott, zárt) van.

A 3/2-es szelepek három levegőcsatlakozója, és két állapot van. Vagy az „2”-es kimenet az „1”-es táplevegővel, vagy a „2”-es kimenet a „3”-as kípufogással van összekötve.

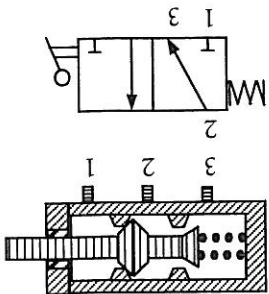
A 4/2-es utszелеpek négy levegőcsatlakozója, és két állapot van. Vagy az „2”-es kimenet és a „1”-es táplevegő, valamint a „4”-es kimenet és a „3”-as kípufogás, vagy a „4”-es kimenet és az „1”-es táplevegő, valamint a „2”-es kípufogás van összekötve.

Az 5/2-es utszелеpek öt levegőcsatlakozója, és két állapot van. Vagy az „2”-es kimenet és az „1”-es táplevegő valamint a „4”-es kimenet és a „5”-ös kípufogás, vagy az „4”-es kimenet és az „1”-es táplevegő valamint a „2”-es kípufogás van összekötve.

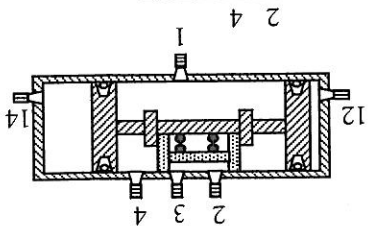
A működő elemek (6. ábra) rajzjeleit szintén az ISO 1219-1 szabvány írja le. Az utszелеp működése történhet mechanikus szerkezettel (görgős kapcsoló, teleszkópos rúd), pneumatikusan (pneumatikusan működőtetett ráépített szeleppel), vagy elektro-pneumatikusan (elektromágnessel működőtetett ráépített szeleppel). A 6. ábrán láthatók a működő elem rajzjelek: A) belső visszaállító rugó. B) nyomógomb. C) karos. D) görgő. E) pneumatikus. F) elektro-pneumatikus. A működő elemet azon utszелеp négyzet mellé kell helyezni, amelyik az általa kiváltott állapotot ábrázolja.

Ha az utszелеp pneumatikusan vagy elektro-pneumatikusan vezérelt, akkor a tolatyút mozgató levegő be és kiáramlásához további levegőnyílásokra van szükség. A „10”-es jelű levegőnyílás a kípufogásra köti a kimenetet, „12”-es jelű levegőnyílás a „2”-es, a „14”-es jelű levegőnyílás pedig a „4”-es kimenet köti a táplevegőt. A 3/2-es utszелеpek „10”-es vagy „12”-es jelű, a 4/2-es és 5/2-es utszелеpeknek „12”-es és „14”-es jelű levegőnyílása van.

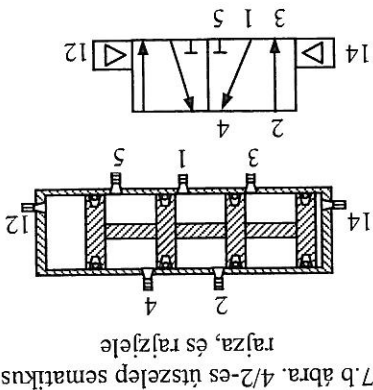
A 2/2-es és 3/2-es útszelepek gyakran mechanikus működetésűek, de természetesen a tolatyú működ-
tethető pneumatikusan, vagy elektro-pneumatikusan.
A 7.a. ábrán egy rügó visszaterítéses, káros 3/2-
es útszelep működési elvét magyarázó sematikus szer-
kezeti rajz, és a szabványos rajzjele látható. (A semi-
tikus szerkezeti rajzon a görös kar nincs ábrázolva.) A
rügó alaphelyzetben a „2”-es kimenetet a „3”-as kipufo-
gásra köti.



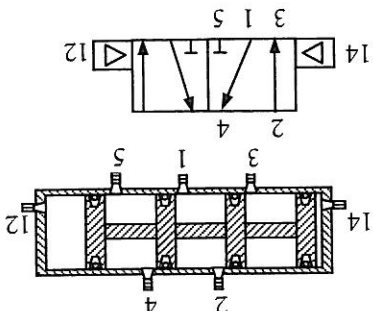
A 7.b. ábrán egy bistabil, pneumatikusan vezé-
relt 4/2-es útszelep működését magyarázó sematikus
szerkezeti rajz, és a szabványos rajzjele látható.
(A sematikus szerkezeti rajzon a pneumatikus
vezérlő elem nincs ábrázolva.)



szabványos rajzjele látható.
Ha a 4/2-es és az 5/2-es útszelepeknek
sem a 12-es, sem a 14-es levegőnyitását nem
vezérli a tápnomás, akkor az áramló táplevegő
tartja stabilan a tolatyút az utolsóként felvett
helyzetében. Ha a 12-es, és a 14-es levegőnyí-
lást is vezérli a tápnomás, akkor bizonytalan
a felvett állapot.



7.b. ábra. 4/2-es útszelep sematikus
rajza, és rajzjele



7.c. ábra. 5/2-es útszelep sematikus
rajza, és rajzjele

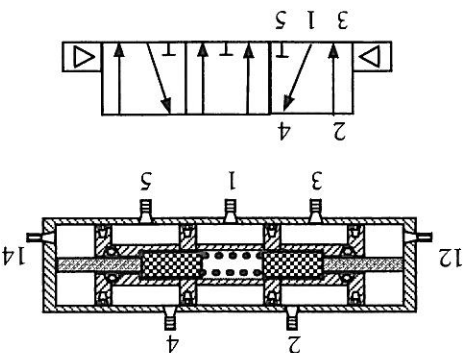
A 12-es, vagy a 14-es levegőnyitások-
hoz tartozó kamra egyikében alaphelyzetbe al-
lító rugót helyezve az állapotváltáshoz elege-
nő a másik oldalt vezérelni. Az így vezérelt út-
szelepek unistabil működésűek, mivel a táple-
vegő elvételkor a rugó az alaphelyzetébe tolja
vissza a tolatyút.

A 4/2-es és 5/2-es útszelepek pneumatikus
vezérlése másik útszeleppel, vagy mecha-
nikus működötő elemekkel (6. ábra) valósítható meg. A két oldal vezérléstípu-
sa lehet eltérő. Például az egyik mechanikus, a másik pneumatikus.
Megjegyzés: Munkahengerek vezérlésére leggyakrabban 4/2-es vagy
5/2-es útszelep típust használnak. A PLC-ék elterjedésével a leggyakoribb mű-
ködtető elem az elektro-pneumatikus útszelep lett.

Há szükség van tehermentesítésre - vagyis olyan állapotra, amikor a tolattyú kézzel is megmozdítható - akkor 4/3-as és 5/3-as utszelpeket alkalmaznak. A 4/3-as és 5/3-as utszelpeeknek szintén négy, illetve öt levegőcsatlakozója van, viszont van egy harmadik állapotuk is. Vezéreltetlen helyzetben mindkét kimenetük kipufogásra van kötve.

A 4/3-as és 5/3-as utszelpeken a tolattyú üreges belsőjében elhelyezett rugó, a távtartókat a szeleptest falának szorítva, tartja stabil helyzetben a tolattyút. Ha egyik oldal sem vezérelt (8. ábra), akkor ebben az állapotban egyik kimeneten sem jelenik meg a tápanyomás, mindkettő kipufog.

A „12”-es levegőnyíláson keresztül vezérelve az 5/3-as utszelpeket, a tolattyú jobbra mozdul, miközben összszennyomja a rugót. Ebben az állapotban a „4”-es kimenet továbbra is az „5”-ös szennyomja a rugót. Ebben az állapotban a „4”-es kimenet továbbra is az „5”-ös kipufogással van összekötve, viszont az „1”-es táplevegő a „2”-es kimenetre jut. A „14”-es levegőnyíláson keresztül vezérelve az 5/3-as utszelpeket, a tolattyú balra mozdul, miközben összszennyomja a rugót. Ebben az állapotban az „1”-es táplevegő a „4”-es kimenetre jut.



8. ábra. 5/3-es utszelpe semmatikus rajza, és rajzele

1.2.1. Ut-lépés diagram szerkesztés menete

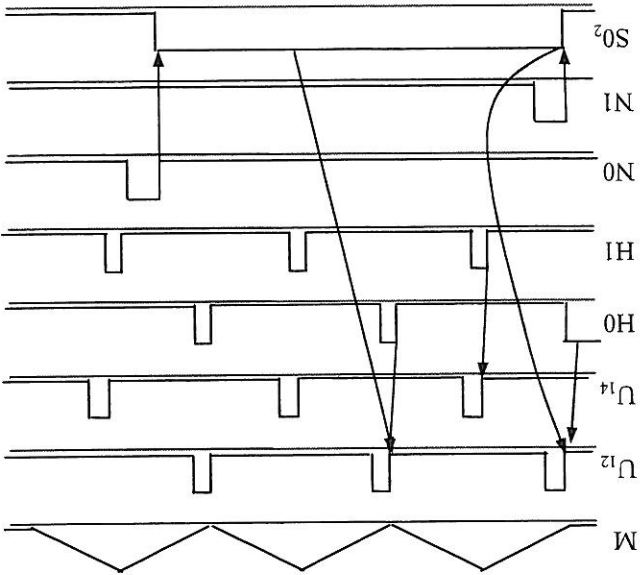
Pneumatikus logika tervezésekor az első lépés az úgynevezett ut-lépés diagram elkészítése. Az ut-lépés diagram grafikusan ábrázolja az eszközök állapotát. Szerkesztéskor először a munkahengerek elvárt mozgás sorozatát kell ábrázolni oly módon, hogy a behúzott tolattyú a logikai „0”, a kitolt a logikai „1”, és mert figyelembe veendő idő szükséges a tolattyú pozíciójának megváltoztatásához, ezt külön ütemként egy ferde vonal ábrázolja. A folytatáshoz el kell dönteni a munkahengereket vezérlő utszelpek típusát. Ezután a munkahengerek ut-lépés diagramjával szinkronban kell ábrázolni a hozzájuk tartozó utszelpek vezérlési állapotát. A vezérelt állapot a logikai „1”. Ezt követően a munkahengerek mozgásával összhangban a helyzetérezkezők állapotát kell az ut-lépés diagramban megrajzolni, majd a nyomógombokét. Ha szükség van sédészelepre, akkor ennek állapotát célszerű a munkahengert működtető utszelpe alatt megrajzolni.

A kontaktusvezérlésnél már megismert példa alkalmas az út-lépés diagram szerkesztés menetének megismerésére is.

Példá: Az N1 start nyomógomb hatására az M munkahenger tolattíjára egy szánt előre mozgást (az U12 vezérlő bemenete működött). A H1 végállás kapcsoló által érzékelt pozícióban a munkahenger irányt vált, és visszavisz a szánt az alaphelyzetbe (az U14 vezérlő bemenete működött). Az alaphelyzetet a H0 végállás kapcsoló érzékeli, és újra elindítja a szánt előre. Ez a ciklus folytatódik, míg az N0 stop nyomógombbal le nem állítjuk a működést. A szánt az alaphelyzetben áll meg.

Megjegyzés: A bistabil útszelepek esetén mind a két oldal vezérlési alapot átábrázolni kell! Egyidejűleg nem vezérelhető mind a két oldal! A munkahengernek nincs szüksége időre, hogy mozgásváltást váltson. Amint a szánt elhagyta az alaphelyzetet, amit H0 végállás kapcsoló érzékelt, illetve a véghelyzetet, amit H1 végállás kapcsoló érzékelt, az útszelep megfelelő vezérlő bemenetről le kell venni a nyomást. Így kerülhető el az útszelep kétoldali működése.

Fontos, hogy a fizikai működést végigmondolva, valóságban felhívjuk a figyelmet az ábrázoláson az út-lépés diagram. A 9. ábrát a fizikai eszközök ismeretében célszerű elkészíteni: Legyen az M munkahenger vezérlő U12, U14 stabil (két oldalról U12, U14 vezérlt), 5/2-es. A végállás kapcsolók rövid vezérlő impulzusokat kell szolgáltatnia. Legyen a H0, és a H1 végállás kapcsoló görögökkel vezérelt az unistabil 3/2-es útszelep.



9. ábra. Út-lépés diagram bistabil útszeleppel

Ilyen választás mellett a végállás kapcsolók jele átlapolja az irányváltásokat, és a végállás kapcsolókról vezérelve az U bistabil, 5/2-es útszelepet, az irányváltás az U útszelep kimenő jeleinek felhívó útjai után következnek be. Az út-lépés diagram szerkesztése iteratív művelet. Problémát okoz az indítás és leállítás megkülönböztetése a normál ciklustól. A normál ciklusban a H0 végállás kapcsoló előreküldi, a H1 végállás kapcsoló visszaküldi a szánt.

Az indítás, leállítás megkülönböztetésére az N1 start és N0 stop nyomógomb-bal, két oldalról vezérelt S0 bistabil, 3/2-es útszelepet célszerű alkalmazni. Az N1 start nyomógomb hatására az S0 útszelep S0₂ kimenetén jelenjen meg a táplévegő, az N0 stop nyomógomb szellőztesse le a kimenetet.

1.2.2. Logikai függvények

Az U bistabil 5/2-es útszelep U₁₂,

2. táblázat Logikai függvények

U ₁₂	H0-S0	H1	N1	N0
S0 ₁₂				
S0 ₁₀				

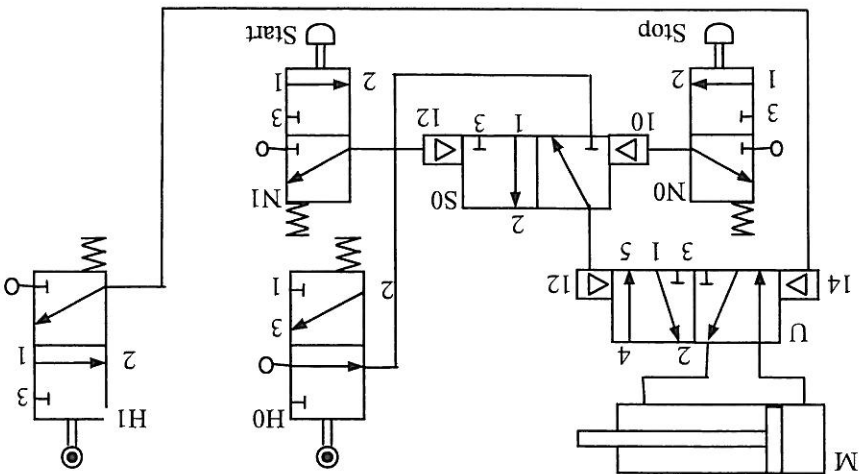
rán elegendő az S0₂ kimenetet ábrázolni.

A 9. ábra segítségével határozható meg a logikai függvények (2. tábla-

zat). A 9. ábrán nyílak mutatják, hogy mely jelek magas szintje kapcsolja az eszközöket.

1.2.3. Pneumatikus kapcsolási rajz

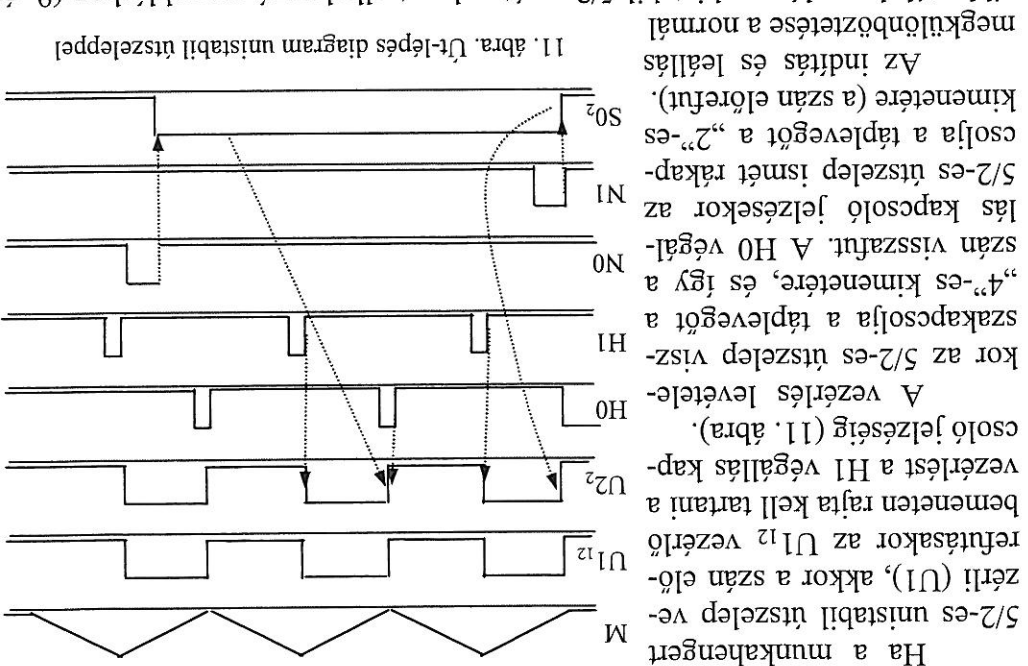
A pneumatikus kapcsolási rajz (10 ábra) az eszközök jelképeivel a le-
vegő útvonalának kapcsolási rajza.



10. ábra. Pneumatikus kapcsolási rajz bistabil 5/2-es útszeleppel.

Az „ES” kapcsolat leggyakrabban úgy valószínűsíthető meg, ha a H0 ki-
menete („2”) szolgáltatja a táplévegőt az S0 útszelep részére.

A berendezés nyugalmi állapotához tartozó szelep-pozíciókat huzaloz-zák össze. A működőteő elemek hatásvonalai ahhoz a négyzetéhez illeszkednek, amely állapotot a működésük kívált. A jobb áttekinthetőség érdekében a másik négyzetet számoz-zák be, és a táplavegőt nem huzaloz-zák hozzá minden útsze-lephez, hanem a jelképével jelzik.



11. ábra. Út-lépés diagram unistabil útszeleppel

ciklustól, hasonlóan a bistabil 5/2-es útszelepet alkalmazó megoldáshoz (9), és 10. ábrák), az S0 útszeleppel történjen.

Az U1₁₂ vezérlő jelének fel, illetve lefutó elérő eszközök vezérlik. Ezért szükség van további (pl.: U2 bistabil, 3/2-es) útszelepre, amit H0, H1 végállás kapcsolók vezérelnek. Az U2 útszelep U2₂ kimenete ráadja a táplavegőt az U1₁₂ bemenetre, illetve lelevegőzteti az U1₁₂ bemenetet. Az N1, N0 nyomógombok az S0 útszelepet vezérlik. Az S0 útszelep szolgáltatása a táplavegőt az U2 részére. Ebben a megoldásban elegendően nagy tápnóyomás kell, mert az U2 útszelep az S0 és H0 útszelepeken keresztül kapja a táplavegőt.

3. táblázat Logikai függvények

U ₁₂	U ₂	H0·S0 ₂	H1	N1	N0
S0 ₁₀	S0 ₁₂				

U₁₂ és S0 útszelepet al-kalmazva a szán vezérlésére a logikai függvényeket a 3. táblázat mutatja. A szöveges leírás, és a logikai függvények alapján próbálja meg az út-lépés diagramot megrajzolni.

2. Az eszközök elrendezése

A demonstrációs tábla három rész felületre van osztva. A jobboldalon a kontaktusvezérlést, baloldalon a pneumatikus vezérlést, és középen a PLC programozással történő vezérlés gyakorolható.

2.1. Elektromechanikus eszközök

A szokásos elektromechanikus eszközök tábláján (13. ábra) a kapcsoló-tábla, és a feladatok demonstrálására, munkahenger, levegő tartály és ezek működtetésére szolgáló érzékelők és beavatkozók vannak. A kapcsolótáblán kapcsolók és nyomógombok, valamint relék, az időrelé, a számláló-relé, az érzékelők kontaktusai, továbbá az útszelepek, a relék, az időrelé, a számláló-relé tekercsei, a lámpák, valamint diódák vannak.

Az eszközök a huzalozó táblán köthetők össze. A tekercseknek csak a meglepő pontja van kivezetve. A könnyebb huzalozás végett vannak duplikálva. Az eszközök biztonságára érdekében a földelési pontok a hallgatók számára nem elérhetők. A tápellátásnak ugyancsak a meglepő pontja (24 V) van kivezetve, és a kényelmes használat érdekében megcsiszorozva. A kapcsolóknak és nyomógomboknak, és a reléknek változó (morze) érintkezői vannak.

A huzalozó táblán (13. ábra) a banánhüvelyek mellett nem látni a „NG, KG” kontaktusok és az „R” tekercs, valamint az „I, K, O, N” érzékelők betűkódját. Az érzékelők „I” induktív közelítéskapcsoló, „K” kapacitív közelítéskapcsoló, „O” fotóelektromos, „N” nyomáskapcsoló.

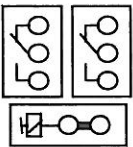
Az érzékelők egy relé működőtetnek, amelynek változó (morze) érintkezőinek elrendezését a huzalozó táblán (13. ábra „E” érzékelők mező) a 12.a. ábra mutatja.

A relé tekercsének meglepő pontja (kettőzve), és a két változó érintkezőinek elrendezését a huzalozó táblán (13. ábra az „R” relé mező) a 12.b. ábra mutatja.

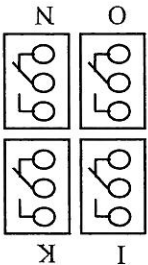
Az „NG” nyomógomb és „KG” kapcsoló mező abban különbözik az „R” relé mezőtől, hogy a tekercs helyén nyomógomb, illetve kapcsoló van.

Az „IR” időrelé bekötését és kezelését a kitett katalógus

12.b.



12.a.



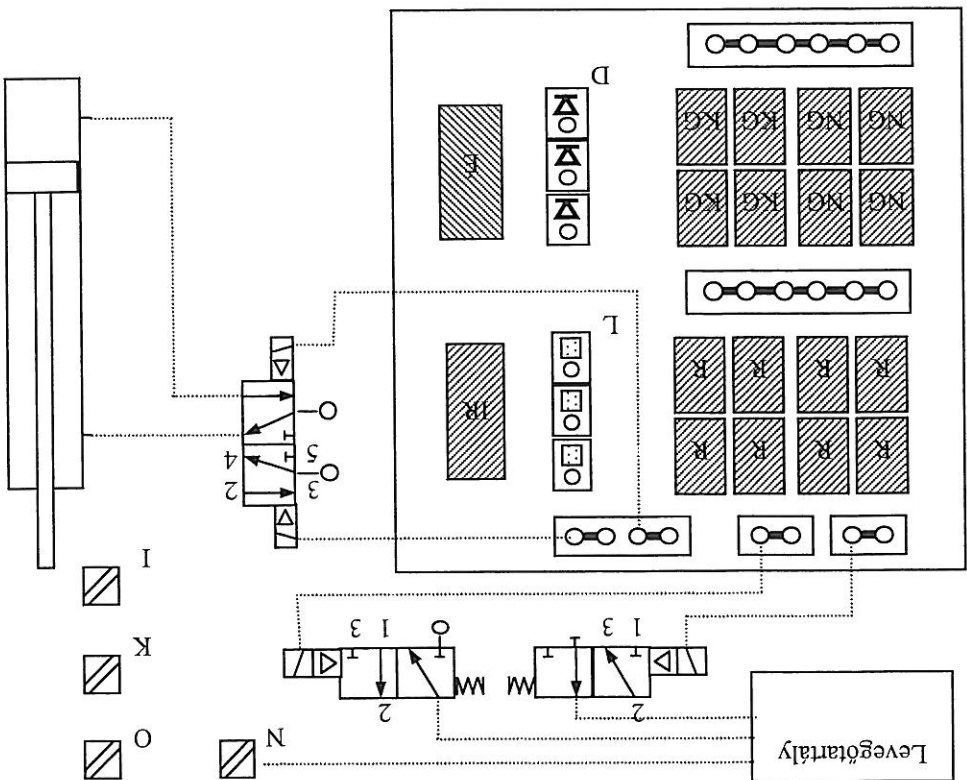
alapján végezze. Az „IR” időrelének több (engedélyező, törölő, megszakító) vezérlő bemenete van. Az „IR” időrelé előlapján vannak a kezelő szervek, melyekkel a paramétereit beállíthatók.

A pneumatikus vezérlésekben szokásos ütszelepek, és három munkahenger van elhelyezve a pneumatikus táblán (14. ábra). A huzalozást levegővezetékekkel kell megvalósítani. A tápnyomás több ponton is kivezetésre került. Ne felejtse el visszatenni a záródugót a nem használt tápelosztó csatlakozókra. Az 5/2-es ütszelepek és a munkahengerek már össze vannak huzalozva. Először válassza ki a használni kívánt szelepeket, majd az 5/2-es ütszelepek vezérlő bemenetét („12”, „14”) kösse be, és így tovább. Utoljára csatlakoztassa a tápvezetőt a megfelelő szelepekhez.

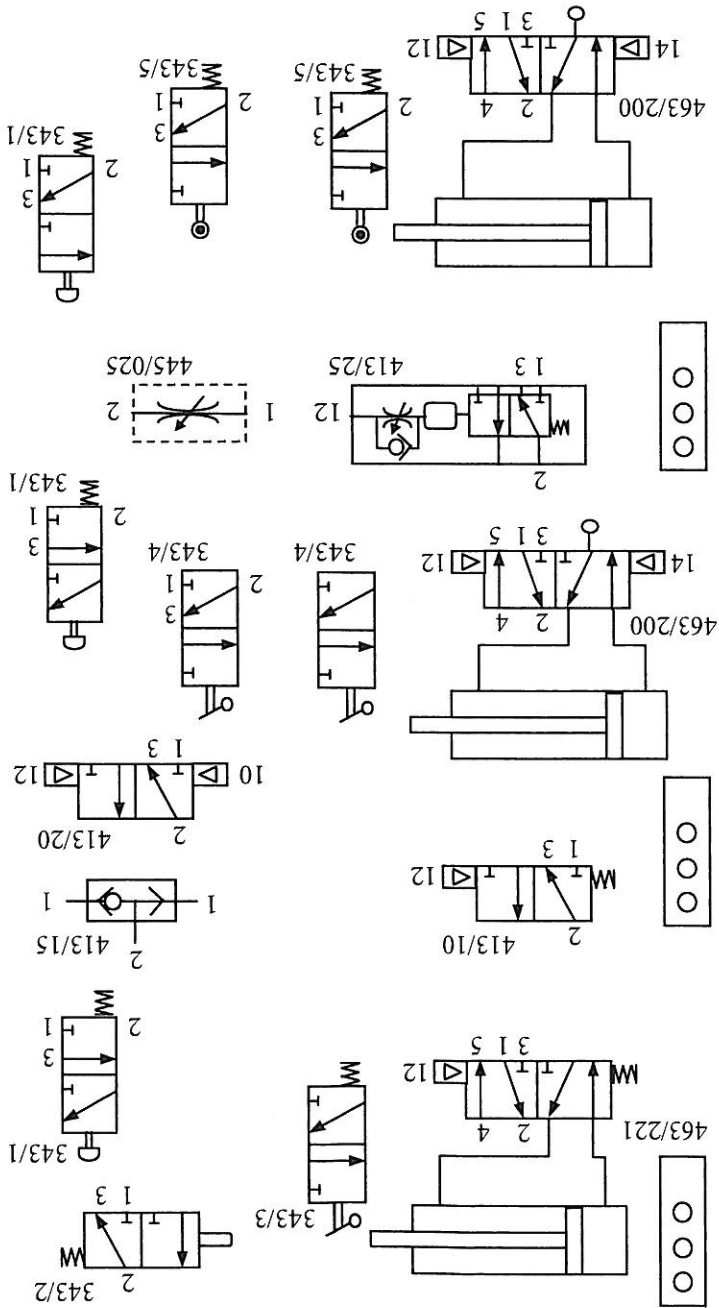
2.2. Pneumatikus eszközök

A 13. ábra az „L” mezőjében lámpák vannak, amelyekre a feladatok eredményei kivezethetők. A 13. ábra az „D” mezőjében diódák vannak, amelyek alkalmazásával a kontaktusok száma csökkenthető.

13. ábra. Elektromechanikus huzalozó tábla



- 343/1: Nyomógombbal működtetett 3/2-es útszelep. (unistabil)
- 343/2: Nyomócsappal működtetett 3/2-es útszelep. (unistabil)
- 343/3: Karal működtetett kétirányú 3/2-es útszelep. (unistabil)
- 343/4: Karal működtetett mindkét irányban retesztelt 3/2-es útszelep. (bistabil)
- 343/5: Görgős-karral működtetett 3/2-es útszelep. (unistabil)
- 413/10: Pneumatikus vezérlésű, 3/2-es útszelep. (unistabil)
- 413/15: Változszep. Logika, egyidejűleg csak az egyik oldalról szabad vezérelni)
- 413/20: Pneumatikus vezérlésű, 3/2-es útszelep. (bistabil)
- 413/25: Allítható késleltett nyitása, 3/2-es útszelep. (unistabil)
- 445/025: Fojtó szelep. (bistabil)
- 463/200: Pneumatikus vezérlésű, 5/2-es útszelep. (bistabil)
- 463/221: Pneumatikus vezérlésű, 5/2-es útszelep. (unistabil)



14. ábra. Pneumatikus huzalozó tábla

3. Feladatok

Mérési feladatokat a mérésvezető oktató jelöli ki. Az alábbi néhány feladat csak minta, hogy felkészülhessen a feladatok jellegére.

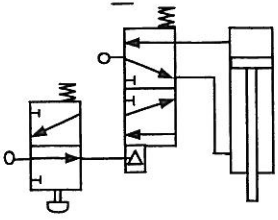
3.1. Elektromechanikus vezérlési feladatok.

1. Készítsen kapcsolást, amely három relé állapotát vizsgálja. Ha háromból bármely kettő gerjesztett, akkor jeljezen egy lámpa.
2. Két nyomógomb (engedélyező, töröl) felhasználásával működtesse az időrelét, mint késleltetve meghúzó időzítőt, valamint a mérésvezető oktató által kijelölt üzemmódban.
3. Valósítsa meg a következő feladatot: Egy kapcsoló lekapcsolt állapota alaphelyzetbe állítja a rendszert, felkapcsolt állapot engedélyezi. Alaphelyzetben a munkahenger behúzott állapotban van. Egy nyomógomb indítja előre a munkahengert. Amikor kitérkezik, azt a kezelőnek nyugtáznia kell. A nyugtázást követően 4 másodperc múlva menjen hátra a munkahenger, majd automatikusan ismét előre. Itt újból nyugtázni kell, és a ciklus ismétlődik. Válassza ki az eszközöket. Írja fel a logikai függvényeket, és huzalozza össze az áramkört.
4. Tervezze meg a következő feladatot: Alaphelyzetben a levegő tartály televegőzik. Az engedélyező kapcsoló magas állapotra indítja a ciklust. A leeresztő unistabil utiszepel lezár, és töltő unistabil utiszepel nyit. A nyomáskapcsoló jelére 5 másodpercig lezár a töltő utiszepel, és nyit a leeresztő utiszepel.
5. Valósítsa meg a következő logikai függvényekkel leírható kapcsolást:

$$Y0 = (NG1 \cdot KG1 + Y0) \cdot NG2 \quad Y1 = (KG2 + Y1) \cdot Y0$$

3.2. Pneumatikus vezérlési feladatok.

1. Valósítsa meg a 15. ábrán látható egyszerű kapcsolást. Amíg a nyomógomb működíti a 3/2-es szelepet a munkahenger kimegy, és a nyomógomb felengedéséig ott tartózkodik. A nyomógomb felengedésekor a munkahenger visszaáll alaphelyzetbe.
2. Módosítsa a 15. ábrán látható kapcsolást úgy, hogy a munkahenger előre és hátra menetét egyaránt kézi működtetésű a 3/2-es szelep vezérelje.



15. ábra. Munkahenger kézi vezérlése

3. VEZÉRLÉS VEZÉRLŐ RELÉVEL

A fejezet megismertetni az ipari kivitelű, kompakt felépítésű, mikroprocesszor alapú (vezérlő relé, kompakt PLC) készülékekben futtatott felület és sorrendi vezérlési algoritmusok készítésének szabályait.

1. Elméleti ismeretek

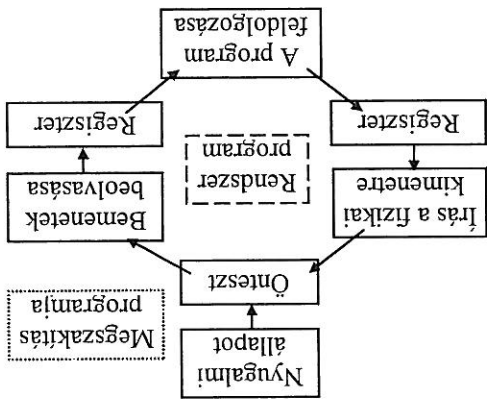
Az irányítástechnikai feladatok megoldására a rugalmassága, és a nagy-ságrendileg kisebb fajlagos költsége miatt a mikroprocesszor alapú eszközök kiszorították a relés és pneumatikus vezérlő szekrényeket.

A 80-as évek elejétől a mikroprocesszoros eszközök ipari alkalmazását az tette lehetővé, hogy kifejlesztették az elektro-mágneses zavaroktól kellően védett az optó-csatolóval galvanikusan leválasztott be-, és kimeneteket. A ki-menetek vagy rövidzár-védett tranzisztoros, vagy reed-relés kivitelűek. A be-menetek optócsatoltak. A tranzisztoros kimeneteken csak a 24 V_{dc} logikai jel-szint, a reed-relés kimeneteken 24 V_{dc} , és 230 V_{ac} logikai jelel szint is megengedett. A bemeneteken a 24 V_{dc} logikai jelel szint a legelterjedtebb.

Kis (10–40 I/O pont), és közepes (40–150 pont) feladatok megvalósítására leggyakrabban vezérlő reléket, illetve kompakt PLC-ket alkalmaznak.

Megjegyzés: A vezérlő relék és a kompakt PLC-k között az a különbség, hogy az utóbbi on-line (a program futásának leállításánál) módon is programozható, és a programozása az 5 szabványos (MSZ EN 61131-3) írási nyitástechnikai programozási nyelv valamelyikén történik.

Az ipari irányító eszközökben mindig van egy ciklikusan feldolgozott alapprogram. A ciklus folyamata az 1. ábrán látható:



I ábra. Ciklikus működés

- Nyugalmi állapotban a felhasználói program nem fut.
- A programfuttatás parancs után először öntesztet hajt végre az eszköz.

- A bemenetekről beolvasott értékek egy ütemben az erre kijelölt memóriaterületre kerülnek. Amíg a következő beolvasási ciklus felül nem írja, ezen a memóriaterületen lévő értékeket tekint a CPU bemeneti értékek.
 - A program feldolgozása sorol-sorra történik. A programfeldolgozás közben a kimeneti értékek az erre kijelölt memória területre kerülnek. A kimeneti értékek egy ütemben kerülnek a fizikai kimenetre.
- A felhasználói program futtatása itt nem fejeződik be, hanem egy üntesztel előlöl kezdődik. A bemeneti értékek beolvasása és a jelváltozásokra történő reagálás ciklikusan ismétlődik. Mivel a ciklus végrehajtásához idő kell, fontos ismerni, hogy a vezérlő eszköz a bemeneti jelváltozásra mennyi idő eltelével reagál a kimenetben. A katalógusok ezt az időt reakcióidőnek nevezik. A reakcióidő ismerete fontos annak eldöntésére, hogy az adott eszköz alkalmas-e a kívánt feladat elvégzésére. A reakcióidő kiszámítása az alábbi képlettel történik.

$$T_R = T_N + T_{OUT} + 2T_C + T_N(+T_I)$$

<1.>

Ahol a:

- T_R : Reakcióidő
- T_N : A bemenetek RC szűrőjének késleltetése. Tipikus érték: 2 [ms].
- T_{OUT} : A tranzisztoros kimenetek RC csillapítótárgjának, vagy a reedrelés kimenetek késleltetése. Tipikus érték: 1 [ms].
- T_C : Az üntesztől üntesztig terjedő idő. Függ a mikroprocesszor sebességétől, a felhasználói program hosszától, és az utasítások típusától. A katalógusok 1024 elemi utasítás végrehajtásához rendelik. Vezérlő relék és kompakt PLC-k esetén a tipikus érték: 2 - 5 [ms].

Megjegyzés: A létreadágramos (LD) programnyelvben a T_C ciklusidő meghatározásakor a normal kontaktusok és tekercek (be-, és kimenetek, markerek, sib.) egy elemi utasításnak, a specialis kontaktusok és tekercek (analóg komparátorok, idő-, és számláló relék, sib.) átlagosan 25 elemi utasításként veendők figyelembe. Az idő-, és számláló relék eredmény kontaktusait normal kontaktusként kell számításba venni.

- T_N : A soros hálózaton keresztüli csatlakozó bővítmények lekérdézési ideje. Vezérlő relék esetén a tipikus érték bővítményenként: 1 [ms].
- T_I : A megszakítás program futásának ideje

Megjegyzés: A vezérlő relékben, illetve kompakt PLC-kben a felhasználó által írt program futtatásának szervezése kizárólagosan ciklikus. Így nem kell figyelembe venni a specialis taszkok (megszakítások) futtatásának idejét (T_I). A közepes és a nagy teljesítményű PLC-kben a jól strukturált program specialis (megszakítással feldolgozott) taszkokban fut.

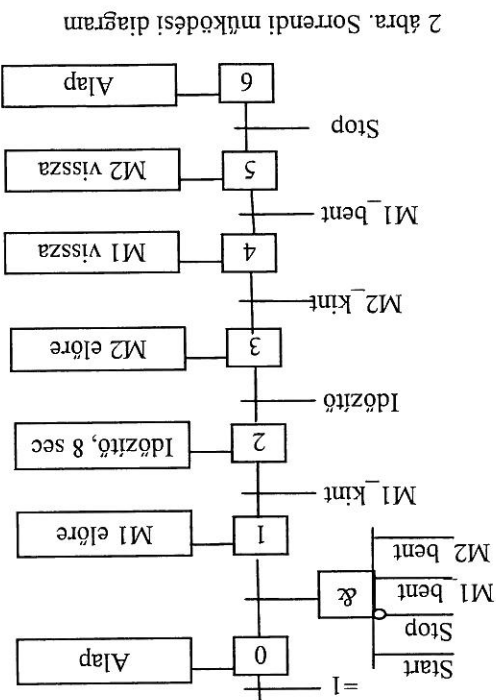
1.1. Létra diagramos programozás

A létra diagramos program tekercsből, és kontaktusokból áll. Vezérlő relék az áramutató szimbólumaival, és nem az PLC-k szabványos LD programozási nyelven, programozhatók. A vezérlő relék létra diagramos programozás technikája az „Automatika laboratórium” tárgyban már ismertetésre került.

Emlékeztetőül: A kontaktus alap (nyugalmi) állapotában lehet nyitott (zárt érintkező), vagy zárt (bontó érintkező). Pozitív logikát alkalmazva: a zárt érintkezők nyugalmi állapotban nyitottak és így logikai „0”-nak értelmezettek, vezérelt állapotban zártak és így logikai „1”-nek értelmezettek. A bontó érintkezők ezzel ellentétesen működnek. A tekercs jellege lehet normál, impulzus és tartó jellegű. A normál tekercs mindig követi az előtte álló kontaktus logika állapotát. Az impulzus tekercs minden felrúto előre az ellentétjére változtatja az állapotát. A tartó relének két tekercse van. A Set tekercs meghúzza („1”-be állítja), a „Reset” tekercs elengedi („0”-ba állítja) a tartó relé záro kontaktusait.

1.1.1. Sorrendi vezérlés algoritmus készítésének menete

Számos olyan feladat van, ami-
kor a vezérelt berendezés állapotai kö-
tött sorrendben követik egymást.
A mintafeladat: Alaphelyzet-
ben az M1, és az M2 munkahengerek
behúzott állapotban vannak. A munka-
hengerek alaphelyzetét az „M1_bent”
(H0), és az „M2_bent” (H2) végállás
érzékelők jelzik. A „Stop” (N0) nyo-
mógomb hatására a rendszer alaphely-
zetbe áll. A „Start” nyomógomb (N1)
hatására az unstabil 5/2-es útszeleppel
vezérelt M1 munkahenger előre tol.
Az M1 munkahenger a véghelyzetben
8 másodpercig várakozik.
Ezután előretol az 5/2-es bi-
stabil útszeleppel vezérelt M2 munka-
henger. Az M1 munkahenger előretol
véghelyzetét az „M1_kint” (H1), és az



M2 munkahenger előretolt véghelyzetét az „M2_kint” (H3) végállás érzékelő jelzi. Amikor a H3 végállás érzékelő jelez, akkor az M1 munkahenger vissza- húz, és amikor az M1 visszaér, akkor az M2 is visszahúz.

A szövegesen megfogalmazott feladatot a 2. ábrán látható sorrendi működési diagram definiálja. Ha az vezérlő eszköz nem programozható SFC nyel- ven, akkor a vezérelt berendezés minden állapotához hozzátartozó egy változót a 2. ábrához hasonló programstruktúra alakítható ki. A mintafeladatban 6 álla- pot van (az 0-as, és a 6-os azonos!). A sorrendi működésű rendszer akkor lép az „x+1”-dik állapotába, ha az „x”-dik állapotában van, és teljesül az „x” és az „x+1” állapotok közötti feltétel. Ebből az is következik, hogy a mintafeladat- ban mindig csak egy állapotváltozó lehet érvényes. Az állapotváltozók markerekben helyezkednek el. A markerek „default” értéke nulla, ezért gon- doskodni kell arról, hogy a legelső bekapcsoláskor alapállapotot jelző változó felvegye az „1”-es értéket.

Megjegyzés: Ha azt akarjuk, hogy az állapotok változói ne felejtésük el az értékeiket tápkimaradásakor, akkor az állapotváltozókhoz visszataróknak (retentive) kell lenniük, különben minden tápkimaradás után alaphelyzetről in- dul a rendszer.

1.1.2. Feltételevezérlés algoritmus készítésének menete

Az vezérlési algoritmus készítés menetét egy mintafeladaton keresztül lehet legjobban megérteni. A feladat legyen azonos a 2. métesben ismertetettel. A feladatban a bemenetek: N0, N1, BR, a belsőváltozó S0, és unstabil 5/2-es utszelepet alkalmazva a kimenet EP. Akár ütem-, és/vagy út- lépésvdiagram szerkesztéssel, akár a szöveges leírás értelmezésével felírhatók a logikai függvények. A feladat logikai függvényeit a 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Logikai függvények		
Eszköz	S0	N1•BR
	EP	H0•S0
RESET		N0
		H1

A logikai függvények egy-egy létreágot definiálnak. A létre ágak tetszőleges sorrendben leprogramoz- hatók, mert a bemeneti adatok beol- vása, illetve kitérása (1. ábra) egy ütemben történik, vagyis az értékük nem függ a feldolgozás sorrendjétől. Ez alól a tartó relé kivétel. Az S-R teker- csek együttes gerjesztése esetén, ha a nagyobb sorszámú létreágban az S te- kerics programsora van, akkor dominánsan meghúzó, ha az R tekerics program- sora van, akkor dominánsan elengedő jellegű a tartó relé.

1.1.3. Easy-Soft 6 Pro kezelése

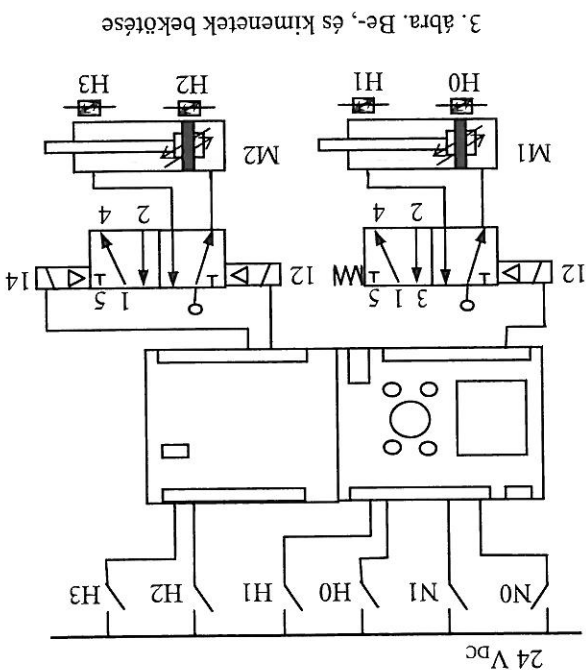
Az Easy-Soft 6 Pro demo verziója a <http://www.moeller.hu/honlaprol/letoltheto>. Installáláskor lehet magyar nyelvű opciót választani. A fejlesztő rendszer segítségével („?” ikon) a kezelési útmutatók magyar nyelvűek, viszont a PDF formátumú gépkönyvek angol nyelvűek.

Az Easy-Soft 6 Pro kezelését a 1.1.1. fejezet mintapéldáján keresztül mutatjuk be. A sorrendi működési diagramon (2. ábra) és a hozzátartozó szöveges leíráson túl, a programot befolyásoló további megköltések:

- Tápkimaradásakor a felhasználói program onnan folytatódjon, ahol a működése megszakadt.

A működési diagram alapján 6 belső állapotváltozóra (Alap, Utem1, Utem2, Utem3, Utem4, Utem5), és egy időzítőre (Varakozas) van szükség. Ezeknek a változóknak kell értékmegőrző típusnak lenniük, hogy teljesüljön a fenti feltétel.

- A 3. ábrán látható módon a „Stop” (N0) az I2-re, a „Start” (N1) az I2-re, a „M1_bent” (H0) az I7-re, az „M1_kint” (H1) az I8-ra, az „M2_bent” (H2) az R7-re, az



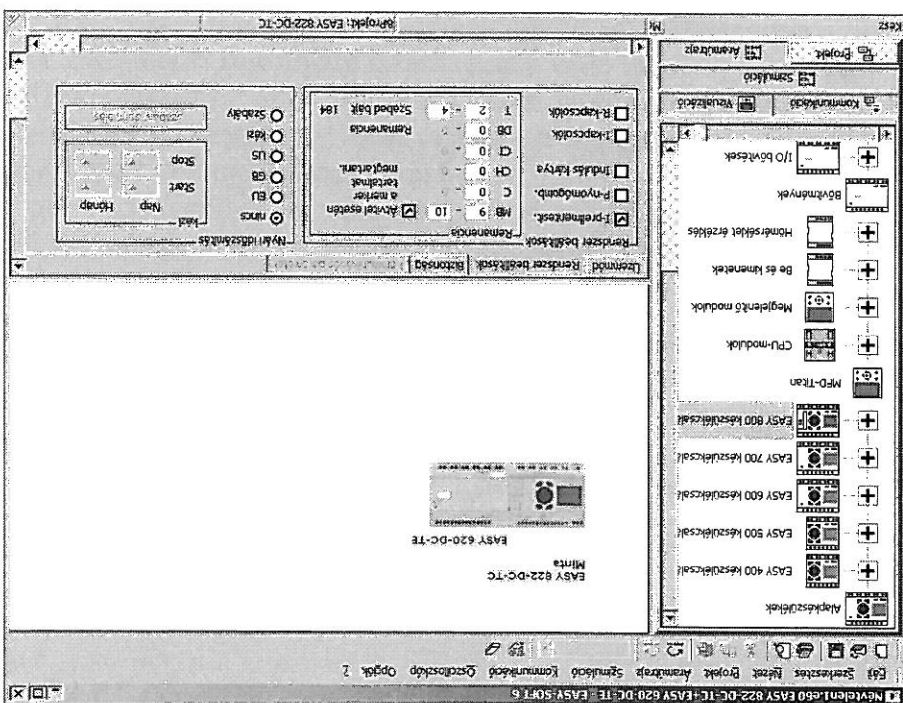
3. ábra. Be- és kimenetek bekötése

„M2_kint” (H3) az R8-ra legyen bekötve. Az S/2-es unistabil útszelepet vezérlő „M1_ki” a Q3-ra, az S/2-es bistabil útszelepet vezérlő „M2_ki” a S3-ra, az „M2_be” a S5-re legyen bekötve. Az I és a Q az alapkészülék, az R, és az S az I/O bővítő be- és kimeneteinek betűjele.

Megjegyzés: Az EASY Soft esetében a változó nevek kommentárok, és így használhatók a kezelőket, de szokja meg, hogy nem használ, mert a PLC nyelvek szimbolikus változóban csak az angol ABC-t szabad alkalmazni.

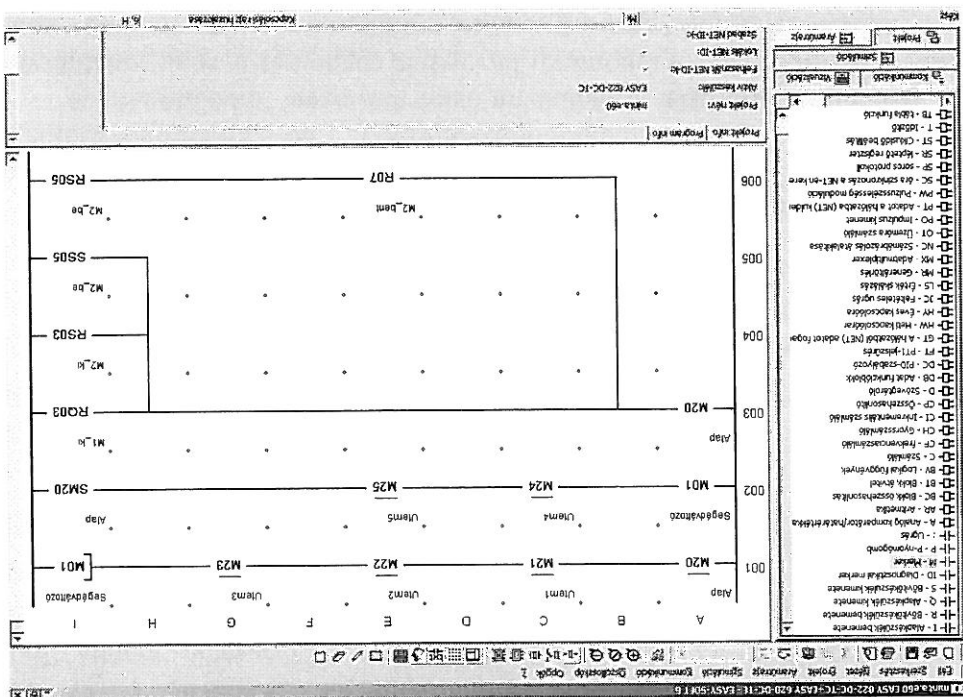
Az Easy-Soft 6 Pro ikonra duplán kattintva, megjelenik a 4. ábrán látható fejlesztő program felület. A képernyő tetején a Windows-ban megszokott legördülő menü és ikon sor látható.

- Az ikon sor alatt a képernyő felület négy részre van bontva.
- A bal alsó részen a képernyőnek választható ki a fejlesztő rendszer ki-vant állapot (Projekt, Áramútrajz, Szimuláció, Kommunikáció, Vizualizáció). A „Vizualizáció” üzemmód csak az MFD-Titan készülékek esetén használható.
 - A bal felső részen a képernyőnek „Projekt” üzemmódban a készülékek, „Áramútrajz” üzemmódban a változó típusok vannak felsorolva. „Szimuláció” üzemmódban a szimulált bemenetek típusát definiáló, és a szimuláció lefutását szervező, a „Kommunikáció” üzemmódban a kommunikációs paramétereket és a programfuttatás módját beállító konvintárak vannak felsorolva.
 - A jobb alsó részen a képernyőnek az üzenet terület. „Projekt” üzemmódban a kijelölt készülék paraméterei láthatók, valamint az intelligens eszközök beállításai (retentív területek, prellimentesítés, jelző, stb.) állíthatók ezen a képernyő területen. „Áramútrajz” üzemmódban a kijelölt változó paraméterei (sorszáma, jellege, stb.) állíthatók be ezen a képernyő területen.
 - A jobb felső része a képernyőnek munkaterület. „Projekt” üzemmódban itt állítható össze a hardver topológia. „Áramútrajz” üzemmódban itt készül a felhasználói program.



4. ábra. Az EasySoft Pro 6 „Projekt” képernyő képe

5. ábra. Az EasySoft Pro 6 „Aramutrajz” képernyő képe



Az ikonsor az „Aramutajz” és a „Szimuláció” üzemmódban kiegészül

megjelenő új ikonok közül a két legfontosabb a ceruza és a radír. A ce-



többi ikonmal hihetőségi vizsgálatot végezhet, nagyíthatja, kicsinyíthati a mun-

katerületet, válthat a munkaterület megjelenési formáján, stb.

Egy létraágba négy kontaktus és egy tekercs helyezhető el. Ha ez kevés,

akkor segédválasztó (marker) alkalmazása (5. ábra) ajánlott.

A kontaktusok és a tekercsek a „fogd és vidd” technikával helyezhetők

a kívánt pozícióba. A jobb alsó üzenet területen a **Kapcsolási terv** elem fölön

adható meg az elem sorszáma, és kommentár. Ugyanitt kontaktus szimbólumot

kijelölve definiálható annak záró vagy bontó jellege, tekercs szimbólumot ki-
jelve megadható annak jellege. A tekercsjelleg választékból a „tekercs”, és a

„negatív tekercs” normal relé ponált és negatív értékeit jeleníti. A „negatív el”, és

a „pozitív el” szintén normal tekercshez tartozik. A „SET”, „RESET” tartó relé

összetartozó tekercsei. Az „impulzusrelé” értelmszerű.

Az 5. ábrán a „0”-ás, és az „1”-es állapothoz tartozó programsorok lát-

hatók. Az „1”-es és a „2”-es állapothoz változt a 6. ábra mutatja. Ha az

állapotváltozás is ennek

állapotváltozás is ennek

törődjön, az „Utem1”

kor az „Alap” állapot

alaphelyzet felvétel, ak-

nyes, és teljesül az

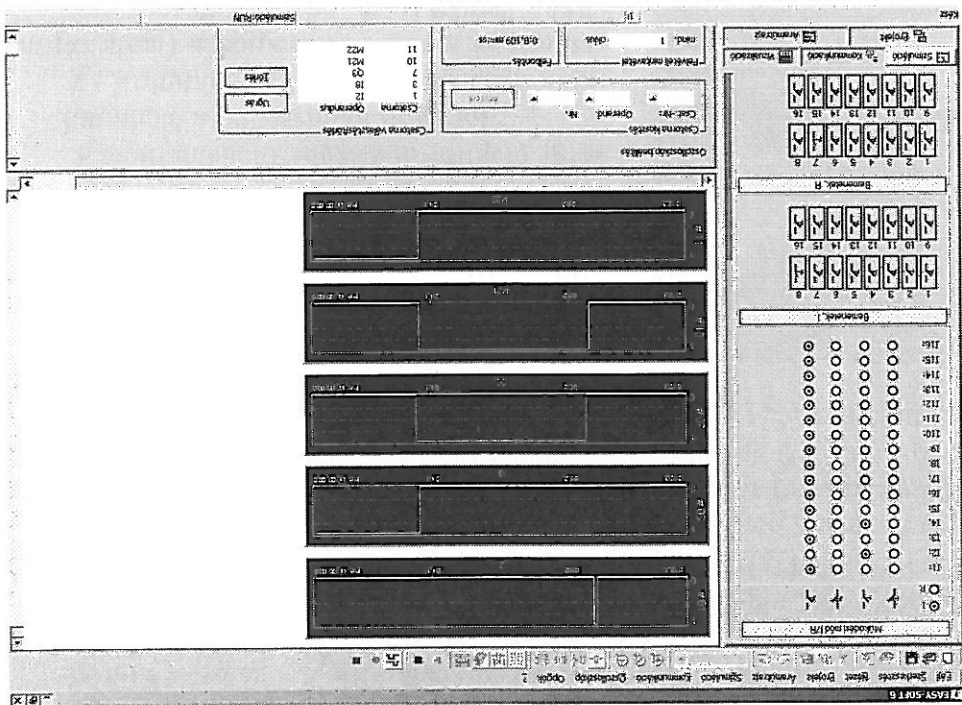
„Alap” állapot az érve-

hatók. Az „1”-es és a „2”-es állapothoz változt a 6. ábra mutatja. Ha az

állapotváltozás is ennek

állapotváltozás is ennek

A **Szimuláció ciklus** fülön állítható a ciklusidő, ami az oszcilloszkóp felbontást befolyásolja, valamint egyetlen ciklus végrehajtására is van mód. A **Kijelzés** fülön a képernyő jobb alsó üzenet területére helyezhetők memória területek.



7. ábra. Az EasySoft Pro 6 „Szimuláció” képernyő képe

Az „Oscilloszkóp” ikont bekatintva törlődik a kijelzés kép, és a „Szimuláció” nézet jobb alsó üzenet ablakában (7. ábra) az oszcilloszkóp csatornáinak beállítására végezhető el. Az „Oscilloszkóp” ikont kiiktatva az áramútrajz jelenik meg. A szimuláció futásakor a piros szín jelöli az éppen vezető kapcsolási elemeket. Kapcsolási elemre kattintva a jobb alsó üzenet ablakban a megfelelő memória terület jelenik meg, és zöld szín jelzi az „1”-es értéket. Az üzenet ablakban a marker értékek dupla kattintással törölhetők.

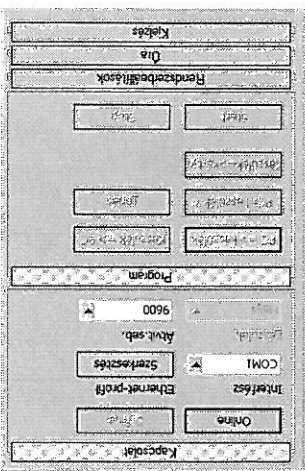
A számos funkcióblokk ismertetésére nincs hely és idő. A Sütő (?) legördülő menüből a **Sütő témák** fület kiválasztva, rákéreshet a kívánt funkcióblokk magyar nyelvű leírására. A mérési feladatokban csak időzítő, számláló, és analóg komparátor fordul elő. Az időzítő vagy számláló tekercs, illetve analóg komparátor kontaktus helyvezéskor az üzenet mezőben a **Kapcsolási ter-velem** fül mellett megjelenik a **Paraméter** fül is.

Időzítő esetén a **Kapcsolási terv**em fülön eldönthető, hogy az engedélyező (EN) tekercsén kívül az időzítőnek legyenek-e törölő (RE), és/vagy stop (ST) tekercsei is. Az időzítő **Paraméter** fülén állítható be az üzemmód (TON, TOF, stb.), *funkcióblokk bemenetek* megnevezés alatt az időtartomány(ok) adhatók meg.

Számláló esetén a **Kapcsolási terv**em fülön választható ki a (C) pozitív éleket számláló, a (D) számlálási irányt kijelölő, vagy az (RE) törölő tekercs. A számláló **Paraméter** fülén *funkcióblokk bemenetek* megnevezés alatt (SV) számlálási, valamint (SH) felső és (SL) alsó határérték állítható be. Analóg komparátor esetén a **Kapcsolási terv**em fülön a kontaktus jellege (bontó vagy záró) választható ki. Az analóg komparátor **Paraméter** fülén *funkcióblokk bemenetek* megnevezés alatt a bemeneti értékek (I1, I2), a bemeneti értékek ofszetje (F1, F2), és az üzemmód (a bemeneti értékek közötti logikai kapcsolat: LT, EQ, GT) választható ki

A *funkció blokk bemenetek*hez konstans érték, vagy számos változó regisztriere rendelhető. A *funkcióblokk kimenet* megnevezés alatt az időzítő, illetve számláló aktuális értéke számára kijelölhető memória terület.

4. „Komunikáció” nézetben tölthető le és futtatható a felhasználói program. A „Komunikáció” nézet bal felső ablakban (8. ábra.) a **Kapcsolat** fülön a kommunikációs csatorna állítható be, és „Online”, „Offline” kapcsolható a kommunikációs csatorna. A **Program** fülön történik a felhasználói program mozgatása, valamint futtatásának indítása, leállítása.



8. ábra. Az EasySoft 6 Pro „Rendszereállítások” fül visszaajelzés. „Komunikáció” képernyő képe

A **Kijelzés** fül azonos a „szimuláció” nézetben ismertetettel. Az „Automatika Laboratórium I.” tárgy tapasztalatait felhasználva, az Easy-Soft 6 Pro Demo szoftver segítségével fejlesztesse be és tesztelje a 2. sorrendi működési diagram programját.

Megjegyzés: Az Easy 800-as készülékből legfeljebb 8 darabot lehet a munkaterületre helyezni. Az egy munkaterületen hálózatra szervezett összes Easy 800-as készülékekben önállóan futtatható program tölthető le, amelyek lájtyák egymás be-, és kimeneteit.

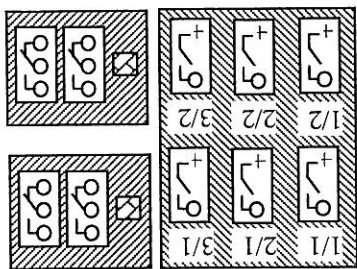
2. Az eszközök elrendezése

A demonstrációs tábla három rész felületre van osztva. A vezérlő relé programozással történő vezérlés a középső részen gyakorolható.

A méréshez két darab Easy 822-DC-TC vezérlő relé - Easy 620-DC-TE I/O bővíttővel - áll rendelkezésre (9. ábra.).

A vezérlő relé be- menetére mechanikus nyomógombok és kapcsolók, továbbá érintésmentes közrelés kapcsolók, és ipari relék kontaktusai, a kimenet- éhez elektro-pneumatikus ütszelepek, a relék és a lámpák csatlakoztathatók.

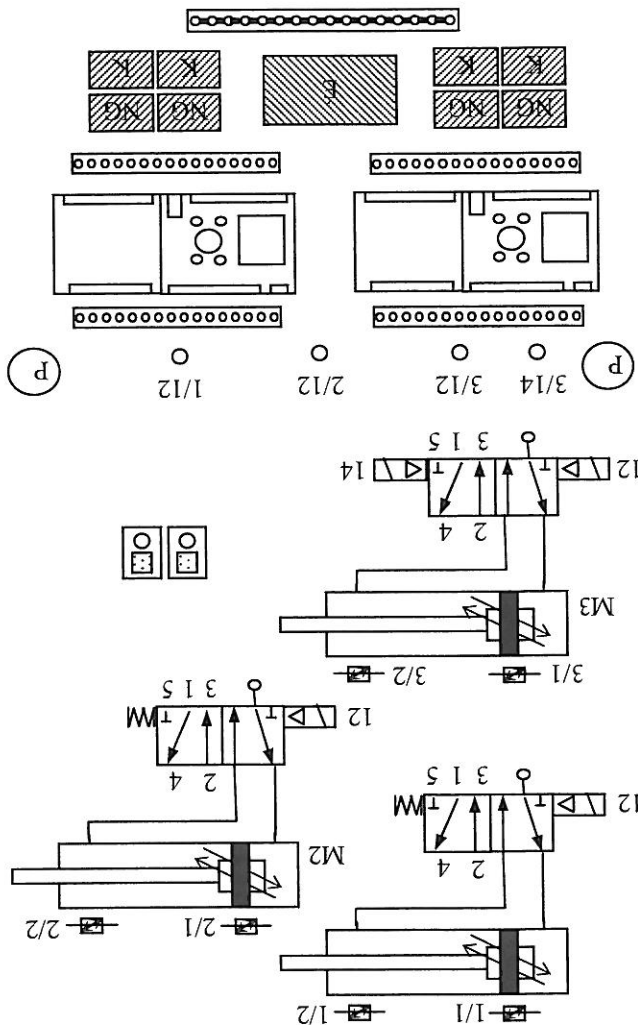
A táblán az „E” mező, valamint az „NG” és a „K” mezők elrendezése:



A kapcsolók, és az ütszelepeket pedig tápellátású tápfeszültséggel, el kell látni tápfeszültséggel, nyomógombok kontaktusait nyomással.

Az induktív érzékelők 24 V_{dc} feszültséget szolgáltatnak. Az érzékelők védelme érdekében csak a melegpont van kivéve. A rövidzár elkerülése érdekében az elektro-pneumatikus átalakítók vezérlő tekercseinek és a lámpák- nak szintén csak a meleg pontja van kivéve.

9. ábra. Demonstrációs tábla elrendezése



3. Feladatok

1. Írjon a következő műveletsort vezérlő programot és tesztelje le: Az 5/2-es unstabil munkahenger indítása két kezés (két nyomógomb együttes megnyomása szükséges). A munkahenger a külső pozícióban 3 másodpercig tartózkodjon, majd térjen vissza.
2. Egészítse ki az előbbi feladatot: Egy kapcsoló reteszeli a művelet indítását, illetve ha a műveletsort közben működieti, akkor alaphelyzetbe áll a munkahenger. A műveletsort ciklikusan ismétlődjön, amíg egy nyomógomb a műveletsort befejezve, alaphelyzetben le nem állítja.
3. Egy felautomata sajátológép a kézzel behelyezett lemezt, az M1 munkahengerrel leSORtíja, majd a lemez rögzített helyzetében, amit az első munkahenger külső végállás kapcsolója (1/2) jelez, az M2 munkahengerrel beüti a szegecset. Az ütéshez elegendő, hogy az M2 munkahenger tolatíyíja végállásig kimenjen, amit a külső végállás kapcsolója (2/2) jelez, és ennek hatására rögtön visszatérhet. Az üti (M2) munkahenger behúzott helyzetét a belső végállás kapcsoló (2/1) jelzi, és ez visszavezerli az első munkahenger tolatíyíját. A folyamatot a Start nyomógomb indítja a sajátológép alaphelyzetében, amit az első munkahengerek belső végállás kapcsolói (1/1, 2/1) jeleznek.
4. Kétkezes indítással menjen ki az M3 munkahenger. Az M3 külső helyzetében kezdjen villogni ($T = 2$ [sec.]) egy lámpa. A lámpa villogását egy nyugtázó gombbal leghessen megszüntetni. A 5 másodperccel a nyugtázó gomb megnyomása után térjen vissza az M3 munkahenger.
5. Egészítse ki a 4. feladatot úgy, hogy egy kapcsoló reteszeli a művelet-sor indítását, illetve működés közben alaphelyzetbe állítja a rendszert.
6. Egészítse ki a 4. feladatot úgy, hogy egy nyomógomb legyen szükséges az M3 munkahenger alaphelyzetbe állításához. Ez a nyomógomb csak az időzítés letelte után legyen hatásos.

4. PLC PROGRAMOZÁS TECHNIKÁJA

Ebben a fejezetben a PLC (Programmable Logic Controller) hardver és szoftver konfigurálása, és két szabványos nyelv megismerése a cél.

1. Elméleti ismeretek

A PLC (Programmable Logic Controller) azért vált a legelterjedtebb ipari vezérlő eszközzé, mert műszaki paramétereit, hálózatiba szervezésének módját, és a programozási nyelveit 1994 óta az IEC61131 nemzetközi szabvány definiálja. Az IEC 61131 szabványt a különböző programozási nyelvek, utasítások, készletek, és az eltérő automatizálási koncepciók általánosításának céljából hozták létre. A szabvány létrehozásának az oka, hogy a gyártónként egymástól eltérő változatos PLC koncepciók oktatása, illetve megértése túl nagy idő és energia ráfordítást igényeltek. Az IEC 61131 szabvány magába foglalja a standardizált programozási nyelveket, a PLC és a programozó rendszer közötti fizikai kapcsolatot, általános utasítás készletet, illetve az egyes projektek/programok kezelésének és strukturálásának módját, tehát a PLC hardver és a szoftver felépítést is tartalmazza.

Az IEC 61131-3 szabvány különféle ütemezési modelleket határoz meg, melyek eredménye eltérő taszk típusokban jelennek meg. Az alacsonyabb prioritású taszkok azonnal megszakításra kerülnek, ha egy magasabb prioritású taszk kerül meghívásra. A taszkok típusai:

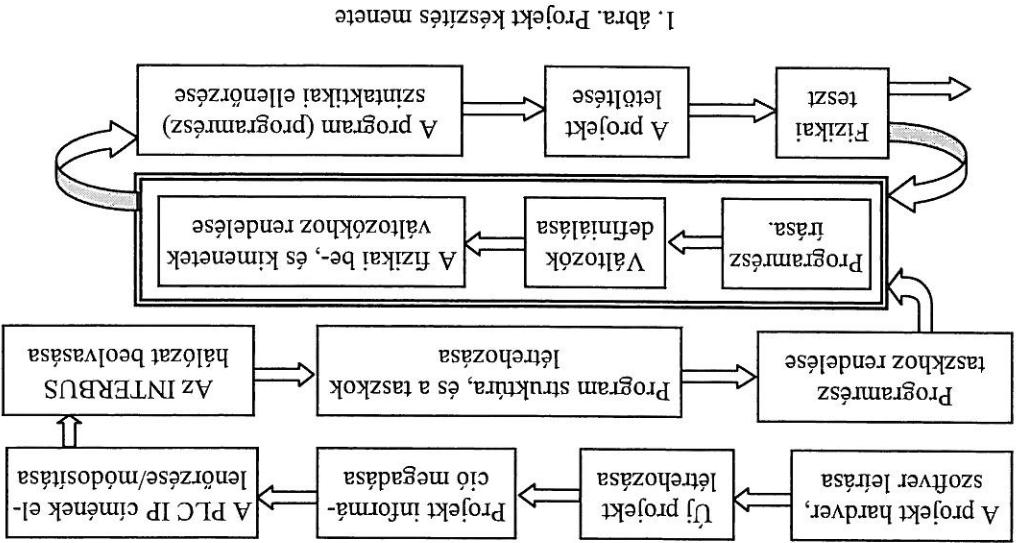
- Default task: Minden erőforrás (PLC CPU) egy default taszkot tartalmazhat. A default taszk prioritása a legalacsonyabb és nincs időbeli ütemezés. Ha nincs magasabb prioritású ciklikus, vagy más típusú taszk, akkor a default taszk automatikusan újra lefut, vagyis a default taszk folyamatosan újra és újra végrehajtodik, amíg nem kerül meghívásra egy magasabb prioritású taszk.
- Cyclic task: Előre megadott idő intervallumonként fut le, azaz a hozzárendelt program, fix periódus idő szerint, periodikusan kerül meghívásra.
- Event, vagy interrupt task: Eseményekhez, vagy megszakítás- okhoz rendelhető taszk típus. A hozzárendelt program egyszer fut le.
- System task: A PLC operációs rendszernek különleges állapotai (pl. tápkimaradás, rövidzár az egyik kimeneten) kerülhetnek meghívásra.

Az automatizálási feladatok megoldásához először az irányított berendezés, technológia felépítését és jelleget, valamint az irányítási célt kell megismerni. Az alábbi kérdésekre adott válasz alapján választható meg az irányító berendezés hardver és szoftver struktúrája.

- Melyik berendezés, gépcsoport kap önálló vezérlést?
- Hány és milyen típusú be-, és kimeneti jel szükséges az adott részegység vezérléséhez?

- Milyen adatkapcsolat van az egyes részegységek között?
- Milyen műveletekre (vezérlés, szabályozás, stb.) van szükség, és ezeknek mekkora az erőforrás (sebesség, memória) igénye?

Ezt követően készíthető el az irányítási projekt. Az irányítási projekt (konfiguráció és vezérlő program) készítésének lépéseit (PhoenixContact PLC alkalmazásakor) az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Projekt készítés menete

Az 1. ábra első két sora lényegében minden nagyteljesítményű, hálózatosba szervezhető PLC-t alkalmazó projektben hasonló.

A hardverstruktúra manuálisan is definiálható, ami akkor célszerű, ha a programíráshoz nem áll rendelkezésre a teljes hardverkiepítés.

A kettősvonalal határolt blokkok sorrendje felcserélhető. A programírást természetesen iteratív művelet.

A projekt készítés lépései a mintafeladat kapcsán lesznek részletesen bemutatva, és magyarázva.

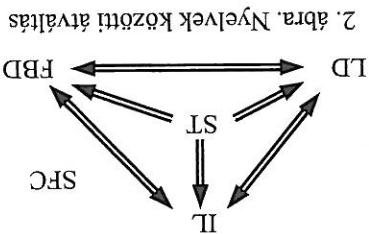
2. A projekt készítés menete

A mérésben alkalmazott PLC típusa: ILC150 ETH 01/200. A Phoenix Contact cég PLC családja teljes körűen alkalmazza az IEC61131 nemzetközi szabvány kínálta lehetőségeket.

- Az ILC150 ETH sorozatszámú PLC szoftveresen nagy teljesítményű PLC-ként viselkedik, vagyis a felhasználói program POU-kra (Process Organization Unit) bontható, és az egyes POU-k különböző taszkokban (default, cyclic, event, system) futtathatók.

- Mind az öt szabványos PLC nyelv-

ven (Instruction Line, Ladder Diagram, Function Block Diagram, Structural Text, Sequential Function Chart) programozható. Egy programon belül több programnyelv használható. A programnyelvek részben egymásba átforgathatók. (2. ábra)



2. ábra. Nyelvek közötti átválthatás

- A funkció blokkok és függvények száma nem korlátozott. (Csak a memória méret szab határt!) A programstruktúra (programok, funkció blokkok, függvények) az IEC61131-3 szabvány szerint.

Megjegyzés: A PC WORX5 fejlesztőszoftver demo verziójának telepítő CD-je a laboratóriumban elérhető.

- Az ILC150 ETH 01/200 PLC-hez, az adott feladathoz illeszkedő műszaki jellemzőű be-, és a kimeneti modulok tűzhető. A CPU, és a be-, és kimeneti modulok Interbus hálózaton keresztül kommunikálnak. Az Interbus hálózat rendkívül rugalmasan, és így költséghatékonyan alakítható ipari buszrendszer. A PLC modul mellől leágaztatható egy új hálózati ág, az Interbus hálózati ágról lenyitható elágazás, és az Interbus hálózat 2, 4, 8, 16, 32 I/O pontot tartalmazó modulokkal egyaránt bővíthető.

- A PLC Ethernet hálózatra tűzhető, és ezen keresztül programozható.

- Elosztott intelligenciájú irányító rendszer alakítható ki.

A labormérésben szereplő PLC hardver struktúráját (modulsorrendjét) az 1. táblázat tartalmazza. A PLC CPU és I/O moduljai sínré pattinthatók. A tűpusszámok a modulok oldalára vannak nyomtatva.

Megjegyzés: A Phoenix Contact cég PLC családja a kiemelkedően nagy flexibilitás a jellemző. További modulokkal, vagy leágazásokkal bármikor lehet bővíteni a hardvert. A modulok sorrendjét nem célszerű módosítani, mert modulsorrend csere esetén a szimbolikus változó nevek fizikai be-, és kimenetekhez rendeltetését is módosítani kell.

1. táblázat Hardver leírás

ILC 150 ETH 01/200	PLC CPU (inline controller)	8 DI, 4 DO (onboard)
IBS IL 24 RB-T-PAC	Inline Interbus (T leágazás)	
IB IL AO 1/U/SF-PAC	I/O (inline terminal)	1 AO
IB IL AI 2/SF-ME	I/O (inline terminal)	2 AI
IBS IL 24 BK-T/U-PAC	Inline Interbus (félegység)	
IBS IL 24 DO 8	I/O (inline terminal)	8 DO
IBS IL 24 DI 8	I/O (inline terminal)	8 DI

Megjegyzés: Az ILC150 ETH sorozatszámú PLC-k 8 DI be-, és 4 DO kimenete nem szokványos, hanem a belső változók között jelenik meg.

A projekt készítés menetét mintafeladaton keresztül célszerű bemutatni. A mintafeladatban a szoftverkonfiguráció kialakításának megértése, és két PLC programmylelv megismerése a cél. A mintafeladat szoftverkonfigurációjához és a programokhoz nem tartozik valós technológia. A program leírás normal esetben nemcsak szöveges, hanem grafikus is, és sokkal részletesebb, mert tartalmazza a hibás működés kezelését, a kezelői üzeneteket, stb. is. A mintafeladat programjait a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat Programok leírás

Main	A „kaps0” ES „kaps1” engedélyezi a „kese1” On-Delayed időzítőt. Az időzítő kimeneti jele a „led0” kimenetet vezérli (0-dik kimenet). Az időzítő késleltetése „idkes”=2 [s.]. A „kaps7” magas szintje gátolja meg, hogy a „led0” kimenet magas szintre kerülhessen.	Ha az „kaps2”, és „kaps3” álláskombinációja = 00, akkor 2 [V], ha = 01, akkor 4 [V], ha = 10, akkor 6 [V], ha = 11, akkor 8 [V] kerül az „inout” analóg kimenetre.	Szab	A pótméter „anin” 5 [V]-nál kisebb értékénél a „led3” kimenet billenjen magas szintre, és 7 [V]-nál nagyobb értékénél alacsonyba. A „kaps7” magas szintje gátolja meg, hogy a „led3” kimenet magas szintre kerülhessen.
------	--	--	------	---

Természetes, hogy ilyen egyszerű feladatokatnál ennyire bonyolult programszerkezet felesleges. Sok száz be-, és kimenettel rendelkező irányítási feladatok esetén a jól felépített program, és taszk struktúra hatékonyságát teszi az üzembbe helyezést és a hibaelhárítást, jelentős gazdasági előnnyel jár, hogy le-
rövidíti az üzembbe helyezési, és az állásidőt.

Az egyes résztechnológiákat mindenképpen javasolt önálló program-részszel lefedni, de mélyebb bontás is kívánatos, ha a résztechnológia sok változóval rendelkezik.
Jól megválasztott taszk rendszer esetén a PLC erőforrás kihasználása sokkal jobb.
A mintafeladat taszkneveit, valamint a programok taszkhoz rendelését a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat Szoftverstruktúra leírás

Programnév	Nyelv	Taszknév	Taszk típus
Main	FBD	STD TSK	Default
ProgM	ST	STD TSK	Default
Szab	ST	Szab	Cycle

Megjegyzés: Egy taszkhoz több program is tartozhat. A szoftverkonfiguráció az adott alkalmazástól függ. Minden taszknak különböző értékű prioritást célszerű adni, hogy egyértelmű legyen a programok feldolgozásának sorrendje. A taszkon belüli programmsorrend is definiálható.

Ezután célszerű végigigondolni a változó listát. Ha egy változót egyetlen program használ, akkor lokális (L), ha több program, akkor globális (G) változó. A változóknak, a magas szintű nyelvekhez hasonlóan, van típusa. A mintafeladat programjainak változóit a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat Változók leírása

Main		ProgM		Szab	
kapcs0	BOOL	L	kapcs2	BOOL	L
kapcs1	BOOL	L	kapcs3	BOOL	G
kapcs7	BOOL	G	kapcs7	BOOL	G
led0	BOOL	L	inout	INT	G
idkes	TIME	L			

Megjegyzés: Programírás közben bármikor definiálható új változó. Használható az általános célú programozási nyelvekhez (pl.: C „Programozás I. Programozás II.”) az általános típusok (BOOL, BYTE, WORD, DWORD, SINT, INT, DINT, USINT, UINT, UDINT, REAL, LREAL, TIME, DATE, stb.), mellett tömbök és egyéni típusok is definiálhatók.

2.1. Új projekt létrehozása

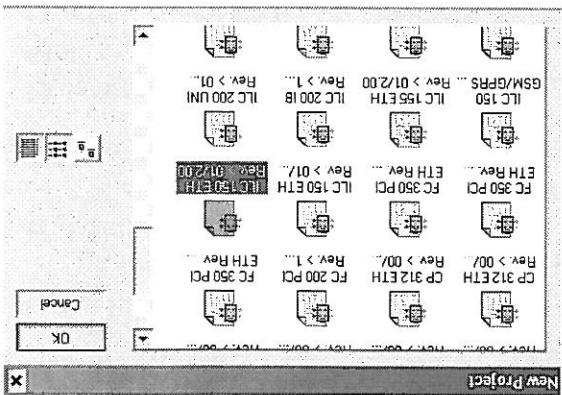
A PC WORKS indítása

után vagy a „New” ikonra kattintva, vagy a „File→New Project” útvonalon a 3. ábra látható párbeszéd-ablak jön fel. Ebből kell kiválasztani a PLC típusát.

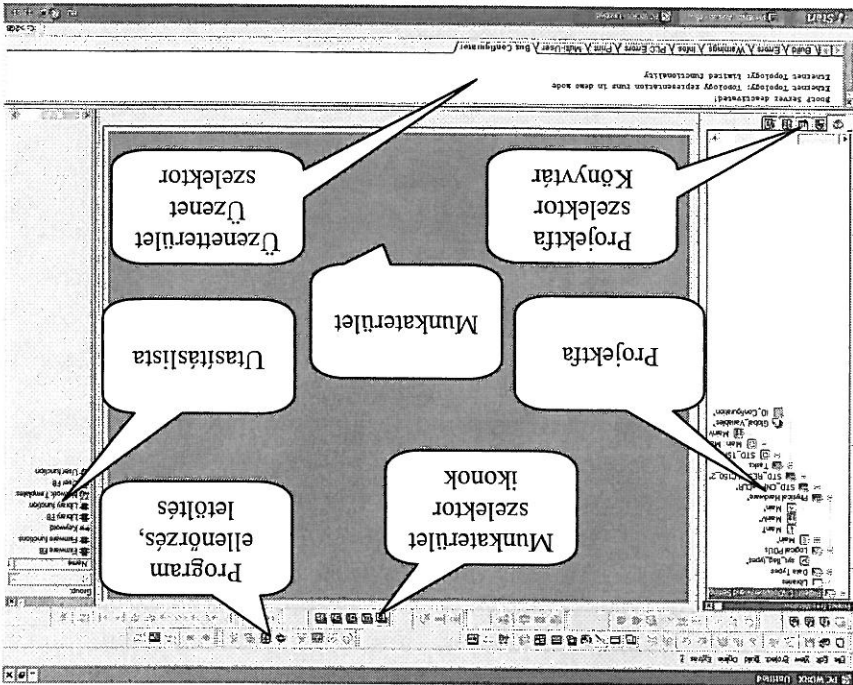
A mérésben az ILC 150 ETH típusú PLC-t, Rev > 01/200 firmware-rel használja.

Duplán klikkelve a kívá-

lasztott PLC-re a 4. ábrán látható programfejlesztő környezet jelenik meg a képernyőn.



3. ábra. A CPU kiválasztása

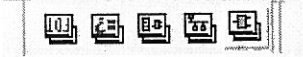


4. ábra. Induló képernyő

Megjegyzés: A Személyi számítógép és a PLC közötti legelső kapcsolat-felvétel előtt definiálni kell a TCP/IP protokollban a számítógép IP címét. A mérési elrendezésben ez már be van állítva!

Az új projektben automatikusan generálódik egy „Main” nevű logikai POU (Program Organization Unit – Programmszervezési Egység), és a PLC hardverben a PLC típus alatt egy „Main” nevű „Default” futású taszk. A 4. ábrán a munkaterület (worksheet) szűrke. Különböző munkafázisokban eltérő a megjelenése. Ezen a területen tud a programozó feladatot közölni a fejlesztő szoftverrel. A képernyő alján található az üzenetterület. Ezen a területen küld a fejlesztő rendszer üzeneteket a programozónak. Az üzeneteket tematikusan szelektálni lehet a könnyebb áttekinthetősége érdekében.

A munkaterület szelektor ikonok



balról jobbra:

- IEC programozás munkaterület (IEC programming ..)
- Buszkonfiguráló munkaterület (Bus configuring ..)
- Folyamata adatok hozzáférése munkaterület (Process Data ..)
- Projekt összehasonlító munkaterület (Project comparison ..)
- Idő menedzselés munkaterület (Data Time Manager DTM)

Programkészítés ikonok



balról jobbra:

- Munkaterület lefordítása (compile worksheet)
- On-line módosítás (Patch POU)
- Projekt lefordítása (Make)
- A fordítás leállítása (Stop compile)
- Debug mód be/ki kapcsolása (Debug on/off)
- Projektvezérlő párbeszédablak megjelenítése (Project Control Dialog)
- A változtatások letöltése (Download Changes)
- A letöltés megszakítása (Cancel Download)

A projektfa szelektor ikonok

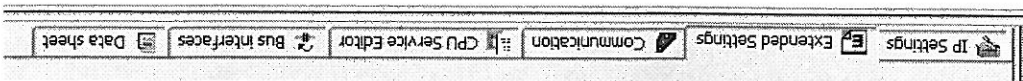


balról jobbra:

- A teljes projektfa (Project)
 - A programok (POUs)
 - Könyvtár (Libraries)
 - Hardver és a hardverben futó taszkok (Hardware)
 - Belső változók és példányok (Instances)
- A 4. ábrán látható könyvtárak, ebben az alakban, csak az új projekt generálásakor jelennek meg. IEC programozás közben az adott programozási nyelv parancsai (utasítás listái) láthatók. Az áttekinthetőség érdekében az utasítások különböző csoportosításban jeleníthetők meg.

2.2. Projekt információ megadása

A Buszkonfiguráló munkaterület ikonra kattintva, és a baloldalon megjelenő „Bus structure” ablak fájlban a PLC-t (ILC 150 ETH...) kiválasztva, a Buszkonfiguráló munkaterület alján megjelenő fülekkel (5. ábra) különböző parbeszédablakok jeleníthetők meg.



5. ábra. Paraméterek beállítás, és megtekintése

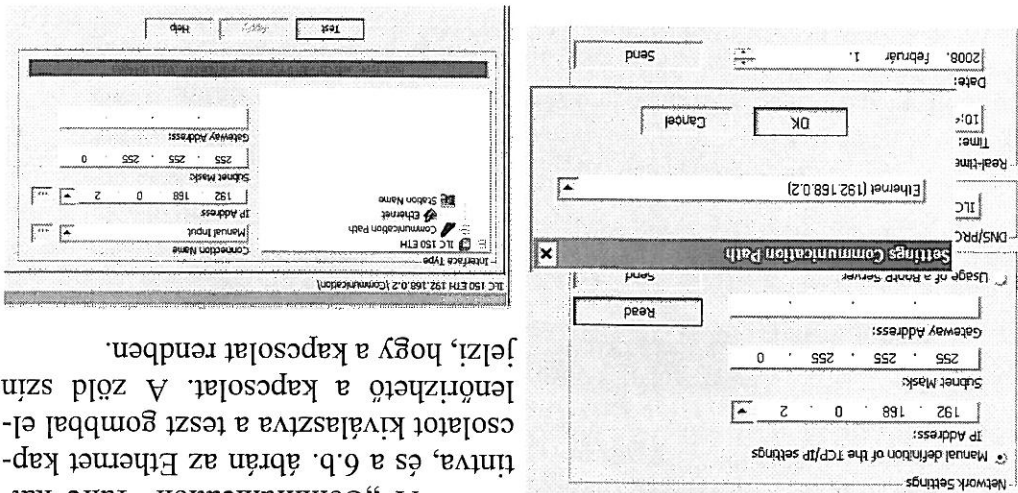
Az „IP Settings” füle, majd a fehértérű sorokba kattintva beírható szöveg, illetve átirható érték.

Fontos kérdés: A mérés folyamán, minthogy nincs valóságos projekt információ, ne írjon be semmit ezen a területen.

2.3. A PLC IP címének ellenőrzése, módosítása

Az utolsó adott IP címet (IP Address) a PLC megjegyezi. Így az „Extended Settings” parbeszéd ablakából (6. a. ábra) a „Read” gombbal beolvasható. Ezért elég ezt ellenőrizni, hogy megegyezik-e a mérésvezető által megadottal. Ha nem egyezik meg, akkor írja át a kívánt értékre.

A „Communication” füle kattintva, és a 6. b. ábrán az Ethernet kapcsolatot kiválasztva a teszt gombbal ellenőrizhető a kapcsolat. A zöld szín jelzi, hogy a kapcsolat rendben.



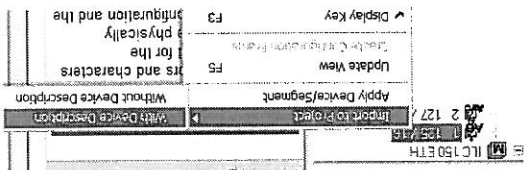
6. a. ábra. Az Ethernet IP cím ellenőrzése

6. b. ábra. Az Ethernet kapcsolat tesztelése

2.4. Az INTERBUS hálózat beolvasása.

Az INTERBUS hálózaton keresztül kell felüzni az I/O modulokat, ami a „View”→„Connected Bus” menüpont útvonalon elért 7.a. ábrán látható párbeszédablakkal tehető meg.

Megjegyzés: Ha a párbeszédablak megjelenésekor nem látja a buszstruktúrát, akkor a legördülő menüből kiválasztva a megfelelő PLC típusi rövid inicializálás után beolvassa a hálózatra fűzött modulokat.



7.b. ábra. A hálózati modul pontosítása



7.a. ábra. Az INTERBUS hálózat beolvasása

A 7.a. ábrán látható párbeszédablakban látszik az INTERBUS struktúra, mert „online” állapotban van. A hardverkonfiguráció manuális (offline) is elvégezhető, ami akkor hasznos, ha nem áll rendelkezésre fizikailag az összes modul, de a szoftvert már fejleszteni kell.

