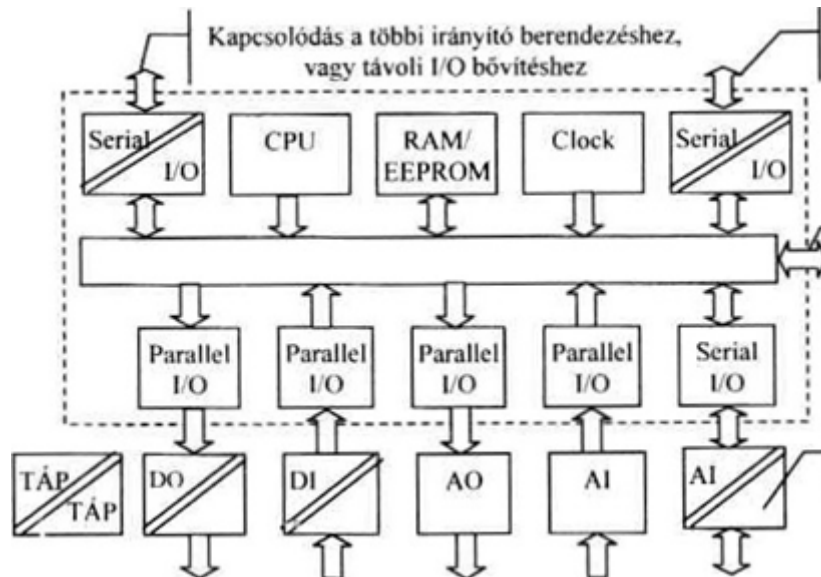


1. Ismertesse a mikroprocesszor alapú irányító berendezések csoportosítását, és alkalmazási területeiket! Ismertesse a Programozható Logikai Vezérlők definícióját és kiviteli formáit!

1.1. A mikroprocesszor alapú irányító berendezések

Hagyományosan az irányító berendezéseket segédenergiájuk alapján is csoportosítják. Ennek megfelelően vannak mechanikus, pneumatikus, és villamos irányító rendszerek. A villamos irányító berendezéseket elektromechanikus (relés), huzalozott elektronikájú, és mikroprocesszor alapú (programozható) típusokra osztják fel. Napjainkban, ahol csak lehet, programozható irányító berendezéseket alkalmaznak. A mikroprocesszor



1. ábra. A mikroprocesszor alapú berendezések blokkvázlata

alapú irányító berendezések áramköri blokkvázlatát mutatja az 1. ábra. Az 1. ábrán a szaggatott vonallal körülhatárolt rész a közismert, bármely mikroprocesszort tartalmazó eszközre jellemző párhuzamos buszos kialakítás. Az illesztő áramkörök feladata az ipari jelszintekhez történő illesztés, és a kielégítő zavarvédelem. A párhuzamos ferde egyenesek az illesztő áramköri blokkban jelzik a galvanikus leválasztást. A galvanikus leválasztás miatt szükséges az illesztő áramkörök, és a szaggatott vonallal körülhatárolt belső áramkörök független tápellátása.

1.1.1. Mikrokontrollerek

A mikrokontroller (mikroszámítógép) az alap áramköri elemek (CPU, RAM, SIO, stb.) NYÁK lapon kialakított kombinációja. Nincs ipari körülmények közötti működésre felkészítve. A programozása: CPU assembler, vagy magas szintű programozási nyelv (QBasic, QuickC) felületet biztosító, külön termékként megvehető, fejlesztő rendszer. Az illesztő áramkörök és a tokozás megtervezése is a termékfejlesztés része. Alkalmazási területe: Nagy, közepesen nagy sorozatban gyártott termékekben, csak az adott feladatra kifejlesztett és optimalizált vezérlő berendezése. (háztartási gépek, autó elektronika, stb.) Az ipari körülmények elviselését igazoló tesztelési eljárások költsége miatt gazdaságtalan az egyedi vagy kis sorozatú alkalmazása. mert minden konkrét gépcsoport irányítása — még a nagyon hasonló feladatok is - egyedi alkalmazás. A kivitelezőnek a hatóságok felé igazolni kell a hardver ipari körülmények közötti alkalmazhatóságát, és a megbízható rendszerszoftvert. Az ipari kivitelű (PLC, Folyamatirányító, stb.) eszközökben ezt a gyártó garantálja, Megjegyzés: A kis sorozatot vagy egyedi berendezést gyártók részére a beágyazott (embedded) ipari kivitelű számítógép alaplapon ajánlják. Az ipari kivitelű számítógép alaplapon ipari tokozásban, szabványos