Az I/O modulból csak az ID code kerül beolvasásra, de egy modulnak sok egyéb jellemzője is van. Ahhoz, hogy a fizikailag csatolt modul legyen kiválasztva, az eger jobb klikkel a 7.b. ábra szerint „Import to Project” → „With Device Description” (vagy **Without Device Description**) menüpontokkal megjeleníthető listából kell megjelölni a tényleges – az 1. táblázatban megadott – I/O modult. Jövhagyva a megjelölt modult, a szoftver automatikusan tovább ugrik a következőkre és felkínálja az ahhoz tartozó modullistát.

Megjegyzés: A fizikai modulok oldalán olvasható a pontos modul kód-szám. Célszerű összehasonlítás előtt felírni ezeket. A laboratóriumi összehasonlítás listáját az 1. táblázat tartalmazza.

Amikor az összes modulnak a PLC-hez való rendelése megtörtént (a mérésben csak két modul van, de lehetne sokkal több is), akkor újra „offline” állapotba kell tenni a „Connected Bus” a párbeszédablakot (7.a. ábra), majd be kell zárni.

2.5. A programstruktúra és a taszkok létrehozása.

A PLC felhasználói program struktúrált. A struktúra egyége a POU (Program Organization Unit), ami lehet függvény (function), funkció blok (function block), vagy program (program).

A függvények (FUs vagy funkciók) olyan POU-k, melyek több bemeneti paraméterrel rendelkeznek, viszont csak egy kimeneti paraméterük lehet. Ha egy funkciót többször ugyanazokkal a bemeneti paraméterekkel hívjuk meg, mindig ugyanazt az eredményt fogja adni. A függvények visszatérési értéke egyszerűen változó lehet. Saját készítésű függvénynél, lehetőség van a függvényen belül másik függvény meghívására, viszont funkcióblokk és program meghívása nem lehetséges.

A funkcióblokkok (FBs) olyan POU-k, melyek több bemenettel, több kimenettel és saját memória területtel rendelkeznek. Azonos bemeneti paraméterekkel történő többszöri meghívás esetén a kimenetek értékei a funkcióblokk memóriájában lévő változók (azaz a funkcióblokk saját változóinak) aktuális értékeiül függenek. Egy funkcióblokkon belül lehetséges további funkcióblokkok, illetve függvények meghívása, de programoké nem.

A program típusú POU-k, a funkcióblokk és függvényhívások logikai kombinációit, és a szükséges vezérlési struktúrákat tartalmazzák. Működésük hasonló a funkcióblokkok működéséhez, van bemeneti, illetve kimeneti paraméterük és saját belső memóriájuk. A programokat taszkok hívják meg, melyeket előzőleg definiálni kell.

Az IEC 61133-3-al kapcsolatban gyakran említett fogalom a hivatkozás (instantiation). A hivatkozás azt jelenti, hogy az egyszerű objektumot (függvény, funkcióblokk) többször is fel lehet használni. Mivel a függvény bemeneti változóinak, és a funkcióblokk be-, és kimeneti változóinak saját memóriája van, az FU, FB minden egyes felhasználásakor, a PLC-nek különálló memória területet kell lefoglalnia. Ehhez szükség van egy névre, ami alapján a memória lefoglalása történik, ez a hivatkozás neve (instance name). Ezen kívül azonban semmilyen további feladatunk nincs, mivel az FU, FB meghívásakor, az automatikusan lefoglalja a memóriában a megkívánt mennyiségű területet. Az FU-ra, FB-re való többszöri hivatkozásoknál automatikusan kap sorszámot, ily módon megkülönböztethetők lesznek. Az FU-ra, FB-re való hivatkozásokat azon program vagy funkcióblokk változó listájában, amelyik meghívja, deklarálni kell.

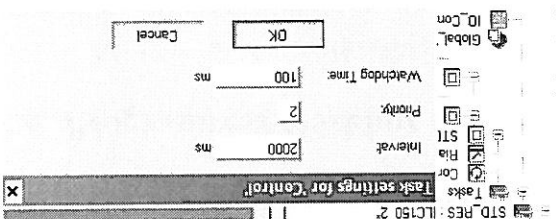
A fejlesztő rendszer automatikusan létrehozza a „Main*” nevű programkönyvtárat, valamint az STD_RESILC150_2 erőforrást.

A programkönyvtár tartalmazza az FBD nyelven írható programot („Main*”), a program változói számára a deklarációs táblázatot („MainV*”), és a program szöveges magyarázatára szolgáló („MainT”) fület. (8.a. ábra). Az erőforráshoz az STD_TSK nevű default task tartozik.

A fejlesztő rendszer automatikusan hozzárendeli (program instance) „Main” név alatt a „Main*” programot, és a „MainV*” változólistát a DEFAULT típusú STD_TSK nevű taskhoz. (8.b. ábra)



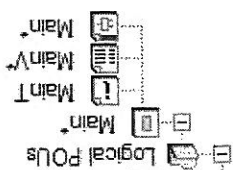
8.b. ábra



8.9. ábra. Clikkikus task létrehozása

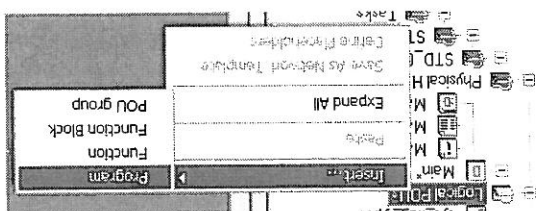
A programstruktúra (3. táblázat) igényel egy „Szab” nevű ciklikus taskot is. Új task létrehozásához a „Physical Hardware” fág alatt, akár a STD_RES: ILC150_2, akár a „Tasks” fület kell először kiválasztani (8.b. ábra), majd jobb egérral.

8.a. ábra



Ezután az „Insert” → „Task” legördülő menüből feljövő ablakban kell megadni a task nevet (a mintapéldában ez a „Szab”). Az „OK” gomb hatására megjelenik a 9. ábra. Itt lehet beállítani, hogy milyen időközönként fusson le a task (interval), a fontosságot (Priority), és hogy legfeljebb mennyi ideig tarthat a task futtatása (Watchdog Time).

A létrehozott „Szab” nevű task megjelenik a „Physical Hardware” fágban. Természetesen program még nincs hozzárendelve. Új program létrehozásához a „Logical POU” fület kell kiválasztani (10.a. ábra), majd jobb egérral.



10.a. ábra. Új program létrehozása

Az „Insert” → „Program” legördülő menüből megjeleníthető a 10.b. ábrán látható parbeszedablak.

A parbeszedablakban megválasztható a program nyelve, valamint válnak funkciók (function), vagy funkcióblokk (Function Block) írássá. *Megjegyzések:*

• Lehet választani a program, a fűgvény, és a funkció blokk irása között.

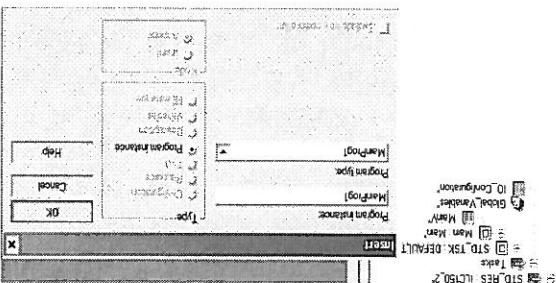
• Mind az öt szabványos programnyelv, valamint az FFLD választásához, a 2. ábra szabálya szerint, utólag is lehet váltani.

Rendszerátvitel az alkalmazás esetén lehet fontos a PLC és a CPU típusa.

2.6. Programrésztáskához rendelése.

Miután a 3. táblázatban megadott programstruktúrát létrehoztuk, a programokat a tászkokhoz kell rendelni. A „Main” program alapból a default STD_TSK taszkhoz rendelt. A „ProgM”-et szintén a STD_TSK taszkhoz kell rendelni, és a „Szab” programot a ciklikus lefutási Szab taszkhoz.

11. ábra. Program hozzáférése táskához



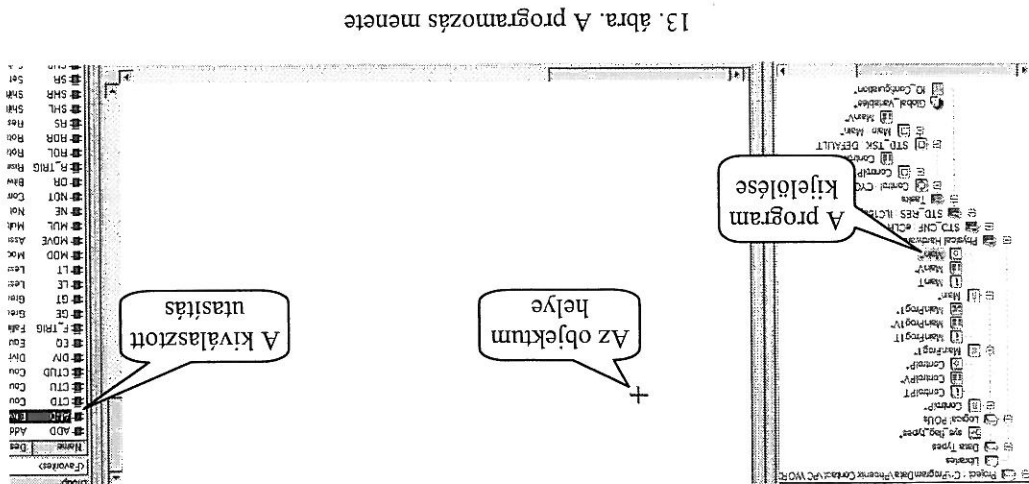
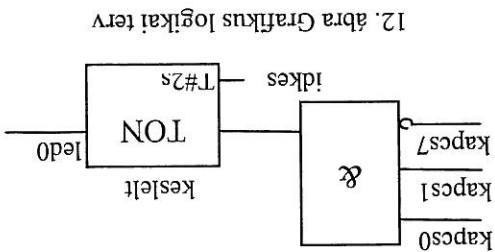
Program taszkhoz rendeléséhez először a taszkat kell kiválasztani, majd jobb egérral kattintani a legördülő menüből az „Insert” → „Program instance” menüpontot választva megjelenik a 11. ábrán látható párbeszédablak. A 11. ábra párbeszédablakában a „Program type” legördülő menüjében ott vannak a választható programok. A „Program instance” mezőt is ki kell tölteni. Nagyrendszerekben ezzel csoportosíthatjuk a taszkhoz rendelt programokat.

Megjegyzés: Ne az ábrát másoljátok! Szándékosan más név van megadva!

2.7.a. A Main programrész írása.

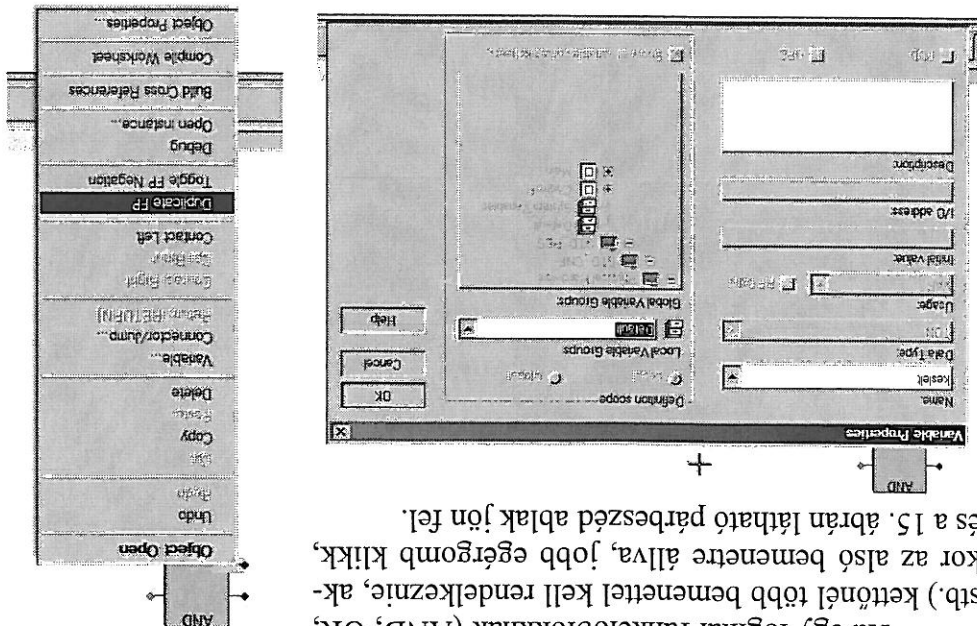
Kezdjük a programírást a „Main” programmal. A programrész írását megelőzően célszerű szöveges, és grafikus (12. ábra) logikai tervet készíteni.

Ez esetben a késleltetve meghúzó (on-delayed→TON típus) időzítőt a „kaps0”ES”kaps1” ES”kaps7” engedélyezi. Az időzítő kimenete vezérli a „led0” kimenetet. Az időzítő neve (instance name) „kese1”.



A munkaterület szelektorról az „IBC Programozás”-t kiválasztva, majd egérklikkkel kijelölve a programozni kívánt részprogramot (13. ábrán ez a Main) a képernyő jobb szélén feltűnik az utasításkészlet. A munkaterületre a bal egérklikkkel keresztet kell helyezni arra a pontra, ahova a grafikus objektumot kívánja elhelyezni. Az utasítás grafikus objektuma a képernyő jobb oldalán levő utasításlistaból választható ki. (13. ábrán az AND utasítás ez), és dupla bal egérklikkkel kerül az objektum a kereszt helyére. Ezt követően bal egérklikkkel keresztet a munkaterület azon pontjára, ahova az időzítőt akarja elhelyezni, majd a képernyő jobb oldalán levő utasításlista kiválasztható a TON funkció blokk, amire ha kettőt klikkkel a 14. ábrán látható párbeszédablak tűnik fel. Itt csak az azonosító nevét (instance name, ami a példában a „kese1”) kell megadni.

Ha egy logikai funkcióblokknak (AND, OR, stb.) kettőnél több bemenettel kell rendelkeznie, akkor az alsó bemenetre állva, jobb egérgomb klikk, és a 15. ábrán látható párbeszéd ablak jön fel.



14. ábra

15. ábra

A 15. ábrán látható párbeszédablakban lehet a logikai funkcióblokkok bemenet számát növelni „Duplicate FP”, valamint valamely bemenetet negálni „Toggle FP Negation” fülekkel lehet.

2.8a. A változók definiálása

A program változóinak megadására több lehetőség van. Ilyen kisméretű program esetén a legkényelmesebb, ha a program írasa közben adjuk meg, hogy a változó melyik változó csoportban szerepeljen.

A változó megadásához ki kell jelölni a grafikus objektum megfelelő bemenetét. A kijelölt bemenet objektumon kívüli pontján jobb egérral kattintva feljön a 15. ábra legördülő menüje, amiből az „Object Open” menüpontot kell megnyitni. Ezután válik láthatóvá a 16. ábrákon látható párbeszédablak. A párbeszédablak kitöltése:

- A „Physical hardware” fasztruktúrájában ki kell jelölni, hogy a program melyik változó csoportjába kerüljön a változó.

Megjegyzés: A 16.a. ábrán ez a „Main” program „Default” változó csoportja, mert az „Idkes” változót csak ez a program használja. A 8.16.b. ábrán

rán ez a PLC Globális „Default” változó csoportja, mert az „onboard” be-
meneti és kimeneti regiszterek közvetlenül elérhetők a PLC-ben futó összes
program számára. Az „onboard” be-, és kimeneti változók nincsenek jelfűzve
az INTERBUS hálózatra. Ez elter az általános struktúráról. Emiatt az
„onboard” be-, és kimeneti változók a rendszerváltozók között találhatók meg.

- A „Name” mezőbe a változó szimbolikus nevét kell megadni.

Megjegyzés: A 16. b. ábrán a kapcsoló, s.b. helyett hagyja meg a legördülő menüből (ONBOARD_INPUT_BIT0, s.b.) felkínált neveket. A név átirtható, de akkor meg kell adni a fizikai memória címet, és ez kezdőprogramozónak nem javasolt.

- Az „Initial value” a változó kezdeti értékét adja meg. Ha üresen marad, akkor az alapértelmezés a nulla.

Megjegyzés: A TIME változóknak, és a konstansoknak kell értéket adni. (pl.: T#2s, T#200ms, illetve INT#10#123. Az utóbbi helyett írható simdan 123 is.

(LREAL#2,54E-7, s.b.)

Ha a VAR_GLOBAL

típust választja a „Usage” legördülő menüből, akkor változó a többi program számára is elérhető lesz.

A „PDD”, „OPC” rá-

diógombokat csak akkor kell kipipálni, ha a változó aktuális értékeit más, például megjel-

lítő, szoftver is használja.

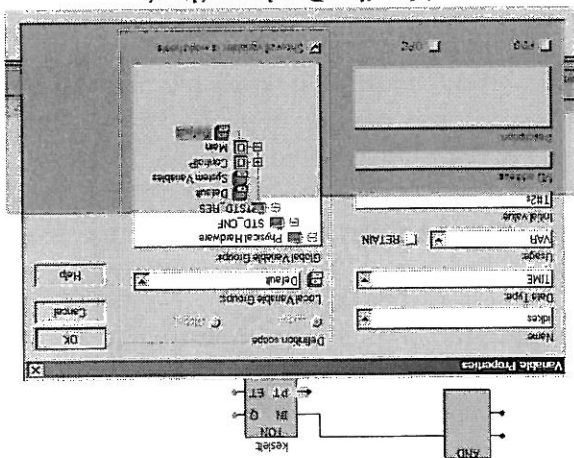
Az „I/O Address” me-

zöt nem itt célszerű kitölteni,

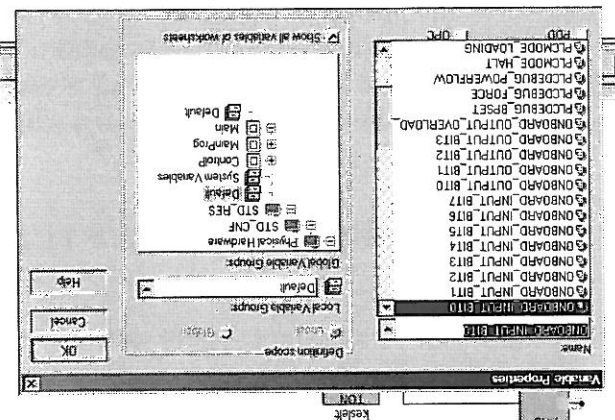
hanem a be-, kimenet hozzá-

rendelés nézetben.

16. a. ábra Rendszerváltozó



16. b. ábra Belső változó megadása



Az összehuzalozás technikája: Ki



kell jelölni a huzalozó ikont. Rá kell állni a grafikus objektum kimenetére. A bal egérklikkkel a kimenet kijelölése, majd az egérmutatónak a kívánt be-
menetre való mozgatása (17. ábra).

A csatlakozás egy újabb bal egérklikkkel valósítható meg. A huzalon törszponatokat egy egérklikkkel tehet le. Elágazáshoz vonalról indíthatja az új huzalt. Az objektumok lenyomott egérgombbal mozgathatók a munkaterületen.

2.9.a. Fizikai be-, és kimenetek hozzárendelése változókhoz

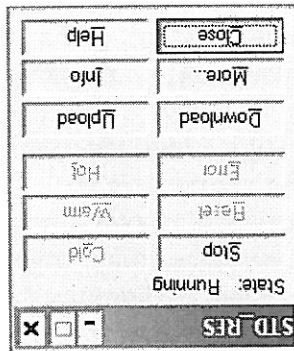
Erre most nincs szükség, mert a „Main” programban csupa „onboard” fizikai be-, és kimeneti változó van. Ezért erre a funkcióra a „ProgM” programrész írásakor a 4.10.B. fejezetben térünk vissza.

2.10.a. Programrész szintaktikai ellenőrzése

A mérésben lehet, a teljes projekt lefordítására szolgáló „Make” ikont használni. Ha a fordítás sikeres, akkor az üzenet sorban „0 errors, x warnings”, vagyis 0 hiba, x figyelmeztetés jelenik meg.
Ha van hiba, akkor az „Errors” fülre kattintva (4. ábra) az üzenet ablakban egymás alatt, egy soros magyarázattal, megjelennek a hibáüzenetek. A hibáüzenetre duplán kattintva a hiba sora ugrik a program.

2.11.a. Program letöltése

Az „Online” → „Project Control.” legördülő menüből, vagy a „Project Control Dialog” ikonnal feljön a 18. ábra. Ezzel a párbeszéd ablakkal lehet a PLC CPU-ban futó programot leállítani (Stop), illetve mikor nem fut a program vagy hidegen (Cold), vagy melegen (Warm) indítani. Továbbá letölteni (Download), beolvasni (Upload), stb. A letöltéskor (Download) a fejlesztő rendszer rákérdez, hogy végrehajtsa-e? (... Proceed Download?). Ezt jóváhagyva jelzi, hogy a programfutása leáll a letöltés alatt, és rákérdez, hogy folytassa-e? (The PLC has stopped for download. Continue?).

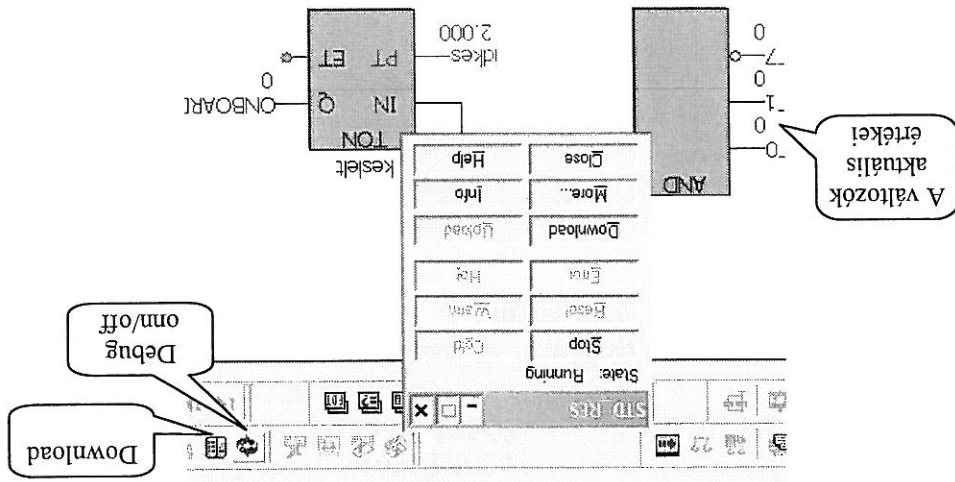


18. a. ábra Program letöltés.

Jóváhagyva, a fejlesztő rendszer leállítja a PLC-ben a program futását, és letölti a programot. Ne felejtse a program futását újraindítani!

A „Debug on/off” ikonmal (18. b. ábra), vagy az „Online” → „Debug” legördülő menüből bekapcsolható a futás közbeni programváltozó figyelés.

Megjegyzés: Nagyobb méretű program esetén ez a változó figyelési módszer nem kényelmes. A „Debug on/off” bekapcsolt állapotnál mód van „Watch window” szerkesztésére, amely lehetővé teszi, hogy csak a kívánt változókat lássuk, és a változás sorrendfigyelést is.



18. b. ábra. Programfutas közbeni ellenőrzés.

2.7.b. A ProgM programrész írása

A 19. ábrán a 2. táblázatban szövegesen megadott feladat grafikus logikai terve látható. A feladat „case of”, illetve „if” utasításokkal megvalósítható szekvencia! Ilyet a PLC programozási nyelvek közül csak az ST tud.

Megjegyzés: Ha eltávolította a programozási nyelvet, akkor törölje a programot, és definiálja újra!

A „ProgM” programot a „Logical POU” alól kiválasztva a munkaterület (20. ábra) ST nyelven programozható.

A „Keywords” (20. ábra) mutatja a programkönyvtárban a magas szintű utasításokat. Természetesen a függvények, és a funkcióblokkok is használhatók.

A szintaktikát úgy a legegyszerűbb

megismerni, hogy a kívánt utasításra dup-

lán kattunk. Ekkor a munkaterületen, a

változókat (*kommentár*) magyarázó

szöveggel helyettesítve, szintaktikailag

helyesen megjelenik az utasítás.

Figyelem! Az ILC PLC család ana-

log kimenete 15 bites konverter. Ennek

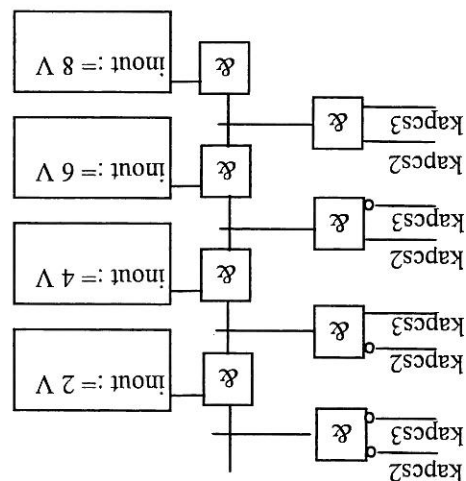
megfelelően a 0-32767 bit $\rightarrow$ 0-10 [V],

és így kerekítve a 2 [V] 6553 (16#1999), a

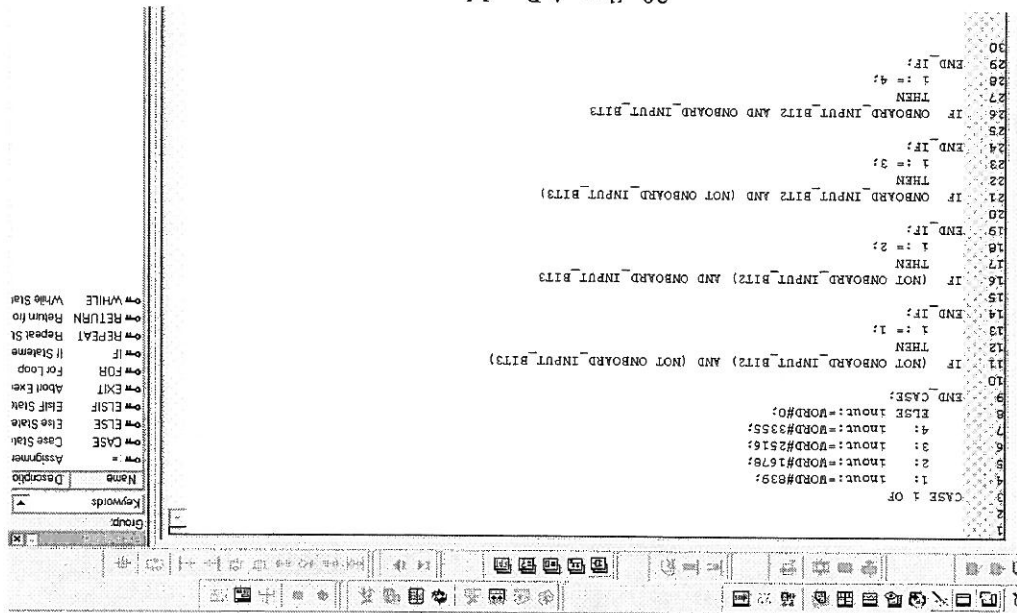
4 [V] 13107 (16#3332), a 6 [V] 19660

(16#4CCC), a 8 [V] 26136 (16#6665).

A konstans értékek megadásának szintaktikája a 24. ábrán látható. A decimális számot nem kell jelezni. A bináris szám 2#, az oktális szám 8#, a hexa szám 16# előtagot kap.



19. ábra. Grafikus logikai terv



20. ábra. A ProgM program

Megjegyzés: Óvatosan az ábra mechanikus másolásával!

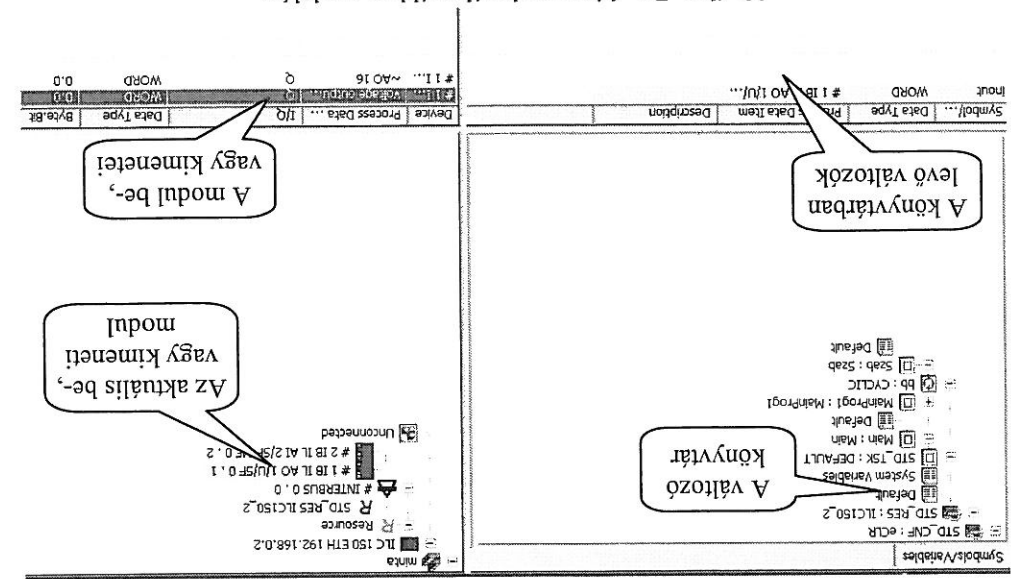
2.8.b. Változók definiálása

Az „inout” analóg kimeneti változót a 21. ábrán látható módon kell definiálni. Azon változókat, amelyek fizikai be, illetve kimenethez kívánunk rendelni célszerű a PLC „Default” könyvtár változói közé helyezni, és emiatt VAR_GLOBAL felhasználasúvá tenni.

lis változása legyen az „inout”, de ez
ebben az esetben bonyolultabb.

2.9.b. Fizikai be-, és kimenetek hozzárendelése változókhoz

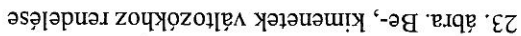
A „Process Data Workspace” ikonnal vált a fejlesztő rendszer a folyamatátvaltozók be-, és kimenetéhez rendelésére szolgáló munkaterületre.



22. ábra. Be-, kimenetek változókhoz rendeltése

...jelölve a modult (az ábrán IB IL AO..), az ábra jobb alsó sarkában a modul be-

és vagy kimenteti jellemnek meg.



lölve a változót, majd a

re állva jobb egyétkikik,

“Connect,”

hozza, vagy megszünte-

how a kivan be- vav

immortale

mezőjebe.

mezőre.

Megjegyzés: A munkatervüleire választás előtt a projektában a PLC-re kell állni, mert különben üres lehet bal felső mező.

Az aktuális kapcsolóállás-
nak megfelelő érték

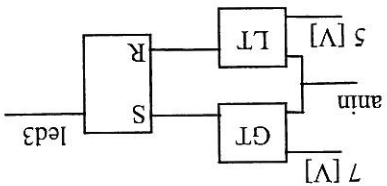
Elter's Formátumban
adatbevitel

2.10.b. Program szintaktikai ellenőrzése, letöltése, tesztelése

Lehetőség van rá, hogy csak az adott programrészt szintaktikai ellenőrzést végezzük el a „**Built**” → „**Compile Worksheet**” menü útvonalon, vagy a „**Compile**” ikonnal. Ez nagy terjedelmű programoknál időtakarékos. Használja a teljes projekt lefordítására szolgáló „**Make**” ikont. Az ismétlődően történő töltés le a programot. Kapcsolja be a „**Debug on/off**” ikont (24. ábra), és tesztelje a programot.

2.7.c.-2.8.c. A Szab programrészt írása, és változók definiálása

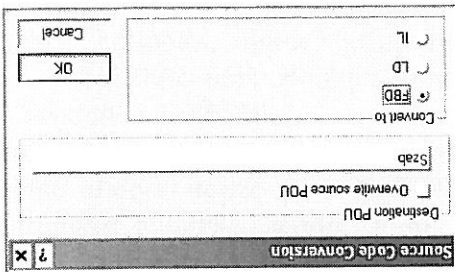
A 25. ábrán a 2. táblázat Szab programjának grafikus logikai terve látható. A technológiai igény dönti el, hogy az RS flip-flopban a Reset vagy a Set parancs legyen a domináns. A mérés mintaprogramjában a domináns Reset flip-flopot használjuk. A 25. ábra nagyon hasonlít az FBD programozáshoz.



25. ábra. A Szab program

Az FBD nyelven írt programozásról már volt szó. A programot azonban ST nyelven definiáltuk. Kijelölve a programot, jobb egérgéppel, és a legördülő menüből a „**Sources Conversion**” útvonalon feljövő párbeszéd ablakkal (26. ábra) változtatható meg a programnyelv váltása. A program automatikusan a „SzabSC” programnevet kínálja fel. Ha ragaszkodik a „Szab” névhez, akkor a régi programot „Szab_1” néven menti.

A felesleges programot törölni kell. Programtörölkész nem lehet nyitva a „**Project Control Dialog**”. A programban az „amin” változót mindkét (GT, LT) funkcióblokk bemenetén célszerű definiálni. Az analóg bemenet intelligens, vagyis többféleképp konfigurálható. Alapértelmezésben 0 – 10 [V]-os.



26. ábra. Programnyelv váltás

Az analóg bemenet a feszültségstartományt 15 bites (0 – 32767 bit) számítartományra alakítja át. A mérésben az első bemeneti csatornához pótmé-

Megjegyzés: A mérési faladatok között nem lesz programnyelv választás. Ennek bemutítása a mintapéldában csak a PLC jobb megismerését szolgálta.

2.9.c. Fizikai be-, és kimenetek hozzáférése változókhoz

A változó kiválasztása

Számos konfigurációs paraméter

Számos konfigurációs paraméter

Szamos konfigurációs paraméter

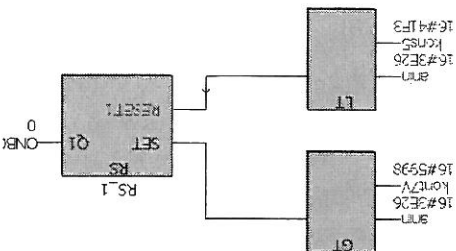
27. ábra. Az analóg bemenet változóhoz rendelt

Megjegyzés: Az „AI 1” és az „AI 2” bemenetek áramot és feszültséget is képesek fogadni, és a konfiguráló regiszterekkel (pl.: „Control Word”, „Channel filter...”, „Chanel measuring range...”) számos paraméter beállítható, amit a mérés terjedelme miatt nem tárgyalunk.

2.10.c. Program szintaktikai ellenőrzése, letöltése, tesztelése

Használja a teljes projekt lefordítására szolgáló „**Make**” ikont. Az ismert módon töltse le a programot, kapcsolja be a „**Debug on/off**” ikont és tesztelje a programot. Figyelje meg, hogyan gyorsan tekeri a pótmétert, akkor a 2 [s] mintavétel miatt a kapcsolás nem a beírt értéknél történik meg.

28. ábra. Szab FBD programja



5. VEZÉRLÉS PLC-VEL

A PLC hardverkonfigurálást, és egy szerű programok készítését, tesztelését „A PLC programozás technikája” című fejezet mutatta be.

1. Vezérlési algoritmusok

A vezérlési algoritmusok két főcsoportja a feltételelvezérlés, és a sorrendi vezérlés. Nagyobb technológiák esetén miniket algoritmus típus előfordulhat. Ezeket célszerű külön programban, esetleg külön taszkban elhelyezni. A vezérlési algoritmus készítés menetét egy mintafeladatokon keresztül lehet legjobban megérteni.

1.1 Feltételelvezérlés algoritmus készítésének menete.

Mintafeladat: Ha egy 5/2-es unistabil vezérlésű pneumatikus munkahenger behúzott helyzetben van, és nincs hiba, akkor a „start” jel hatására ki megy. A véghezlyeztetet elerve azonnal visszajön. A munkahenger nem indítható 10 másodpercen belül kétszer. A feladatban a bemenetek: N1 „start” jel, H0 a behúzott helyzet érzéklője, H1 a végállás érzéklője, E1 „hiba” jel. A feladatban a kimenet EP. Szükség van egy belső változóra S0, amit a start” jel bebillent, és az időzítő T1 törl. Akár ütem-, és/vagy út-lépésvizsgálat (2. mérés), akár a szöveges leírás értelmezésével felírhatók a logikai függvények. A feladat logikai függvényeit a 1. táblázat tartalmazza.

A PLC-kben egy taszkhoz tartozó programok bemeneti adatainak beolvastása, illetve kitérása egy ütemben történik, vagyis az értékek nem függ a feladatok sorrendjétől. Ezért a logikai függvények általában tetszőleges sorrendben leprogramozhatók.

1. táblázat Logikai függvények		
Eszköz	S0	EP
RESET	T1	H1
SFT	N1•BR•S0	H0•S0

Emlíkeztető: Az S-R tekercek együttes gerjesztése esetén, ha az S tekeres programorra kerül később végrehajtásra, akkor dominánsan meghúzó, ha az R tekeres programorra, akkor dominánsan elengedő jellegű a tartó relé.

1.2. Sorrendi vezérlés algoritmus készítésének menete

Számos olyan feladat van, amikor a vezérelt berendezés állapotai kötött sorrendben követik egymást.

Legyen a feladat a következő: A „Start” nyomógomb hatására gyullad-
jon ki a kezdő lámpa, majd 5 [s] elteltével aludjon ki, és 2 [s] periódus idővel
kezdjen villogni a második lámpa. A „Stop” nyomógomb hatására maradjon
abba a villogás, és 3 [s] időtartamra gyulladjon ki a harmadik lámpa, majd ke-
rüljön alaphelyzetbe a rendszer, és várja a Start jelet. A „Hiba” jelzés hatására
kigyullad a hibalámpa, és a többi elalszik. A hibalámpát akkor törli a nyugtázo
gomb, ha a bemeneten megszűnik a hibajel, és alaphelyzetbe kerül a rendszer.
A „Start” nyomógomb hatására indul a ciklus előlről.

A feladat a kapcsolósort, és a lámpasort használja. A modell fixen huza-
lozott. A be-, és a kimeneti változók a 2. táblázatban vannak felsorolva.

2. táblázat A mintafeladat I/O kiosztása

Bemenetek és hardvercímük		Kimenetek és hardvercímük	
start	ONBOARD_INPUT_BIT0	kezdőlámpa	ONBOARD_OUTPUT_BIT0
stop	ONBOARD_INPUT_BIT1	villogólámpa	ONBOARD_OUTPUT_BIT1
nyugtázo	ONBOARD_INPUT_BIT2	hibalámpa	ONBOARD_OUTPUT_BIT2
hiba	ONBOARD_INPUT_BIT7	vegsőlámpa	ONBOARD_OUTPUT_BIT3

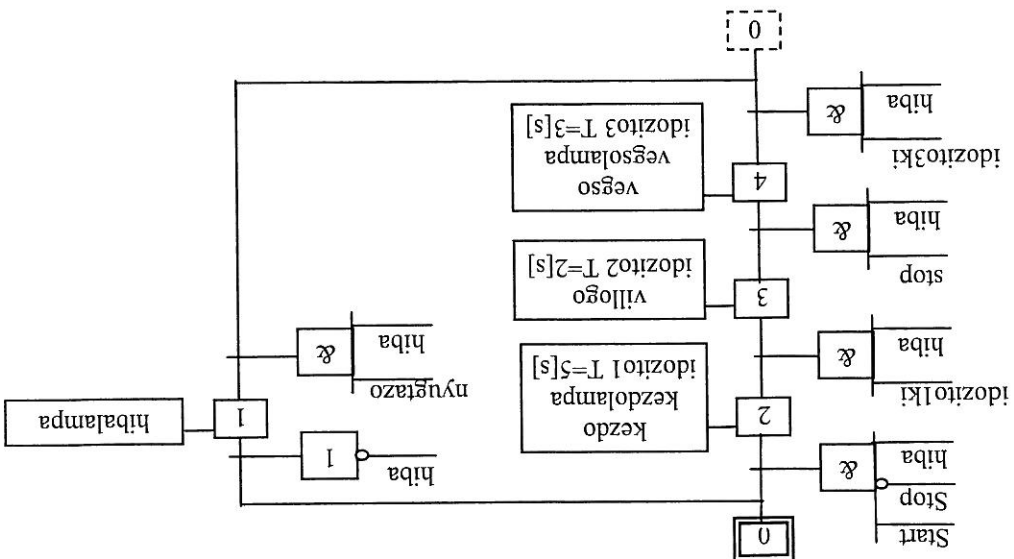
A bemeneti változók közül a „start”, „stop”, „nyugtázo” alaphelyzetben nyitott (záró) kontaktusként legyen értelmezve. Az ipari gyakorlatnak megfele-
lően, hogy a vezetékszakadást is hibaként értelmezze, a „hiba” bemenet, alap-
helyzetben zárt (bontó) kontaktusként legyen értelmezve.

Megjegyzés: A bemenet kapcsoló vagy nyomógomb, illetve záró, vagy
bontó jellege befolyásolja a logikai függvényeket! A bontó érintkező alaphely-
zetben logikai „1”.

A hibalekezelést minél sürűben célszertü elvégezni. A mintafeladat kis
program, ezért felesleges eseményvezérelt (event) taszkit alkalmazni, a ciklikus
működésű (default) taszk is megfelelő.

A (default) taszkban a felhasználói program feldolgozása ciklikus, és
„Ha a logikai feltétel teljesül, akkor végrehajtódik a művelet” típusú szekven-
ciákat tartalmaz. Ezt fejezi ki a 1. ábrán látható sorrendi működési diagram.

Megjegyzés: Az 1. ábrán látható ábrázolásból csak nagy előnye, hogy
egymásba ágyazható objektumokat tartalmazhat, ami nagyon jól illeszkedik a
PLC felhasználói programok struktúráltságához.



1. ábra. A sorrendet kezelő rész

Az időzítők olyan szubrutinok, amelyek használják a rendszeróra időalapját. Bár nem kötelező, a gyakorlati tapasztalat az, hogy ciklikus működésű taszkban célszerű meghívni őket. Ezért a feladatot bontsuk fel sorrendet kezelő,

és időzítőket kezelő (2. ábra) részekre.

A késleltetésekhez, és a villogtatáshoz legalább három időzítőre (idozito1, idozito2, idozito3) van szükség.

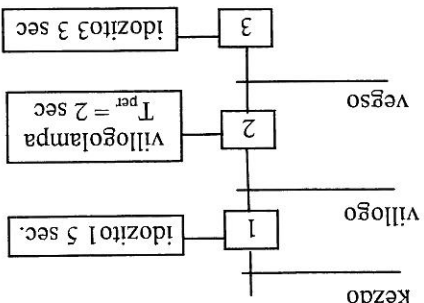
Hasznos a normál üzemi állapotok

kat állapotbittel (alap, hiba, kezdó, villogo, vegso) megkülönböztetni. Az állapotbittet alkalmazása lehetővé teszi, hogy a felhasználói program jól áttekinthető, jól tesztelhető legyen. Továbbá mindig csak az adott állapothoz tartozó programrész fut le,

ezért nem terheli le a CPU erőforrását.

A vezérlő program sorrendet kezelő része (1. ábra) nemcsak SFC nyelven, hanem az ST, IL, LD, FBD programozási nyelveken is leprogramozható. Ekkor, minthogy bekapcsoláskor a „kezdó”, „villogo”, „vegso” állapotbittet értéke nulla, bekapcsoláskor az „alap” állapot magas értékű, a másik három állapotbittet együttesen nulla értéke definiálja. Az utóbbi programozási nyelvekben az állapotbittet kezelését a felhasználónak kell megírnia.

2. ábra. Az időzítőket kezelő rész



2. A vezérlőprogram

2.1. A vezérlőprogram írásának előkészítése

A 4. fejezetben leírásra került az új projekt létrehozása, a PLC IP címének megadása, az Interbus hálózaton keresztül a hardver struktúra beolvasása.

3. táblázat A PLC modulsorrendje

ILC 150 ETH 01/200	PLC CPU (inline controller)	8 DI, 4 DO (onboard)
IBS IL 24 RB-T-PAC	Inline Interbus (T leágazás)	
IB IL AO 1/U/SF-PAC	I/O (inline terminal)	1 AO
IB IL AI 2/SF-ME	I/O (inline terminal)	2 AI
IBS IL 24 BK-T/U-PAC	Inline Interbus (fejeység)	
IBS IL 24 DO 8	I/O (inline terminal)	8 DO
IBS IL 24 DI 8	I/O (inline terminal)	8 DI

2.2. A szoftver struktúra kialakítása

Jól strukturált program az állapotbitek kezelését, és az egyes állapotokhoz tartozó programrészeket elkülöníti. A sorrendet kezelő programrészt célszerű SFC nyelven írni, mert akkor az 1. ábrához hasonló a program megjelenése. Mivel a projekt létrehozásakor a projekt fájlban előre megjelenik egy „Main” nevű, funkcióblokk diagramos (FBD) nyelven programozható program, célszerű ezt felhasználni az időzítések lekezelésére.

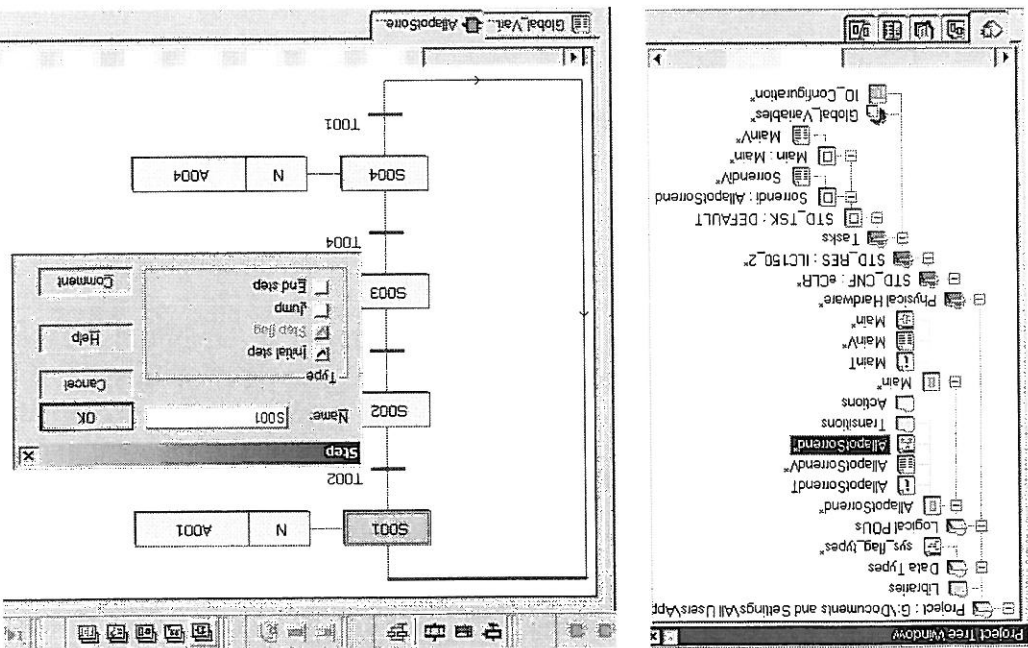
3. táblázat Szoftverstruktúra leírás

Programnév	Nyelv	Taszknév	Taszk típus
Main	FBD	STD_TSK	Default
AllapotSorozat	SFC	STD_TSK	Default

Megjegyzés: Ilyen kis program esetén elég mesterséges a szétválasztás és az SFC nyelv alkalmazása, de minél nagyobb terjedelmű a felhasznált program, annál fontosabb a jól strukturált felhasznált program.
A 4. fejezetben került leírásra hogyan kell újabb programrészt létrehozni, és programot taszkhoz, változót be-, vagy kimenethez rendelni.

2.3. Az SFC nyelven történő programozás technikája

Ha az „AllapotSorozat” programrészt SFC programnyelven programozza, akkor kijelölhető, hogy bekapcsoláskor melyik állapot állapot (3.b. ábra), és jóval egyszerűbb az állapotváltások definiálása.



3.a. ábra. Projektfájl

Kijelölve az „AllapotSorozat*” programot (3.a. ábra), és a munkaterületen elhelyezve a jelölő keresztet, a munkaterület felett aktívva válik egy ikon sor, amelynek jelentése balról jobbra:



ikon az összetartozó „Lépés”, „Átmenet”, „Művelet” (Step, Transition, Action) objektumok beszüntése a jelölő keresztre, vagy a kijelölt objektum alatt.

Megjegyzés: A „Lépés” a vezérelt berendezés valamely állapota, az „Átmenet” az állapotok közötti váltás logikai feltétele, a „Művelet” olyan akció, amit az adott állapotban kell végrehajtani. Egy „Lépés” akkor válik aktív, ha az előtte levő „Átmenet” logikai állítása igaz, és az „Átmenet” megelőző „Lépés” aktív. Amikor egy „Lépés” aktív, akkor az előzőleg aktív „Lépés” automatikusan passzív, vagyis

• ikon a kijelölt „Lépés”-hez tartozó „Műveletek” számát növeli.
 Megjegyzés: A „Műveletek” mindig „Lépés”-hez tartoznak.



• ikon „ÉS” típusú elágazást szűr be az ábrába.



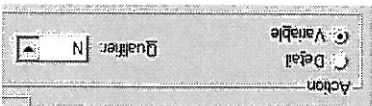
Megjegyzés: Az elágazás minden ágán aktiválódik „Lépés”.

• ikon „VAGY” típusú elágazást szűr be az ábrába.



Négyezer klikkelve a ikonra alakul ki a 3. b. ábrán látható grafika. Az S001 „Lépés”-re klikkelve megjelenik egy párbeszédablak (3. b. ábra), amelyen látható, hogy bekapcsoláskor ez a „Lépés” aktív (Initial Step), de a kezdő állapot tesztés szerint kijelölhető.

Bármely „Művelet”-re kétszer klikkelve a „A PLC programozás technikája” fejezet 14. ábráján látható változó deklaráló párbeszédablakhoz hasonló tűnik fel. A különbség a párbeszéd-



4. ábra. Műveletdefiníálás

A „Detail” fület kijelölve program, a „Variable” fület kijelölve változó rendelhető a „Művelet”-hez.

A „Detail” fület kijelölve, és a párbeszédablak „Enter”-rel történő bezárása után a „Művelet”-re klikkelve a „A PLC programozás technikája” fejezet 10. b. ábrája jelenik meg, ahol IL, LD, FBD nyelvek közül választható programnyelv, és megadható a programnév. A párbeszédablak „Enter”-rel történő bezárása után a munkaterületen írható a program, és a projekt fájlban (3. a. ábra), az „Actions” könyvtár alatt megjelenik a programnév. A „Variable” fület kijelölve, és bool típusú változót választva, a változó értéke akkor lesz „1”, ha a hozzátartozó lépés az aktív. A „Qualifier” fülrel különböző művelet-végrehajtási módok választhatók:

- N: A „Művelet” csak addig aktív, amíg a hozzátartozó „Lépés” aktív.
- S: Amint a hozzátartozó „Lépés” aktív „1”-be állítja (SET) a változót, ami akkor is megtartja az értékét, ha a „Lépés” már inaktív.
- R: Amint a hozzátartozó „Lépés” aktív „0”-ba állítja (RESET) a változót, L: A változó előtti ideig magas.
- P: A változó egy programciklus idejére magas.
- D: A változó a „Lépés” aktiválása után késleltetve lesz „1”.
- SD: A változó a „Lépés” aktiválása után késleltetve lesz „1”. Akkor is megtartja az értékét, ha a „Lépés” már a késleltetési idő letelte előtt inaktív.

- DS: A változó a „Lépés” aktiválása után késleltetve lesz „1”, és nem lesz „1”, ha a „Lépés” már a késleltetési idő letele előtt inaktív.
- LD: Megadott késleltetéssel, és korlátozott ideig lesz „1” a változó. Akkor is, ha a „Lépés” már a késleltetési idő letele előtt inaktív.

Ha nem egyetlen változó, vagy program tartozik a „Lépés”-hez (1. ábra), akkor a „Művelet”-et kijelölve, majd a



ikont alkalmazva újabb „Műve-

let” jelenik meg a kijelölt alatt. Az „Átmenet”-hez az SFC program munkaterületén (3.b. ábra) közvetlenül definiálhatók a logikai állítások.

Ha az SFC program munkaterületén akarja az „Átmenet”-et definiálni,

akkor jobb egérgépet **Object**

Properties útvonalon megjelenő párbeszéd

ablakban a „Direct connection” típusú

let (5.a. ábra) kell kijelölni. A párbeszéd-

ablak „Enter”-rel történő bezárása után

az SFC munkaterületén FBD objektumok

helyezhetők le a 4. fejezetben is-

mertett módon. Az FBD objektumok

eredménykimenetét csatlakoztatni kell a

kiválasztott „Átmenet”-hez.

Megjegyzés: Ez az eljárás nem

ajánlott, mert nagyobb program esetén

nehézzen áttekinthető.

Kijelölve az „Átmenet”-et, majd

jobb egérgépet → **Variables** választással

egyetlen változó is köthető az „Átme-

net”-hez (5.b. ábra).

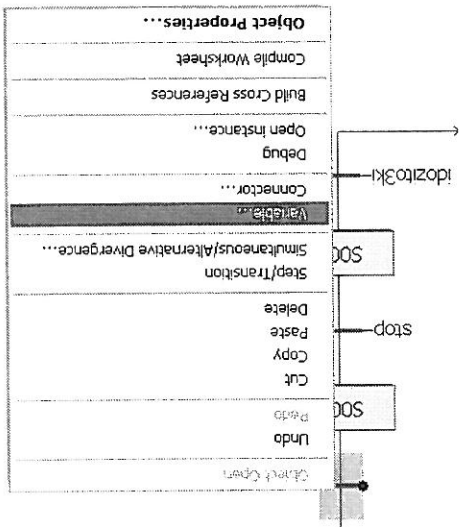
Az „átmenet” logikai összefüggé-

se programként is definiálható. Az „Át-

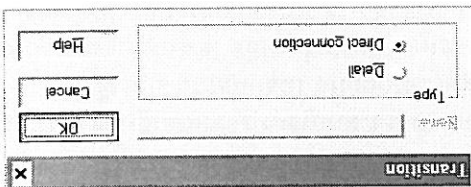
menet”-re kétszer kattintva a 4. fejezet

10.b. ábráján látható párbeszédablak je-

5.b. ábra. Az „Átmenet”-hez változó kötése



5.a. ábra. Az „Átmenet”-hez direkt csatlakozást választó ablak



lenik meg. Az IL, LD, FBD nyelvek közül választható programnyelv, és kötelező a programnév megadása. A párbeszédablak „Enter”-rel történő bezárása után a munkaterületen írható a program, és a projektábrában (3.a. ábra), az „Transitions” könyvtár alatt megjelenik a programnév (6. ábra).

Az 6. ábrán látható, hogy a programnévvel azonos nevű kimeneti változót szükséges definiálni, mert így tudja, hogy melyik „Átmenet”-hez csatlakozik. A „Build” → „Compile” menü útvonalon,

vagy a  (Compile) ikonnal

minden programrészt megírása után célszerű szintaktikai ellenőrzést végezni. Ha a szintaktikai ellenőrzésekkor hibabüzenet van, akkor az üzenetszektorban az „Errors” fülre kattintva az üzenetterületen felsorolva láthatók a hibák. Bármelyik hibára kattikelve a munkaablakban megjelenik az a program, vagy változólista, amelyben a hiba van.

Megjegyzés: Számos

hibát elkerül, ha a „A PLC

16. „fejlesztési programok”

abdrückak megfellelően min-

den változó definiálásakor a

„Usage“ legördülő menübol

$a \text{ VAR_GLOBAL_tupst va-}$

laszja, és minden már defi-

niált változt a „Name” le-

gördülő menübol választ ki.

Ez különben nem ajánlott

műdszer, csak most időhiany

mialatt a változók kezelésre

nem tévünk ki.



A (Make) ikon-

mal a programloides meg-

kezdése előtt szintaktikailag

ellenorizni kell a projektet. A

don fortetik.

Megyezes: Ha a

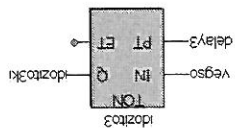
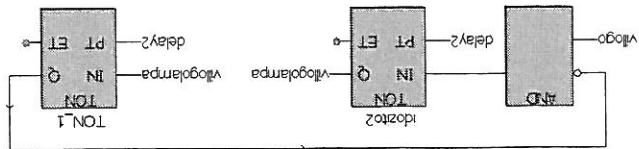
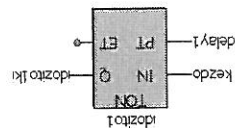
„mukodak“, „leall“, „vege“

„kezd”, „Atmenetek” hamisán.

„daj“ za unakrsno

82

Az állapotrend
kezelőt a 7., az időzítések
kezelőt a 8. ábra mutatja.



8. ábra. Az időzítők FBD programja

A 8. ábrán a kezdő, és a végso állapot idejének mérése nagyon hasonló. A villógas megvalósítása két késleltetve meghúzó (TON típusú) időzítővel történik. A villógas megvalósító két időzítő összekötő vonalat meg kellett szakítani a „villógiampa” valózód definiálása érdekében.

2.5. A változók fizikai be-, és kimenetekhez rendelése

A változók fizikai be- és kimenetekhez rendeltése a 4. fejezetben ismertetett módon történik. Kívülre a mintafeladatban használt „onboard” változókat. Az „onboard” változók fizikailag a rendszerváltozók között vannak. Kétszer a változó névre klikkelve nyissa meg a szimbolikus néven elmentett be- és kimeneti változókat. A megjelenő párbeszédablak „Name” legördülő menüből keresse ki a 2. táblázat hozzárendelése szerint a megfelelő „onboard” változót (9. ábra).

“onboard” változót (9. ábra).
A szimbolikus nevet is meg tudja őrizni. Az „onboard” változók kijelölésekor a fizikai cím fölben megjelenik az „onboard” változó fizikai címe. Ezt kihasználva, és beillesztve szimbolikus nevű változó fizikai cím fölébe megtörténik a szimbolikus változó fizikai be-, illetve kimenethez rendelése.
Megjegyzés: Ez kissé körülményes, ezért a feladataiban nem szükséges alkalmazni.

Megjegyzés: Ez kissé körülmenyes, ezért a feladataiban nem szükséges

3. Működő modellek

A PC WORX szoftverteleptítő DVD-je az Automatizálás laboratórium-ból a kurzus hallgatói számára elérhető. Az „onboard” változatokat használja a „Start”, „Stop”, stb. bemenetek, és a „Hiba”, „Üzemel”, stb. lámpák számára.

3.1. Lyukasztógép

Az „Engedélyező” jel után, ha a fogadóállomás munkadarabot érzékel, akkor a szállítószalag vigye a lyukasztógép alá. A lyukasztási művelet sor után a szállítószalag vigye ki a munkadarabot a fogadóállomásra.

4. táblázat. A lyukasztógép be-, és kimenetei

Bemenetek		Kimenetek
11.1	A fogadóállomás opto érzékelője	01.1 Lyukasztógép motor le
12.1	A lyukasztógép opto érzékelője	02.1 Lyukasztógép motor fel
13.1	Lyukasztógép fel	03.1 Szállítószalag előre
14.1	Lyukasztógép le	04.1 Szállítószalag hátra
		05.1 Fénysorompó lámpája

3.2. 3D manipulátor

A 3D manipulátor az alaphelyzete, és mindkét irányban a véghelyzethez közt a pulzussszámálók segítségével bármely közbeeső pozíciót fel tudja venni. Figyelem, csak az egyik irányban van végállás érzékelő!

5. táblázat. A 3D manipulátor be-, és kimenetei

Bemenetek		Kimenetek
11.1	Fordítókörong alaphelyzet kapcsoló	01.1 Fordítókörong motor jobbra
12.1	Fordítókörong pulzussszámáló	02.1 Fordítókörong motor balra
13.1	Befogókar alaphelyzet kapcsoló	03.1 Befogókar előre
14.1	Befogókar pulzussszámáló	04.1 Befogókar hátra
15.1	Felső helyzetérzékelő	05.1 Emelkedés
16.1	Függőleges pulzussszámáló	06.1 Süllyedés
17.1	Megfogó nyitva kapcsoló	07.1 Megfogó össze
18.1	Megfogó pulzussszámáló	08.1 Megfogó szét

6. FREKVENCIAVÁLTÓ KONFIGURÁLÁSA

Az automatizálás területén egyre gyakrabban alkalmazott eszközök a frekvenciaváltók, ezért szükséges, hogy a műszer-automatika szakirány hallgatói megismerkedjenek ezeknek a korszerű eszközöknek a legfontosabb műszaki jellemzőivel, konfigurálásával és működésével. A szabályozástechnikákban alkalmazott villanymotoros végrehajtószervekben széles körben alkalmazták az aszinkron motorokat, amelyeknek a fordulatszám szabályozását napjainkban majdnem kizárólag frekvenciaváltókkal valósítják meg. A hallgatók a frekvenciaváltót összekapcsolják egy háromfázisú aszinkronmotorral, és úgy konfigurálják a frekvenciaváltót, hogy az aszinkronmotor az előírtaknak megfelelően működjön.

1. Elméleti ismeretek

1.1. Az aszinkronmotorok

A háromfázisú aszinkronmotoroknál a nyomaték létrehozásában szerepet játszó két mennyiséget, a fluxust és a forgórész áramot, nem egymástól független áramkörök hozzák létre, mint az egyenáramú motorok esetében, hanem az indukciótörvény értelmében azok egymással transzformátoros kapcsolatban vannak. Az állórészben lévő tekercselések térbeli és a fázisáramai közötti időbeli fázistolás hozza létre a Φ forgó mágneses mezőt. A forgórészben a transzformátor elv értelmében, $f_2 = s \cdot f_1$ frekvenciájú feszültség indukálódik, amely I_2 áramot hozza létre. A forgórész-áram (I_2) az armatúrááramnak felel meg. A szlip (s) az $<1>$ képlet alapján, a forgó mágneses mező- (n_1) és a forgórész (n) fordulatszám különbségének, és a forgó mágneses mező (n_1) fordulatszámának a hányadosa.

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad <1>$$

Ha az n_1 és az n fordulatszámok azonosak lennének, akkor $s=0$ és ezzel $f_2 = 0$ kell, hogy legyen. Ez esetben tehát nem indukálódna feszültség. A motor tengelyének (forgórész) aszinkron kell futnia a forgó mágneses mezővel,

hogy a forgórészben a nyomatékot képező áram kialakulhasson. A transzformátor primer tekercsének az állórész tekercsése felel meg. A háromfázisú aszinkronmotorok a forgórészük kialakításának a módja szerint, csúszóglyűrűs vagy rövidre zárt forgórészű motorok lehetnek. A csúszóglyűrűs kialakítású forgórész tekercsése - ami a transzformátor szekunder tekercsésének felel meg- az állórészhez hasonló felépítésű. Rövidrezárt forgórész kialakítás esetén, minden forgórész rúd egy tekercs oldalnak felel meg. A háromfázisú aszinkron motorok kapocs jelöléseit a DIN42401 (Deutsche Industrie Norm: Német ipari szabvány) 2 része határozza meg, amely szoros összhangban van az IEC34-8 nemzetközi elektrotechnikai szabvánnyal (IEC: International Electrotechnical Commission). A forgórész tekercselés számára a K, L, M-, az állórész tekercselés számára az U, V, W betűket alkalmazzák. A háromfázisú aszinkronmotorok széleskörű elterjedésének három fő okát említhetjük:

- átalakítók nélkül közvetlenül csatlakozhatnak a háromfázisú hálózatra,
 - nincsenek kényes alkatrészeik, mint pl. a kommutátor, ezért ezek a motorok nagyon üzembiztosak, és alacsony a karbantartási igényük,
 - fordulatszámuk a terheléstől közel állandónak tekinthető.
- Hátrányos tulajdonságuk viszont az, hogy a fordulatszámuk nehezen változtatható! A háromfázisú aszinkronmotor fordulatszámának a lehetséges változtatási módjai:

- Mivel a háromfázisú aszinkronmotor állórészében a forgó mágneses mező n_1 fordulatszáma a <2> szerint az állórész tekercselés frekvenciájától (f_1) és a pólusszámtól (p) függ, az f_1 frekvencia folyamatos változtatásával arányosan változik az n_1 forgómező fordulatszáma is. Lehetséges tehát az f_1 frekvenciával az n_1 fordulatszámot folyamatosan változtatni.

$$n_1 = \frac{f_1}{p}$$

- A forgó mágneses mező fordulatszáma (n_1) a <2> szerint a pólusszámmal (p) fordítottan arányos, amely viszont a szerkezeti felépítés függvénye, ezért ezt csak fokozatosan lehet változtatni. Az ilyen rendszerű motorokat, pólusátkapcsolós motoroknak nevezik.

Az aszinkronmotor tengelyének a nyomatéka (M_a) a <3> szerint, a külső gerjesztésű egyenáramú motorokéhoz hasonlóan, arányos a forgórész árammal (I_2), és a forgó mágneses mező fluxusával (Φ).

$$M_a \approx I_2 \cdot \Phi$$

<3>

A háromfázisú aszinkronmotor forgó mágneses mező fluxusát (Φ), a <4> összefüggés szerint, az állórész U_1 feszültsége, és a frekvenciája (f_1) határozza meg.

$$\Phi \approx \frac{U_1}{f_1} \quad <4>$$

A háromfázisú aszinkronmotor tengelyének a nyomatéka közvetlenül az állórész feszültsége (U_1) és a frekvenciája (f_1) ismerete esetén az <5> össze-
függés alapján határozható meg.

$$M_a \approx \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad <5>$$

Az aszinkronmotorok fordulatszámának az állórész frekvencia változtatásával történő szabályozásakor tehát az állandó nyomaték elérése céljából az állórész feszültséget is változtatni kell! A $\Phi \approx \frac{U_1}{f_1}$ =állandó követelmény miatt, a frekvenciaaváltóval az aszinkronmotor feszültséget és a frekvenciáját együtt kell változtatni!

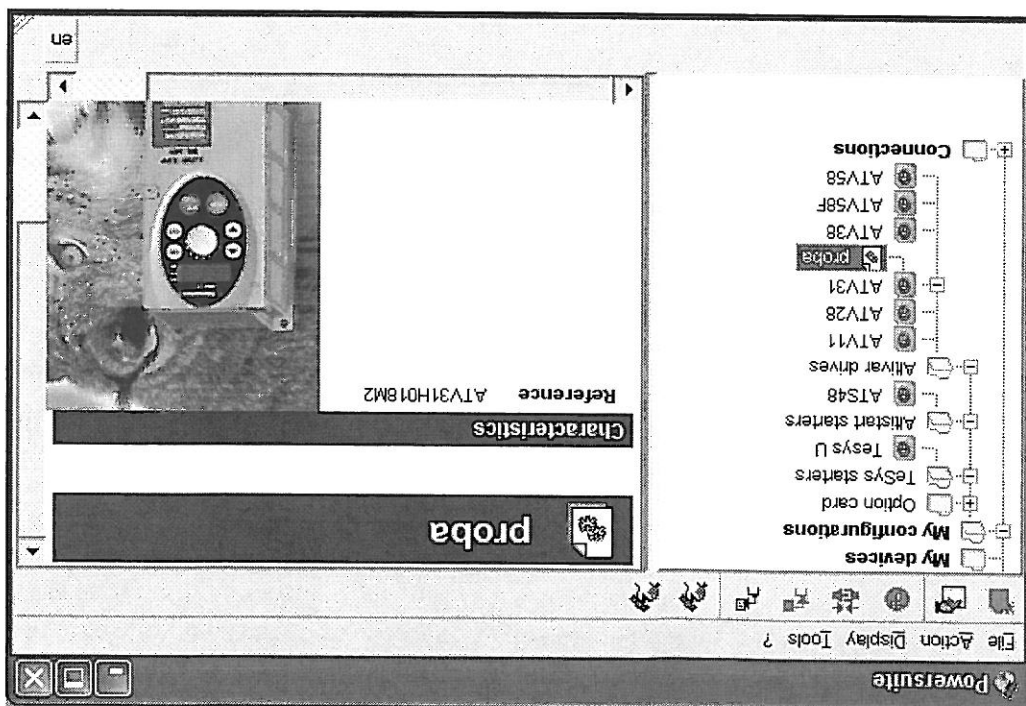
1.2. Az Altivar ATV 31 típusú frekvenciaváltó konfigurálása

Az Altivar ATV 31 típusú frekvenciaváltó kezelése, konfigurálása elvégezhető a frekvenciaváltón található billentyűzettel, távműködtetésű kézi konfigurátorral, valamint PC-n futó Power-Suite program segítségével. Konfigurálásnál a legtöbb szolgáltatást és megjelenítési formát a Power-Suite program nyújtja, ezért a vizsgálatokat ebben a változatban végzik a hallgatók. A vizsgálatok időtartama korlátozott, ezért a hallgatók a frekvenciaváltók konfigurálását csak alapszinten sajátíthatják el. Konfigurálás első lépését a hardvernek a konfigurálása jelenti. Hardvernek a konfigurálása során - amely a Power-Suite program indítása utáni első menü felületéről (1. ábra) történhet - egyrészt ki kell választani az Altivar család elemei közül azt a frekvenciaváltót, amelyet konfigurálni kívánunk, másrészt meg kell határozni a konfiguráló eszköz (PC) és a frekvenciaváltó közötti kommunikációs kapcsolati formát.

A Power-Suite program az Altivar frekvenciaváltó család minden elemének (ATV11, ATV28, ATV31, ATV38, ATV58) a konfigurálására alkalmas. Az Altivar31 típuson belül is több választási lehetőség adódik. Mivel a vizsgálatok során használt frekvenciaváltó pontos típusa: ATV31H018M2, ezért ezt kell megadni a felkínált választási lehetőségek közül.

A frekvenciaváltó és PC közötti kommunikációs kapcsolatként a soros pont-pont kapcsolat választandó. Az induló menüfelület **File** menüpontjában történhet az új projekteknek a nyitása, az átnevezése, a másolása, a törlése, az importja, az exportja és a nyomtatása. Az **Action** menüpontban a konfigurálásnak a módosítása (Modify), a szimulációja (Simulate), a frekvenciaváltónak az azonosítása (Identify), a PC és a frekvenciaváltó összekapcsolása (Connect), a konfigurálás (kétirányú) átvitele (Transfer), és a konfigurálás (Configure) megvalósítása történhet. A **Display** menüpontban a konfigurálás megjeleníthető. A **Tools** menüpontban az alkalmazni kívánt nyelv választható. A rendeltetésünkre álló programban az angol vagy a német nyelv választható. A ? menüpont támogatást nyújt mind a kiválasztott frekvenciaváltóval, mind a PowerSuite program használatával kapcsolatban. A hardver kiválasztása után kezdődhet a kiválasztott eszköz konfigurálása egy új konfigurálási projekt (New) megnyitásával, amelynek nevet kell adni. Az 1. ábrán láthatóan a szemléltetés-ként megnyitott projekt neve, „proba”.

1. ábra. A Power-Suite programnak az indítás utáni menü felülete



A fasturktúra felépítésü *Konfigu-
rálás* pontban elvéggezhető feladatok is-
meretése. A frekvenciaváltó konfigurála-
si művelete nemcsak a felső menüsor
konfigurálás menü pontjából, hanem a
menüsor alatti ikon sor balról elso kom-
munikációs ikonjáról is indítható.

Powersuite - proba

The Configuration Display Scope ?

ATVS1

- Adjustments
 - Fast settings
 - Actual / Target
 - Frequency range
 - Thermal protection
 - Optimization
 - Speed loop
 - Detection threshold
- Motor control
 - Motor characteristics
 - Switching mode
 - Speed scale
- Terminal Configuration
 - Interlocks / Curbside
- Control command
 - Control command
- Application functions
 - Summing inputs
 - JOC
 - Ramps configuration
 - Current limiter
 - Preset speeds values
 - DC injection
 - PI regulator
 - +S speed
 - Brake sequence
 - Stop type
 - Motor 2
 - Manage limit switches
- Fault Management
 - Fault behaviour
 - Fault validation
 - Stop on fault mode
- Communication
 - Communication
 - Inputs summary

A konfigurálási fő menüpontok magyar megnevezései és kódjai:

Gyors beállítás	
Beállítások	SET
Motorvezérlés	drc
Be/kimenetek konfigurálása	I-O
Vezérlés	CTL
Alkalmazási funkciók	FUn
Hibakezelés	FLt
Kommunikációkezelés	COM
Bemenetek állapota	

A *Gyors beállítás* kiválasztása esetén, az alábbi paraméterek állíthatók:

Kód	Megnevezés	Állítható tartomány	Gyári beállítás
BFR	Szabványos motorfrekvencia	(50Hz), (60Hz)	[50Hz]
ACC	Gyorsítási idő (gyorsítási meredekség)	(0.1.....999.9s)	[3.0s]
DEC	Leállítási idő (leállítási meredekség)	(0.1.....999.9s)	[3.0s]
LSP	Kis frekvencia (kis sebesség)	(0 – HSP)	[0Hz]
HSP	Nagy frekvencia (nagy sebesség)	(LSP - BFR)	[BFR]
ITH	Termikus határáram	(0 -1.5 In/ névleges áramérték/)	[1.5A]

Megjegyzés: A gyári beállítás értékei a továbbiakban is mindig szögletes zárójel között szerepelnek.

A *Beállítások* (SET) kiválasztása esetén hat almenüpont közül lehet választani:

ACC/DEC	Gyorsítási és leállítási idők; Az állítható tartományok a <i>Gyors beállítás</i> pontban láthatók.
Frekvencia tartomány	Frekv. tartományban állítható paraméterek: Kis frekvencia (LSP); Nagy frekvencia (HSP); Az állítható tartományok a <i>Gyors beállítás</i> pontban láthatók. Maximális frekvencia (TFR) Maximális engedélyezett üzemi idő kis frekvencián (TLS) ; [60Hz]

(0...25.5s) Szip frekvencia (JPF); Szip frekvencia (JPF) körül +/- 1 Hz-es tartományban. Szerepe: meggátolja a motor tartós működését a szip frekvencia (JPF) frekvencia (JF2) [0.0Hz] [0.0Hz]	Termikus védelem	Optimalizálás Termikus határáram tartományát lásd az 1. táblázatban Optimalizálásban állítható paraméterek: Szip kompenzálás (SLP) (0...150%); [100%] Ez a paraméter csak akkor hozzáférhető, ha az UFT alponthoz a paramétert választjuk (a vizsgálatoknál gyári beállítást alkalmazzuk!). IR kompenzáció (UFR) Optimalizálja a nyomatékot nagyon alacsony frekvencián (0...100%); [20%] Tipikus U/f jelleggörbék (UFT) A feszültség-frekvencia arány típusának kiválasztása. Lehet: állandó nyomatékú (L), változó nyomatékú (P), n, nLd [n] (n jelentése: érzékelő nélküli fluxus-vektor vezérlése állandó nyomatékú alkalmazásokhoz)	Fordulatszám FLG, STA, SRF paramétereket a feladatoknál nem alkalmaszunk, ezért nem ismertetjük.	A küszöbértékek megállapítása pontban állítható paraméterek: Küszöbértékek megállapítása pontban állítható paraméterek: Frekvencia küszöbérték (FTD) [50Hz] Áram küszöbérték (CTD) [1.5A] Termikus lekapcsolás védelem (TTD) [100%]	tása A küszöbértékek megállapítása pontban állítható paraméterek: Küszöbértékek megállapítása pontban állítható paraméterek: Frekvencia küszöbérték (FTD) [50Hz] Áram küszöbérték (CTD) [1.5A] Termikus lekapcsolás védelem (TTD) [100%]	Motor karakterisztika A motor karakterisztikájában állítható paraméterek: Névszám motor feszültség (UNS) [230V] Az adattáblán jelölt feszültség értéket jelenti Névszám motor frekvencia (FRS) [50Hz] Névszám motor áram (NCR) [1.1A] Motor cos fi tényezője (COS) [0.75] Névszám motor fordulatszám (NSP) [1410 rpm] Motor hideg ellenállása (RSC) (mohm) [inaktív]
---	------------------	---	--	--	--	--

A *Motorvezérlés (drc)* kiválasztása esetén, három alpont található:

Fontos megjegyzés: Beállítások -ban található paraméterek a motor üzemelő, vagy leállított állapotában egyaránt módosíthatók!

Motor méretek (TUN) [nem konfigurálható]	A kapcsolási frekvenciában állítható paraméterek: Szabványos motor frekvencia (BFR) (50Hz, 60Hz) Kapcsolási frekvencia (SFR) (2...15kHz) Alkalmazásának célja, a motorzaj csökkentése. Kapcsolási frekvencia modulációja (NRD) (igen, nem) Alkalmazásának célja, a motor zaj csökkentése. [igen]	A fordulatszám tartomány	Ha a négypólusú motor fordulatszám 50 Hz-en 1500ford/min., akkor SDS=30 esetén, 30*50=1500, amelyt a kijelző menüpont SPD paramétere mutatja
---	---	--------------------------	--

Fontos megjegyzés: A Motorvezérlés menüpont paramétereit csak akkor módosíthatók, ha a motor leállított állapotban van, vagy ha nincs jelen futtatási parancs!

A Be-, kimenetekhez funkció hozzárendelés (I-O) menüpont kiválasztása esetén, parancstípus kiválasztás, analóg be-, kimenetek tartományainak meghatározása és kimenetek foglaltsága valószínűleg meg.

A parancstípus kiválasztása	A parancstípus kiválasztása esetén állíthatók: Vezérlési mód (TCC) kétféle választást tesz lehetővé: (2,-3- vezetékes) [2-vezetékes] 2- vezetékes vezérlési módnál (2C) a frekvenciaváltó logikai bemeneteinek (LI1..LI6) nyitott vagy zárt állapot a vezérlő motor forgását ill. leállítást. A logikai bemenetekhez történő gyári hozzárendelés megtekinthető a Bemenetek állapota menüpontban! 3-vezetékes vezérlési mód (3C) a motor impulzus vezérlését teszi lehetővé, azaz mindössze egy impulzus elegendő a motor indításához. A kétvezetékes vezérlés üzemmódjai (TCT): [E] vezérelt] Logikai bemenetek 0(L);1(H) szintjei alapján történik a motor-indítás ill. leállítás (LEL).
-----------------------------	--

Logikai bemenetek állapotváltozása (El vezérelt) alapján törté- nik a motor indítása ill. leállítása (trn). Logikai bemenetek prioritása alapján történik a motor indítása ill. leállítása (PFO) (az „előre forgásirány”-hoz rendelt logikai bemenetek van a legmagasabb prioritása). A fordított motor forgásirányhoz, logikai bemenet kiválasztása (L12...L16)	A bemenetek, kimenetek léptékezésében állíthatók: A13 analóg bemenet kezdő értéke (CRL3) [4.0mA] A13 analóg bemenet végértéke (CRH3) [20.0mA] AO1T analóg kimenet tartományának kiválasztása (Választható: 0-10V; 0-20mA; 4-20mA) [0-20mA]	A kimenetek DO, R1, R2 kimenetek foglaltsága feltételeinek konfigurálása DO diszkrét kimenet foglaltsága [nem tehető foglaltá] R1 hiba relé foglaltsága [frekvenciaváltó hiba] R2 hiba relé foglaltsága [nem konfigurálható]
---	---	---

A *Vezérlés (CTL)* menüpont kiválasztása esetén az alábbiak találhatóak:

Hozzáférsi szintek	Hozzáférsi szintek beállításában (LAC) választható funk- ciók: [hozzáférs alapfunkciókhoz, LAC=L1] Hozzáférs alapfunkciókhoz. (LAC=L1) Hozzáférs bővített funkciókhoz (Fkt). (LAC=L2) Hozzáférs vegyes funkciókhoz (Stg). (LAC=L3) A LAC paraméter a vezérlés működési módjának 3 szintjét, L1, L2, L3 határozza meg. Részletes leírása a leírlható programozási kézikönyv 26-32 oldalain található.	Helyi és távoli működtetés A frekvenciaváltó helyi és távoli terminálról történő mű- ködtesének beállítás (LCC) A vizsgálati pontnál a frekvenciaváltót távoli terminálként üzemelő PC-vel működtetjük. A PC és frekvenciaváltó kö- zötti kommunikáció fajtája Modbus.	Az alapjelnek a bemeneti csator- nához rendelése 1 alapjelnek a bemeneti csatornához rendelése (FR1) Választási lehetőségek: A11, A12, A13 [A11] 2 alapjelnek a bemeneti csatornához rendelése (FR2) Választási lehetőségek: nincs konfigurálva, A11, A12, A13. [nincs konfigurálva]
---------------------------	---	--	--

	Alapjel átkapcsolás konfigurálása (RFC) Lehetőségek: alapjel=1alapjel; alapjel=2alapjel; alapjel = LI1..LI6) [alapjel=1alapjel] Kezelőterminál STOP billentyűzete elsődleges? (PST) Választási lehetőségek: igen, nem [igen]
--	--

*Fontos megjegyzés: Bemennetekhez, kimenetekhez funkció hozzárendelés
konfigurálása menüpont paramétereit csak akkor módosíthatók, ha a motor le-
állított állapotban van, vagy ha nincs jelen futtatási parancs!*

Az *Alkalmasítási funkciók* (FUn) kiválasztása esetén az alábbi pontok konfigurá-
lása végezhető:

A bemennetek állapota (SAI) Az alapjel összegző 2 pontjához (SA2) analóg bemennet hozzárendelése [AI2] Választhatók: nincs konfigurálva, AI1, AI2, AI3 Az alapjel összegző 3 pontjához (SA3) analóg bemennet hozzárendelése [nincs konfigurálva] Választhatók: nincs konfigurálva, AI1, AI2, AI3	Léptetési JOG üzemmodot indító üzemmodot ki- lasztása Választhatók: nincs konfigurálva, LI1...LI6 A léptetési üzemmod alapjelle (JFG) csak akkor állítható be 0-10 Hz-es tartományban, ha a JOG üzemmod engedélyezett. (részletes információ a programozási kézikönyv 46 oldalán található)
A meredekség kon- figurálása (RPC)	A meredekség konfigurálásában állíthatók: Meredekség típusa (RPT) [lineáris] Választható fajtái: lineáris, S meredekség, U meredekség, felhasználó által beállítható meredekség (CUS) Gyorsítási, lassítási meredekség váltás logikai bemennetekről vezérelten (RPS) Választható: no, LI1,,,,LI6 [no] Gyorsítási, lassítási meredekség váltás (FRT) frekvencia határérték elérése esetén (0...500 Hz) Gyorsítási meredekségi idő (ACC) [3.0 s]

	(0...3600s) Lassítási meredekségi idő (DEC) [3.0 s] A 2. gyorsítási meredekségi idő (AC2), és a 2 lassítási meredekségi idő (DE2) beállítása csak akkor lehetséges, ha RPS esetén kiválasztjuk a vezérlő logikai bemenetet, vagy FRT esetén megadjuk a meredekség váltási frekvenciát. (részletes információ a programozási kézikönyv 37, 38 oldalain található)	Aram-korlátozás Aram-határérték (CLI) [1.5 In] (0.25In...1.5In) In, a motor adattábláján feltüntetett névleges terhelő áramérték. CLI határérték határt szab a motor nyomatak és hőmérséklet növekedésének. 2 áram határérték (LC2) [nem konfigurálható]	Logikai bemenetek-ről vezérelt rögzített frekvenciájú működetés (PSS) Logikai bemenetek-ről vezérelt rögzített frekvenciájú működetés (PSS) Két rögzített frekvenciájú (PS2) működést vezérlő logikai bemenet választása [LI3] Választható: nincs hozzáférések, LI1...LI6 Negy rögzített frekvenciájú (PS4) működést vezérlő logikai bemenet választása [LI4] Választható: nincs hozzáférések, LI1...LI6 Nyolc rögzített frekvenciájú (PS8) működést vezérlő logikai bemenet választása [nincs hozzáférések: no] Választható: nincs hozzáférések, LI1...LI6 (Célszerű választás : LI5) Tizenhat rögzített frekvenciájú (PS16) működést vezérlő logikai bemenet választása [nincs hozzáférések: no] Választható: nincs hozzáférések, LI1...LI6 (Célszerű választás:LI6) (részletes információ a programozási kézikönyv 43, 44 oldalain található)	Rögzített frekvenciaértékek beállítása (PSS) A rögzített frekvenciaértékek beállításaiban állíthatók: (SP1=1-es alapjel) Második rögzített frekv. érték beállítása (SP2) [10 Hz]
--	---	--	---	--

Beállítási tartomány: 0...500 [Hz] Harmadik rögzített frekv. érték beállítása (SP3) [15 Hz] Negyedik rögzített frekv. érték beállítása (SP4) [20 Hz] Ötödik rögzített frekv. érték beállítása (SP5) [25 Hz] ezután 5Hz –es növekvő frekvencia lépésekkel folytatva Tizenhatodik rögzített frekv. érték beállítása (SP16) [100Hz] (részletes információ a programozási kézikönyv 45 oldalán található)	A fékező egyen- áram bekapcsolása A fékező egyenáram bekapcsolásában állíthatók: Automatikus egyenáramú fékezés (ADC) Választhatók: nincs fékező áram, DC fékezési idő beállítható, állandó fékezés nyugalmi állapotban [DC fékezési idő beállítható] 1 fékezési idő (TDC1) [0.5s] 1 fékező áramérték (SDC1) [1.0A] 2 fékezési idő (TDC2) [0.0s] 2 fékező áramérték (SDC2) [0.7A]	PI szabályozó (részletes információ a programozási kézikönyv 49-52 oldalán található) PI szabályozónál állítható: PI szabályozó ellenőrzőjele (PIF) [nem konfigurálható] Vizsgálatiainknál nem alkalmazzuk (részletes információ a programozási kézikönyv 47, 48 oldalain található)	Fékezés vezérlési logika	A motor leállítási üzem módjai (STC) Lehetséges leállítási módok: Normal leállítás (STT) [szabadon futó] Lehetséges változatai: szabadon futó megállás, gyorsmeg- állás, megállás DC fékező árammal, leállítás lefutási me- redekségen. DC fékezés logikai bemenetről vezérelve (DCI) Választható: nem konfigurált, L1...L6 [nem konfigur.]
---	---	---	--------------------------------------	--

Szabadon futó megállítási logikai bemenetről vezérelve (NST)	Választható: nem konfigurált, L1...L6; [nem konfigur.]
2 motor átkapcsolása	2 motor átkapcsolás (CHP) [nem konfigurálható]
A végállás kapcsoló- lő kezelése	A végállás kapcsoló kezelésénél állítható: Balra forgás korlátozása (LAR) [nem konfigurálható] Jobbra forgás korlátozása (LAR) [nem konfigurálható]
(LST)	

A Hibakezelés (FLT) -hez három almenü tartozik: hibakezelés, hibákra történő reagálás, és a megállítási módok hiba fellelések esetén. Az almenük jellemzőit a jegyzet korlátozott terjedelme miatt nem tartalmazza, de a konfiguráló berendezésen (PC-n), és a leírtendő programozási kézikönyvben megtalálhatók.

A Kommunikáció (COM) menüpontban a CANOpen buszrendszer paramétereinek, mint pl. a címzés, adatátviteli sebesség, hibakezelés beállítása történhet.

A Bemenetek állapota menüpontban a logikai -, (L11...L16) és az analóg bemenetek (A11...A13) gyári beállítás szerinti hozzáférést látható. **Az ikon sor második ikona** a frekvenciaváltó paraméter táblázatát tartalmazza az összes paraméter kódjával, ezek jelentésével, pillanatnyi értékével, gyári standard értékével, logikai címmel.

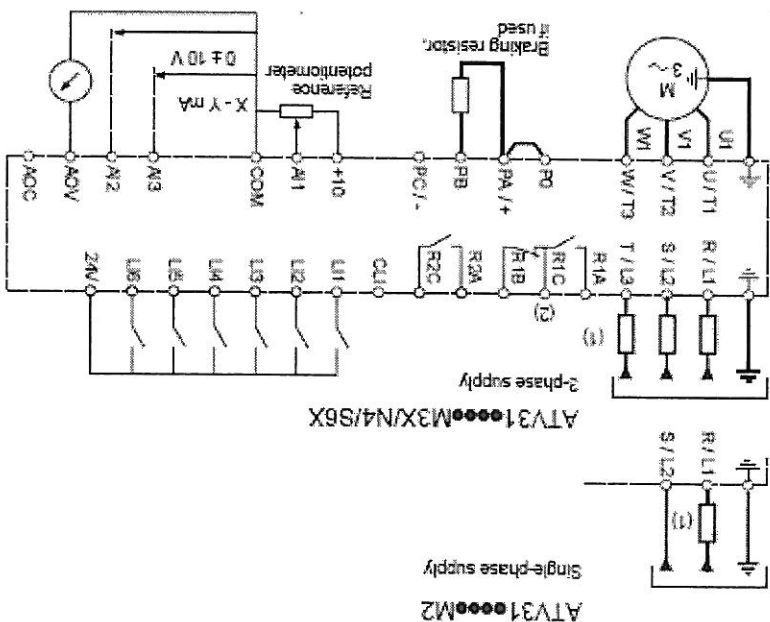
1.3. A vizsgálatoknál felhasznált eszközök

A vizsgált berendezés egy része, úgy mint a háromfázisú aszinkronmotor, a motorvédő kapcsoló, a motorindító mágneskapcsoló, az ATV31 típusú frekvenciaváltó, a kijelző egység átlátszó előlapú ipari szekrényben került elhelyezésre. A szekrény átlátszó előlapja lehetővé teszi, hogy a hallgatók a feladatok elvégzése során megfigyelhessék a motor működését, valamint megismerkedhetnek a háromfázisú aszinkronmotor működéséhez szükséges erősáramú elemekkel és ezeknek a szerelésével. A feladatok elvégzésénél az ipari szekrény zárva van, így módon a hallgatók közvetlenül nem férnek hozzá elértédelmi okból az erősáramú eszközökhöz. A szekrényben lévő erősáramú eszközök tömszelencés kialakítású kábelrel vannak a frekvenciaváltó konfigurálását végző PC-nél, valamint egy kezelőpanel segítségével. A kezelőpanel egy frekvenciaváltó 3. ábrán látható (L11...L16) logikai bemenetét banárhüvelyes pontokra vezettük ki. A hallgatók a feladatokban előírt módon konfigurált frekvenciaváltó logikai bemenetire kétállapotú „L” (alacsony) [0V] és H (mag-

gas) [24V] ipari logikai szinteket adva működtetik a frekvenciaváltóval az aszinkronmotort. Ennél a feladatnál a halligatók a kezelőpanel egységnek csak az L11...L16 logikai bemeneteit, valamint a +24V, COM (0V) tápfeszültség pontjait használják.

2. Feladatok

A feladatok megoldásához feltétlenül szükséges az ATV31 típusú frekvenciaváltó konfigurálását részletesen ismertető magyar nyelvű programozási kézikönyv használata, amelyet a halligatók a Műszertechnikai és Automatizálási Intézet honlapján az Automatizálás laboratórium oktatási anyagai között megtalálják és onnan letölthetik. A felkészülést és a feladatok megoldását jelentősen segíti a kézikönyvben található ismeretanyag.



3. ábra. Az ATV31 típusú frekvenciaváltó bekötési vázlat rajza

1. Indítsa el a Power-Suite programot! Hozzon létre on-line kapcsolatot a PC és a frekvenciaváltó között! Töltse át az Altvár 3 típusú frekvenciaváltó

- gyári konfigurálását a PC-be, és tekintse meg a paraméter-táblán a frekvenciaváltó gyári konfigurálási adatait!
2. Hozzon létre egy új konfigurálási projektet! A **be/kimenetek konfigurálása (I-O)** menüpontban állítsa a frekvenciaváltót kétvezetékes vezérlési üzemmódba (TCC=2C) és valósítsa meg az L11 és L12 logikai bementekről vezérelten a gyárilag beállított LSP és HSP értékekkel az aszinkronmotor előre és hátra forgatását! Ezután tiltsa le az aszinkronmotor hátra forgatási lehetőségét! Ilyen üzemmódot alkalmaznak a ventillátorok, és a szivattyúk működtésénél.
3. Valósítsa meg az **alkalmazási funkciók** menüpontban az L13 logikai bementről vezérelten az aszinkronmotornak a szabadon futó megállítást (NST)! Valósítsa meg az L15 logikai bementről vezérelten az aszinkronmotorok az egyenárammal történő fékvezérlését (DCI)! A fékvezérlési idő (TDCI) 1s, a fékező áram értéke (SDCI) 0.8 [A] legyen! Valósítsa meg az aszinkronmotor gyors leállítását (STT alpont)! Milyen különbséget tapasztal a három leállítási üzemmódbeli megállítási során?
4. Valósítsa meg a **beállítások** menüpontban az aszinkronmotor alacsony fordulatszámú történő üzemelési idejének a korlátozását (TLS)! Amennyiben motor alsó fordulatszám határát eléri, akkor 5s után álljon le! Az LSP értéket 10 Hz-re állítsa!
5. Valósítsa meg az L13 logikai bementről vezérelten kétvezetékes vezérléssel az aszinkronmotorok két rögzített frekvencián (SP2) történő üzemeltetését! A második rögzített frekvencia értéke először a gyárilag beállított érték, másodszor pedig 25Hz legyen (SP1=1. alapel)! Működtesse ezután az L13 és L14 logikai bementekről vezérelten az aszinkronmotorot négy rögzített frekvencián (SP4)! A négy rögzített frekvencia értéke a gyárilag beállított értékek legyenek!
6. Működtesse ezután kétvezetékes vezérléssel az L13, L14, L15 logikai bementekről vezérelten az aszinkronmotorot nyolc rögzített frekvencián (SP8)! A nyolc rögzített frekvencia értékei először a gyárilag beállított értékek legyenek, másodszor mindegyik frekvencia értéket 5Hz-el növelje!
7. Működtesse ezután az L13, L14, L15, L16 logikai bementekről vezérelten az aszinkronmotorot tizenhat rögzített frekvencián (SP16)! A tizenhat rögzített frekvencia értékei a gyárilag beállított értékek legyenek!
8. Végezzen egy adott frekvenciánál történő meredekség átkapcsolásos aszinkronmotor működtetést az **alkalmazási funkciók** menüpontban! A meredekség típusa (RPT) legyen lineáris, a meredekség átkapcsolási frekvencia (FRT) legyen 25 Hz, a gyorsítási idő (ACC) 4s, a lassítási idő (DEC) 5 s legyen! A meredekség átkapcsolásos motorműködést anyagmozgató gépek

- 100

7. PLC-VEL VEZÉRELT FREKVENCIA-VÁLTÓ

A műszer-automatika szakirányú hallgatók a „*Frekvenciaváltó konfigurálás*” című mérésnél már megismerkedtek az ATV31 típusú frekvenciaváltó különböző célokra történő alkalmazhatóságával és Power-Suite programmal konfigurálták a frekvenciaváltót. E mérés során a hallgatók olyan feladatokat valósítanak meg, amelynél egy moduláris felépítésű Twido PLC pont-pont kapcsolatban egy Altivar31 típusú frekvenciaváltót vezérel. A frekvenciaváltó kimenetéhez egy háromfázisú aszinkronmotor kapcsolódik.

1. Elméleti ismeretek

1.1. Twido típusú PLC rövid bemutatása

A vizsgálatoknál egy moduláris felépítésű Twido típusú PLC található, amely az alábbi egységekből áll:

TWD LMDA 20DTR típusú processzor alapegység, amely 24 VDC, 2 A egyenáramú tápfeszültség ellátással rendelkezik, része még a rendszer-, és felhasználó program memória valamint részét képezi továbbá 12 diszkrét bemeneti, valamint 8 diszkrét kimeneti csatorna is. A 8 diszkrét kimeneti csatornából 6 relés- és 2 tranzisztoros kialakítású. A diszkrét bemeneti csatornákra 0 V (L:alacsony) és 24 VDC (H:magas) szintű feszültségek kapcsolhatók. Az NPN kialakítású tranzisztoros kimeneti csatornák (Q0,Q1) egyenként 0.3A –al terhelhetők, biztosítékkal védettek és 24 VDC tápfeszültséggel üzemelnek. A relés kimenetek (Q2...Q7) egyaránt üzemeltethetők egyen- és váltakozó feszültségekről. A Q2, Q3, Q4 relés kimenetek közös pontja COM1-hez, a Q4, Q5 relés kimenetek közös pontja COM2 –höz, míg a Q5 relés kimenet egyik pontja a COM3-hoz kapcsolódik. A relés kimenetek egyenkénti megengedett maximális terhelése 24 VDC vagy 230 V AC tápfeszültségek esetén egyaránt 2A. A relés kimenetek biztosítékkal védettek.

A processzor alapegységhez egy TWD AMM 3HT típusú bemeneti/kimeneti csatornákkal rendelkező analóg modul is csatlakozik. (két analóg bemeneti és egy analóg kimeneti csatorna) Bemeneti csatornák 0...10 VDC feszültség-tartományú analóg jeleket képesek fogadni. Az analóg bemeneti csatornákon 12 bit felbontású (4096 pont) A/D konverterek találhatók. Az analóg kimeneti csatornák

torna 4..20mA tartományú analóg áramjellet képes kiadni, amely 12 bit felbontású D/A konverterrel rendelkezik.

A moduláris Twido típusú PLC harmadik egységét a TWD XCP ODM típusú beépített kijelző modul egység képezi, amely 2 soros, soronként 8 karakterrel rendelkező háttér megvilágítású LCD képernyővel rendelkezik.

A PLC hardverével kapcsolatos részletesebb információ a mérésnél használt számítógépre telepített Twido típusú PLC-vel kapcsolatos információk anyagban található, valamint a <http://www.schneider-electric.hu> Internet címen elérhető.

TwidoSoft egy grafikai fejlesztő környezet, a Twido típusú programozható logikai vezérlők számára, amely különböző alkalmazásokhoz felhasználói vezérlő program készítését lehetővé teszi, valamint konfigurálási- és karbantartási tevékenységek elvégzéséhez nyújt támogatást. TwidoSoft egy Windows alapú program, amely a Windows környezetet igényelheti. A fejlesztő környezetet Alkalmazás Bővíthetővel (Application Broser) rendelkezik, amely támogatást nyújt a struktúraszertu felhasználói program készítéséhez és megtekintéséhez, a hardver ill. szoftver konfigurálási feladatok megvalósításához és a karbantartási teendők elvégzéséhez. A struktúrában rendezett alkalmazás elemei logikai hierarchiában jelennek meg. Az Alkalmazás Bővíthető könnyen hozzáférhető módon rendezi az adatokat az alkalmazásban, ezért nem kell keresni az egyedi adatokat. A TwidoSoft állapotora (Status Bar) a főablak alján található, amely információkat jelenít meg az alkalmazásról, a logikai vezérlőről, ill. a TwidoSoft-ról. Az állapotosor egy ún „memória használat indikátort” is tartalmaz, melynek célja a teljes memória terület program által használt részének a százalékos megjelenítése. Figyelemreztetés jelenik meg akkor is, ha a hozzáférhető memória túl kevés.

A TwidoSoft működési módjai (Operating Modes) on-line és off-line lehetnek attól függően, hogy a PC és a programozható logikai vezérlő kapcsolata milyen. On-line működési mód esetén, közvetlen kapcsolat van a PC és a logikai vezérlő között, míg off-line működési módnál a PC és a logikai vezérlő szét van kapcsolva. Az off-line működési módot alkalmazásfejlesztéssel cél-szerű választani, míg az on-line üzemmódot vezérlő programnak a PC -ből a programozható logikai vezérlőbe történő áttöltésére, valamint az alkalmazás működésének tesztelésére. A PC és a Twido típusú PLC közötti kapcsolatot egy speciális többfunkciós kommunikációs kábel biztosítja, amely illeszti a PC RS232 soros port jeleit, Twido típusú PLC RS 485 soros port jeleihez és fordítva.

TwidoSoft specializált szerkesztőket (Editorts) és megjelenítő ablakokat (Viewers) biztosít a felhasználói programok fejlesztéséhez. Egy Twido alkalmazás a következő részekből áll: a programból, konfigurációs adatokból, szimbólumokból, animációs táblákból és a dokumentációból. Ezeket az alkotóelemeket bármilyen sorrendben lehet használni egy alkalmazás létrehozásánál. Az alkalmazás mindegyik részének a fejlesztése különálló szerkesztőkkel történik, amelyek lehetővé teszik azt, hogy a fejlesztés szisztematikusabb és az eredmények világosabbak legyenek. A TwidoSoft grafikai fejlesztő környezet a következő szerkesztőket kínálja: az utasításlista és létranyelvi szerkesztőt, a konfigurációs szerkesztőt, a változó szerkesztőt szimbólumokkal, az animációs táblázat szerkesztőt, létranyelvi, keresztzhivatkozást, és a programhiba kijelzőket.

A Twido típusú programozható logikai vezérlők konfigurálása, a vezérlő hardver és szoftver forrásainak kiválasztásából áll. Ezek a források bármikor konfigurálhatók egy program létrehozásánál.

- A hardver-források a következők lehetnek: processzor alapegység, diszkrét és analóg I/O bővítő modulok, opciós modulok, távoli vezérlők.

- A szoftver-források konfigurálható és nem konfigurálható funkcióblokkokból állhatnak. A funkcióblokkok olyan cím blokkok, amelyeket a gyártó cég fejlesztett ki és a memóriában jönnek létre. Ezeket a speciális funkciókat, mint pl. időzítők, számológatok, stb. az alkalmazási program felhasználja.

A TwidoSoft-al történő vezérlő program (felhasználói program) készítéséhez az alábbi fontosabb tudnivalók szükségesek: TwidoSoft-al a vezérlő

program készítése kétféle programnyelven történhet, utasításlista-, (IL/AWL) és létranyelven (LD/KOP). A kiválasztandó programnyelv, csupán preferencia kérdés és nem befolyásolja az alkalmazást. Mind az IL-, mind az LD-nyelvel a felhasználói program készítése megfelelő logikai sorrendben történik. A felhasználói program dokumentálható és megjegyzésekkel lehet ellátva. LD- és IL- nyelvek automatikusan egymásba átkonvertálhatók.

Az IL nyelvel megírt felhasználói program utasítások sorozatából áll, amelyeket a programozható logikai vezérlő sorrendben hajt végre. Mindegyik utasítást egyetlen programsor reprezentál. Az utasítás három elemből áll: a sor-számból, utasítás kódjából, változóból.(operandusból) Normál esetben megkülönböztethetünk logikai /boolean/ és numerikus műveleteket.

1.1.1. Az utasításkódok felsorolása ezek rövid értelmezéseivel

LD, LDN, LDR, LDF: egy bit állapot beolvasása munkaregiszterbe direkt, inverz, felfutó és lefutó éllel,

ST, STN: kimenet írása direkt, inverz, beírtan és töröltén,

S, R: kimenet „H”(magasba), „L”(alacsonyba) állítása, illetve törlése,

AND, ANDN, ANDR, ANDF: logikai **ÉS** direkt, inverz, felfutó- és lefutó éllel,

OR, ORN, ORR, ORF: logikai **VAGY** direkt, inverz, felfutó és lefutó éllel,

XOR, XORN, XORR, XORF: logikai **KIZÁRÓVAGY** direkt, inverz, felfutó és lefutó éllel,

LD(AND,OR): zárójelek nyitása, illetve lezárása (8 egymásba ágyazási szint engedélyezett),

N: negálás,

MPS, MRD, MPP: memóriakezeles divergenciával a kimeneti bitek felé,

NOP: nem operatív utasítás,

END, ENDC, ENDCN: program vége feltétellel nélküli és feltételes esetekben.

1.1.2. Fontosabb változók felsorolása:

%I/Qx,y: diszkrét be-, kimeneti bitek („x” a készülék számot, ami a vizsgálata-toknál „0”, „y” a diszkrét bemeneti ill. kimeneti csatornát jelent),

%Mi: belső marker bitek (0...i...255),

%Si: belső rendszerbitek (0...i...255),

%TMI: időzítők (0...i...31) /0...9999/

%Ci: számlálók (0...i...15) /0...9999 /

%VFC: nagyon gyors számláló (20 kHz),

%FC: gyors számláló (5 kHz),

%IW x.y.z: analóg bemenetek (x:készülékszám, y:modulszám, z:csatornaszám), A mérésnél a TWD AMM 3HT típusú analóg modul

esetén a két analóg bemenet az alábbi változóként kezelendő:
IW0.1.0 ill. IW0.1.1. (A készülékszám 0, az analóg modul címe 1, a processzor alapmodul címe 0).

%Qw.x.y.z: analóg kimenetek (x: készülékszám, y: modulszám, z: csatorna-szám), A mérésnél az analóg modulon található analóg kimenet az alábbi változóként kezelendő: QW 0.1.0.

%MWi: szómarkerek (0...i...1023),

%KWi: szó konstansok (állandók) (0...i...63),

%SWi: belső rendszer szavak (0...i...127).

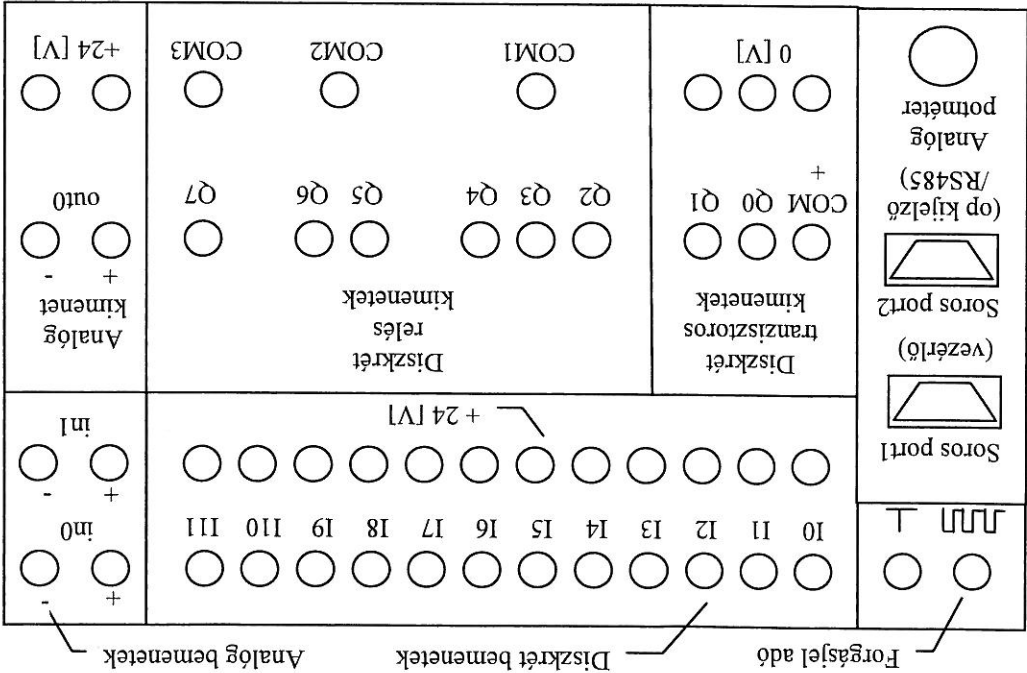
Az LD nyelven megírt vezérlőprogram létráfókokba szervezett, grafikai elemek hálózataiból áll, amelyet a programozható logikai vezérlő a rendszer-programmal vezérelten sorrendben végrehajt. A létradiagram egy létraprogram grafikai reprezentációja, amely egy reles logikai diagramhoz hasonlít. Mind-egyik létrafók egy programozási rácsba rendezett, be-, kimeneti grafikai elemek hálózataiból áll. A grafikai elemek az alábbiakat jelentik meg: a programozható logikai vezérlő be- kimenetét, funkcióblokkokat -mint pl. időzítőket, számlálókat, a vezérlő belső változóit - mint pl. marker biteket-. Bemeneti oldali elemek „H” (magas) szintjét alapállapotban nyitott (NO) kontaktussal, lo-gikai „L” (alacsony) szintjét alapállapotban zárt kontaktussal (NC), valamint el-kontaktusokkal jellemzik. A kimeneti oldali elemeket tekercs állapottal jelle-meznek, amelyek lehetnek direkt, inverz, betrók (S) és törölt (R).

2. Feladatok

A feladatokhoz tartozó PLC felhasználói programok elkészítése előtt végezze el a Twidosoft fejlesztő program *Hardware* menüpontjában, a mérés-ben szereplő egységek (processzor alapegység, analóg modul) hardver konfigurációját!

1. A Twido PLC IO és II diszkrét bemenetinek „ES” (AND) kapcsolata-val az ATV31 típusú frekvenciaváltó kétvezetékes vezérlési üzemmódjában (TCC = 2C) valóstísa meg a háromfázisú aszinkronmotor előre forgatását, az I2 és I3 diszkrét bemenetek „VAGY” (OR) kapcsolatával, az aszinkron-motor hátraforgatása a megoldandó feladat! Az ATV31 típusú frekvenciaváltó

L1 és L2 logikai bemenetait a Twido PLC Q0 és Q1 diszkrét kimeneteiről vezérelje!



1. ábra. A Twido típusú PLC laboratóriumi kezelő felülete

2. A Twido PLC I4 diszkrét bemenet használatával [I4=L (alacsony szint-nél) LSP, I4=H (magas szintnél) HSP] az ATV31 típusú frekvenciaváltó két-vezetékű vezérlési üzemmódjában (TCC = 2C) állítson elő két előre rögzített frekvenciát (PS2) ill. ezzel szorosan összefüggő motor fordulatszámot! Az egyik rögzített frekvencia SP1=alapjel, a másik rögzített frekvencia SP2=45 Hz legyen! A motor előre forgató indítását az I2 diszkrét bemenetről végezze! A motor csak előre forgathat. A feladatnál alkalmazott ATV31 típusú frekvenciaváltó logikai bemenetét a Twido PLC Q3 diszkrét kimeneti csatornájáról vezérelje!

3. A Twido típusú PLC I5 és I6 diszkrét bemeneteinek 00, 01, 10, 11 kombinációival az ATV31 típusú frekvenciaváltó kétvezetékű üzemmódjában állítson elő négy előre rögzített frekvenciát (PS4), ill. ezzel szorosan összefüggő motor fordulatszámot! A motor előre forgatását a PLC I2 diszkrét-

rét bemenetéről, a hátraforgatását az I3 bemenetéről vezérelje! Az előre rögzített frekvenciák az alábbiak legyenek:

SP1 = LSP	SP2=20Hz	SP3= 35 Hz	SP4=HSP
-----------	----------	------------	---------

Az ATV31 típusú frekvenciaváltó L11, L12, L13, és L14 logikai bemenetait a TWIDO típusú PLC Q2, Q3, Q4 és Q5 relés kimenetéről vezérelje!

4. A Twido típusú PLC I4, I5, I6 diszkrét bemeneteknek 8-féle kombinációjával az ATV31 típusú frekvenciaváltó kétvezetékes üzemmódjában (TCC = 2C) állítson elő nyolc előre rögzített (PS8) frekvenciát, ill. ezzel szorozva a motor fordulatszámot! A motor előre forgatását a PLC I2 diszkrét bemenetéről, a hátraforgatását az I3 bemenetéről vezérelje! Az előre rögzített frekvencia értékek az alábbiak legyenek:

SP1 = 0 Hz	SP3 = 15 Hz	SP5 = 25 Hz	SP7 = 30 Hz
SP2= 35 Hz	SP4 = 38 Hz	SP6 = 45 Hz	SP8 = 50 Hz

A rögzített frekvenciák kiválasztásához az ATV31 típusú frekvenciaváltó L13,L14,L15 logikai bemenetait vezérelje a TWIDO típusú PLC-vel! A feladat megoldásához szükséges ATV31 típusú frekvenciaváltó logikai bemenetait a Twido típusú PLC Q2, Q3, Q4, Q5 és Q6 relés kimeneti csatornáival vezérelje!

5. A Twido típusú PLC I4, I5, I6, I7 diszkrét bemeneteknek 16 féle kombinációjával az ATV31 típusú frekvenciaváltó kétvezetékes üzemmódjában (TCC = 2C) állítson elő tízenhat előre rögzített (PS16) frekvenciát, ill. ezzel szorozva a motor fordulatszámot! A motor előre forgatását a PLC I1 diszkrét bemenetéről, a hátraforgatását az I2 bemenetéről vezérelje!

Az előre rögzített frekvencia értékek az alábbiak legyenek

SP1 = 0Hz	SP2 = 6 Hz	SP3 =8 Hz	SP4 = 12 Hz
SP5= 16 Hz	SP6 = 21 Hz	SP7 = 24Hz	SP8 = 31 Hz
SP9= 34 Hz	SP10 = 37 Hz	SP11 = 39 Hz	SP12 = 42 Hz
SP13 = 44Hz	SP14 = 46 Hz	SP15 = 48 Hz	SP16 = 50 Hz

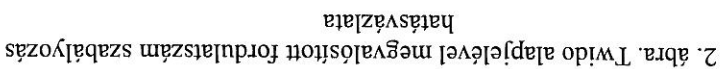
A rögzített frekvenciák kiválasztásához az ATV31 típusú frekvenciaváltó L13, L14, L15, L16 logikai bemenetét vezérelje a TWIDO típusú PLC-vel! A feladat megoldásához szükséges ATV31 típusú frekvenciaváltó logikai bemenetét a Twido típusú PLC Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 és Q7 diszkrét relés kimeneti csatornáival vezérelje!

6. A Twido típusú PLC I5 diszkrét bemenetéről az ATV31 típusú frekvenciaváltó kétvezetékes üzemmódjában valósítsa meg a motor léptetéses üzemmódját! (JOG) A léptetési üzemmód alapjele (JFG) 8 Hz legyen! A motor előre, és hátra forgatását a PLC I1 és I2 diszkrét bemeneteiről vezérelje! A mérésnél a frekvenciaváltó logikai bemeneteinek a vezérlését teljesítőlegesen választott PLC kimenetekkel valósíthatja meg!

7. A Twido típusú PLC I0 és I1 diszkrét bemeneteinek „KIZÁRÓVAGY” (XOR) kapcsolatainak teljesüléséről indítva 2s késleltetéssel az ATV31 típusú frekvenciaváltó kétvezetékes vezérlési üzemmódjában (TCC=2C), valósítsa meg a háromfázisú aszinkronmotor előre forgatását, az I2 és I3 diszkrét bemenetek „NEMÉS” (NAND) kapcsolatainak teljesítéséről indítva 3 s késleltetéssel az aszinkronmotor hátraforgatása a megoldandó feladat! Az ATV31 típusú frekvenciaváltó L11 logikai bemenetét a Twido PLC Q0, az L12 logikai bemenetét a Q1 diszkrét tranzisztoros kimeneti csatornáiról vezérelje!

8. A Twido típusú PLC I0 és I1 diszkrét bemeneteinek „NEMVAGY” (NOR) kapcsolataival, az ATV31 típusú frekvenciaváltó háromvezetékes vezérlési üzemmódjában (TCC = 3C), valósítsa meg a háromfázisú aszinkronmotor előre forgatását! Az I2 és I3 diszkrét bemenetek „ÉS” (AND) kapcsolataival, az aszinkronmotor hátraforgatását, az I4 diszkrét bemenettel a motor leállítását (STOP) végezze! A feladat megoldásánál a frekvenciaváltó logikai bemenetét a Twido típusú PLC Q5, Q6 és Q7 relés kimeneti csatornáival vezérelje!

9. A Twido típusú PLC I4 és I5 diszkrét bemeneteinek „NEMVAGY” (NOR) kapcsolatainak teljesítésétől indítva 2,5 s késleltetéssel valóstítsa meg az ATV31 típusú frekvenciaváltó háromvezetékes vezérlési üzemmódjában (TCC=3C) a háromfázisú aszinkron- motor előre forgatását! Az I7 és I8 diszkrét bemenetek „ÉS” (AND) kapcsolatainak teljesítésétől indítva 3,5 s késleltetéssel az aszinkronmotor hátraforgatását, az I0 diszkrét bemenettel a motor leállítását (STOP) végezze! A feladat megoldásánál a frekvenciaváltó L11, L12, L13 logikai bemeneteit a Twido típusú PLC Q0, Q1 tranzisztoros-, és a Q2 relés diszkrét kimeneti csatornáival vezérelje!
10. Végezzen a Twido típusú PLC tetszőlegesen választható diszkrét bemenetivel háromvezetékes vezérlési üzemmódban (TCC=3C) logikai bemenetről vezérelten (RPC/RPS) meredekség átkapcsolásos motor-működtestést! Az aszinkronmotornál előre, hátra mozgatas mellett és leállítást (STOP) is biztosítani kell! A lineáris típusú meredekségű időökkel történő vezérléssel meredekség átkapcsolást az alábbi meredekségű időökkel végezze: ACC=10 s, DEC=12 s! Az ATV31 típusú frekvenciaváltó mere-dekség átkapcsolását végző L14 logikai bemenetét a Twido típusú PLC Q7 relés diszkrét kimeneti csatornáival vezérelje! A motor előre, hátra forgatását a Q0 és Q1 tranzisztoros-, a motor leállítását a Q4 relés kimenetről vezérel-je!
11. Végezzen a Twido típusú PLC tetszőlegesen választható diszkrét beme-netivel két vezetékes vezérlési üzemmódban (TCC=2C) meredekség váltási frekvenciával vezérelten (RPC/FRT) meredekség átkapcsolásos motor-működtestést! Az aszinkronmotornál előre, hátra mozgatas biztosítani kell! A lineáris típusú meredekségű frekvenciával történő átkapcsolást az alábbi meredekségű időökkel végezze: ACC=7 s, DEC=10 s! Az ATV31 típusú frekvenciaváltónak az aszinkronmotor az előre és hátra forgatását vezérő L11 és L12 logikai bemeneteit a Twido típusú PLC Q2 és Q3 relés kimeneti csatornáival vezéreljék!
12. Végezzen a Twido típusú PLC tetszőlegesen választható diszkrét beme-netivel háromvezetékes vezérlési üzemmódban (TCC=3C) logikai beme-netről vezérelten (RPC/RPS) meredekség átkapcsolásos motor-működtestést! Az aszinkronmotornál előre, hátra mozgatas mellett leállítást (STOP) is biz-tosítani kell! A lineáris típusú meredekségű (RPT) az ATV31 típusú frek-venciaváltó L14 logikai bemenetéről történő vezérléssel meredekség átkap-



110

8. SZABÁLYOZÁSI KÖRÖK ÉRTÉKTARTÁSA ÉS ÉRTÉKKÖVETÉSE

A szabályozási körök működésével szemben támasztott követelmények egyik lényeges része a pontosság. A vizsgálat során megismertjük a 0, 1 és 2 típusú szabályozási köröknel fellelő különféle típusú zavarások hatására, ill. a különféle alapjелек követése esetén fellelő szabályozási hibák jellegét és nagyságát, valamint ezek csökkentésének módszereit.

1. Elméleti alapok

A szabályozási köröknek azt az alapvető feladatát, hogy a szabályozott jellemzőt előírt módon tartsák vagy változtassák, különféle körülmények és hatások mellett kell biztosítaniuk úgy, hogy a működésük stabil legyen, a szabályozási hiba minél kisebb legyen és feleljenek meg bizonyos minőségi követelményeknek is.

Az értéktartó szabályozás feladata az, hogy hiba nélkül, vagy minél kisebb hibával tartsa a szabályozott jellemzőt az előírt értékben, az alapértéken a szabályozási kört őrő zavarások ellenére.

A követő szabályozás feladata az, hogy a zavarások mellett is a különféle változási sebességu alapjелек hiba nélkül, vagy minél kisebb hibával kövesse a szabályozott jellemzőt.

Az értéktartó szabályozásoknál tehát a zavarélelhárítási tulajdonságok, az értékkövető szabályozásoknál a zavarélelhárítási és a követési tulajdonságok is fontosak, mivel zavarások bármilyen szabályozás esetén felléphetnek!

Fontos megjegyezni, hogy a szabályozások nem a zavarásokat, hanem csak a hatásukat képesek csökkenteni, ill. megszüntetni!

A szabályozási körök értéktartási és értékkövetési tulajdonságai a struktúrájuktól és a paraméterektől függenek. Ezekben belül a felnyitott körben lévő tagok eredő átviteli függvénye, a hurokátviteli függvény a meghatározó, ugyanis ennek két paramétere határozza meg alapvetően a szabályozási hiba állandósult állapotbeli értékét.

Az egyik paraméter a tpo típusszám, ami a hurokban sorosan lévő integráló tagok számát jelenti. Matematikailag a hurokátviteli függvény nevezőjéből szabadon kiemelhető s-nek a hatványkitevője.

A másik paraméter a K_0 hurokkerősítés (vagy körerősítés), ami a hurokban sorosan lévő tagok átviteli tényezőinek eredője (szorzata).

A hurokátviteli függvény általános alakja:

$$G_0(s) = \frac{S}{K_0} G_0^*(s)$$

<1.>

Az összefüggés egysegnyi integrálási idő(k) esetén érvényes, ha ez(ek) nem egysegnyi értékű(ek), akkor az(oka)t a hurokerősítésbe be kell számítani (reciprok értékek)!
A gyakorlatban 0, 1 és 2 típusú szabályozásokat alkalmaznak, ugyanis 2-nél nagyobb típusszám esetén komoly stabilitási problémák lépnek fel!

A hurokátviteli függvényben a $G_0^*(s)$ olyan függvény, amelynél

$$\lim_{s \rightarrow 0} G_0^*(s) = 1$$

<2.>

ami azt jelenti, hogy állandósult állapotban ez nem érezeti hatását, csak a transziensten!

A típusszám negatív nem lehet, u.is ez azt jelentené, hogy a hurokban sorosan differenciáló tag(ok) lenné(nek), ez pedig megengedhetetlen, mivel állandósult bemeneti jele esetén a differenciáló tag megszakítja a jel terjedését!

A hurokban az előrevetítő ágban csak arányos és integráló tagok, a visszacsatoló ágban pedig csak arányos tagok lehetnek!

Fontos megjegyezni, hogy a zárt szabályozási körök eredő átviteli függvénye vizsgált a típusszám bármekkora értéke mellett is csak arányos lehet, mivel az integráló hatást az arányos taggal való negatív visszacsatolás megszünteti!

Az is fontos, hogy a zárt szabályozási körök eredő átviteli tényezője legfeljebb 1 lehet (az 1 és a 2 típusú szabályozásoknál 1, a 0 típusú szabályozásoknál kisebb, mint 1)!

A szabályozásoknak mind az érték tartási, mind pedig az értékkövetési tulajdonságai javíthatók a típusszám és a hurokerősítés növelésével, bár a stabilitás ezáltal általában romlik!

A szabályozási hiba (y_h) a szabályozott jellemző előírt értéke, az alapérték (y_d) és a szabályozott jellemző aktuális értéke (y) közti különbség:

$$y_h = y_d - y$$

<3.>

Az alapértéket a szabályozási kör alapjével lehet beállítani. Ha a szabályozott jellemző aktuális értéke megegyezik az alapértékkel, akkor a hibajel nulla, ugyanakkor a rendelkező jel is nulla lesz.

Ha a szabályozott jellemző aktuális értéke eléri az alapértéktől, a hibajel is nullától különböző lesz. Ez azt jelenti, hogy a hibajel és a rendelkező jel között szoros összefüggés van!

A szabályozási köröknél előforduló visszacsatolások sokféle lehetnek, a leggyakrabban a merev, a tiszta arányos és az egytárolós arányos taggal való (ill. az ezekkel közelíthető) visszacsatolások találhatók. Merev visszacsatolás esetén a hibajel és a rendelkező jel minden időpillanatban megegyezik egymással, az alapjel és a szabályozott jellemző azonos dimenziójú mennyiség! Merev visszacsatolást elsősorban követő szabályozásoknál alkalmazzunk.

Tiszta arányos taggal való visszacsatolás esetén a hibajel minden időpillanatban arányos a rendelkezőjellel, az alapjel és a szabályozott jellemző általában különböző dimenziójú mennyiség! Ilyen visszacsatolások találhatók a folyamatvezérlésben és a szabályozásban.

Egytárolós arányos taggal való frekvenciafüggő visszacsatolás esetén a hibajel csak állandósult állapotban arányos a rendelkezőjellel a visszacsatolás teljesíthetése miatt, az alapjel és a szabályozott jellemző általában különböző dimenziójú mennyiség! Ilyen visszacsatolások találhatók a folyamatvezérlésben és a szabályozásban.

A szabályozási körök értéktartási és értékkövetési tulajdonságainak részletes vizsgálatához a zárt szabályozási kör eredő átviteli függvényei szükségesek.

1.1. Értéktartási tulajdonságok

Egy szabályozás értéktartási tulajdonságai a szabályozási körnek és annak a tag(ok)nak a típusszámától függ, amelyen keresztül a zavarás hat!

Ennek átviteli függvénye:

$$G_{y,d}(s) = \frac{K_{y,d}}{s} G_{y,d}(s) \quad (5)$$

<4>

ahol tpd a zavarás típusszáma.

Ha $tpo > tpd$, a szabályozás állandósult állapotban teljesen kiküszöböli a zavarás hatását.

Ha $tpo = tpd \geq 1$, a szabályozás állandósult állapotban a zavarás hatását a szabályozás nélkül eseten K_o -ad részére csökkenti.

Ha $tpo = tpd = 0$, a szabályozás állandósult állapotban a zavarás hatását a szabályozás nélkül eseten $(1 + K_o)$ -ad részére csökkenti.

Ha $tpo < tpd$, a szabályozás nem képes a zavarás hatását csökkenti.

A szabályozás nélküli eset akkor következne be, ha a szabályozási kör felnyitnánk!

A zavarás hatásának vizsgálatakor nulla alapjellet választunk az egyszerű-ség miatt, ekkor az alapérték is nulla! Ennek eredményeként a szabályozási hi-ba a szabályozott jellemző -1-szerese lesz:

$$y_h(t) = -y(t)$$

<5.>

1.1.1. A 0 típusú szabályozások állapotbeli hibája

tpd=0 esetén: $y_h(\infty) = -\frac{1+K_0}{K_0} d$

<6.>

tehát a szabályozás a zavarás hatását állandósult állapotban a szabályozás nél-küli eset $(1+K_0)$ -ad részére csökkenti, és mivel az $(1+K_0)$ a K_0 -nak bármekkora-értékénél 1-nél nagyobb szám, az állandósult állapotbeli hiba valóban ennek arányában csökken. K_0 csak pozitív szám lehet, mivel negatív szám esetén a visszacsatolás pozitívva válna!

<7.>

tehát a szabályozás a zavarás hatását nem képes csökkenti.

1.1.2. Az 1 típusú szabályozások állapotbeli hibája

tpd=0 (azaz a zavarás hatáspontja az integráló tag után van)

$$y_h(\infty) = 0$$

<8.>

tehát a szabályozás a zavarás hatását állandósult állapotban nullára csökkenti.

tpd=1 (azaz a zavarás hatáspontja az integráló tag előtt van)

$$y_h(\infty) = -\frac{K_{vd}}{K_0} d$$

<9.>

tehát a szabályozás a zavarás hatását állandósult állapotban a szabályozás nél-küli eset K_0 -ad részére csökkenti. Ez azonban csak akkor igaz, ha $K_0 > 1$, ellen-kező esetben ugyanis növeli a hibát!

tpd>1 esetén:

$$y_h(\infty) = -\infty$$

<10.>

tehát a szabályozás a zavarás hatásán nem képes csökkenti.

1.1.3. A 2 típusú szabályozások állapotbeli hibája

$tpd=0$ (azaz a zavarás hatásponlya a 2 integráló tag után van) esetén:

$$y_2(\infty) = 0 \quad <11.>$$

$tpd=1$ (azaz a zavarás hatásponlya a 2 integráló tag között van) esetén:

$$y_2(\infty) = 0 \quad <12.>$$

tehát mindkét esetben a szabályozás a zavarás hatását állandósult állapotban nullára csökkenti.

$tpd=2$ (azaz a zavarás hatásponlya a 2 integráló tag előtt van) esetén:

$$y_2(\infty) = -\frac{K_{vd}}{K_0} d \quad <13.>$$

tehát a szabályozás a zavarás hatását állandósult állapotban a szabályozás nélküli eset K_0 -ad részére csökkenti ($K_0 > 1$ esetén!)

$tpd > 2$ esetén:

$$y_2(\infty) = -\infty \quad <14.>$$

tehát a szabályozás a zavarás hatását nem képes csökkenteni.

Az összefüggésekben a „ d ” az egységugrás zavarás amplitúdója.

Az előzőek alapján megállapítható, hogy egyrészt az állandósult állapotbeli hiba csökkenthető a szabályozás típusszámának és a hurokerősítésének növelésével, másrészt az, hogy a zavarás hatása mindig nagyobb, ha hatásponlya az integráló tag(ok) előtt van!

1.2. Értékkövetési tulajdonságok

A szabályozások értékkövetési tulajdonságainak vizsgálatakor a zavaró jellemző(ke)t nullára választjuk az egyszerűség miatt!

A követési tulajdonságok – az értéktartási tulajdonságoktól eltérően – függenek a visszacsatoló tag jelátviteli tulajdonságaitól! Ennek okán a vizsgálatokat egyrészt frekvenciátíleggelen visszacsatolásnál, másrészt frekvenciátíleggelen visszacsatolásnál is elvégezzük. Az utóbbi esetben a visszacsatoló tag egytárolós arányos tag.

1.2.1.A 0 típusú szabályozások állapotbeli hibája

mind frekvenciafüggően, mind pedig frekvenciafügő visszacsatolásnál:

- egységugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = \frac{r}{1+K_0}$ <15.>
 sebességugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = \infty$ <16.>
 gyorsuláslugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = \infty$ <17.>

tehát a 0 típusú szabályozások a visszacsatoló tag jelátviteli tulajdonságaitól függetlenül állapotban véges hibával tudják követni az egységugrás alapjelét, és nem tudják követni a sebességugrás és a gyorsuláslugrás alapjeleket.

1.2.2. Az 1 típusú szabályozások állapotbeli hibája

frekvenciafüggően visszacsatolásnál:

- egységugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = 0$ <18.>
 sebességugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = \frac{K_0}{r'}$ <19.>
 gyorsuláslugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = \infty$ <20.>

egyfáras arányos taggal való frekvenciafügő visszacsatolásnál:

- egységugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = 0$ <21.>
 sebességugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = r' \left[\frac{1}{K_0} - T' \right]$ <22.>
 gyorsuláslugrás alapjel esetén: $y_h(\infty) = \infty$ <23.>

tehát az 1 típusú szabályozások frekvenciafüggően és egyfáras arányos taggal való frekvenciafügő visszacsatolásnál állapottan hiba nélkül tudják követni az egységugrás alapjelét, véges hibával tudják követni a sebességugrás alapjelét (ez a frekvenciafügő visszacsatolásnál $1/K_0=T'$ esetén nulla lesz!), és nem tudják követni a gyorsuláslugrás alapjelét.

1.2.3. A 2 típusú szabályozások állapotbeli hibája

frekvenciafüggően visszacsatolásnál:

<24>	egységugrás alapjel esetén:	$y_h(\infty) = 0$
<25>	sebességugrás alapjel esetén:	$y_h(\infty) = 0$
<26>	gyorsulásugrás alapjel esetén:	$y_h(\infty) = \frac{K_0}{p}$

egytárolós arányos taggal való frekvenciafüggő visszacsatolásnál

<27>	egységugrás alapjel esetén:	$y_h(\infty) = 0$
<28>	sebességugrás alapjel esetén:	$y_h(\infty) = -r^{-1}T$
<29>	gyorsulásugrás alapjel esetén:	$y_h(\infty) = -\infty$

tehát a 2 típusú szabályozások frekvenciafüggően visszacsatolásnál állandósult állapotban hiba nélkül követni az egységugrás és a sebességugrás alapjeleket, végges hibával tudják követni a gyorsulásugrás alapjelet, míg egytárolós arányos taggal való frekvenciafüggő visszacsatolásnál hiba nélkül tudják követni az egységugrás alapjelet, végges hibával a sebességugrás alapjelet, és nem tudják követni a gyorsulásugrás alapjelet.

Az összefüggésekben az r az egységugrás alapjel amplitúdója, az r^{-1} a sebességugrás alapjel meredeksége és a $0,5 \cdot r^{-1}$ a gyorsulásugrás alapjel „mere-deksége”, T pedig a visszacsatolásban lévő egytárolós arányos tag időállandója.

Az előzőek alapján megállapítható, hogy egyrészt az állandósult állapotbeli hiba csökkenthető a szabályozás típusszámának és a hurokerősítésének növelésével, másrészt az, hogy a követési tulajdonságok – egy kivételtől eltekintve – nem javulnak, sőt bizonyos esetekben romlanak, ha a visszacsatolás frekvenciafüggő.

Fontos megjegyezni, hogy mivel a szabályozási hiba fikatív jel, és így a szabályozási körben sehol sem mérhető, az értéktartási tulajdonságok vizsgálatakor a szabályozott jellemzőt, az értékkövetési tulajdonságok vizsgálatakor pedig a rendelkezőjelet kell mérésrel felvenni a szabályozási hiba meghatározásához!

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

A vizsgálatok többféle módszerrel és eszközzel végezhetők el:

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1.) matematikai módszerekkel | - számítógéppel, különféle prog-ramok felhasználásával, |
| 2.) mérés technikai módszerekkel | - elektronikus modellezővel, X-Y regisztrálóval, |
| 3.) mérés technikai módszerekkel | - fizikai rendszerekkel, X-Y regisztrálóval. |

A vizsgálatokat az 1.) módszerrel végezzük el, mivel adott idő alatt a legnagyobb variációs lehetőség és a legtöbb feladat elvégzése csak így lehetséges.

A feladatok elvégzéséhez a MATLAB program ismerete és kezelése szükséges, mely az Automatika I. laboratórium című jegyzetben (BMF KVK 2042) található meg.

A PID szabályozó átviteli függvényének Európában szokásos alakja:

$$G(s) = K \left[1 + \frac{1}{sT_i} + sT_D \right] = K + \frac{sT_i}{K} + sKT_D$$

A MATLAB programban azonban az USA szabványai szerinti alakja ettől eltérő:

$$G(s) = K_c + \frac{s}{K_i} + sKT_D$$

A két közötti lényeges különbség az, hogy a különböző struktúrák miatt a 30. összefüggésből láthatóan a PID szabályozó K arányos átviteli tényezője és a T_i integrálási (ill. a T_D differenciálási) ideje egymástól függetlenül állítható be, míg a MATLAB programban ez nem lehetséges!

A két összefüggés összevetéséből adódóan:

$$\begin{aligned} K &= K_c \\ T_i &= \frac{K}{K_i} = \frac{K_i}{K_c} \\ T_D &= \frac{K}{K_D} = \frac{K_c}{K_D} \end{aligned}$$

Ezen összefüggések alapján belátható, hogy ha a hurokerősítést a PID szabályozó K_C arányos átviteli tényezőjével úgy akarjuk növelni/csökkeníteni, hogy az integrálás (ill. a differenciálás) időt nem akarjunk megváltoztatni, akkor ennek érdekében ugyanolyan arányban kell a K_I integrál (ill. a K_D differenciál) átviteli tényezőt növelni/csökkeníteni!

A feladatok elvégzése során úgy kell megválasztani a szimuláció időtartamát, hogy az állandósult állapot gyakorlatilag bekövetkezzék, de túl nagy se legyen ez az időtartam!

A feladatoknak megfelelő blokkokból kialakított szabályozási köröket paraméterezésük után célszerű elmenteni.

A gerjesztő jeleket, tehát a különféle alapjeleket és zavaró jellemzőket gondosan kell paraméterezni! Ez különösen fontos a sebességugrás és a gyorsulásugrás jelek esetén, tehát mindig csak olyan meredekségű ill. változó sebességu jeleket kell használni, amelyek mellett a mérendő jelnek mind az átmeneti, mind pedig az állandósult állapot is meglegyen, azaz úgyelni kell arra, hogy az állandósult állapot még a szimulációs időtartamon belül gyakorlatilag bekövetkezzék!

Há a szabályozási kör a beállított paraméter-értékek mellett leng, tehát működése nem stabil, megfelelő kompenzálassal stabilizálni kell, ugyanis e nélkül nem lehet a feladatokat elvégezni!

A kompenzálást mindig a szabályozó paramétereinek megfelelő megváltoztatásával kell elvégezni, a szabályozási kör többi tagjának sem a struktúráját, sem pedig paramétereit nem szabad megváltoztatni!

Úgyelni kell arra is, hogy a szabályozások értéktartási tulajdonságainak vizsgálatakor az alapjel, míg értékkövetési tulajdonságainak vizsgálatakor minden egyes zavaró jellemző értéke 0 legyen!

A szabályozások értéktartási tulajdonságainak vizsgálatára esetén a zavaró jellemzőt és a szabályozott jellemzőt kell megjelölni! Az alapjel megjelölése ilyenkor felesleges, hiszen az 0! A rendelkezőjel is megjelölhető, de a kiértékeléshez nem kell.

A szabályozások értékkövetési tulajdonságainak vizsgálatára esetén az alapjel, a szabályozott jellemzőt és a rendelkezőjelet kell megjelölni!

Fontos, hogy az eredmények kiértékelésekor a kinyomtatott ábrakon ezeket a jeleket az azonosításuk érdekében meg kell jelölni! Az ábrák számozása kövesse a feladatokat!

A feladatoknál szamszerűen elő nem írt paraméterek értékeit az oktató adja meg, a többi a vizsgálatokat végzőnek kell megadnia az adott feladatnak megfelelően!

A feladatokról beállított paraméter-értékeket és minden adatot mindig le kell írni a jegyzőkönyvbe!

A szabályozási hibák meghatározása során kapott eredményeket az ott-hon előre elkészített táblázatban kell rögzíteni! A táblázat 1. oszlopában a feladat azonosító száma, 2. oszlopában a számításhoz szükséges összetűgés, 3. oszlopában az összetűgésben szereplő összes mennyiség számszerű értéke (behelyettesítés), 4. oszlopában a hiba számított értéke, 5. oszlopában pedig a kinyomtatott függvények alapján meghatározott mért értéke szerepeljen!

3. Feladatok

1. A 0 típusú szabályozási körök vizsgálata

1.1. A Simulink Library Browser-ben a megfelelő blokkok kiválasztásával al-
litsunk össze egy szabályozási kört az 1. ábrán látható összeállításban!

A különbségképző után egy PID szabályozó legyen! A PID szabályozót P típusúra kell konfigurálni ($K_I=0$, $K_D=0$)!

Ezután egy összegző legyen, majd pedig a szakasz! A szakasz 3 tárolós arányos tag legyen, amelyet egy 2 tárolós arányos tag és egy 1 tárolós arányos tag soros kapcsolásával kell megvalósítani! A 2 tárolós arányos tag átviteli té-
nyezőjének értékét 2-re, az 1 tárolósát 1-re állítsa be!

A szakasz után egy újabb összegző legyen! A 2 összegző lehetőséget ad arra, hogy a szabályozási kört 2 helyen érhesse zavarás: a szabályozó és a sza-
kasz között és a szakasz után.

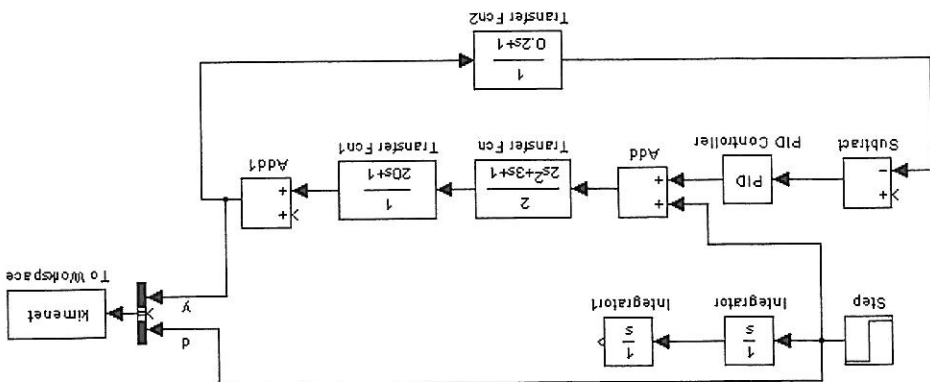
A 2. összegző kimenetén megjelenő jel a szabályozott jellemző. Ezt kell visszacsatolni a feladatoknak megfelelően vagy egy tiszta arányos taggal, vagy pedig egy egytárolós arányos taggal. Az egytárolós arányos tag átviteli ténye-
zőjét állítsa 1-re!

A merev visszacsatolással egyenértékű egy tiszta arányos tag, melynek átviteli
tényezője: $K_r=1$.

Az alapjelek és a zavaró jellemzők előállításához egy forrás-blokkot és az ezzel sorbakapcsolt 2 integráló-blokkot kell felvenni, így mind az alapjelek, mind a zavaró jellemzők alkalmazása esetén létrehozható az egyösszegű, a se-
bességű és a gyorsulásszerű jel! Mind a 2 integrátor integrálási ideje 1 s (nem állítható)!

A megfelelő jelek megjelenítéséhez a To Workspace és egy Bus Creator-
blokkot kell felvenni, melyet 3 bemenetűre kell konfigurálni!

1. ábra. A szabályozási kör blokkvázlata



A feladatoknál mindig csak azokat a blokkokat kell bekötni, amelyek az adott feladathoz szükségesek!

Az összeállított szabályozási kör megfelelő blokkjait paraméterezze az oktató által megadott értékekre!

Nyomtassa ki a szabályozási kört!

Az értéktartási tulajdonságok vizsgálata

1.2. Vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, egységnyi zavarást adva a szabályozási körre először a szabályozó után, másodszor a szabályozó előtt, először se-

1.3. Vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, először se-

besszűrés, majd gyorsulásszűrés zavarást adva a szabályozási körre a szakasz után!

1.4. Vegye fel az előírt függvényeket egytárolós arányos tagból álló visszacsatolás mellett, egységnyi zavarást adva a szabályozási körre a szakasz után!

1.5. Állítsa be a P szabályozó átviteli tényezőjét a felére, majd vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, egységnyi zavarást adva a szabályozási körre a szakasz után!

Az értékkövetési tulajdonságok vizsgálata

1.6. Állítsa vissza a P szabályozó átviteli tényezőjét az eredeti értékére, majd vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, először egység-

ugrás, másodsor sebecségugrás, harmadszor gyorsulásugrás alapjélet adva a szabályozási körre!

1.7. Vegye fel az előírt függvényeket egytárolós arányos tagból álló visszacsatolás mellett, egysegugrás alapjélet adva a szabályozási körre!

1.8. Állítsa be a P szabályozó átviteli tényezőjét a felére, majd vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, egysegugrás alapjélet adva a szabályozási körre!

2. Az 1 típusú szabályozási körök vizsgálata

2.1. Az 1.1. pontban összeállított szabályozási kört változtassa meg úgy, hogy a szabályozó PI típusú legyen!

Á PI szabályozó paramétereit, az arányos átviteli tényezőjét és az integrá-lási idejét állítsa be úgy, hogy a szabályozás stabil és minőségileg is elfogadha-tó legyen (célszerű $K_C=2$ és $K_I=0,1$ értékekkel kezdeni)!

Á kompenzált egytárolós arányos taggal való visszacsatolás alkalmazá-sa mellett végezze el (u.is ekkor kritikusabb a stabilitás)!

Az értéktartási tulajdonságok vizsgálata

2.2. Végezze el az 1.2. pontbeli feladatot!

2.3. Végezze el az 1.3. pontbeli feladatot!

2.4. Állítsa be a PI szabályozó arányos átviteli tényezőjét (és a K_I -t is!) a felére, majd vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, sebecség-ugrás zavarást adva a szabályozó után!

2.5. Az 1.1. pontban összeállított szabályozási kört változtassa meg úgy, hogy a szakasz egytárolós integráló legyen, tehát a 2 tárolós arányos tag blokkját pa-raméterezze át egy tiszta integráló taggá, és az integrálási időt állítsa be 4 s-ra!

Ekkor a szabályozó P típusú lesz, és így a szabályozási kör 1 típusú marad!

Nyomtassa ki a szabályozási kört!

2.6. Vegye fel az előírt függvényeket merev visszacsatolás mellett, először a P szabályozó átviteli tényezőjének eredeti, majd annak egynegyed értékénél egy-segugrás zavarást adva a szabályozási körre a szabályozó után!

2.7. Vegye fel az előírt függvényeket egytárolós arányos tagból álló visszacsatolás mellett, egysegugrás zavarást adva a szabályozási körre a szabályozó után

a P szabályozó átviteli tényezőjének eredeti értékénél!

Az értékkövetési tulajdonságok vizsgálata

2.8. A 2.1. pontbeli szabályozási körnél vegye fel az előírt függvényeket merév visszacsatolás mellett, először egyszerűsített, majd harmadszor egyszerűsített alapjellet adva a szabályozási körrel!
 2.9. Állítsa be a PI szabályozó arányos átviteli tényezőjét (és a K_I -t is!) a felére, majd vegye fel az előírt függvényeket merév visszacsatolás mellett, sebesség-ugrás alapjellet adva a szabályozási körrel!

3. A 2 típusú szabályozási körök vizsgálata

3.1. Az 1.1. pontban összeállított szabályozási kört változtassa meg úgy, hogy a szabályozó PI típusú legyen, a szakasz pedig egytárolós integráló legyen, tehát a 2 tárolós arányos tag blokkját paraméterezze át egy tiszta integráló taggá, és az integrálási időt állítsa be 4 s-ra!
 A PI szabályozó paramétereit állítsa be úgy, hogy a szabályozás stabil és minőségileg elfogadható legyen (célszerű $K_C=2$ és $K_I=0,02$ értékekkel kezdenni)!

A kompenzálást egytárolós arányos taggal való visszacsatolás alkalmazásával szemlélve végezze el!

Az értéktartási tulajdonságok vizsgálata

3.2. Végezze el az 1.2. pontbeli feladatot!
 3.3. Végezze el az 1.3. pontbeli feladatot!
 3.4. Vegye fel az előírt függvényeket merév visszacsatolás mellett, sebesség-ugrás, majd gyorsulásiugrás zavarást adva a szabályozási körrel!
 3.5. Vegye fel az előírt függvényeket egytárolós arányos tagból álló visszacsatolás mellett, sebesség-ugrás zavarást adva a szabályozási körrel!
 3.6. Állítsa be a PI szabályozó arányos átviteli tényezőjét (és a K_I -t is!) a felére, majd vegye fel az előírt függvényeket merév visszacsatolás mellett, sebesség-ugrás zavarást adva a szabályozási körrel!

Az értékkövetési tulajdonságok vizsgálata

3.7. Állítsa vissza a PI szabályozó paramétereit az eredeti értékeire, majd vegye fel az előírt függvényeket merév visszacsatolás mellett, először egyszerűsített

rás, másodsor sebességugrás, harmadsor gyorsulásugrás alapjelt adva a szabályozási körrel!

3.8. Vegye fel az előirt függvényeket egytárolós arányos tagból álló visszacsatolás mellett, sebességugrás alapjelt adva a szabályozási körrel!

3.9. Állítsa be a PI szabályozó arányos átviteli tényezőjét (és a K_i-t is!) a felére, majd vegye fel az előirt függvényeket merov visszacsatolás mellett, gyorsulásugrás alapjelt adva a szabályozási körrel!

4. Az értéktartási és az értékkövetési tulajdonságok kiértékelése

4.1. Számítsa ki a szabályozási hibák állandósult állapotbeli értékeit, majd ezeket és a feladatok elvégzése során kapott értékeket a 2. pontban ismertett módon foglalja az otthon előre elkészített táblázatba!

4.2. Értékelje, hogy a szabályozások értéktartási és értékkövetési tulajdonságait jellemző szabályozási hibák állandósult állapotbeli értéke és az átmeneti állapotbeli alakulása hogyan függ:

a) a szabályozás típuszámától,
b) a hurokerosztól,
c) a zavaro jellemző, ill. az alapjel típusától,
d) a zavarás helyétől,
e) a visszacsatolás fajtajától,
f) a szabályozás és a zavarás, ill. az alapjel típuszámának egymáshoz viszonyított értékeitől!

9. SZABÁLYOZÁSI KÖRÖK ANALÍZISE

Egy szabályozási kör tervezése, vagy akár egy adott szabályozó beállítása során adottak a célok, amit a szabályozási körnek teljesítenie kell. Ezek lehetnek informális vagy formális alakban (pl. matematikai formulával) adottak. Vannak általánosak (amely minden esetben követelmény) és speciálisak, az egyedi esetre előírtak. Fontosabb általános igények:

- az alapjel adott módon tartása illetve követése
- a zavarójelk hatásának minimalizálása
- a szabályozási kör stabilitása és robosztussága

Ez utóbbi azt jelenti, hogy a kör paramétereinek várható megváltozása, illetve az ezekre vonatkozó ismeretünk pontatlansága nem változtatja meg a tervezett kör specifikáción belüli működését. Néhány sajátos (dinamikus vagy statikus) követelmény lehet pl. adott maximális szabályozási idő, túllendülés, feltúrási idő, statikus hiba, stb.

A következőkben azokat a tényezőket fogjuk áttekinteni, melyektől a fenti három általános követelmény teljesülése nagymértékben függ. Ezek a körben rejlő nemlinearitás, a kör zajelnyomási képessége, valamint a kör robosztussága, mely a kör stabilitására is hatással van. Megvizsgálunk néhány tervezési és beállítási módszert, mellyel e tényezőket befolyásolni tudjuk. Ezek az ismeretek azoknak a mérnököknek is nélkülözhetetlenek, akiknek csak valamely ipari szabályozó beállítását kell végrehajtaniuk, vagy éppen a marketingmunkában tevékenykednek, mert ilyen esetben is szükséges a műszaki megoldás elméleti hátterének ismerete.

1. Nemlinearitások a szabályozási körben

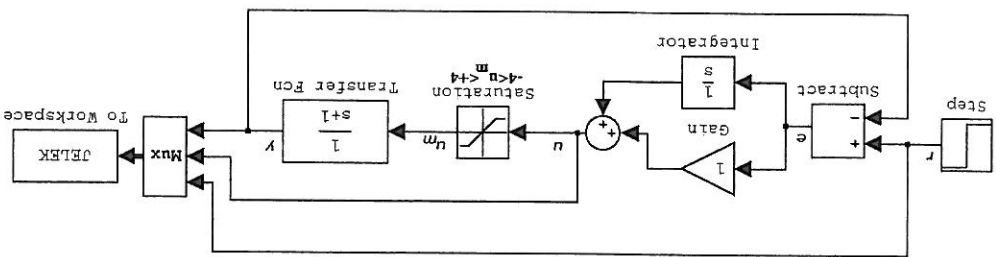
Egy tetszőleges szabályozási körben terjedő jeleknek mindig valamilyen valós fizikai háttérük van, így dinamikkailag (energetikai okokból is) mindig korlátozottak. Végelelen amplitúdó, sebesség, frekvencia stb. nem léphet föl. A körben mindig jelen van egy (inherens) korlátozás, az alapjel bizonyos sajátosságánál (pl. első derivált) ez a nemlinearitás hatás jelentkezik. Másrészt, ha bárhol a körben, bármely tag bemenetén egy bizonyos szintnél nagyobb amplitúdó lép föl, jelentkezik annak a hatása, hogy nagy jeleknél a tag statikus jellegrőrbéje eredendően nemlinearitás jelleget vesz fel. Ha e hatásokat a tervezés, ill. beállítás előtt

nem vizsgáljuk vagy eleve elhanyagolhatónak tekintjük, rosszul működő vagy működésképtelen rendszert kapunk. Ugyanígy téves eredményre juthatunk, ha szimuláció alkalmazásánál a vizsgálojeleket nem megfelelően választjuk meg.

1.1. A nemlinearitások hatásai

Tekintsünk egy szabályozóból (controller), végrehajtó/beavatkozó szervből (actuator), szabályozott szakaszból (folyamat, process) és érzékelő/távadóból (sensor) álló zárt szabályozási kört. A kör bármely tagjában felléphet korlátozó hatás. A szabályozó kimeneti jelét behatárolja a tápfeszültség. Ha a végrehajtó szerv pl. szelep vagy hidraulikus/pneumatikus henger, a kitérése a két végállásán korlátozott (amplitude/magnitude limit), de korlátozott a beavatkozás sebessége is a tehetetlenség miatt (rate limit). Ezeknél felléphet histerézis, holt-sáv (deadzone) vagy sűrűdés (friction) is. Érzékelőnél: ha költség vagy egyéb okból nem tudunk a megadott jeltartományhoz megfelelő érzékelőt illeszteni, szintén korlátozás léphet föl.

A főnti okok a szabályozási körnél a lineárisnál megszokottól gyökere-sen eltérő jelenségekhez vezethetnek. A lehatárolt, korlátozott beavatkozó (constrained actuator) pl. ún. parazita egyensúlyi állapotot (a beavatkozó végkiterésben marad) vagy hirtartózkodást hozhat létre. Illyenre ismert példák a cser-nobil baleset, a Gripen JAS39 balesetek (1989, 1993, 2005).

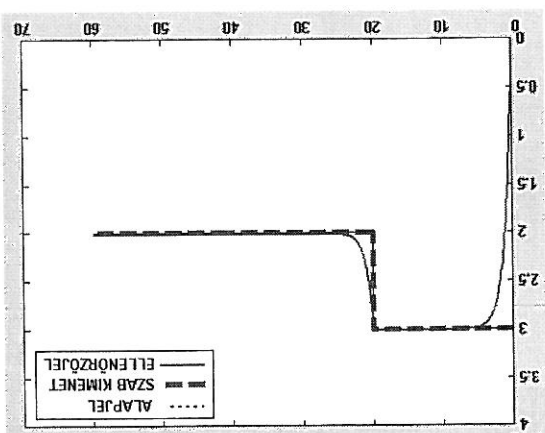


1. ábra. Egyszerű szabályozási kör, korlátozott beavatkozó szervvel

Az 1. ábrán egy rendkívül egyszerű, PI szabályozót tartalmazó kör SIMULINK modeljé látható. A végrehajtó/beavatkozó szervet korlátozottnak (Saturation block) tételezzük föl, a kimeneti jelle $u_{\min} = -4 \leq u \leq u_{\max} = +4$ lett beállítva. Ezután a Step blokkal egy $r = 5 \cdot 1(t) - 2 \cdot 1(t - 20)$ alapjelt ge-nerálunk (tehát $t=20$ s-nál 5-ről 3-ra ugrik). Mi történik a szabályozó kimenetén? A jeleket a 2. ábrán láthatjuk.

a szabályozási idő a korlátozás hatásának időtartamával megközelíthető. Ezt a nemkívánatos jelenséget **integral windupnak** nevezik, mert a szabályozó az I összetevőben mintegy „föltekeredik”, „fölhúzza magát” a korlátozó (constrain) hatás következményeképp. Nevezik még elterjedten **reset windupnak**. A reset

3. ábra. A korlátozott kör jelei telítődés nélkül

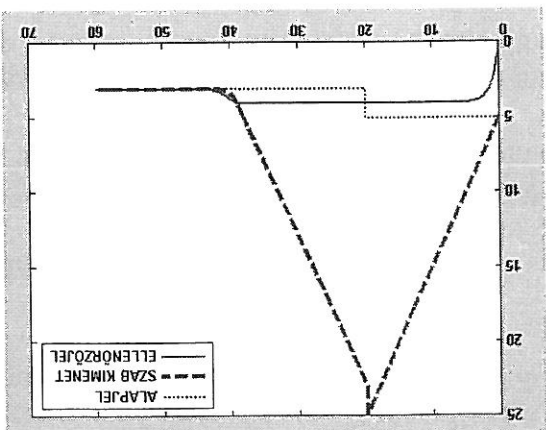


Tekintsük meg a jelek lefolyását, ha $r = 3 \cdot 1(t) - 2 \cdot 1(t - 20)$, ekkor a kimeneti korlátozás hatása már nem érvényesül (3. ábra). Láthatóan az alapjel utóbbi, 3-ról 2-re ugrásánál a hibajel (kis időállandóval) 0-t, a szabályozó kimenete rögtön az alapjel értékét veszi fel ($K_c = 1$). A korlátozás miatti allandósult hibajel és az emiatt tartósan integráló I tag már nem fejt ki késleltető hatását, ellen-

hóidő hozzáadását jelenti.

egységugrás megkívánt hatása érvényre jut ($t = 40$ s-nál). Ez gyakorkorlatilag 20s-re vált és az I összetevő hasonló útemben negatív irányban integrál. Ennek következtében újabb 20s idő telik el, míg az I értéke visszaáll és ezen utóbbi Mikor az előbbi alapjel $t = 20$ s-nál visszaugrik $r = +3$ -ra, a hibajel $e = -1$

2. ábra. A korlátozott kör jelei telítődéssel



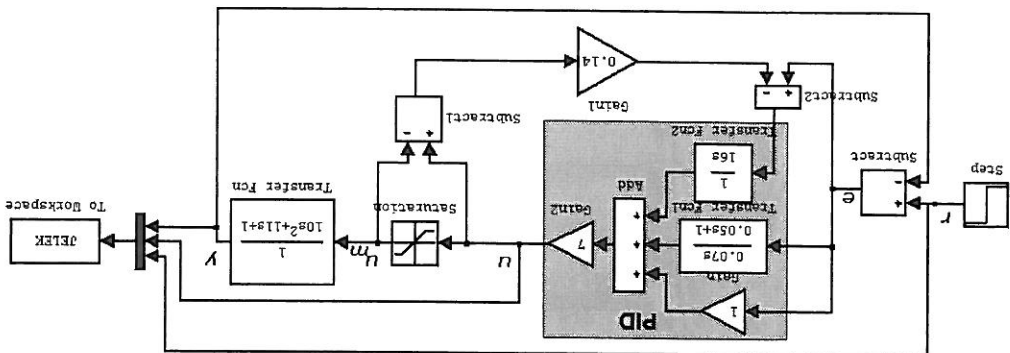
A kör bemenete egy +5 nagyságú alapjelet kap, a korlátozás miatt az ellenőrzőjel értéke megragad +4-nél, ami miatt a hibajel állando +1. Ennél fogva a PI szabályozó integráló összetevője elvileg a végtelenségig, illetve addig integrál, amíg az alapjel nem csökken a +4 érték alá. Ez az állapot például digitális szabályozók esetén végzetes lehet, ha ugyanis ezzel nem számolunk, az illető regiszter telítődik és a programfutás lefagy.

1.2. Az anti-windup kompenzálás

Az előbbi káros jelenséget mindenképp meg kell akadályozni a szabályozó megfelelő kialakításával. Ez történhet például előzetesen (a priori), kétféleképpen is:

- a folyamati matematikai modelljét eleve nemlineáris formában állítjuk fel és a szabályozót ennek megfelelően tervezzük – ez rendkívül nehéz feladat lehet, esetleg nem is lehetséges,
- a folyamati lineáris működésre kényszerítjük, vagy modelljét valamilyen mért eljárással linearizáljuk és a linearizált modellt használjuk a végleges kialakításához – ez sem mindig hatható végre és általában nem elég egzaktt.

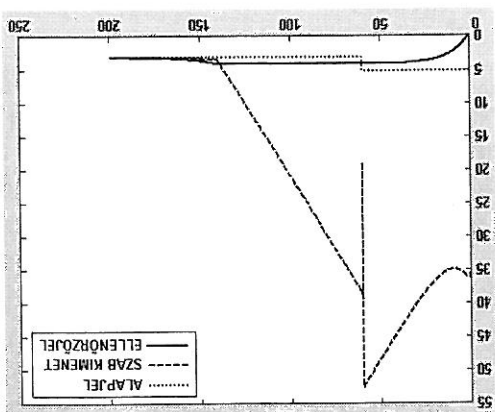
Történetét utólag (a posteriori) is: ekkor a szabályozót a nem korlátozott tartományban mutatott lineáris modell szerint tervezzük, majd kipróbálása után pótlólagos tagokkal úgy alakítjuk, hogy a telítődés bekövetkeztékor a szaba-lyozás minősége ne romoljon. Ennek neve **anti-windup**, ill. **anti-reset windup** eljárás vagy kompenzálás (rövidítve **AW** vagy **ARW**). Előnye: a lineáris rendszereknél megismert módszerek alkalmazhatók. Hátránya: nem mindig vá-lasztható le, mérhető és modellezhető a korlátozatlan jeltartomány.



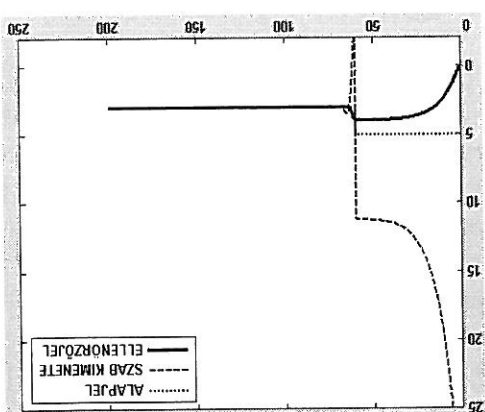
4. ábra. AW kapcsolás korlátozásikülönbség visszacsatolással

Az anti-windup kompenzálást minden korszerű szabályozóba beépítik, ezért megismerése a jól felkészült mérnök számára nélkülözhetetlen!

Az elv egy lehetséges kivitelezése a 4. ábrán, egy SIMULINK modell formájában látható. A megvalósítás azon az elgondoláson alapul, hogy a tellítódés bekövetkezte után a korlatozás be- és kimenetén keletkező u és u^m jelek $u - u^m$ különbségi jelét, tehát a túllépés mértékét egy $1/T_i$ szorzóval kivonjuk a hibajelből (rendelkezőjelből) és ezt vezetjük a szabályozó I összetevőjébe. Ezzel az I összetevőben a túllépés hatására létrejövő hibajelművekeket a túllépéssel arányosan csökkentjük, ill. megszüntetjük. A T_i neve követési időállandó (tracking time factor) és értékét a különböző célok szerint lehet megválasztani. A kompenzálatlan eset jelalakjait az 5. ábrán, a kompenzálat a 6. ábrán láthatjuk.



5. ábra. A kompenzálatlan eset jelei



6. ábra. A kompenzálat eset jelei

Az integráló hatást semlegesítjük, ha $u = K_C e$, tehát csak az arányos tag érvényesül. Ebből az $e \rightarrow 0$ feltevélnél $T_i = K_C$ adódik. Ezt a választást

$$u = K_C e + \frac{s T_i}{K_C} \left[e - \frac{1}{T_i} (u - u^m) \right] \quad (1)$$

zö egyenletet, az egyszerűség kedvéért PI szabályozóra: T_i választása érthető lesz, ha felírjuk a szabályozó kimenetére vonatkozó null hosszú a szabályozási idő. A kompenzálat verzió ezt kiküszöböli.

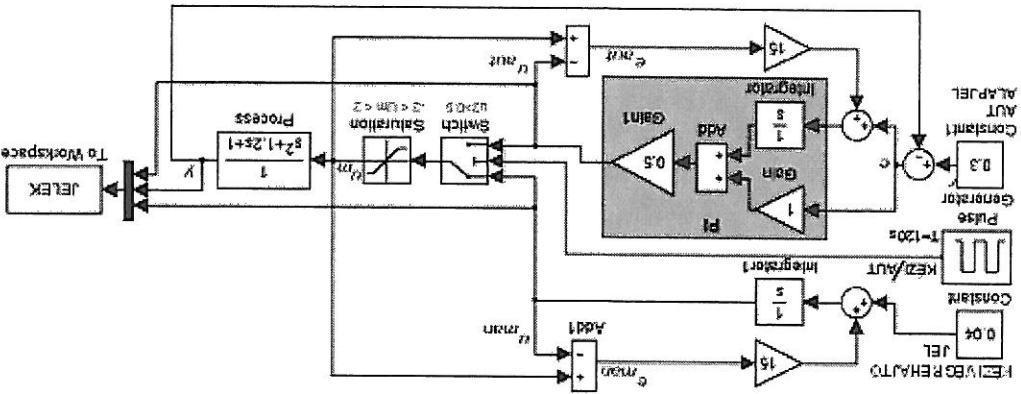
$t=140$ s környékén, 80s késéssel érvényesül az ugrás hatása, megengedhetetlen korlatozás hatása, $\gamma = 4$. Kompenzálatlan esetben látható a windup hatás: csak korlatozás itt is $u_{\min} = -4 \leq u \leq u_{\max} = +4$ -re van beállítva, azaz $t=60$ -ig fellép a

Az alapel $r = 5 \cdot 1(t) - 3 \cdot 1(t - 60)$, azaz $t=60$ s-nál 5-ről 3-ra ugrik. A

Felkészítő beállításnak (conditioning technique) nevezik. Ez az érték bizonyíthatóan a legoptimálisabb a zajérzékenység szempontjából is. Van azonban olyan eset, hogy a $T_f \rightarrow 0$, vagyis az anti-windup visszacsatolás fokozása a cél.

1.3. Lökésmentes átkapcsolás (bumpless transfer)

Az ipari szabályozókban minden esetben lehetővé tesszik, hogy a szabályozott jellemző kézilég is állítható legyen. A kézi állítás azt jelenti, hogy a végrehajtó-jelet leválasztjuk és kézilég állítható feszültséggel helyettesítjük. Ez általában fokozatos (potencióméter állítás vagy digitális növelés-csökkenés gomb). A két üzemmód közötti átkapcsolás során azonban a szabályozó aktuális végrehajtójele és a kézi beállítójel közötti ugrás (bump) nemkívánatos lengést vagy a berendezés tönkremenetelét is okozhatja. Erre szintén megoldást nyújt az anti-windup kompenzálás, amennyiben az üzemmód-átkapcsoló maga is egy „telítődés” (vagy „relé”) típusú nemlineáris tag. Ezért az 4. ábrán lévő Saturation blokk mintájára kompenzálható és az átkapcsoló oda is helyezik. (Ha a körben a végrehajtó/beavatkozó korlátozott, a két Saturation soros kapcsolásának tekinthető). Az eljárás neve **lökésmentes átkapcsolás** (angolul **bumpless transfer**). Használatos még a „lágy átkapcsolás” elnevezés is. Ennek egy SIMULINK megvalósítása látható a 7. ábrán.



7. ábra. A lökésmentes átkapcsolás egy SIMULINK modellje

A modellel kézi $\leftrightarrow$ automatikus átkapcsolást demonstrálhatunk. Az elv a következő: az átkapcsolás pillanatában biztosítani kell az $u_{min} = u_{out}$ egyen-

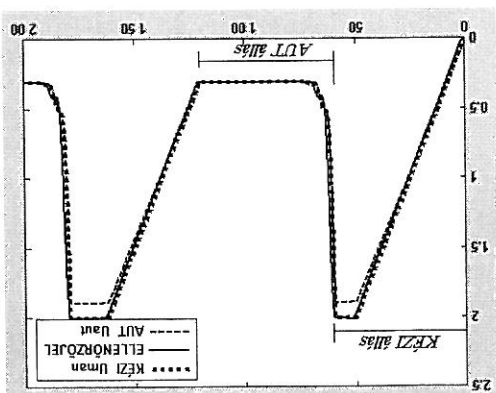
lőseget. Feltételezhető, hogy a transziensek lecsengtek, tehát $e=0$, az I összetevő lehet 0-tól különböző. Automatikus állásban, vagyis ha a kör zárt, az anti-windup kompenzálás eredményezi, hogy $e_{aut}=0$, vagyis az AUT kontaktus $u_{aut}=u_m$ legyen (egyben az esetleges telítődés – Saturation- hatását is gátolja). Egyidejűleg a manuális oldalon e kompenzáló kör szimmetrikus leképezése biztosítja, hogy $e_{mcm}=0$, ezzel a KÉZI kontaktuson is $u_{mcm}=u_m$. Kézi állásban ugyanez írható, tehát mindkét esetben biztosított az együttfutás.

A 8. ábra az előbbi SIMULINK mo-

dellet végzett szimuláció jelalakjait ábrázolja. A KÉZI/AUT átkapcsolást Pulse Generator blokkal idézzük elő, mely a 0.5 küszöbű Switch blokkot működte. Períódushossza 120s és 1 amplitúdójú 50%-os kitöltésű négy-szögjelet produkál. Meg kell jegyezni, hogy a kézi végrehajtójelet általában ún. inkrementális módban állítják (növelve-csökkenve), ezt itt konstans beadással állíthatjuk elő, amit a kompenzáló kör egyébként integrál, így itt növekvő jelet kapunk.

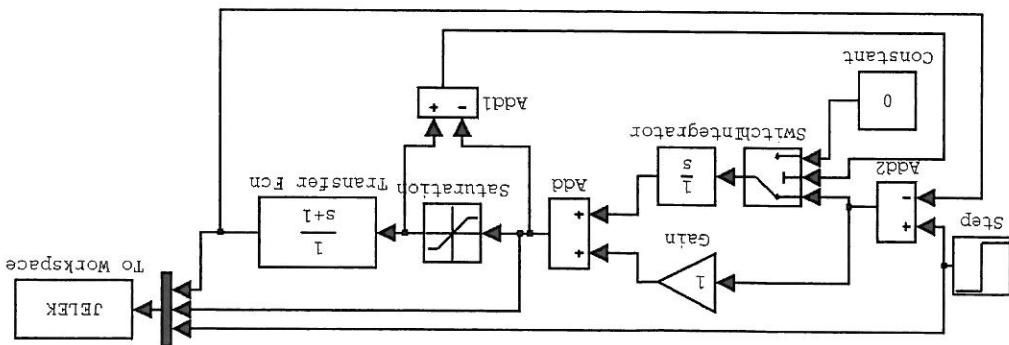
Ezt a KÉZI jelet a kontaktuson u_{mcm} jel képviseli, amely $t=50s$ körül a +2 értéket képviseli, amely $t=60s$ -nál megtörténik a KÉZI $\rightarrow$ AUT átkapcsolás, láthatóan az u_{mcm} és u_{aut} szoros követésben, az ellenőrzőjel pedig teljesen lökésmentesen változik. $t=120s$ -nál az AUT $\rightarrow$ KÉZI átkapcsolásról ugyanez mondható (a szakasz átviteli tényezője itt 1). Visszatérve a T_i időállandóra, a SIMULINK modell tekintve látszik, hogy most $1/T_i=15 \gg 1/K_C=2$, azaz ebben az esetben a visszacsatolás átviteli tényezőjének növelése javítja a két jel együttfutását. $1/T_i$ nagyságát a megfelelő pontossághoz kell igazítani, az $1/T_i$ -t csökkentve ugyanis tapasztalható lesz, hogy a követés már nem megfelelő, túlságosan növelve az $1/T_i$ -t viszont stabilitási problémákat okozhat.

8. ábra. A SIMULINK modell jelalakjai



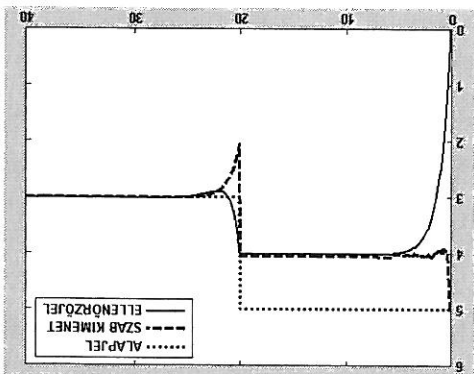
1.4. Anti-windup hold (AWH) kompenzálás

A windup jelenség egy másik lehetséges kiküszöbölése azon az elgondoláson alapul, hogy a telítődés bekövetkeztekor 0-ra változtatjuk az integráló összetevő bemeneti jelet, ekkor kimenete tartja utolsó értékét (**hold**). Ennek a megoldásnak SIMULINK modellje látható a 9. ábrán.



9. ábra. Az anti-windup hold kapcsolás alkalmazása az 1.2.-beli körre

Az ábrán az 1.2.-beli egyszerű kört (4. ábra) és annak beállításait használtuk (Saturation, Step). A beiktatott Switch beállítása $u_2 \geq 0$ (itt az egyenlőség feltétel is elegendhetően!)



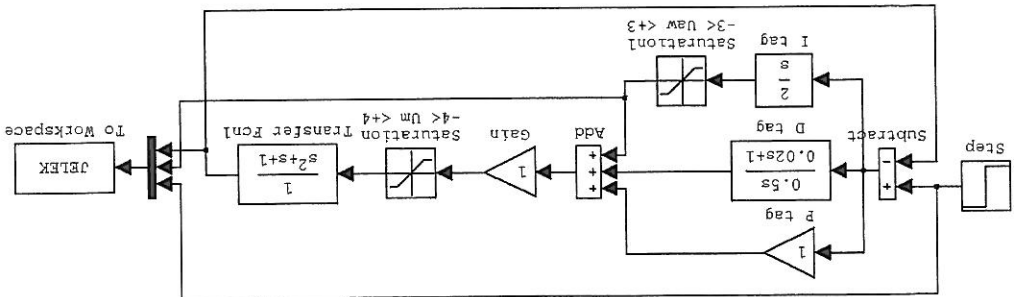
10. ábra. Az anti-windup hold jelei

menetén dinamikus túlvezérlést, összevetve azonban a szabályozó kiadott holtidő. Az 1.2.-beli megoldással windup hatást, nem lép fel a hozzávizont láthatóan megszünteti a azonosak a 2. ábrán lévőekkel, az AWH windup hold nélküli jelalakok nyilván (nik!) jelei a 10. ábrán láthatók. Az anti-blokkban telítődésből kiugrás törté- 5 $\rightarrow$ 3 egyességűgrás (a Saturation nak (röviden **AWH**) nevezik. Az gesztésére utalva) **anti-windup hold-** Ezt a megoldást (az integrálás felülg-

az ellenőrzőjelen túllendülést okoz (ez általánosan is igaz).

1.5. Anti-windup clamp (integrálkorlátozás) kompenzálás

Amíg az AWH a telítődés pillanatában elért utolsó értéken tartja az I összetevő kimenetét, az **integrálkorlátozás** (integrator clamp, anti-windup clamp, in-tegral-„beszorítás”) eljárás viszont az összetevő kimenetét előre megadott határok közé szorítja, „befogja”. Itt nincs visszacsatolás a végrehajtó/módosító szervről. A módszer elgondolása, hogy az I összetevő „feltekeredése” az I kimenet korlátozásával (saturation blokk) akadályozható meg.



11. ábra. Az integrálkorlátozás anti-windup eljárás SIMULINK modellje

Az eljárás egy SIMULINK modellje (PID szabályozóval, kettáros arányos szakasszal) a 11. ábrán látható, az előbbiektől eltérő szakasszal.

A végrehajtó/módosító szerv korlátozása $-4 \leq u_m \leq +4$, ennek megfelelően egy $5 \rightarrow 3$ egysegűgrást $t=20$ s-nál generáló Step blokkal szimuláltunk,

az integrálkorlátozás hatásai: $-3 \leq u_{gw} \leq +3$ lett megválasztva. A jelalakok az

AW nélküli modellen a 12. ábrán, az integrálkorlátozással ellátott (11. ábrán

felüntetett hatásvázlat) modellen a 13. ábrán láthatók.

A 12. ábrán megfigyelhető a windup folyamat hatása az I tag kimenetén

(a telítődés alatt a kimenet „feltekeredik”, majd ugyanennyi ideig visszaáll), és az ellenőrzőjele is (+20s holidót jelent). A 13. ábrán látható módon ez a

windup hatás az I összetevőn eltűnik a korlátozás hatására (lásd: u_{gw} korlát je-

le). Ennek megfelelően az ellenőrzőjele is eltűnik a szabályozási idő 20s holt-ideje. Milyen alapon kell u_{gw} korlátait megválasztani? A nehézség az, hogy a

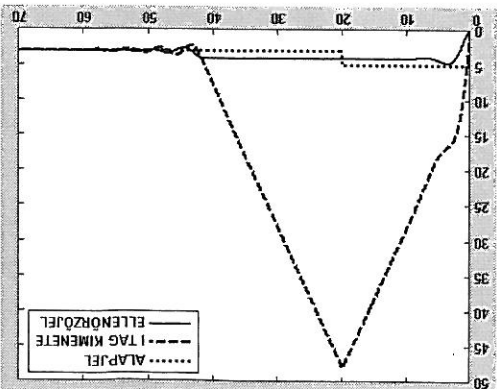
nemlineáris körök viselkedése alapjelleggő is, tehát minden esetben az alkal-

mazott alapjelnek megfelelő optimális korlátokat kellene ismerni. Ebben az un.

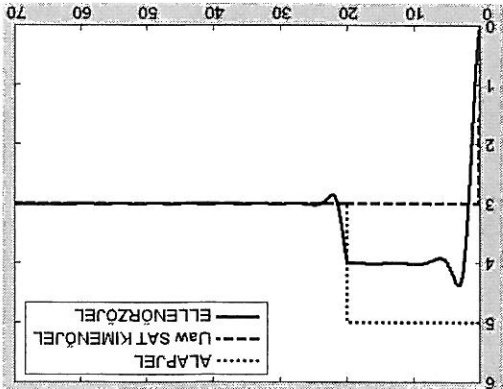
statikus struktúrában csak kísérletezéssel választhatók meg a feltételekhez

legjobban idomuló (integrálhatároló) korlátozások. Összetettebb és bonyolult-

tabb kapcsolási megoldást igénylő a **dinamikus struktúra**, amikor



12. ábra A jelek integrálkormányozás nélkül



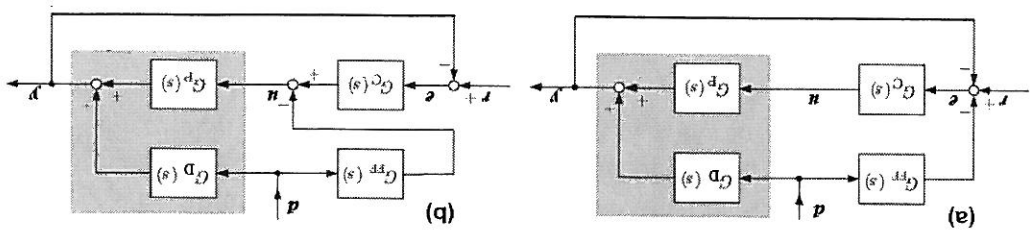
13. ábra A jelek integrálkormányozással

ezek a mindenkor alapjel függvényei is, vagyis időben változó, korlátozásai adaptálódnak az alapjel nagyságához. Ezen megoldásokat már nem tárgyaljuk.