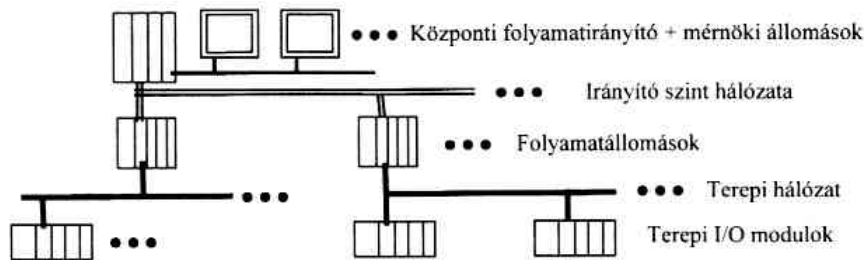
műszervázba (rack) helyezhető kivitelben, és ipari csatlakozókkal felszerelve kerül forgalomba.

1.1.2. Személyi számítógép alapú rendszerek

Hardveresen személyi számítógép alaplapú eszközök. Két árban nagyon eltérő csoportjuk van. az olcsóbb félipari, és a drága ipari kivitelű. A félipari kivitelű PC alkalmazási területe: Elektromágneses zajterhelés szempontjából tiszta, közepesen nagy. és kis technológiák (irodaépületek, gyártásközi ellenőrzés. stb.); berendezések komplett irányítása. mérési adatgyűjtés (környezet monitorozás, térfigyelés, stb.); mérésanalízis (tesztlabor). A félipari kivitelű PC rendszerprogramja Windows CE, vagy Linux. Az alkalmazás programozására gyártó specifikus programnyelveket fejlesztettek ki. Az ipari PC elektronikus zajjal terhelt, poros, párás környezetben való működésre felkészített berendezés. Az ipari kivitelű PC alkalmazási területe: Ipari környezetben működő, nagy számítási berendezések (több tengelyes hegesztő robotok, stb.); nagy adatkezelés igényű feladatok (automatizált raktárbázis. stb.) irányítása. Az ipari kivitelű PC-ben az alaplap és tokozása. a képernyő, a billentyűzet mind-mind ipari kivitelű és védettségű. A rendszerprogramja a gyártó által fejlesztett,

1.1.3. Folyamatirányítók

Nagy és/vagy nagyon megbízható működést igénylő energetikai vagy vegyipari jellegű technológiák irányítására felkészített, hardveresen kész, szabványos irányítástechnikai programnyelveken programozható berendezések. Felkészített a redundáns működésre. Ez azt jelenti, hogy duplikálva vannak a modulok (*CPU*, hálózat, *I/O*). Az éppen működő az elsődleges (primer), míg a másik a tartalék (secondary). Ha az elsődleges meghibásodik, a tartalék veszi át (nagyon gyorsan) a szerepét. A 2. ábrán látható folyamatirányító rendszer



2. ábra. Folyamatirányító rendszer felépítése

több különböző típusú irányító és terepi szintű hálózatot, valamint több ezer folyamatváltozót (*I/O*) képes kezelni. A központi folyamatirányító és a folyamatállomások egyenrangú intelligens eszközök. Mindegyik futtatja a saját irányító szoftverét. A folyamatállomások irányító szoftverei és a megjelenítő/mérési adatgyűjtő (*SCADA*) szoftver közös adatbázisból dolgozik, ami azért előnyös, mert bármelyik intelligens gép láthatja bármelyik változót a sok ezerből, és ezeket a változókat csak egyszer kell definiálni. A folyamatállomások irányító szoftverei jól felkészítettek szabályozási feladatokra. Számos szabályozási algoritmust tartalmaznak.

1.1.4. Nem általános célú irányító berendezések

Ezek a feladatok megvalósíthatók *PLC*-vel is, de kétféle megfontolásból külön gyártmánycsaládok alakultak ki.

- Jól tipizálható feladatokat hajtanak végre, így speciálisan a feladathoz illesztett hardver és szoftver modulokból épül fel a rendszer. Ezért költséghatékony az új alkalmazás tervezése, kivitelezése. Idetartoznak az Épületautomatizálási és az Épület felügyeleti irányító rendszerek.
- Az alkalmazott hardver és szoftver elemekre hatósági előírások vonatkoznak. A minősítési eljárás időigényes és költséges. A gyártók garantálják, hogy a hardver és szoftver moduljaik megfelelnek a

hatósági előírásoknak, így az engedélyezési eljárás gyors. Idetartoznak a Tűzjelző, és a Kazánvezérlő irányító berendezések, rendszerek.