2. Zavarójel-kompenzálás

Egy másik szokásos igény a zavaró hatások kiküszöbölése. Ha a szabályozott szakaszra ható zavaró jel közvetlenül mérhető, akkor lehetővé válik, hogy a hálószerűben még egy megelőző ponton beavatkozzunk, mielőtt a zavaró hatás eléri a szabályozott jellemzőt. Ezt a megoldást a „visszacsatolás” kifejezéssel szembeállítva „előrecsatolásnak” (feedforward) nevezik. Szokásos még az elő-revezetett zavarójel-kompenzálás elnevezés is.

Kapcsolástechnikai szempontból két megoldás is lehetséges:



14. ábra. Visszavezetés (a) szabályozó elé (b) szakasz elé

(a) visszavezetés a szabályozó elé,

(b) visszavezetés a szakasz elé.

A kétféle megoldás a 14. ábrán látható. Itt $G_D(s)$ a zavarjelátviteli függvény, $G_{FF}(s)$ a kompenzáló tag, $G_C(s)$ a szabályozó, $G_P(s)$ a folyamat átviteli függvénye.

Az (a) esetben a $d(s)$ zavarjel $y(s)$ -beli $y_d(s)$ összetevője $d(s)$ kitérőányú útját $y(s)$ -ig követve kaphatjuk:

$$y_d(s) = \frac{1 + G_0}{G_D - G_{FF}G_CG_P} \cdot d(s) \quad \langle 2 \rangle$$

ahol G_0 a hurokátviteli függvény. A zavarás teljesen kompenzált, ha ez az összetevő eltűnik, azaz

$$G_D - G_{FF}G_CG_P = 0 \text{ vagyis } G_{FF} = \frac{G_D}{G_CG_P} \quad \langle 3 \rangle$$

Tervezéskor természetesen először (a zavarjellektől eltekintve) az itt standard, mivel visszacsatolású, $G_0 = G_CG_P$ hurokátviteli függvényű körhöz kell a $G_C(s)$ szabályozót számítani (esetleg optimalizálni), ezután határozhatjuk meg a $G_{FF}(s)$ kompenzáló tagot. Ezért feltételezzük, hogy $G_C(s)$ meghatározása megtörtént és ez a kör stabilis. Ebben az esetben bizonyítható, hogy csak negatív valós részű pólusokkal rendelkező $G_D(s)$ és $G_{FF}(s)$ (ezek neve-zői lépnek be szorzóként $y_d(s)/d(s)$ karakterisztikus polinomjába) esetén a kompenzált kör is stabilis. Másrészt tekintve $\langle 3 \rangle$ -at, $G_{FF}(s)$ realizálhatósága-nak feltételei korlátozottak. $G_{FF}(s)$ emeletes törtjét egyszerűvé alakítva a realizálhatóság egy szükséges feltételként adódik, hogy G_CG_P csak negatív valós részű zérusokat, G_D csak negatív valós részű pólusokat tartalmazzon.

*Megjegyzés: Egy átviteli függvény pólustöbbletnek (pole exceed) defini-
ciója: (nevező fokszáma)-(számláló fokszáma) = $\deg N(s) - \deg M(s)$*

Realizálhatósági feltétel továbbá, hogy $G_P(s)$ pólustöbblete ne haladja

meg $G_D(s)$ -ét.

Ha a zavarjellel mérni tudjuk éppen a szakasz bemenetén, akkor $G_D = G_P$ és $G_{FF} = 1/G_C$. Ha ilyenkor a szabályozó PI típusú (a statikus hiba elüntetéséhez), akkor G_{FF} célszerűen DT1-nek választandó.

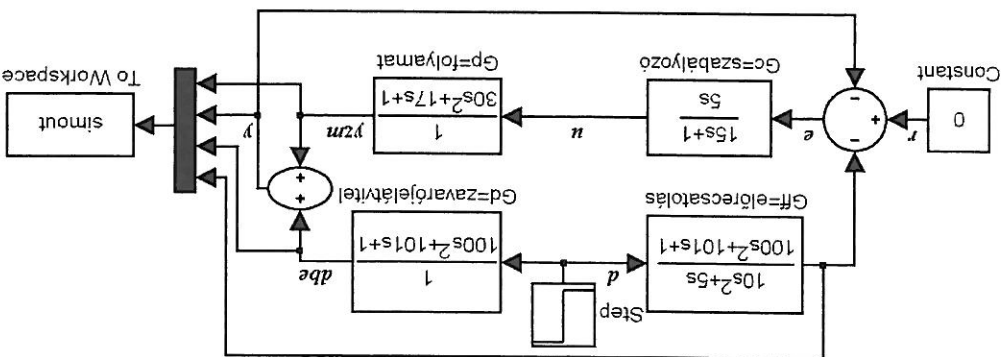
Példa SIMULINK megoldással:

Ismertjük a folyamat $G_P(s) = 1/(1+2s)(1+15s)$ átviteli függvényét. Merni tudjuk a zavarójelet és ismeryük a $G_D(s) = 1/(1+s)(1+100s)$ átviteli

függvényt. Tervezzük meg a zavarójel kompenzálasát!

Megoldás: választható PI szabályozó, az ismert póluskiejtés módszerével $K_C = 3$ és $T_I = 15s$ adódik, ez törtfüggvényel felírva: $G_C = (15s+1)/5s$.

$G_{FP}(s)$ realizálható? Igen, mert $G_C G_P$ zérusainak és G_D pólusainak valós része negatív, $G_P(s)$ pólustöbblete(=2) nem haladja meg $G_D(s)$ -ét(=2). Ezután

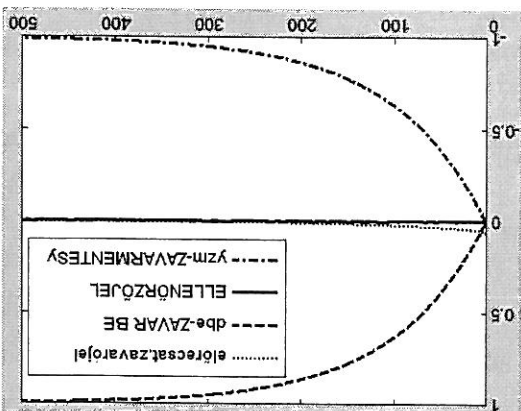


15. ábra. A szabályozó elé visszavezetett zavarójelkompenzálas modellje

$$G_{FP}(s) = \frac{G_D}{G_P} = \frac{5s(2s+1)}{(s+1)(100s+1)} = \frac{100s^2+5s}{100s^2+101s+1}$$

<4>

A SIMULINK modell a 15. ábrán látható. A modellen szimulációval kapott jelek láthatók a 16. ábrán. A jelalakokból kiderül, hogy az előrecsatolt zavarójel által a folyamat kimenetén generált yzm - a zavar beépése előtt előállt jel - folyamatosan kompenzálja a belépő dbe jelet, így módon a zavarójel hatása tökéletesen, minden pillanatban semlegesítve van, az ellenőrzőjel folyamatosan nulla, és így a hiba is (mivel az



16. ábra A zavarójelkompenzálas jelei

alapelvet egy konstans=0 blokk szolgáltatója). A (b) eset, a szakasz (folyamat) elé történő visszavezetésnél $d(s)$ zavarójelet $y(s)$ -beli $y_d(s)$ összetevője még egyszerűbb alakot kap:

$$y_d(s) = \frac{1 + G_0}{G_D - G_{FF} G_P} \cdot d(s) \quad <5>$$

Ebből a tökéletes kompenzálást nyújtó előreccsatozó tag:

$$G_{FF} = G_D / G_P \quad <6>$$

A stabilitás és realizálhatóság szükséges feltételei az előbbivel azonosak, egy eltérés: $G_C G_P$ helyett csak G_P -nek kell negatív valós részu zérusokkal rendelkezni.

Abban az esetben, ha $G_D = G_P$, akkor $G_{FF} = 1$, vagyis a zavarójelet (negatív előjellel) közvetlen a folyamat bemenetére vezettük.

3. Stabilitás, robusztusság

A stabilitás meghatározását már tárgyaltuk: **stabilis** a rendszer, ha külső hatás sal kimozdítva majd magára hagyva minden határon túl megközelíti eredeti állapotát (aszimptotikus stabilitás) vagy annak adott korlátos környezetében marad (állandos stabilitás). Mi csak lineáris időinvariáns rendszerekkel (LTI) foglalkozunk, ez mindig vagy aszimptotikusan stabil vagy nem stabil. Tervezőskor a zárt kör stabilitása a követelmény, mi azonban csak a nyílt kör hurokátviteli függvényét tudjuk egyszerű eljárással tanulmányozni. Ha ennek nincs a jobb félsíkon pólua (minimumfázisú rendszer), azaz a nyílt rendszer stabilis, akkor az egyszerűsített Nyquist stabilitási kritériummal dolgozhatunk: a zárt rendszer aszimptotikusan stabil, ha a teljes hurokátviteli frekvenciafüggvény helygörbéje a $-\infty < \omega < +\infty$ tartományban a $-1+0j$ pontot (Nyquist pont) nem fogja körülrül. Ezt a kritériumot viszont csak a frekvenciatarományban, tehát a MATLAB parancsfelületén tudjuk alkalmazni (a SIMULINK-ban tehát nem).

Tervezőskor a stabilitást tekintve felmerül egy másik probléma: a rendszer stabilitása szorosan összefügg a rendszer paramétereivel. Egyrészt fennáll egy (mérési, identifikálási) bizonytalanság, másrészt egy hosszú idejű (nem dinamikusnak tekintett) változás a paraméterek értékében. Fel kell tételeznünk tehát, hogy egyes paraméterek egy bizonytalansági sávban tartózkodnak (perturbáció). Ez első megközelítésben kihat a stabilitásra, másodrészt pedig az előírt minőségi jellemzőkre. A tervezett rendszer **robusztussága** azt jelenti,

hogy a rendszer a paraméterek megadott tartományán belül mind a stabilitást, mind a minőségi jellemzőket teljesíti.

Példaként tekintsünk egy szakaszt, melynek átviteli függvénye:

$$G_p = \frac{k_{zp}}{(s+1)(3s+1)(20s+1)} \quad <7>$$

k_{zp} azonnali ($t=0$) erősítés a $[0,9,1]$ tartományban bizonytalan. Tervezzünk szabályozót standard körre, melynek jellemzői: 5% alatti túllendülés, min. 60 fok fázistartalék 0 statikus hiba mellett és az adott tartományban röbusztus.

Tervezzünk először k_{zp} felső határával. Mivel az adott tartományban G_p -nek nincs kiugró, végtelenhez tartó értéke (szingularitása), feltételezhetően jellemzői (amplitúdó, fázisszög) folytonosak k_{zp} változásával és így a nagyobb körerősítés kritikusabb. PI szabályozóval megoldva, ennek átviteli függvénye:

$$G_c = K_c \frac{sT_I + 1}{sT_I}. \text{ A } T_I = 20s \text{ választással kifejtve a nagyobbik időállandót és ideiglenes } K_c = 1 \text{ értékadással a hurokátviteli függ-}$$

$$\text{vény: } G_0 = G_c G_p = \frac{1}{20s(s+1)(3s+1)}$$

A MATLAB-ban a $>> g0=tf(1,[60 \ 80 \ 20]);margin(g0)$ parancsot alkalmazva a 17. ábrán látható Bode diagramot kapjuk. Itt először kijelöltük a fázisdiagramon azt a pontot, amely a -120° fázisszöghöz, azaz a $pm = +60^\circ$ fázisstartalékhoz tartozik. Ugyanezen ω -nál az amplitúdodiagramon 9.5dB erősítés áll rendelkezésre, tehát K_c értéke $K_c = 10^{9.5/20} = 2.99$ lehet. Írható tehát a MATLAB-ba: $>> g0=tf(2.99*g0).$

Szükség van még a túllendülés ellenőrzésére, ehhez fel kell venni a zárt kör átviteli függvényét. A MATLAB parancs:

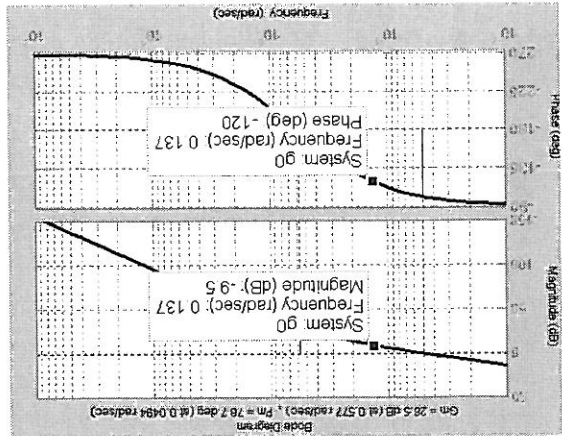
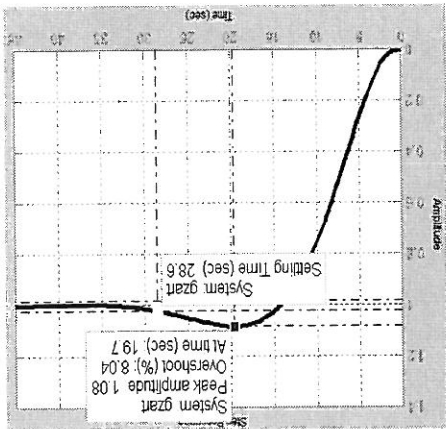
$$>> gzart=feedback(g0,1);step(gzart)$$

Az átviteli függvény a 18. ábrán látható. A statikus hiba valóban 0, a túllendülés viszont 8.04%, ami $>5\%$. Ez a körerősítés csökkentésével korrigálható, az eredeti $g0=tf(1,[60 \ 80 \ 20])$.

. Ha a 2.99-et 2-re csökkentem, azaz $g0=tf(2,[60 \ 80 \ 20]);$ ezzel:

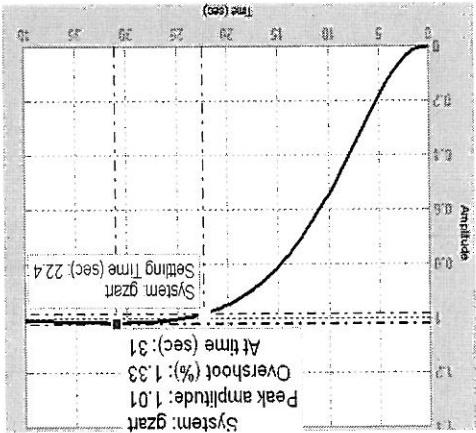
$$>> gzart=feedback(g0,1);step(gzart).$$

Az átviteli függvény a 19. ábrán látható. A túllendülés most már teljesen elfogadható 1.33%. Szükséges ezután a $k_{zp}=0.9$ értékénél is a minőségi jellem-

17. ábra. A $K_c=1$ -hez tartozó Bode diagram

18. ábra. A zárt kör átmeneti függvénye

A stabilitás a kisebb körerősítés miatt biztosan teljesül, a túllendülésre ugyanez vonatkozik A fázistartatlék a csökkent körerősítés miatt megnőtt.

19. ábra. A $K_c=2$ -hez tartozó átmeneti függvény

A rendszer tehát a k_{zp} adott $[0.9, 1]$ in-gadózására robustus. Általában azonban bonyolultabb a helyzet, egysszerre több paraméter is ingadozhat. Ezek a hibák összeadódhatnak vagy szorozódnak, így additív vagy multiplikatív hi-bastruktúrákat írhatunk le. **Robustusan stabilnak** nevezzük a rendszert, ha a számbajöhető eltérések minden kombinációja mellett stabil a rendszer.

A folyamatnak van egy névlages: $P_N(s)$ és egy aktuális (az adott időpontbeli bizonytalanságokkal terhelt, ún. perturbált) $P(s)$ átviteli függvénye. A névlages $P_N(s)$ a folyamatnak olyan átviteli függvénye, amelyet hosszabb időszak alatt, többszöri identifikáció során kapott függvények középértékeként határozhatunk meg, amely körül az aktuális $P(s)$ a bizonytalanságok hatására

ingadozhat. A névleges általában az aktuálisnak egy fokszámokban redukált helyettesítője, amit referenciaként tekinthetünk (amire tervezésnél alapozhatunk), de ugyanakkor számolni akarunk a hibából adódó bizonytalansággal. A hibák két alapvető fajtája jellemezhető. Az additív hibastruktúra esetén $P(s) = P_N(s) + A(s)$ írható, ahol $A(s)$ a hiba átviteli függvénye. $A(s)$ általában nem ismert, de felső korlátja igen: $\max |A|$.

Bizonyítható, hogy egy mereven visszacsatolt rendszerre a robosztus stabilitás teljesül, ha fennáll az $1/\max |C(s)/(1+P_N)|$ egyenlőtlenség, ahol $C(s)$ a soros kompenzálás átviteli függvénye. Hasonlóan a multiplikatív hibastruktúra esetén $P(s) = P_N(s)(1+M(s))$ írható, ekkor a feltétel $1/\max |G_{0N}(s)/(1+G_{0N}(s))|$, ahol $G_{0N}(s)$ a névleges hurokátviteli függvény.

Példa: Legyen $P(s) = 4(s+9)/(s+1)(s^2+s+6)$ az aktuálisan identifikált, eltérésekkel terhelt és $P_N(s) = 6/(s+1)$ a névleges (ami itt az aktuális $P(s)$ arányos egytárolós közelítése). Kérdés: mekkora lehet egy soros P kompenzáció K_c átviteli tényezője, hogy a szabályozási kör robosztusan stabil maradjon?

A multiplikatív hibastruktúra $P(s) = P_N(s)(1+M(s))$ egyenletéből

$M(s) = (P - P_N)/P_N = (-3s^2 - s)/(3s^2 + 3s + 18)$. Ennek maximális amplitúdóját, tehát $\max M$ -et a Bode amplitúdó-diagramjából lehet leolvasni (20. ábra)

$M(s)$ -t MATLAB-ban megadva, majd

`>> bodemag(m),shg` parancssorral kaptuk, hogy $\max M < 8.02 \text{ dB} = 2.52$, az-

az

$$\max \left| \frac{6K_c}{1+6K_c} \right| > \frac{1}{2.52} = 0.40, \text{ amiből}$$

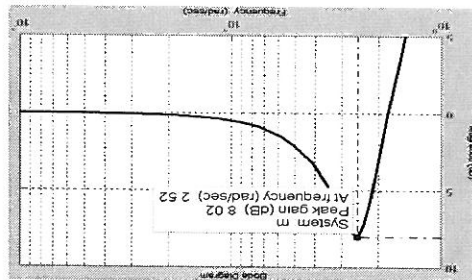
$$K_c < 0.11 \quad (\max P_N = 6 \text{ vehető!}).$$

Hiba identifikáljuk tehát a folyamatot aktuálisan struktúráisan stabilként (tehát K_c minden értéket felvehetne), az

identifikálás során a behozott

bizonyítalan paraméterek okozta instabilitás csak $K_c < 0.11$ esetén teszi a rendszert robosztusan stabilá.

20. ábra. Az $M(s)$ amplitúdó diagramja



10. SZAKASZIDENTIFIKÁLÁS

Ez a fejezet ismerteti a mérésadatgyűjtés és az identifikálás szakkefejezéseinek jelentését. Bemutatja az Advantec 1711 a mérési adatgyűjtő kártya kezelését. Ismerteti továbbá az átviteli függvény identifikálási eljárását, és az identifikált szakaszhoz szabályozót illeszt. A mérésadatgyűjtés, a mérési adatokból identifikált szakaszok szimulációja, és a szakaszokhoz szabályozó illesztés a MATLAB program segítségével történik.

1. Elméleti ismeretek

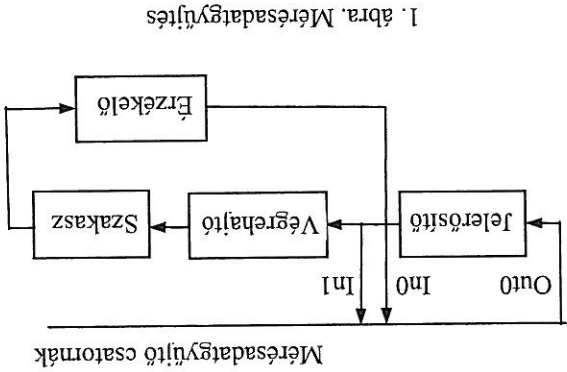
A mérési adatok gyűjtése, szakaszok identifikálása, és a szabályozó illesztés szakaszokhoz a villamosmérnöki tudomány számos részterületének együttes ismeretét igényli.

1.1. Mérési adatok gyűjtése

Ha a vizsgált berendezés, technológia nem rendelkezik a mért adatok gyűjtésére alkalmas berendezéssel, akkor mérésadatgyűjtő berendezést, vagy kártyát kell alkalmazni.

A mérésadatgyűjtő kártyáknak rendelkeznie kell analóg bemeneti csatornákkal. Ugyancsak hasznos lehet néhány analóg kimeneti csatorna, például vizsgálojelek (1. ábra) kiadására. Nagysorozatú azonos mérés esetén, például teszt állomás, hasznos, ha a mérésadatgyűjtő kártya rendelkezik kétlapotü be, és kimeneti csatornákkal, amivel a mérés folyamata vezérelhető. Az iparban gyártásközi, és vég ellenőrzésre, illetve gépek, technológiai szakaszok identifikálására alkalmaznak mérésadatgyűjtő kártyákat.

A korszerű irányítórendszerek SCADA (Automatika I. jegyzet) szoftverben definiálható trendváltozók, amelyek megvalósítják a legfontosabb technológiai jellemzők mérésadatgyűjtését.



Az 2. ábra a szakaszidentifikálás mérési elrendezését mutatja, ha nem áll rendelkezésre SCADA szoftver. Ilyenkor a szabályozónak kézi (Manual) állásban kell biztosítania a munkaponti végrehajtó jelet, aminek hozzákeverik a vizsgálojelet. Miután a végrehajtó jel (u), és az ellenőrző jel (y_m) szabványos jeltartományú, ezek mérése a leggyakoribb.

1.2. Identifikálás, validálás

Az identifikálás célja, hogy az irányítási kívánt gépről, technológiáról szakaszmodell készüljön. Először mindig azt kell eldönteni, hogy a modellnek milyen jel vagy jelek a bemeneti, illetve milyen jel vagy jelek a kimeneti változói. Modell csak a be-, és kimeneti változókra vonatkoztatva készíthető.

Emlékeztető: A mérésadatgyűjtő kártya mindig diszkrét idejű adattal mazt állít elő. Az „Automatika I” jegyzetben leírt módon, ha az identifikált szakasz időállandói közül a legkisebb is jóval nagyobb, mint a mérésadatgyűjtő kártya mintavételi ideje, akkor ez folytonos jelnek tekinthető.

A validálás friss szakkiefezés. Különböző szakterületek kissé eltérően értelmezik. Alapértelmezésben valaminek (modellnek, gyártási eljárásnak, stb.) az érvényességi körét definiálja. Az érvényességi kör a peremfeltételek definiálását, a vizsgálati módszer leírását, és e peremfeltételhez tartozó pontosság megadását jelenti.

Szakasz modell esetén az érvényesség peremfeltétele a mért be-, és kimeneti jeltartományok mérése, és a mérés, valamint identifikálás előírt pontossága. E peremfeltételek betartása mellett értelmezett a szakaszmodell, és garantált a paramétereknek pontossága. A validálás a szakaszmodell megalkotásától független mérőszorozat valós, és a szakaszmodell által szolgáltatott értékeknek összevetése.

- Egy bemenetű, egy kimenetű (SISO), és ennek speciális esete a zajjal terhelt (két bemenet, egy kimenet). Több bemenetű, egy kimenetű (MISO), és ennek zajjal terhelt változata. Több bemenetű, több kimenetű (MIMO), és ennek zajjal terhelt változata.
- Lineáris, és nem lineáris.
- Időben folytonos, és diszkrét idejű.

A szakasz jellemzői:

- Differenciál egyenlettel (ODEs: Ordinary Differential Equations)
- $G(s)$ vagy $G(z)$ operátoros, vagy $G(\omega)$ körfrekvencia átviteli függvénynyel, illetve függvényekkel. Ez a folyamatmodell blokkcséma (Process Model).
- Állapotváltozókkal és egyenletekkel. Ezt nevezik állapotteres leírásimódnak (State-Space Model).
- Be-, kimeneti polinomokkal (Input-Output Polynomial Model).

Emlékeztető: A be-, és kimeneti polinom a Z transzformált diszkrét időtartománybeli alakja, ami a szakasz dinamikus tulajdonságát jellemző differenciálegyenlet differencia egyenleiből is levezethető. („Automatika I” jegyzet)

Az identifikálási eljárás lehet:

- Szürke doboz (Grey box) elvű. A berendezés, technológia anyag és energia áramlását leíró fizikai egyenletekből kiindulva definiáljuk a szakasz jellegét (arányos, integráló), és rendszámát (időállandóinak számát).
- Fekete doboz (Black box) elvű. A mért választásfüggvények (súlyfüggvény, átmeneti függvény) jellegeből kiindulva (pl.: HPT1, HPT2, PT3, HTT1, IT2, stb.) keresi a választott modell azon paramétereket, mellyel a modell választásfüggvénye legjobban közelíti a valóságos berendezést, technológiát.
- Rekurzív (Adaptive parameter estimation) elvű. Ez csak valós idejű (real time) alkalmazásokban használható. A felállított modell paramétereit a folytonosan visszaszámért valóságos, és a modell által generált be-, és kimeneti jelek különbsége folyamatosan hangolja.
- Jósó (Predicting Output Model) elvű. Ez is csak valós idejű (real time) alkalmazásokban használható. Szemben ez előző identifikálási eljárásokkal, amelyek a teljes időhorizontra definiáltak a szakasz jellegét, a jósó jellegű módszer újra meg újra az utoljára mért véges számú be-, és kimeneti jelekből keresi a legjobban illeszkedő modell jellegét, és paramétereit.

Megjegyzés: A be-, kimeneti polinom modell közvetlenül a mért bemeneti jeleket alkalmazza a formulájába. Például:

$$y(k) + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) = b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2) + d(k)$$

< 1

Az $<1 >$ kifejezésben az $y(k)$ a leendő, $y(k-1)$ és $u(k-1)$ a jelenlegi, és $y(k-2)$ és $u(k-2)$ az előző kimeneti és bemeneti értékek, valamint az $d(k)$ a kimeneti zaj. Az 1. kifejezés általánosítást ARX modellnek hívják. Az ARMAX, BJ, OE modellek a zaj kezelésében térnek el az ARX modelltől. A nem lineáritás kezelésére a Hammerstein-Wiener modellt hozzák létre. A rekurzív és a jósló (real time) jellegű eljárásokban mindig a be-, kimeneti polinom modell alkalmazzák. A MATLAB által felkínált modellek leírását az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Lineáris modellek

Modell típus	Leírás
Átviteli függvény	Az átviteli függvény legfeljebb 3 időállandóval rendelkezhet. Idő, és frekvencia tartománybeli jelekből egyaránt identifikálható.
Be-, kimeneti polinom	ARX és OE modell készíthető. Folytonos modell identifikációs eljárásában a mintavételi időt 0 értékre kell állítani, különben diszkrét modell készülni fog. Időtartománybeli jelekből diszkrét idejű ARX, ARMAX, BJ, OE modell készíthető. Ezekből a d2c MATLAB függvénnyel állítható elő a folytonos idejű alak.
Állapottér modell	Frekvencia tartománybeli jelekből közvetlenül folytonos idejű modell készíthető. Időtartománybeli jelekből diszkrét idejű modell készülni fog. Ebből a d2c MATLAB függvénnyel állítható elő a folytonos idejű alak.
Differenciálegyenlet	Szűrke doboz elvű. Idő, és frekvencia tartománybeli jelekből egyaránt identifikálható folytonos differenciálegyenlet, és diszkrét idejű differenciálegyenlet.

- Nem lineáris modellek csak időtartománybeli jelekből készíthetők.
- A szűrke doboz elvű megközelítéssel folytonos időtartománybeli jelekből nem lehet nem lineáris differenciál-, illetve diszkrét időtartománybeli jelekből nem lineáris differencia egyenletet identifikálható.
 - A fekete doboz elvű megközelítéssel csak diszkrét idejű, nem lineáris be-, kimeneti polinom ARX, vagy Hammerstein-Wiener modellel hozható létre.
- 144

2. A modellkészítés menete

- A modellkészítés iteratív művelet sor, amely az alábbi fázisokból áll:
A berendezés, technológia elemzésével modellstruktúra, és az irányítási cél ismeretében identifikálási eljárás választása.
- Mérésadatgyűjtés. A mérési adatok a MATLAB „Workspace” területére importálása.
- A mérési adatok elemzése, és előkészítése a MATLAB számára.
- Identifikálás, és a modell validálás.
- A modell exportálása a MATLAB „Workspace” területére, és/vagy lineáris modell esetén az „LTI Viewer” számarra, hogy analizálni lehessen.

2.1. Modellstruktúra és identifikálási eljárás választása

Az „Automatika I”, és az „Automatizálás” tárgyak alapvetően a lineáris átviteli függvény modellek matematikai háttérét alapozták meg. Ezért az egy be-, egy kimenetű (SISO), blokk-séma (Process Model) készítését tárgyaljuk.

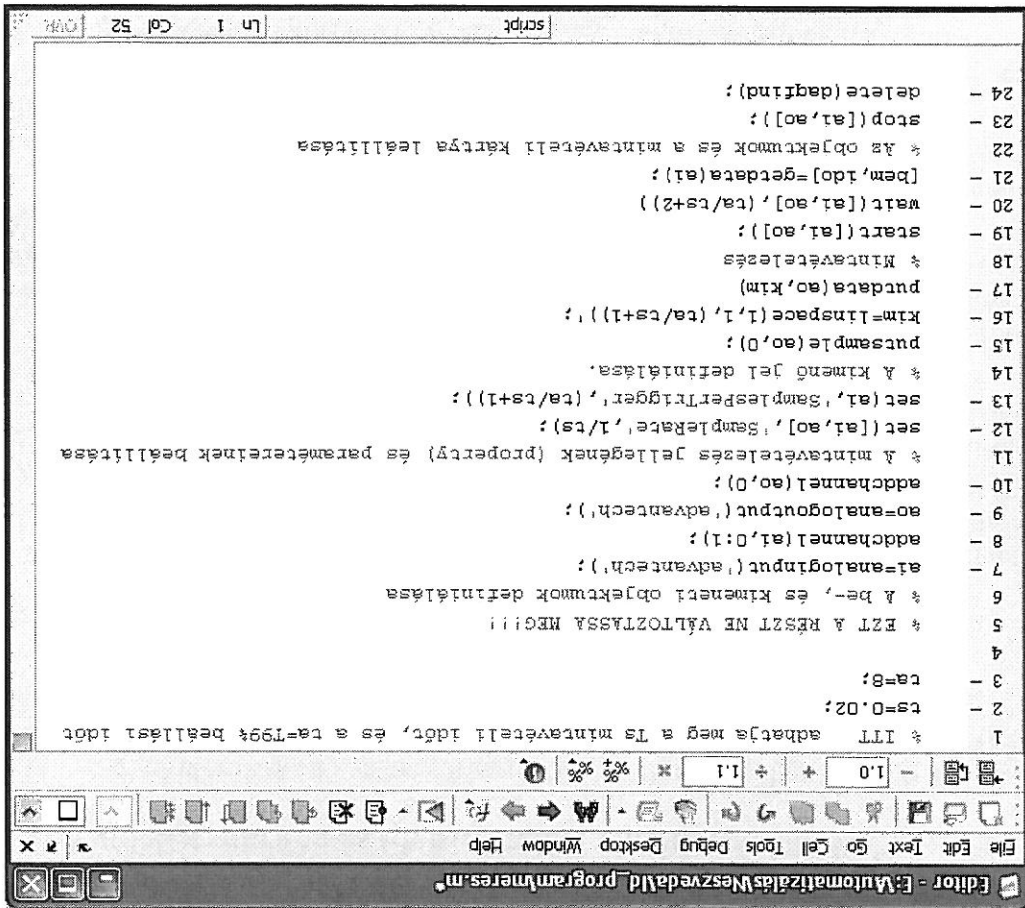
2.2. Mérésadatgyűjtés

Az analóg bemeneti csatornák kulcsáramkörre az A/D átalakító, amelyet a „Digitális technika II.” tárgy ismertetett. Az A/D átalakítók legfőntosabb műszaki paraméterei a maximális mintavételi frekvencia, a felbontás, a bemeneti jelartomány, továbbá alapelvártás a monotonitás. A mérésadatgyűjtő csatorna érzékenysége a jelartománytól és a felbontástól függ. Példa: $\pm 0,625$ V-os jelet fogadó, ± 15 bites mérésadatgyűjtő csatorna érzékenysége $< 20 \mu\text{V}$.
A rezgésanalízisre, elektronikus áramkörök frekvencia átvitelének felvétele, stb. alkalmazott 2 - 4 mérésadatgyűjtő csatorna mintavételi frekvenciája a [MHz] tartományba esik. Tipikus felbontás a 16 bites, de van 24 bites is. A mért jelartomány: $\pm 0,625$ [V], $\pm 2,5$ [V].
Az iparban alkalmazott analóg be-, és kimeneti csatornák jelartománya: 4 – 20 [mA], vagy galvanikusan leválasztott ± 5 [V], ± 10 [V]. A tipikus mintavételi frekvencia ≤ 100 [kHz], és a felbontás 12 bites.
Az Advantech cég 1711 jelű mérésadatgyűjtő kártyája 16 analóg be-, és 2 analóg kimeneti csatornával rendelkezik. A kártyán van még 16 kétállapotú be-, és 16 kétállapotú kimenet, valamint egy programozható 10 MHz-es számláló bemenet. A mért jelartomány $\pm 0,625$ [V], $\pm 2,5$ [V], ± 5 [V], ± 10 [V], és csatornánként állítható.

Az analóg csatornák érzékenysége 12 bit (0 - 4095). A mintavételi frekvencia 100 [kHz].

Megjegyzés: A mérésadatgyűjtő kártya kezelőszoftvert kell először installálni, majd kikapcsolt állapotban behelyezni a mérésadatgyűjtő kártyát. Ezután a kezelőszoftverrel a mérésadatgyűjtő kártya tesztelhető. Ez a művelet sor már megtörtént, a kártya üzemkész.

A Matlab automatikusan felismeri a parhuzamos adatkapcsolattal (port) rendelkező eszközöket (pl.: a hangkártyát is). Ezért a Matlabban csak azt kell definiálni, hogy melyik eszközzel, és annak melyik csatornájával vegye fel a szoftver a kapcsolatot. Ez a 3. ábrán látható mintavételező M fájl 7 – 10 sorai-ban történik.



3. ábra. A mérésadatgyűjtés végző „meres” nevű M fájl.

A 3. ábra 12. sorában a mintavételi gyakoriság (SampleRate) van defini-

egysegugras jel „kim” nevű kimenő adatsorozatait, a 1/. sora a „kim” adatsorozatot a kimenő adatok tárolójába helyezi.

Figyelem: A mintavételhez a $t_{\alpha=T_{99\%}}$ beállási időnek megfelelő ideig

A 3. ábra 23. sora leallítja a geryesztést, és mintavételre kész. A 24. sora

aktuális alkalmazás szerint változtatni!

Lefuttatva a „meres” nevű

toobjektumok jelennek meg.

Az adatok megjelenítése:

... azonos méretű sor-

Az oszlopvektorból sorvektorra alakítást az () aposztrof jel végzi. Az

op1=1
2.>

“... (I‘)m aq=Ima

147

2.3. Mérési adatok elemzése, és előkészítése

A MATLAB „Workspace” területén található (ym1,u1) adatok az alábbi paranccsal jeleníthetők meg.

plot(t,y1);hold;plot(t,u1)

A <2.>, <3.>, <4.> kifejezések parancssorait célszerű M fájlban elhelyezni. Legyen az M fájl neve „konvert”.

Az iparban mért jelek zajjal terhelték (5. ábra), a kezdeti értékük nem nulla, és a kezdeti értékek gyakran nem is azonosak.

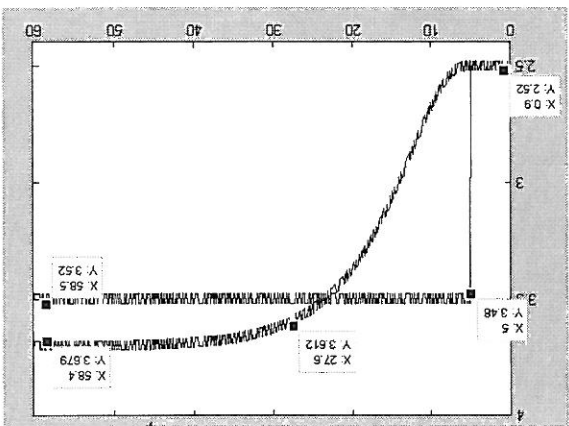
Fontos: Nem valószínű, hogy előre megfelelő szimulációs időt ($t_a = T_{99\%}$) sikerül választani! Az átmeneti függvényt elemezve, egy-két próbálkozás után meghatározható a megfelelő szimulációs időérték (az 5. ábrán ez 60 [s]).

Emlekeztető: Az 5. ábrán leolvasott jelek valóságos dimenziója a jelillesztéstől függ. Lásd: *Automatika I jegyzet*.

Fontos: Az alábbi szempontok betartásával válasszon $(t_s = T_s)$ mintavételi időt:

- A **plot** függvény alkalmazása, ha csak át nem konfiguráljuk, 1000 mintavételi pontban korlátozza a megjeleníthető adatok mennyiségét.
- A mérésadatgyűjtő kártya, ha csak át nem konfiguráljuk, 1000 mintavételt végez másodpercenként. Számos problémát elkerül, ha a másodpercenként mintavételek száma $(1/T_s)$ egész, és az 1000-ben maradék nélkül van meg. Ajánlott T_s : 0.5, 0.25, 0.2, 0.1, 0.05, 0.04, 0.025, 0.02, 0.01, 0.008, stb.
- Az átviteli függvény identifikálása kvázi folytonos jeleket igényel. Ezért a megfelelő szimulációs idő ($T_{a1\%}$) alatt végzett mintavételek száma legalább a 200, de inkább a 400-as értéket haladja meg.

A $t_s = 0,1$ és $t_a = 60$ értékeket a „meres” nevű M fájlba írva, azt újrafuttatva és ezután lefutatva a „konvert” nevű M fájlt kapjuk az 5. ábrát. Az 5. ábrából leolvasható az y_1 és az u_1 kezdeti értéke ($\approx 2,5[V]$), a mért kezdeti és végértékek közül a szakasz erősítése $K_p = 1,2$.



5. ábra. Az iparban mért jelek megjelenítése

Megjegyzés: A zajos jel miatt a $T_{99\%} \approx 22,6[s]$ beállási idő pontatlanul definiálható. Egy mérnök nem egy-két mérésből értékkel, és szíjjal terhelte a jel esetén nem számol 3 tízedes pontos értékekkel!

1	% az (ym1,u1) kísérteképzése
2	% plot (c,ym1):hold;plot (c,u1);
3	% A gerjesztés kezdete TK=5[s]
4	% A késleltetés: HPT2, holdidő Tn=1[s] vagy PT3
5	% u1 kezdeti értéke 2,5, végértéke 3,5
6	% ym1 kezdeti értéke 2,5, végértéke 3,7
7	% A szakasz arányos, erősítés Kp=1,2
8	% Beleptő függvények előállítása:
9	u1n=u1-2,5;
10	ym1n=y1-2,5;
11	% Data Object az identifikálás részére
12	adat1=iddata (ym1n,u1n,cs);
13	% Data Object az identifikálás részére
14	% Data Object az identifikálás részére

6. ábra. Az adatobjektum előkészítő M fájl. az az adatobjektum előkészítő M fájl.

A $G(s)$ átviteli függvény belépő $\{y_m(s), u(s)\}$ függvényekre értelmezett. Ha mért jelek a 0 kezdeti értékről indulnak, akkor a 6. ábra 9. és 10. sora felesleges, és a 14. sorban y_{m1} és u_1 van. Az összetartozó adatokat belépő függvényként (kezdeti értékük 0) kell egy objektumba (Data Object) elhelyezni. Az időtartománybeli, identifikációra előkészített adat objektum szintaktikája:

neve=iddata(y_m,u,T_s)

ahol: a „neve” az adatobjektum neve, az „y_m” a válaszjel, az „u” a gerjesztő jel, a „T_s” a mintavételi idő [s].

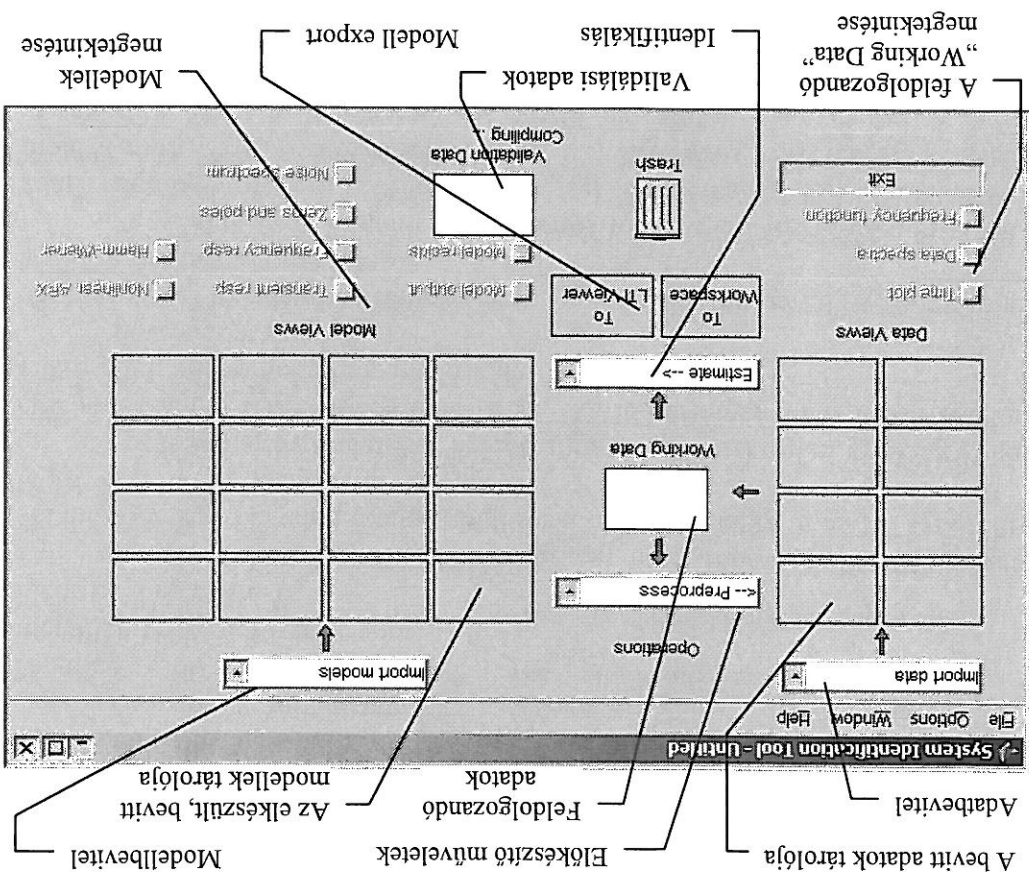
A validáláshoz független, de azonos mintavételi idejű, és mintaszámú adat2 adatobjektum kell. Ezt újabb méréssel (a „meres” M fájl lefutásával), majd a mért „bem” változóból az (ym2,u2) adatpáros kinyerésével (célszerű „konvert2” M fájl létrehozni), és végül az adatok elemzésével (célszerű „adat2” M fájl létrehozni) valószínű meg. Az adatok elemzése az (ym2,u2) adatpáros az 5. ábrához hasonlóan megjelölésével végezhető el.

Megjegyzés: Ha a két mérésben felvett adatpáros K_p, és a $T_{95\%}$ értékei között jelentős az eltérés, akkor nem lehet egy be-, és egy kimenetű (SISO) modellel leírni a rendszert, mert van olyan jellemző, ami jelentősen befolyásolja a választást.

A továbbiakban identifikálásra az adat1, validálásra pedig az adat2 adatobjektum lesz felhasználva.

2.4. Identifikálás, és modell validálás

Az identifikálás és validálás történhet MATLAB parancsokkal. Ez rendkívül sokrétű és rugalmas alkalmazást tesz lehetővé, de fáradságos. A munka megkönnyítésére létrehoztak egy grafikus munkafelületet (Graphical Unit Interface - GUI), amely áttekinthetően tartalmazza a MATLAB identifikációs szolgáltatásait. Az identifikációs (System Identification Tool) GUI indítása a MATLAB munkaterületéről az „**ident**” parancssal történik



7. ábra. Identifikáló (System Identification Tool) GUI felülete

Az identifikáló GUI adott alkalmazáshoz (session) tartozó adatai menthetők (Save session, Save session as), az elmentett alkalmazás „sid” kiterjesztésű, és megnyitható (Open session). Egyszerre csak egy alkalmazás lehet aktív. Ha egy alkalmazás meg van nyitva, akkor egy másik elmentett csak megtekintésként (Merge session).

Ha egy adatobjektum, vagy modellobjektum felesleges, akkor az egérrel megfogva, és a szeméttároló (Trash) fölé húzva törölhető.

Ha az „Import Data” legördülő menüből az „Data Object...” fület választja, akkor feljön a

8. ábrán látható párbeszédablak, automatikusan felkínálva, hogy adatobjektum megadására kerül sor. Az „Object” mezőbe kell begépelni az adatobjektum nevét (a mintapéldában ez adat1).

Ráklikítelve a „Data Name” mezőre a név automatikusan beíródik, de átnevezhető. Emlékeztetőül az „Object Class” nem írható mezőben megjelenik az „IDDATA (Time Domain)” felirat.

A „Starting time” mezőben (másodpercben) kell megadni, hogy az identifikáció mely időponttól kezdődjön (a mintapéldában ez 5 [s.]). Fontos, hogy az adat1, adat2 adatobjektumokban ez az érték azonos legyen!

Megjegyzés: Ha van elérés, akkor csak holtidőt feltételező modell szabad identifikálni, és az identifikálás eredményében a holtidőt az elteréssel korrigálni kell.

A „Sampling interval” mezőben (másodpercben) a mintavételi időt kell megadni.

8. ábra. Adatimport párbeszédablak

A „More” nyomógomb továbbbi, nem kötelező információ megadását teszi lehetővé.

A „Import” nyomógombot működőtetve megtörténik az adatobjektum beolvasása a GUI-ba, a „adat1” megjelenik a bevitt adatok tárolóban. Megismételve a fenti eljárást az „adat2” adatobjektummal, az is az identifikáló GUI adattárolójába kerül.

Megjegyzés: Az először importált „adat1” automatikusan a feldolgozandó (Working Data), és a validálási adatok (Validation Data) mezőbe is bekerül. Ezt a másodikik, és a további adatobjektum importálás nem írja felül.

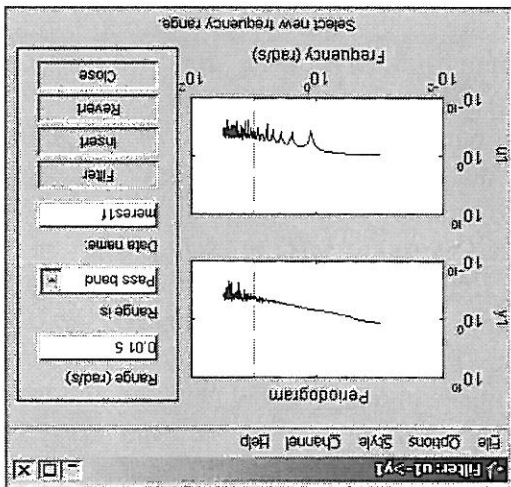
A „Preprocess” legördülő menü lehetőségei közül az átviteli függvény meghatározásához egyedül a „Filter...” (szűrés) alkalmazása lehet indokolt. A jobb modell elérése érdekében végezzünk zajsztűrést. Az identifikáló GUI a szűrést a „Working Data” mezőben található adatokon végzi el.

A „Preprocess” legördülő menüből a „Filter...” opciót választva a 9. ábrán látható párbeszédablak jön fel. A gerjesztő, és a válaszjel körtfrenkvencia

menete is látható az ábrán. A párbeszédablak feljövetelekor a „Range (rad/s)” mezőben az ábrázolt jelkhez illeszkedő körfrekvencia-tartomány van.

Mintán a modell aluláteresztő szűrő jellegű a válaszjelhez kell illeszteni szűrési tartományt.

Megjegyzés: Ovatosan a szűrési tartomány beállításával. Inkább maradjon zaj a modellben, mint hasznos jel vesszen el. A zajos jelekkel kell azonosítani. Majd az így kapott modell törepsonti körfrekvenciái közül a legnagyobb és legalább egy nagyvártól nagyobb értékűre kell választani a szűrendő frekvencia-tartományt a felső határtól. Az értékek átírása (0.01 – 5) után szaggatott vonal jelzi a körfrekvencia sávhatárt.



9. ábra. Szűrés

A „Range is” legördülő menüből a „Pass Band” választással a kijelölt frekvencia-tartományon túli, vagyis a nagyfrekvencias zaj, szűrhető ki a „Filter” nyomógomb aktiválásával. A „Stop Band” választással a (0.01 – 5) frekvencia-tartomány szűrhető ki (sávszűrő). A szűrt jelek frekvenciamentesítés megjelölés. Ha nem megfelelő az eredmény, akkor a „Reverse” gombbal helyreállítható az eredeti állapot. Ha megfelelő az eredmény az „Insert” gombbal a bevitt adatok tárolójába kerül a „Data Name” mezőben definiált néven.

Megjegyzés: Azt a technológia elemzésével lehet eldönteni, hogy a mért jel a jelvezetékre várakodó külső, vagyis szűrendő zaj, vagy a berendezés, technológia működéséből fakadó belső, vagyis modellezhető zajt tartalmaz.

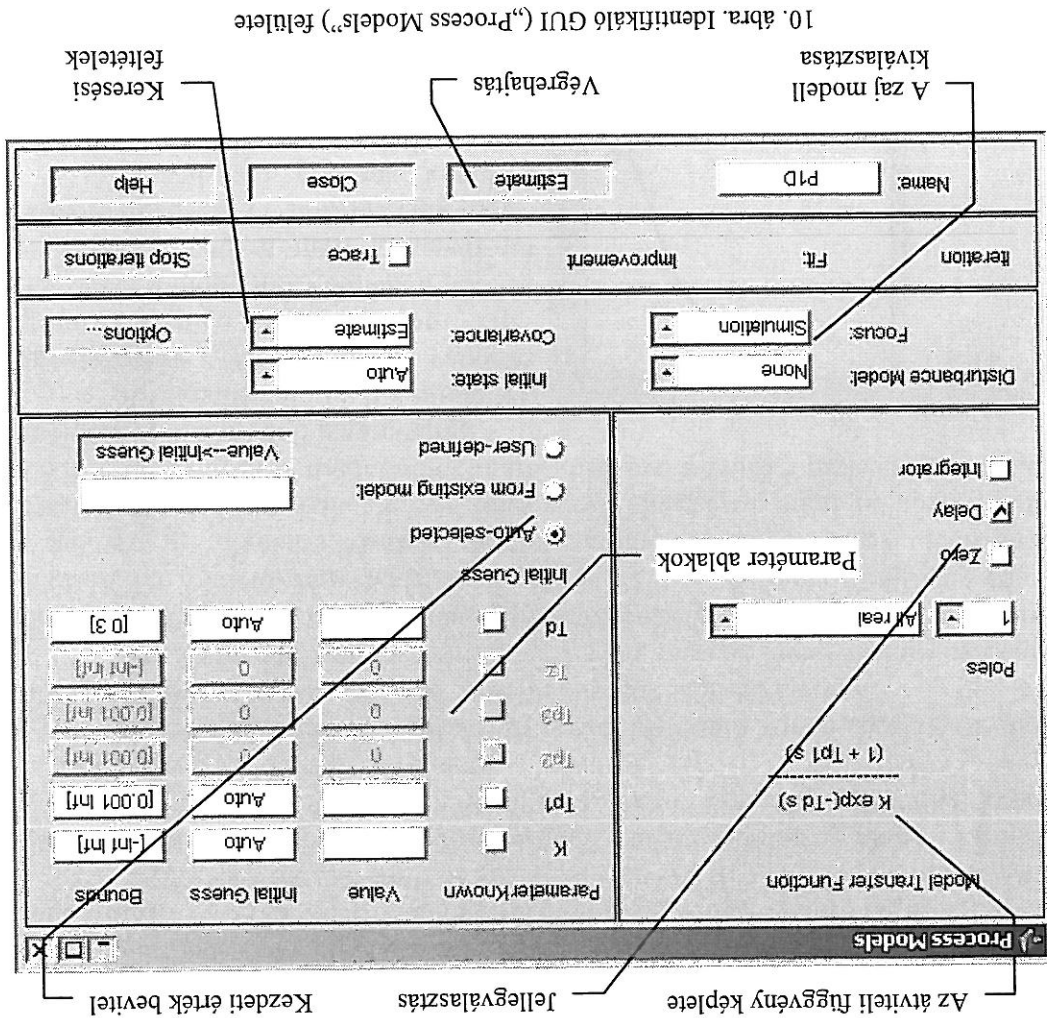
Az „Insert” gomb működésével, ha nem írta felül, akkor a szűrt adatobjektum „adat1” néven jelenik meg a bevitt adatok tárolójában. Amelyik adatobjektum a bevitt adatok tárolójában ki van jelölve, az a feldolgozandó adatok megtekintése (Time plot, Data spectra, Frequency function) fülük bepipálásával - egy feljövő grafikus ablakkal - ellenőrizhető.

Figyelem: Feleslegesen ne hagyjon nyitva párbeszédablakot!

A szűrési eljárást az adat2 adatokon is végre kell hajtani.

Ezt követően először a szűretlen jelekkel végezzük el a szakaszidentifikálást. Ehhez az egérrel - egyszerrű „fogd és vidd” technikával - az adat1 adatobjektumot a „Working Data” mezőre, az adat2 adatobjektumot a „Validation Data” mezőre kell húzni.

Az „Estimate” legördülő menüből a „Process Models” lehetőséget kell választani. A feljövő párbeszédablakot mutatja a 10. ábra.



reket mely értékekkel elindulva kezdje keresni. Ha vannak ismeretünk, azt cél-szerű megadni, mert a kereső program véges számú iterációt hajt végre. Az 5. ábra kiértékelésekor HP T2 jelátvivő tagot feltételezve, a kapott szakaszerosztítás $K_p = 1.2$, és a holtidő $T_d = 1$ [s] értékekkel célszerű felülmíni az „auto” beírást, az „Initial Guess” oszlopában. Az „Initial Guess” rádiógomb kijelölése automatikusan a „User-defined” (felhasználó által megadott) opcióra ugrik.

A „Poles” mezők alatti fülek közül egyszerre több is kijelölhető. Az „Integrator” kipipálásával integráló jellegű szakaszt keres, a „Delay” kipipálásával holtidőt feltételez a modellben, és a „Zero” kipipálásával gyököt keres a számlálóban az identifikáló eljárás.

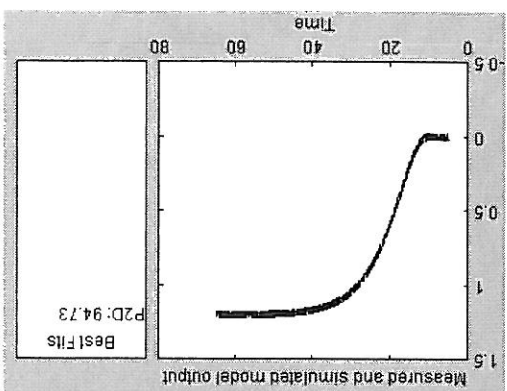
A keresési eljárást befolyásoló mezőket (Option, Disturbance Model, stb.) átviteli függvény keresések az eredeti állapotukban kell hagyni.

Az „Estimate” gombra klikkelve várjon, mert az identifikálás végrehajtása időt igényel. Az identifikálás végrehajtásának végén újra előjön az identifikáló GUI felület, és a modellek mezőben P2D névvel megjelenik egy adatobjektum. A „Process Models” felület paraméter ablakaiban az identifikált modell paraméterei láthatók, de felesleges feljegyezni, mert az identifikáló GUI felületen a P2D modellobjektumra klikkelve a feljövő párbeszédablakban megjelennek a modell paraméterei.

Az identifikáló GUI a modellek megtekintése (Model views) választógombok közül a „Model Output” kijelölésével a modell(ek) kimeneti jele, és a validálás céljára mért kimeneti jel közötti egyezés (11. ábra) jelenik meg.

A választógombok közül a „Model residuals” a modell, és a validálási adatok közötti korrelációt, a „Transient resp” a modell átmenni függvényét, a „Frequency resp” a modell Bode diagramját, a „Zeros and poles” a modell pólus-zérus térképét, a „Noise spectrum” a modell zajának teljesítmény spektrumát jelzi ki.

11. ábra. Modell kimenet



A 11. ábra „Best Fits” ablakában látható az egyezés mérése. A több mint 94%-os egyezés a zajos jelet figyelembe véve jó. Mégis érdemes az identifikációt még egyszer lefuttatni úgy, hogy a létező modell paraméterei legyenek a kiindulási (Initial Guess) értékek. Ez a (From existing model) választógomb kijelölésével érhető el. Az „Estimate” gombra klikkelve az identifikálás végrehajtásának végén feljön az identifikáló GUI felülete, és a modellek mezőben

egy újabb, de más színű P2D nevű modellobjektum jelenik meg. Ha két modell van a modellek tároló területén (7. ábra), akkor a „**Model Output**” kijelölésével megjelenő párbeszédablak (11. ábra) „**Best Fits**” ablakában két érték lesz a modelleknek megfelelő szímmel, a megfelelés sorrendjében.

Megjegyzés: Ha nem látja valamely, a modellek tárolójában már létező, modell értékét, akkor a modell rákikikéssel ki kell jelölni. A kijelölt modell semantikus vonalai vastagabbak, mint a jelöletleneké.

A modell paramétereit lenyelve nem változtathatja, ezért próbálkozzunk a PT3-mas modellel. A „**Process Models**” felületen átválasztva a pólusok számát háromra, és megszüntetve a holtidőt, az ennek megfelelő paraméter ablakok lesznek fehérek. A kindulási (Initial Guess) értékeket hagyhatjuk a (From existing model) választógombbal jelölt helyen. Az „**Estimate**” gombra klikkelve hajtunk végre az identifikálást. P3 néven újabb modellobjektum jelenik meg.

A „**Model Output**” kijelölésével a 11. ábra „**Best Fits**” ablakában a három modell megfelelése van felsorolva a megfelelés sorrendjében. Ezek közül a PT3-mas megfelelése a legjobb.

Kétszer klikkelve a P3-as modellre, a feljövő információs ablakban láthatók a modell adatai, és a „**Model Name**” mezőben átviható a neve. Legyen az új név szakasz1. A párbeszédablak bezárásával a P3 név helyett a szakasz1 lesz látható a modellek tárolójában.

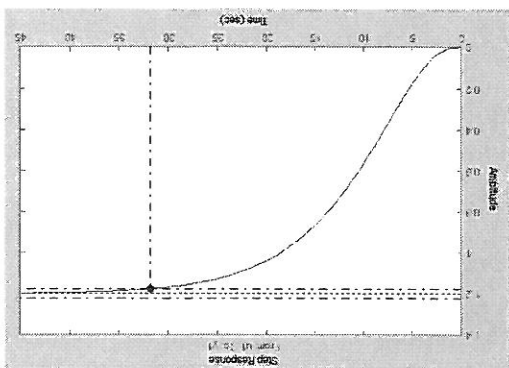
A szűrt jellekkel is végezzük el a szakaszidentifikálást. Ehhez az egérrel az adat1f adatobjektumot a „**Working Data**” mezőre, és az adat2f adatobjektumot a „**Validation Data**” mezőre kell húzni.

Ezt követi az „**Estimate**” legördülő menüből a „**Process Models**” kiválasztása. A „**Process Models**” felületén (10. ábra) értélemszerűen a jobb eredményt szolgáltatató PT3-mas jelátvivő tag modellt célszerű választani. Hasznos definiálni az ismert ($K_p=1.2$) kezdeti értéket.

Megjegyzés: Amikor kicseréli az adatokat a „**Working Data**”, és a „**Validation Data**” mezőkben, a „**Process Models**” felületet (10. ábra) nem kell bezárni.

Elvégezve az identifikálást, az újból P3 néven megjelenő identifikált modellt nevezze át szakasz2-re. Ezután a „**Model Output**” „**Best Fits**” ablakában látható, hogy a szakasz2 sokkal jobb, közel 99%-os megfelelést ad.

Validálaskor a megfelelést a „**Validation Data**” mezőben elhelyezett adatobjektumhoz viszonyítva vizsgálja. Ezért ugyanazon modellek vizsgálatá esetén a „**Model Output**” „**Best Fits**” ablakában látható értékek különbözőnek attól függetlenül, hogy a szűrt vagy a szűretlen jel van a „**Validation Data**” mezőbe helyezve. A hibahatáron belül az összehasonlított modellek sorrendjét ez nem változtatja meg.

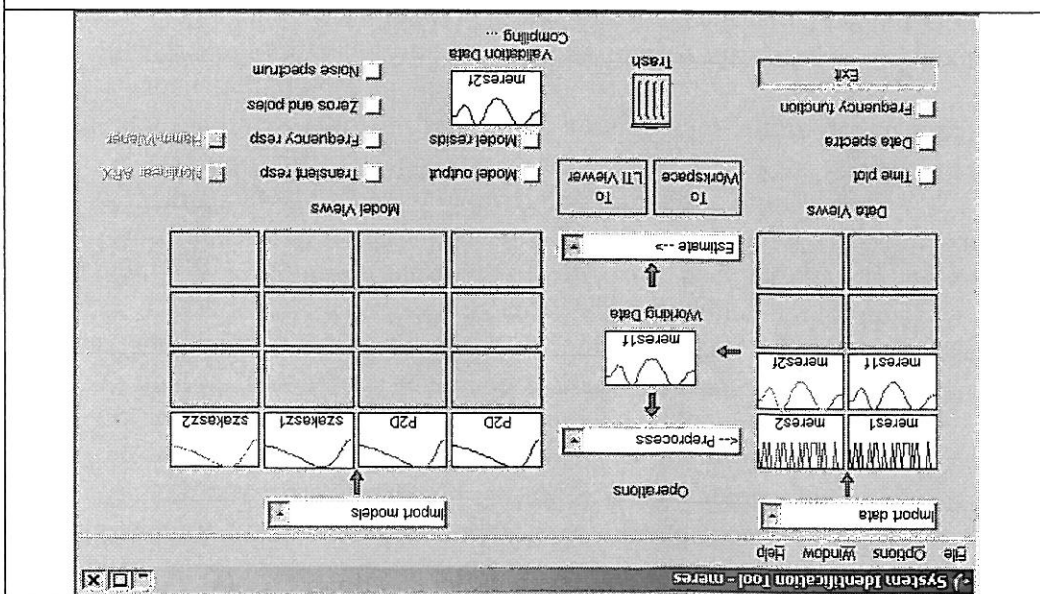


13. ábra. AZ LTI Viewet ablaka

rátekinthető az „LTI Viewer”-re. Az „LTI Viewer” alapbeállítá-
sban az elsőként rögzített modell
átmeneti függvényét ábrázolja. Ismételje meg az eljárást a
szakasz2 modellel is. Az „LTI Viewer” ablakában
az „Edit” → „Plot configurations”
útvonalon feljövő párbeszédablakban
beállítható az ábrák száma és elneve-
zése (Select a response plot configuration,
illetve megválasztható a jelek ábrázolá-
s módja (Response type)).

Az eddigi munka eredménye a 12. ábrán látható. A szakasz1 modellt a további vizsgálatokhoz az egérett a „To LTI Viewer”-tőlé húzva az előző színter vált (a MATLAB bar grafikus kijelzővel mutatja, hogy dolgozik), majd a végén megjelenik a 13. ábra. Hasonló eljárással egymásután több modell is

12. ábra Az identifikáló GUI az eredményekkel.



A másik lehetőség a tovább feldolgozásra a szakasz1, majd a szakasz2 modell az egérrel a „To Workspace” fölé húzni. A MATLAB „Workspace” területen <4-D idproc> típusú szakasz1, és szakasz2 nevű változó jön létre.

Ezek a változók átviteli függvények, ezért az átviteli függvényeket kezelő paramcsok {bode(szakasz1), step(szakasz1), tf(szakasz1), stb.) alkalmazhatók.

Meghívva a „Simulink Library Browser”-t, a „System Identification Toolbox” könyvtárban található az „Idmodel”. Ezt a modell-

készítő felületre húzva, a paraméterező párbeszédablakába (14. ábra) elég az „idmodel variable” mezőbe beírni a szakasz1 nevet. Az „Add noise” választógombbal eldönthető, hogy a blokk kimenete tartalmazza, vagy ne tartalmazza a zajt.

Ezt követően a Simulink szerkesztő felületén a modellblokkhoz az „Automatika I laboratórium” tárgyban megismert módon további blokkok (például: PID szabályozó) fűzhetők.

Megjegyzés: A PID szabályozók a „Simulink Library Browser” „Simulink Extras” könyvtárának „Additional Linear” blokkjai között vannak.

Amikor szabályozót illeszt szakaszhoz, akkor az ipari gyakorlatban szokásos PIDT1 (PID with Approximate Derivative) blokkot válassza.

Vigyázat az amerikai PID algoritmus <6.> szerint kell paraméterezni.

$$G_c(s) = P + \frac{I}{s} + \frac{D}{Ds} + \frac{N}{s+1}$$

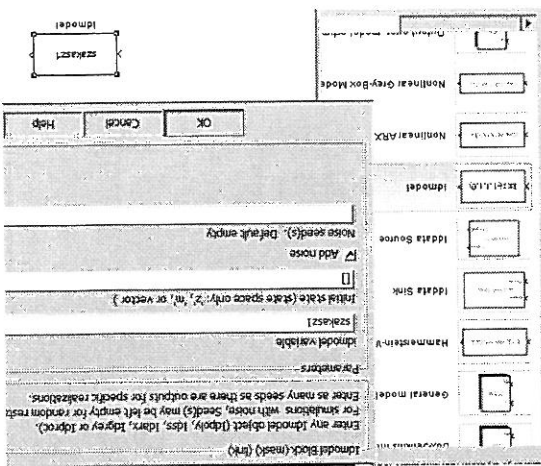
<6.>

Az európai PID algoritmus <7.> szerint meghatározott (pl.: polus átnevezéssel, Bode diagramból, átmeneti függvényből) szabályozó paramétereiből

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{sT_i}{1} + \frac{sT_d}{Ts+1} \right)$$

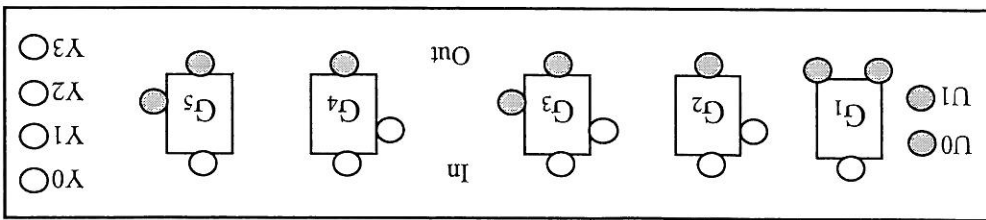
<7.>

$$P = K_c \quad I = \frac{T_i}{K_c} \quad D = K_c T_d \quad N = \frac{1}{1} \quad <8.>$$



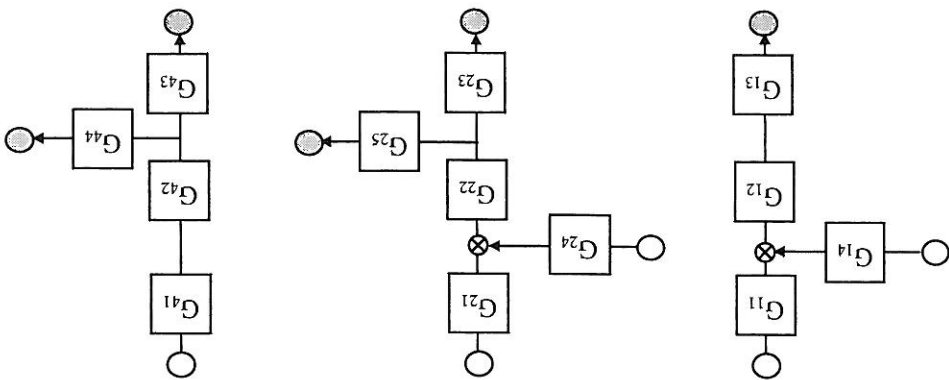
3. Modellező

Az Advantech 1711 mérésadatgyűjtő kártya két kimenete (U_0 , U_1), és négy bemenete (Y_0 , Y_1 , Y_2 , Y_3) van kivезetve a modellező eszközre. A mérésadatgyűjtő kártya be-, és kimenetei a mikróprocesszorral szimulált szakaszkártya kimenete (U) a szimulált szakaszok bemeneteihez, és a szimulált szakaszok kimenetei a mérésadatgyűjtő kártya bemeneteihez (Y) csatlakoztathatók.



15. ábra. A modellező előlapja

A szimulált szakaszok közül a G_1 jelölbbszörzést és illesztést végez. A két kimenete lemásolja a bemeneti jelet. A G_2 , és a G_4 jelű szakaszok azonos struktúrájúak. A különbség, hogy a G_4 tartalmaz nemlinearitást.



16. ábra. A szimulált szakaszok struktúrája

3.1. Feladatok

Identifikálja a mérésvezető által kijelölt szakaszokat. Válassza ki a legjobb modellt. Válasszon hozzá kompenzáló tag struktúráját, és a pólus átelyezés módszerével határozza meg a kompenzáló tag paramétereit.

11. Valósídejű szabályozás optimalizálása

A MATLAB-ban a „Response Optimization Tool” (Válaszfüggvény Optimalizálás Eszköz) alkalmazásának feltétele az „Optimization Tool” (Optimalizálás Eszköz) megléte, továbbá hasznos ha van „Genetic Algorithm And Direct Search Tool” (Genetikai Algoritmus és Direkt Keresés Eszköz). A vá-

laszfüggvény optimalizálás alkalmazható:

- Zárt szabályozási körben, a kompenzálo szerv paramétereinek (K_c erő-sítés, T_i integrálási idő, T_d differenciálási idő és A_d differenciálási erősítés) hangolása (tuning), amíg a szimulált, lineáris, zárt szabályozási kör átmeneti függvénye nem teljesíti az előírt peremfeltételeket.
- Megjegyzés: A kompenzálo tag jellegét (P , PI , $PDTI$, $PIDTI$) előre meg kell adni, és a paraméterkereső eljárás ezt nem módosítja.
- A munkapont környéki lineáris szakaszmodellt, és nem linearitást tartalmazó szabályozási körben az előírt peremfeltételeket teljesítő átmeneti függvényhez tartozó kompenzálo szerv paraméterek meghatározása.
- Megjegyzés: A végrehajtó szerv korlátos voltából eredő nem linearitás figyelembe vétele mindig ajánlott.

- Paraméter bizonytalanságok hatásának elemzésére.
- Megjegyzés: A szakaszmodell paramétereit is tartalmaznak bizonytalan-ságot, illetve változhatnák. Konkrét kompenzálo tag beállítása mellett vizsgálha-tó, hogy a szakasz paramétereinek változása mennyire befolyásolja a zárt sza-bályozási kör minőségi jellemzőit.
- Előírt formájú és/vagy frekvenciamentű jel generálására.

Megjegyzés: Akár specális gerjesztő jel előállításra, akár elektronikus áramkör (pl.: szűrő) kívánt átviteli függvényt produkáló alkatrész értékeinek meghatározására alkalmazható.

- Energiaminimalizálásra a végrehajtó jel effektív értékének minimalizálá-sásával.
- Fizikai eszközök, berendezések tervezéséhez.

Megjegyzés: A fizikai egyenletekből kiindulva (Grey Box) a tervezett esz-köz mechanikai mérőének (pl.: robotkar), vagy anyagjellemzőjének (pl.: hőát-adási tényező) meghatározása.

Megjegyzés: Ha egy már létező berendezésnek a fizikai egyenletekből kiindulva alkot modellt, és a fizikai berendezésen mért gerjesztő és válaszjelek-kei tesztelve akarja pontosítani a modell paramétereit, akkor a „Parameter Estimation Tool”-t (Paraméterbecslés Eszköz) kell alkalmaznia.

- Egyenlet megoldók: Az optimum keresők e csoportja a kiindulási értékek közelében keresi az egy (skalár) vagy többértékű (vektor) megoldását a nem lineáris egyenletnek.
Megjegyzés: Az egyenlet megoldók azért tekinthetők optimalizálásnak, mert felfoghatók, mint a függvény minimum normájának keresése.

1.2. Robosztus szabályozás

Az iparban a technológiai rendszerek összetettsége miatt a különböző időpontokban felvett mérési adatokból identifikált szakaszok paraméterei tartalmaznak szórást.

Ha a szabályozó algoritmus e paraméterezések ellenére betartja az előírt minőségi paramétereket, akkor robusztus szabályozást valósít meg.

Ennek egyik lehetséges módsze-

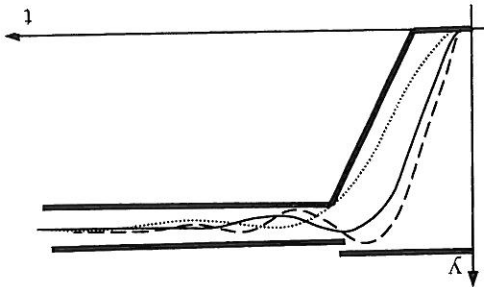
re, amikor a szakaszmodell paramétere-

inek bizonytalanságát figyelembe véve,

a leggyorsabb és leglomhább felhúási

idejű átmeneti függvények is meghatá-

1. ábra. A modellparaméter bizonytalanság-
ból adódó különböző átmeneti függvények.



vény optimalizálásakor.

Paraméter bizonytalanság definíciója értélemszerűen megnöveli a szá-
mítási igényt. Esszerű kompromisszum, ha nem az összes szakaszmodell pa-
raméterhez rendelkezik bizonytalansággal.

1.3. Válaszfüggvény optimalizálás

A válaszfüggvény optimalizáláshoz (Response Optimization) a gerjesztő, és a válaszfüggvény lehet akár idő-, akár frekvenciatarománybeli. A MATLAB két lehetőséget is kínál a válaszfüggvény optimalizálására:

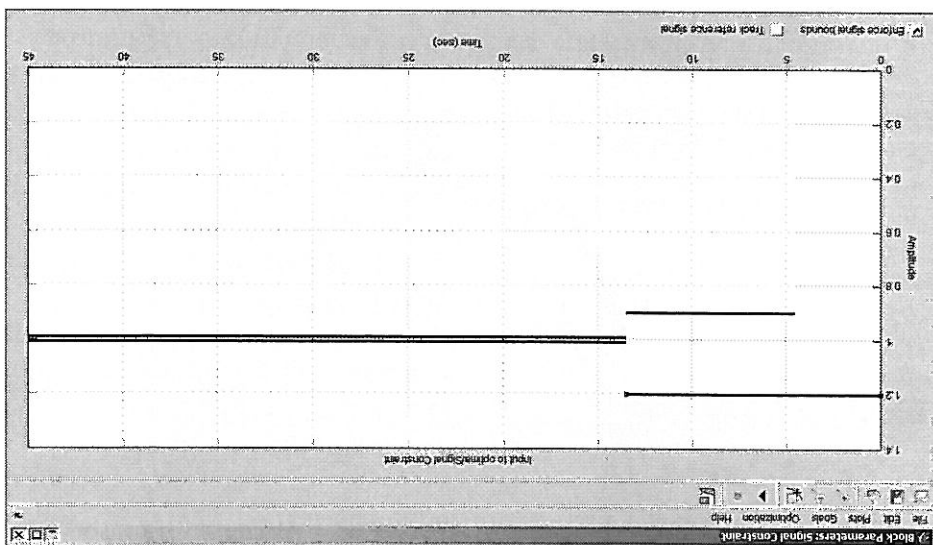
- A SIMULINK program segítségével olyan modellt kell készíteni, amelyben nemcsak konkrét számértékek, hanem változók is vannak. A modell megfelelő jelehez kell illeszteni a „Signal Constraint” blokkot.
- A „SISO Design Task” (SISO Tervező) segítségével.

Megjegyzés: A „SISO tervező”, ami egy összetett kezelőfelületű GUI, kész paneleket tartalmaz. A panelekbe illeszkedő feladatokatnál gyors és hatékony, a panelről való elérés viszont nehézkes.

1.3.1. A „Signal Constraint” (jelmegkötések) blok

A „Signal Constraint” blok, ami egy GUI (Graphical Unit Interface), a **Simulink Library Browser** → **Simulink Response Optimization** útvonalon érhető el. Több „Signal Constraint” blok is illeszthető a Simulink modellbe. *Megjegyzés: A „Simulink Response Optimization” könyvtárban az RMS blok a négyzetes hibahosszeg minimalizálására alkalmas.*

A Simulink modellbe illesztett „Signal Constraint” blokra kétszer rákattikkelve jelenik meg az alábbi ábra.



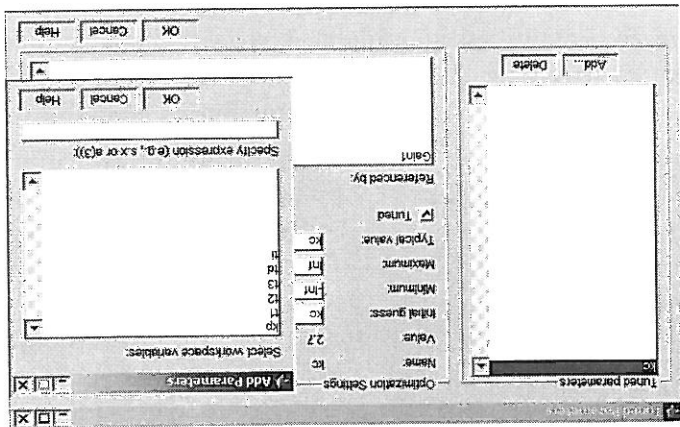
2. ábra. „Signal Constraint” blok

A „Signal Constraint” menüjében, az „Edit” alatt az „Axes properties” párbeszédablakában a 2. ábra feliratait, valamint az x, y tengelyek kezdő, és végértékeit lehet módosítani. A „Scale Constraint”, és a „Reset Constraint” fülekekkel a határoló vonalak szerkeszthetők. A határoló vonalak az egérrel húzogatva is szerkeszthetők, de a legpontosabb az „Edit Design Requirements” párbeszédablak alkalmazása. A párbeszédablak a mintapéldában lesz bemutatva.

A „Signal Constraint” menüjében, az „Plots” alatt a „Plot current response” az aktuális eredményt jeleníti meg. A „Show” füllel kijelölhető, hogy a kereső eljárás szimulált átmeneti függvényei közül mi jelenjen meg a 2. ábrán. A túl sok görbe zavaró lehet. A „Clear Plots” letörli a megjelenített görbákat.

A „Signal Constraint” menüjében a „Goals” alatt, és részben a balalsó sarokban található fülekkel választható meg a jelillesztés módja.

- Az „Enforce signal bounds” - a 2. ábrán megrajzolható jelhatárok közé - kényszeríti a választást (pl.: A zárt szabályozási kör átmeneti függvényét).
- Ha az „Enforce signal bounds” mellett a „Track reference signal” is kijelölésre kerül, akkor a feljűvő parbeszedablakban előírt referencia jelet használja gerjesztésre az egyességűgrás helyett.
- A „Goals” → „Desired Response” választással újabb parbeszedablak jön fel, amelyben definiálhatók a kívánt átmeneti függvény paraméterei.



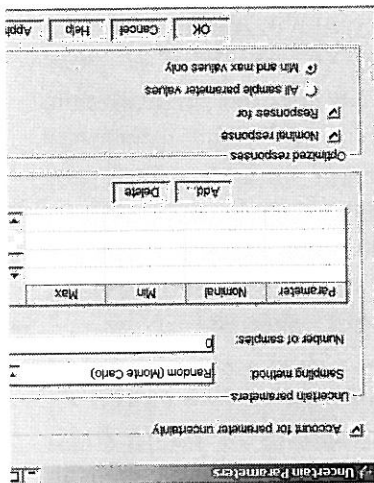
3. ábra. A hangolando változók beállítása

A „Signal Constraint” menüjében, az „Optimization” alatt, ki- választva a „Tuned Parameters” fület a 3. ábra al- ső parbeszedablaka tül- nik fel. Az „Add” gomb- bal lehet a „Workspace” Simulink modellhez tar- tozó változói (3. ábra fel- ső parbeszedablak) közül a hangolmi kívántakat hozzáadni az alsó párbe- szedablakhoz.

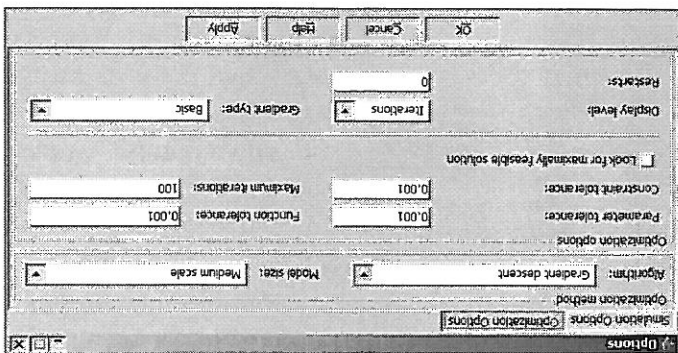
A „Delete” gomb törli a „Tuned parameters” ablakban kijelölt változó hangolando változót. A „Tuned parameters” ablakban kijelölt változó aktuális adatai a jobboldalon (a 3. ábrán részben takarva) láthatók. A „Signal Constraint” menüjében, az „Optimization” alatt, ki- választva a „Uncertain Parameters” fület a 4. ábra al- ső parbeszedablaka jön fel. Az „Add” gombbal lehet a „Workspace” Simulink modellhez tartozó változók közül a ki- vántakat hozzáadni a táblázathoz, és a „Delete”- tel törölni.

A 4. ábra táblázatában a változó felvételé- kor megjelenik a névleges (Nominal) érték, és a névleges értékhez képest $\pm 10\%$ -os eltéréssel a minimum (Min.), és a maximum (Max.) értékek.

4. ábra. A paraméter szórás beállítása



A minimum, és a maximum értékek átirthatók. A 4. ábrán, ha az „Ac-count for parameter uncertainty” fül nincs bejelölve, akkor nem számol a változók bizonytalanságával, de a táblázat megőrzi a már beírt értékeket.



5. ábra. A szimulációs és az optimalizáló paraméterek beállítása

A „Signal Constraint” menüben, az „Optimization” alatt, akár a „Simulation Option..”, akár az „Optimization Option..” fület választva a 5. ábra párbeszédablaka jelenik meg. Az első előhíváskor a 5. ábra „Simulation Option..” ablakban beállítható paraméterek azonosak a Simulink modell szimulációs paramétereivel.

Figyelem: Akár az „Option” ablakban (5. ábra), akár a Simulink modellben megváltoztatja valamelyik paramétert, az automatikusan nem másoldik át. A két beállítás eltérése hibát okoz.

- Az „Optimization Option..” ablak alapbeállításai általában megfelelők. Az „Algorithm” a kereső eljárást választja meg. Ezek közül a „Gradient descent” többváltozós függvény minimumát keresi, a „Pattern Search” min-tához illeszt, a „Simplex Search” függvényekkel határolt terület közé szorít. Ez utóbbi a diszkontinuitásokat (nem folytonos függvénymenetet) tartalmazó függvények esetén gyorsabb, mint a „Gradient descent” módszer.
- A „Model size” fülrel a Simulink modell bonyolultságát lehet jelezni. Nagyon összetett és sok változót tartalmazó modell esetén, a pontosság rovasára, a „Large scale” választással lehet a számolási sebességet növelni.
- Az „Optimization options” fülei definiálják, hogy mekkora eltérést tekint a keresőeljárás nullának. A „Parameter tolerance” a „Simplex Search” módszerekhez tartozik. A „Constraint tolerance” érték, és az 2. ábrán beállított határértékek szorzata definiálja az aktuális határérték nullának tekintett eltérést. A „Function tolerance” értéket a „Track reference signal” bejelölése esetén alkalmazza a kereső eljárás. A „Maximum iteration” az iterációk maximumánisan engedélyezett számát adja meg. A „Look for maximally feasible solution” bejelölésekor az iteráció nem áll le az első kielégítő megoldás megtalálásakor, hanem keresi a legjobbat.

A „Display level” azt definiálja, hogy mit jelezzen ki a kereső eljárás futása alatt. A „Restart” azt mutatja, hogyha nem talál kielégítő megoldást, akkor hányszor indítsa elől a teljes iterációs eljárást. Ilyenkor kezdő értékek-ként vesz figyelembe az utóljára megtalált értékeket.

A „Gradient type” a gradiens számítás módszerét definiálja. A „Basic” a közismert differencia határérték számítás. A „Refined” több egymást követő differenciát összevetve megbízhatóbb, és kevesebb zajt tartalmaz, de korlátozottan alkalmazható.



A ikonos a „Signal Constraint” menüje alatt látható. Balról jobbra haladva az első három a szokásos Windows (Open, Save, Print), a következő három az ábrára vonatkozó (Zoom In, Zoom Out, Data Cursor). A következő kettő az optimalizálást indítja el, és állítja le (Start Optimization, Stop Optimization), és végül az aktuális válaszfüggvény kirajzoló (Plot current response) ikon van.

1.3.2. A „SISO Design Task” (SISO Tervező)

A Matlab parancsfelületén begépelve a **sistool** parancsot, először feljön a „Control and Estimation Tool Manager” GUI (Graphical Unit Interface), majd a „SISO Design for SISO Design Task”, ami szintén egy GUI.

A „SISO Design Task” nemcsak az időtartománybeli, hanem az „s” operátoros (gyökhelygörbe), és az „w” körfrekvencia tartománybeli (Nichols, Bode) tervező eljárásokat is tartalmazza.

A „Control and Estimation Tool Manager” és a „SISO Design for SISO Design Task” GUI kezelő felületeinek megismerése időigényes, ezért idő és terjedelem korlátok miatt ez nem lesz bemutatva.

1.4. Végess végrehajto jel

Nem azonos azzal, hogy a beavatkozó jel értékkészlete végess (Például egy szelep legfeljebb teljesen nyitni, illetve zárni tud.). A beavatkozó jel végess értékkészlete korlátozás jellegű nem linearitást okoz a szabályozási körben. Ebből adódóan végess végrehajto jelet célszerű alkalmazni és modellezni.

A végess végrehajto jel azt jelenti, hogy energia megtakarítási és/vagy mechanikai terheléscsökkentési céllal előírják a végrehajto jel formáját és minimalizálják az effektív értékét. Ez utóbbihoz, a végrehajto jelhez és a „Signal Constraint” blokkhoz, egy „CRMS” blokkot kell csatolni.

2. Mintafeladat

2.1. Identifikációs eljárás

Elő lépésként identifikálni kell egy valós vagy szimulált szakaszt a „Mérésadatgyűjtés, szakasz identifikáció” című fejezetben leírt módon.

2.2. A SIMULINK modell előkészítése

A „Mérésadatgyűjtés, szakasz identifikáció” című fejezetben megismert példát folytatjuk a paraméter optimalizálás bemutatására.

Az említett fejezetben meghatározott két legjobb PT3-mas szakasz paramétereiből egy tizedes pontosságú kerekítéssel és kisebb, mint $\pm 5\%$ szórással előállnak a vizsgált szakasz K_p , T_1 , T_2 , T_3 paramétereit (6. ábra).

Megjegyzés: Az ipari be- rendezéseken különböző munkapontban, különböző külső hőmérséklet mellett végzett identifikálások eredményei akár $\pm 10\%$ enél nagyobb eltérés már irányműködési struktúráváltást igényel.

A közeli szakasz átmeneti függvényén keresztül a látszólagos felhúzó idő (t_H), és a látszólagos holtidő (t_H), melyeknek arányából (Automatika I jegyzet) PIDT1 kompenzáló tag választása indokolt.

6. ábra. Az optimalizálás előkészítése

```
% szakasz
%kp=(1,992 és 1,998)
%kp=1.2;
%tp1=(1,8794 és 1,7724)
%tp1=1.8;
%tp2=(5,0589 és 5,0947)
%tp2=5.1;
%tp3=(5,0589 és 5,0986)
%tp3=5.1;
%cs=5.1;
% szakasz átviteli függvény
%gp=tf(kp,[t1 1])*tf(1,[t2 1])*tf(1,[t3 1])
% kompenzáló jelleg megválasztása
step(gp)
% tH1=2,7[s], tT1=15,1[s] PIDT1 komp
t1=10;
td=2.5;
% a szilárd test Ad=5, vagyis
t=0.2*td;
%kompenzáló tag Kc nélkül
gc=1+tf(1,[t1 0])+tf([td 0],[0.2*td 1])
% Kc értéke ha a tértartóvalék: pm=50[%]
%bode(gp*gc)
%Kc=8,6[dB]
Kc=2.7;
% szilárd test arányos holtidő jellemzői
gym=feedback(Kc*gc*gp,1)
step(gym)
```

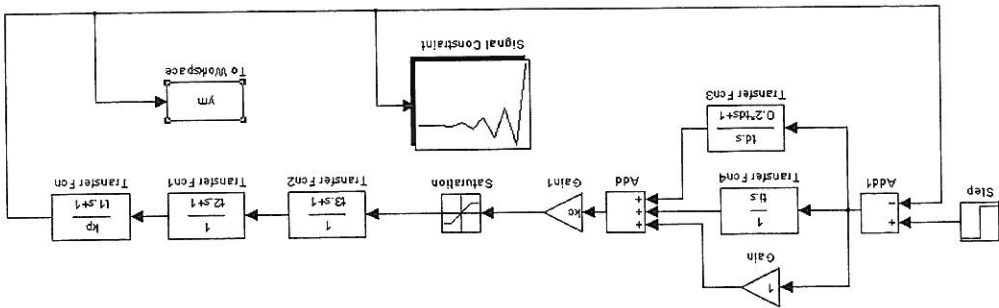
Megjegyzés: Mivel a legnagyobb és a második legnagyobb időállandók egybeesnek $T_1=2*T_2$, és $T_D=0,5*T_3$ pólusáthelyezést alkalmazunk. A minta-feladat szakaszán meg lehetőséget nagy zaj ul. Ezért a lehető legkisebbre celszerű megválasztani a differenciálási erősítést ($A_D=5$). A 60° -os fázistartások nyugodt (aperiodikus vagy keveset lengő) szabályozást követ biztosít.

2.2. A SIMULINK modell

Az „optimal.m” M fájlt (6. ábra) futtatva a MATLAB „Workspace” területén megjelennek a szakasz és a szabályozó változói.

Megjegyzés: A szakasz (k_p , t_1 , t_2 , t_3) és a kompenzáló tag (k_c , t_i , t_d) paramétereinek „Workspace” változóként való definiálását a „Signal Constraint” blokk igényli, hogy definiálni lehessen a szakasz paraméterek bizonytalanságát, és a hangolando szabályozó paramétereiket.

Ezután kerülhet sor az „optimal.mdl” Simulink modell megrajzolására (7. ábra) a „Signal Constraint” blokk nélkül.

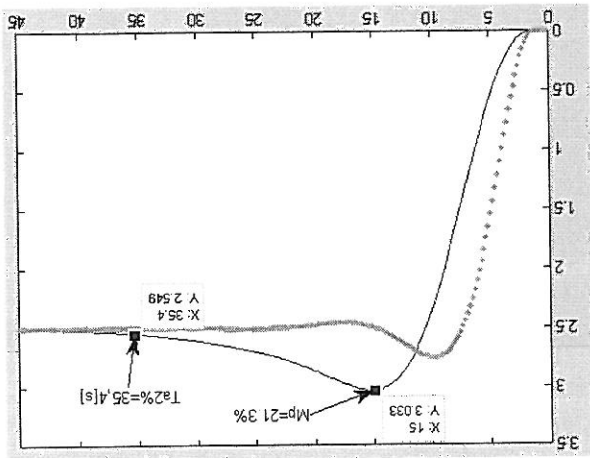


7. ábra. A nem linearitást tartalmazó zárt szabályozási kör Simulink modellje

A végrehajtó jel véges értékkeszletét korlátozó taggal lehet figyelembe venni a valószínű optimálisra használt zárt szabályozási kör modelljében. A mérésadatgyűjtő kártya kimeneti jelehez illesztkedve (5 [V]), a korlátozó tag (Saturation) 0 – 5 közötti értékeket engedti tovább. (7. ábra)

A korlátozás nélküli és a korlátozás tartalmazó jelekhöz (8. ábra) a megfelelő szimulációs paraméterek megtalálása iteratív művelet.

8. ábrán a vastag pontozott görbe nem, a folytonos vonal tartalmazza a beavatkozó végállásainak figyelembe vételéből fakadó, a végrehajtó jelben figyelembe vett (7. ábra) nem linearitást.



Megjegyzés: Annak érdekében, hogy a végrehajtott jel dinamikája mindkét irányban azonos legyen, az egysegűgerjesztés amplitúdója 2,5 [V], ami felezi az 5 [V]-os jeltartományt.

A szabályozó optimalizálásához szükséges paramétereket a nemlineáritást tartalmazó görbén kell kiértékelni.

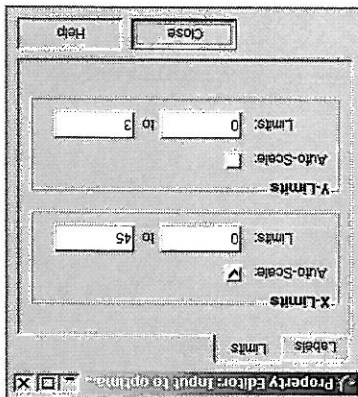
Megjegyzés: Ami a nemlineáritást tartalmazó szabályozási körnek optimális, az a lineáris rendszernek is megfelelő, csak nem optimális. A vastag pontozott görbe a munkapont környéki kis változások esetén igaz.

Csodák nincsenek, ezért elsődlegesen az irányítási cél által megfogalmazott prioritást kell figyelembe venni. Legyen ez a túllendülés (M_p) korlátozása úgy, hogy a toleranciasávhoz tartozó beállási idő ($T_{98\%}$) és az állandósult állapotbeli érték első érintésének ideje jelentősen ne növekedjen.

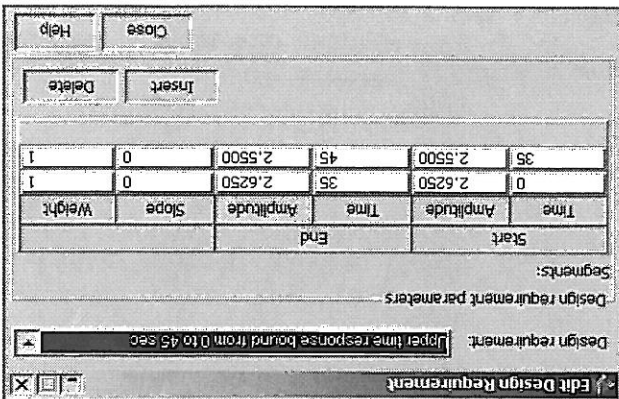
- A szimuláció időtartama 45 [s], a mintavételi idő 0,1 [s].
- A túllendülés $M_p \leq 5\%$.
- A szabályozási idő $T_{a2\%} = 35$ [s].
- A végérték első érintésének ideje ~ 15 [s]

2.2. A „Signal Constraint” blok paraméterezése

Az „optimal.mdl” Simulink modellbe illesztve a „Signal Constraint” blokkot (7. ábra), majd kétszer ráklikkelve megjelenik a 2. ábra. Az „Edit” → „Axis Scale” útvonalon feljön a 9. a. ábrán látható párbeszéd ablak, amelyben a 2,5 [V] gerjesztő jelnek megfelelően át kell paraméterezni az y tengelyt.



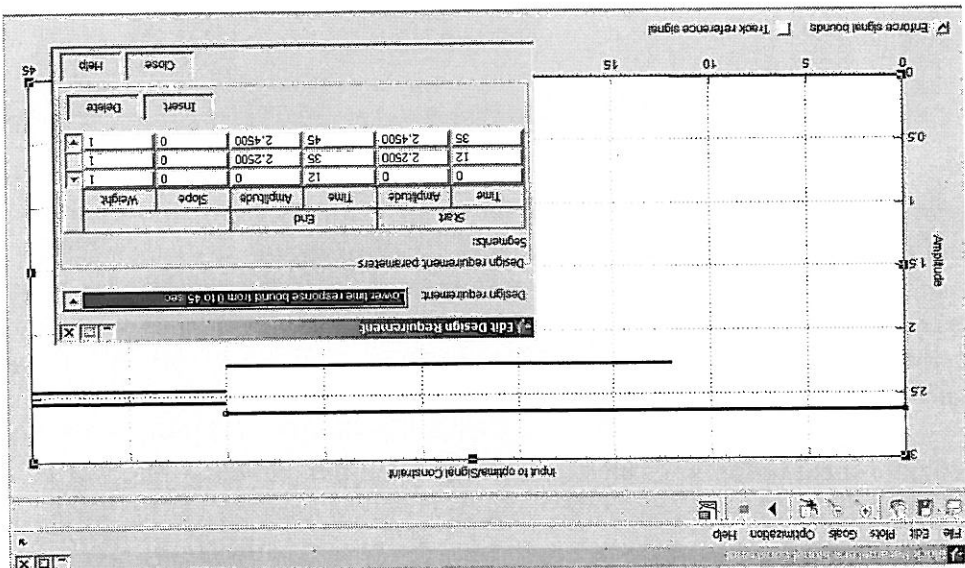
9. a. ábra.



9. b. ábra. A jelhatárok definiálása

Bármely határvonalra klikkelve az „Edit Design Requirements” (9. b. ábra) párbeszédablak jön fel.

A „Design Requirement” választó fullél, „Lower time response board from 0 to 45” opciót választva (10. ábra felső párbeszédablak) az alsó három határoló vonal kezdő és végkoordinátái adhatók meg. Az „Upper time response board from 0 to 45” opciót választva (9. b. ábra) a felső két határoló vonal kezdő és végkoordinátái adhatók meg.



10. ábra. A beállított válaszjel határok

A 3. ábrához tartozó magyarázatnak megfelelően ki kell jelölni a k_c , t_i , t_d „Workspace” változókat, mint hangolando PIDT1 szabályozó paramétereket.

A 4. ábrához tartozó magyarázatnak megfelelően meg kell nyitni, majd kitölteni az „Uncertain Parameters” párbeszédablakot.

Az ipari gyakorlatban a legtöbb szakasznak munkapont függő a K_p szakaszzerősi-tése. Ezért a K_p „Workspace” változó hozzá-

adásakor meghagyjuk a $\pm 10\%$ -os szórást.

Az időállandók kevésbé változnak, ezért nem szükséges az összes időállandóhoz bizonytalanságot rendelni. Vagy csak a t_1 , vagy az azonos értékű t_2 és t_3 „Workspace”

változókhoz elegendő szórást rendelni.

11. ábra. A szakasz paraméter bizonytalanság megadása

Parameter	Normal	Min	Max
kp	1.2	1.08	1.32
ti	5.1	4.1	5.1
td	5.1	6.1	6.1

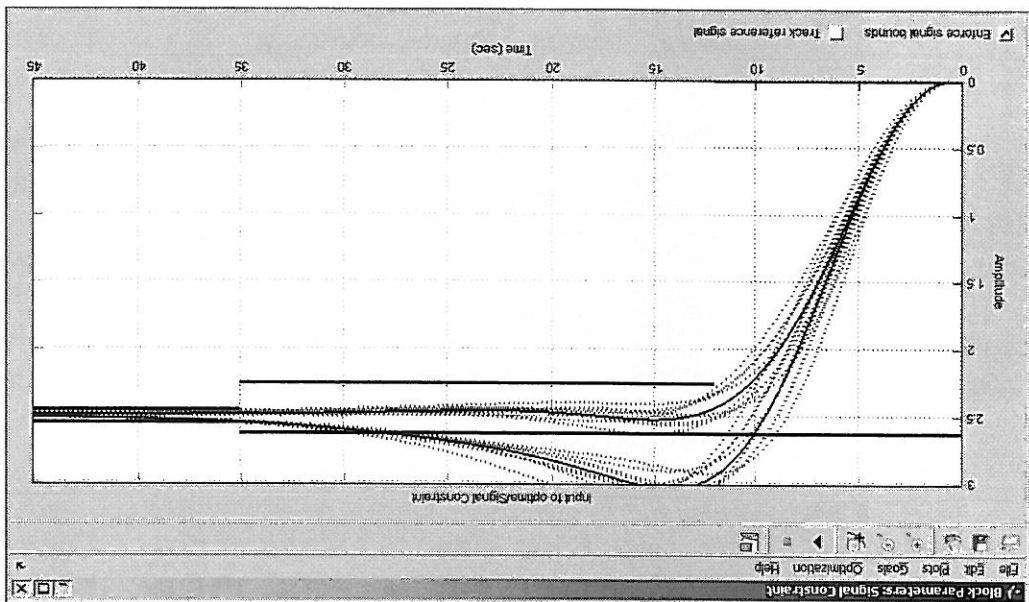
A 11. ábrán látható, hogy az azonos értékű t_2 és t_3 „Workspace” változókhoz aszimmetrikusan van a minimum, és a maximum érték hozzárendelve. Végezve a paraméterezéssel célszerű ellenőrizni (az 5. ábrához tartozó magyarázatnak megfelelően), de a mintapélda jellegű feladatokban felesleges változtatni az „Options” párbeszédablakot.

2.3. Az optimalizálás

A ▶ „Start” ikonmal indítható az optimalizálás. A kereső eljárás alatt az „Optimization Progress” információs ablaka is látható.

Az optimalizálás részeredményei sorra megjelennek a „Signal Constraint” ablakában. A kezdeti szabályozó paraméterekkel szimulált átmeneti függvények (a szakasz paraméter bizonytansága miatt van több) mindig két színűek, a végzeredmények pedig feketék. (12. ábra)

Megjegyzés: Az áttekinthetőség érdekében a „Plots” → „Show” ütvonalon felkinálti lehetőségekből az „Intermediate Steps” (közbenso lépések) ábrázolása ki van iktatva.



12. ábra. Az átmeneti függvények

Az optimalizálás végén a végzeredmény megjelenik az „Optimization Progress” információs ablakban, és a k_c , t_i , t_d „Workspace” változók új értéket vesznek fel. A mintapéldában ez: $k_c = 1.998$, $t_i = 15.8534$, $t_d = 2.1928$.

- Ha az optimalizálás sikeres, akkor az alábbi üzenet, és alatta a hangolt paraméterek új értéke jelenik meg:

Successful termination
Found a feasible or optimal solution within the specified tolerance

- Ha nem sikeres, akkor az üzenet:

Not found a feasible solution within the specified tolerance

- Hiba esetén nincs egyseges üzenet.

A hibaüzenetek utalnak arra a Simulink blokra, vagy szimulációs pa-

raméterre, ami a hibát okozta.

Megjegyzés: Gyakran előforduló probléma: Az átviteli függvény hibás

bevittele; Irreális kiindulási értékek; Eltérés a Simulink modell, és a „Signal Constraint” blokk szimulációs paramétereiben.

Figyelem: A hangolt változó értékei folyamatosan átiródnak. Hiba ese-

tén egészen extrém, például negatív értékű is lehet. A hiba kijavítása után gon-

doskodni kell arról is, hogy a hangolando változók kiindulási értékei megfele-

lőek legyenek.

Az ipari gyakorlatban számos eszközön be sem állítha-

tó négy tízedes jegy pontosságú szám. Legyen: $K_c = 2.0$, $T_I = 15.9$, $T_D = 2.2$. A Matlab „Command Window” felületén át-

íthatók (lásd jobbra) a szabályozó paraméterek.

A Matlab „Command Window” ablakában kiadott

parameterekkel a „Workspace”

változók értékei átirhatók.

A szabályozó új PID paramé-

tereivel végrehajtv a szimu-

lációt az „optimal.mdl”

Simulink modellben (7. ábra),

majd az alábbi paranccsal

plot(tou,y,m)

megrajzolva az optimális sza-

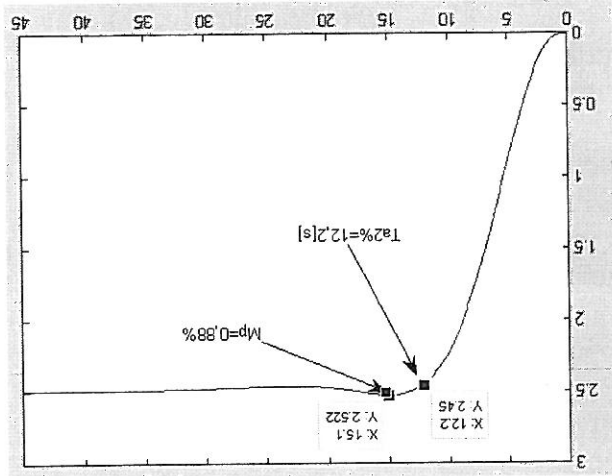
bályozó paraméterekhez tarto-

zó átmeneti függvényt kapjuk

a 13. ábrát.

A 13. ábrát összevetve

13. ábra. Az optimalizált átmeneti függvény



a 8. ábrával látható, hogy a tiszta lineáris esethez képest is jelentősen javultak a minőségi paraméterek. A végrehajto jel korlátozását tartalmazó modellelhez ké-

pest még a szakasz paraméter bizonytalansággal együtt is jobb.

3. Feladatok

1. Identifikáljon egy szakaszt, és egy tizedes pontossággal definiálja a paramétereit. Definiálja az egyes paraméterek szórását.
- Megjegyzés: A H holtidős tag a Simulink modellben (Transport Delay) nem a szokványos differencia egyenlettel áll elő, hanem a Pade féle közelítés. Ez akkor fog megbízhatóan működni, ha a szimulációban a „Fix step” kerül kiválasztásra, és a mintavételi időnek megfelelő „Fix step size” mérete leg-
alább a tízede a holtidőnek. A holtidőhöz ne rendeljen bizonytalanságot!
2. Az optimál.m fájlban hozza létre a szakaszparaméterek „Workspace” változóit, és a szakasz átmeneti függvényéből válasszon kompenzáciási struktúrát. Hozza létre a kompenzálo tag paraméterek „Workspace” változóit is. A kezdeti K_C értéket $40^\circ \leq \varphi_1 \leq 65^\circ$ fázisstartalékhoz állapítsa meg. A kezdeti T_I és/vagy T_D értékeket pólusáthelyezés kompenzációhoz állapítsa meg. A differenciálási erősítés $5 \leq A_D \leq 10$ között legyen.
3. A definiált paraméterekkel hozza létre az optimal.mdl zárt szabályozási kör Simulink modelljét. A végrehajtó jelet korlátozó tag határértékei illeszkedjen a mérésadatgyűjtő kártya kimeneti csatornához.
- Megjegyzés: Nemcsak a „Saturation” (korlátozás) tagot, hanem a „Rate Limiter” (merektség korlátozó), „Dead zone” (holtidő) tagokat is célszerű vizsgálni!
4. Vegye fel az átmeneti függvényeket a nem lineartást tartalmazó és nem tartalmazó esetben is. Ábrázolja ezeket közös diagramon.
5. A nem lineartást tartalmazó modelllhez adja hozzá a „Signal Constraint” tagot, és paraméterezze.
6. Hajtsa végre az optimalizálást. A hangolt változókat kerékkise.
7. A hangolt változókkal vegye fel a zárt szabályozási kör átmeneti függvényét, és állapítsa meg a minőségi jellemzőket
8. Hasonlítsa össze a kiindulási, és az optimalizált paraméterekkel, a nem lineáris tag előtt, a végrehajtó jelet.
9. Amennyiben fizikai szakaszon végezte el a szakaszidentifikálást, töltse le a szabályozóba a kiindulási, és az optimalizált paramétereket, és hasonlítsa össze a működésüket.
- Megjegyzés: Tervezelmű okokból a real-time konfigurálás nem lett ismertetve. A „Current Directory”-ban található „rt_szabalyozo.mdl” modell egy PIDT szabályozót, és a mérésadatgyűjtő kártya 0-ds be-, és 0-ds kimeneti csatornáit tartalmazza. Az alapjelet, mint „Workspace” változót, „ref” néven kell definiálni.

12. KASZKÁDSZABÁLYOZÁS VIZSGÁLATA

Az ipari gyakorlatban bizonyos szabályozástechnikai feladatok megoldásához sok esetben alkalmaznak kaszkádsszabályozást. A vizsgálat során a kaszkádsszabályozás kialakításának, alkalmazásai feltételeinek, működése statikus és dinamikus jellemzőinek, valamint előnyeinek és hátrányainak részleteit ismerhetjük meg.

1. Elméleti alapok

A nagy időállandójú szakaszok esetén a viszonylag lassan változó zavarások hatásának csökkentésére alkalmas szabályozó időállandóinak a helyes kompenzálás érdekében a szakasz időállandóival azonos nagyságrendbe kell esniük.

Gyors lefutású zavarások esetén ugyanaz a szabályozó nem alkalmas ezek hatásának csökkentésére, mivel ehhez a szabályozó időállandóinak jóval kisebbnek kellene lenniük.

Ezek az ellentétes követelmények egyetlen szabályozó alkalmazásával nem elégíthetők ki, mivel a különböző sávzélességű zavarások esetén a szabályozás kielégítő működése nem valósítható meg. Ilyen jellegű problémák megoldásához két szabályozó alkalmazása látszik célszerűnek; az egyiket a gyorsan, a másikat a lassan változó zavarásokhoz illesztve.

A szabályozási körök nagy részénél a legkritikusabb szerv a beavatkozó szerv, így azt nem célszerű megkeztetni, ráadásul a legtöbb esetben egyetlen módosított jellemzőt kell befolyásolni, így nehéz lenne másik beavatkozási levetőseget találni. A beavatkozó szerv megkeztetése elvileg sem jó megoldás, mivel az ugyanannak a szabályozott szakasznak két támadási pontját jelentené. Ilyen esetekben célszerű kaszkádsszabályozást alkalmazni.

A kaszkádsszabályozás azonban csak akkor teljesíti alapvető feladatát, ha találunk olyan mérhető kisegítő szabályozott jellemzőt, amelyben a szabályozott szakasz legfontosabb, gyors lefutású zavaró jellemzőjének hatása korábban jelenkezik, mint a szabályozott jellemzőben, és ha az erre a célra kialakított belső hurok ezen zavarás hatását olyan gyorsan küszöböli ki, hogy az a szabályozott jellemző átmenei állapotában is csak erősen lecsökkent mértékben jelentkezik.

A zavarászűrűsnek ez a módja akkor hatásos, amikor a szabályozott szabályozható egy gyorssabb és egy lassabb működésű részre.

Az előzőeknek megfelelően kialakított belső – (a követő) - hurok szabályozója P vagy PD jellegű, a külső hurok szabályozója pedig PI jellegű, ugyanígy a belső hurok működésénél a gyorssaság fontosabb, mint az állandósult állapotbeli pontosság, a külső huroknek viszont egyrészt biztosítani kell az állandósult állapotbeli pontosságot, másrészt megfelelő nagyságú időt a belső hurok tranziensténének lefolyásához.

A belső kör szabályozójánál az integráló jellegű szabályozó választása nemcsak felesleges, hanem kifejezetten helytelen, mivel a szabályozási rendszer stabilitását romtana, ráadásul gyakorlatilag semmilyen előnyt nem biztosítana.

A külső hurok szabályozója, a fő kör szabályozó adja az alapjelet a belső hurok szabályozójának, a kisegítő kör szabályozónak, amelyet az követni képes.

A tényleges beavatkozást az egyetlen módosított jellemzőn keresztül az alárendelt, tehát a belső hurok szabályozója végzi a végrehajtó- és a beavatkozó szervek segítségével.

A helyesen felépített kaszkádszabályozásnál az első feladat: a követő szabályozóként alkalmazott P vagy PD típusú szabályozót, a végrehajtó szer- vet, a beavatkozó szer- vet, a gyorssabb szakaszrészt és a belső kör- i érzékelőt és távadót tartalmazó szabályozási kört kell stabilis és gyors működésűvé tenni!

Ehhez először fel kell venni a belső körben lévő tagok: a végrehajtó szer- vet, a beavatkozó szer- vet, a gyorssabb szakaszrészt, a belső kör- i érzékelőt és a távadót reprezentáló tagok eredő átmeneti függvényét, majd meg kell határozni az azt közelítő tag átviteli függvényét, valamint annak paramétereit. A közelítő tag lehet egy egytárolós, holtidős arányos tag.

A közelítő tag paramétereinek ismeretében ki kell választani a megfelelő típusú (P vagy PD) szabályozót, majd meg kell határozni annak paramétereit. A belső kör szabályozó típusát és paramétereit beállítva célszerű ellenőrizni a belső kör működését, és ha szükséges, finomítani kell a beállításokat!

A kaszkádszabályozásnál a második feladat: a külső kör szabályozóként alkalmazott PI típusú szabályozót, a belső kört, a lassabb szakaszrészt és a külső

só körüi érzékelőt és távadót tartalmazó szabályozási kört kell stabilis és pontos működésűvé tenni!

Ehhez először fel kell venni a külső körben lévő tagok: a belső kört, a lassabb szakaszrészt, a külső körüi érzékelőt és a távadót reprezentáló tagok eredő átmeneti függvényét, majd meg kell határozni az azt közelítő tag átviteli függvényét és annak paramétereit a belső körnél alkalmazott módszerrel.

A közelítő tag paramétereinek ismeretében meg kell határozni a PI típusú szabályozó paramétereit, majd a szabályozó típusát és paramétereit beállítva ellenőrizni kell a kaszkádszabályozás működését, és ha szükséges, finomítani kell a beállításokat!

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

A kaszkádszabályozás vizsgálatát úgy célszerű elvégezni, hogy annak előnyeit és hátrányait is megismerhessük az egyhurkú szabályozáshoz képest, ezért először azt kell megvizsgálni, majd ahhoz kell összehasonlítani a kaszkádszabályozást.

A vizsgálatok számítógépes programozás felhasználásával végezhetők el, amelyekhez a MATLAB program ismerete és kezelése szükséges, mely az Automatika I. laboratórium című jegyzetben (BMF KVK 2042) található meg.

A szabályozó típusának kiválasztásához F. Piwinger a következőket ajánlja. Ha a szakaszt egytárolós, holtidős arányos taggal közelítjük, a T_f felütási idő és a T_{HI} látszólagos holtidő arányától függően a következő típusú szabályozót célszerű választani:

ha $\frac{T_f}{T_{HI}} > 50$, akkor P típusú,

ha $7,4 < \frac{T_f}{T_{HI}} < 50$, akkor PI típusú,

ha $3,3 < \frac{T_f}{T_{HI}} < 7,4$, akkor PID típusú

és ha $\frac{T_f}{T_{HI}} < 3,3$, akkor I típusú.

A szabályozó paramétereinek beállításához W. Oppelt a négyzetes szabályozási terület minőségi kritériuma alapján dolgozta ki módszerét, mely alapján a szabályozók paramétereit a következők (1. táblázat):

1. táblázat. A szabályozó paramétereinek beállítása

	K	T_I	T_D
P	$\frac{T_f}{T_{HI}}$	∞	0
PI	$0,8 \frac{T_f}{T_{HI}}$	$3T_{HI}$	0
PD	$1,2 \frac{T_f}{T_{HI}}$	∞	$0,25T_{HI}$
PID	$1,2 \frac{T_f}{T_{HI}}$	$2T_{HI}$	$0,42T_{HI}$

A feladatok elvégzéséhez a Simulink Library Browser-t használja!
A feladatoknak megfelelő blokkokból kialakított szabályozási köröket, ill. azok részeit a paraméterezésük után célszerű elmenteni.
A kinyomtatott ábrák (a szabályozási körök, azok részei, átmeneti függvények) számozása kövesse a feladatokat!

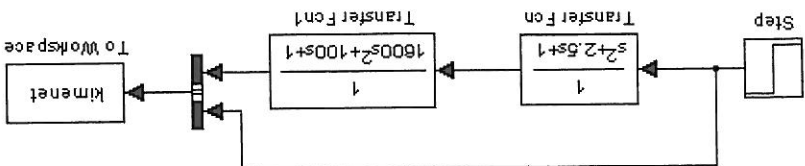
A feladatoknál számszerűen elő nem írt paraméterek értékeit az oktató adja meg, a többi a vizsgálatokat végzőnek kell megadnia az adott feladatnak megfelelően!

A feladatoknál felhasznált paraméter-értékeket és minden adatot mindig le kell írni a jegyzőkönyvbe!

3. Feladatok

Szakasz identifikálás

1. a) A Simulink Library Browser-ben a megfelelő blokkok kiválasztásával állítsa össze az 1. ábrán látható blokkvázlatot, és a paraméterezés után nyomtassa ki!
- A vizsgált teljes szakasz első tagja egy gyorsabb, a második tagja egy lassabb működésű szakaszrész. Mindkét szakaszrész 2 tárolós arányos tag, melyeknek időállandói jelentősen eltérnek egymástól. Mindkét tag arányos átviteli tényezője 1 legyen! Mindkét szakaszrész időállandóit az oktató adja meg (a célszerűen megadott időállandók a gyorsabb szakaszrésznel tízed másodperc, illetőleg másodperc, a lassabb szakaszrésznel 10 másodperc nagyságrendűek!).

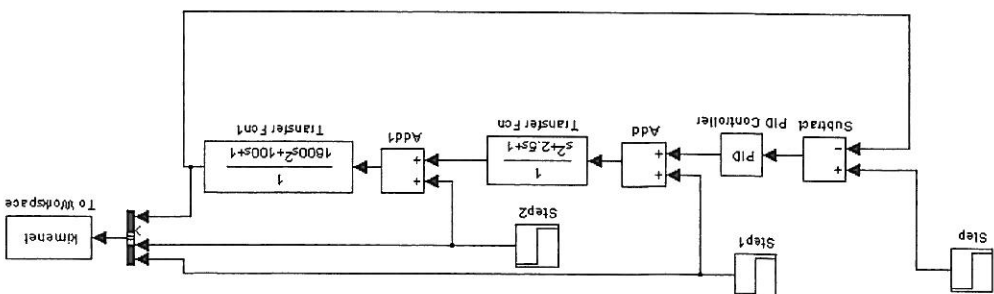


1. ábra. A szakasz identifikálás blokkvázlata

- b) Vegye fel a teljes szakasz átmeneti függvényét, és nyomtassa ki!
- c) Az átmeneti függvény alapján határozza meg a teljes szakasz közelítő átviteli függvényét és annak paramétereit egytárolós, holtidős arányos taggal való közelítés esetén!
2. a) Bontsa fel a teljes szakaszt a gyorsabb és a lassabb működésű részre, vegye fel mind a 2 tag átmeneti függvényét az 1. a) feladathoz hasonlóan és nyomtassa ki!
- b) Az átmeneti függvények alapján határozza meg mind a 2 tag közelítő átviteli függvényét és azok paramétereit egytárolós, holtidős arányos taggal való közelítés esetén!
3. a) Értékelje az eredmények alapján a teljes szakaszt és annak részeit a kaszkádszabályozás szempontjai alapján!
- b) Válassza ki a belső hurrokba kerülő tagcsoportot, és indokolja a döntését!

Az egyhurkú szabályozás vizsgálata

1. a) A megfelelő blokkok kiválasztásával állítsa össze a 2. ábrán látható egyhurkú szabályozási kört, és a paraméterezés után nyomtassa ki!



2. ábra. Az egyhurkú szabályozási kör blokkvázlata

b) A teljes szakasz közelítő átviteli függvényének paramétereit alapján válassza ki az optimális szabályozó típusát F. Piwinnger ajánlása alapján, és határozza meg annak paramétereit W. Oppelt ajánlása szerint!

c) Állítsa be a szabályozó típusát és paramétereit az előző pontban meghatározott optimális értékekre, vegye fel az egyhurkú szabályozás eredő átmeneti függvényét 1 amplitúdójú egységugrás alapján mellett, és nyomtassa ki!

d) Határozza meg a felvett átmeneti függvény alapján a minőségi jellemzők:

- a csúcsidő,
- a maximális túllendülés,
- a szabályozási idő,
- a lengésszám értékeit $\pm 5\%$ -os dinamikus hibasáv mellett!

2. a) Vegye fel az egyhurkú szabályozás eredő átmeneti függvényét egységugrás zavarást adva az összegzőkön keresztül a szabályozási kör megfelelő pontjaira! Az egységugrás alapján és az egységugrás zavarások amplitúdója is 1 legyen!

A zavarásokat általában késleltetve, tehát az alapjel indítási időpontját követő állandósult állapot elérése után – azaz a tranziensek lezajlása után – kell ráadni a szabályozási körre a következő esetekben:

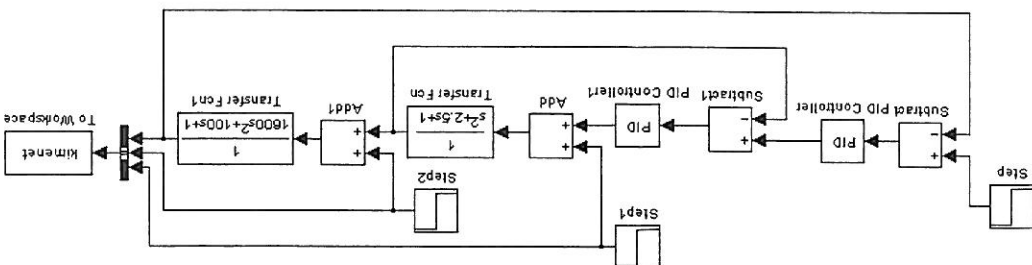
- 1.) csak a gyorsabb szakaszrész előtt, késleltetve;
- 2.) csak a lassabb szakaszrész előtt, késleltetve;
- 3.) mind a 2 helyre, de a lassabb szakaszrész előtt csak akkor, amikor a gyorsabb szakaszrész előtt ráadatott zavarás hatására bekövetkezett tranzienst már lezajlott, tehát egymást követően, késleltetve;

- 4.) a gyorsabb szakaszrész előtti zavarást az alapjellel egy időben, a lassabb szakaszrész előtti zavarást késleltetve kell ráadni a szabályozási körre!
- Nyomtatassa ki az átmeneti függvényeket!
- b) Határozza meg az átmeneti függvények alapján az állandósult állapotbeli hiba értékeit, és értékelje mind a 4 esetben a zavarások hatásának alakulását is!

A kaszkádszabályozás vizsgálata

1. a) A gyorsabb szakaszrész közeli átviteli függvényének paraméterei alapján először P, majd PD típusú szabályozót választva kisegítő (belső) körű szabályozónak, határozza meg mind a 2 szabályozó paramétereit W. Oppelt ajánlása szerint!
- b) Egy alapjellekpő (Step), egy különbségképző (Subtract), egy PID szabályozó (PID Controller) és a gyorsabb szakaszrész (Transfer Fcn) blokkjaiból állítsa össze a kisegítő körű szabályozást, és először a P, majd a PD típusú szabályozó paramétereinek az előző pontban meghatározott értékeit beállítva vegye fel az eredő átmeneti függvényeket 1 amplitúdójú egysegűgras alapjel mellett a Bus Creator és a To Workspace blokkokat felhasználva!
- Nyomtatassa ki a blokkvázlatot és a 2 átmeneti függvényi!
- c) Az átmeneti függvények alapján határozza meg mind a 2 esetben a minőségi jellemzőket!
- d) A minőségi jellemzők alapján válassza ki a jobb beállítást, és indokolja a döntését!
2. a) A jobbnak tartott kisegítő körű szabályozási kört kösse össze a lassabb szakaszrészszel, és az így létrehozott tagcsoporthat meg mint a fő-körű szabályozó „szakaszának” - vegye fel az eredő átmeneti függvényi!
- Nyomtatassa ki a blokkvázlatot és az átmeneti függvényi!
- b) Az átmeneti függvény alapján határozza meg a tagcsoporthat közeli átviteli függvényét és annak paramétereit egytárolós, holtidős arányos taggal való közeliítés esetén!
- c) PI típusú szabályozót választva, a tagcsoporthat közeli átviteli függvényének paraméterei alapján W. Oppelt ajánlása szerint határozza meg a szabályozó paramétereit!

3. a) A megfelelő blokkok kiválasztásával állítsa össze a 3. ábrán látható kaszkádszabályozást, és állítsa be a fő-köri szabályozó (PI) paramétereit az előző pontban meghatározott értékekre!
- Nyomtassa ki a blokkvázlatot!



3. ábra. A kaszkádszabályozás blokkvázlata

- b) Vegye fel a kaszkádszabályozás eredő átmeneti függvényét 1 amplitúdójú egységugrás alapjel mellett, és nyomtassa ki!
- c) Az átmeneti függvény alapján határozza meg a minőségi jellemzőket!
- a) Vegye fel a kaszkádszabályozás eredő átmeneti függvényét az egyhurkú szabályozásnál előírt esetekben és módon!
- Nyomtassa ki az átmeneti függvényeket!
- b) Végezze el az egyhurkú szabályozásnál előírt 2.b) pontbeli feladatokat!
5. a) Hasonlítsa össze a minőségi jellemzők, az állandósult állapotbeli hibák értékei és a zavarások hatásának alakulása alapján a kaszkádszabályozást az egyhurkú szabályozással, és értékelje a tapasztalatokat!
- b) A tapasztalatok alapján sorolja fel a kaszkádszabályozás előnyeit és hátrányait az egyhurkú szabályozáshoz képest!

13. DISZKRÉTIDEJŰ RENDSZEREK VIZSGÁLATA

A 70-es évek óta a mikroprocesszorok majd a digitális számítógépek a folyamatsszabályozási rendszerek részekévé váltak. Alkalmazásuk a mérnöki munka mindkét fő területén megjelenik:

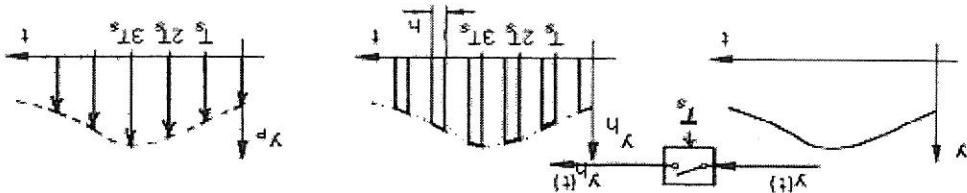
- a tervezésben, amikor a szabályozási rendszert analízis vagy szintézis végrehajtása céljából modellezünk ill. működésében szimulálunk kell,
- magában az ipari gyakorlatban, ahol a szabályozási kör részeként szerepelnek, vagy valamely alapjel programozott előállítását végzik.
- Mindezek a feladatok rendkívül hatásosan oldhatók meg digitális eszközökkel.
- könnyen áthelyezhetők, egymással felcserélhetőek, átprogramozhatóak
- buszra fűzhetők és rendszerbe szervezhetők

A digitális eszközök egyik alapvető jellemzője, hogy bemenetükön diszkrét értékeket igényelnek (kvantált, lépcsős, másépp kvázifolytonos jel), mely a számértékké alakítás (digitalizálás) egyik feltetele. A másik, hogy az ezeknek megféleltetett számokat csak elkülönült, diszkrét időpillanatokban tudják fogadni, hogy a közbelső időben képesek legyenek feldolgozni, ezért a bennük lévő jelek ún. **diszkrétidejű jelek** (discrete-time signal), az eszközöket tartalmazó rendszerek **diszkrétidejű rendszerek**. Mivel mi csak magával a folyamattal foglalkozunk, a kvantálás mikéntjét nem tárgyaljuk. Ugyanakkor a diszkrétidejű rendszerek tanulmányozásához más matematikai eszközöket kell használnunk, mint a folytonos rendszereknél, ezeket fogjuk áttekinteni.

1. Mintavételezés az időtartományban

Mint említettük, a digitális eszköz a mérőszámokat nem folyamatosan, csak szakaszonként, diszkrét időpillanatokban tudja fogadni és kiadni. Az időpontok elvileg szabadon választhatók, de lényegesen egyszerűsíti a modellezést, ha egyenlő T_0 távolságokban lévő időpontokat választunk. Így módon a diszkrét időpontok $T_s, 2T_s, \dots, 3T_s, \dots$ ahol T_s az ún. **mintavételezési idő** (sampling time) Az eljárás neve **mintavételezés** (sampling), amit az 1. ábrán látható **mintavételező szerv** (sampler) végez. Az eljárás folytan egy $y_h(t)$ -vel jelölt, egymástól

T_s távolságokra lévő, h szélességű, $h \ll T_s$, közelítőleg $y(T_s), y(2T_s), y(3T_s), \dots$ mintavételezett impulzusokból álló impulzusosorozatot (pulse train, Pulsfolge) kapunk, ezt nevezzük mintavételezett függvénynek.



1. ábra. A folytonos jel mintavételezett jelalakja

A mikroprocesszor ill. számítógép felől (mivel ezek digitáltak, számjegyeket várnak) úgy kell tekintenünk, hogy a mintavételező kimenetén az $\{y(kT_s)\}$ számsorozat jelenik meg, ez az un. idealizált vagy matematikai mintavételezés (ideál sampling). *Figyelem! Egy számsorozat maga viszont az idő szerint nem integrálható és így Laplace-transzformálta sem létezik!* Ilyen alakban tehát nem tudjuk kezelni, ezért szabatos leírását időfüggvényként más módon kell keresni.

2. Mintavételezés s-tartományban. A z-transzformáció

A folytonos $y(t)$ függvény esetén az eddigiekben a Laplace-transzformáció bizonyult a legalkalmasabb eszköznek, ezt fogjuk az impulzusosorozatra is alkalmazni. Legyen $y_h(k)$ a fizikailag h szélességű $y_h(t)$ impulzusosorozat k-adik impulzusának amplitúdója, így ha h -t időegységnek tekintjük, az impulzus alatti terület $y_h(k)$. Ha most egy, a kT_s időpontba eltolít $\delta(t - kT_s)$ Dirac-impulzus $y_h(k)$ -val való szorzatát képezzük, a Laplace transzformáció szem-pontjából az impulzus és a δ -impulzus területtartó határátmenettel egymással helyettesíthetők. Ez utóbbit jelöljük $y_p^d(t)$ -vel, ami lényegében egy T_s távolságu δ -impulzusosorozat $y(t)$ -vel modulálta. Írható tehát:

$$y_p^d(t) = \sum_{k=0}^{\infty} y(kT_s) \cdot \delta(t - kT_s) \quad <1>$$

<2>

$$\mathcal{F}[y^p(t)] = y^p(s) = \sum_{k=0}^{\infty} y(kT_s) \cdot e^{-kTs}$$

Végteleen sor lévén célszerűnek látszott bevezetni egy új **z változót** (definíció!):

<3>

$$z = e^{Ts}$$

Ezen új változó, a **z operátor** segítségével:

<4>

$$\mathcal{Z}[y^p(t)] = y^p(z) = \sum_{k=0}^{\infty} y(kT_s) \cdot z^{-k}$$

A jobboldalt az $y^p(t)$ mintavételezett függvény **z-transzformáltjának** vagy

másképp **diszkrét Laplace-transzformáltjának** nevezzük és a műveletet a

$\mathcal{Z}$ jelöléssel és a z-transzformáció nével illetjük.

A folytonos $y(t)$ függvény és $y^p(t)$ mintavételezett függvényének z-

transzformációját nem monomorfizmus, azaz nem kölcsönösen egyértelmű

leképezés, ugyanis az eredeti folytonos függvény értéke csak a $t = kT_s$ mintavé-

teli időpontokban megfigyelhető (rekonstruálható), a mintavételi értékekhez

végteleen sok különböző összekötő görbe, azaz folytonos függvény

rendelhető. Viszont az $y^p(t)$, $y^p(z)$ páros (adott T_s mellett) monomorf, köl-

csonösen meghatározzák egymást!

Mivel a <3> definícióban a Laplace-operátor $s = \sigma + j\omega$ komplex

<5>

szám, ha $\sigma > 0$, akkor $|z| > 1$ avagy $|1/z| < 1$

<6>

$$y^p(s) = 1 + e^{-sT_s} + e^{-2sT_s} + \dots$$

<7>

ha $\sigma > 0$, akkor <5> miatt ez konvergens geometriai sor, összegképlettel:

<8>

$$y^p(z) = \frac{1}{z} \frac{1 - z^{-1}}{z - 1}$$

Használó módon számítható más mintavételezett függvény s-, majd z-transzformáltja. Az $1(t)$ az egyetlen, melyben nem szerepel T_s , lévén időben konstans, az időben nem állandók z-transzformáltjai mind T_s függvényei. Az időfüggvények mintavételezett függvényeinek z-transzformáltja táblázatokban megtalálható, de a MATLAB segítségével is számítható.

Végértéktételek :

$$y^d(t \rightarrow 0) = y^d(z \rightarrow \infty)$$

$$y^d(t \rightarrow \infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - 1/z) y^d(z)$$

Eltolás balra (jövőbe):

$$Z[y^d(t + kT_s)] = z^k[y^d(z) - \sum_{l=0}^{k-1} y^d(kT_s)z^{-l}]$$

Eltolás jobbra (múltba):

$$Z[y^d(t - kT_0)] = z^{-k}y^d(z)$$

ahol $k \geq 0$ egész.

Fontos! Az eltolási tételekből látható, hogy a z-transzformált alakot z-vel szorozva a teljes jelalak az időtengelyen negatív irányba, z-vel osztva pozitív irányba tolódik T_s intervallummal. Ez homológ azzal a móddal, ahogy az s Laplace-operátorral való szorzás az időtartományban idő szerinti deriválást jelent (azaz a Laplace-operátor DIFFERENCIÁLOPERÁTOR), hasonlóan a z-vel való szorzás az időtartományban eltolást okoz, ezért a z operátor **ELTOLÁSI OPERÁTORNAK** nevezhető.

Másképpen: ami a Laplace-transzformáció a differenciálegyenleteken, ugyanaz a z-transzformáció a differenciálegyenleteken!

3. Inverz z-transzformáció

A $Z[y^d(t)] = y^d(z)$ z-transzformált függvény, mint megállapítottuk, egyértelműen visszatranszformálható mintavételezett időfüggvényé (a T_s ismeretében), a folytonos $y(t)$ függvény viszont nem egyértelműen meghatározott. Az inverz transzformált kiszámítására több módszer ismeretes:

- Rész törtekre bontással és z transzformációs táblázat segítségével
- Polinom osztással
- Visszavezetéssel differenciálegyenlet megoldására
- Komplex inverziós integrállal.

A MATLAB több alakban is kínál utasítást a z-transzformált ill. inverze kiszámítására. A parancsok szintaktikája a MAPLE programmal összehangoltan működik, ezért itt, a megszokottól eltérően, a változókat a **sym** ill. **syms** parancsokkal (symbols) deklarálni kell. Pl. **sym('f','k','z')** vagy egyszerűen

syms f k z alakban az **f,k,z** változókat. Ezt követheti az **f(k)** függvény z-transzformálójának számítására az **F = ztrans(f,k,z)** parancs, amely a z-transzformálót $F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k) \cdot z^{-k}$ alakban szolgáltatja. Ha a mintavételi időt

explicit szerepeltetni akarjuk, akkor az **f(kT)** alakot használhatjuk. Természetesen a formulába bármely más szimbólum beírható, a **z** helyébe is. Egyyszerűbb alakban **F = ztrans(f)** is írható. Az inverz számítására az **f = iztrans(F,z,k)** utasítás szolgál, ez is lehet **f = iztrans(F)** alakban.

Példa: Számítsuk ki a $(kT)^2$ gyorsulásgörbe z-transzformáját, majd transzformáljuk vissza (T mintavételi periódusidő) MATLAB alkalmazásával!

```
>> syms k T %deklaráció
>> f=(k*T)^2
```

```
>> F=ztrans(f); pretty(F) %megjelenik T^2 z(z+1)/(z-1)^3
>> h=iztrans(F); pretty(h) %megjelenik T^2 n^2
```

Útóból látható, hogy az **iztrans** alapértelmezve az **n** indexet használja. A **pretty** utasítás arra szolgál, hogy a MATLAB az eredményt formázottan nyújtsa, egyébként előfordulhat, hogy értelmezése külön feladatot jelent.

4. Diszkrétidejű frekvenciafüggvény

A mintavételezett függvény frekvenciafüggvényét feltétlenül meg kell ismer-nünk, ugyanis ez kölcsönös függésben van az A/D ill. D/A konverzió során általunk meghatározandó T_s mintavételi periódusidővel.

Az $y^d(t)$ függvény voltaképp az $I(kT_s)$ egyességimpulzus-sorozat mint hordozó (carrier) modulálta (szorzata) az $y(t)$ folytonos függvény pillanatnyi értékeivel. Az $I(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_s)$ negatív időre is értelmezett, T_s -re periódus-
kus függvény, ezért Fourier-sorba fejthető c_k komplex együtthatókkal

$$I(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(j\omega_s) e^{jk\omega_s t} \quad <13>$$

$$\text{ahol } c_k(j\omega_s) = \frac{1}{T_s} \int_{T_s}^0 I(t) e^{-jk\omega_s t} dt \quad <14>$$

Az $I(t)$ δ -impulzussorozatot, ahol az impulzus alatti terület csak a kT_s időpontokban 1, másutt 0. Ugyanitt az integrandus másik tényezője $\exp(0)=1$, ezért az integrál értéke is 1 és az együththató:

$$c_k(j\omega_s) = \frac{1}{T_s} \quad <15>$$

Mivel $y^p(t)$ modulált, $<13>$ alapján és c_k helyettesítésével:

$$y^p(t) = y(t) \cdot I(t) = y(t) \cdot \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{jk\omega_s t} \quad <16>$$

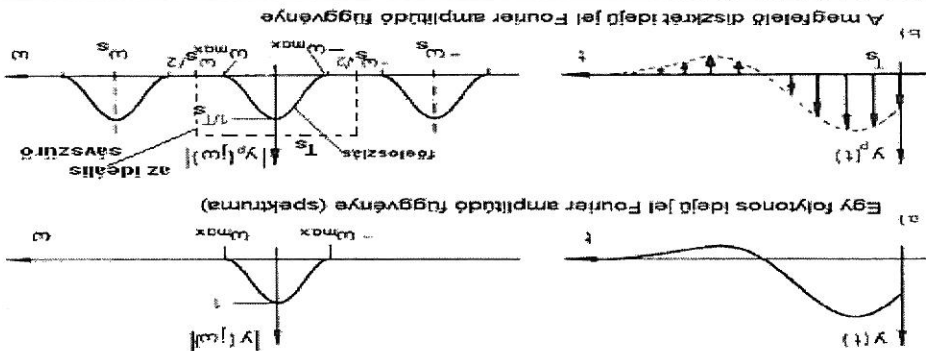
Végül is a mintavételezett impulzussorozat (amely nem periodikus!) Fourier-transzformáltya (Fourier-spektruma, frekvenciafüggvénye) ennek alapján:

$$Y^p(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y^p(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{T_s} \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j t(k\omega_s - \omega)} dt \quad <17>$$

Az összegezést az integrálás elé hozva :

$$Y^p(j\omega) = \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} Y(j(\omega - k\omega_s)) \quad <18>$$

a mintavételezett frekvenciafüggvénye a folytonos frekvenciafüggvényével, $Y(j\omega)$ -val kifejezve. A $<18>$ azt mutatja, hogy a mintavételezett megfelelőjében a folytonos frekvenciafüggvénye periodikusan ismétlődik, mégpedig ω_s periódussal és amplitúdóban $1/T_s$ arányban zsugorítva. A folytonos és egy hozzátartozó mintavételezett frekvenciafüggvény összehasonlítása a 2. ábrán látható.



2. ábra. Folytonos és diszkrétjel Fourier amplitúdó függvénye

Mint a 2.b ábrából is látható, döntő fontosságú a folytonos idejű jel visszaállíthatósága szempontjából, hogy a folytonos jel mennyi nagyfrekvenciás összetevőt tartalmaz, azaz milyen széles a $-\omega_{\max} \leq \omega \leq \omega_{\max}$ intervallum az ω_0 mintavételi körfrekvenciához viszonyítva. Ha a folytonos jel spektruma ugyanis túlnyúlik a $-\omega_s/2 \leq \omega \leq \omega_s/2$ intervallumon (spectrum overlapping), a mintavételezett frekvenciafüggvényben a periódusok a 2.b ábra ideális menetével ellentétben összecsúsznak (átfedik egymást), a transzformáció már nem lesz kölcsönösen egyértelmű (a hatás neve: „álették” torzítás, **aliasing distortion**), azaz az eredeti folytonos idejű jel már nem rekonstruálható egyértelműen.

5. Mintavételezési tételek, visszaállítás, tartószerv

A visszaállíthatóság feltételeit az előbbiekre alapozva a **Shannon mintavételési tételek** határozzák meg.

- A mintavételezési körfrekvencia nagyobb kell legyen, mint az $\omega_{\max}$ határkörfrekvencia kétszerese, tehát $\omega_s > 2\omega_{\max} = 2\omega_0$, ahol ω_0 az ún. **Nyquist-körfrekvencia**, egyben a domináns törésponti körfrekvencia (sajátfrekvencia a rendszer PT2 lengő közeliítésénél, határkörfrekvencia).
- Az egyértelmű visszaállíthatóság feltétele, hogy a visszaállítást egy olyan ideális sávszűrő végezze, amely az $|\omega| < \omega_s/2$ sávban (ez a sáv az ún.

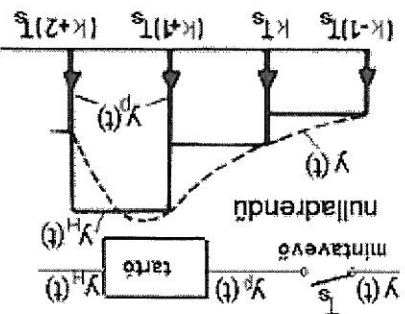
feloszlás (2.b ábra) T_s -szeres, egyébként pedig 0 erősítésű.

Ha a jel digitális, a diszkrétidejű jel visszaállítása (D/A konverzió) két mozzanatra bontható: 1. dékdolítás: az időben diszkrét - függvényértékben kvantált és számjegyes információból megfelelő analog impulzus sorozat előállítás 2. tartás: azaz a **tartószerv** segítségével az előbbi impulzus sorozatból folytonos idejű analog jel generálása.

A dékdolással itt nem foglalkozunk. Tekintsünk az analog impulzus sorozatot adottak. Alkalmazva a tartószerv az k -adik impulzus után - k -adik és $(k+1)$ -edik időpontok között a kimenetén megjelenő folytonos idejű $y^H(t)$ függvényt a megfelelő k mintavételi értékekre támaszkodva (k -adrendű extrapolációs polinommal, a k -adrendű deriváltak alapján) képes kialakítani, neve **k -adrendű tartó**. A jelképi jelöléseket és a jelalakokat illusztrálja a 3. ábra. A leggyakrabban használt a **zérusrendű tartó** (zero order hold=ZOH) (másképp „nulladrendű tartó”), amely az kT_s időpontbeli hordozó (Dirac-

impulzus) integrálóját jelenti meg T_s ideig, ezért súlyfüggvénye a kT_s és $t = (k+1)T_s$ időpontok közötti jel két, egymástól T_s időponttal eltolit kezdőponti egysegűgras különbségeként írható fel, azaz a zérusrendű tartó átviteli függvénye : $H^0(s) = \frac{1}{s} - \frac{e^{-sT_s}}{1 - e^{-sT_s}} = \frac{s}{1 - e^{-sT_s}}$

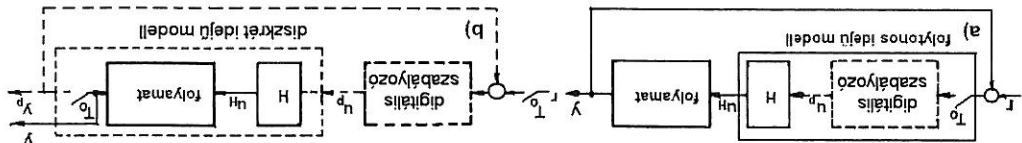
Fontos összefüggés és $<19>$ -ből látható, hogy a zérusrendű tartó fázistolása 0 és ω_s között lineárisan nulláról π -re növekszik. Ez a nyílt körre nézve hasonló nagyságú fázistartatlék-romlást eredményez. Az **elsőrendű tartó** igényli még egy megelőző mintavételi értékét, ami a megelőző két minta közötti meredekség (első derivált) szerinti integrál. Minél magasabb rendű a tartó, annál több előzetes mintavételi értéket és egyben számolási időt igényel, tehát



3. ábra. A zérusrendű tartó jelalakja

a késleltetés és bonyolultság nő - másrészt alakhűbbben adja vissza a bemeneti jelet. A nagyobb késleltetés egyébként a rendszer stabilitását (fázistartatlék) is csökkenti, ezért a tartószerv kiválasztása kompromisszumot igényel. Döntően a zérusrendű tartószerv használatos. Digitális szabályozási körökben a folytonos és a diszkrétidéjű elemek vegyesen fordulnak elő, de egyik sem tudja a másik jelét közvetlenül feldolgozni.

Ezért a folytonos idéjű jelet mintavételező szervvel kell diszkrétidéjűvé, a diszkrétidéjű jelet tartószervvel kell folytonossá átalakítani. Mivel a folytonos-diszkrét (ill. fordított) transzformáció nem kölcsönösen egyértelmű, az egy-



4. ábra. Mintavételezett szabályozási kör kétféle modellje

A mintavételezett szabályozási körök különböző modellezési lehetőségeit a 4. ábrán láthatjuk. A 4.a) változat hátránya, hogy a folytonos jellegű szá-

kasz nem biztos, hogy követni tudja az U^H jelben létrehozott diszkrét, aritmetikai jellegű algoritmusokat. A 4.b) változatban viszont mind az r alapjel, mind az y^p ellenőrzőjel csak a mintavételi pontokban ad információt. A szabályozás si kör analízisekor a 4.a) változat lehet könnyebben kezelhető, mert mind a szabályozási körben lévő, mind a kívülről ható (zavaró) jelek mérése és számtása egyszerűbben megoldható. A 4.b) változat a kizárólag diszkrét tagokat tartalmazó körök szintézisekor előnyös, mert az egyébként is diszkrétidőű jeleket a valósággal teljesen megegyezően tudjuk modellezni, sőt a folytonos modellnél megvalósíthatatlan, de előnyös viselkedés is kivitelezhető.

6. Az impulzusátviteli és z-átviteli függvény

A Laplace-transzformálmal bevezetett átviteli függvényhez hasonlóan definiálhatjuk egy rendszertechnikai tag impulzusátviteli és z-átviteli függvényét. Ha a tag be- és kimenetén szinkronizált mintavételt végzünk, $u^p(t)$ a mintavételhez zett bemeneti függvény, a tag folytonos sülyfüggvénye $g(t)$, akkor a kimeneti függvény az nT_s időpontban (konvolúció):

$$y^p(nT_s) = \sum_{k=0}^{\infty} u^p(kT_s)g((n-k)T_s). \text{ Ennek Laplace-transzformáltja:}$$

$$\mathcal{F}[y^p(nT_s)] = y^p(s) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} u^p(kT_s)g((n-k)T_s))e^{-nT_s s} \quad <20>$$

bevezetve a $q = n - k$ változót ($n = q + k$), átrendezve :

$$y^p(s) = \sum_{n=0}^{\infty} g(qT_s)e^{-qT_s s} \sum_{k=0}^{\infty} u^p(kT_s)e^{-kT_s s} \quad <21>$$

Azaz <2> alapján $y^p(s) = G^p(s) \cdot u^p(s)$, a tag un. **impulzusátviteli függvénye**

$$G^p(s) = \frac{y^p(s)}{u^p(s)} = \sum_{q=0}^{\infty} g(qT_s)e^{-qT_s s} \quad <22>$$

a mintavételhez sülyfüggvény Laplace-transzformáltja. A $z = e^{sT_s}$ helyettesítéssel kapjuk a tag **z-átviteli függvényét**

$$G(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \sum_{q=0}^{\infty} g(qT_s)z^{-q} = \mathcal{Z}[g^p(t)] \quad <23>$$

(z-transfer function), amely a mintavételezett súlyfüggvény z-transzformáltja. Más módon közelítve, egy tag kimenőjét a tag struktúrája és az őt megelőző bemenőjelek megghatározzák. Ez az impulzusfüggvényre differentiaegyenlet formájában is felírható, mert ez pontosan a diszkrét mintavételi időpontokra illeszthető. Legyen a vonatkoztatási időpont $t = kT_s$, és lineáris tagról lévén szó, az ezen időpontbeli $y(k)$ kimenőjel felírható a megelőző be- és kimenőjelek lineáris kombinációjaként. Ha a megfelelő együtthatók időfüggetlenek (LT=linear time-invariant), akkor $y(kT_s) = y(k)$ -t kifejezve, majd a kimenőjelek lineáris kombinációját a baloldalra csoportosítva kapjuk a következő állan-

dó együtthatós differenciaegyenletet :

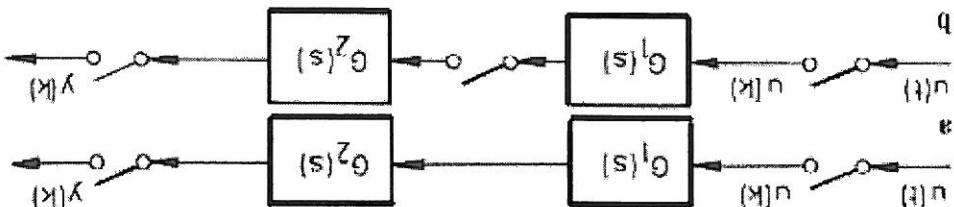
$$y(k) + a_{n-1}y(k-1) + \dots + a_0y(k-n) = b_nu(k) + \dots + b_0u(k-n)$$

ahol a_n -re normalizáltunk ($a_n = 1$). Az egyenletben az időfüggvényről áttérve a z operátoros alakra (az eltolási operátort a $t = kT_s$ időpontra vonatkoztatva) :

szorozva ($z \neq 0$) és átrendezve, <23> szerint :

$$G(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{b_n z^n + \dots b_1 z + b_0}{z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_0}$$

Ilyen formában adhatjuk meg a SIMULINK „Discrete Transfer Function” modellblokkjában a z-átviteli függvény számálóját és nevezőjét. A realizálhatóság feltétele, hogy az ok-okozati elv teljesüljön, vagyis a differenciaegyenletben egy $y(k)$ kimenőjel-érték nem függhet a bemenőjel egy jövőbeli $u(k+r)$ értékétől (r természetes szám). Ebből következik, hogy teljesül-nie kell a számláló fokszáma (m) $\leq$ nevező fokszáma (n) feltételnek. A SIMULINK modellblokkban is eleve csak így adhatók meg a paraméterek.



5. ábra Lineáris tagok és mintavételezők sorbakapcsolása

Lineáris tagok és mintavételezők lehetséges sorbakapcsolási variációi láthatók az 5. ábrán. Az 5.a ábrán látható, közbeiktatott mintavételező nélküli sorbakapcsolásra felírható :

$$<26> \quad y(z) = u(z) \cdot \mathcal{Z}[G_1(s) \cdot G_2(s)] = u(z) \cdot G_1(z) \cdot G_2(z)$$

Vizsgálat az 5.b ábrára, a közbeiktatott mintavételezővel :

$$<27> \quad y(z) = u(z) \cdot \mathcal{Z}[G_1(s)] \cdot \mathcal{Z}[G_2(s)] = u(z) \cdot G_1(z) \cdot G_2(z)$$

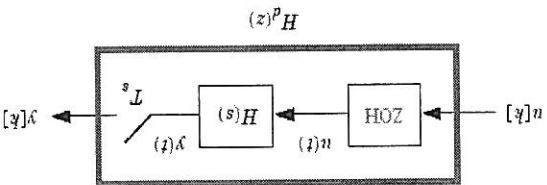
Figyelem! $G_1(z) \cdot G_2(z) \neq \mathcal{Z}[G_1(s)] \cdot \mathcal{Z}[G_2(s)]$, tehát a két esetben az $y(z)$ -k sem egyenlők!

Egymást követő (mintavételezővel elválasztott) diszkrét tagoknál ezért az 5.b esetet (ezzel a <27> egyenletet) kell figyelembe venni. Ha viszont a diszkrét tagot egy (vagy több) folytonos idejű tag követi, az 5.a ábra azaz a <26> egyenlet mintájára kell eljárni (másképp kifejezve a mintavételezővel nem elválasztott folytonos tagok összevonhatók).

A MATLAB a diszkrétidejű rendszerek kezelésére a következő utasítást sokat használja:

sysd = c2d(sysc,Ts,method) a sysc folytonosidejű rendszerből a sysd

diszkrétidejű rendszerre konvertál, Ts mintavételi idővel. A „method” a diszkrétidejűvé átalakítás (diszkrétizálás) módját jelöli ki:



'zoh' zérusrendű tartóval
'foh' elsőrendű tartóval
'tustin' Tustin leképezés
'prewarp' frekvencia prewarping

Alapértelmezett a „method” megadásának hiányában a 'zoh' mód!

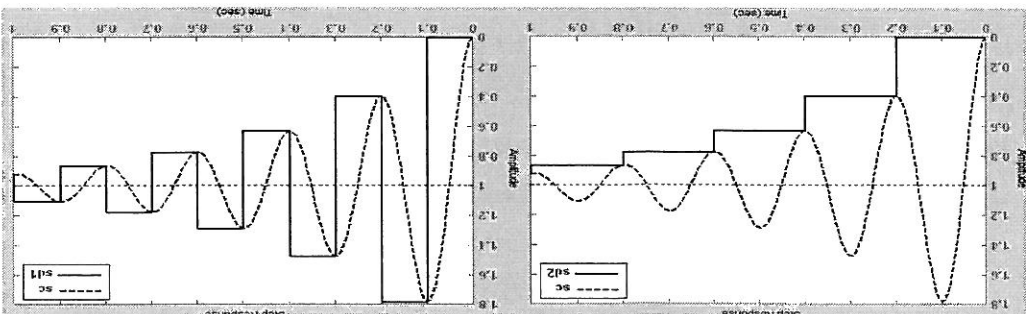
sysc = d2c(sysd,method), a sysd diszkrétidejű rendszerből a sysc

folytonosidejű rendszerre konvertál, 'zoh' és 'tustin' módokkal. sys = d2d(sys,Ts) egy diszkrétidejű rendszerrel ekvivalens más Ts mintavételi idővel rendelkező rendszer megadása.

Példa: Legyen $sc = 1/(0.001s^2 + 0.005s + 1)$ egy folytonosidejű átviteli függvény. Vizsgáljuk meg a Shannon-tétel érvényesülését a MATLAB segítségével!

`>> sc=tf(1,[.001 .005 1])` % Az sc folytonosidejű átviteli függvény defini-
ciója

>> sd2=c2d(sc,0.2) % Ha a mintavételi idő a határkörfrekvencia, (Nyquist-körfrekvencia, sajátfrekvencia) periódusideje $T_s = 2\pi\sqrt{0.001} = 0.2s$, akkor $sd2 = (0.3926z - 0.2375)/(z^2 - 1.213z + 0.3679)$



7.a ábra. Shannon-tétel nem teljesül

7.b ábra. Shannon-tétel teljesül

>> step(sc,'--',sd2,'-'),shg % A 7.a ábrán **sd2** a mintavételezett **sc** visszaállított jelalakja, láthatóan csak a burkológörbét képes reprodukálni.
>> sd1=c2d(sc,0.1) % A Shannon-tételnek megfelelően a határkörfrekvencia kétszeresét, azaz az előbbi mintavételi idő felét választottuk. Ekkor kiírja:
 $sd1 = (1.779z + 1.385)/(z^2 + 1.558z + 0.6065)$

>> step(sc,'--',sd1,'-'),shg % A 7.b ábrán láthatóan a zérusrendű tartóval rekonstruált **sd1** jel már képes visszaadni az eredeti **sc** folyamatosidejű jel dinamikáját, de éppen a tétel által előírt határon.

7. A folytonos és diszkrét alak viszonya, stabilitás

Ha egy többtárolós holtidős folytonos idejű tag s-átviteli függvényét ismerjük, akkor ezt fel tudjuk írni a pólusokkal és zérusokkal kifejezett alakban

$$G(s) = K_p \frac{(s - s_z1) \dots (s - s_zm)}{(s - s_1) \dots (s - s_n)} e^{-sT_d}$$

<28>

ahol T_d a holtidő, $m < n$. Feltevése, hogy $T_d = dT_s$, és a mintavételezés nem jár információvesztéssel, a tag z-átviteli függvénye (zérusrendű tartóval):

$$HG(z) = K_p^* \frac{(z - z_1) \dots (z - z_n)}{(z - z_z1) \dots (z - z_z(n-1))} z^{-d}$$

<29>

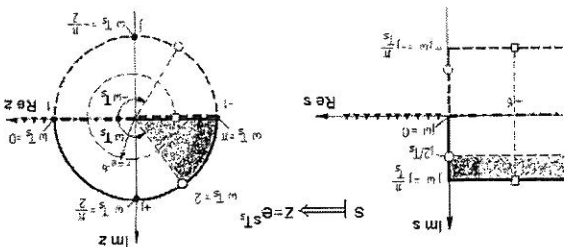
ahol a k -adik pólusra: $z_k \approx e^{s_k T_s}$. A holtidő d -szeres 0 -pólust ad. ($K_p \neq K_p^*$); $G(z)$ zérusainak száma $G(s)$ zérusainak számától függetlenül mindig $(n-1)$ lesz $(n$ a $G(s)$ pólusszáma). Ezek közül a $\langle 29 \rangle$ számlálójában szereplő m számú zérusra a pólusokhoz hasonlóan áll: $z_k \approx e^{s_k T_s}$, a fennmaradó $(n-1-m)$ zérus valamilyen negatív valós szám, melyhez nem tartozik megfelelő folytonos zérus, de a $G(s)$ -ből származható érték. Altalában, ha $G(s)$ adott, a $\langle 28 \rangle$ alak, tehát a pólusok ismerete alapján az inverz Laplace-transzformációval ismert technikaival első- ill. másodfokú **részletre bontható**, és az egytárolós arányos ill. a kéttárolós lengő tag z -transzformálójai összegzésével **HG(z) manuálisan is kiszámítható**.

Az s - és z -átviteli függvény megfeleltetésének egy sokkal szemléletesebb módja, ha a $z = e^{s T_s}$ transzformációt a komplex számsíkon ábrázoljuk. A 8. ábrán látható jelölésekkel egyeztetve a megfelelő leképezések. A diszkrétidejű rendszer **stabilitása** szempontjából a rendszer z -pólusainak helyzete a döntő. A rendszer

aszimptotikusan stabil, ha az összes z -pólus a z -sík origó körüli egy-ségsugarú körének belsejébe esik, azaz $|z_p| < 1$,

határstabil, kritikusán stabil, gyengén stabil (Ljapunov-stabil, critically stable), ha nincsenek pólusok a $|z| \leq 1$ körlápon kívül – és nincsenek **többszörös pólusok** a z -sík $|z| = 1$ egy-ségsugarú körén – és van legalább egy egy-szeres pólus, amely a z -sík egy-ségsugarú körére esik,

instabil, ha legalább egy pólus a $|z| \leq 1$ körlápon kívülre vagy legalább egy többszörös pólus a z -sík $|z| = 1$ egy-ségsugarú körére esik.



8. ábra. Az s - z megfeleltetés

Megjegyzendő még, hogy az s -sík $-j\pi T_s \leq j\omega \leq j\pi T_s$ képzettész (primary strip) a sávon kívüli, $|\omega| \rightarrow \infty$ irányokba elképzelt folytatásai a z -sík egy-ségsugarú körében is tovább folytatódhatnak, és periodikusan

többi körlemezeket, ún. többszörös Riemann-felületet alkotnak. Ezek az ω értékek már nem teljesítik a Shannon-kritériumot: $|\omega| > \pi / T_s = \omega_s / 2$, tehát nem is vendők figyelembe. A primer sáv frekvenciatarománybeli megfelelője a már említett főeloszlas (2. b ábra). Mivel ez a leképezés nem kölcsönösen

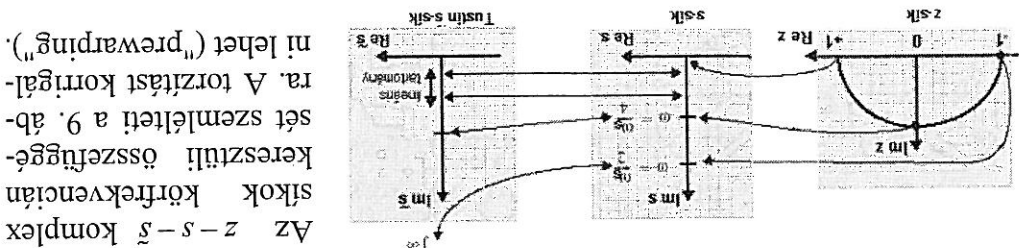
egységértelmezéssel (monomorf), a z-tartománybeli stabilitás nem dönti el egységértelmezésen a hozzárendelt folytonos függvény stabilitását, a folytonos megfeleltetésben ugyanis un. rejtett lengések is lehetnek, amik a mintavételek közötti időpontokban jelentkezők (intersampling oscillation). Ezért a stabilitás megítélésére egyértelműen csak a monomorf (egyben alaktartó - konform) bilineáris leképezés alkalmas. Ennek kapcsán bevezetve egy új w változót, az un. bilineáris **transzformáció**:

$$w = \frac{z-1}{z+1} \quad \text{és} \quad z = \frac{1+w}{1-w} \quad <30>$$

a transzformáció ugyanis mindkét irányba végrehajtható. Mivel ez a z-beli egységkörlemezre kölcsönösen egyértelműen képezi le az w-tartományba leképezés során keletkező legáltalában egy nem minimumfázisú polinomiális felülírásra, a z-átviteli függvényből $<30>$ -cal transzformált w-átviteli függvényre alkalmazható a Nyquist-ill. Hurwitz-kritérium. Hátránya viszont, hogy a leképezés során keletkezik legalább egy konstans szorzóban különböző az un. előbbi transzformációtól csak egy konstans szorzóban különböző az un. **Tustin-transzformáció** (szintén bilineáris, ahol lényegében az előbbi $w = sT_s/2$):

$$s \approx \tilde{s} = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1} \quad z = \frac{1+\tilde{s}T_s/2}{1-\tilde{s}T_s/2} \quad <31>$$

sajátossága, hogy **tartalmazza a T_s mintavételei periódusidőt!** A formula lényegében a $(z =) e^{sT_s} \approx 1 + sT_s$ vagy más alakban $\pi\tilde{\omega}/\omega_s \approx \tan(\pi\tilde{\omega}/\omega_s)$ közegében (a MATLAB: **c2d** parancs is ezt alkalmazza) felhasználásával adódik. A periódusidő megjelenése viszont a körtrekvenciában, az $\omega \Rightarrow \tilde{\omega}$ megfeleltetésnél nemlinearitást visz a leképezésbe. A transzformáció bilineáris-hibája levelezhető ($s = j\omega$ feltevéssel): $|sT_s/2| = |\pi\tilde{\omega}/\omega_s| < 0,4$ esetén kisebb 5%-nál, ami ω -ra nézve az $\omega < 0,13\omega_s$ megközelítést jelenti. A Tustin-transzformáció hatásait tekintve ezt nevezhetjük **bilineáris tartománynak** (a pontosági igénytől függően a tartományon belül $\omega \approx \tilde{\omega}$ vehető (9. ábra). A lineáritás megszűnik, ha $\omega \rightarrow \frac{\omega_s}{\pi} = \frac{T_s}{2}$, ugyanis akkor $j\tilde{\omega} \rightarrow \infty$ Az $\tilde{s}$ -síkra (Tustin-síkra) tehát csak az s-sík primer sávja képeződik le teljes egészében, de nem lineárisan (a jelen-ség neve: **frekvencia-torzítás** (frequency warping) Ebben a tartományban $\tilde{s} = j\tilde{\omega}$ helyettesítésével a z-átviteli függvényről visszatérhetünk a már ismert Bode és Nyquist frekvenciafüggvények alkalmazásához a stabilitás és a szabályozó illesztés számításainál.



9. ábra. A leképezések lineartása

A `sysd = c2d(syscs,'prewarp',wc)` MATLAB utasításvaltoztatnál egy általunk megadott kritikus `wc` körtrekvencian pontosan illeszteni lehet a transzformációt, ilyenkor a MATLAB a módosított $s \Leftrightarrow \frac{\omega_c}{\omega_c} \cdot \frac{z-1}{z+1} \tan \frac{\omega_c T}{2}$ leképe-

zést alkalmazazza ("visszatorzít").

Tekintsük a 4. ábra b) változatának megfelelő, tehát diszkrétidejű (digitális) szabályozót és szabályozott szakaszt tartalmazó szabályozási kört. A zárt kör z-átviteli függvénye, ha $G_m(z)$ -vel jelöljük, akkor az ismert módon :

$$G_m(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{D(z) \cdot HG^p(z)}{1 + D(z) \cdot HG^p(z)} \quad (32)$$

Itt a $D(z) \cdot HG^p(z)$ szorzat a kör (diszkrét hurokátviteli) z- hurokátviteli függvénye, a nevező $1 + D(z) \cdot HG^p(z) = K(z)$ a kör (diszkrét) z-

karakterisztikus polinomja, a $K(z) = 0$ egyenlet pedig a kör (diszkrét) z-karakterisztikus egyenlete. Ennek gyökeihelyei megegyeznek a $G_m(z)$ pólsa-ival, ezért a zárt kör stabilitásának szükséges feltétele, hogy a z-karakterisztikus egyenlet gyökei a z-sík egységsgugartú körén belül legyenek.

A MATLAB megfelelő parancsai a frekvenciatarományhoz:

nyquist(num,den,Ts) a $g(z)=num(z)/den(z)$ z-átviteli függvény Nyquist helygörbét állítja elő (Ts a mintavételi idő),

dbode(num,den,Ts) a $g(z)=num(z)/den(z)$ Bode diagramjait rajzolja ki. Mindkettő csak a Nyquist körtrekvenciáig adja vissza a függvényt!

Az időtartománybeli MATLAB parancs:

dstep(num,den) a $g(z)=num(z)/den(z)$ z-átviteli függvény átmenni függvényét szolgáttatja.

A `d2c` konverziókkal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a Tustin-transzformáció a $z = -1$ pólusokban nem értelmezett és ezek kis kör-

nyezetében nagymértékben határozatlan (szinguláris pont). A 'zoh' opció pedig a $z = 0$ pólusú rendszereket nem tudja kezelni, definíciójából eredően. Ezenkívül a diszkrétidejűből folytonosba konvertálás során komplex logaritmust használ ($sT_s = \ln z$), ami negatív valós pólusok esetén csak a logaritmus komplex főértékét szolgáltatná. Mivel valódi átviteli függvénynek kizárólag komplex konjugált póluspárja lehet, a **d2c** a főérték konjugált párját automatikusan hozzáveszi, így a számláló-nevező fokszáma egyel megnő!

Példa: Legyen valamely diszkrétidejű rendszer z -átviteli függvénye

$$g(z) = (z + 0.8) / (z^2 - 0.8z + 1.16) .$$

Vizsgáljuk meg a folytonosidejű megfelelőjét, majd konvertáljuk vissza MATLAB alkalmazásával ($T_s=0.1s$)!

```
>> Ts=0.1
>> g=zpk(-0.8,-0.3,1,Ts) * tf(1,[1 -0.8 1.16],Ts)
Alkalmazzuk az alapértelmezett 'zoh' opciót:
>> gc=d2c(g) % kiíródik:
Warning: Model order was increased to handle real negative poles.
-6.8779 (s-19.73) (s^2 - 2.835s + 1208)
```

```
(s^2 - 1.484s + 142.2) (s^2 + 24.08s + 1132)
>> gd=c2d(gc,Ts) % visszakonvertálás
(z+0.3) (z+0.8)
```

```
(z+0.3)^2 (z^2 - 0.8z + 1.16)
```

Latihatón egy többlet $z = -0.3$ pólus-zérus páros adódott az átviteli függvényben. Ennek elhárítására alkalmas a **minreal(sys,tol)** parancs (minimal realization). A **tol** változóval egy adott **tol** értékkülönbségen belül eltávolíthatók (cancellation) a közeleső pólus-zérus párok, amik instabilitást hoznak a rendszerbe.

```
>> minreal(gd)
(z+0.8)
```

```
(z^2 - 0.8z + 1.16)
```

visszakaptuk $g(z)$ -t.

14. DISZKRÉTIDEJŰ SZABÁLYOZÁSOK TERVEZÉSE

A diszkrétidejű (mintavételes) rendszerek szerkezetének és működésének tanulmányozása után kerülhet sor egy ilyen szabályozási kör ill. szabályozó tervezésére. A tervezést követő lépés minden esetben a kör minőségvizsgálata, ezt is a következőkben tárgyaljuk.

1. Mintavételes szabályozási körök szintézise

A diszkrétidejű rendszerek tervezésére alapvetően két út kínálkozik:

- Emulációs tervezés
A folytonosidejű folyamathoz egy folytonosidejű szabályozót tervezni teljeskörű hagyományos módszerrel, majd konvertálni diszkrétidejűvé valamely alkalmas módon (diszkrétizálás differenciagyenletek alapján, Tustin-transzformáció, stb.).
- Direkt (diszkrét) tervezés
A diszkrétizált folyamat differenciagyenleteinek illetve z-átviteli függvényeinek közvetlen felhasználásával

Az alábbiakban csak néhány módszer kerül ismertetésre, főleg olyanok, amelyek a folyamat egyszerű és gyorsan megalkotható modelljét használják (ököl-szabály típusok). Feltételezzük azonban a többi, már megismert (póluskiejtés, aszimptotikus frekvencia, stb.), valamint MATLAB-bal hozzáférhető (póluszérus valógatás: MPZ, MMPZ) módszerek ismeretét.

1.1. Emulációs tervezés

Az évtizedek folyamán a folytonosidejű szabályozási körökhöz kifejlesztett PID szabályozókhoz kifejlesztett beállítási, optimalizálási eljárások is egyre finomodtak (Oppelt, CHR, Kessler, Ziegler-Nichols, stb.) Értelmezhető, hogy sokáig a mintavételes körök szabályozói az analóg szabályozók tudásanyagára építve tervezték, a megfelelő PID szabályozók átviteli függvényeinek **diszkrét idejű-vé konvertálása, diszkrétizálása** révén. A szabályozók diszkrétizálása során

alapfunkcióit: az integrálás és differenciálás műveletét kell átültetnünk a diszkretídejú tartományba.

1.1.1. Integrálás, téglány-módszer

A téglány-módszerrel (rectangular integration) T_s alapú és $u(i)$ magasságú (i -edik) téglalapok összegevel közelítjük az integrált. Folytonos esetben az integrálás az időtartományban, $u(t)$ bemeneti és $y(t)$ kimeneti függvényre $y(t) = \frac{1}{T_s} \int_0^t u(\tau) d\tau$, így két egymást követő integrálérték $y(k) \approx \frac{T_s}{T_s} \sum_{i=1}^k u(i-1)$ és $y(k-1) \approx \frac{T_s}{T_s} \sum_{i=1}^{k-1} u(i-1)$. A kettő különbsége

$$y(k) - y(k-1) \approx \frac{T_s}{T_s} u(k-1) \text{ azaz } y(z)[1 - z^{-1}] \approx \frac{T_s}{T_s} u(z)z^{-1} \text{ a } z\text{-tartományban}$$

$$\frac{y(z)}{T_s} \approx \frac{T_s}{T_s} = c_I \cdot \frac{1}{1 - z^{-1}} \text{ az integrátor } z\text{-átviteli függvénye} \quad <1>$$

ahol $c_I = T_s / T_I$ az un. integrálási tényező. Ez a diszkretizálási módszer megfelel az $s \mapsto \frac{T_s}{z-1}$ helyettesítésnek-baloldali téglány-szabály (LSR)

1.1.2. Integrálás, trapéz-módszer

Pontosabban közelíti a trapéz-módszer (trapezoidal integration) amely az $u(i)$ és $u(i-1)$ oldalakkal bíró i -edik T_s alapú trapézzal közelíti. Itt $y(k) \approx \frac{T_s}{T_s} \sum_k^I [u(i-1) + u(i)] / 2$ és $y(k-1) \approx \frac{T_s}{T_s} \sum_{k-1}^{I-1} [u(i-1) + u(i)] / 2$, különbség $y(k) - y(k-1) \approx \frac{T_s}{T_s} [u(k) + u(k-1)]$. A z -átviteli függvény:

$$\frac{y(z)}{T_s} \approx \frac{T_s}{T_s} \cdot \frac{1}{1 - z^{-1}} = \frac{2T_s}{T_s} \cdot \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

Mivel ez esetben az integrálás $s^{-1} \mapsto \frac{T_s}{2} \frac{z+1}{z-1}$ azaz $s \mapsto \frac{T_s}{2} \frac{z+1}{z-1}$, a trapéz módszer megfelel a Tustin-transzformációnak!

1.1.3. Differenciálás

$$\langle 3 \rangle \quad T^D \frac{du(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} T^D \frac{\Delta u(t)}{\Delta t} \approx T^D \frac{u(k) - u(k-1)}{T_s} = y(k) \text{ az első derivált}$$

$$\langle 4 \rangle \quad y(z) \approx \frac{T^s}{T} \frac{z}{(z-1)} = c_D \cdot \frac{z}{z-1} \text{ ennek z-átviteli függvénye}$$

ahol $c_D = T^D / T_s$ az ún. differenciálási tényező. Mivel a módszer a különbséget egy múltbeli értékkel képzí, nevezik hátrataró differenciának (BWD – backward difference) módszernek is. A második derivált

$$\langle 5 \rangle \quad \frac{d^2 u(t)}{dt^2} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{du(t)}{dt} - \frac{du(t-\Delta t)}{dt}}{\Delta t} \approx \frac{n(k) - 2n(k-1) + n(k-2)}{T_s^2}$$

$$\langle 6 \rangle \quad y(z)/u(z) = (z-1)^2 / T_s^2 z^2 \text{ a második derivált z-átviteli függvénye}$$

1.1.4. A PID szabályozó diszkrétizálása

Egy analóg PID szabályozó idealizált időtartománybeli egyenlete :

$$\langle 7 \rangle \quad u(t) = K_C \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

ahol $e(t)$ a rendelkezéző jel mint a szabályozó bemeneti jele, $u(t)$ a szabályozó kimenete, a végrehajtó jel. Maga a diszkrétizálás az időtartomány szempontjából az előbbieknek megfelelő differenciaegyenlet-alakra hozást jelent, amely egy **algoritmus** kT_s időpillanatit lépéssorozatát testésíti meg, melyet pl. egy mikróprocesszor hajt végre. Ilyen értelemben egyben **algoritmizálás**. Ezért szorítkozhatunk ideális PID-re, hiszen a deriválásnak megfelelőített műveletso-rozatnak nincsenek a folyamatosnál fellépő fizikai korlátai. A $\langle 7 \rangle$ egyenletben egy megfelelő T_s mintavételi idő választással a deriválást T_s -sel való osztással, az integrálást téglalap vagy trapézformulával helyettesíthetjük. Téglalap- módszerrel integrálva az

$$u(k) = K_P [e(k) + \frac{T_s}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{T_s}{T_D} (e(k) - e(k-1))] =$$

$$\langle 8 \rangle \quad = K_P [e(k) + c_I \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + c_D (e(k) - e(k-1))]$$

differentciaegyenletet kapjuk, ez az $u(t)$ jel pillanatnyi értékét szolgáltatja, ezért az egyenletet **pozícióalgoritmusnak** (position algorithm) nevezzük. Ez még nem rekurzív alak, de azzá tehetjük, ha tekintjük a <8> egyenletet a meg-

előző, $(k-1)$ -edik időpontban :

$$u(k-1) = K_r \left[e(k-1) + \frac{T_s}{T_I} \sum_{i=0}^{k-2} e(i) + \frac{T_s}{T_D} (e(k-1) - e(k-2)) \right] \quad <9>$$

majd <8>-ből <9>-et kivonva :

$$\Delta u = u(k) - u(k-1) = b_2 e(k) + b_1 e(k-1) + b_0 e(k-2) \quad <10>$$

differentciaegyenletet kapjuk, ahol a paraméterek :

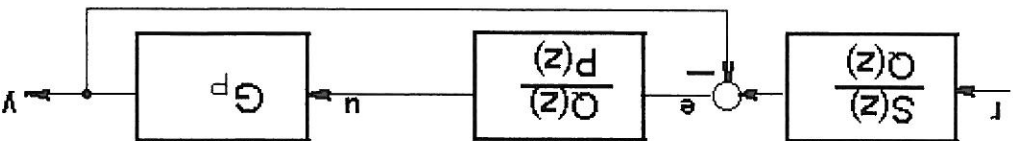
$$b_2 = K_r(1+c_D), \quad b_1 = -K_r(1+2c_D - c_I), \quad b_0 = K_r \cdot c_D \quad <11>$$

<10>-ben Δu a szabályozó $u(t)$ kimenőjelenek tetszőleges $(k-1)T_0$ és kT_0 időpont közötti megváltozását írja le, ezért a <10> formulát **sebességalgoritmusnak** (velocity algorithm) is nevezzük. A <10> differentciaegyenlet mintavételes szabályozási körben mint **rekurzív PID-szabályozóalgoritmus** használható.

1.1.5. Kétszabadságfokú PID algoritmus, Takahashi ajánlás

Tekintsük egy $D(z)$ szabályozóból és $G_P(z)$ folyamatból álló standard (merekv) szabályozási kört. Ha $r(k)$ az alapjel vagy vezérlőjel, $y(k)$ a zárt kör kimenőjele (szabályozott jellemző - vagy merek visszacsatolás esetén ellenőrzőjel), akkor az $e(k)$ rendelkezőjellel írható $e(k) = r(k) - y(k)$

ugyanaz a z-tartományban $e(z) = r(z) - y(z)$. Legyen $D(z) = \frac{\tilde{Q}(z)}{\tilde{P}(z)} = \frac{n(z)}{e(z)}$ ha $u(z)$ -vel jelöljük a szabályozó kimenőjelenek z-transzformáltját. Átrendezve



1. ábra. Szabályozási kör kétszabadságfokú szabályozóval

$P(z)n(z) = \tilde{Q}(z)e(z) = \tilde{Q}(z)[r(z) - y(z)]$, azaz ugyanaz a $Q(z)$ polinom hat $r(z)$ és az $y(z)$ jelle. Ha ekkor az alapjelhez egy másik $S(z)$ polinomot rendelünk : $P(z)n(z) = S(z)r(z) - \tilde{Q}(z)y(z)$

<13>

$$\text{akkor } u(z)\text{-re írható: } u(z) = \frac{\bar{O}(z)}{S(z)} \left[\frac{P(z)}{r(z)} - y(z) \right]$$

<12> esetén a kapcsolás bemenetén S/P, visszacsatolásában Q/P szerepelne, ami integráló jelleg esetén nem lenne realizálható (végtelenek különbsége). Ezért a <13>-nak megfelelő 1. ábra kapcsolása a szokásos. Megfigyelhetők, hogy az alapjel egy S/Q szűrőt kapott, a nyitott kör pólusai viszont nem változtak. A módosítás révén a <10> algoritmusban $e(k)$ az $r(k)$ -y(k) kifejezéssel helyettesíthető. Ez lehetővé teszi egy második módosítást. Felismerhető, hogy a $r(k)$ vezetőjel gyors változása a PID algoritmus differenciáló összetevője miatt a szabályozó kimenetén megegyezhetetlen nagy ugrást okoz, ezért ez megakadályozható, ha a differenciáló összetevőben az $r(k)$ jelet figyelmen kívül hagyjuk. Így a módosított PID-algoritmus rekurzív egyenlete :

$$\Delta u(k) = K_C \{ e(k) - e(k-1) + c_I e(k-1) + c_D [-y(k) + 2y(k-1) - y(k-2)] \}$$

Harmadik javító módosítás: még nagyobb mértékben csökkenthető az ugrás, ha a $r(k)$ vezetőjelet az arányos összetevőben is figyelmen kívül hagyjuk:

$$\Delta u(k) = K_C \{-y(k) + y(k-1) + c_I e(k-1) + c_D [-y(k) + 2y(k-1) - y(k-2)]\}$$

Negyedik javító módosítás: az integráló összetevőben az $e(k-1)$ rendeltkezőjelet egy ütemmel előrehozhatjuk, azaz $e(k)$ -val helyettesíthetjük, ezzel a vezetőjel-megváltozás azonnali végrehajtójel-változáshoz vezet (gyorsítás!):

$$\Delta u(k) = K_C \{-y(k) + y(k-1) + c_I [w(k) - y(k)] + c_D [-y(k) + 2y(k-1) - y(k-2)]\}$$

A $\Delta u = u(k) - u(k-1)$ helyettesítéssel, z-transzformálva, $z^2 \neq 0$ -val szorozva, majd rendezve :

$$(z^2 - z)u(z) = K_C c_I z^2 \cdot w(z) - [K_C(1 + c_I + c_D)z^2 -$$

<14>

$$-K_C(1 + 2c_D)z + K_C c_D] \cdot y(z)$$

Összevetve a <12> egyenlettel, az ún. Takahashi-szabályozó jellemzői az alábbi polinomok:

$$P(z) = z^2 - z$$

<15>

$$S(z) = K_C \cdot c_I \cdot z^2$$

$$\bar{O}(z) = K_C(1 + c_I + c_D)z^2 - K_C(1 + 2c_D)z + K_C c_D$$

A <15> polinomokat az 1. ábra hatásvázlatába helyettesítve modellezhető ez a módosított, kétszabadságfokú PID-algoritmus szerinti szabályozó.

Kétszabadásfokú, mert a módosítással előrecsatolást is (különbségeképző elé) bevittünk a rendszerbe. Ezen algoritmushoz készített Takahashi optimalizált paraméter-ajánlást, amennyiben a folyamatot egytárolós holtidős taggal közeliük, az Automatika tárgyban megismert K_p, T_n, T_g paraméterekkel. A tervezéshez szükséges K_C, c_I, c_D szabályozó-paraméterek K_p, T_n, T_g függvényében az 1. táblázatban láthatók. Az ajánlás csak akkor alkalmazható, ha T_n több mintavételi periódusidőt tesz ki!

A szabályozó biztosítja az állandósult állapotbeli zéró hibát, ugyanis $t \rightarrow \infty$ azaz $z \rightarrow 1$ esetén $P(z) \rightarrow 0$ miatt a zárt kör átvitel függvénye $\rightarrow 1$, másrészt $S(z)/\tilde{Q}(z) \rightarrow 1$, tehát a rendszer eredő átviteli tényezője 1.

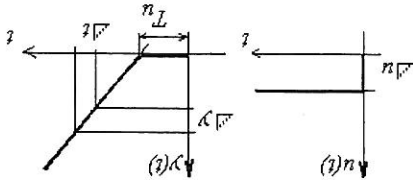
1. táblázat Takahashi-paraméterek

Takahashi ajánlás	$K_0 = K_C K_p$ körerosztás	$c_I = \frac{T}{T_s}$ int. átv. tényező	$c_D = \frac{T}{T_s}$ diff. átv. tényező
P	$T_g / (T_n + T_s)$	---	---
PI	$\frac{0.9T_g}{T_n + T_s / 2} - \frac{0.135T_g T_s}{(T_n + T_s / 2)^2}$	$\frac{K_0(T_n + T_s / 2)^2}{0.27T_g T_s}$	---
PID	$\frac{1.2T_g}{T_n + T_s} - \frac{0.3T_g T_s}{(T_n + T_s / 2)^2}$	$\frac{0.6T_g T_s}{K_0(T_n + T_s / 2)^2}$	$\frac{0.5T_g}{K_0 T_s}$

1.1.6. Paraméter-ajánlás holtidős integráló szakaszhoz

Tekintsük egy holtidős integráló szakasz (HIT0) átmeneti függvényét (2. ábra):
Definiálhatjuk a következő segéd- változókat

$$: A_I = \frac{\Delta y / \Delta t}{K_{IP}} = \frac{\Delta u}{K_{IP}} \text{ és } \beta = \frac{1}{A_I T_n}$$



2. ábra. HIT0 átmeneti függvény

Az ajánlott mintavételi periódusidő választás: $0.2/A_I < T_0 < 0.4/A_I$ Ekkor a (Friedrich-Schmidt-Zantis által) ajánlott paraméterek táblázata (2. táblázat):

2. táblázat Paraméterek HIT0 szakaszhoz

	K_C	$c_I = T_s / T_I$	$c_D = T^D / T_s$
P	$0,5 \cdot \beta$	0	0
PD	$0,5 \cdot \beta$	0	$0,5 \cdot T_n / T_s$
PI	$0,42 \cdot \beta$	$T_0 / 5,8 T_n$	0
PID	$0,4 \cdot \beta$	$T_0 / 3,2 T_n$	$0,8 \cdot T_n / T_s$

1.2. Direkt tervezés

1.2.1. Deadbeat (véges beállású) szabályozó

A mintavételes szabályozási körökben a két mintavétel között fellépő oszcilláció megátolható, ha mind a végrehajtójelnek, mind a szabályozott jellemzőnek egy véges, elég kisszámú lépés folyamán állandósult állapotot írunk elő. Ezt nevezik „deadbeat” viselkedésnek.

Mivel a mintavételes szabályozási rendszerekben a szabályozó tetszőleges algoritmussal programozható, akár elő is írható egy megkivánt dinamika egy realizálható zárt kör $G^m(z)$ eredő z-átviteli függvénye formájában. Az ehhez tartozó $D(z)$ szabályozó kifejezhető a zárt szabályozási kör alapjaira vonatkozó eredő átviteli függvényéből:

$$D(z) = \frac{1}{G^m(z)} \cdot \frac{G^p(z) \cdot 1 - G^m(z)}{1}$$

(mivel visszacsatolás). A $G^m(z)$ célfüggvény ismeretében ennek alapján határozhatjuk meg a $D(z)$ digitális szabályozó struktúráját és paramétereit. Az ideális (követő) szabályozó elé azt tűzhetjük ki célul, hogy az ellenőrzőjel az eleve meglevő holtidőt követően rögtön (azaz legfeljebb egy mintavételi periódus késéssel) követi az alapjel megváltozását, majd tartja is ezt a megváltozott értéket. Ez a követelmény a következőképp írható:

$$G^m(z) = z^{-k} \text{ és } k \geq 1$$

A k szám nyilván egyvel nagyobb, mint a meglevő holtidőre eső mintavételi periódusidők száma, aminek egész számnak kell lenni. Holtidő hiányában $k=1$. Adott k mellett tehát a deadbeat szabályozó z-átviteli függvénye:

$$D(z) = \frac{1}{1} \cdot \frac{G^p(z) \cdot z^k - 1}{1}$$

Példa: Legyen a szabályozott szakasz átviteli függvénye $G_p(s) = \frac{1+20s}{2} e^{-4s}$. Tervezzünk hozzá a MATLAB segítségével standard körhöz deadbeat szabályozót és ábrázoljuk időfüggvényeit SIMULINK-kel!

Válasszuk a mintavételi időt a holtidő felére, mely egyben az időállandó

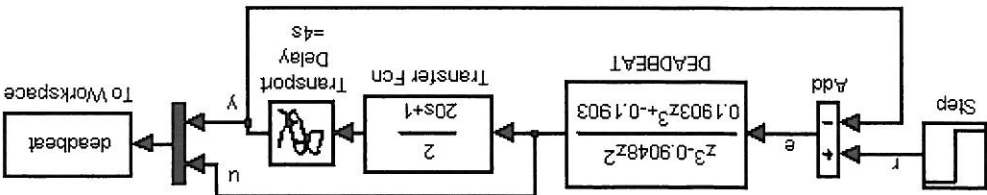
tízede, tehát $T_s=2s$.

```
>> gpc=tf(2,[20 1],'inputdelay',4) %gpc definiálása
>> gpd=c2d(gpc,2) %Ts=2s, gpd a diszkrétizált gpc 'zoh'-val
```

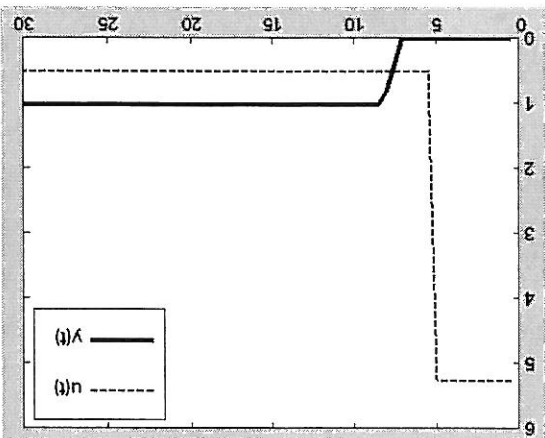
Kiírás: $z^{-2} \cdot 0.1903 / (z - 0.9048)$, tehát $0.1903 / (z^3 - 0.9048z^2)$
Ez esetben $k=2+1=3$, $D(z)$ a $<18>$ szerint a kiírt $G_p(z)$ alapján:

$$D(z) = \frac{0.1903z^3 - 0.1903}{z^3 - 0.9048z^2}$$

<19>



3. ábra. A deadbeat szabályozóval megépített szabályozási kör



4. ábra. A deadbeat szabályozós kör jelei

Az így paraméterezett kör SIMULINK modelljét a 3. ábrán, jelalakjait a 4. ábrán ábrázoltuk. Látható, hogy a 3. mintavételre a szabályozó véglegesen követi az alapjelet. De az is látszik, hogy csak a végrehajtójel nagy amplitúdójú ugrása árán tudjuk produkálni az azonnali követést. Ez viszont rángást vagy a szakasz (eszköz) tönkremenetelét okozhatja.

1.2.2. Dahlin szabályozó

Az előbb említett káros nagy amplitúdójú ugrást hatásosan csillapítja, ugyanakkor a gyors reagálást is megőrzi a Dahlin szabályozó. Alkalmazása holtidős szakaszoknál előnyös. Dahlin ajánlása szerint legyen

$$G_m(s) = \frac{1}{1 + \tau s} e^{-sT_h} \quad <20>$$

ahol T_h a szóban forgó szakasz holtidejével azonos, τ pedig egy a csillapítást meghatározó, szabadon hangolható időállandó. Ezzel

$$G_m(z) = \frac{1 - e^{-T_s/\tau}}{1 - z^{-1}e^{-T_s/\tau}} \cdot z^{-k} \quad k \geq 1 \quad <21>$$

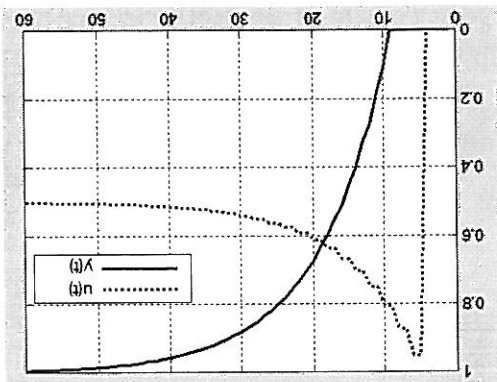
A k szám itt is eggyel nagyobb, mint a meglevő holtidőre eső mintavételi periódusidők száma.

A Dahlin-szabályozóval megépített szabályozási kör SIMULINK hatásvázlata teljesen megegyezik a deadbeat 3. ábrán látható vázlatával, természetesen a szabályozó z-átviteli függvénye és a szimulációs idő különbözik.

$$D(z) = \frac{1}{1 - q} \cdot \frac{G_p(z)}{z^k - q^{k-1} - (1 - q)} \quad \text{a zárt kör alapjelátviteli függvényéből} <22>$$

ahol $q = e^{-T_s/\tau}$ és $D(z)$ a Dahlin szabályozó z-átviteli függvénye.

A számításokat könnyebbé teszi, hogy <22>-ben a szakasz pólusával és zérusaival egyszerűsíteni lehet ($G_p(z)$ a nevezőben!). A τ választásnál $\tau = 0$ s a deadbeat szabályozót adja, a $\tau = 3 \dots 5T_s$ választás nyújt kompromisszumos megoldást a gyorsaság és a megfelelő csillapítás között.



5. ábra. A Dahlin-szabályozós kör jelei

Példa Tekintsük az előbbi, deadbeat szabályozónál tárgyalt szakaszt és tervezzünk hozzá Dahlin-szabályozót! Válasszuk $T_s = 2$ s mint előbbi, $\tau = 5T_s = 10$ s, akkor $q = 0.819$ és <22> alapján:

$$D(z) = \frac{0.953z^3 - 0.862z^2}{z^3 - 0.819z^2 - 0.181} \text{ a szabályozó z-átviteli függvénye. } <2.2.b>$$

A szabályozási kör jelalakjait az 5. ábra mutatja. Látható, hogy az $u(t)$ végre-hajtó jel itt jóval kisebb ugrásra van kényszerítve (a deadbeathhez képest), a q csillapításnak köszönhetően. Szokásos előírás szabályozó tervezésnél a $\max|u(t)|$ előírása a végrehajtó- ill. beavatkozószerelv kímélése céljából.

1.2.3. A direkt tervezés általános jellemzői

Mik az azonosságok és a különbségek a kétfajta direkt szintézissel tervezett (deadbeat és Dahlin) szabályozó között?

- holtdő-kompenzáció - mindkét szabályozó elvileg tartalmazza
- zavarállóság (robosztusság) - a deadbeat szabályozó, mivel sokkal szigorúbban (póluskiejtéssel) definiált, sokkal érzékenyebb a paraméterbeli eltérésekre. Szimulációval is kimutatható, hogy ha a példabeli szakasz holtideje 4s helyett 3s vagy 5s (perturbáció), a deadbeat szabályozó rögtön lengéssel reagál, míg a Dahlin szabályozó erre érzéketlen marad.
- nem minimumfázisú szakaszok - a $<18>$ és $<22>$ általános tervezési formulából látható, hogy felhasználják a szakasz inverzt, ennek révén ugyanakkor a szakasz egyébszörön kívüli zérói (azaz ha a szakasz nem minimumfázisú) egyébszörön kívüli pólusokká válhatnak!
- „csengetés” - ha a $<22>$ -beli q érték 0-hoz közeli (pl. azért, mert τ túl kicsire lett választva), akkor ez egy $z = -1$ -hez igen közeli pólust keletkeztet $D(z)$ -ben, ami a szabályozó kimenetén csillapodó lengést („csengetés”- „ringing”) okoz, ami károsíthatja a szakaszt.

1.2.4. A mintavételi idő megválasztása

A mintavételi idő megválasztása minden esetben döntő a szabályozás minőségére. Gyakori feltevélezés, hogy T_s csökkentésével egyre nő a szabályozás jó-sága. Ez tévútra vezethet, mert az így megnövelt számbírozási pontosság egyrészt a processzor gyorsasági határaiba ütközik, másrészt az esetleg elke-rülhetetlen kerekítési művelet pontatlansághoz, a szabályozási kör instabilitá-sához vezet. Ezen kívül a költségek és bonyolultság is rohamosan nő a minta-vételi idő csökkentésével. Meg kell tehát találni a kompromisszumos beállítást. A legáltalánosabb szempont és egyben abszolút felső korlát azonban a Shannon-féle mintavételi szabály: $T_s \leq \pi / \omega_{\max}$ ahol $\omega_{\max}$ az a legnagyobb

körfrenkvencia, amit a folyamattal bármilyen szempontból még figyelembe kell vennünk

Ha a tervezésnél adott a zárt kör megkívánt sávszélessége (vágási körfrenkvencia) ω^{czt} , akkor tapasztalati feltétel, hogy a mintavételezési körfrenkvencia ennek 5...20-szorosa legyen:

$$\omega_s \geq 5...20 \omega^{czt} \approx (5...20) \omega_n \sqrt{2 - 4D^2} \text{ is írható, ha a zárt kört lengő tag-}$$

gal közelítem. Ha a nyílt kör vágási körfrenkvenciája ω_c , akkor vehető $\omega_n \approx \omega_c$, ahol $\omega_n = 1/T$ a zárt kör sajátkörfrenkvenciája).

Az emulációs tervezésű szabályozók esetén lényeges, hogy a diszkrétizálás, és így a nulladrendű tartó beiktatása során a folytonos dinamikai jellemzők változatlanok maradjanak, különben az átütetés érvényét veszti. Márpedig, mint a zérusrendű tartó tárgyalásánál megállapítottuk, a tartó $\omega_c T_s / 2$ fázisstartalék-vesztéséget okoz, amit szokásos lehatárolni az egyenlőtlenséggel, azaz $5^\circ...15^\circ$ fázistöbblet romlást engedünk meg.

$$\omega_c T_s / 2 \equiv \omega_n T_s / 2 \leq (5...15) \pi / 180 \approx 0.2 \quad <23>$$

A direkt tervezésű szabályozóknál egy, az s-tartományban túl kicsi idő-állandójú pólus megjelenése a $z = \exp(sT_s)$ definíciónak megfelelően a z-tartományban egy, a $z=+1$ -hez közeli pólust és a „csengetés” (ringing) jelen-
sége okozza (oszilláció). Márpedig ha egy s-beli domináns időállandó egy adott T_1 ennek z-beli pólusa T_s mellett $z = \exp(-T_s / T_1)$ lesz, akkor $T_s \rightarrow 0$ esetén ez bekövetkezik. Ezt megakadályozandó, megszabhatjuk például, hogy $\exp(-T_s / T_1) \leq 0.98$, amiből $T_s \geq 0.02 \cdot T_1$. Ha ezt a domináns póluspárra vonatkoztatjuk, írható: $T_s \geq 0.02 / \omega_n$, avagy $\omega_n T_s \geq 0.02$

Direkt tervezésű holtidős szakaszok esetén a holtidőre eső minden egyes mintavételi egy-egy újabb pólust hoz be a z-tartományba. Minden újabb pólussal nő a számtási igény és így a szabályozó komplexitása. Költség okokból is célszerű az ilyen pólusok számát 2 és 4 közé korlátozni (Goltien), azaz a mintavételi idő megválasztása: $T_s \approx T_n / 2 \dots T_n / 4$. Néhány egyéb ajánlás a mintavé-
teli idő megválasztásáról:

(Takahashi, Y. szerint) $T_s = (1.2...0.35) T_n$ ha $0.1 < T_n / T_g < 1$ és $T_s = (0.35...0.22) T_n$ ha $1 < T_n / T_g < 10$

(Isermann, R. szerint) $T_s = (1/6...1/15) T_{g5}$, ahol T_{g5} az átmeneti függvény 95%-a eléréséig eltelt idő.

2. Minőségvizsgálat az idő- és frekvenciatarományban

A zárt kör minőségi jellemzőiként az időtartományban diszkrét esetben ugyanazok a mértékszámok használatosak, mint folytonos esetben. A stabilitás alapkövetelmény. Követelmény még a megfelelő tranziens viselkedés és az állandósult állapot előírt mértékű hibája.

2.1. Tranziens jellemzők

A túllendülés M_p ($\equiv \sigma$) (overshoot) definíciója:

$$M_p = \frac{y_{\max}(k) - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\%. \text{ A túllendülés, mint a folytonos esetben, döntően}$$

a domináns pólus(ok) elhelyezkedésétől függ, ez(ek) stabil esetben az s-síkban a képzetes tengelyhez, z-síkban az egységkörhöz legközelebbiek. Egy közelítő érték %-ban a zárt kör s-síkbeli domináns póluspárjához tartozó D csillapítási tényező függvényében : $M_p \approx 100(1 - D/0,6) \cdot [\%]$, feltéve ha

$y_{\max}(k) > 1 \cdot y(\infty)$. Mint látható, $D=0,6$ csillapítási tényező felett megszűnik a túllendülés (a negatív értékeket itt nem értelmezzük!). Egy pontosabb közelítés a lengő tag átmeneti függvényének szélsőértékéből számolva: $M_p \approx \exp(-\pi D / \sqrt{1 - D^2}) \cdot 100\%$

Egyébként a z-sík Tustin-transzformálásával és az így kapott domináns pólus (póluspár) felhasználásával az időfüggvény számítható. A Tustin-transzformáció mellőzhető, ha a 6. ábra nomogramjába a megfelelő z-pólust berajzoljuk – ekkor az s-beli D érték leolvasható a nomogramból és ennek alapján M_p az előbbi közelítésekkel becsülhető!

MATLAB-beli eszközök a túllendülés számításához:

[wn,z] = damp(sys) a sys LTI-model **wn** sajátértékvektorának értékeiből és **z** (zeta) csillapítási tényezőiből álló vektort szolgáltat. Diszkrétidejű rendszerek esetén, az ekvivalens folytonosidejű értékek: **wn** = $\text{abs}(\log(\lambda)) / T_s$ és **z** = $\cos(\text{angle}(\log(\lambda)))$, ahol λ a karakterisztikus függvény sajátértékei.

[wn,z,p] = damp(sys) ezenfelül a sys pólusait is kírja.
A dstep(num,den) kirajzolja a z-átviteli függvény átmeneti függvényét. Az ábra munkafelületére jobb gombbal kattintva a megjelenő ablak "Characteristics" pontjának "Peak Response" választása bejelöli a túllendülés helyét és adatait.

A szabályozási idő T_a (settling time)

Ha a domináns pólus valós részének hosszát (távolságát az s-sík képzetes tengelyétől) a -val jelöljük, ugyanez komplex póluspár esetén (D csillapítási tényező és T időállandó jelöléssel) legyen $a = D/T = D\omega_n$

Ezt összevetve azzal, hogy a z-pólus abszolút értéke $|z| = |e^{-aT_s}|$, látható, hogy

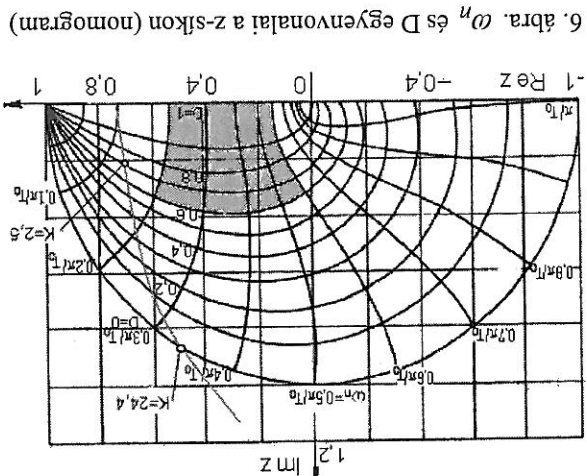
adott T_s mintavételi idő mellett azonos a értékek koncentrikus köröket képeznek a z-síkon. Ha tehát adott T_s mellett ismerjük a zárt kör eredő z-átviteli függvényének domináns pólus(párját), akkor a 6. ábra nomogramjába berajzolva meghatározható D és ω_n majd $a = D\omega_n$. Mivel lengő tagnál az átmeneti függvény burkológörbéjének eltérése a végtértéktől a időpontban

$$T_a \exp(aT_a), \quad \exp(aT_a) = \Delta/100 \quad \text{egyenlet-}$$

ből a $\Delta = \pm 5\%$ dinamikai hibához tartozó szabályozási idő: $T_a = \frac{a}{\ln(100/5)} \approx \frac{a}{3}$, míg a

hoz $\Delta = \pm 2\%$ dinamikai hibához tartozó: $T_a = \frac{a}{\ln(100/2)} \approx \frac{a}{4}$. Tapasz-

talati becslésként



6. ábra. ω_n és D egyenvonalai a z-síkon (nomogram)

használják a kevésbé optimista $T_a \approx 4,6/a$ szabályozási időt.

MATLAB-beli lehetőség a túlrendűs számításához:

A dstep(num,den) ábra munkafüzetére jobb gombbal kattintva a megjelenő ablak "Characteristics" pontjának "Settling Time" választása bejelöli a szabályozási idő helyét és mértékét. A "Properties" > "Characteristics" alatt pedig megadható a hibaszám mértéke.

A felütési idő t_r (rise time)

a zárt kör jelkövetési gyorsaságát jellemzi, általában az átmeneti függvény $0,1v(\infty)$ -ról $0,9v(\infty)$ -re változásának idejeként definiálják. Ismert becslés:

$t_p \equiv \frac{2^{2,5} \dots 2}{\omega_n}$. A z-pólus(pár) berajzolásával az 5. ábrából az ω_n vagy a T_s ismeretében a másik értéke az illeszkedő ω_n egyenvonal felhasználásával kiszámítható.

MATLAB-beli eszköz a felfutási idő számításához:

A dstep(num,den) ábra előbbi "Characteristics" pontjának "Rise Time" választása bejelöli a felfutási idő mérési helyét és adatait.

A sávszélesség ω_c és a T_s választása, fázistartatlék

A tervezés sarkpontja T_s választása. Alapja a Shannon-szabály, mely $T_s \omega_{\max} \leq \pi$ alakba is írható. Vegyük észre, hogy a 6. ábra ω_n egyenvonalai voltaképp az $\omega_n T_s = \text{const}$ vonalaknak tekintendők, ahol az ω_n , vagy a T_s , vagy mindkettő kötött. A Shannon-kritériumból $\omega_n T_s \leq 1/\sqrt{2-4D^2}$, $<25>$ -ból viszont $\omega_n T_s \leq 2\Phi$ adódik, ahol Φ a megengedett fázistartatlék-romlás (radiában). Ezek a pontok egy adott vonaltól jobbra esnek, legyen pl. az $\omega_n T_s = 0,6\pi$ vonal. Alulról határol a $<24>$ egyenlőtlenség, legyen ez $\omega_n T_s \geq 0,2\pi$ (vonaltól balra). Egy harmadik tartományt határoz meg, ha adott a maximális M_p túllövés vagy az ennek megfelelő minimális D értéke. Leegyen most pl. a $D = 0,6$, ez a megfelelő vonal (logaritmikus spirál) alatti terület. A három kikötés együtt a 6. ábrán sötéten jelzett zárt tartományt adja. Ez felhasználható a dinamikai tervezéshez, φ_l ill. T_s megválasztásához.

MATLAB-beli lehetőség a sávszélesség számításához:

fb = bandwidth(sys) kitarja sys első (legkisebb), a -3dB-hez tartozó törésponti körtfrekvenciáját. A

fb = bandwidth(sys,dbdrop) alaknál **dbdrop** -ban megadható a törésponti amplitúdóváltozás dB-ben (alapértelmezett -3, mindig negatív szám!)

Példa. Legyen egy szabályozott szakasz z-átviteli függvénye:

$$G(z) = \frac{z^2 - 1,48z + 0,5027}{0,025z + 0,0204}$$

mely zárt kört alkot egy K arányos átviteli tényezőjű P szabályozóval és merev visszacsatolással. Milyen K értéknél kapunk $D = 0,7$ csillapítást és kielégül-e ekkor a sötéttel jelzett tartomány feltétele?

A megoldás az 5. ábrán látható, szürkén kiírozott görbe, amely a K változó értékeihez tartozik, bejelölve a $K=24,4$ (stabilitás határa) és a $K=2,5$ ($D=0,7$ csillapítás) pontokat. Látható, hogy a jelzett tartomány feltétele semmilyen K mellett nem teljesül, ráadásul állandósult állapotbeli hiba lép fel. Kipróbálható, hogy PID szabályozó választással már könnyedén teljesíthetők a feltetelek!

2.2. Diszkrét integrálkritériumok („összegkritériumok”)

A szabályozás minőségét globálisan (nem csak az átmeneti jelenségekre korlátozva) írják le az integrálkritériumok, mint a szabályozás jószágának (control quality) mérőszámát. Az integrál képzésének diszkrét esetben használt módjai megegyeznek a folytonos rendszerek kritériumaival, egyetlen különbség, hogy diszkrét értékekről léven szó az integrál szerepét részösszegek veszik át. A leggyakrabban használtak:

Lineáris szabályozási terület: $I_{dl} = \sum_{k=0}^{\infty} \{e(k)\}$, ahol $e(k) = e(kT_0)$ a

rendelkezőjével időfüggvénye, a kT_0 időpontbeli hiba értéke. Ez az integrál csak az aperioidikus beállási mintavételes rendszerekre alkalmazható

Négyzetes hibaösszeg: $I_{dN} = \sum_{k=0}^{\infty} \{e(k)\}^2$

Lengő rendszerek megítélésére is alkalmas. (angol:ISE).

Abszolút hibaösszeg: $I_{dA} = \sum_{k=0}^{\infty} |e(k)|$ (angol:IAE).

Idővel súlyozott abszolút hibaösszeg: $I_{dAS} = \sum_{k=0}^{\infty} k|e(k)|$ (angol:ITAE).

Idővel súlyozott négyzetes hiba: $I_{dNS} = \sum_{k=0}^{\infty} k\{e(k)\}^2$ (angol:ITSE).

Végrehajtójel változással módosított négyzetes összeg (Fletcher-Powell kritérium): $I_{dTP} = \sum_{k=0}^{\infty} [\{e(k)\}^2 + R\Delta u^2(k)]$. Itt a $\Delta u(k) = u(k) - u(\infty)$ a végrehajtójel ill. beavatkozájával változása a k -adik időpontban, egy R súllyal beszámítva. A

módosítás oka, hogy a mintavételes ill. digitális szabályozásokban a szabályozó mintavételei idő alatt rendkívül nagy változásokat produkálhat, mivel nume-

rikus módon jön létre. A változás a fizikai korlátok miatt esetleg mégsem jöhet

létre, ami leontya a szabályozás minőségét. Az R súlyozást a gyakorlatban 0...0,25 közé szokták választani.

2.3. Állandósult állapotbeli hiba

Folytonos esetben a típusszám segítségével gyorsan megíthettük, hogy a $t \rightarrow \infty$ átmenetek megfelelő $s \rightarrow 0$ esetén milyen hibára számíthatunk. Ugyanezt a mintavételes rendszereknel a $z \rightarrow 1$ átmenet képviseli (végértéktételek). Erre egy, a folytonos esethez hasonló táblázat állítható fel (3. táblázat), ahol K_0 a körerősítés és $D(z) \cdot G_p(z) = G_0(z)$ a már definiált z -hurokátviteli függvény. N értéke a kör struktúrájára ill. a zavarjel bevezetési helyére jellemző szám lesz.

3. táblázat Diszkrétidejű rendszer statikus hibája

$r(kT_s)$ bemeneti jel időben	$r(z)$ bemeneti jel z-transzf.	$e_\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} e(kT_s)$ $G_0(z)$ hurokátviteli fv. K_0 körerősítés Az állandósult állapot hibája	$N \geq 1$	$N \geq 2$	$N \geq 3$
egység- ugrás $\{1(kT_s)\}$	$\frac{z-1}{z}$	$\frac{1}{1 + \lim_{z \rightarrow 1} G_0(z)} = \left(\frac{1 + K_0}{1} \right) (z-1)^{N-1}$		$\frac{T_s z}{(z-1)^2}$	$\frac{1}{T_s^2} \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z^2}{(z-1)^3} G_0(z) = \frac{K_0}{T_s^2} (z-1)^{N-2}$
sebesség- ugrás $\{kT_s\}$	$\frac{T_s z}{(z-1)^2}$	$\frac{1}{1 + \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)G_0(z)} = \left(\frac{K_0}{T_s} \right) (z-1)^{N-1}$			
gyorsulás- ugrás $\left\{ \frac{1}{2} (kT_s)^2 \right\}$	$\frac{T_s^2 z(z-1)^3}{2}$				

15. ÁLLÁSOS SZABÁLYOZÁSOK VIZSGÁLATA

A mindennapi gyakorlatban az elméleti anyagban elfoglalt szerepüknel lényegesen nagyobb arányban használatosak az ún. állásos szabályozók (on-off control, two-three state control, two-three position process control, stb.) Ezt annak köszönhetik, hogy rendkívül egyszerű felépítéssel és az ebből következő sok előnyös tulajdonsággal (olcsó kivitel, kis helyigény, kis karbantartási igény, segédenergiaátvitel, kis energiagigény, stb.) nagy teljesítményen zajló folyamatokat is a megkívánt minőséggel lehet szabályozni. Gondolhatunk itt olyan egyszerű háztartási eszközökre, mint a vasaló bimetál hőmérőszabályozója vagy a szobai termosztát, de szerepelnek pl. az iparban alkalmazott szervomechanizmusokban is. Gondoljunk arra is, hogy a régebben véges élettartamú és megbízhatatlan működésű mechanikus kontaktreleket az utóbbi évtizedekben felváltották a nagy megbízhatóságu és gyakorlatilag korlátlan élettartamú szilárdtest relek (valamint kapcsolózúzemű félvezetők: triakok, térvvezérlésű tranzisztorok).

A vizsgálatok során olyan szabályozási köröket tanulmányozunk, ahol a két- ill. háromállású szabályozók (kapcsolóelemek, legfőképpen relék vagy szelepek) visszacsatolás nélkül szerepelnek a szabályozási körben, tehát egyelőre a szabályozás minőségét javító kompenzálást nem alkalmazunk. Így meg tudjuk állapítani az elemzés során a kapcsolóelemek alapvető paramétereinek (pl. histerézis) vagy a jelzintéknék a hatását a szabályozás minőségére, így az is kiderül, hol kell ill. lehet majd a továbbiakban kompenzálással javítani.

1. Az állásos szabályozók jelleggörbéi

Mint a „9. Szabályozási körök analízise” fejezetben megállapítottuk, a valóságos fizikai rendszerekben mindig fellép a nemlineáritás. Hogy jelenkezik ez a matematikai modelleiben? Lineáris rendszerben bármely be- és kimeneti változó közötti összefüggést lineáris (de akár időben változó együtthatós) differenciálegyenlettel írhatjuk le a változók szóban forgó működési tartományában. Ha ez nem áll fenn, tehát a rendszer nemlineáris, akkor a következő hatások lépnek fel:

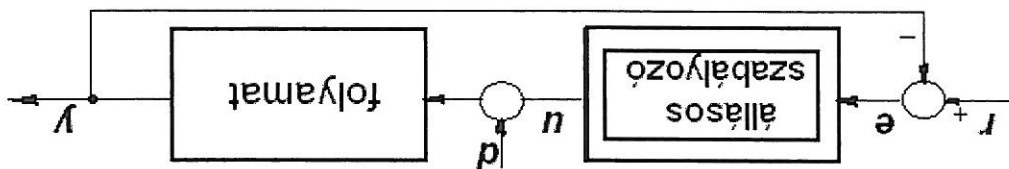
- érvényét veszti a szuperpozíció elve, a hatások tehát nem összegeezhetők,

- a kimeneti tranziens lefolyása függeni fog a bemeneti jel nagyságától és a kezdeti feltételektől,
- a stabilitás is függ a bemeneti jel nagyságától és a kezdeti feltételektől,
- a magára hagyott rendszerben fellépő egy adott amplitúdójú és frekvenciájú, nem harmonikus lengés (hátarciklus)

és még sok egyedi tulajdonság, ami a zárt alakban való leírást (mint átviteli függvény) lehetetlené teszi. Ezért első megközelítésben az ún. **statikus jelleggörbe**, vagyis az állandósult állapotban lévő be- és kimeneti jel közötti összefüggés alapján különíthetjük el a nemlineáritás jelét.

Vizsgálataink első lépéseként tehát elvégezzük a statikus karakterisztika felvételét és tanulmányozzuk az általunk használt nemlineáritás (itt állásos szabályozó) fajta jellemző paramétereinek beállítási lehetőségeit. Az állásos szabályozók statikus jelleggörbéi ún. kvázistacionos (ez esetben lépcsős) függvények, ezért **kvázistacionos szabályozó** néven is ismertek.

Az állásos szabályozókat tartalmazó köröket összevont (avagy „standard”, merőv visszacsatolású) összeállításban vizsgáljuk (1. ábra).



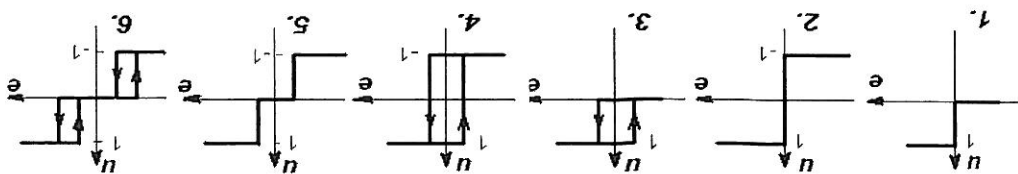
1. ábra. Standard kör állásos szabályozóval

Ez azt jelenti: azt a megszorítást tesszük, hogy az eredeti, bővebb körben lévő érzékelő/távadó (transmitter/sensor, Messglied) bemeneti (szabályozott jellemző) és kimeneti jele (ellenőrzőjel) csak mértékegységben és egy konstans szorzóban különbözik (vagyis időállandói elhanyagolhatóan kicsinyek). A nemlineáris tagok (így az állásos szabályozó) jelképi jelölése kettős téglalap, a szokásos jelölések: y az ellenőrzőjel (vagy szabályozott jellemző), r az alapjel, e a rendelkezőjel vagy hibajel, u a végrehajtójel, d a zavartól.

Figyelem! Egy szabályozási struktúrában – ellentétben a lineáris tagokból álló struktúrával – a nemlineáris tag (elhelyezése) nem cserélhető fel valamely más taggal! Ezt a tényt szemléltethetjük egy SIMULINK modellel is, az állásos szabályozó és a folyamat felcserélésének szimulációjával!

Az állásos szabályozók statikus jelleggörbéje szerint hat esetet fogunk a továbbiakban vizsgálni. A különbségek a lépcsős számából és a hiszterezis jelen-

- 215

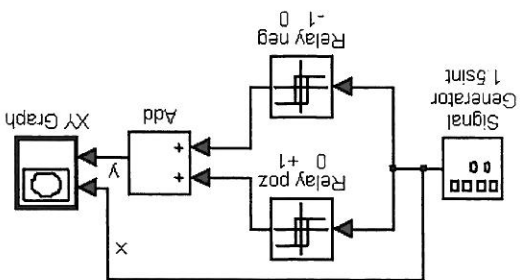


2. ábra. A vizsgálandó állásos szabályozók statikus jelleggörbéi

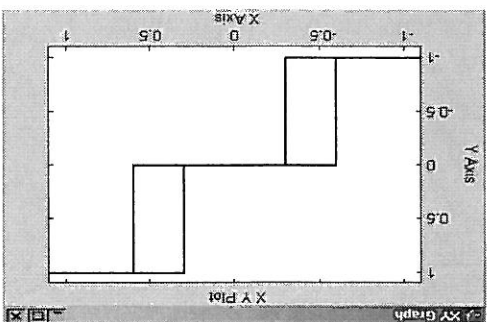
A SIMULINK „Relay” blokknak négy paramétere érdekess számunkra, a blokk alapértelmezése szerint mind a négy (néhány megköötéssel) tetszőlegesen felvehető.

- „Switch on point” ahol a relé kikapcsolt állapotból bekapcsoltba billen
- „Switch off point” ahol a relé bekapcsolt állapotból kikapcsoltba billen
- „Output when on” bekapcsolt állapotban felvett kimeneti érték
- „Output when off” kikapcsolt állapotban felvett kimeneti érték

Lényeges megköötés: „Switch on point” érték $\geq$ „Switch off point” érték. A jelleggörbék alapján a beállítás könnyen leolvasható. Összetettebb az 5. és 6. (háromállású relé) esete, itt két „Relay” blokk párhuzamos kapcsolásával állítható elő a háromlépcsős jelleggörbe.



3. ábra. Háromállású relé jelleggörbe felvétele



4. ábra. Háromállású relé jelleggörbeje

Fontos feladat a megfelelő statikus jelleggörbe beállítása és felvétele. A karakterisztika felvételéhez a „Sinks” blokkcsoport „XY Graph” blokkját al-

kalmazzuk.

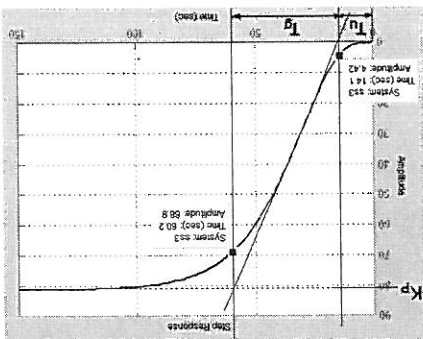
A SIMULINK „XY Graph” blokk két változó bevezetését igényli és egy szimuláció végrehajtásával az x változó (vízszintes tengely) függvényében felrajzolja az y változó (függőleges tengely) menetét. A beállítandó paraméterek: $x-min$ és $x-max$ a teljes értelmezési tartomány, $y-min$ és $y-max$ a teljes értékészlet határait jelöli ki. A 3. ábrán a 6. típus: háromállású relének a két „Relay” blokk párhuzamos kapcsolásával előállított modelleje látható, az alsó a

negatív, a felső a pozitív y értékeket szolgáltatja. Az ábra egyben a jelleggörbe felvételének módszerét, a 4. ábra a felvett jelleggörbét mutatja.

A „Relay neg” beállítása: sw.off=-0.6, sw.on=-0.3, out.off=-1, out.on=0. A „Relay poz” beállítása: sw.off=+0.3, sw.on=+0.6, out.off=0, out.on=+1. A histerézis tehát $h = 0.3$, a holtidő $u_d = 0.6$. Az összeállítás jelt egy 1.5s-int jelt adó „Signal Generator” blokk szolgáltatta.

2. Kétállású, histerézis nélküli szabályozó holtidős egytárolós arányos eredő szakasszal

A következőkben az 1. ábrának megfelelő összeállításban sorra megvizsgáljuk a 2. ábra 1., 2., ..., 6. karakterisztikájú állásos szabályozót a szabályozó szerepében - egyrészt a többletárolós arányos, másrészt a többletárolós integráló jelleggörbe - összevont szabályozott szakaszt tartalmazó szabályozási körökben, a SIMULINK eszközeit használva.



5. ábra. Egytárolós holtidős közelítés

Ezek nem mindegyikét fogjuk tárgyalni, csak az ipari gyakorlatban is döntően előforduló típusokat. A vizsgálatokat végig az időtartományban, a szabályozási körök átmeneti függvényének felvételével végezzük. Első lépésként az átmeneti függvény elemzésével definiáljuk azokat a minőségi jellemzőket, amelyek fontosak számunkra a szabályozás jószágának megítéléséhez. A szabályozott szakaszoknál (folyamatoknál) az áttekinthetőség miatt bizonyos

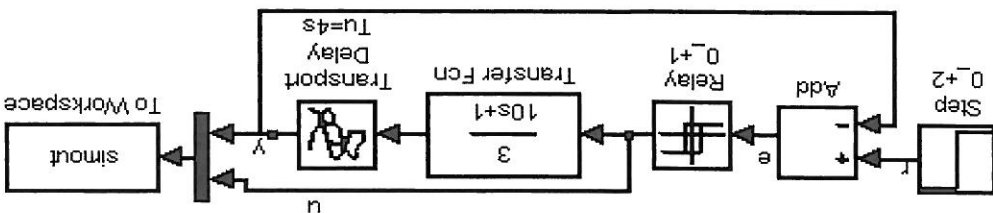
Ezzel az u végrehajtójel $0 \rightarrow +1$ átkapcsolásánál az y kimenet az $y_{\max} = K_P$ értéket veszti fel! *Felítelezzük, hogy a felvétel időállandói azonosak* (ami nem mindig igaz, pl. felmelegítés – lehűlés esetén. A standard szabályo-

$$G_P(s) = \frac{K_P}{1 + sT_g} \cdot e^{-sT_u}$$

<1>.

egyszersítés kell elnünk. A lineáris körök szintézisének már megismert ökölszabály módszerrel a többletárolós arányos szakaszt holtidős egytárolós arányos szakasszal helyettesítjük, az 5. ábrán látható módon. A közelítő modell

zási kör (1. típusú állásos szabályozóval, a folyamat egytárolós holtidős közelítő modelljével) SIMULINK blokkvázlata a 6. ábrán látható.



6. ábra. Kétállású hiszterézis nélküli szabályozó egytárolós holtidős szakasszal

A példában az alaplaj az $r = 2 \cdot 1(t)$ egysegugrás, $T_g = 10s$, $T_u = 4s$ lett paraméterezve. A kapott $u(t)$ és $y(t)$ jelalakok a 7. ábrán láthatók. Az $u(t)$ függvényen leolvasható, hogy a szabályozó ki- majd bekapcsolása az e hibajel nullátmeneténél, az $y = r = 2$ pontokban történik. A ki- majd bekapcsolás után a T_u holtidő elteltevel reagál a szakasz, addig a megkezdett folyamat tovább zajlik.

Mindkét folyamat T_g időállandójú exponenciális görbe mentén fut az $y=0$, ill. $y = y_{\max} = K_p = 3$ értéke felé. Mivel a felfutó görbe $y_{\max}(1 - \exp(-t/T_g))$ függvény szerint, a lefutó $y_{\max} \cdot \exp(-t/T_g)$ szerint fut (a 7. ábrán szaggatottan berajzolt vonal), felírható két egyenlet a kapcsolási pontokra:

$$y_1 = y_{\max} - (y_{\max} - r) \cdot \exp(-T_u/T_g) \quad <2>$$

$$y_2 = r \cdot \exp(-T_u/T_g) \quad <3>$$

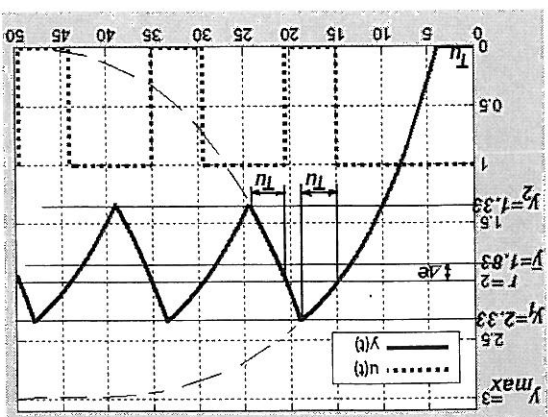
a két kapcsolási érték közötti távolság ezek alapján:

$$\Delta y = y_1 - y_2 = y_{\max}(1 - \exp(-T_u/T_g)) \quad <4>$$

A Δy értéket nevezzük **ingadozási sávnak**. A példánkban $\Delta y = 2.33 - 1.33 = 1$ Mivel a szabályozástechnikában a lengések általában nem kívánatosak, ezért minél kisebb az ingadozási sáv, annál jobb a szabályozás minősége. Egyes esetekben jellemzőbb és jobban használható a **relatív ingadozási sáv**.

$$\Delta y / y_{\max}$$

Az $x = 1 - e^{-x}$ közelítő formulát ($x=0$ körül, $T_u \ll T_g$ eset!) tekintve, a <4>



7. ábra. A SIMULINK modell jelalakjai

egyenlet igen jó közelítése $\Delta y / y_{\max} = T_u / T_g$, amely hányados **relatív látszólagos holtidő**-nek is neveznek. A relatív ingadozásí sávot ezen összefüggés felhasználásával a szabályozási kör várható minőségének gyors megítélésére alkalmazhatjuk, mivel a T_u / T_g hányados a szakasz átmeneti függvényéből egyszerűen megkapható. Az általánosan elfogadott kritérium szerint:

- ha $T_u / T_g < 0,1$
 - ha $0,1 < T_u / T_g < 0,3$
 - ha $0,3 < T_u / T_g$
- kevéssé szabályozható
nehezen szabályozható
A szakasz nagy relatív látszólagos holtidője tehát hátrányos. A példánkban $\Delta y / y_{\max} = 1/3 = 0,33$, a $T_u / T_g = 4/10 = 0,4$, ugyanis a közelítés csak $x = 0,3$ -ig 5% pontos!

A 7. ábrán látható, hogy az alapel r értéke és az ingadozásí sáv közepe (az ellenőrzőjel középértéke $\bar{y}$) általánosságban nem esik egybe. A

$$\Delta e = \bar{y} - r$$

az ún. **maradó szabályozási eltérés** (sustained deviation), fontos minőségjellemző. A példában $\Delta e = 1,83 - 2 = -0,17$, ami -8,5% relatív hibát jelent.

Belátható, hogy ha $y_{\max}$ -hoz képest az r alapeljél relatívve kicsi, a kapcsolási jelenség az exponenciális görbe alsó részén játszódik, ahol a féltűtás meredek, a féltűtás lapos, ekkor a rögzített T_u holtidő miatt az ellenőrzőjel magasán r fölé fut, a maradó szabályozási eltérés pozitívnak adódik. Fordított a helyzet, ha az r alapeljél $y_{\max} / 2$ -nél nagyobb (mint a példában), ekkor a maradó szabályozási eltérés negatív. Középtájon pedig az eltérés 0 körülí. A konkrét összefüggés is felírható $\langle 2 \rangle$, $\langle 3 \rangle$ és $\langle 4 \rangle$ -nek a maradó szabályozási eltérés $\langle 5 \rangle$ definíciójába való behelyettesítésével:

$$\Delta e = (y_{\max} / 2 - r) \cdot (1 - \exp(-T_u / T_g))$$

$\langle 6 \rangle$

vagy tekintetbe véve az $x \approx 1 - e^{-x}$ közelítő formulát a második tényezőre, a **maradó szabályozási eltérés közelítése** a relatív látszólagos holtidő felhasználásával:

$$\Delta e = (y_{\max}/2 - r) \cdot T_u/T_g$$

<7>

Azt látjuk tehát, hogy a maradó szabályozási eltérés a relatív ingadozási sávhoz hasonlóan egyenesen arányos a T_u/T_g hányadossal, míg a másik tényezője az $y_{\max}/2$ és az r alapjel különbsége. Ebből az következik, hogy lévén az $y_{\max}/2$ a szabályozott szakasz K_p átviteli tényezője által adott, a T_u/T_g szintén a folyamat által adott, az alapjelét célszerű $K_p/2$ értékéhez közel választani, akkor Δe nulla körüli.

Példánkban $\Delta e = 0.4 \cdot (1.5 - 2) = -0.2 \approx -0.17$

Tisztaan kell lenni azzal, hogy a szabályozástechnikában az állásos szabályozókban és a hozzájuk kapcsolódó végrehajtó- és beavatkozókészervekben jelenlévő relék, mágnesszelepek, mechanikus átkapcsolók stb. csak véges számú kapcsolást viselnek el, más-részt élettartamuk az általuk kapcsolt energia nagyságától is függ, ezért a tervezésnél rendkívül fontos a várható

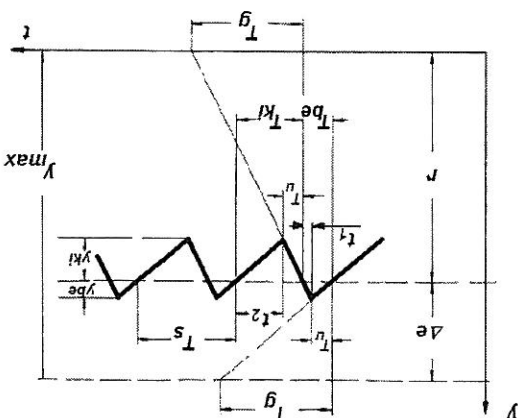
f_s kapcsolási frekvencia (switching frequency),

ill. reciproka, a **T_s kapcsolási periódusidő** (switching time) ismerete.

Hogy az előbbi paraméterekre vonatkozó összefüggések egyszerűsítésére az exponenciális fel- és lefutási görbék egyenesekkel helyettesíthetők. 8. ábrán látható módon bevezetve az $y_{be} = (y_{\max} - r) \cdot T_u/T_g$ és $y_{ki} = r \cdot T_u/T_g$ segédváltozókat, a kapcsolási periódusidőre felírható (hasonló háromszögek!):

$$T_s = T_{be} + T_{ki} = 2T_u + t_1 + t_2 = 2T_u + y_{be} \frac{T_g}{r} + y_{ki} \frac{T_g}{y_{\max} - r}, \text{ ahol } T_{ki} \text{ a}$$

kikapcsolási idő (switch off time), T_{be} a bekapcsolási idő (switch on time).



8. ábra. Közelítés egyenessel

Megjegyzés: az egyenes szakasszal való közelítés itt is az $x \approx 1 - e^{-x}$ formula $T_u/T_g \approx 1 - \exp(-T_u/T_g)$ alakban való alkalmazását jelenti!

Ebből adódik behelyettesítéssel T_g közelítő értéke: $T_g = T_u \gamma_{\max} / (r(1 - r / \gamma_{\max}))$

Ezzel a kapcsolási frekvencia közelítése:

$$f_s = 1/T_s = (r/\gamma_{\max}) \cdot (1 - r/\gamma_{\max}) / T_u \quad <8>$$

Ennek maximumhelye: $r = 0,5 \gamma_{\max}$ és a maximális kapcsolási frekvencia:

$$f_{s\max} = 1/4 \cdot T_u \quad <9>$$

Ebből az derül ki, hogy a legkisebb maradó szabályozási eltérés a legnagyobb kapcsolási frekvenciával, tehát a kapcsolóbereendezés legnagyobb igénybevételével jár együtt, vagyis a követelmények ellentétesek, a szabályozó beállítása-nál kompromisszumra van szükség.

Példánkra alkalmazva: $T_s = 4 \cdot 3 / (2 - 4/3) = 18$. Látható, hogy az egye-

nessel való közelítés nem túl pontos, mert $T_u < T_g$ ($4 < 10$) nem teljesül, de

becslésre alkalmas (ugyanis a 7. ábrán leolvasható pontosabb érték $T_g = 15$).

Figyelem! A közelítés pontosságát csak $T_u < 0,1 T_g$ esetén van értel-

me vizsgálni, mert a kör csak ekkor számít jól szabályozhatónak és ekkor

célzerű a kétállású szabályozó alkalmazása! A példa adatait a szemléletes-

ség kedvéért (pl. nagy ingadozási sáv) választottuk.

A szabályozási kör által felvett energiát az határozza meg, mennyi ideig

tart a szabályozó bekapcsolt állapotba, a maximumot az állandóan bekapcsolt

állapot jelentené. Mivel a működés periodikus, ezt az energiát a maximumhoz

képest a T_{be}/T_{ki} ún. **kapcsolási arányszám** jellemzi. Mint a 8. ábrán látható

$T_{be} = T_u + t_2$ és $T_{ki} = T_u + t_1$, ebből a már ismert módon az y_{be} , y_{ki} összefü-

géseit felhasználva

$$\frac{T_{be}}{T_{ki}} = \frac{y_{be}}{y_{ki}} = \frac{r}{r - y_{\max}} = \frac{1 - r/\gamma_{\max}}{r/\gamma_{\max}} \quad <10>$$

A $<10>$ összefüggés azt mutatja, hogy a kapcsolási arányszám független a sza-

kasz időállandótól, kizárólag az $r/\gamma_{\max}$ arány határozza meg. A 9. ábrán lát-

ható a látszólagos holtidőre vonatkoztatott kapcsolási periódusidő, valamint a

$<10>$ -nek megfelelő kapcsolási arányszám összevontan, a $r/\gamma_{\max}$ relatív

alapjelbeállítás függvényében. Ezen áttekinthetően látszik, hogy a T_{be}/T_{ki}

kapcsolási arányszám csak a $r/\gamma_{\max} = 0,5$ arány alatt kerül az 1 érték alá, tehát

ilyenkor fogja a kikapcsolt állapot ideje meghaladni a bekapcsoltat. Be van

jelölve az a $0.25 < r / y_{\max} < 0.75$ tartomány, amelyben belül ajánlott az r alap-
jel-munkapont megválasztása még elfogadható kapcsolási frekvenciával. Ha
az alapjel - ellenőrzőjel párost tekintjük és az ellenőrzőjel (feedback signal)

$K_p = y_{\max}$, akkor visszaszámolva(!) a

végrehajtójel $u_{\max} = 1$, a hozzátartozó
alapjel maximális értéke $r_{\max}$; az álta-
lunk (összevont szabályozott folyama-
ton belül lévő) **módosított jellemző**
(manipulated variable) $u_{\max}$ -hoz tar-
tozó értéke legyen $u_{\max}$, ha az
ellenőrzőjel az alapjel hiba nélküli
követi. Az $u_{\max}$ módosított jellemző
lényeges szerepet játszhat a szabályo-
zás munkapontjának beállításában, ha
értékhatárait befolyásolni tudjuk (pl.
hőmérsékletszabályozás esetén a fűtő-
teljesítmény). Ha a kétállású

szabályozó kikapcsol, akkor a végrehajtójel, módosított jellemző és
ellenőrzőjel egyaránt zéró értéket vesz fel (a tranziensek lezajlása után). Az így
befutott

$[0; u_{\max}]$ tartomány a **módosítási tartomány** (manipulated variable range)

$[0; y_{\max}]$ tartomány a **mért érték tartomány** (feedback signal range).

Ha az összevont szabályozott szakasz *ardnyos típusú* és az alapjel ill.
módosított jellemző egy összetartozó közbelső értéke r ill. $u_{\max}$, akkor a

$$\frac{r(t)}{u_m(t)} = \frac{y_{\max}}{u_{\max}} \text{ arányt módosítási aránynak}$$

(manipulated variable ratio) nevezzük. Példánkban ez $2/3$.

Ha a kívánt alapjel éppen $r = y_{\max}$, akkor a szakasz kimenete (ugyan

elvileg végtelen idő alatt, az energia tartós bekapcsolásával) eléri az $y_{\max}$ vég-

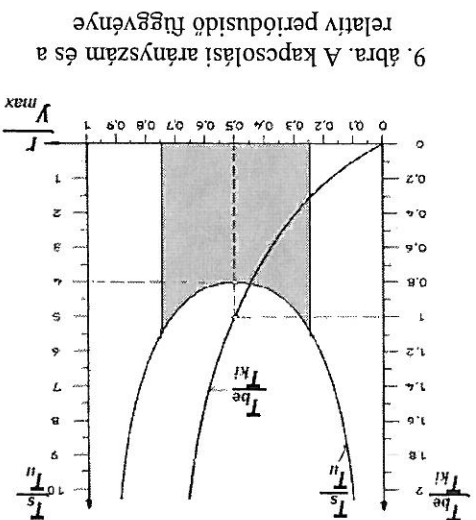
értéket (az ennek megfelelő módosított jellemző éppen $u_{\max}$) így nem vezet-

tünk hozzá olyan többleteljesítményt, mellével az előírt $y_{\max}$ értéket megha-

ladta, tehát módosított volna (többlet=0%). Ha az óhajtott alapjel pl.

$r = y_{\max}/2$ lenne és $u_{\max} = 1$ miatt az előbbi $y_{\max} = K_p$ végértéknek megfe-

lelő energiát kapja a szakasz a **bekapcsolt állapotában** (impulzussszélesség-



moduláció!) vagyis pont teleannyi idő alatt, akkor ez ahhoz képest 100%-kal több teljesítmény, mint ami ennek az $y_{\max}/2$ alapértéknek az eléréséhez szükséges volna állando, teljes idejű rákapcsolás esetén.

Ennek alapján definiálhatjuk a módosítási teljesítménytöbbletet:

$$m_l = (y_{\max}/r - 1) \cdot 100\% \quad (12)$$

arányos típusú összetevő szabályozott szakasz esetén. (Példánkban

$m_l = (3/2 - 1) \cdot 100\% = 50\%$). Ezen definíciót összevetve a $<10>$ egyenlettel:

$m_l = (T_{li}/T_{be}) \cdot 100\%$, vagyis a módosítási teljesítménytöbblet a kapcsolási arányszám reciproka százalékosan kifejezve. Valóban, mivel nagyobb a kapcsolási állapot aránya a bekapcsoláshoz viszonyítva, annál nagyobb teljesítménytöbbletet igényel ugyanazon r alapérték elérése. A példánkban igazolódik $<12>$: $m_l = T_{li}/T_{be} \cdot 100\% = 5/10 \cdot 100\% = 50\%$ Definálható még a folyamathoz vezetett, a szabályozás teljesítménytöbbletére jellemző szám, ami a bekapcsolási idő teljes periódusidőhöz viszonyított arányával fejezhető ki. Jelölése

$$\overline{u_m} \text{ és neve: } \overline{u_m} = \frac{T_{be}}{T_s} \cdot u_{m\max} \quad \text{A módosítási teljesítmény: } \overline{u_m} = \frac{T_{be}}{T_s} \cdot u_{m\max}$$

$$T_{be} = T_u + t_2 \text{ alapján közelítése: } \overline{u_m} = \frac{r - r^2/y_{\max}}{r - r^2/y_{\max}} \cdot u_{m\max} = \frac{y_{\max}}{r} \cdot u_{m\max}, \text{ azaz}$$

az átlagos módosítási teljesítmény a módosítási aránnyal egyenesen arányos, a bekapcsolási idő aránya pedig azonos a módosítási aránnyal. Tekintve a fenti jellemzőket, melyek azok a tényezők, amelyeket befolyásolva javítani tudjuk az állásos szabályozás minőségét? Felsorolva:

- az ingadozási sáv csökkentése
- a maradó szabályozási eltérés csökkentése
- a kapcsolási frekvencia csökkentése (periódusidő növelése)
- a módosítási teljesítménytöbblet csökkentése
- az átlagos módosítási teljesítmény csökkentése

3. Kétállású, hiszterézises szabályozó holtidős, egytárolós arányos szakasszal

Habár az előbbi fejezetben megtett egyszerűsítések sok esetben elegendőek a szabályozási kör kívánalmaknak megfelelő beállításához, előfordul, hogy a hiszterézis jelenléte pontosabb leírást igényel. A hiszterézis nélküli esettel ellentétben itt feltételezzük, hogy a felhúzás és lefűtés időállandói nem azonosak

Hogy a leírás ne legyen feleslegesen bonyolult és a képletek is áttekinthetőek legyenek, az időfüggvények logaritmikus szakaszait itt is egyenesekkel helyettesítjük. A SIMULINK modellje megegyezik a 6. ábrán láttal, csak $h=0.4$ hiszterézist alkalmaztunk, tehát a 3. típusú relet. Jelalakjai a 10. ábrán láthatók. Az y_1 a szabályozó kikapcsolási, y_2 a bekapcsolási pontja az ellenőrzőjel tartományában, ennek megfelelően a hiszterézis nagysága ugyanitt h (hysteresis, switch deviation). A két különböző időállandó a T_{gbe} bekapcsolási

(turn-on time constant) és T_{gki} a kikapcsolási (turn-off time constant) időállandók. Ismét segédváltozókat bevezetve kapjuk (levezetés mellőzésevel) az **ingadozási sávot**:

$$\Delta y = T_u \left(\frac{y_{\max} - y}{r} + \frac{T_{gbe}}{r} \right) + h \Delta T$$

, ahol $\Delta T < 1$. Ha $h \ll r$, akkor a h-val arányos tag elhanyagolható, ha pedig az időállandók egyenlők ($T_{gbe} = T_{gki}$ és nincs hiszterézis), akkor Δy a

$$\Delta y / y_{\max} = T_u / T_g$$

közelítésbe megy át. Egyébként pedig látható, hogy az a hiszterézis jelenléte jelentősen megnöveli az ingadozási sáv nagyságát. A példánkban $T_{gbe} = 10$,

$$T_{gki} = 11 \text{ a } 10 \text{ ábráról, azaz}$$

$$\Delta y = 4 * (1/10 + 2/11) + 0.4 * (1 - 2 * (1/10 + 1/11)) = 1.36$$

ami közelítően megegyezik a leolvasható $y_1 - y_2 = 2.5 - 1.2 = 1.3$ értékkel.

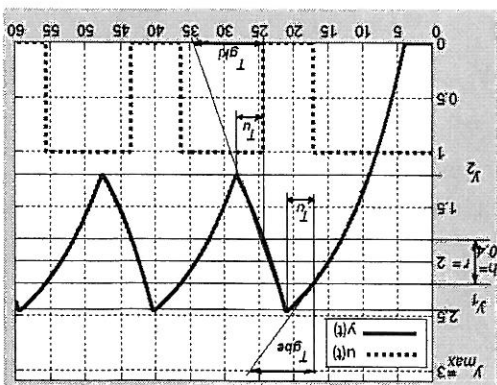
A **maradó szabályozási eltérés** hasonlóan:

$$\Delta e = T_u / 2 \left[(y_{\max} - r) / T_{gbe} - r / T_{gki} + h \Delta T \right], \text{ a } h \Delta T \text{ } h \ll r \text{-nél elhagyható.}$$

A **kapcsolási periódusidő** közelítése (segédváltozók felhasználásával):

$$T \approx T_u \left(2 + \frac{T_{gki}}{T_{gbe}} \left(\frac{r}{y_{\max} - r} \right) + \frac{T_{gbe}}{T_{gki}} \left(\frac{r}{y_{\max} - r} \right) \right) + h \Delta T$$

Az összeg hiszterézissel arányos tagja itt is általában elhanyagolható (A **módosítási teljesítménytöbblet** közelítése ($h \ll r$):



$$m_t = \frac{T_{be}}{T_{ki}} \cdot 100\% = \frac{T_{gbe}}{T_{gki}} \cdot \frac{y_{\max} - r}{r} \cdot 100\%$$

4. Kétállású szabályozót és holtidős, integráló típusú tagot tartalmazó szabályozási kör

Az előbbi struktúrákkal ellentétben, most feltetelezésünk szerint a szabályozott folyamat többtartós, integráló típusú, aminek a többtartós összetevőjét a megfelelő látszólagos holtidővel helyettesítjük (11. ábra) A közelítő modell

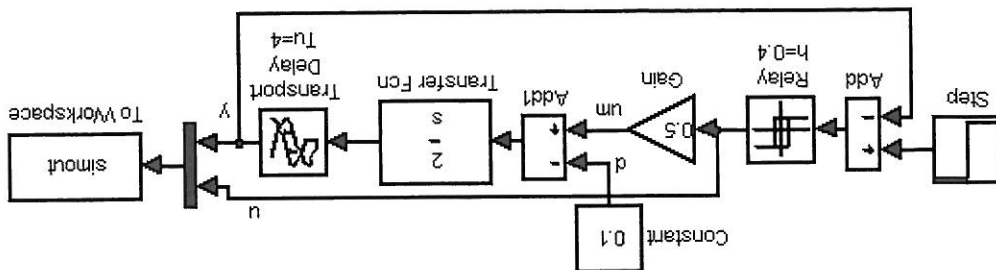
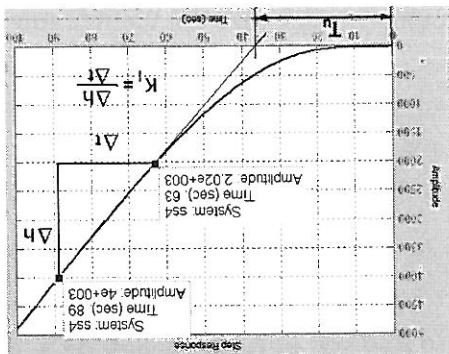
$$\text{tehát: } G_p(s) = \frac{K_I}{s} \cdot e^{-sT_n}$$

<13>

Van viszont egy lényeges különbség az arányos szabályozott szakasz tartalmazó szabályozási körhöz képest: a beállási folyamat csak valamilyen, a módosító jellemzőt az integrálási folyamattal el- lenkező irányú hatás (amit célszerűen zavaró hatásként fogunk kezelni) jelen- lésében vesz fel véges kimeneti értéket! Tekintsünk ugyanis például egy szintszabályozást: a folyadékáram integrálja - a folyadékszint - növekszik, majd a kívánt szintet túllépve leáll a töltés (u=0 lesz).

Ha ilyenkor folyadékkelvezetés (itt zavarójelként kezelve) nem következik be, a

11. ábra. Holtidős integráló taggal közelítés



12. ábra. Kétállású szabályozó holtidős integráló folyamattal

szintet követő szabályozással soha nem tudnánk alacsonyabbra állítani.

módosítási teljesítménytöbblet pedig:

szám abból adódik, hogy $T_{be} = t_{be}$ és $T_{ki} = t_{ki}$, ezért $\frac{T_{ki}}{T_{be}} = \frac{t_{ki}}{t_{be}} = \frac{u_{m\max} - d}{d}$. A

vashatóval. A kapcsolási frekvencia ennek reciproka. A kapcsolási arány-
Példánkban $T_s = 0.5(4 \cdot 0.5 + 0.4/2)/0.1(0.5 - 0.1) = 27.5$, azonos az ábrán leol-

$$T_s = t_{ki} + t_{be} = \frac{u_{m\max}}{T_u} \cdot \frac{d}{(u_{m\max} - d)} + \frac{h}{K_I} \quad (16)$$

A kapcsolási periódusidő hasonló módon háromszögekből számolva:

sítási tartomány $u_{m\max} = 2d$, akkor $\Delta e = 0$.

Sajátos, hogy az eredmények függetlenek az alapjelről. Ha a módo-

szakaszokkal számolhatunk, tehát nincs szó közelítéstől!

$\Delta e = (8.4 + 4)/2 - 5 = 1.2$ értékel. Itt ugyanis az integráló jelleg miatt egyenes

<15>-ből pedig $\Delta e = 4.2 \cdot (0.5/2 - 0.1) = 1.2$ ami szintén egyezik a leolvasható

ható $\Delta y = 8.4 - 4 = 4.4$ értékel.

ami pontosan egyezik az $y(t)$ -ről leolvas-

<14> alapján $\Delta y = 0.4 + 4 \cdot 2 \cdot 0.5 = 4.4$

A SIMULINK modell beállításával

$$\Delta e = \frac{h}{2} + y_{be} T_u - \frac{\Delta y}{2} = T_u K_I \left(\frac{u_{m\max}}{2} - d \right)$$

zasi eltérés <15>:

Hasonlóan eljárva a maradé szabályo-

$$\Delta y = h + T_u K_I u_{m\max}$$

$$\Delta y = h + y_{be} + y_{ki}, \text{ azaz}$$

Ezzel az ingadozási sáv :

$$y_{be}/T_u = K_I(u_{m\max} - d), \quad y_{ki}/T_u = -K_I d$$

azonos a meredekséggel):

A szabályozás időfüggvényei egy állandó csökkentő hatás, egyben za-
varó jel $d=0.1$ mellett a 13. ábrán láthatók. A bejelölt háromszögekre (mivel K_I

nél!

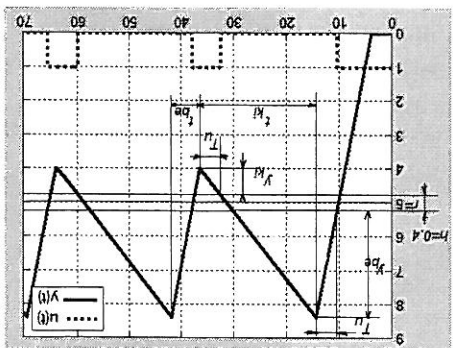
szint beállítható legyen, $u_{m\max}$ -nak mindig nagyobbnak kell lennie d értéké-

módosított jellemző $u_{\min} = 0$ és $u_{\max} = 0.5$ jel tartoznak. Hogy a pozitív

reható/beavatkozó tag arányos 0,5 erősítéssel, így a relé $u=0, \dots, +1$ értékeihez a

. A szabályozási kör beállításai: az alapjel $r=5$, a relé hiszterezise $h=0.4$, a vég-

A szabályozási kör SIMULINK blokkvázlata a 12. ábrán látható

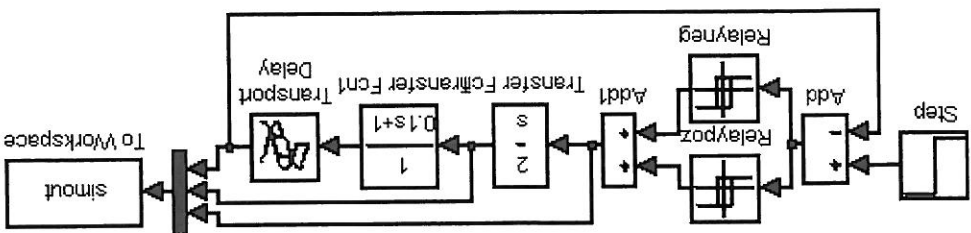


$m_l = d / (n_{max} - d) \cdot 100\%$. Az előző képletek szerint ezek a jellemzők is függetlenek az alapjel nagyságától. A módosítási tartomány legkedvezőbb értéke $n_{max} = 2d$, ekkor $T_s = 4T_n + 4h/K_I n_{max}$ és ha a hisztérezis elhanyagolható, akkor $T_s = 4T_n$

5. Szabályozási kör háromállású szabályozóval és integráló típusú végrehajtó szerivel

A háromállású szabályozókat leggyakrabban olyan szabályozási körökben alkalmazzzák, ahol a szabályozóhoz csatlakozó szervomotoroknak vagy egyéb motornak hajtóművet (tolózár, állítható szelep, állítható potencióméter, stb.) kell kiszolgálnia, amely helyzetbeállítást végéz és ezért integráló jellegű.

Egy ilyen kör SIMULINK blokkvázlatát mutatja a 14. ábra. A munkaponti alapjel $r=10$, a háromállású szabályozó beállítása legyen azonos a 3. és 4. ábrával, a látszólagos holtidő $T_u=2s$, az egytárolós tag időállandója most elhanyagolható! Jelöljük a szabályozó holtásvját e_d -vel, hisztérezisét h -val, akkor a szabályozó u kimenete mindaddig zéró, amíg az e rendelkezőjelre vonatkozó: $e \leq (e_d + h)/2$ összefüggés fennáll. Ha a rendelkezőjel alul vagy felül lép túl u_m módosított jellemző idő szerinti változása ekkor lépí ezt az értéket, akkor az u végrehajtójel a -1 illetve $+1$ értéket veszí fel. Az $u_m(t) = u(t) \cdot t / T_m = \text{sign } u(t) \cdot t / T_m$, ahol T_m az ún. beavatkozási idő



14. ábra. Szabályozási kör SIMULINK modellje háromállású szabályozóval

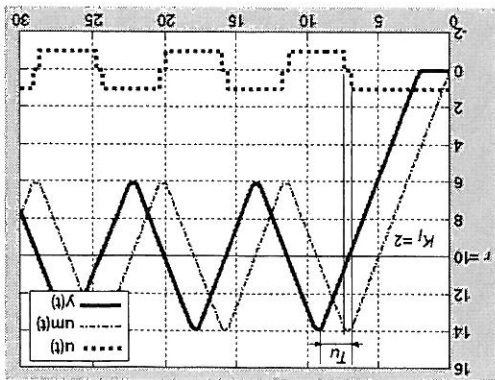
(correction time) az az idő, amely alatt a beavatkozó szerv a teljes u_{max} módosítási tartományt befutná a maximális sebességgel. Ha K_p -vel jelöljük a folyamat átviteli tényezőjét, akkor t idő függvényében az y kimeneti

A határciklus nélküli működés feltétele tehát $y(t)$ egyenletéből:

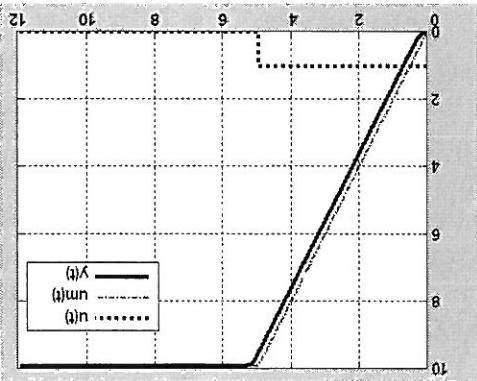
$$T_u > \frac{K_{pnm}^{pu}}{T_m} \cdot e_d$$

A stabil működéshez a relé histerézisét $h=0.1$ -re kellett csökkenteni változatlan $e_d = 0.6$ holtáv mellett. Látható, hogy az instabil üzemmód - ami a kétállású szabályozás kapcsolási folyamatát utánozza - rendkívül igénybe veszi a mechanikus alkatrészeket és csökkenti élettartamukat, ezért kerülendő. A stabil működés megelőzhető T_m és e_d növeléssel. A T_m növelése lassítja a beállási és zavarhelyomási folyamatot, az e_d növelése viszont csökkenti a statikus pontosságot - kompromisszumra van tehát szükség.

15. ábra. Háromállású relé, instabil jelek



16. ábra. Háromállású relé, stabil jelek

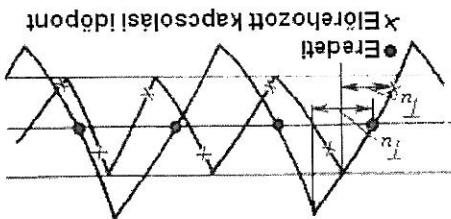


jel nagysága : $y(t) = \frac{K_{pnm}^{pu}}{T_m} \cdot t$. A kör jelei két esetben (15. és 16. ábra).
 Legyen a szakasz látszólagos holtideje T_u . Abban a pillanatban, mikor teljesül az $e \leq |(e_d + h)/2|$ feltétel, akkor ehhez képest T_u idő (látszólagos holtidő) múlva az y kimeneti jel is állandóvá válik. Ha T_u idő eltelével az e hibajel már nem esik bele az e_d holtávba, vagyis az y T_u idő alatti változása nagyobb e_d -nél, akkor a másik irányba való kapcsolásra kerül sor és ez periodikusan ismétlődni fog, a kör határciklusba kerül.

16. KOMPENZÁLT ÁLLÁSOS SZABÁLYOZÁSOK TERVEZÉSE

Az állásos szabályozókat tartalmazó szabályozási körök vizsgálata során megállapítottuk, hogy lényeges előnyük az egyszerűség és az ezzel járó nagy megbízhatóság, ugyanakkor a szabályozási kör jelentős minőségi jellemzőit (pl. ingadozási sáv, maradó szabályozási eltérés) nem tudjuk befolyásolni. Ennek a problémának leghatásosabb megoldása a kompenzálás, amelynek kivitelezését, részleteit ebben a fejezetben ismerhetjük meg.

Az állásos szabályozások nagy ingadozási sávjának fő oka az összevont szabályozott folyamat nagy T_n látszótagos holtidejében keresendő, mivel alulról közelítve az alapjelét, az elérésekor bekövetkező kikapcsolás után a T_n holtidő miatt az ellenőrzőjel még T_n idővel tovább növekszik (1. ábra).

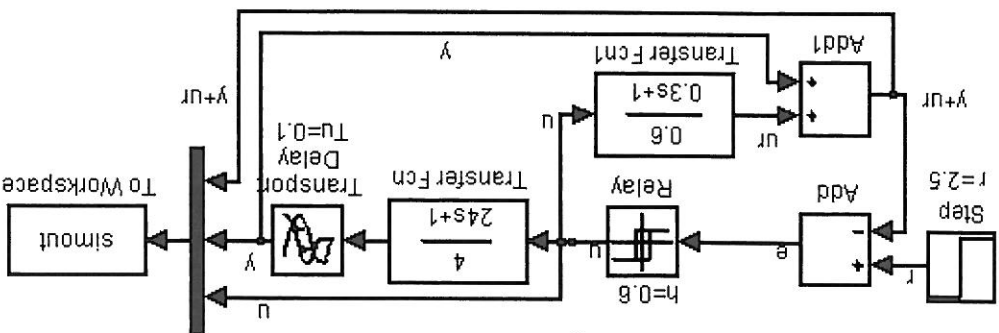


1. ábra. Kapcsolási idő áthelyezés

Ha sikerül azt elérnünk, hogy a szabályozó még az alapérték elérése előtt ki- kapcsoljon, akkor - noha az ellenőrzőjel még így is T_n idővel tovább növekszik - a tilrendület máris sikerült csökkentenünk. Ezt elérhetjük bekapcsoláskor is, ha időpontját sikerül korábbra helyezni. Ez lehetséges, ha a szabályozó még az alapjel elérése előtt jelzést kap az alapjel látszólagos eléréséről. Ezt az előzetes információt visszacsatolásos kompenzálással biztosíthatjuk. A továbbiakban ennek módszerét taglaljuk. Mindegyik különbözőzik nemcsak az ingadozási sávról, hanem a többi minőségi jellemzőre gyakorolt hatásában is, ezért részlete- sebb tárgyalást igényelnek.

1. Kétállású szabályozó késleltetett (PT1) negatív visz- szacsatolással (PD jellegű adó kompenzálás)

Kétállású hisztereziszes szabályozó esetén egy T_p időállandóju egytárolós ár- nyos taggal létesítünk negatív visszacsatolást. Neve ezért röviden **késleltetett visszacsatolású** (delayed feedback) **kompénzálás**. Időállandója a gyorsító ha-



2. ábra. A készletetett visszacsatolási szabályozási kör SIMULINK modellje

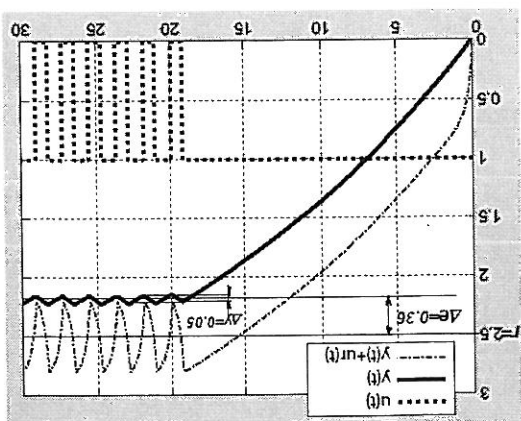
A paraméterezés: $r=2.5$, $h=0.6$, $T_u=0.1$, a relé $0 \rightarrow +1$ átmennettel kapcsol. A tagok átmenneti függvényei az ábrán.

A kompenzálas céljai:

- a szabályozás gyorsítása (a zavarójelek hatástanak minél gyorsabb megszűn-
tése, illetve a minél gyorsabb alapelkövetés elősegítése),
- az ingadozási sáv csökkentése, illetve lehetséges megszűntetése.

- az ingadozasi sav csökkenése, illetve lehetséges megszüntetése.

nek következtében $y + u_p$ ismét hirtelen nő és az egész folyamat ismétlődik. A folyamat időfüggvényei a 3. ábrán láthatók.



3. ábra. Késleltetett visszacsatolású kör jelalakjai

Amint az időfüggvényekből az 1. ábrának megfelelően látható, az előrehozott kapcsolási időpont a kétállású szabályozó ciklusán belül egy sokkal kisebb periódusidejű kapcsolási határciklust hoz létre, ezt a periódusidőt lényegében a visszacsatoló tag időállandója határozza meg. Legegyen a visszacsatoló tag átviteli függvénye $G_p = K_p / (1 + sT_p)$. Jelöljük a kétállású szabályozó átviteli függvényét G_C -vel.

Ekkor a kétállású szabályozó és a G_p visszacsatoló tag zárt körének eredő átviteli függvénye: $G_{er} = G_C / (1 + G_p G_C) = 1 / (1/G_C + G_p)$. A határciklus folyamata a két kapcsolási pont között megy végbe. Így a kétállású szabályozó egy olyan arányos taggal helyettesíthető, melynek átviteli tényezője a munkapontban végteleznek tekinthető ($G_C \rightarrow \infty$), vagyis $G_{er} = 1/G_p$, amivel: $G_{er} = (1 + sT_p) / K_p$. Ez pedig megegyezik egy $K_C = 1/K_p$ arányos átviteli tényezőjű, $T_p = T_p$ differenciálási idővel rendelkező PD szabályozó átviteli függvényével. Láthatóan az eredő szabályozó paramétereit a visszacsatoló tag paramétereire határozzák meg. Ezáltal lehetővé válik a szabályozási kör tulajdonságainak egyszerű beállítása a visszacsatoló tag paramétereivel.

1.1. Az ingadozási sáv

Tekintsük a 3. ábra $u_p(t)$ és az egyidejű $y(t)$ függvényét. Az $y(t)$ függvény ingadozási sávjára (ha az exponenciális szakaszt egyenessel közelítjük) írható: $\Delta y = T_{be} \cdot dy/dt$ ahol T_{be} (az $u(t)$ -n is leolvasható) bekapcsolási idő. Ugyanakkor az $u_p(t)$ jelben az ingadozás pontosan h , azaz:

$h = T_{be} \cdot du_r/dt$. Mivel a bekapcsolási függvényre: $u_r(t) = u_{r\max}(1 - e^{-t/T_r})$, ezért $du_r/dt = u_{r\max} \cdot (1/T_r) \cdot e^{-t/T_r}$. Átrendezéssel $e^{-t/T_r} = 1 - (u_r/u_{r\max})$. Ezzel T_{be} bekapcsolási időre: $T_{be} = \frac{h}{u_{r\max}/T_r (1 - u_r/u_{r\max})}$. Tekintve, hogy $y(t)$ -re u_r -rel azonos kifejezések írhatók fel:

$$\Delta y = \frac{h \cdot T_r}{y_{\max} \cdot (1 - \frac{T_g}{T_r}) \cdot (1 - \frac{y_{\max}}{y})} \cdot \frac{u_{r\max} (1 - u_r/u_{r\max})}{y_{\max}}$$

A visszacsatolatlan esetre ismert összefüggés $T_{be}/T_s = r/y_{\max}$. Állandósult állapotbeli kellően kis hiba mellett feltehető, hogy $r \approx y$ ezért

$$T_{be}/T_s = y/y_{\max} = u_r/u_{r\max}$$

így végül is a $<1>$ zárójelben lévő tényezőivel emiatt egyszerűsítení lehet, azaz arányos szakasz esetén az **ingadozási sáv**

$$\Delta y_{pd} = \frac{T_r}{T_s} \cdot \frac{y_{\max}}{u_{r\max}} \cdot h = \frac{T_r}{T_s} \cdot \frac{T_g}{K_p} \cdot K_r \cdot h$$

ahol $T_D = T_r$, a PD szabályozó differenciálási ideje.

Integráló típusú szabályozott szakaszra teljesen analóg módon levezethető az **ingadozási sáv**:

$$\Delta y_{pdi} = K_I \cdot \frac{T_r}{u_{r\max}} \cdot h = K_I \cdot \frac{T_r}{T_s} \cdot K_r \cdot K_C T_D \cdot h$$

ahol a két esetben

- h a kétállású szabályozó hiszterézisének nagysága
- $u_{r\max} = K_r u$ a visszacsatoló tag kimenetének maximuma
- T_r a visszacsatoló tag időállandója
- $y_{\max} = K_p$ a szabályozott folyamat kimeneti jelének maximuma
- T_g a szabályozott folyamat felfutási ideje
- $K_C = 1/K_r$ az eredő PD szabályozó arányos átviteli tényezője
- $T_D = T_r$ az eredő PD szabályozó differenciálási ideje
- K_I az integrálási átviteli tényező (transfer value).

1.2. A maradó szabályozási eltérés (statikus hiba)

Nyilvánvaló, hogy a szabályozó PD viselkedése miatt a maradó szabályozási eltérés Δe nem küszöbölhető ki. Mivel allandósult állapotban a P-jellel veszi át a szerepet, a maradó szabályozási eltérésre egytárolós arányos szabályozott szakasz esetén felírható a 0-típusú körre, a követési hibára érvényes összefüggés, amivel a maradó szabályozási eltérés:

$$\Delta e = \frac{1 + (1/K_r) \cdot K_p}{r} = \frac{K_r + K_p}{K_r \cdot r} \quad <4>$$

1.3. Kapcsolási periódusidő és frekvencia

Az eredő kapcsolási periódusidőt és ezzel a kapcsolóelem élettartamát és megbízhatóságát dönten meghatározó kapcsolási frekvenciát szintén a visszacsatoló tag paraméterei határozzák meg. Ha ugyanis képezleltben leválasztjuk a szabályozott szakaszt a szabályozási köről, akkor egy olyan kört kapunk, ahol a jelenlegi arányos egytárolós u(t) jelről visszacsatoló tagot a szabályozott szakasznak tekinthetjük. Ezáltal alkalmazhatjuk a visszacsatolás nélküli (hisztéreziszes) eset képletét a $T_{gbe} = T_{gki} = T_g$, $T_u = 0$ behelyettesítésekkel:

$$T_s = h \cdot T_g \frac{r(y_{\max} - r)}{y_{\max}} \quad <5>$$

Ezt az így képzett standard merev visszacsatolású) körre alkalmazva az $y_{\max}$ $u_{r\max}$ -szal, az r pedig $r \approx (y + u_r) - y = u_r$ -rel helyettesítendő (mert az y értéke most nem jelenik meg – le van választva!). Allandósult állapotban az u_r helyébe Δe írando, ekkor a megfelelő paraméterek behelyettesítésével a kapcsolási idő:

$$T_{sPD} = h \cdot T_r \frac{\Delta e(u_{r\max} - \Delta e)}{u_{r\max}} \quad <6>$$

A kapcsolási frekvencia nyilván ennek reciproka:

$$f_{sPD} = \frac{\Delta e(u_{r\max} - \Delta e)}{h \cdot T_r \cdot u_{r\max}} \quad <7>$$

A Δe a megelőző <4> összefüggéssel a paraméterekből adódik. A Δe vezető-jel szerint deriválva <7>-et, a szélsőérték helye $\Delta e = y_{r\max}/2$ amit behelyettesítve a maximális frekvencia :

<8>

$$f^{SPD\max} = \frac{K_r}{1} = \frac{4T_r \cdot h}{4K^CT^D \cdot h}$$

Ebből kiderül, hogy a maximális kapcsolási frekvencia a visszacsatoló tag paramétereinek függvénye és nem függ a szabályozott szakasz paramétereitől. Ezért az összefüggés mind az arányos, mind az integráló típusú szabályozott szakaszra egyaránt érvényes.

Másrészt <8> alapján belátható az is, hogy K_r növelésével ill. T_r csökkentésével a kapcsolási frekvencia tetszőlegesen növelhető. Ez egyben azt is jelenti, hogy bizonyos frekvencia fölött fellép a **sebességkorlátozás** nemlinearitása, a szabályozott szakasz tehetetlenségénél fogva folytonos kimenőjelet szolgáltat.

2. Kétállású szabályozó késleltetett-ernyedő visszacsatolással (PID jellegű adó visszacsatolás)

A visszacsatolás viselkedése az előbbiekől eltérően is megválasztható és előállítható egy ún. **késleltetett-ernyedő visszacsatolás** (delayed - phase lead feedback). Ez a jelleg két azonos átviteli tényezőjű, de különböző időállandójú egytárolós arányos tag párhuzamos kapcsolásával állítható elő, ahol a visszacsatolás a két tag kimenőjeleinek különbségét adja hozzá az y ellenőrzőjel jéhez, mégpedig a kisebb időállandós tag jeleből kell kivonnunk a nagyobb időállandós jelét a kívánt hatás eléréséhez.

A visszacsatolt u_r jel előállítási módja és időfüggvénye a 4. ábrán látható. Az $x_{1\max} = x_{2\max} = x_{r\max} = K_r$ és $T_1 < T_2$ választással és a 4. ábrán látható jelalakokra alapozva:

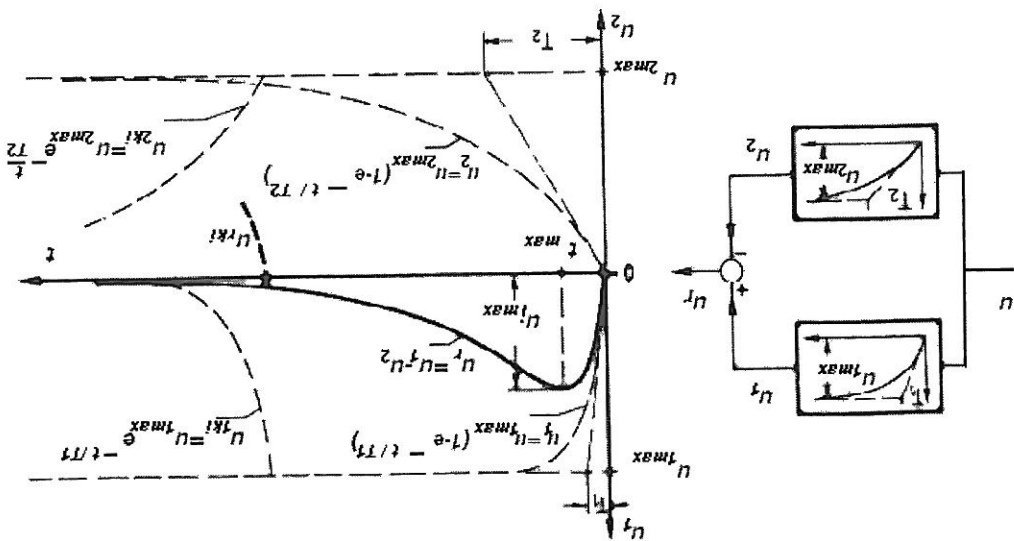
$$u_1 - u_2 = u_r = u_{r\max} (e^{-t/T_2} - e^{-t/T_1})$$

Az u_r deriváltjából számítható a szélsőérték $t = t_{\max}$ helye: $t_{\max} = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \cdot \ln \frac{T_1}{T_2}$, ezt az előbbi összefüggésbe helyettesítve az ún. **impul-**

zusmaximum:

$$u_{i\max} = u_{r\max} \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{T_1}{T_1 - T_2}}$$

<9>



4. ábra. A késleltetett-ernyedő visszacsatoló tag és jelalakjai

A kapcsolás SIMULINK blokvázlata az általunk felvett paraméterekkel együtt az 5. ábrán látható.

Jelöljük a visszacsatoló tagok eredő átviteli függvényét ismét G_r -rel.

Most a két egytárolós arányos tag eredő átviteli függvénye:

$$G_r(s) = \frac{K_r}{1 + sT_1} - \frac{K_r}{1 + sT_2} = \frac{sK_r \cdot (T_2 - T_1)}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)}.$$

Ugyanúgy, mint a PD-visszacsatolás esetében (G_r átviteli tényezője az átkapcsolásnál végtelen), ismét felírható: $G_{er} = \frac{1}{G_r}$ a szabályozó eredő átviteli függvényére. Ez esetben

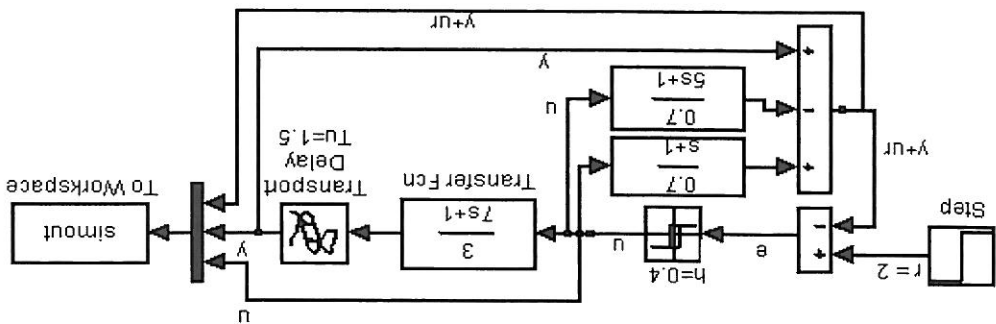
viszont az eredő átviteli függvény:

$$G_{er}(s) = \frac{1}{\frac{K_r}{1 + sT_1} - \frac{K_r}{1 + sT_2}} = \frac{1 + s(T_1 + T_2) + s^2T_1T_2}{K_r s(T_1 - T_2)}$$

Amból átrendezéssel:

$$G_{er}(s) = \frac{1}{K_r} \cdot \frac{T_1 + T_2}{T_2 - T_1} \left(1 + \frac{1}{sT_1} + \frac{sT_1}{1 + sT_2} \right)$$

ahol $T_I = T_1 + T_2$ az integrálási idő, $T_D = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$ a differenciálási idő, vagyis a $G_{ep}(s)$ egy ideális PID szabályozót testesít meg. Ezért ezt a megoldást **PID jellegű adó visszacsatolásnak** (röviden PID-feedback) - más néven „kétfázisú PID szabályozónak” - is nevezik. A $\langle 10 \rangle$ átviteli függvény alapján látható, hogy ugyanez a visszacsatoló tag előállítható egy másik felbontással: egy $\frac{sK_r}{1+sT_1}$ átviteli függvényrel rendelkező DT1 tag és egy $\frac{T_2 - T_1}{1+sT_2}$ átviteli függvényrel rendelkező PT1 tag soros kapcsolásával, azaz **DT2 visszacsatolással**.

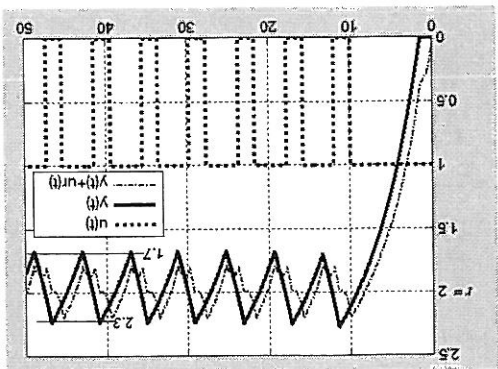


5. ábra. A PID jelleggel visszacsatolt kör SIMULINK modellje

A $\langle 11 \rangle$ összefüggésből az is látható, hogy az ily módon létrehozott PID szabályozó paraméterei nem állíthatók be a visszacsatoló tagok paramétereivel egyenlően, mint egy folytonos PID szabályozó esetében. Bár melyik visszacsatoló tag időállandó változtatása mindkét PID-paraméterre kihat. A PID szabályozó $G_{ep}(s)$ átviteli függvényének arányos átviteli tényezője

$$K_C = \frac{1}{T_2 + T_1} \cdot K_r \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_1}$$

egyetlenül beállíthatóva tehát a K_r paraméter megválasztásával oly módon (mint az a gyakorlatban elterjedt megoldás), hogy a T_1, T_2 értékeket rögzítjük, ekkor $\langle 12 \rangle$ második tényezője egy konstans szorzótényezővé válik. A másik két PID-paraméter megválasztását ekkor a szabályozók különféle kivitelei („rövid késleltetési idejű”, „hosszú késleltetési idejű”) teszik lehetővé.



6. ábra A PID-szabályozós kör jelalakjai

Másik lehetséges megoldás, hogy a $T_1 \ll T_2$ választással $\langle 12 \rangle$ értéke $1/K_r$, a másik két paraméter $T_I \approx T_2$, $T_D \approx T_1$ lesz. A kétállású PID szabályozó időfüggvényeit az 5. ábra paramétereivel a 6. ábra mutatja. A legfontosabb változás a PD jelleget adó visszacsatoláshoz képest, hogy eltűnik az állandósult állapotbeli hiba, az integráló jellegről összetevő miatt.

Az x_r negatív tartományba történő lecsengése következtében viszont tüllednűl és lép fel. Mindez természetesen akkor igaz, ha eltekintünk a határciklusban fellépő ingadozás jelenlétéről, mely a példában demonstrácós szándéku.

2.1. Kapcsolási periódusidő és frekvencia

A kapcsolási periódusidő és frekvencia számításainál föltehetjük, hogy a kapcsolási határciklusban az ellenőrzőjel konstans és a visszacsatolt jel exponenciális görbéje az azonos meredekségű egyenesszakkasszal helyettesíthető. Az u_r deriválásával és mivel állandósult állapotban az u_r jel a nulla érték körül ingadozik, feltehető, hogy két visszacsatoló tag ki- és bekapcsolási jele közel egyenlő: $u_{1ki} \approx u_{2ki} \approx u_r$

amivel a **kapcsolási periódusidő** állandósult állapotban:

$$T_{SPID} = T_{be} + T_{ki} = \frac{T_1 \cdot T_2}{h} \cdot \frac{T_2 - T_1}{u_r(1 - u_r/u_{rmax})} \quad \langle 13 \rangle$$

a **kapcsolási frekvencia** pedig ennek reciproka :

$$f_{SPID} = \frac{h}{T_2 - T_1} \cdot \frac{u_r(1 - u_r/u_{rmax})}{T_1 T_2} \quad \langle 14 \rangle$$

Ennek u_r szerinti első deriváltból adódik, hogy a szélsőérték helye $u_r = 0,5u_{rmax}$, amit $\langle 14 \rangle$ -be helyettesítve:

$$f_{SPIDmax} = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \cdot \frac{4h}{u_{rmax}} \quad \langle 15 \rangle$$

Ha itt is figyelembe vesszük, hogy $u_{rmax} = K_r$ és a $\langle 11 \rangle$ összefüggést:

<16>

$$f^{sPIDmax} = \frac{K_r(T_2 - T_1)}{T_2 + T_1} \cdot \frac{T_1 T_2}{T_2 + T_1} \cdot \frac{4K_C T_D h}{1}$$

vagyis megegyezik a <8> egyenlettel. Ez azt jelenti, hogy az integráló összetevő, az integrálási idő egyáltalán nem befolyásolja a kapcsolási frekvenciát, egyúttal mutatja a differenciáló hatás szükségességét, ugyanis $T_D \rightarrow 0$ esetén a frekvencia végtelen nagyvá válna.

2.2. Az ingadozási sáv

Allandósult állapotban, mikor $u_1 = u_2 = u_r$, akkor az ellenőrzőjel futását egyenes szakasszal közelítve felírható Δy_{PID} . A <2> képlet PID-visszacsalás esetén is érvényes: $\frac{T_{be}}{T_r} = \frac{u_r}{y} = \frac{T_{PID} u_{rmax}}{y_{max}}$, ezt felhasználva az ingadozási sáv nagysága arányos folyamát esetén:

<17>

$$\Delta y_{PID} = \frac{y_{max}}{T_{max}} \cdot \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \cdot \frac{h}{T_{max}} = \frac{y_{max}}{T_{max}} \cdot K_C T_D h$$

- $y_{max} = K_P$ a folyamat $u = 1$ bemeneti jeléhez tartozó kimeneti jel
- T_g a szabályozott szakasz futási ideje
- h a kétállású szabályozó histerézisének nagysága
- $u_{rmax} = K_P$ az u_r jel $u = 1$ bemeneti jelhez tartozó értéke
- T_D az eredő PID szabályozó differenciálási ideje
- K_C az eredő PID szabályozó arányos átviteli tényezője

Ugyanígy az integráló típusú szabályozott szakaszra a <3a> összefüggéshez hasonlóan írható az ingadozási sáv:

<18>

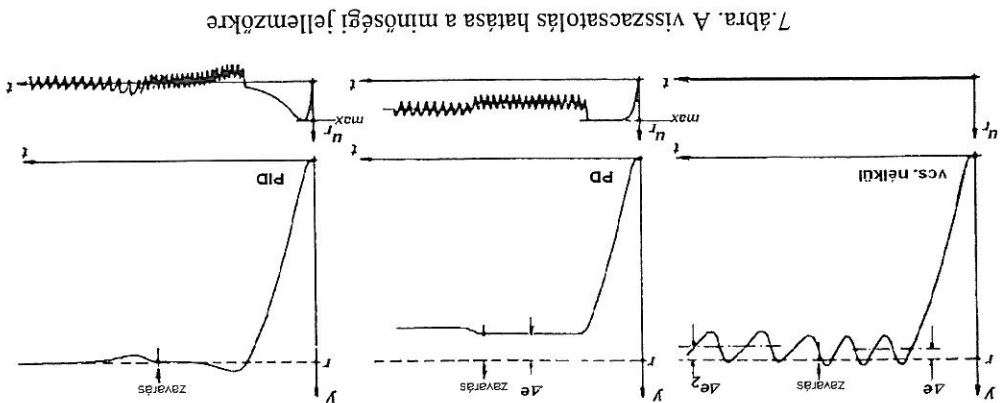
$$\Delta y_{PIDi} = K_I \cdot \frac{T_1 T_2}{h} \cdot \frac{T_2 - T_1}{u_{rmax}} = K_I K_C T_D h$$

- ♦ K_I a folyamat integrálási átviteli tényezője

Látható, hogy ezek a képletek azonosak a PD szabályozó megfelelő <3a>-<3b> képleteivel. A szabályozók K_C és T_D paramétereinek megfelelő megválasztásával tehát mindkét esetben lehetséges az ingadozási sávot a megkívánt érték alá szorítani. Ugyanakkor azonban figyelni kell arra, hogy a kapcsolási frekvencia, amely ezzel egyidejűleg növekszik, ne lépje túl a megengedett értéket, ami a kapcsolóelem tönkremeneteléhez vezethet.

2.3. A szabályozási körök összehasonlítása

A különböző visszacsatolási módok a különböző dinamikus viselkedés mellett különböző követési és érték tartási tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezen tulajdonságok mérlegelésével lehet közöttük választani, és az is felmerülhet, hogy visszacsatolásra sincs szükség.



7. ábra. A visszacsatolás hatása a minőségi jellemzőkre

Összehasonlításként szolgálhat a 7. ábra, itt a visszacsatolás nélküli valamint a PD és PID jellegű adó visszacsatolással rendelkező szabályozási körök követési és érték tartási tulajdonságai láthatók, kompromisszumos beállításokban. Az u_p a visszacsatolt jel nagyságát jelöli.

-A visszacsatolás nélküli szabályozás dinamikai tulajdonságai közepesnek mondhatók (nagy ingadozási sáv), érték követés szempontjából viszont egy elháríthatatlan Δe maradó szabályozási eltérés jelentkezik, amely zavarás hatására egy még nagyobb Δe_2 értéket vesz fel (rossz érték tartás). Az kapcsolási frekvencia és egyúttal igénybevétel a legalacsonyabb.

-A PD-jellegű adó visszacsatolási kör dinamikai viselkedése a legjobb, az ingadozási sáv tetőzetlegesen csökkenthető, érték követési tulajdonságai viszont rosszabb az előbbinél. Érték tartása is hasonlóan rossz, zavarás hatására szintén egy nagyobb hibajel lép fel. A kapcsolási frekvencia és igénybevétel (a visszacsatolástól függően) igen nagy.

-A PID-jellegű rendszerrel rendelkező kör dinamikája a minden esetben fellépő túllendülés miatt nem mindig felel meg a kívánalmaknak. Érték követés szempontjából a legjobb, a maradó hiba (az I összetevő miatt) mindig kiszabályoz-

ható. Ez vonatkozik az értéktartásra is, a zavarójel hatására sincs maradósza-
balozási eltérés. A kapcsolási frekvencia általában nagy.
Összefoglalva: a visszacsatolás nélküli megoldás a nagy ingadozási sáv
és az ezzel járó igénybevétel miatt mechanikai rendszerekben általában nem
elfogadható, paraméterei nehezen beállíthatók, mivel nagy részben a szabályo-
zott szakasztól függenek.
A PD-jelleget adó visszacsatolás könnyen realizálható, a kör ingadozási
sávját minimalizálható, a maradósabályozási eltérés viszont a szabályozó ská-
lájának „fiktív” eltolásával is kiküszöbölhető. Habár a maradósabályozási
eltérés a PID-jelleget adó visszacsatolással megszűnik, tervezése és beállítása
bonyolultabb. A gyakorlatban ezért a PD-jelleget adó megoldás a leghatékonyabb.

2.4. A szabályozók beállítása

Az iparban kapható kétállású PID-jelleget szabályozók szokásos beállí-
tása:
♦ arányossági tartomány 0...10
♦ integrálási idő 2...20 min
♦ integrálási/differenciálási idő arány 4,5...5
A PD-jelleget adó visszacsatolás az integráló összetevő kikapcsolásával törté-
nik.

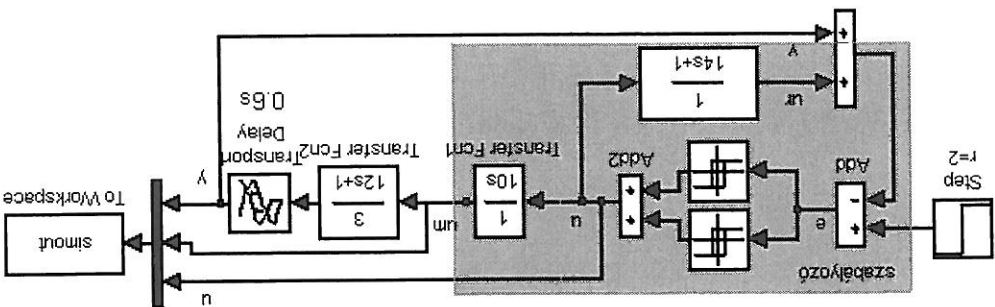
3. Háromállású szabályozó PT1 (késleltetett) negatív visszacsatolással (léptetőszabályozó)

A kompenzáltan állásos szabályozóknál már megismertük a háromállású sza-
balyzó alkalmazási módját, mégpedig azt, hogy rendszerint egy integráló jel-
legű (pl. aszinkron motoros vagy szervomotoros) végrehajtószertvet működte-
t és együtt alkotják a szabályozó berendezést, amely szelephoz, tolózárhoz, po-
tenciométerhez, stb. mint szabályozott szakaszhoz csatlakozik.
Láttuk, hogy a szabályozott szakasz tehetetlenségétől függően a szabá-
lyozási kör ún. kvázistabil üzemből (határciklus) működhet (ez a lineáris rend-
szereknél instabil állapot!). Ennek a problémának egy lehetséges megoldása a
kompenzálas.

3.1. A léptetőszabályozó időfüggvényei

Első lépésben a 8. ábra hatásvázlatán (sötétebb árnyalattal) ábrázolt, de a szabályozási köről levalaszítottak feltételezett szabályozó időfüggvényeit fogjuk megvizsgálni. A kiindulási helyzet tehát:

- nyitott a külső kör, az y szabályozott jellemző nincs visszacsatolva
- az e_w , a holtidőre vonatkoztatott szabályozási eltérés nulla
- a visszacsatolt jel $u_r = 0$
- az integráló típusú tag – most a szabályozóberendezés része! - kiinduló helyzetében van ($u_m = 0$).



8. ábra A léptetőszabályozás SIMULINK hatásvázlata

Ha most az alapjel, az r egy r_w egysegugrást hajt végre, amelynek hatására létrejövő e_w rendelkezőjelle (hibajelle) fennáll ($y=0$):

$$|e_w| > \frac{e_d + h}{2}$$

<19>

(e_d a holtidő, h a hiszterézis nagysága), azaz a relét billenteni képes - egyúttal e_w kisebb, mint $u_{r_{max}}$ - akkor a szabályozó létrejövő jellei a 9. ábra magyarázó vázlatán láthatók.

Maga a SIMULINK modell u , u_m , y időfüggvényei a 10. ábrán lettek szimuláció eredményeként kirajzolva, $r_w = 2$ egysegugráásra, a 8. ábra paraméterivel.

Egy kezdeti bekapcsolási intervallum (t_1) után az u végrehajtó jel rövid intervallumokban az u_m beavatkozó jelen egy növekvő lépcsős függvényt produkál. Az általánosság érdekében érdekében feltelematik, hogy a visszacsatoló PT1

A léptétszabályozó jellemző jelei a 9. ábra részletező vázlatán láthatók. A be- és kikapcsolási idő különbozósége a t_1 első impulzus hosszánál lényeges, ugyanis ez kizárólag a bekapcsolási idő függvénye.

$$n_p = (1 - e^{-\tau_{\text{max}}/T_p})^{-1} = e^{w_0} - \frac{2}{p_d} + \frac{2}{p}, \text{ ebből az első impulzus hossza:}$$

$$l_1 = -\ln(1 - e^{-(y - y_0)^2 / 2n_{\max}}), \text{ } l_1 \text{ pozitiv, mert a logaritmus negativ!}$$

max

$$l_1 \approx \frac{T_{rbe}}{e^{w_0}} u_{r\max}$$

242

A fenti eredmények lehetővé teszik az $y(t)$ időfüggvény leírását. A 9. ábrán leolvasható, hogy a létrejött u_m egy olyan PI tag átmeneti függvényének felel meg, melyet egy soros t_l időállandós egytárolós arányos tag követ, és G_{PTI} eredő átviteli függvénye

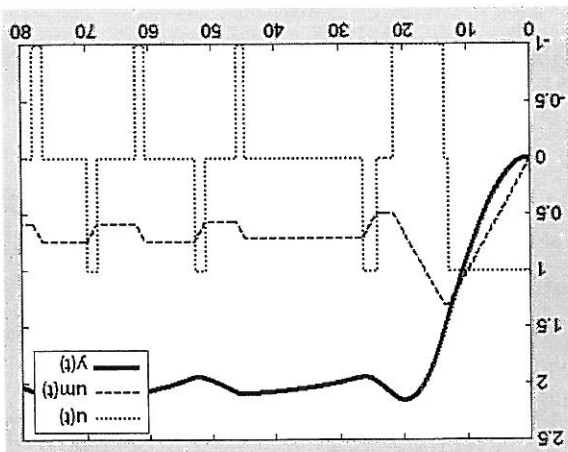
$$G_{PTI} = K_C \left(1 + \frac{1}{sT_I} \right) \cdot \frac{1}{1 + sT_l} \quad \langle 22 \rangle$$

alakú. A paraméterek levezethetők, közelítő értékek:

$$K_C = \frac{u_{m0}}{n_{m\max}} \approx \frac{T_m}{T_{rbe}} \cdot \frac{n_{r\max}}{T_{rbe}}, \quad T_I \approx T_{rbe}, \quad t_l \approx \frac{T_{rbe}}{n_{r\max}} e^{w_0}$$

Más oldalról közelítve: legyen a visszacsatolás átviteli függvénye

$$G_r = \frac{K_r}{1 + sT_r}$$



10. ábra. A SIMULINK modell időfüggvényei

a (feltételezett) motor integrál típusú átviteli függvénye definíciónk szerint:

$$G_I = \frac{K_{Imot}}{s}.$$

A K_{Imot} integrálási átviteli tényező a T_m , a már ismert beavatkozási idő segítségével, $n_{\max} = 1$ miatt: $K_{Imot} \cdot n_{\max} = \frac{T_m}{n_{m\max}} = K_{Imot}.$

Ugyanígy $K_r n_{\max} = n_{r\max}$ miatt $K_r = n_{r\max}$

Az n_r jel határciklusba jutásáig eltelt t_l idő egy látszólagos soros egytárolós arányos t_l időállandójú tag hatásával jellemezhető, majd a határciklusba jutva a szabályozóberendezés átviteli függvénye a már ismert $G_r \rightarrow \infty$ közelítéssel

<26>

$$G_{er} = \frac{G_R G_I}{1 + G_R G_I} = \frac{1}{G_I} \frac{G_R}{1 + G_R} \leftarrow \frac{G_R}{G_I}$$

alakba megy át, ebbe behelyettesítve G_r és G_I értékét:

<27>

$$G_{er}(s) = \frac{K_{\text{Imot}}}{1} T_r \left(1 + \frac{1}{sT_r}\right)$$

alakot, azaz egy PI szabályozó alakját veszi fel.

Végül is a teljes időtartamra nézve az **átviteli függvény** azonos <22>-
vel, ahol közelítéssel:

$$K_C = \frac{K_{\text{Imot}}}{n_{\text{max}} T_r} = \frac{K_r}{T_{m''\text{max}}} \text{ és } T_I = T_r$$

összhangban a <24>, <25> képletekkel és feltételezve, hogy $T_r = T_{rbe} = T_{rki}$

Ezek alapján a 9. ábrán látható függvények olyannak tekinthetők, amit az e_{w0} amplitúdójú egyességugrás hatására egy

- K_C arányos átviteli tényezőjű,

- T_I integrálási idejű és

- t_I időállandójú

egytárolós arányos taggal sorbakapcsolt folytonos PI szabályozóval megoldott szabályozási kör hoz létre.

A 10. ábrán látható SIMULINK modell $y(t)$ ellenőrzőjelel lassú, lengő

jelleget beállás figyelhető meg, ami demonstrálja, hogy mind a rosszul megválasztott motor, mind a K_r és T_r értékek leronthatják a szabályozás minőségét.

Fontos! A szabályozó eredő paraméter-képletei (pl. G_{er}) felírása-

nak célja és értelme, hogy a szabályozó a folytonos körök ismert módszereivel tervezhető legyen!

17. HŐMÉRSEKLETÉRZÉKELŐK ÉS PROGRAMOZHATÓ TÁVADÓ VIZSGÁLATA

A hőmérsekllet mérésére rendkívül sok helyen van szükség. Ennek az az oka, hogy a hőmérsekllet változása nagyon sok mennyiséget befolyásol kisebb-nagyobb mértékben.

A különböző feladatok elvégzésének lehetőségét az biztosítja, hogy a mérési tartomány, a mérési bizonytalanság, a működési elv és a kialakítás szempontjainak megfelelően sokféle hőmérseklletmért gyártanak.

A következőkben a leggyakrabban alkalmazott villamos hőmérseklletérzékkelők és a programozható mV távadó statikus és dinamikus jellemzőit vizsgáljuk.

1. Elméleti alapok

A hőmérseklletmérés részletes ismertetése a Nemvillamos mennyiségek mérése c. jegyzetben (BMF KVK – 2020) található meg.

A hőmérseklletmérés során a következő feltételek teljesítése esetén vizsgálhat érzékelőket!

1., A mérendő hőmérseklletű közeg hőkapacitása jóval nagyobb legyen, mint a vizsgált érzékelőé!

2., A mérés elvégzése előtt álljon be a termikus egyensúlyi állapot (vagy az ahhoz közeli állapot)!

3., A mérés időtartama alatt a hőmérsekllet ne változzék meg (vagy csak elhanyagolható mértékben)!

4., A mérés időtartama minél kisebb legyen!

5., A mérés összehasonlító jellegű és egyidejű legyen!

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

A hőmérseklletmértő eszközök vizsgálatahoz olyan berendezés szükséges, amely a hőmérseklletnek a kívánt értékre történő beállítása után azt stabilan tartani tudja.

Ennek a legjobban egy termosztát felel meg, de annak nagyon magas beszerzési ára és nagy időállandója miatt más berendezést használunk. Ez egy vil-

lamos fűtőtesttel fűtött, $3...4\text{ dm}^3$ vizet tartalmazó edény, melynek fűtőteltjes-
sítmenye az oldalon lévő csúszókarral befolysáolható.
A másik kompromisszum a víz miatti; a mérési tartományt alulról a háló-
zati víz hőmérséklete, felülről pedig a forráspontja korlátozza.

3. Hőmérsékletérzékelők

3.1. Ellenálláshőmérő

Az egyik hőmérsékletérzékelő egy Pt-100-as platina ellenálláshőmérő,
melynek egyik csatlakozási pontjához 1 zöld színű, másik csatlakozási pontjá-
hoz 2 fehér színű banánhüvely van bekötve, így mind a 3, mind pedig a 2 veze-
tőes csatlakoztatás lehetséges biztosított.
Az ellenálláshőmérőt a helyes mérés érdekében rézvezetékkel kell csat-
lakoztatni!

3.2. Hőelem

A másik hőmérsékletérzékelő egy J típusú vas-konstantán köpenyhő-
elem, melynek pozitív csatlakozási pontjára sárga, negatív csatlakozási pontjára
kék színű banánhüvely van bekötve.
A köpenyhőelemet a helyes mérés érdekében a hőelemhez illeszkedő
anyagpárú kompenzáló vezetékpárral kell csatlakoztatni, melynek pozitív veze-
tőek fekete, negatív vezetéke fehér színű szigetelésű!

4. Programozható hőmérséklet-kalibrátor

A beállított hőmérsékleti értékeket hőmérséklet-kalibrátorral lehet ponto-
san megmérni.
A hőmérséklet-kalibrátornak a hőmérsékletmérő és a szimulációs funkci-
óhoz tartozó be- és kimeneti kapcsai a műszer felső részén találhatók.
A kijelző részen találhatók a 4 számjegyes kijelző alatt és felett a külön-
féle funkciók, riasztás stb. jelzői.

A kijelző rész alatt lévő nyomógombok funkciói a következők:

ON:	bekapcsolás,
OFF:	kikapcsolás,
∧:	érték-növelés, a tárolt adatok léptetése,
∨:	érték-csökkenés, menü-pont léptetés, a tárolt adatok léptetése,
<:	jelző (kurzor) mozgatas, memória-szam kijelzés,
>:	jelző (kurzor) mozgatas, menü-pont érvényesítés, a tárolt adatok kijeleztetése,
HOLD:	a mérési eredmény kijelzőn való tartása,
MEM:	memória (max. 50 érték tárolása),
STAT:	statisztikai (max.-, min.- és átlag-értékek),
$\frac{OUT}{IN}$:	mérés/szimulálás,
*	kijelző megvilágítás,
ALM:	riasztás (2 programozható riasztás).

A hőméréséket-kalibrátor működtetése

a) Konfigurálás a SFT-UP programmal

A műszer bekapcsolása után a SFT-UP program a < jelű nyomógomb megnyomásával indítható, a > jelű nyomógomb megnyomásával a kijelző ön-tesztelése végezhető el.

Ezután következik a mértékegység kiválasztása (DEG?): °C vagy °F.

A kijelzőn felkínált funkciók a ∨ nyomógomb megnyomásával léptethetők tovább, és a > nyomógomb megnyomásával lehet a kiválasztott funkciót érvényesíteni.

Ezt követi a szoftver szerkesztés (EDP?): az X.gy a műszer gépkönyvében jelölt B.xx szoftver változatnak kell, hogy megfeleljen. (Ezután 3 s múlva tér vissza a mérési funkcióhoz.)

A következő felkínált funkció az automatikus kikapcsolási funkció érvényesítése vagy letiltása (APO?): ON vagy OFF.

A következő felkínált funkció a kalibrálásához való hozzáférés (CAL?) (A karbantartási célnak fenntartva.)

Az EDP? kivételével a kiválasztás után a műszer azonnal visszatér a mérési funkcióhoz.

b) Mérés funkció

- Ki kell választani a mértékegységet ($^{\circ}\text{C}$ -t vagy $^{\circ}\text{F}$ -et)
- A műszer automatikusan a mérésre kapcsol, a kijelző részen az IN és a T1 szimbólumok világítanak.
- Csatlakoztatni kell az érzékelőt a műszer IN jeli bemenetéhez.

A hőméréslet kalibrátor további funkciói a következők:

- c) szimulációs funkció,
- d) a mérési eredmények a kijelzőn való tartása, kimererevitése,
- e) memória funkció,
- f) statisztikai funkció,
- g) riasztási funkció,
- h) kijelző világítás.

Ezeket a funkciókat a vizsgálataink során nem használjuk.

Hibajelzés

Zás esetén jelenik meg.

A hibajelzés (OL) túlterhelés, tartomány túllépés, illetve hibás csatlakozás esetén jelenik meg.

A műszer bekapcsolása után a kijelzőn megjelenhet az ERR1, illetve az ERR2, vagy sípoló hanggal együtt az X betű. Ha ez történik, a műszert ki kell kapcsolni, majd újra bekapcsolni. Ha a hiba kijavítása után is hibajelzést ad a műszer, nem szabad tovább használni!

5. Programozható mV távadó

A hőmérésletérzékelőkhöz csatlakozó mV távadó egy Yokogawa gyártmányú programozható mV távadó, melynek típusjele YTA110. A távadó sokféle hőmérésletérzékelő jelt képes fogadni és feldolgozni. A távadó szélességű távadó

Az érzékelőből és a távadóból álló mérőkörnek az eredő statikus karakterisztikája így már lineáris, és ezzel a mérési bizonytalanság – legalább ebből a szempontból – már nem függ a mérési tartományon belüli hőmérésletértéktől.

ellenálláshőmérőknek, sem pedig a hőelemeknek nincs lineáris statikus karakterisztikája.

Az érzékelőből és a távadóból álló mérőkörnek az eredő statikus karakterisztikája így már lineáris, és ezzel a mérési bizonytalanság – legalább ebből a szempontból – már nem függ a mérési tartományon belüli hőmérésletértéktől.

melyi számítógép és a **Vokogawa Fieldmate** program felhasználásával programozható az FSK Modul közbeiktatásával, amely az RS232 kommunikáció illesztést valósítja meg.

Az FSK Modult a 2 vezetékes csatlakoztatási mV távadó 2 különböző potenciálion lévő pontjára kell csatlakoztatni.

A mV távadó működtetéséhez 24V DC tápfeszültség szükséges.

A digitális kommunikáció kétirányú, egyrészt a mV távadótól lehet adatokat lekérdezni (**Upload from Device**), másrészt a számítógéppel lehet a mV távadót a kívánt követelményeknek megfelelően programozni (**Download to Device**).

A mV távadó és a számítógép közti kétirányú digitális kommunikáció létrehozásához nem elég a fizikai kapcsolat megteremtése, hanem a programban is „össze kell kapcsolni”! Ha a kapcsolatot létre akarjuk hozni, a **Connect**-et, ha pedig meg akarjuk szüntetni, a **Disconnect**-et kell kiválasztani a **Device** menüpontban.

A programozás módja kétféle lehet:

- 1., A mV távadó mérési funkciója közbeni (a folyamatos mérés alatti): **Online** paraméterezés.
 - 2., A mV távadó mérési funkcióján kívüli: **Offline** paraméterezés.
- A mV távadó az **Online** paraméterezésnél akkor is helyesen mér, ha a távadó alsó méréshatárt (**LRV**) az érzékelő alsó méréshatára (**LSL**) alá, felső méréshatárt (**URV**) az érzékelő felső méréshatára (**USL**) fölé állítjuk!
- A **DTM Works** – **Online Parameter** listáján a **Device Information** alatt **VT110** jelenik meg, de az **Easy Setup** alatt az **VT1310**.
- A mV távadó folyadékkristályos kijelzőjén bar-grafikusan, mA-ben, %-ban és a kiválasztott hőmérséklet-egységben jeleníthető meg a mért érték ill. a ki-menet jel aktuális értéke, és itt jelenik meg a hibaüzenet is.

A hibaüzenetek a következők:

- Er-01:** a távadó alsó méréshatárt (**LRV**) nagyobbra állítottuk, mint a felső méréshatárt (**URV**).
- Er-01:** a mérendő mennyiség a távadó alsó méréshatára alatt (**LRV**) alatt van.
- Er-02:** a mérendő mennyiség a távadó felső méréshatára (**URV**) felett van.
- Er-03:** érzékelő és/vagy vezetékszakadás van.

A mV távadó programozásának lépései

Paramcsikon FM Field Mate.

Login ablak: (HART) → OK.

Field Mate ablak: Nem.

Field Mate ablak: Action menüpont → DTM → DTM Select.

Select Device DTM kis ablak: YTA V3.1 → OK (a program kiválasztása).

Field Mate kisebb ablak: Igen.

DTM Works - [(0: Undefined) YTA3.1. - <Online Parameter>] ablak.

Az ablakban található a következők:

- **Process Variables**: az aktuális paramétereket jelenti meg.

- **Device Status**: a mérőberendezés állapotára jellemző információkat jelenti meg.

- **Diag/Service**: diagnosztis, szervizelés.
A kimenet tesztelés (**Loop test**): beállítható 4mA, 20mA, valamint 3,6mA (-2,5%) és 21,6mA (110%) között. A kijelzőn ilyenkor megjelenik a **F.O.** jelzés.

- **Easy Setup**: a távadó felső (URV) és alsó (LRV) méréshatára, a hőmérséklet érzékelő típusa (**Snsr 1 Type**) és a bekötés módja (**Snsr 1 Wire, 2 Wire, 3 Wire, 4 Wire**) állítható be; valamint a kiválasztott érzékelő felső (Snsr 1 USL) és alsó (Snsr 1 LSL) méréshatárát és a mérési tartomány legkisebb értékét (**Snsr 1 min span**) mutatja.

- **Configuration**:

Process Input:

Analog Output:

a bemeneteket (PV is, SV is, TV is, 4V is), a mérőkegységet (**Snsr 1 unit: degC, K**), a csillapítási időt (**Snsr 1 damp**) és a csillapítási pontot (**PV damp point**) mutatja. a mért értéket hőmérséklet (**Snsr 1**), százalékok (**%range**), egyenáram (A0) értékekben, a mérőkegységet (**Snsr 1 unit: degC, K**); a távadó felső (URV) és alsó (LRV) méréshatárát; az érzékelő felső (Snsr 1 USL) és alsó (Snsr 1 LSL) méréshatárát; a mérési tartomány legkisebb értékét (**Snsr 1 min span**); az érzékelő hiba véssz-

jelzést (Snsr burn-out type: Low, High, User (mA), User(%), Off) mutatja. A vészjelzésnél a távadó kimeneti jele Low esetén 3,6mA, High esetén 21,6mA, User(mA) esetén 3,6mA és 21,6mA között, User(%) esetén -2,5% és 110% között beállítható; Off esetén nem definiált!

Sensor 1: az érzékelő típusa (Snsr 1 Type), a bekötés módja (Snsr 1 Wire) és a mértékegység (Snsr 1 unit) állítható be.
Terminal: a hőmérsékleti mértékegység (Term Unit) és hőlelmemél a hidegpontkompenzálás (CJC Select) állítható be.

A hőlelmemél a hidegpontkompenzálás menete

1. A CJC Select-ből ki kell választani az Internal CJC-t, ha a gyári beállítást akarjuk és a Constant CJC-t, ha kompenzálunk, majd érvényesíteni kell (Enter)!

2. Az utóbbi választás esetén megjelenő CNST CJC Temp:-ben be kell állítani a kívánt hőmérséklet-értéket, majd érvényesíteni kell (Enter)! Ha a beállított érték 0, nincsen kompenzálás!

Local Display:

érzékelő jellemzői (Matrix Disp: a bemenet, a típus, a bekötés stb.) és a kijelzés frissítése (Disp Update: Fast, Normal, Slow) jeleníthetők meg.

Device Information:

a kommunikációt (Phisicl signal code: Bell 202 current) mutatja.

Az előzőekben alkalmazott jelölések jelentése:

Snsr: érzékelő,
PV: az első mérendő mennyiség,
SV: a második mérendő mennyiség,
TV: a harmadik mérendő mennyiség,
4V: a negyedik mérendő mennyiség.
A vizsgálatoknál csak a PV-t használjuk!

- **Calibration:** a kalibrációt lehet elvégezni.

A kalibrálás menete

1. Az **Input Trimming Mode**-ban ki kell választani a **V.R./ZERO&GAIN**-t!

2. Az **Snsr 1 Trim Act**-ben ki kell választani az **On**-t, ha kalibrálni akarunk, és az **Off**-ot vagy a **Clear**-t kell választanunk ha a gyárti beállítás-hoz akarunk visszatérni!

3. Csatlakoztatni kell a kalibráló eszközt (hőelem esetén DC feszültség-forrást, ellenálláshőmérő esetén változtatható ellenállást) a távadó beme-neti kapcsaira!

4. Az **S1 Trim Zero/Gain** alatt először a nullponti érték állítható be, mely J típusú hőelem esetén 0mV, Pt-100-as ellenálláshőmérő esetén 40Ω. Ezt az értéket kell a távadó bemenetén beállítani, majd a megfelelő ablakba beírni és érvényesíteni (OK vagy Enter)!

Ezután a másik értéket kell hasonlóan beállítani, beírni és érvényesíteni, mely J típusú hőelem esetén 75mV, Pt-100-as ellenálláshőmérő esetén 330 Ω!

Természetesen a gyárti ajánlástól eltérő paramétereket is használhatunk a kalibráláshoz (pl. a 0°C-hoz és a 100°C-hoz tartozó értékeket)!

- **Write Protect:** a felülírás védelem.

A fehér mezőkben lévő paraméterek megváltoztathatók!

A feladatok elvégzése során az **Easy Setup**, a **Configuration** és a

Calibration fontos számunkra!

Az ablak **Device** menüpontjában található meg annak lehetősége, hogy egyérszt a mV távadót a digitális kommunikáció létrehozásának érdekében össze akarjuk-e kapcsolni a számítógéppel, (**Connect**) vagy szét akarjuk kapcsolni (**Disconnect**), másrészt az, hogy mérés közben akarunk paraméterezni (**Online Parameter**), vagy ezen kívül (**Offline Parameter**), harmadrészt, hogy a mV távadóról kívánunk információt szerezni (**Upload form Device**) vagy a számítógépről kívánunk adatot átvenni a mV távadóra (**Download to Device**).

Az, hogy a kapcsolódás fennáll-e vagy nem, ill. **Online** vagy **Offline** paraméterezés van, látható az ablak bal alsó sarkában! Az utóbbi az ablak tetején is látható!

A távadónál beállíthatók olyan értékek is, amelyeknél a távadó felső mérés-határa (**URV**) kisebb, mint az alsó (**LRV**). Ekkor a kimeneti egyenáramjel a

hőmérseket növekedése esetén nem növekszik, hanem csökken, és a statikus karakterisztikája nem emelkedő, hanem lejtő lesz!

Ennek elérése 2 feltételhez kötött:

1., A távadónak mind a felső (URV), mind az alsó (LRV) mérés határa az érdekelő alsó (LSL) és felső (USL) mérés határa közé essék!

2., A távadó felső (URV) és alsó (LRV) mérés határa közti mérési tartomány nagyobb vagy egyenlő legyen az ajánlott mérési tartomány legkisebb értékével!

A távadóhoz kapcsolódó érzékelők bekötése

A hőlelem pozitív vezetékét a mV távadó 2-es, negatív vezetékét a 3-as kapacsára kell csatlakoztatni polaritáshelyesen bekötött kompenzáló vezeték párral!

A 2 vezetékes ellenálláshőmérő egyik (zöld) kivezetését a mV távadó 1-es, a másikat (fehér) a 3-as kapacsára kell csatlakoztatni rézvezetékkel!

A 3 vezetékes ellenálláshőmérő egyik (zöld) kivezetését a mV távadó 1-es, a másikat (fehér) a 2-es, a harmadikat (fehér) a 3-as kapacsára kell csatlakoztatni rézvezetékkel! Ezek a csatlakozási pontok, valamint a terhelő ellenállás végpontjai és a számított átlagos csatlakoztatási pontjai a mérőberendezés tetején találhatók.

Ugyanitt található a mV távadó bemenetét kiválasztó fokozatkapcsoló is, amellyel kiválasztható a feladathoz megfelelő érzékelő fajtája is.

A mérőberendezés előlapján egy digitális multiméter található, mellyel különböző mennyiségek mérhetők ellenőrzés igénye esetén.

6. Feladatok

1. Hídeg csapvízzel töltse fel a villamos fűtésű edényt kb. $\frac{3}{4}$ részéig! Az edény fedőjébe beépített ellenálláshőmérő és hőlelem mellé helyezze be a hőmérseket-kalibrátorhoz tartozó ellenálláshőmérőt, majd tegye rá a fedőt az edényre!
2. Csatlakoztassa a hőmérseket-kalibrátorhoz a hozzá tartozó ellenálláshőmérőt, kapcsolja be a kalibrátort és a leírás alapján ellenőrizze, hogy hőmérseket-mérés üzemmódban van-e! Ha nincs, állítsa be ezt az üzemmódot, u. is ezzel mérjük pontosan a hőmérseket beállított értékeit! Írja le a beállítási lépéseit!

3. Csatlakoztassa a vas-konstantán hőelemnek a fedelen lévő kapacsait kompenzálo vezetékpárral a mérőberendezés tetején lévő megfelelő kapacsaira, ügyelve a helyes polarításra, és a fokozatkapcsolót állítsa a hőelemes érzékelőhöz!
 4. A mérőberendezést csatlakoztassa a tápfeszültségforráshoz (a piros szigetelésű mérőoszínort a pozitív, a kékét a negatív kapocsra), és állítsa be 24V DC feszültséget, mellíly a mV távadó tápellátását biztosítja!
 5. Kapcsolja be a számlógépet, és az előzőekben ismertetett módon **Online** paraméterezéssel válassza ki a J típusú vas-konstantán hőelemet! Állítsa be a mV távadó alsó méréshatárát 0°C-ra, a felsőt 100 °C-ra; a kijelzőn látható legyen a hőmérsékleten kívül a kimeneti jel egyenáramban, %-ban és bar-grafikusan is, jelenítse meg a típust és a bekötést, valamint a hibáüzenetet is! A hőmérséklet mértékegységét °C-ra, a csillapítási időt 2s-ra állítsa! A vészjelzésnél válassza a **HIGH**-t, a frissítésnél a **Normal**-t!
- Mind a kalibrációnál, mind pedig a hidegpontkompenzálásnál válasz-sza a gyári beállítást!
- A többi paramétert az oktató adja meg, ill. ennek hiányában válasszon megfelelő értéket!
- Minden egyes beállítást írjon le a jegyzőkönyvébe!

6. Ellenőrzések.

- a) Végezze el a kalibrálást!
- b) Végezze el a hidegpontkompenzálást!
- c) Végezze el a kimenet tesztelését!
- d) Cserélje ki a kompenzálo vezetékpárt rézvezetésekre (mérőoszínórokra), és ellenőrizze, hogy mekkora változást tapasztal az egyenáramban azaz mekkora és milyen irányú mérési hibát eredményez a helytelen anyagú csatlakozó vezetékek használata!
- e) Állítsa be a távadó alsó méréshatárát a hőelem alsó méréshatáránál kisebb, felső méréshatárát a hőelem felső méréshatáránál nagyobb értékre, és ellenőrizze, hogy változik-e a mutatott érték a 0°C...100°C-ra való beállítás-hoz képest!
- f) Szakítsa meg a bemeneti kört a kompenzálo vezetékpár egyik végének ki-húzásával, és ellenőrizze a hibáüzenetet és a vészjelzéshez tartozó egyen-áram értékét!
- g) Állítsa be a távadó alsó méréshatárát a hideg csapvíz hőmérsékleténél na-gyobb értékre, és ellenőrizze a hibáüzenetet!
- h) Állítsa be a távadó felső méréshatárát a hideg csapvíz hőmérsékleténél ki-sebb értékre, és ellenőrizze a hibáüzenetet!

- i) Állítsa be a távadó méréshatárait olyan értékekre, hogy az alsó méréshatára nagyobb legyen a felsőnél, és ellenőrizze a hibaiüzenetet, valamint az egyenáramjel értékének a megváltoztatását az 5. feladatbéli értékéhez képest! Írja le a beállított értékeket és a tapasztalatokat mindegyik feladatnál!
7. Állítsa be az 5. pontbéli értékeket ill. választásokat! Csatlakoztassa a villamos fűtészű edényt a hálózati feszültségre, és az előírtásoknak megfelelően 8...10 pontban vegye fel a mérőkör hőméréséklet-egyenáram statikus karakterisztikáját! A hőmérésékletet a hőméréséklet-kalibrátor, az egyenáramot a mV távadó kijelzőjéről olvassa le! A mért értékeket táblázat készítése nélkül m-m-papíron ábrázolja!
8. Rajzolja be a regressziós egyenest, majd ennek alapján határozza meg a mérőkör érzékenységet! Hasonlítsa össze ezt az értéket a mérőkör ideális érzékenységgel!
9. Rajzolja le ugyanabban a koordinátarendszerben a mérőkör ideális statikus karakterisztikáját, majd határozza meg az abszolút és a relatív hiba legnagyobb értékét és helyét!
10. Végezze el a 7. pontbéli feladatokat azzal a különbséggel, hogy a mV távadó felső méréshatárát 90°C -ra, alsó méréshatárát pedig 10°C -ra állítja! A mértést hideg vízzel kezdje!
11. Végezze el a 8. pontbéli feladatokat! Hasonlítsa össze az itt kapott értékeket a 8. pontbéli értékekkel, és indokolja a különbséget!
12. A mV távadó kimenetéhez csatlakozó áramkörben lévő, 250 Ω -os terhelő ellenállás kapacsairól 3 erű kábelrel csatlakozzon az X-Y regisztráló megfelelő kapacsaira, és vegye fel a mérőkör átmenei függvényét! A bemeneti jel, a hőméréséklet egyességugrasszerű megváltoztatásához először le kell venni az edény fedelét, és meg kell várni, míg az érzékelők kihűlnek, majd újból vissza kell tenni azokat a meleg vízbe!
13. A felvett átmenei függvényt felhasználva, egytárolós holtidős arányos taggal való közelítést alkalmazva határozza meg a felületi időt, (azaz a holtidővel egyező tag időállandóját) és látszólagos holtidőjét!
14. Csatlakoztassa a Pt-100-as ellenálláshőmérőt 3 vezetékes (réz) bekötéssel a mérőberendezés tetején lévő megfelelő kapacsaira, és a fokozatkapcsolót állítsa az ellenálláshőmérős érzékelőhöz!
15. Végezze el az 5. pontban leírt beállításoknak megfelelő paraméterezést az- zal a különbséggel, hogy a J típusú vas-konstantán hőelem helyett a Pt-100- as ellenálláshőmérőt választja, 3 vezetékes bekötéssel!
16. Értelmezzen végezze el a 6. a) és f) feladatokat!
17. Értelmezzen végezze el a 7. pontbéli feladatokat!

18. Értelmszerűen végezze el a 8. pontbeli feladatokat!
19. Értelmszerűen végezze el a 9. pontbeli feladatokat!
20. Értelmszerűen végezze el a 12. pontbeli feladatokat!
21. Értelmszerűen végezze el a 13. pontbeli feladatokat! Hasonlítsa össze ezeket a 13. pontbeli értékekkel, és indokolja a különbségeket!
22. Csatlakoztassa a Pt-100-as ellenálláshőmérőt 2 vezetékcső (réz) bekötéssel a mérőberendezés tetején lévő megfelelő kapcsolókra, és a fokozatkapcsolót állítsa az ellenálláshőmérős érzékelőhöz!
23. Végezze el az 5. pontban leírt beállításoknak megfelelő paraméterezést az-
zal a különbséggel, hogy a J típusú vas-konstantán hőelem helyett a Pt-100-
as ellenálláshőmérőt választja, 2 vezetékcső bekötéssel!
24. Értelmszerűen végezze el a 6. pontbeli feladatokból az a) és az f) feladato-
kat!
25. Értelmszerűen végezze el a 7. pontbeli feladatokat!
26. Értelmszerűen végezze el a 8. pontbeli feladatokat!
27. Értelmszerűen végezze el a 9. pontbeli feladatokat! Hasonlítsa össze eze-
ket az értékeket a 19. pontbeli értékekkel, és indokolja a különbségeket!

18. ÁRAMLÁSMÉRŐK ÉS TÁVADÓK VIZSGÁLATA

A gyakorlatban legtöbbször zárt csövezetékben áramló közegek mennyiségének mérésére van szükség, de előfordul, hogy nyitott csatornában áramló közegek mennyiségét kell mérni. A mérési módszerek és mérőeszközök száma és fajtája igen sokféle, az egy szerű mechanikai áramlásmérőtől a korrigált áramlásmérést végző berendezésekig bezárólag. A következőkben ezen eszközökből néhányat bemutatását és jellemzőinek vizsgálatát végezzük el.

1. Elméleti alapok

Az áramlásmérés részletes ismertetése a Nemvilamos mennyiségek mérése c. jegyzetben (BMF KVK-2020) található meg.
A zárt csövezetékben áramló közegek folyadékok, gázok, vagy gőzök, és legtöbbször homogen fázisúak. Ha nem, akkor ez igen komoly mérés technikai problémát jelent.

Az ipari gyakorlatban több olyan áramlásmérési módszert és eszközt alkalmaznak, amelyeknél a mérés eredménye nem függ sem az áramló közeg anyagi jellemzőinek, sem pedig az üzemi állapotjellemtől megváltozásától. Az áramlásmérők nagy része azonban nem ilyen. A vizsgálatok során mind a két csoportba tartozó áramlásmérővel megismerkedhetünk.
Az áramlásmérő berendezések a térfogatárammal vagy a tömegárammal arányos kimeneti jelet adnak.

A térfogatáram (q_v) a csövezeték keresztmetszetén időegység alatt áramló közeg térfogata
$$q_v = \frac{dV}{dt}$$

A tömegáram (q_m) a csövezeték keresztmetszetén időegység alatt áramló közeg tömege:
$$q_m = \frac{dm}{dt}$$

A tömegáram és a térfogatáram között szoros összefüggés van:
$$q_m = \rho \cdot V,$$

ahol a ρ az áramló közeg üzemi állapotú sűrűsége.

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

A vizsgálatok során felhasznált közeg víz, amelynek áramlását mérjük néhány - az ipari gyakorlatban elterjedten alkalmazott - eszközzel. A viz zárt csövezetekben áramlik. Az áramlást szivattyúval hozzuk létre, az áramló közeg mennyiségének pillanatértékét rotaméterrel és indukciós áramlásmérővel való mérés során, adott időtartamra vonatkozó teljes mennyiségét hűdegvizózával és indukciós áramlásmérővel való mérés során határozzuk meg. Az áramlásmérőssel felvesszük az áramlásmérők statikus karakterisztikáját, s ezek alapján meghatározzuk a statikus jellemzőket. Az áramló víz áramlási sebességének változtatását fojtósos áramlásszabályozással, megkerülő csövezetek (by-pass) alkalmazásával érjük el.

Az áramló közegek mennyiségének mérésére felhasznált áramlásmérők elhelyezésénél és beépítésénél a mérőeszköz ill. a mérési módszer jellegzeteségeiből adódó feltételeket kell betartani a megfelelő pontosság elérése érdekében (sokszor az alapvető működés érdekében is). Ezek közül az egyik legfontosabb követelmény az, hogy a mérendő közeg áramlása minél rendezettebb legyen. Ennek a célnak érdekében mérőszakaszt kell kialakítani. A mérőszakasz az áramlás-érzékelő előtt és után lévő – az áramlás-érzékelőt magába foglaló – egyenes csőszakasz, melynek hossza a csövezetek belső átmérőjétől és az áramlás-érzékelő egyéb jellemzőitől függ. A mérőszakasz mellett (vagy helyette) sokszor szükség van áramlásrendezőre is, ami a csövezetek hosszengelyével párhuzamos irányba kényszeríti az áramlást, és vonalakat, és így rendezi az áramlási képet. A mérőszakasz kiépítése sok áramlásmérésnél előírás, de ahol nem, ott is javít a mérés pontosságán!

Adott t_1 ideig átáramló teljes térfogat:

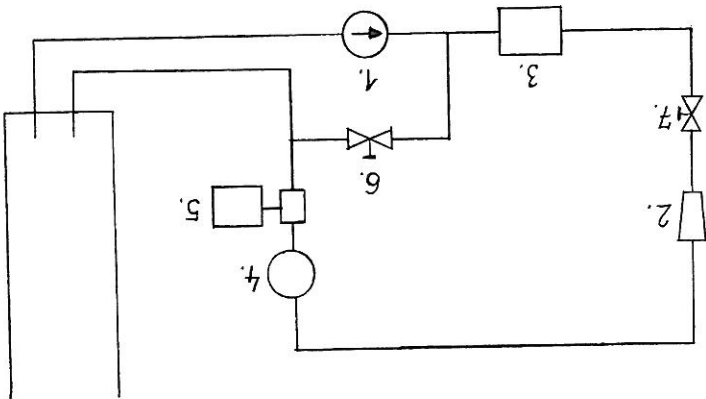
$$m = \int_{t_1}^0 q_m \cdot dt$$

ill. teljes tömeg:

$$V = \int_{t_1}^0 q_v \cdot dt$$

Az áramló közegek mennyiségének mérése során nemcsak a térfogat-áram ill. a tömegáram pillanatértékére van szükség, hanem egy adott időn belüli áramlott teljes térfogatra ill. tömegrre. Ennek meghatározásához integrátorokra ill. összegzőkre van szükség.

Az áramlásmérés során alkalmazott szivattyú típusa JETWAVE-4, melynek max. térfogatáramma: 60 l/min.
A szivattyú motorja beépített védelemmel van ellátva, amely a motor túlmelegedését, s így az esetleges meghibásodását akadályozza meg.
Az áramlásmérők vizsgálatára alkalmas elrendezés az 1. ábrán látható.



1. ábra. A vizsgáló berendezés

Az áramlásmérők vizsgálatánál fontos, hogy a szivattyút (1.) megkerülő csövezetékben lévő csap (6.), és a főágban lévő csap (7.) egyeztetve ne legyen zárva, mert ekkor a szivattyú működése ellenére sincs áramlás egyik csövezetékben sem, és a szivattyú motorja emiatt túlmelegedhet!
Arra is vigyázni kell, hogy az áramlási sebesség megváltoztatása ne legyen ugrásszerű, mert az nem jó sem a rotaméternek (2.), sem pedig a hidegvízórának (4.)!
Az előbbieknek megfelelően úgy kell eljárni, hogy minden mérés előtt teljesen ki kell nyitni a megkerülő csövezeték csapját (6.), és teljesen el kell zárni a főágban lévő csapot (7.)! Ezek nélkül a szivattyút elindítani tilos!
Amennyiben u.s is az előírásoknak megfelelően járunk el, akkor a főágban lévő mérőberendezéseken keresztül nem áramlik folyadék a szivattyú max. fordulatszámán való működtetése esetén sem, hanem a megkerülő csövezetékben keresztül kerül.
A többi berendezés az indukciós áramlásmérő (3.) és az indukciós áramlásmérésen alapuló összegző berendezés jelátviteli egysége (5.)
A mérőberendezések statikus karaktisztikáját úgy vehetjük fel, hogy fokozatosan kinyitjuk a 7. jelű csapot, ezáltal megosztva az áramlást a mérőkörön és a megkerülő csövezetékben. A főágban lévő folyadék áramlási sebessége így addig növelhető, ameddig a 7. jelű csapot teljesen ki nem nyitjuk.

Há a főágban áramló folyadék áramlási sebességét tovább akarjuk növelni, akkor a teljesíten kinyitott 7. jelű csap esetén a 6. jelű csapot fokozatosan el kell zárni! A főágban áramló folyadék a max. áramlási sebességet a 7. jelű csapnak teljesíten nyitott és a 6. jelű csapnak ezzel egyidejű teljesíten zárt állapotában, a szivattyú max. fordulatszámra mellett ériük el.

3. Áramlásmérő eszközök

3.1. Rotaméter

A rotaméter állandó nyomásesésű áramlásmérő, melynek bemeneti jele a tértölgatáram, kimeneti jele az úszó szintje, mely állandósult áramlás esetén állandó. Az úszó szintje az úszó súlyának, valamint a statikus és a dinamikus felhajtó erők eredőjének 0 értéke esetén lehet állandó. A mérés pontosságát befolyásolja az áramló közeg sűrűségének és dinamikai viszkozitásának megváltozása. Ezek a mérés során gyakorlatilag nem befolyásolják a mérés pontosságát, u. is az anyagi minőség nem változik, az üzemi állapotjellemzők változása pedig csak elhanyagolható mértékű változást eredményez.

Az áramlásmérésre felhasználott rotaméter típusa: RM-05, melynek:

- mérési tartománya: 360...3600 l/h,
- max. mérési bizonytalansága: 4%.

A rotaméter elhelyezése függőleges kell, hogy legyen, beépítésénél vigyázni kell, hogy felül a nagyobb átmérőjű része legyen!

Az áramlásmérés során az áramló víz tértölgatáramának pillanatértéke közvetlenül a rotaméterről olvasható le!

3.2. Indukciós áramlástaadó

Az indukciós áramlástaadók működési elve a mozgási indukción alapul, u. is ha az áramló folyadék áramlási sebességvektorára merőleges irányú a mágneses indukcióvektor, és mindkettőre merőleges a mozgó vezető (melyet a folyadék képvisel), akkor a vezetőben feszültség indukálódik, mely a következő összefüggéssel írható le:

$$U_i = k \cdot B \cdot v \cdot D$$

ahol:

U_i : az indukált feszültség,
B: a mágneses indukció,

V: a folyadék áramlási sebessége (a sebességvektorok nagyságának átlaga),

D: a csövezeték belső, üzemi átmérője,

k: a műszerállandó (a kialakítástól függ).

Az összefüggés vizsgálata alapján is belátható, hogy az indukciós áramlástávadékokkal való mérés során az áramló közeg anyagi minőségének és az üzemi állapotjellemzőinek megváltoztatása nem befolyásolja a mérés pontosságát, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ezzel együtt is térítógátáramlást mér. Az egyedüli feltétel az, hogy az áramló folyadéknak legyen egy - a gyártmány típusától függő mértékű - minimális villamos vezetőképessége. Az indukciós áramlástávadékoknál a villamos kivétel (a mozgó vezetőt képviselő folyadékhöz való csatlakozás) szigetelt csövezetekben (mérőcső) van elhelyezve.

Mivel a feszültség alatt álló folyadékoknál a 0-tól különböző értéku potenciál-gradiens zavarja a mérést, ezért szükség van az áramlástávadó előtt és után egy-egy fém földelőgyűrűt beépíteni és azokat leföldelni, ezáltal ekvipotenciálissá tenni a mérőcsőben lévő folyadékokat! Ugyanez a védelem szükséges olyan esetekben, amikor az indukciós áramlástávadó műanyag csövezetékbe kerül beépítésre, u.is ekkor az áramló folyadék részecskéinek a szigetelt csövezetékhez való sűrűdése elektrosztatikus feltöltődést okoz, ami szintén zavarja a mérést!

Az áramlástávadó házat egy elkülönített földeléssel kell összekapcsolni, amelynek 2 funkciója van. Az első a ház védőföldelése. A másik funkció a mérőföldelés, amelyet a fém földelőgyűrűnek a földelésre való csatlakoztatásával, amellyel az indukciós áramlástávadóban lévő folyadékok hátározott földpotenciálra hozza! Ebből az okból a védőföldelésre vonatkozó előírásoktól függetlenül a földelési ellenállásnak 10 Ω -nál kisebbnek kell lennie, és más készüléket a földelő vezetékre kötni nem szabad!

Az indukciós áramlástávadókhoz általában csak a nagy átmérőjű csövezeték esetén van szükség a mérőszakasz kiépítésére, de nem célszerű előtte 3D-nél kisebb távolságban az áramlási képet megzavaró csövezeték-szerelvényt beépíteni!

A beépítés során be kell tartani a helyes áramlási irányt, amelyet az áramlástávadón nyíllal jeleznek.

A beépítés során arra is ügyelni kell, hogy az indukciós áramlástávadót nem ajánlatos erős mágneses tér, vagy nagyobb tömegű vas mellé szerelni!

A beépítési helyzetet tetszőleges lehet: vízszintes, függőleges vagy ferde, de a villamos hozzávezetések tengelyes vízszintes legyen, hogy gázbuorékok vagy szilárd anyagok a hozzávezetésekre ne rakódjanak rá.

A helyes működés további feltétele az, hogy az indukciós áramlásta-
vadó mértére teljesen fel legyen töltve a folyadékkal, tehát a csővezeték teljes keresztmetszetét kitöltse az áramló folyadék!

A pontos mérés alapvető feltétele a pontos nullázás elvégzése. Ehhez az szükséges, hogy a folyadékkal teljesen feltöltött mértéri indukciós áramlásta-
vadóban lévő folyadék áramlási sebessége 0 legyen!

Az áramlásmérésre felhasználított indukciós áramlásta-
vadó egy Gamma analcont gyártmányú indukciós áramlásta-
vadó, melynek típusa: C 717.01,

- mérési tartománya: $0...2 \text{ m}^3/\text{h}$,
- max. mérési bizonytalansága: $\pm 1,5\%$,
- a kimeneti egyenáramjel tartománya: $4...20 \text{ mA}$,
- a folyadék min. villamos vezetőképessége: $20 \mu\text{s}/\text{cm}$.

Az indukciós áramlásta-
vadó 10-es jelű csatlakozási pontján lévő védő-
zeteket és a ház földelését nem szabad összekötni!

A nullpont beállításhoz a következőket kell megtenni:

- 1.) Ellenőrizzük az árammérő műszert 0-pontját!
- 2.) Kössük az indukciós áramlásta-
vadó 5-ös (+) és 6-os (-) jelű csatlakozási pontjaira árammérő műszert!
- 3.) Biztosítsuk, hogy a csővezetékben lévő folyadék áramlási sebessége 0 legyen!
- 4.) Kapcsoljuk tápfeszültségre az indukciós áramlásta-
vadót, és várjunk kb. 15 min-ig, amíg a készülék beemelegszik!
- 5.) Állítsuk be a 4mA-t a Null (P1) jelű potencióméterrel!

A nullpont ellenőrzése felvilágosítást ad a hozzávezetések felületének állapotáról, u. is a szennyeződött felület nullpont-elto-
dást okozhat. A szennye-
ződés okozta nullpont-elto-
dást addig lehet korrigálni, amíg a NULL-potencióméterrel az utánállítás még lehetséges. Ha elérjük a potencióméter végállását, a hiba kiküszöbölése már csak a mérőcső és a hozzávezetések felületének megtisztításával érhető el.

A mérőcsőben képződhetnek olyan lerakódások és kérgesedések is, amelyeknek villamos vezetőképessége ugyanakkora, mint a mérendő folyadéké. Bár ilyen esetekben a lerakódás a mérési eredményeket nem hamisítja meg, a nullpont nem állítható be!

3.3. Hidegvízóra

A hidegvízóra forgórendszerű mechanikai áramlásmérő, mely a rotaméterhez hasonlóan segédenergia nélküli berendezés. A működéséhez szükséges energiát - a rotaméterhez hasonlóan - az áramló közeg szolgáltatja. A vízórák általában nem mutatják a térfogatáram pillanatnyi értékét is, hanem csak a nullázás időpontjától áramlott folyadék teljes térfogatát. A mechanikus számláló egységet fogaskerek-átvitteleken keresztül működte az érzékelő egy-egy, amely általában valamilyen turbínakereket tartalmaz. A turbínakerek egy körülfordulásához egy - a vízóra kialakításától függő - jól definiált térfogat tartozik.

Az áramlásmérésre felhasznált hidegvízóra típusa: ABB Kent Messtechnik, melynek

- névleges térfogatárama: $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$,
- a kijelzés legkisebb értéke: 10^{-4} m^3 .

A vízóra elhelyezése vízszintes (vagy függőleges, de ferde nem) kell, hogy legyen, ügyelve arra, hogy a számlálója könnyen leolvasható legyen! A vízóra előtt a csövezetek belső átmérőjének legalább 10-szeres, utána legalább 5-szörös zavartalan egyenes csőszakasz kell, mint mérőszakasz. Az áramlási irányt is figyelembe kell venni a beépítésnél!

3.4. Indukciós áramlásmérésen alapuló összegző berendezés

A mérőberendezés működési elve hasonló az indukciós áramlásmérőéhez, azzal a különbséggel, hogy a jelátalakító egység az indukált feszültségéből távadásra áramlás impulzus-jelsozort hoz létre.

A mérőberendezés két részből áll, a jelátalakító egységből és a jelfeldolgozó egységből, amely a tápegységet és az összegző egységet tartalmazza.

Az összegző/tápegység a jelátalakító egységgel összekötve alkalmas a csövezetekben áramló folyadékok térfogatáramának mérésére, az átaramlott teljes térfogat összegzett értékének kijelzésére. Ezen kívül ellátja a jelátalakító egység táplálását is.

Az áramlásmérésre felhasznált jelátalakító egység Gamma analcont gyártmányú berendezés, melynek típusa: C 763.01,

- mérési tartománya: $0 \dots 1 \text{ m}^3/\text{h}$,
- kimeneti impulzus-gyakorisága: 20 impulzus/l,
- max. mérési bizonytalansága: 2% a mért értékre vonatkoztatva,
- a folyadék min. villamos vezetőképessége: $20 \mu\text{S}/\text{cm}$.

A jelátalakító egység elhelyezésére és beépítésére vonatkozó előírások az indukciós áramlásmérőnél leírtakkal azonosak.

A jelátalakító egység a tápfeszültségre való kapcsolás során kb. 1 perces melegezési idő után teljesíti a megadott műszaki specifikációt.

Az áramlásmérésre felhasználható/összegező/tápegység Gamma analcont gyártmányú berendezés, melynek típusa: C 258.21, max. számlálási frekvenciája: 10 imp./s.

4. Feladatok

- Végezze el az előírásoknak megfelelő műveleteket, ezáltal alkalmassá téve a berendezéseket a mérésekre, majd az előírásokat betartva, a szivattyú lekapcsolat állapotában végezze el a 3. jelű indukciós áramlástavádó nullázását! Írja le a tapasztaltakat!
- Az előírásokat betartva, fokozatosan növelje a főágban áramló folyadék áramlási sebességét, és 8...12 pontban mérje meg a q_v térfogatáramot a rotaméterrel és a 3. jelű indukciós áramlástavádóval!
 - A mérési eredményeket felhasználva - táblázat készítése nélkül - ábrázolja a rotaméterrel mért q_v térfogatáramot a 3. jelű indukciós áramlástavádó I_k ki-menet áramának függvényében!
 - Határozza meg az érzékenység min. és max. értékét!
 - Írja le a tapasztaltakat, és indokolja azokat!
- Az oktató által kijelölt 2 térfogatáram-értéket a csapokkal beállítva működtesse a berendezéseket, és a főáramkörben áramló folyadék állandó térfogatáram-értékei mellett az oktató által előírt 2 időtartamhoz tartozó teljes, összegezett térfogat értékeit mérje meg mind a 4 mérőberendezéssel!
 - Határozza meg a kijelölt térfogatáramoknak mind a 4 mérőberendezéssel mért értékei, valamint az adott időtartamok és a mérőberendezések műszaki specifikációjára alapján a teljes térfogatot! Az eredményeket táblázatos formában írja le (16 mért ill. számított értéket)!
 - Vesse össze az adott időtartamok alatt átáramlott teljes térfogatoknak mind a 4 mérőberendezéssel mért ill. kiszámított értékeit, és indokolja az eltéréseket!
 - Értékelje a mérési eredményeket a térfogatáram és az időtartam változásának szempontjából!
 - Írja le a mérés során tapasztaltakat, és indokolja azokat!

19. SZINTTÁVADÓK VIZSGÁLATA

A gyakorlatban sok helyen van szükség szintmérésre, melyre sokféle mérési módszer és eszköz áll rendelkezésünkre. A következőkben ezen módszerek és eszközök közül néhánynak a bemutatását és jellemzőinek vizsgálatát végezzük el.

1. Elméleti alapok

A szintmérés részletes ismertetése a Nemvillamos mennyiségek mérése c. jegyzetben (BMF KVK-2020) található meg.

Sokféle szintmérési módszer és eszköz van: mechanikai, mágnes-tosztikációs, ellenállásos, próbatestes, hidrosztatikai nyomás- ill. nyomásküönbség mérésén alapuló, radioaktív sugárzásos, kapacitív, ultrahangos, radaros, megvezetett mikrohullámú.

A szintmérés során tartály, tároló, medence stb. által tárolt folyadéknak, vagy darabolt ill. por alakjában lévő szilárd anyagnak a tartályban lévő szintjét ill. a mennyiségét kell meghatározni viszonylag nagy pontossággal a mindig jelen lévő zavaró tényezők hatása ellenére.

A tartály lehet nyitott vagy zárt, az utóbbi lehet jelentős nagyságú nyomás alatti is. Bizonyos esetekben robbanásveszélyes környezetben kell szintmérést végezni.

A szintmérés pontosságát befolyásoló tényezők közül a folyadékoknál a hibat elcsorban a hőmérséklet-változás okozta sűrűség- ill. térfogat-változás adja, másodszorban a tartály töltése és ürítése (egy tes technológiáknál ezeken kívül a keverés, rázás stb.) során fellépő hullámozás, örvénylés és habképződés, poroknál granulátumoknál pedig a kiposodás.

Nagy mérési hibát okoz – főként a mechanikai szintmérőknél – a lerakódás és a kikristályosodás is.

A szintmérés során gyakran a tartályban tárolt anyag mennyiségének meghatározása a fontos és nem a szint nagyságának ismerete. Ilyen esetekben - különösen a nagy átmérőjű tartályoknál - a nagy pontosságú szintmérés is viszonylag nagy mérési hibát okozhat a mennyiség meghatározásában.

Ezenkívül számolni kell az egyes mérési módszerek és eszközök jellegzetességeiből adódó további mérési hibákkal is.

Az előzőek alapján könnyen belátható, hogy a feladatnak megfelelő minőségű szintmérést megvalósítani csak úgy lehet, hogy egyrészt a megfelelő

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

mérési módszert és mérőeszközt választjuk, másrészt a zavaró hatásokat megfelelő kialakításokkal a lehetőség határain belül csökkentjük.

A szintmérés során a nyitott tartályoknál alkalmazható szintmérési módszerek és eszközök közül a folyadékallosztató, a hidrosztatikai nyomásmérésen alapuló és az ultrahangos szintmérőket vizsgáljuk meg a tartályban lévő víz esetén.

A tartály magassága 2,6m, belső átmérője 0,2m. A mérendő folyadékcsapviz, amely a beömlő csövezetékben keresztül, az ott lévő csap kinyitásával töltődik a tartályba. A tartály kiürítése a kiömlő csövezetékben keresztül, az ott lévő, jóval nagyobb belső átmérőjű gömbsap kinyitásával történik.

Az esetleges túltöltés megakadályozásának érdekében a tartály túlfolyóval van ellátva, mely az előzőekben említett csövezetékkel nagyobb átmérőjű cső.

A folyadékallosztató a tartály mellett található, a víz szintje a tartály falára rögzített skálán könnyen leolvasható.

A nyomástávadó a tartály alján van elhelyezve egy különálló csőben, amelyből a tartály tetejénél jön ki a csatlakozó kábel.

Az ultrahangos szinttávadó berendezés jelátalakító egysége a tartály tetején van elhelyezve. A jelfeldolgozó egység a tartály mellett helyezkedik el, mely mind a jelátalakítóhoz, mind a hálózatra be van kötve.

3. Szintmérő eszközök

3.1. Folyadékallosztató

A folyadékallosztató a közlekedőedények működési elvén alapuló egyszerű szintmérő eszköz, mely további jelátalakítás nélkül csak helyi mérésre alkalmas.

Mivel a mérőcső átmérője lényegesen kisebb a tartály átmérőjénél, ezért a tartályban fellépő hullámozás jelentősen csillapítva jut a mérőcsőbe, így gyakorlatilag problémát nem okoz. Ha okozna, a mérőcső alján egy szűkítő elhelyezésével a hullámozás hatása tovább csökkenthető, ekkor azonban a gyorsabb szint-változások is hasonlóan csillapítva, késleltetve jelezhetők csak ki!

3.2. Hidrosztatikai nyomásmérésen alapuló szinttávadó

A hidrosztatikai nyomásmérésen alapuló szinttávadó az érzékelési pont felett lévő folyadék h szintjétől és p sűrűségétől függő p hidrosztatikai nyomással arányos I kimeneti egyenáramjellet ad. A p hidrosztatikai nyomás az I. összetűgés alapján akkor függ csak a h szinttől, ha a p sűrűség állandó, ellenkező esetben hibával kell számolni!

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

<1.>

A szintmérésnél alkalmazott távadó egy LMP 808 típusú, bemenülő nyomástávadó, melynek

- mérési tartománya: 0...0,25 bar (0...2,5 mH₂O),
- mérési bizonytalansága: $\leq \pm 0,25\%$,
- kimeneti egyenáramjel-tartomány: 4...20 mA.

A távadó táplálását egyenfeszültség-forrással, a kimeneti áram mérését az árammérő műszerrel végezzük.

3.3. Programozható ultrahangos szinttávadó

A szintmérésnél alkalmazott ultrahangos szinttávadó az MSP 90 típusú programozható berendezés. A berendezés tartályokban lévő folyadékok szintmérésére és nyitott csatornáokban áramló közegek mennyiségének mérésére is alkalmas.

3.3.1. Az ultrahangos szinttávadó egységei

A szinttávadó berendezés 3 egységből áll: a programozható jelfeldolgozó (kijelző, vezérlő, táp) egységből, az ultrahangos jelátalakító (erősítő) egységből és a távműködtetésre alkalmas infravörös sugaras programozó egységből. A jelátalakító egység (T12 típusú) 12 m felső méréshatárú, folyadékok szintmérésére alkalmas egység, amely tartalmaz egy erősítőt, melynek táplálása flexibilis árműködtetésre alkalmas egység, amely tartalmaz egy erősítőt, melynek táplálása minden jelátalakító egységnek van alsó méréshatára, melynél kisebb távolságon belül nem képes érzékelni a visszavert ultrahangokat! Ez a T 12 típusú jelátalakító 0,3 m.

A jelátalakítót közvetlenül a mérendő folyadék fölött kell elhelyezni.

A hidrosztatikai nyomásmérésen alapuló szinttávadó üzembé helyezése

4. Feladatok

A jelfeldolgozó egy impulzust küld a jelátalakítóba, amely azt ultrahang impulzussá alakítva a folyadék felszínére sugároz. Az onnan visszaverődött jelet visszaalakítja és a jelfeldolgozó egységbe küldi.

A két impulzus között eltelt idő arányos a folyadék felszínének a jelátalakítótól való távolságtól, és így a folyadék szintjétől. A jelfeldolgozó egység méri ezt az időt, és ismerve az ultrahangnak a levegőben mért terjedési sebességét, kiszámítja a folyadék felszínének a jelátalakítótól való távolságát.

A jelátalakító a hőmérsékletet is méri, és az így kapott információt a jelfeldolgozó egységbe juttatja. Az ultrahang terjedési sebességének megváltozása mérési hibát okoz, ezért ezt figyelembe kell venni! Az ultrahangnak a 0°C -os levegőben lévő terjedési sebesség - értéke gyárilag be van programozva a jelfeldolgozó egységbe.

A jelátalakítóban lévő hőmérséklet-érzékelőből a jelfeldolgozó egységbe kerülő jel a hőmérséklet aktuális értékével arányos, s ennek alapján a jelfeldolgozó egység el tudja végezni a korrekciós számításokat.

A programozható ultrahangos szinttávadó működetésének leírása egy különálló Kezelési útmutatóban található, mivel a programozás ismertetése messze túllépné ezen jegyzet kereteit!

3.3.2. Az ultrahangos szinttávadó működése

A jelfeldolgozó egység egy falra szerelhető egység, mely többek között tartalmaz 5 relét is. A jelfeldolgozó egységnek van áram bemenete, programozható áram kimenete és összegező kimenete is.

Az előlapon két kijelzősor található, melyek normál üzemmódban a szintet és a relék állapotát mutatják és/vagy bar-grafikusan a kimeneti áramjel %-os értékét, vagy pedig más programozható paramétert jeleznek ki.

A programozó egység egy elemekkel táplált, infravörös sugaras, távműkódolásra alkalmas kézi készülék, melynek előlapon a programozáshoz szükséges 16 nyomógomb található.

2. A folyadékalállásmutatón olvassa le az ehhez tartozó szint értékét, és írja le ezt (u.is ez a nyomástávadó szempontjából a 0 szint)!

Az ultrahangos szinttávadó berendezés üzembe helyezése

1. Kapcsolja a berendezést tápfeszültségre, és ellenőrizze a kijelző egységeket és a LED-nek a bekapcsolást követő kijelzéseit! Írja le a tapasztaltakat!
2. a) Válassza ki egymás után a CAL, RUN, a COM és az OFF-LINE üzemmódokat, és a Kezelési útmutató 1. pontjában leírtak alapján végezze el az egyes üzemmódok kiválasztását és beprogramozását a leírásban szereplő összes módszer alkalmazásával!
- Írja le a tapasztaltakat!
- b) Kapcsolja ki a tápfeszültséget minden egyes kiválasztott üzemmód esetén, majd kapcsolja be, és írja le, hogy a bekapcsolás után melyik üzemmódba kerül a jelfeldolgozó egység!
3. Végezze el a # routine jelű eljárást a Kezelési útmutató 2. pontjában leírtak szerint!
- Írja le a tapasztaltakat!
4. Lépjen be a RUN üzemmódba!

A szinttávadók jellemzőinek vizsgálata

1. Rendelje össze a 3 szintmérő 0 pontját! Írja le a tapasztalatokat!
2. a) A beömlő csővezetéken lévő csap kinyitásával töltse fel a tartályt úgy, hogy a teljes mérési tartományt 10...12 kb. egyforma részre felosztsa, és az így kijelölt pontokonál (a mérés ideje alatt az összes csapot elzárva) vegye fel mind a nyomástávadó, mind pedig az uh. szinttávadó berendezés statikus karakterisztikáját a folyadékalállásmutatón leolvasható szint függvényében!
- b) Ábrázolja a két statikus karakterisztikát mm papíron, ugyanabban a koordináta rendszerben, táblázat készítése nélkül!
3. Határozza meg az abszolút és a relatív hiba max. értékét mindkét szinttávadónál az ideális statikus karakterisztikához viszonyítva!
4. Határozza meg az érzékenység min. és max értékét mindkét szinttávadónál!
5. Hasonlítsa össze az eredményeket, és értékelje azokat!

Az ultrahangos szinttávadó reléinek programozása

1. a) Lépjön be a CAL üzemmódba!
b) Végezze el a következő paramétereknek az oktató által megadott értékeinek megfelelő programozását a kezelési útmutató pontjaiban leírtaknak megfelelően: P01, P04, P05!
c) Válassza ki az 1-es és a 2-es reléket normal működésre, a 3-as relét riasztásra, a 4-es relét hiba-jelzésre, az 5-ös relét tartósan kikapcsolt állapotra: a P11...P16 és a P77...P80 jelű paramétereket pedig programozza be az oktató által megadott értékeknek megfelelően!
2. Lépjön be a COM üzemmódba, ellenőrizze a beállított paramétereket! Írja le a tapasztalatokat!
3. Engedje le a vizet kb. a tartály feléig a kiömlő csövezetéken lévő csap kinyitásával!
a) A csapok zárt állapotánál lépjön be a CAL üzemmódba, végezze el a kijelzősorok programozását, a P00 jelű paramétert állítsa be először a 2 másodszor a 3, harmadszor a 0 értékre, majd térjen vissza a RUN üzemmódba!
Írja le a kijelzősoron megjelenő értékeket, és értékelje azokat!
b) Lépjön be a COM üzemmódba, olvassa ki és írja le a paramétereket! . Értékelje a tapasztalatokat!
4. A kiömlő csövezetéken lévő csap kinyitásával engedje le a tartályból a vizet majd zárja el a csapot!
5. Végezze el a 10...12 pontban a tesztelést!
Írja le a tapasztalatokat!
6. Végezze el az Autotest-et!
Írja le a tapasztalatokat!

20. PROGRAMMOZHATÓ VILLAMOS SZABÁLYOZÓ VIZSGÁLATA

A modern technológiáknál leggyakrabban programmozható villamos szabályozókat alkalmaznak, melyek egyrészt a helyszínen, a szabályozó megfelelő kezelő szerveinek a segítségével, másrészt pedig távolról, számítógép, megfelelő program és kommunikációs csatlakoztatás felhasználásával programozhatóak.

A vizsgálatok során megismerhetjük a programmozható szabályozó működését és a vizsgálatok során megismerhetjük a programmozható szabályozó működését és működését a feladatokban előírt programozási műveletek elvégzésével.

1. Elméleti alapok

A programmozható villamos szabályozók rendkívül sokféle feladatot képesek ellátni: különféle típusú szabályozó algoritmusok (P, I, PI, PD, PID), rendkívül széles paraméter-tartományok, különféle korlátozások, különféle struktúrák, folytonos- és állásos működés, sokféle típusú és érték-tartományú bemeneti jelek fogadása, előírt függvények szerinti működés, hibajelzések, önoptimalizálás, kézi- és automatikus üzemmód, belső- külső alapjel stb. megvalósítására képesek.

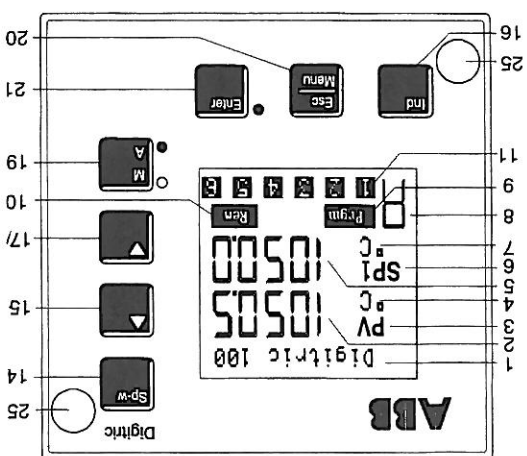
Természetesen egy adott szabályozó csak egy meghatározott feladatok csoportot képes megvalósítani az alapkvitviteiben, de általában sok opció rendelkezhető hozzá, melyeknek természetesen megvan a szoftver és a hardver feltétele is.

A programozás általában egyszerű, akár helyszínen a kezelőszerveivel, akár távolról számítógéppel programozunk. Problémát inkább az okozhat, hogyha olyan konfigurálást, ill. paraméterezést hajtunk végre (vagy hagyjuk abban az állapotban) amelyeknek következményeit nem tudjuk vagy nem vesszük figyelembe.

Ezek elkerülése végett rendkívül figyelmesen és következetesen kell programozni, a gyári műszaki leírásban szereplő információknak és utasításoknak teljes figyelembevételével!

2. A programozható szabályozó működése

A vizsgálatnál felhasznált programozható szabályozó az ABB Digitric 100 típusú szabályozó, melynek előlapja az 1. ábrán látható.



1. ábra. A szabályozó előlapja

Az előlapon lévő jelzések és nyomógombok a következők:

- 1: szövegsor,
- 2: a szabályozott jellemző/ellenőrzőjel aktuális értéke,
- 3: a szabályozott jellemző/ellenőrzőjel jele (PV),
- 4: a szabályozott jellemző/ellenőrzőjel dimenziója,
- 5: automatikus üzemmódban az alapjel aktuális értéke,
- 6: az alapjel (SP) vagy a végrehajtójel jele (itt OUT),
- 7: az alapjel vagy a végrehajtójel dimenziója,
- 8: a riasztás jelzése,
- 9: a programszabályozás aktiválásának jelzése,
- 10: a távirányítás jelzése,
- 11: a szabadon konfigurálható bináris üzenetek,
- 14: alapjelváltó nyomógomb (Sp-w),
- 15: értéknövelő nyomógomb,
- 16: kijelzés váltó nyomógomb (Ind),
- 17: értékcsokkentő nyomógomb,

- 19: kézi (M) – automatikus (A) üzemmódválasztó nyomógomb (M/A) kijelző LED-ekkel,
20: a konfigurálási és a paraméterezési szintre kapcsoló nyomógomb (Esc/Menu),
21: riasztás-nyugtató és adat érvényesítő nyomógomb (Enter) (konfigurálás, paraméterezés).
Kézi üzemmódban (M) a végrehajtójel növeléséhez/csökkentéséhez meg kell nyomni és benyomva tartani az **Enter** nyomógombot, és ekközben meg kell nyomni az értéknövelő/értékcsoökkentő nyomógombot.
Automatikus üzemmódban (A) az alapjel növeléséhez/csökkentéséhez meg kell nyomni az értéknövelő szintjétől az 1. menü szintre átmenni az A szabályozó működtető szintjétől az 1. menü szintre átmenni az **Esc/Menu** nyomógomb megnyomásával lehet egy menü szinttel változtatás nélkül feljebb lépni, és ha 5s-ig benyomva tartjuk, a működtető szintre jutunk vissza!

1. táblázat 1. menüsínt a következő menük választhatók

Indication 2	Kijelzés:	az összes paraméter, mért érték, a szabályozó beállított paraméterei jeleníthetők meg, de változtatni nem lehet azokat.
Operate 2	Működtetés:	helyi, ill. távvezérlés választható.
Selftune	Optimalizálás:	a szabályozó optimális paramétereit határozza meg.
Parameter	Paraméterezés:	a feladathoz szükséges paraméterek állíthatók be, a szabályozó ekközben aktív marad! Ha a paraméterezés megzavarja a működést, kézi üzemmódba lehet át lépni.
Configuration	Konfigurálás:	a feladathoz szükséges struktúrák, jeltartományok, üzemmódok, be- és kimenetek, karakterisztikák, szabályozó típusok stb. állíthatók be, a szabályozó ekközben kikapcsolott állapotba kerül (a végrehajtójel letiltja)!
Service	Szerviz:	általános és hardver információt ad, kalibrálás, illesztési feladatok végrehajthatók el.
Supervisor	Felügyelet:	ellenőrzés, jogosultság, teljes alapbeállítás (gyári értékekre), gyors konfigurálás, nyelv kiválasztás.

Az 1. menü szinten a következő menük választhatók ki az értéknövelő, ill. az értékcsökkenő nyomógombok megnyomásával:

Az 1. menü szintről a 2., 3. és a 4. menü szintre lehet átmenni.

Az **Enter** nyomógomb megnyomásával lehet egy menü szinttel lejjebb lépni, valamint érvényesíteni a kiválasztott címet és adatot.

Egy adat beírásakor a villóság helyének megváltoztatásához az **Ind** nyomógombot kell megnyomni, a tizedesvessző léptetéséhez is ugyanezt kell tenni és megnyomva tartani. Az értékváltoztatáshoz az értéknövelő, ill. az értékcsökkenő nyomógombokat kell használni, valamint a konfigurálásnál a villóság helyét lehet így megváltoztatni. Az adatváltoztatás érvényesítéséhez az **Enter**, az érvénytelenítéshez az **Esc/Menu** nyomógombot kell megnyomni.

A vizsgálatokhoz a kijelzésen kívüli a paraméterezés és a konfigurálás a legfontosabb.

A programozható szabályozó kezeléséhez és működetéséhez nagyon sok információ szükséges. A jegyzet terjedelme ezt erősen korlátozza, így csak a legfontosabb információk közlésére van mód.

A programozható szabályozó konfigurálás menüjének legfontosabb elemei találhatók az 1. táblázatban.

2. táblázat. A szabályozó konfigurálása

megnevezés, (modul):	kérdés/ para- méter:	beállítás:	magyarázat:
Analog be- net AI01 (B01- B14)	Q01	1	AIxy0..20mA
	Q01	2	AIxy4..20mA
	Q02	1	AIxy-LINEAR
	Q03	2	AIxy DIM%
	Q03	3	AIxy DIM °C
	Q03	17	AIxy DIM V
	Q03	18	AIxy DIM mA
	Q03	20	AIxy DIM s
	P05	Input	AIxy-SCAL.LO
	P06	Input	AIxy-SCAL.HI
Analog kime- net AO (B01- B13)	Q01	1	AOxy 0..20mA
	Q01	2	AOxy 4..20mA
	Q02	1	AIxy-LINEAR
	Q03	2	AIxy DIM%
	Q03	3	AIxy DIM °C
	Q03	17	AIxy DIM V
	Q03	18	AIxy DIM mA
	Q03	20	AIxy DIM s
	P05	Input	AIxy-SCAL.LO
	P06	Input	AIxy-SCAL.HI

A szabályozás típusa (B01)	Q01	1	SINGLE LOOP	egyhurkú szabályozás
A szabályozó jellege (B01)	Q02	1	CONTINUOUS	folytonos
A kézi üzemi mód karakterizálókai (B01)	Q03	1	M: CHAR.-DIR.	emelkedő karakterizálókai
	Q03	2	M: CHAR.-INV.	lejtő karakterizálókai
Önoptimalizálás (B01)	Q05	0	SELF TUNE OFF	az önoptimalizálás kikapcsolása
	Q05	1	SELF TUNE ON	az önoptimalizálás bekapcsolása
Az automati kus üzemi mód karakterizálókai (B02)	Q01	1	A: CHAR.-DIR.	emelkedő karakterizálókai
	Q01	2	A: CHAR.-INV.	lejtő karakterizálókai
A szabályozó típusa (B02)	Q02	1	P CONTROL	P szabályozó
	Q02	2	PI CONTROL	PI szabályozó
	Q02	3	PD CONTROL	PD szabályozó
	Q02	4	PID CONTROL	PID szabályozó
Belső alapjel (B05)	Q01	0	SP1.NT=OFF	kikapcsolva
	Q01	1	SP1.NT=ON	bekapcsolva
	Q01	2	SP1.NT=TRACK	követi az aktuális alapjelet
Külső alapjel (B05)	Q06	0	SP.EXT=OFF	kikapcsolva
	Q06	1	SP.EXT=AIO1	az analóg bemenetre kapcsolva
Működési mód (B07)	Q01	1	MODE=MAN/AU	kezi/automatikus üzemi mód

Megjegyzés: a kézi és az automatikus üzemi módban az emelkedő karakterizálókai értékelése: az ellenőrzőjel növekedésével a végrehajtójel nő (lejtő karakterizálókai csökken)!

Az alapjel egyenletes változása (setpoint ramp) mindig aktiv, de megszüntethető a gyári beállítással: 99999 EU/s. A szabályozó konfigurálása a **Supervisor** menü **Template** almenüjénél gyors konfigurálással végezhető el. Egy példa: a szabályozó jellege legyen folytonos, ne legyen járulékos variáció

és riasztás, az AI01 analóg bemenet 0..20 mA-es legyen és ne legyen AI02 analóg bemenet! A beállítási kódja ekkor: 100B0.

3. táblázat. A programozható szabályozó paraméterezési menüje

megneve-	Par. szám:	szöveg:	beállítható határok	alsó:	felső:	magyarazat:	zész:
A PID szabá-lyozó para-méterei	1	GAIN G	0,001	1000	-arányos átviteli tényező integrálási idő	-	
	2	RESET TIME	0 min	600 min	600 min	-	
	3	DERI.TIME	0 min	600 min	600 min	-	
		Td.				-	
Alapjel	75	SP-MIN	-9999EU	99999EU	99999EU	-az alapjel alsó határa	
	76	SP-MAX	-9999EU	99999EU	99999EU	-az alapjel felső határa	
	77	SP:RAMP+	0.0001 EU/s	99999 EU/s	99999 EU/s	alapel - emel.	
	79	SP:RAMP-	-9999EU	99999EU	99999EU	alapel – esés	
	81	SP1				-az 1. alapjel	
Végrehajtójel	67	OUT-MIN	-5%	100%	100%	-a végrehajtója alsó határa	
	68	OUT-MAX	0%	105%	105%	-a végrehajtója felső határa	
	69	OUT:RAMP+	0,1%/s	9999%/s	9999%/s	-végrehajtójel-emelkedés	
	70	OUT:RAMP-	0,1%/s	9999%/s	9999%/s	-végrehajtójel-esés	
Onoptimali-zálás	125	DY-AMOUNT	-100,0%	+100,0%		-az első egység ugrás amplitúdója	
	126	MAX.OUT. DUR	0.00.09h	20.00h		-az egységugrási időtartama	
	127	MAX-Pos.ERR	0,0001EU	99999EU	99999EU	-legnagyobb pozitív szabályozási hiba	
	128	MAX-Neg.ERR	0,0001EU	99999EU	99999EU	-a legnagyobb negatív szabályozási hiba	

Az önoptimalizálás menete

Az önoptimalizálás elindítása előtt meg kell várni, hogy a szabályozott jellemző állando értékre álljon be, majd kézi üzemmódba kell átkapcsolni a szabályozót!

Az önoptimalizálás elindításakor a szabályozó a paraméterezés menüben beállított amplitúdóju (P125) és időtartamú (P126) egyességugrást ad a szakaszra. Az egyességugrást időtartamát a várható szabályozási idejének legalább 1/10 részére kell beállítani! A paraméterezés menüben állítható be a megengedhető legnagyobb pozitív (P127), ill. negatív (P128) szabályozási hiba értéke is.

Az önoptimalizálás folyamata során a szabályozó identifikálja a szakaszt.

A kompenzáláshoz egy újabb egyességugrást ad a szakaszra, majd ennek alapján határozza meg még pontosabban a szabályozó optimális paramétereit.

Ha az első egyességugrást időtartama olyan nagy, hogy teljes válaszfüggvényt képes identifikálni a szabályozó, második egyességugrást már nem alkalmaz.

Az önoptimalizálás lépései

Először a **Menu** szintre kell lépni, majd **Configuration** → **LOOP1** → **B01** → **Q05**, és itt az **I**-et kell kiválasztani. Az **ENTER** nyomógomb beállított paraméternek megfelelően. A kijelző visszalép a működési szintre és ekkor a hurok választás lehetővé válik.

Az önoptimalizálás ideje alatt sem az alapjélet, sem pedig a végrehajtójelet nem szabad megváltoztatni!

Amikor az önoptimalizálás lezajlott, a kijelzés megváltozik. Amikor az önoptimalizálás újra elindul, a meghatározott értékeket célszerű megerősíteni. Az elfogadás az **ENTER** nyomógomb megnyomásával történik. Ezután kiolvashatók a szabályozó optimális paramétereit.

Az önoptimalizálás során kapott paraméterek törölhetők is (**reject?**), ilyenkor az eredeti paraméterekhez lép vissza a szabályozó, és maga az önoptimalizálás is megszakítható (**Cancel self-tuning?**).

Ahhoz, hogy a programozható szabályozó működését és működését is megismerhessük, ugyanakkor egyszerű és viszonylag rövid ideig tartó, ráadásul megfelelő számú variációs lehetőséget is biztosító vizsgálatokat lehessen elvégezni, elektronikus berendezés szükséges.

A vizsgálatokat az előbbi feltételeknek megfelelően összeállított berendezéssel és egy X-Y regisztrálóval lehet elvégezni.

A berendezés tartalmaz egy programozható szabályozót (Digitic 100) egy ugrásfüggvényt előállító egységet, 2 db összegzőt, 10 db arányos átvitel függvényű egységet és egy feszültségmérő műszert.

Az ugrásfüggvényt előállító egység 0...10 V közötti, fokozatkapcsolóva I V-onként beállítható amplitúdójú ugrásjellet hoz létre, mely akár közvetlenül akár különböző időállandójú, egységnyi átviteli tényezőjű arányos tagokon keresztül adható a szabályozási kör bármelyik pontjára az összegzők felhasználásával (az $Y_2(s)$ jelű tag jelkésleltetése nagyobb, mint az $Y_1(s)$ jelé).

A 2 db összegzőnek 2-2 bemenete és 1 kimenete van.

A 10 db arányos átviteli függvényű egység alkalmas arra, hogy különféle dinamikájú szakaszokat hozzunk létre a megfelelő egyégek sorba kapcsolásával, mivel struktúrájuk és paramétereik különbözőek.

A feszültségmérő műszerrel a vizsgált szabályozási körök bármelyik pontján lévő jelek jeleníthetők meg, így anélkül is figyelemmel kísérhetjük a működést, hogy alkalmazzunk az X-Y regisztrátort.

A berendezésben lévő áramköri egységek 0...10 V-os egyenfeszültség tartományban működnek lineárisan.

A programozható szabályozó be- és kimeneti jele nem egyen feszültségjel, hanem 0/4...20 mA tartományú egyenáramjel, ezért a csatlakoztatáshoz egyrészt szükséges az egyenáramjelek és az egyenfeszültségjel megfelelő irányú átalakítása, másrészt a jeltartományok megfelelő illesztése.

A jelek megfelelő átalakítását a berendezés elvégzi, a szabályozó be- és kimeneti jelenek tartományát viszont a vizsgálatokat végző személynak kell kiválasztani, mégpedig úgy, hogy a szabályozót úgy programozza, hogy mindenki, mind pedig a kimeneti jel tartománya 0...20 mA-es legyen!

Az összes áramköri egység és a programozható szabályozó be- és kimeneti pontjainak csak a + kapcsolai vannak a berendezés előlapján, a – pontok beül vannak összekötve a könnyebb kezelhetőség érdekében.

A programozható szabályozónak csak azok a kapcsolai vannak az előlapon amelyek a vizsgálatok elvégzéséhez szükségesek.

A berendezésben lévő egységek tápfeszültségre való kapcsolása az előlap jobb alsó részén lévő kapcsolóval történik.

A berendezés nem tartalmaz külön olyan egységeket, amelyek a végre hajtó szervert, a beavatkozó szervert, valamint az érzékelőt és távadót reprezentálna, így a vizsgálatok egyszerűbben végezhetőek el; a szakaszt megvalósító egységekbe számíthatjuk be ezeket a szerveket!

A programozható szabályozó és a különféle átviteli függvényű egységek segítségével egyhurkú szabályozási körök állíthatók elő, így a programozható szabályozó működését zárt szabályozási körökben is vizsgálhatjuk.

3. Feladatok

Az elő nem írt kódokat, paramétereket mindig a feladatnak megfelelően állítsa be!
Minden feladatnál írja le a felhasznált kódokat, paramétereket és minden lényeges adatot!

A programozható szabályozó működésének vizsgálata

1. Konfigurálja és paraméterezze a szabályozót a következőknek megfelelően:
 - helyi szabályozás,
 - analóg bemenet: lineáris, 0...20 mA,
 - dimenzió: mA,
 - analóg kimenet: 0...20 mA,
 - a szabályozás típusa: egyhurkú szabályozás,
 - a szabályozás jellege: folytonos,
 - a karakterisztika: emelkedő,
 - az önoptimalizálás: kikapcsolva,
 - a szabályozó típusa: P szabályozó,
 - belső alapjel: bekapcsolva,
 - működési mód: automatikus üzemmód,
 - a szabályozó paramétereit:
 - az arányos átviteli tényező: 1,
 - az integrálási idő: 0 min,
 - a differenciálási idő: 0 min,
 - az alapjel alsó határa: 0,
 - felső határa: 10,
 - emelkedés/esés: ne legyen,
 - a végrehatíj jel alsó határa: 0 %, felső határa: 100 %, emelkedés/esés: ne legyen!

- Vegye fel 8...10 pontban az alapelj-elvégrehajtójel statikus karakterisztikát, és táblázat készítése nélkül ábrázolja mm papíron!
2. Ismételje meg az 1. pontbeli feladatot úgy, hogy a szabályozó árányos átvitelén tényleg 2-re állítja! Az ábrázolást ugyanabban a koordinátarendszerben végezze el!
- Itja le a tapasztalatait!
3. Ismételje meg az 1. pontbeli feladatot úgy, hogy a szabályozó karakterisztikáját lejtőre változtassa!
- Itja le a tapasztalatait!
4. Ismételje meg az 1. pontbeli feladatot úgy, hogy a szabályozó külső alapjelét fogadjon! A külső alapjel az alapjel/zavaró jellemzőt előállító egy-ségről adja a szabályozó bemenetét!
- Itja le a tapasztalatait!
5. Végezze el az oktató által kijelölt feladatot gyors konfigurálással!
- A programozható szabályozó alkalmazása**
1. A szabályozót és az oktató által kijelölt szakaszt felhasználva állítson össze egy egyhurkú szabályozási kört!
- Konfigurálja és paraméterezze a szabályozót úgy, hogy a megfelelő választott nagyságú alapjel mellett az eredő átmeneti függvény megfeleljen a szükséges legyen,
- a) P,
b) PI,
c) PD,
d) PID típusú szabályozó esetén!
- A szabályozó paramétereit szisztematikus próbálgatással állítsa be!
- A szabályozási kör működését a feszültségmérő műszerrel figyelje, és csak a már megfelelő minőségű átmeneti függvényeket regisztrálja az X-Y regisztrálói!
2. Az előző pontban vizsgált szabályozási körnél konfigurálja és paraméterezze a szabályozót úgy, hogy az önoptimalizálást elvégezhesse!
- Futtassa le az önoptimalizáló programot az oktató által kijelölt esetekben, ill paramétereknél!
- Itja le az önoptimalizálás során kapott adatokat!
- Vegye fel a szabályozás eredő átmeneti függvényének regisztrátumát az X-Y regisztrálói!
- Itja le a tapasztalatait!

21. SZABÁLYOZÁSTECHNIKAI VÉGREHAJTÓK ÉS BEAVATKOZÓK

A hallgatók megismerkednek egy intelligens elektro-pneumatikus helyzetbeállítóval ellátott végrehajtószervvel (aktorrall) egybe épített szabályozó-szelep felépítésével, és annak használatával és néhány jellemzőjével.

Az intelligens ún. smart aktor digitálisan HART protokollal két irányban kommunikál egy számítógéppel, valamint analóg kapcsolattal rendelkezik egy szabályozó berendezéssel. Egy fejleszto program menürendszerének a segítségével az aktoron azonosítási (identifikálási) műveletek végezhetőek el, valamint működtetési, vizualizálási, üzembe helyezési és diagnosztikai funkciók is eszközölhetők.

A szabályozó szelepen, mint beavatkozó szervén, a hallgatók jellegző-béket, szelepjellemzőket, átviteli tényezőket határoznak meg. Ezzel lehető válik, hogy az automatika szakirányú hallgatók a szabályozó berendezés és távadó mellett a szakasz bemeneti oldali folyamat peritéria elemivel is - mint a helyzetbeállító- és beavatkozó szervek - - alaposabban megismerkedjenek.

1. Elméleti ismeretek

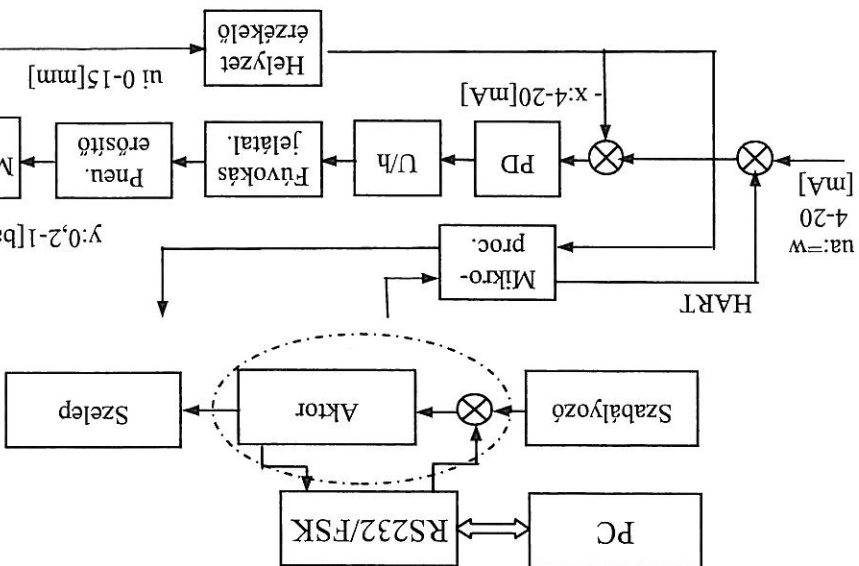
A feladatok hatékony elvégzéséhez szükséges szempontjából feltétlenül szükséges a vizsgálat tárgyat képező eszköz felépítésének, működésének, több jellemzőinek, a HART kommunikációnak, a kommunikációt végző programnak, a vizsgálatokhoz szükséges elrendezés felépítésének, valamint a paraméterek és a jellegzőbék definiálásának rövid ismertetése.

1.1. A 3730-3 típusú helyzetbeállító végrehajtóú szabályozó szelep

A vizsgálatok tárgyat a SAMSON cég által gyártott 3730-3 típusú helyzetbeállító végrehajtóú szabályozó szelep jelenti, amely két fő egységből áll, a 3241 típusú szabályozó szeleptestből, és a ráépített 3277 típusú elektro-pneumatikus helyzetbeállítóval ellátott membránmotoros végrehajtó egységből, ún. aktorból.

A helyzetbeállító egységeket a gyakorlatban pozicionálóknak is nevezik. A 3277 típusú, smart rendszertü elektropneumatikus helyzetbeállítóva rendelkező membránmotoros végrehajtószerv (aktor) működése digitális, bemeneti jele FSK (analóg+digitális), ami a Bell 202 szabvány szerinti FSK-nál, 4...20 mA-ra frekvencia modulált $\pm 0,5$ mA csúscsértékkü szinuszos jelcsomagokból álló digitális jelet jelent. A digitális jel „H” (magas) szintjét, egy adott időablak hosszúságú 1200 Hz-es szinusz jelcsomag, az „L” (alacsony) szintjét a 2200 Hz-es szinusz jelcsomag képviseli. A hagyományos 4...20 mA analóg jelkommunikáció a főköri szabályozó berendezés (az 1. ábrán a szabályozó) és az aktor között mindig egy irányú, a szabályozótól az aktor felé történik.

A digitális jelkommunikáció az aktor és a kézi kommunikátoron (HHC: Hand Held Communicator) üzemelő számítógép között kétirányú. Helyzetbeállító egység a szabályozó szelep helyzetsszabályozását analóg módon valóítja meg. Ez esetben követő helyzetsszabályozás valósul meg, amelynek vezető jele (w) a főköri szabályozó berendezés kimeneti jele (ua: végrehajtójel) a követő jel a membránmotor által működtetett szelepszár elmozdulás (ui: beavatkozó jel), mint a helyzetsszabályozási segédkör szabályozott jellemzője, amelynek a helyzetérzékelővel mért villamos jele (x). A helyzetsszabályozás körben az irányítandó szakaszt a membránmotor képviseli. A helyzetsszabályozás kör hatásvázlatát a 1. ábra mutatja.



1. ábra. A 3277 típusú aktor (helyzetsszabályozási kör) hatásvázlatát

Az 1. ábra hatásvázlata szerint a főköri szabályozónak a kimeneti 4..20mA-es végrehajtójától (az FSK jel analóg komponensét) vezetőjelként (w) a követő helyzet szabályozási kör PD szabályozója kapja meg (ua=w). A vezetőjellel arányos alapértéket kell a membránmotor által mozgatott szelepszár elmozdulásának (H) zérus hibajellel követnie. Ez oly módon történik, hogy a szelepszár elmozdulását (a helyzet szabályozási kör szabályozott jellemzője) egy helyzetérzékelő mérő és átalakító villamos jelle (x, a helyzet szabályozási kör ellenőrző jele). A vezetőjel és a mért elmozdulással arányos villamos jel különbsége képezi a szabályozási eltérést (e). A hibajel $[y_h]$ és a szabályozási eltérés közötti kapcsolatot a helyzetérzékelő átviteli tényezője $[K_h]$ biztosítja.

$$e[\text{mA}] = K_h \left[\frac{\text{mA}}{\text{mm}} \right] \cdot y_h [\text{mm}]$$

<1>

Az analóg működésű PD szabályozó kimeneti villamos jelet egy piezo-elektromos fűvókás jelátalakító torlólemezének elmozdulásával (h) alakítja. Ha a torlólemez közelíti a fűvókát, akkor a fűvókateri nyomás növekszik, míg távolodva az csökken. A fűvókateri nyomás viszont nem terhelhető, ezért egy pneumatikus teljesítményerősítőnek az alkalmazása szükséges, amely lemosolja a nagyobb teljesítmény-szinten a 0,2..1 bar nyomástartományú fűvókateri nyomásértéket akkor, ha 1,4..6 bar tartománybeli tápnyomást biztosítunk a fűvókás jelátalakítónak és a pn. teljesítményerősítőnek egyaránt. A pn. teljesítmény-erősítő kimeneti jele (y), mint beállítójel, előjel helyesen mindig úgy módosítja a membránmotor által működtetett szelepszárnak a helyzetét és az ebből képzett villamos jelet (x), hogy az zérus rendeltetkezéssel kövesse a vezetőjelet. A szelepszárhoz rögzített zárótest közledek, ill. távolodik a szeleplülékhez. A szelepszár elmozdulásának a tartománya (H:löket) a 3241 típusú szabályozó szelepnél 15mm.

A cél az lenne, hogy a helyzet szabályozóban lévő szabályozási eltérés (e) mindig zérus legyen. Mivel a helyzet szabályozó csak P, vagy PD-ként konfigurálható, (a helyzet szabályozási kör mindig „0” típusú) mindig lesz hibajel, amely a helyzet szabályozó arányossági tényezőjének a (Kp) növelésével csökkenhet. A nagyra választott Kp viszont a helyzet szabályozási kör lengési hajtamat növeli! A szoban forgó aktorban üzemelő szabályozóban a Kp értéke egyesével 1..17 között állítható. A differenciálási idő (az ún. elővághási idő) [TV] választható értékei: 0,1, 2, 3, 4 (s)

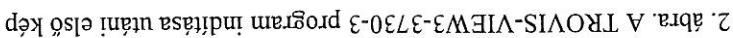
A 3277 típusú smart rendszerű aktor és a számítógép között HART kommunikáció van.

1.2. A HART kommunikáció

HART, az angol Highway Addressable Remote Transducer kifejezés rövidítése, melynek magyar fordítása: terepi távról címezhető jelátalakító. A HART protokoll maszter-szlév rendszerű kommunikációt biztosít, pont-pont topológia esetén (a feladatban ez található). Maszter mindig a konfigurátorokén üzemelő számítógép, a helyzetbeállító membrámmotoros végrehajtó csatlévként üzemelhet. Az adatátviteli sebessége: 1.2 kbit/s, ami normál üzemmenet esetén 50ms maszter-szlév elem közötti ciklusidőt eredményez. A adatátviteli módja aszinkron, ami azt jelenti, hogy a távirat minden bájtra rendelkezik start, stop, paritás (páros) bitekkel, valamint félduplex, azaz, egy időben kétirányú kommunikáció nem történhet. A távirati adathossza változó hosszúságú, amely mind a két kommunikációs irány esetén 0-24 bájtközött lehet. A HART táviratok bevezető fej-része 5 bájtos bevezető részből (preamble) rendelkezik, amely az adott üzenetet átvevő eszköznek a Bell 203 frekvenciákra történő ráhangolását biztosítja. Az új verziójú HART protokollok az 5 bájtos (40bit) címzést támogatják, ami azt jelenti, hogy a világon valamennyi HART-al kommunikáló szlév eszköznek egyedi címe van. A távirat bájtból álló parancsmezője 256 féle parancs megadását teszi lehetővé. A HART kommunikáció parancsai 3 csoportba sorolhatók: az *általános parancsok* csoportjába azok a parancsok sorolhatók, amelyeket minden HART-eszköznek teljesítenie kell. Ilyenek lehetnek, pl. a készülek gyártó nevének, készülek típusának olvasása, az aktor működéstartományának, mértékegységének az olvasása, stb. *Közös gyákkorlati parancsok* csoportjába tartozó parancsok különleges aktor műveleteket végeznek. Ilyenek lehetnek pl. az aktor működés-tartományának beírása, az aktor kalibrálása, az aktor diagnosztikájának elvégzése, a változók mértékegységének írása, stb. Az *aktör-specifikus parancsok* többnyire egyedi műveletek végzésére készítik az aktorokat. Ilyenek lehetnek pl. az aktor teljes törlése, anyagszerkezeti információk írása, olvasása, megszakítási értékek írása, stb. A HART távirat végén található 1 bájtközött 2 hexadecimális értékű ellenőrző összegnek, az ún. checksum-nak, a adatátviteli biztonságának növelésében van nagyon fontos szerepe.

A HART kommunikációt az amerikai Fisher Rosemount cég (m Emerson csoport tagja) fejlesztette ki, napjainkban a folyamatautomatizálás területén az egész világon nemzetközi szabványként széleskörűen alkalmazzák smart rendszerű távadók és aktorok (gyűjtőnéven terepi eszközök) kommunikációjánál.

nyelv választható: angol, német, francia, magyar, stb.



285

zik.

Az aktor és a számítógép közötti HART kommunikációhoz a két eszköz közötti online kapcsolat létrehozása szükséges, amelyet a képernyő jobb felső sarkában lévő 3 grafikus szimbólum közül a képernyő jobb széléhez legközelebbi szimbólumra történő klikkkeléssel valósíthatunk meg. Az online kapcsolás létrejötténél a fenti grafikus szimbólum piros színről zöld színré vált. A képernyő bal oldalán található fasturktúra három fő pontból áll.

Az első pont az **„Azonosítás”** (identifikáció), amely továbbí két alpon tot foglalt magában. Az első, **„üzemelegység alpont”**-ban a helyzetbeállító: membránmotoros végrehajító szerre, mint integrált egység egészére vonatkozó fontos azonosítási adatokat, mint pl. a helyzetbeállító sorozatszámát, termék számát, gyári számát, firmware változatát, stb. kaphatjuk meg. A második **„helyzetbeállító alpont”**-ban a helyzetbeállító membránmotoros szabályozó szelep három alegységére, mint a hajtóműre - azaz az aktorra - a szabályozó szelepre és a kiegészítő komponensekre vonatkozó legfontosabb azonosítás adatok, információk találhatóak. Aktor azonosítási adatok lehetnek: típusjel, épté si mód, hatásos membránfelület, nyomástartomány, táplelvegő nyomásértéke stb. Szabályozó szelep (beavatkozó) azonosítási adatok lehetnek: a szelep tí pusjela, a közeg áramlás iránya, (FTO: nyitól szelep) a szelepszár tömítésénél a módja, a szelepkúp (zárótest) jelleggörbéje, a névleges átmérője (DN), Kv, egysége, stb. Kiegészítő komponensek is lehetnek a helyzetbeállító membránmotoros szabályozó szelepen. Illyenek, pl. a helyzetjelző egység, végállá jelzők. A feladatban alkalmazott helyzetbeállító membránmotoros szabályozó szelepen nem található ilyen komponensek, ezért ebben a pontban nem talál hatók azonosítási adatok.

A fasturktúra második pontját a **„Helyzetbeállító”** (pozícionáló) képezi amely a helyzetbeállító membránmotoros szabályozó szelep működéséhez kapcsolatos legfontosabb információkat, adatokat, jellegzőröbket stb. tartal mazza. A „Helyzetbeállító” több alpon tot tartalmaz, amelyeknek részletes is mertetésére a jegyzet korlátozott terjedelme miatt nem térünk ki. A feladatl elvégzése során ezek közül a hallgatók csak néhányat ismernek meg, ezért csal ezekről teszünk röviden említést. Az első alpon t a **pozícionáló üzemmódjáró ad tájékoztatást** (aktuális, kívánt). Második, a **follyamatadatok** –nak nevezet almenüpont lehetővé teszi az olyan paramétereknek, mint a vezetőjel (w), a követőjelnek mért villamos jele (x), a szabályozási eltérés (e), a beállítójel (y) grafikus megjelenítését, és ezeknek az értékeknek a számjegyes formában törté nő megadását is.

Megjegyzés: a programban a vezetőjelet helytelenül vezérlőjelnek neve

A *vezetőjel* almenüpontban, a helyzetbeállító membránmotoros végrehajtó mozgásirányára választható ki (növekvő vezetőlajelnél növekvő követőjel, vagy növekvő vezetőlajelnél csökkenő követőjel), valamint a vezetőlajel tartománya mozgatási irányok esetére. A *jelleggörbe* alponban szelep jelleggörbék választhatók (lineáris, egyenlőszázalékos, fordított egyenlőszázalékos, stb.). A *jellemzők* alponban a PD jellegű helyzettaszabályozó Kp, és Tv paramétereiről állíthatók be. A *zavar esetén történő viselkedés* alponban a helyzetbeállító membránmotoros szabályozó szelep biztonsági működését lehet beállítani. Ez a biztonsági funkció teszi lehetővé a szabályozószelepek a lezárását az elektropneumatikus helyzetbeállító tápnyomásának kimaradása esetén. A *hiba felügyeleti, üzembelhelyezési, karbantartási, és szimuláció* almenüpontok speciális funkcióinak ismertetésére nem térünk ki, mivel a feladatokban ezek nem szerepelnek.

A fastuktúra harmadik pontját, a *diagnosztika* képezi. A diagnosztika menüpontban állapotjelentések készíthetők, referencia mérések kezdeményezhetők és információk szerezhetők e referencia mérésekről. Ezt a menüpontot sem kell a hallgatóknak használniuk.

1.4. A szabályozó szeleppel kapcsolatos alapfogalmak, definíciók

Az áramló folyadékok és gázok módosítására szabályozások esetén beavatkozó szerként döntően szabályozó szelepeket alkalmaznak. Néhány szempont az adott célra történő szelep kiválasztáshoz:

- szükség esetén agresszív közegekkel is alkalmazhatók legyenek, ez esetben rozsdamentes acélból készült tetlonbevonatu szelepek alkalmazása indokolt,
- a célnak megfelelő átaramlási keresztmetszettel, ill. névleges átmérővel (DN) rendelkezzenek,
- szükséges névleges nyomás értékek (NP) legyenek,
- zárt szelepekkel kis szivárgási árammal rendelkezzenek (kis szivárgási áram a zárótestnek a szeleptülékbe történő fémes becsiszolással érhető el, de ez jelentősen drágítja a szelep beszerzési árát),
- adott esetekben magas hőmérsékletű áramló közegek (pl. gázok) esetén is megfelelően működjenek,

- megfelelő tömítésűek legyenek,
 - az adott célnak megfelelő átfolyási jelleggörbéjük legyen (egygyakrabban alkalmazott jelleggörbe típusok: lineáris, exponenciális, más néven egyenlőszázalékos).
 - A szelepekkel kapcsolatos néhány fontosabb tényező definíciója:
 K^{v100} tényező: teljesen nyitott szabályozó szelepen áramló $5...30\text{ }^\circ\text{C}$ os hőmérséklet tartományú víz térfogat- $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$, vagy tömegáram $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$ értéke, amely 1 [bar] veszteségi nyomásesést hoz létre a szelepen. A K^{v100} tényező egy adott szabályozó szelepre vonatkozó érték.
 K^{vs} tényező szelep-szerűen vonatkozó átlagérték, amely egy adott szelep szeréhez tartozó szelepek K^{v100} tényezőiből számítható ki átlag számlí- tással az alábbiak szerint:
- $$K^{vs} = \frac{\sum_{i=1}^n (K^{v100})_i}{n} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \left[\frac{\text{h}}{\text{m}^3} \right]$$
- A szelep-szerű minden szelepe K^{v100} tényezőjének bele kell esnie $K^{vs} \pm 10\%$ intervallum sávba. A K^{vs} érték katalógus adat.
- Az angolszász országokban nem a K^{v100} tényezőt, hanem a C^{v100} tényezőt alkalmazzák. $\left[\frac{\text{USgallon}}{\text{min}} \right]$ C^{v100} és a K^{v100} tényező közötti kapcsolat:
- $$C^{v100} = 1.17 K^{v100} \text{ ill. } K^{v100} = 0.86 C^{v100}$$
- A K^{vr} tényező értékétől garantálják a szelepgyártó cégek a szelepek át- folyási jelleggörbéjének a menetét. A K^{vr} tényező értékét a katalógusok köz- vetetten adják meg. A katalógusok megadnak egy ún. *beállítási hányados* érté-

ket, pl. 50:1 alakban. Beállítási hányados-on, a $\frac{K_{vs}}{K_{vr}}$ hányados értéket kell ér-

teni. E hányadosból a K_{vs} ismeretében a K_{vr} számítható.

A szelepek méretezésénél az üzemi tartomány minimális értékét $K_{vmin} = 1.2K_{vr}$ -re, a maximális értékét lineáris jelleggörbéjű szelepeknél $K_{vmax} = 0.7K_{vs}$ -re, exponenciális jelleggörbéjű szelepeknél $K_{vmax} = 0.85K_{vs}$ -re célszerű választani.

A szelepátfolyási jelleggörbe fogalma: A szabályozó szelepen átáramló közeg térfogatáramának $Q_v \left[\frac{m^3}{h} \right]$ vagy $\left[\frac{l}{min} \right]$ ábrázolása a szelepszár H [mm], ill. zárótest elmozdulásának a függvényében. $Q_v = f(H)$ A szelepen átáramló közeg térfogatáramát, ill. tömegáramát jelentősen befolyásolja a szelep beme-

netén lévő nyomásérték!

Lineáris szelepeknél a szelep átfolyási jelleggörbe iránytangense adja a szelepnek, mint beavatkozó szervnek, az átviteli tényezőjét $[K_{va}]$, melynek a

$$\text{dimenziója: } \left[\frac{m^3/h}{mm} \right]$$

Az átviteli tényező indexében szereplő „Va” az angol valve (szelep) kezdő betű.

Exponenciális szelepeknél az átfolyási jelleggörbe adott munkapontjához hűzött érintő iránytangense adja az átviteli tényező értékét. (dimenziója megegyezik az előzőével) A feladatoknál az adott munkaponthoz viszonyított $\pm 10\%$ értékekből határozzuk meg az átviteli tényező értékét!

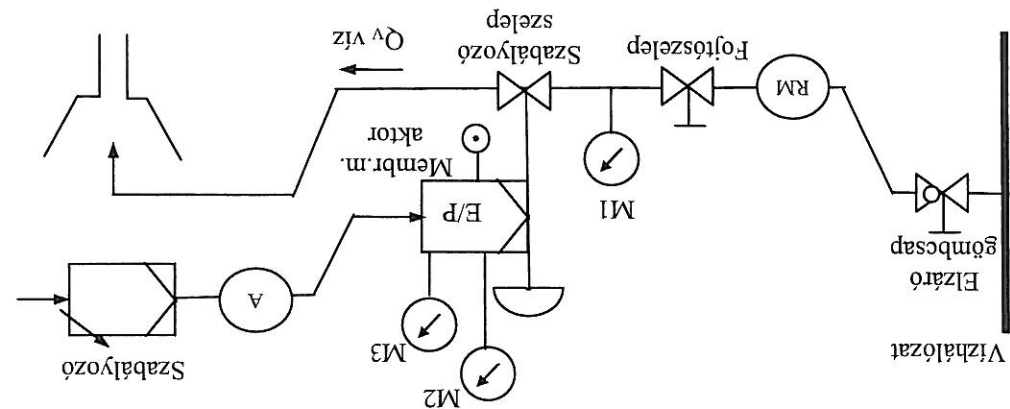
1.5. Az E/P jeláttevő és a membránmotoros végrehajtó szervtranszfer karakterisztikái és átviteli tényezői

Az E/P jeláttevő egység kimeneti- és bemeneti allandósult állapotbeli jeleinek koordináta rendszerben történő ábrázolása jelenti az E/P jeláttevő statikus jelleggörbéjét, más néven transzfer karakterisztikáját. A vizsgált aktor E/P jeláttevőjének a bemeneti villamos jeláttevőmánya 4..20mA, a kimeneti pneumatikus jeláttevőmánya 0.2..1 bar. A transzfer karakterisztika ez esetben egy egye-

nes, amelynek a meredeksége (iránytangense) jelenti az átviteli tényezőt $\left[K_{E/p} \right]$, a dimenziója $\left[\frac{\text{mA}}{\text{bar}} \right]$.

A membránmotoros végrehajtó szerv kimeneti- és bemeneti állandósuli állapotbeli jeleinek koordináta rendszerben történő ábrázolása jelenti a membránmotoros végrehajtó szerv statikus jellegzőgörbéjét (transzfer karakterisztikáját). A vizsgált aktor membránmotoros végrehajtó szervének a bemeneti pneumatikus feltartománya 0.2..1 bar. A membránmotoros végrehajtószerelv kimeneti jele a szelepszár elmozdulása (H), amelynek a tartományja 0...15 mm. A statikus jellegzőgörbe iránytangense jelenti a membránmotoros végrehajtószerelv átviteli tényezőjét $[K_{M.m}]$. Dimenziója: $\left[\frac{\text{mm}}{\text{bar}}\right]$ (M.m.: Membránmotoros a rövidebbé)

2. A vizsgált szervek jellemzőinek és jelleggörbéinek meghatározási módjai



3. ábra Az ellenvezérsi vázlat

Az elrendezési vázlaton használt rövidítések:

M1: a fűtőszelvény utáni víznyomást mérő manométer, amelynek a mérőstartománya: 0...10bar,

M2: a helyzelebeállító egység légnyomás beállító jelet (y: 0.2...1 bar

mérő manométer, amelynek a mérőstartománya: 0...1,6 bar,

M3: a helyzetbeállító egység levegő tápnyomását mérő manométer, amelynek a méréstartomány: 0...6 bar, RM: a szabályozó szelepen átaramló víz térfogatáramát mérő rotaméter, amelynek a méréstartománya: 0...2 m³/h, A: a helyzetbeállító vezető áramjelét (w) mérő táblaműszer, amely 0...20mA méréstartományú. Ezzel az összeállítással a 2.1...2.6 pontok jellemzői és jellegzőrbéi határozhatók meg:

A K^{v100} tényező meghatározása

Ebben az esetben a fojtószelep utáni M1 manométeren mért víznyomás értékét a fojtószelep állításával oly módon csökkentjük, hogy az a szabályozó szelep teljes nyitása esetén 1 bar legyen, és ekkor leolvassuk az RM rotaméteren átaramló vízmennyiség térfogatáram értékét, amely a K^{v100} értéket jelenti. Ellenőrizzé, hogy a víz hőmérséklete a K^{v100} definíciója szerinti 5...30°C tartományban van-e!

A szabályozó szelep átfolyási jellegzőrbéjének a meghatározása

Ebben az esetben első lépésként a szabályozó kézi üzemmódjában (M) a kimeneti áram értékét 4 mA-ra állítjuk, és leolvassuk a rotaméter által mutatott értéket. Ez esetben a zárótest a szeleptülékbe fekszik, tehát a szabályozószelep zárt állapotú, az RM rotaméteren nem áramlik víz (a nagyon kis szivárgási áram nem mérhető). Ezt követően 2mA-es lépésekkel növelve a szabályozó kimeneti áramértékét (ami természetesen a helyzetbeállító egység vezetőjelét jelenti), digitális tolmérővel lemérjük a szelepszár elmozdulásainak értékeit (H) mm-ben. Minden 2mA-es vezetőjel változás esetén a szabályozó szelep bemenei víznyomásának értékét a fojtószeleppel 2.5 bar értékre kell beállítani, és csak ezután olvasható le a rotaméteren a víz térfogatáram értéke (Q_v). Ezután az összetartozó H és Q_v értékpárokat $Q_v=f(H)$ ábrázoljuk egy koordináta rendszerben.

A szabályozó szelep átviteli tényezőjének a meghatározását: A feladatot az 1.4. pontban leírtak szerint kell elvégezni.

A helyzetbeállítóban üzemelő E/P jeláttevő transzfer karakterisztikájának a felvétele és az átviteli tényezőjének a meghatározása: A feladatot az 1.5 pontban leírtak szerint kell elvégezni.

A membránmotoros végrehajtószer transzfer karakterisztikájának a felvétele, és az átviteli tényezőjének a meghatározása: A feladatot az 1.5. pontban leírtak szerint kell elvégezni.

3. Feladatok

1. A szabályozót kézi üzemmódba (M) állítva, a 4...20 mA áramjelű végrehajtójelének (u_a) fokozatos növelésével vegye fel és diagramban ábrázolja az aktorban működő E/P jeláttevő transzfer karakterisztikáját, és számítsa ki a dimenziós alakban az átviteli tényezőjét! A koordináta rendszerben a független változót az u_a végrehajtójel képezze!
2. Vegye fel és ábrázolja diagramon a membránmotoros végrehajtószer statikus jelleggörbéjét (transzfer karakterisztikáját)! A jelleggörbe ismeretében számítsa ki a membránmotoros végrehajtószer átviteli tényezőjét! A dimenziós alakban!
3. Vegye fel és ábrázolja alapbeállításhoz lineáris jelleggörbe választással: szabályozó szelep átfolyási jelleggörbéjét, és számítsa ki a dimenziós alakú átviteli tényezőjét! A feladatot az 1.4. és a 2. pontokban leírtak szerint végezze!
4. Határozza meg a szabályozó szelep K_{v100} tényezőjét, és vizsgálja meg, hogy a kapott mérési eredménye a katalógus adat K_{vs} tényező $\pm 10\%$ érték intervallumában található-e! A vizsgálatban szereplő 3241 típusú szabályozó szelepnek a K_{vs} katalógus adata: $0,4 \frac{m^3}{h}$
5. A HART rendszerben üzemelő intelligens aktort kapcsolja online üzemmódba, azaz kapcsolja össze a kézi konfigurátorként üzemelő számító géppel! Ezután végezze el az aktor azonosítását! A jegyzőkönyvben az aktor minden részegységének 5-5 azonosítási adata szerepeljen!
6. Online üzemmódban a „Helyzetbeállító” menüpont „Jelleggörbe” nevű almenüpontjában állítsa egyenlőszázalékosra a jelleggörbe menetét! Hata-rozza meg és ábrázolja ezután a vezetőjel (w) és a szelepszár elmozdulá-(H) közötti összefüggést! A vezetőjel képezze a független változót, és a egyssége mA legyen! A szelepszár elmozdulást tolmérővel határozza meg és az egyssége [mm] legyen!

22. HŐMÉRSEKLETSZABÁLYOZÁS VIZSGÁLATA

HŐMÉRSEKLETSZABÁLYOZÁS VIZSGÁLATA

Igen gyakran szükség van a hőmérsekletemek valamilyen módon történő szabályozására. Az esetek nagy részében a hőmérseklelet egy bizonyos sávon belül kijelölt értéken kell tartani a különféle zavarások ellenében, más esetekben előírt időfüggvény szerint kell a hőmérsekleletet változtatni, vagy valamilyen másik mennyiség függvényében kell az előírásoknak megfelelő módon változtatni.

A hőmérsekletszabályozási rendszerek általában nagy időállandójú szabályozott szakaszokat tartalmaznak.

A vizsgálat során a programozható szabályozóval megvalósított hőmérsekletszabályozási rendszer működését ismerhetjük meg.

1. Elméleti alapok

A hőmérsekletszabályozások egyik legegyszerűbb változata az egyhuros szabályozás, amelynek a felépítése is egyszerű. A szabályozott szakasz ki-menetit jelet, a szabályozott jellemzőt, azaz a hőmérsekleletet annak értékeitől függően általában ellenálláshőmérős vagy hőelemes érzékelő méri. Az érzékelő kimeneti jele egy mV távadóba kerül. A mV távadó kimeneti jele, az ellenőrzőjel a programozható szabályozóba jut, amely a sokféle funkcion belül elvégzi az alapjelképzést, a különbségképzést, valamint a kívánt algoritmus szerinti jelformálást, mint az alapvetően fontos funkciókat. A szabályozó ki-menetit jele, a végrehajtó szervre jut, ami a vizsgált szabályozás esetében egy teljesítményerősítő áramkör. A végrehajtó szerv kimeneti jele, a beavatkozójel a beavatkozó szervre jut, ami egy villamos fűtőttest. A beavatkozó szerv kimeneti jele a módosított jellemző, ami a szabályozott szakasz bemeneti jele.

A szabályozott szakasz egy állandó áramlási sebességű levegővel hűtött villamos fűtésű fémtest, melynek módosított jellemzője a villamos fűtő-teljesítmény, legfontosabb zavaró jellemzője a rajta áthaladó levegő hűtése mi-atti hőmennyiség-vesztesség.

A vizsgált hőmérsekletszabályozás hatásvázlatának elkészítésekor célsze-rű egyrészt bizonyos szerveket egy tagba összevonni, másrészt bizonyos szer-veket több tagra bontani.

Ennek az eljárásnak a legfőbb oka az, hogy a valóságos szabályozásoknál a legtöbb esetben vagy egyáltalán nem lehet, vagy pedig nem célszertű bizonyos pontoknál hozzáférni.

Mind a gyakorlatban, mind a vizsgált hőmérseklétszabályozásnál általában csak az ellenőrzőjélhez és a végrehajtójélhez lehet hozzáférni. Ezen jelek villamos szabályozó alkalmazása esetén általában 0/4...20 mA tartományt egyenáramjellek.

A hőmérseklétszabályozásoknál a visszacsatolást a hőmérseklétérzékelők és a vele sorbakapcsolt mV távadó valósítja meg. A mV távadó jelkésleltetés még a kis időállandójú szakaszoknál is elhanyagolható, a hőmérseklétérzékelők jelkésleltetése azonban nagymértékben függ a szerkezeti kialakítástól, így különösen a kis időállandójú szakaszoknál kell nagy figyelmet fordítani a megfelelő érzékelő kiválasztására és beépítésére.

A végrehajtó szerv és a beavatkozó szerv jelkésleltetése is elhanyagolható a szokásos kialakítások esetén.

A szabályozott szakaszoknak a gyakorlatban általában nagy a jelkésleltetésük, a vizsgált szakasznak is nagyobb a jelkésleltetése, mint a többi szervé. Mivel a módosított jellemzőhöz hozzáférni (közvetlenül mérni, regisztrálni) általában vagy nem lehet, vagy nagy nehézségekbe ütközik, ezért a végrehajtó szervet, a beavatkozó szervet és a vele soros kapcsolatban lévő szabályozott szakaszt egy tagba célszerű összevonni. Ez a tag és a szabályozót jelölő tag alkotja a hőmérseklétszabályozási kör előrevvezető ágát.

A visszacsatolásban lévő tagok arányos jellegű tagok. Más jellegű tagokat alkalmazni nem is lehet, hiszen a szabályozás nem tudná célját megvalósítani!

A szabályozott szakasz átviteli függvényének a meghatározása nagy nehézségekbe ütközik, mivel a villamos fűtési fűttestben igen bonyolult termikus folyamat megy végbe. A hőközlésnek u. is mindhárom módja érvényesül: a hőszárazás, a hővezetés és a konvekció. A sugárzási sűrűség és a hőmérseklét között ráadásul erősen nemlineáris függvénykapcsolat van (Stefan-Boltzman törvény).

A nemlinearitáson túlmenően további problémát jelent az, hogy a villamos fűtési fűttest nem állandó paraméterű! A végrehajtó szerv és a beavatkozó szerv is általában nemlineáris.

A hőmérseklétszabályozás minőségi követelményeknek megfelelő működéséhez a szabályozót megfelelő típusúra kell kiválasztani, majd paramétereztetni az optimálisnak megfelelően beállítani. Ehhez azonban ismerni kell a szabályozott szakasz, ill. pontosabban az előrevvezető ágban lévő összes szerv ered

átviteli függvényét és a visszacsatolásban lévő tagok eredő átviteli függvényét is.

Az előzőekben ismertetett okok miatt az előrevezető ágban lévő tagok eredő átviteli függvényét meghatározni - legalábbis viszonylag egyszerűen - nem tudjuk.

A visszacsatolásban lévő tagok eredő átviteli függvényét meghatározni is csak akkor tudjuk, ha ismerjük mind a hőmérsekleterezékelő, mind a mV távadó statikus és dinamikus jellemzőit meghatározó paramétereit, és egytárolós arányos taggal való közelítést alkalmazunk.

Meghatározható ugyan a visszacsatolásban lévő tagcsoport közelítő átviteli függvénye az átmeneti függvény regisztrátumának felvételével, de a már összeállított hőmérsekletszabályozás esetében erre általában nincs mód!

Az előzőekben ismertetett problémák miatt a gyakorlatban általában csak arra van lehetőség, hogy a végrehajító szervet, a beavatkozó szervet, a szabályozott szakaszt, az érzékelőt és a távadót magába foglaló tagcsoport eredő átviteli függvényét próbáljuk valamilyen közelítőes módszerrel meghatározni, a tagcsoport eredő átmeneti függvényének felvétele alapján. Ennek a tagcsoportnak bemeneti jele a végrehajítójel, kimeneti jele az ellenőrzőjel, ezek éppen a szabályozó ki- ill. bemeneti jelei.

A tagcsoport eredő átmeneti függvényének regisztrátuma alapján meghatározható az eredő átviteli függvény valamelyik közelítő módszer szerinti közelítéssel.

A közelítő átviteli függvény felhasználásával a szabályozó kiválasztási és beállítási módszerei alkalmazhatók a megfelelő kompenzálás megvalósításához.

Ezen módszerek nagy része az egytárolós, holtidős arányos taggal való közelítés esetén ad javaslatot a megfelelő típusú szabályozó kiválasztásához és paramétereinek beállításához.

Az így beállított szabályozót tartalmazó hőmérsekletszabályozás működése több alapvető ok miatt lehet igazán optimális. Ezek az okok a következők:

1.) Az egytárolós, holtidős arányos taggal való közelítés csak igen "durván" közelíti a valóságos szakaszt (még lineáris esetben is).

2.) Ez az átviteli függvény tartalmazza a visszacsatolásban lévő tagokat is, márpedig a közelítőes módszerek merev visszacsatolást feltételeznek.

Az ebből származó eltérés annál nagyobb, minél kevésbé hanyagolható el a visszacsatolásban lévő tagok jelkésleltetése az előrevezető ág-

ban lévő tagokéhoz képest, és minél jobban tér el az 1-től a visszacsabatásban lévő tagok eredő átviteli tényezője.

3.) A nemlinearitások miatt a szabályozó kiválasztása és paraméterezéseinek beállítása csak a vizsgált munkapontra vonatkozik, tehát csak ott működik a szabályozás elfogadhatóan.

Minél nagyobb a nemlinearitás, ill. minél távolabb működtejük a szabályozást a vizsgált munkaponttól, annál kevésbé tekinthető "optimálisnak" a működés.

4.) A szabályozott szakasz változó paraméterei miatt is munkapontfüggő a szabályozó "optimális" beállítása.

5.) A vizsgált hőmérsekletszabályozásnál csak fűtés van, hűtés nincs ezért a fűtési periódusban a végrehajtójel értékétől függő mértékű fűtőteljesítménnyel fűt az állandó hűtés mellett, míg a másik periódusban csak a hűtés van, hűtés nincs, mivel a felhasználót beavatkozót szerv vagy fűt vagy nem fűt, de hűteni nem képes!

Emiatt a szabályozott jellemző pozitív és negatív fellengései nem szimmetrikusak. Ráadásul a hőszugárzás miatti hűtés minden egyes hőmérsekleti pontnál más- és más intenzitású még állandó környezeti hőmérsekleten felsorolt okok miatt a vizsgált hőmérsekletszabályozástó olyan eredményeket elvárnai, amelyek a lineáris szabályozási rendszerek vizsgálatánál tapasztalható, nem reális!

A szakaszz identifikációs feladatok elvégzésénél ügyelni kell a T_{HI} és T_{f} meghatározásakor, u. is ha a pontatlan meghatározás során T_{HI} -re túl kicsi s ennek megfelelően T_{f} -re viszonylag nagy értéket kapunk, akkor az ezek alapján beállított szabályozó-paraméterek közül az arányos átviteli tényezőre na gyobb, az integrálási időre pedig kisebb értéket kapunk, mint amekkora a szabályozás optimális működéséhez kellene.

Mivel az arányos átviteli tényező növelese, ill. az integrálási idő csökkenése külön-külön is növeli a szabályozás lengéshajlamát, belátható, hogy az előzőek szerinti együttes változások (a PI és a PID szabályozók esetén) a szabályozás lengéshajlamát fokozottan növeli!

A szabályozás optimális működéséhez szükséges megállapítani az alapjelnek azt az értékét, mellyel a szabályozást a feladatoknál kijelölt munka pontban működtehetjük.

Ehhez az ellenőrzőjel és a végrehajtójel értékét, a szabályozott szakaszt is tartalmazó tagcsoport átviteli tényezőjének értékét, valamint azt kell ismer-nünk, hogy 0 típusú (P vagy PD szabályozót tartalmazó) vagy 1 típusú (I, PI vagy PID szabályozót tartalmazó) szabályozást állítunk össze.

Emlékeztetőül: 0 típusú szabályozás esetén a hibajel állandósult állapot-beli értéke 0-tól különböző értékű, 1 típusú szabályozásnál pedig 0, és ez a hi-bajel az adott szabályozás működését állandósult állapotban is fenntartja!

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

A vizsgálatokat az erre a célra összeállított berendezés segítségével lehet elvégezni. A berendezés tartalmaz egy programozható szabályozót, egy Pt 100-as ellenálláshőmérőt, mint érzékelőt, egy mV távadót, a végrehajtót és a beavat-kozó szerivel ellátott szabályozott szakaszt, az egyes egységek működéséhez szükséges tápegységeket és a zavartást megvalósító ventilátort.

Ezen egységek közül csak azok találhatók a berendezés előlapján, me-lyek a vizsgálatok elvégzése szempontjából szükségesek. Ugyanez vonatkozik az egyes egységek be- és kimeneti kapcsolataira is.

A szabályozott szakaszra adható zavarás a ventilátor megnövelt teljesít-ményével valósítható meg, mely az előlapon lévő kapcsolóval működtehető.

A programozható szabályozót a feladatoknak megfelelően konfigurálni kell! A helyesen kiválasztott konfiguráló kódok ill. a paraméterező szinten he-lyesen beállított paraméterek mellett a programozható szabályozót a működte-tő Iyesen beállított paraméterek mellett a programozható már alkalmas a feladatok szerinti műkö-désre.

A feladatok úgy vannak összeállítva, hogy mind a programozható szaba-lyozó működteését, mind annak és a hőmérseklétszabályozásnak működését is megismerjék a hallgatók.

A vizsgálatnál felhasználható szabályozó az ABB DigiTric 100 típusú szabályozó, melynek leírása a „Programozható villamos szabályozó vizsgálat” című fejezetben található.

Az átmeneti függvényeket X-Y regisztrálással lehet felvenni. A regisztrá-ló előtolási sebességét (X csatorna) és érzékenységet (Y csatorna) úgy kell be-állítani, hogy könnyen kiértékelhető regisztrátumokat kaphassunk.

Mivel nemlineáris rendszert vizsgálunk, így mindig az adott munkapont-ban működteített rendszerrel végezzük el a vizsgálatokat, a munkaponti lineárizálásnak megfelelő módon.

Ez azt jelenti, hogy az adott munkaponti végrehajtójelét ugrás-szerűen megváltoztatjuk, úgyelve arra, hogy az 1. pontban leírtaknak minél jobban megfeleljen, tehát túl nagy ugrást ne alkalmazzunk, u.is minél nagyobb az ugrás amplitúdója, annál jobban elítéljük az adott munkaponttól. A túl kis amplitúdójú ugrásjel alkalmazása során viszont nagyon nehezen kiértékelhető átmeneti függvényt kapunk, amin az érzékenység növelése sem segít. Az egyedüli megoldás a kompromisszum; ennek megfelelően 10%-nál nagyobb ugrásjelet alkalmazni nem célszerű!

Arra is ügyelni kell, hogy a megfelelő érzékenység beállításál – különösen a nagyobb végrehajtójú munkapontoknál – a regisztrálónak a maximális kitérésnél nagyobb értékre kellene beállnia és emiatt az „levágja” az átmeneti függvény nagy részét. Ez úgy kerülhető el, hogy eltoljuk az Y csatorna 0 pontját megfelelően beállított offszet feszültséggel.

3. Feladatok

A programozható szabályozó konfigurálása és paraméterezése

1. Konfigurálja a szabályozót a következőknek megfelelően:
 - az ellenőrzőjel: 0...20 mA, lineáris,
 - a végrehajtójel: 0...20 mA,
 - belső alapjel,
 - kézi/automatikus üzemmód,
 - a szabályozó: folytonos, egyhurkú, P típusú legyen!
2. Paraméterezze a szabályozót a következőknek megfelelően:
 - a P szabályozó arányos átviteli tényezője = 1 legyen!

A beállítások mindig az adott feladathoz illeszkedjenek, és minden beállítást írjon le!

Szakasz-identifikálás és a szabályozási kör vizsgálata

1. A szabályozót állítsa kézi üzemmódba, és az oktató által kijelölt 2 munka-ponthoz tartozó végrehajtójelével vegye fel a szakaszt is tartalmazó tagcsoporthoz tartozó átmeneti függvényét az ellenőrzőjelnek az X-Y regisztrálóra való regisztrálásával!
- Az ellenőrzőjel az alsó határértéket nem mindig érheti el, mivel azt a környezeti hőmérséklet szabja meg!

2. a) A felvett regisztrátumok alapján határozza meg mind a 2 munkapontban a tagcsoport közeli átviteli függvényét és annak paramétereit egytárolós, hőtárolós arányos taggal való közelítéssel!
- b) Indokolja a kapott eredményeket!
3. a) Rajzolja le az összevont hatásvázlatot, és mind a 2 munkapontnál meghatározott értékek felhasználásával jelölje be az ellenőrzőjel és a végrehajtójel értékeit!
- b) 0 típusú szabályozást (P vagy PD szabályozó) feltételezve, az arányos átviteli tényező $= 2$ értékénél az előzőek alapján határozza meg mind a 2 munkapont esetén először a rendelkezőjel, majd az alapjel azon értékét, amely a vizsgált munkapontbeli működéshez kellene állandósult állapotban!
- c) Határozza meg, hogy az előzőleg vizsgált esetekben mekkora lehet az alapjel legnagyobb értéke, amelynél a végrehajtójel állandósult állapotbeli értéke nem haladja meg a 100%-ot!
- d) 1 típusú szabályozást (PI vagy PID szabályozó) feltételezve határozza meg mind a 2 munkapont esetén először a rendelkezőjel, majd az alapjel azon értékét, amely a vizsgált munkapontbeli működéshez kellene.
- e) Határozza meg, hogy az előzőleg vizsgált esetekben mekkora lehet az alapjel legnagyobb értéke, amelynél a végrehajtójel állandósult állapotbeli értéke nem haladja meg a 100%-ot!
- f) Az eredményeket foglalja táblázatba, és indokolja a változásokat!

A szabályozó optimális beállítása, minőségvizsgálat

1. A szakasz-identifikálás során meghatározott paraméterek alapján mind a 2 munkapontnál válassza ki a megfelelő típusú szabályozót az F.Piwinger módszer alapján, majd határozza meg mind a 2 esetben az optimális szabályozó paramétereit a W.Oppelt ajánlások szerint!
2. A szabályozónak az előző feladatban meghatározott paraméterei felhasználásával mind a 2 munkapontban határozza meg az alapjel azon értékét, amely a vizsgált munkapontbeli működéshez kell állandósult állapotban!
3. A szabályozót állítsa automatikus üzemmódba, konfigurálja és paraméterezze az októrtó által kijelölt munkapontnál meghatározott adatok alapján, majd vegye fel a szabályozási kör eredő átmeneti függvényét X-Y regisztrátóval! Az alapjellet arra az értékre állítsa, amelynél a szabályozás ugyanebben a munkapontban működik állandósult állapotban!
4. Az előző pontban vizsgált szabályozásnál vegye fel a szabályozási kör eredő átmeneti függvényének változását úgy, hogy zavarást ad a körre!

A zavarás előtt a szabályozás legyen az adott munkapontban állandósult állapotban, azaz ez a feladat közvetlenül elvégezhető az előző feladat folytatásaként!

5. A felvett átmeneti függvény alapján határozza meg:

- az állandósult állapotbeli hiba értékét (a zavarásnál is!);
- a csúcsidő,
- a maximális túllendülés,
- a szabályozási idő,
- a lengésszám értékét $\pm 5\%$ -os dinamikus hibásáv esetén!

6. Konfigurálja és paraméterezze a szabályozót az önoptimalizáláshoz, futtassa le az önoptimalizálást a 3. pontnál vizsgált munkapontban, majd ennek eredményei alapján értelmezően végezze el a 3., a 4. és az 5. feladatot! Hasonlítsa össze a kétféle módszerrel kapott eredmények alapján!

23. VIZES OLDATOK VILLAMOS VEZETŐKÉPESSÉGÉNEK MÉRÉSI MÓDSZEREI

A savak, lúgok (bázisok) és sok vizes oldat mind a természetben (az élővilágban is), mind pedig a különféle technológiáknál megtalálhatók. A vizes oldatokban lévő anyagok koncentrációjának meghatározására többféle módszer és eszköz alkalmazható. Az egyik elterjedt módszer az oldatok villamos vezetőképességének mérésén alapuló koncentrációmérés.

A vizsgálatok egyik célja ennek megismerése, másik célja pedig a titrálás útján való koncentráció-meghatározás elvégzése.

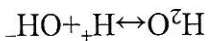
1. Elméleti alapok

A vizes oldatok villamos vezetőképessége mérésének részletes leírása a Nemvillamos mennyiségek mérése című jegyzetben (BMF KVK 2020) található meg. Ebben a mérés elvi alapjain túlmenően a méréstechnikai problémák, azok megoldásai és a mérőeszközök (elektrodok, mérőcellák, műszerek, távadók) ismertetése is megtalálható.

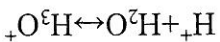
A vizes oldatok villamos vezetőképességének mérése annak alapján lehetséges, hogy a vízben lévő molekulák egy része ionokra, villamos töltésű részecskékre bomlik.

Még a kémiaiilag tiszta víz elektromosan semleges molekuláinak egy része is ionokra bomlik, elektrolitisan disszociál.

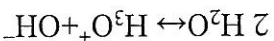
Egy vízmolekula egy pozitív töltésű hidrogénionra és egy negatív töltésű hidroxidionra bomlik:



A hidrogénion azonban egy vízmolekulával egyesülve hidroxóniumionhoz létre.



Ennek megfelelően az elektrolitos disszociáció a következő reakció-egyenlettel írható le:



A reakcióegyenletekből látható, hogy a folyamat mindkét irányban végbe mehét, tehát megfordítható (reverzibilis). Egy bizonyos idő alatt statisztikai lag ugyanannyi vízmolekula bomlik ionjaira, mint amennyi ionpár egyesül molekulává állandó hőmérséklet és nyomás esetén. Ez a disszociációs egyensúlyi állapot.

Fontos megemlíteni, hogy a vízmolekulák koncentrációja sokkal nagyobb, mint az ionoké!

Ha a vízben más, oldott állapotban lévő anyag is van, az ionok mennyisége megnövekszik.

A tapasztalat azt mutatja, hogy az egyes anyagok molekulái nem azonos mértékben bomlanak ionjaira, tehát a disszociáció foka különböző mértékű. A vizes oldatokban oldott állapotban lévő anyagok koncentrációjától függ az oldatban lévő ionok száma.

Mivel az ionok töltéshordozók, a koncentrációmérés villamos módszerrel megoldható.

Ha az oldatba két elektródot helyeznek el, és ezeket egy állandó értéket egyenlősszültséget adó feszültségforrással kötik, az áram nagysága az ionok mennyiségétől, és így a koncentrációtól függ.

$$G = K \frac{A_{eff}}{l_{eff}}$$

ahol A_{eff} : az elektródok egymással szemben álló effektív felülete, mely a geometriai felületnél lényegesen nagyobb,

l_{eff} : az elektródok effektív távolsága, ami szintén eltér a geometriai méretekétől,

K: a fajlagos villamos vezetőképesség, egysége az 1 S/m [Siemens per méter].

Az adatok villamos vezetőképessége függ:

- az anyagi minőségtől,
- az összetételtől,
- a koncentrációtól,
- a disszociáció fokától,
- az ionok vándorlási sebességétől,
- a hőmérséklettől.

Ezek alapján belátható, hogy a koncentrációmérés a villamos vezetőképesség mérésével nem egyszerű feladat!

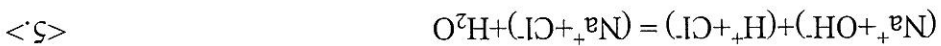
A méréstechnikai problémák részletezése túllép e jegyzet keretein!

A titrálás olyan eljárás, amellyel ismert anyagi minőségű, de ismeretlen koncentrációjú oldat koncentrációja határozható meg. A titrálásnak több fajtája van, ebben az esetben a közömbösítési eljárást folytatjuk le, a vezetőképesség mérésével kombinálva.

A sav-lúg titrálás során, ha pl. egy lúg anyagi minősége ismert, de koncentrációja ismeretlen, egy ismert anyagi minőségű és koncentrációjú sav megfelelően adagolt titrogatásának hozzáadagolása során az adagolt sav titrogatásának függvényében a vizsgált oldat villamos vezetőképessége először csökken, majd egy pontban eléri a minimumot, utána pedig növekszik.

Ez a minimum az ekvivalencia pont, ahol a sav teljesen közömbösíti a lúgot, és az így keletkezett só vizes oldatát kapjuk. A sav ezen titrogata a közömbösítési titrogat.

Ha pl. NaOH oldatot titrálunk HCl oldattal (mindkét oldat vizes oldat), akkor a következő kémiai reakció zajlik le (figyelembe véve az elektrolitot disszociációt és annak az anyagi minőségtől való függését):



<5.>

A titrálás során az OH⁻ ionok helyett a vezetést egyre inkább a Cl⁻ ionok veszik át, mivel a H⁺ és az OH⁻ ionokból vízmolekula (H₂O) lesz. A Cl⁻ ionok mozgékonyasága azonban kisebb, mint az OH⁻ ionoké, ezért az ekvivalencia pont fele haladva az oldat villamos vezetőképessége egyre csökken. A titrálás folytatása során az oldatba kerülő HCl molekulák elektrolitot disszociációja révén létrejövő további H⁺ ionok már nem találhatnak OH⁻ ionokat, amelyekkel vízmolekulákka egyesülhetnek, ráadásul a H⁺ ionok mozgékonyasága is nagyobb, másrésztől további Cl⁻ ionok is kerülnek az oldatba az elektrolitot disszociáció miatt, így az oldat villamos vezetőképessége az ekvivalencia pont után egyre növekszik. A titrálás során egyedül a Na⁺ ionok mennyisége marad változatlan.

A titrálásnál a mérés pontatlansága csökkenthető, ha a vizsgálandó oldatot nagy titrogatásra (tehát kis koncentrációjúra) hígítjuk, a titráló oldatot pedig nagy koncentrációjú oldatként adagoljuk hozzá, ugyanis így csak kis titrogatási oldat kell, és így a titrált oldat összetitrogata csak kis mértékben nő, azaz az eredeti koncentrációja a titrálással együtt járó beavatkozással csak kevésbé változik meg!

Ha egy sav vagy lúg titrogatást és koncentrációját is ismerjük, a titrálás során kapott közömbösítési titrogat ismeretében a reakcióegyenlet felhasználásával meghatározhatjuk a vizsgálandó oldat koncentrációját.

A koncentráció (c) többféle módon definiálható, a mérés során az oldat egyégsnyí térfogatában (V) lévő anyag tömegével (m) definiált koncentrációi használjuk, a 2. összefüggés szerint, mg/ml egységben.

$$c = \frac{m}{V}$$

A mérésnél felhasznált anyagokban (lúg, sav, só) lévő elemek atomtömegének kerekített mérőszáma:

H: 1
O: 16
Na: 23
Cl: 35,5

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

A villamos vezetőképesség mérésére alkalmas berendezés villamos vezetőképességet és pH-t is képes mérni a megfelelő elektrodok segítségével.

A műszer digitális kijelzésű, egyszerűen kezelhető.
A villamos vezetőképesség mérésénél a mérési tartomány 3 részre van felosztva, a felső méréshatárok: 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2mS/cm és 20mS/cm, mely a műszer jobboldali felső részén lévő fokozatkapcsolójával választható ki. A 4. állás: a pH mérést teszi lehetővé! A tényleges mérés a **MEAS./STD.BY** nyomógombbal mérésnél szűkséges kalibráláshoz kell!

A műszerhez csatlakoztatni kell az elektrodokat tartalmazó mérőcellát. A mérőcellát rögzíteni kell az állványára, és a mérés során ügyelni kell arra, hogy a mérendő oldat mindig ellepje az elektrodokat!

A méréseknél használható mérleg egy digitális kijelzésű precíziós mérleg, mely a **Zero On** nyomógombbal tárazható. Ügyelni kell arra, hogy tömegegységben [g] jelezzzen ki a mérleg, mely a **Mode Off** nyomógomb egy másik utáni megnyomásával választható ki.

A hőmérőket növeledéshez egy 2 fűtőlappos villamos fűtőt, a hőmérséklet méréséhez egy folyadéktöltésű hőmérő áll rendelkezésünkre (a villamos fűtőt test teljesítménye állítható).

Az oldatok keverését egy mágneses keverővel végezhetjük. A mágneses keverőhöz tartozó, műanyag bevonatú kis keverőpálcát a vizsgált oldatot tartalmazó mérőpohárba kell tenni, ezt pedig a mágneses keverő tetejére. A keverőpálcát fordulatszámra a mágneses keverő elölápján lévő forgatógombbal állítható be a kívánt mértékűre.

A titrálható oldat tartalmát pipettával (lényegében egy térfogategység skálázású vékony, egyenes üvegcső) kell kimérni (pipettázás)!

A titrálást a bűrettá (felül kis tölcserő tartalmazó, térfogategység beosztással, függőleges állású egyenes üvegcső, melynek alján üvegcsap van) segítségével kell elvégezni! A bűrettá az állványra kell rögzíteni!

A mérőpoharak egy részén is térfogategység beosztás található.

A méréséhez szükséges sav, lúg, só és desztillált víz jelzésekkel ellátott üvegekben található.

A mérések során a mérőcellát desztillált vízzel kell átöblíteni, mert az elektrodokon kívált anyagok nagymértékben megzavarják a méréseket!

Ugyancsak mosni kell a mérőpoharakat is a mérések előtt!

A villamos vezetőképességet mindig a már nyugalomban lévő oldatnál szabad mérni, keverés közben sohasem!

3. Feladatok

1. Mérje meg a desztillált víz és a hideg csapvíz hőmérsékletét és villamos vezetőképességét!
- Az eredményeket foglalja táblázatba! A ν hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$ -ban a κ villamos vezetőképesség mS/cm egységben legyen megadva!
2. Méréssel vegye fel a koncentráció – villamos vezetőképesség karakterisztikát!
- a) Ehhez a mérőpohárba mérjen ki 200 ml desztillált vizet, majd 0,1 g-onként mérjen ki NaCl-ot (konyhasót), és tegye a desztillált vízbe! Minden adag után az oldatot jól keverje meg a magneses keverővel, és csak utána mérje meg az oldat villamos vezetőképességét! A mérést 13 pontban végezze el (az első pont még a só nélküli legyen)!
- b) Minden egyes pontnál számítsa ki a 2. összeftűgges szerinti koncentrációt, majd a papíron ábrázolja a koncentráció – villamos vezetőképesség karakterisztikát! Az abszcissza tengelyen a c koncentráció mg/ml egységben, az ordináta tengelyen a κ villamos vezetőképesség mS/cm egységben legyen felvéve!
- c) Határozza meg a koncentráció – villamos vezetőképesség karakterisztika alapján a karakterisztikát közeliitő egyenes egyenletét, azaz a $\kappa = f(c)$ ftűgvenyt!
3. Méréssel vegye fel a hőmérséklet – villamos vezetőképesség karakterisztikát!

- a) Ehhez a mérőpohárba mérjen ki 200 ml hideg csapvizet és tegyen bele annyi NaCl-ot, hogy a jó keverés után mért villamos vezetőképesség a műszer felső méréshatárához közeli értékű legyen, de azt semmiképpen ne érje el (pl. 60%-át)!
- A mérőpoharat tegye a villamos fűtőtestre, és melegítse az oldatot! A hőmérsékletnek kb. 5°C-onkénti növekedésével mérje meg az oldatot villamos vezetőképességet, 60°C-ig melegítve az oldatot!
- b) A mérés során kapott értékeket táblázat elkészítése nélkül azonnal ábrázolja mm papíron! Az abszcissza tengelyen a ν hőmérséklet °C egységben, az ordináta tengelyen a κ villamos vezetőképesség mS/cm egységben legyen felvéve!
- c) Értékelje a mérés során kapott eredményeket!
4. Végezzen sav-lúg titrálást!
- a) Ehhez először pipettával mérjen ki 5 ml NaOH lúgot a főzőpohárba, majd annyi desztillált vizet öntsön hozzá, hogy a főzőpohárban 200 ml oldat legyen!
- Ezután töltse fel a bűrettát az ismert koncentrációjú HCl savval! Végezze el a titrálást, ügyelve egyrészt arra, hogy az adagolást követően mindig jól keverje meg az oldatot a mágneses keverővel, másrészt arra, hogy csak a már nyugalmomban lévő oldatnál mérje meg annak villamos vezetőképességet!
- b) A mérés során kapott értékeket táblázat elkészítése nélkül azonnal ábrázolja mm papíron! Az abszcissza tengelyen a V térfogat ml egységben, az ordináta tengelyen a κ villamos vezetőképesség mS/cm egységben legyen felvéve!
- c) Ismétlje meg az a) pontbeli feladatot 2-szer azzal a különbséggel, hogy egyrészt csak a közömbösítési térfogat környezetében mér, másrészt finomítja az adagolást!
- d) Ismétlje meg a b) pontbeli feladatot ugyanabban a koordináta rendszerben való ábrázolással!
- e) A c) és d) pontban elvégzett feladatok alapján határozza meg a 2 közömbösítési térfogatot (a mérési eredmények szórása miatt nem kapjuk ugyanazt az értéket!) és a 2 közömbösítési térfogat átlagát!
5. Határozza meg az NaOH lúg eredeti koncentrációját a reakcióegyenlet, az atomtömegek, a koncentráció definíciója és az átlagos közömbösítési térfogat ismeretében!

24. VIZES OLDATOK PH MÉRÉSI MÓDSZEREI

Az élővilágban (pl. környezetvédelem, gyógyszerászat stb.) és a különféle technológiáknál (élelmiszeripar, gyógyszeripar, vegyipar stb.) sokféle sav, lúg és egyéb oldat koncentrációját kell megmérni. A koncentráció mérésére többféle módszer és eszköz használható. Az egyik elterjedt módszer a pH mérésen alapuló koncentrációmérés.

A vizsgálatok célja ennek a megismerése és elcsatározása, valamint a titrálás alkalmazása.

1. Elméleti alapok

A pH mérés részletes leírása a Nemvilamos mennyiségek mérése című jegyzetben (BMF KVK-2020) található meg. Ebben a mérés elvi alapjain túlmenően a méréstechnikai problémák, azok megoldásai és a mérőeszközök (elektrodok, mérőcellák, műszerek, távadók, puffert oldatok) ismertetése is megtalálható.

A pH definícióját Sørensen dan fizikus javaslatára a következő összeállítás adja meg:

$$pH = -\lg c_{H^+}$$

ahol: c_{H^+} : a hidrogénionok koncentrációja.

A pH érték az oldatok savasságának, ill. lúgosságának mértékét adja meg.

A kémiaiilag semleges vízben a hidrogénionok és a hiroxililionok koncentrációja ugyanakkora, 10^{-7} mol/dm³, melynek pH értéke 7.

Bizonyos elektrodok – a mérőelektrodok – hidrogénion koncentrációjától (is) függő potenciált szolgáltatnak. Mivel a potenciál önmagában nem mérhető, hanem csak a potenciálkülönbség, összehasonlító (referencia) elektrodra is szükség van. A referencia elektrodok potenciálja nem (vagy csak igen kevésbé) függ a hidrogénion koncentrációjától.

A pH méréshez tehát szükség van egy mérőelektrodra (üvegelektrod, témelektrod), egy referencia elektrodra (kalomelektrod, ezüst/ezüstklorid elektrod) és – mivel a hőmérséklet befolyásolja a mérés pontosságát – egy hőmérsékletérzékelőre. (Vannak kombinált elektrodok is!)

2. Vizsgálati módszerek és eszközök

Mivel a pH mérés sem abszolút mérés, a pH mérő kalibrálásához szükség van ún. puffer oldatokra, amelyek állandó pH értékű oldatok. A pH mérésnek is sok méréstechnikai problémája van, de ezek ismertetéséül lép e jegyzet keretein!

A titrálás leírása a Vizes oldatok villamos vezetőképességének mérésé című fejezetben található meg.

Há egy ismert anyagi minőségű lúg koncentrációját akarjuk meghatározni pH méréssel kombinált titrálással, akkor az ismert anyagi minőségű és koncentrációjú sav adagolt titrogatásának hozzáadása során az adagolt sav függvényében a vizsgált oldatnál először a lúgos jellegű, 14...7 pH tartományon belüli csökkenő pH értékeket mérünk. Amikor a sav a lúgot közömbösítette, akkor a pH értéke 7 lesz, ez az ekvivalencia pont. A titrálás folytatása során már savas jellegű lesz a vizsgált oldat, és ekkor a 7...0 pH tartományon belüli, egyre csökkenő pH értékeket kapunk.

Há az adagolt titrogat függvényében ábrázoljuk a pH értékeket, olyan karakterisztikát kapunk, amelynél a pH érték először egyre jobban csökken, majd az ekvivalencia pontnál – ahol a sav közömbösítési titrogata van – inflexiós pontja van a karakterisztikának, ezután pedig a pH értékek egyre kevésbé csökkennek. A $pH=f(V)$ függvény inflexiós pontja tehát megadja nekünk a közömbösítési titrogatot (itt $pH=7$)!

A közömbösítési titrogat, a lúg anyagi minősége, a sav anyagi minősége és koncentrációja, valamint a reakcióegyenleg alapján meghatározhatjuk a vizsgálandó oldat (lúg) eredeti koncentrációját.

A pH méréshez a Vizes oldatok villamos vezetőképességének mérésé című fejezetben leírt mérőműszer használható, azzal a különbséggel, hogy a műszer pH-mérő üzemmódban kell használni, a műszerhez csatlakoztatott kombinált elektródot tartalmazó mérőcellával együtt.

A pH-mérő műszer kalibrálásához (a CAL, pH7 forgatógombbal) szükséges puffer oldatokon kívül a többi berendezés, eszköz, oldat a Vizes oldatok villamos vezetőképességének mérésé c. fejezetben került ismertetésre. Ugyan ott található a mérés során betartandó előírások és egyéb információk is!

Az ekvivalencia pont környékén igen kicsi sav-titrogatváltozás is igen nagy pH változást okozhat, ezért a pontos mérés nehéz. Emiatt a 7-es pH értékel környezetében célszerű finomítani az adagolást!

3. Feladatok

1. Mérje meg a desztillált víz, a hideg csapvíz, az NaOH lúg és a HCl sav hőmérsékletét és pH értékét ebben a sorrendben!
Mindannyian mérjék előt a pH értékükhöz legközelebbi pH értékű pufferoldattal végezze el a pH-mérő műszer kalibrálását!
A kalibrálásához felhasználja a puffer oldatokat és a saját edényükbe öntse vissza! Ne feledkezze meg a mérőcellának a mérések előtti mosásáról sem!
A hőmérséklet, a puffer oldatok és a vizsgált oldatok mért pH értékeit foglalja táblázatba! A hőmérséklet °C egységben legyen megadva!
2. Mérjék meg a hőmérséklet – pH karakterisztikát!
a) Ehhez az 1. pontban utoljára vizsgált HCl oldatot használja!

A viszonylag pontos pH mérés – mivel nem abszolút mérés – csak a pH-mérő műszer megfelelő kalibrálása után valósítható meg. A kalibrálást mindig úgy kell elvégezni, hogy a vizsgált oldat pH értékéhez legközelebbi pH értékű pufferoldatot használjuk! Minél nagyobb e két pH érték közti eltérés, annál nagyobb lesz a mérési hiba.

Az is fontos, hogy a különféle oldatokban való mérés előtt mindig le kell mosni desztillált vízzel a mérő és a referencia elektrodokat tartalmazó mérőcellát, mivel az elektrodokon kívált anyagok megzavarhatják a mérést! A mérések pontosságát nagymértékben befolyásolja a mérő- és a referencia elektrodok állapotai!

A leggyakrabban alkalmazott mérő elektrod az üvegelektrod, melyet védeni kell a kiszáradástól. Ha hosszú ideig nem használjuk az üvegelektrodot, a méréshez elő kell készíteni. Ehhez először 0,1n HCl oldatban kell 24 órán keresztül áztatni, majd desztillált vízzel lemosni. Ezután desztillált vízben 1-2 napig kell még áztatni ahhoz, hogy az üveg „megduzzadjon”, ami előfeltétele a mérésnek.

A leggyakrabban alkalmazott referencia elektrodok egyike a kalomel-elektrod. Ennél arra kell vigyázni, hogy mindig megfelelő mennyiségű és teltett állapotú KCl oldat legyen benne. Mivel a KCl oldat – ha igen kis mennyiségben is – állandóan áramlik a kalomel elektrodból, ezt időnként utántöltéssel pótolni kell!

A pH-t mindig a már nyugalomban lévő oldatnál szabad mérni, keverés közben sohasem!

A mérőpoharat tegye a villamos fűtőtestre, és melegítse az oldatot! A hőmérsékletnek kb. 5°C-onkénti növekedésénél mérje meg az oldat pH értékét, 60°C-ig melegítve az oldatot!

b) A mérés során kapott értékeket táblázat elkészítése nélkül azonnal ábrázolja mm papíron! Az abszcissza tengelyen a t hőmérséklet °C egyébsében, az ordináta tengelyen a pH legyen felvéve!

c) Értékelje a mérés során kapott eredményeket!

3. Méréssel vegye fel a koncentráció – pH karakterisztikát!

a) Ehhez először kalibrálja a pH-mérő műszert a HCl savhoz!

b) Pipettával mérjen ki 60 ml HCl savat a főzőpohárba, majd 20 ml-enkénti adagolással öntsön desztillált vizet a mérőpohárba addig, amíg a teljes térfogat el nem éri a 200 ml-t! Minden adagolás után jól keverje el a mágneses keverővel az oldatot, és csak ezután mérje meg az oldat pH értékét!

c) Minden egyes adagolásnál számítsa ki a HCl oldat koncentrációját, majd mm papíron ábrázolja a koncentráció – pH karakterisztikát! Az abszcissza tengelyen a c koncentráció mg/ml egyébsében, az ordináta tengelyen a pH legyen felvéve!

d) Értékelje a mérés során kapott eredményeket!

4. Végezzen sav-lúg titrálást!

a) Először kalibrálja a pH-mérő műszert az NaOH lúghoz!

b) Pipettával mérjen ki 5 ml NaOH lúgot a főzőpohárba, majd annyi desztillált vizet öntsön hozzá, hogy a főzőpohárban 200 ml oldat legyen!

Ezután tölts fel a bűrtét az ismert koncentrációjú HCl savval!

c) Mérje meg a főzőpohárban lévő NaOH oldat pH értékét, majd az ehhez legközelebbi pH értékű pufferoldattal kalibrálja a pH-mérő műszert!

d) Kezdje el a titrálást, ügyelve a keverésre, és arra, hogy csak a már nyomában lévő oldatnál mérje meg annak pH értékét!

e) Amikor a titrálás során közel kerül a 7-es értékhez, kalibrálja a pH-mérő műszert az ehhez legközelebbi pH értékű pufferoldattal!

Csökkenesse a HCl oldat adagjait minél kisebbre, hogy annál pontosabban lehessen a 7-es pH értéket elérni, és ezzel a közömbösítési térfogatot meghatározni!

f) Folytassa a titrálást a 6...5 pH értékig, az eredeti adagolással!

g) A mérés során kapott értékeket táblázat elkészítése nélkül azonnal ábrázolja mm papíron! Az abszcissza tengelyen a V térfogat ml egyébsében, az ordináta tengelyen a pH legyen felvéve!

h) Határozza meg a közömbösítési térfogatot, majd ennek, valamint a reakcióegyenlet, az atomtömegek és a koncentráció definíciójának ismerete alapján határozza meg az NaOH lúg eredeti koncentrációját!