1.2. Programozható Logikai Vezérlők (*PLC*)

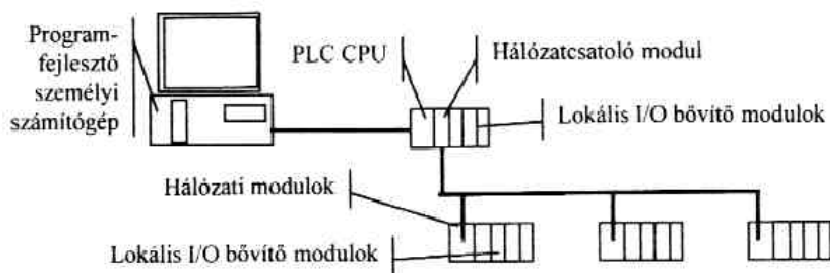
A *PLC*-k (Programmable Logic Controller) ipari körülmények közötti működésre felkészített, hardveresen kész (illesztő áramkörök, táp, tokozás), szabványos irányítástechnikai programnyelveken (*IEC61131 – 3*) programozható berendezések. A speciális rendszerszoftver a berendezések része. A *PLC*-k alkalmazási területe: Nagy, közepesen nagy, kis technológiák berendezéseinek, valamint egyedi gépek komplett irányítása, elsődlegesen vezérlése. Jelenleg ezek a legelterjedtebb ipari irányító berendezések. A gyártók a piaci igényekhez igazodva a 10^{-12} I/O-t igénylő egyszerű logikai összefüggéseket tartalmazó feladatoktól, a több ezer I/O-t kezelő bonyolult szabályozásokat is tartalmazó feladatokig kínálnak kész hardvereket.

1.2.1. Kompakt kialakítású *PLC*-k

Egyetlen zárt tokban — kompakt, azaz tömbös felépítésben - elhelyezkedő, kötött számú (10 — 30) be, és kimenettel, és korlátozott szoftver erőforrással rendelkező eszközök. Általában nem, vagy csak korlátozottan bővíthetők. Tipikus alkalmazási területük az egyedi gépek vezérlése. A CPU képességeitől függően 50 — 150 eFt között van az áruk. Napjainkban a Vezérlő relék (Control Relay) kezdik kiszorítani a piacról a kompakt *PLC*-ket. A vezérlő relék hardver kialakítása hasonlít a kompakt *PLC*-k hardver kialakításához. A vezérlő relék abban különböznek a kompakt *PLC*-éktől, hogy nem a szabványos (*IEC61131 – 3*) programozási nyelveken, hanem gyártó specifikus, kisszámú grafikus szimbólumot tartalmazó, leegyszerűsített programozási nyelveken programozhatók, és programfutás közben (online) nem írható át a programjuk, vagyis minden programmódosításkor le kell állítani az irányított berendezést.

1.2.2. Modulárisan kompakt kialakítású *PLC*-k

A 3. ábra ilyen *PLC*-k elrendezését ábrázolja. Szokványos szerelő sínre pattinthatók. A lokális I/O bővítések belső buszát rövid szalagkábelrel kötik össze. A többi I/O modul soros adatátviteli hálózaton keresztül érhető el.



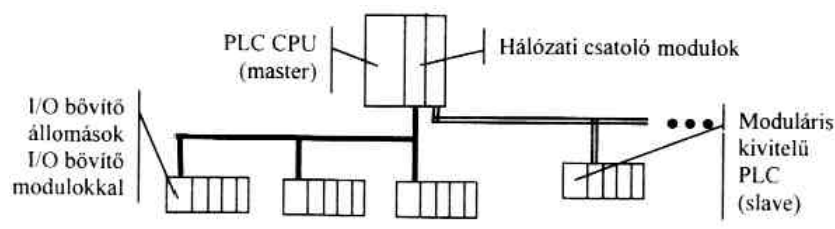
3. ábra. Moduláris *PLC*-k struktúrája

- Különböző sebességű *PLC CPU*-k, különböző méretű memóriával választható. Szoftveres képességekben (pl.: lebegőpontos számításra képes, vagy sem) is lehet különbség az egyes *CPU* típusok között.
- Különböző hálózati modulok (CANOpen, Profibus DP, Interbus S, stb.) választhatók.
- A kiválasztott *CPU*-hoz, valamint a hálózati modulokhoz lokálisan különböző típusú (pl.: 16 diszkrét bemenet, vagy kimenet, 8 — 8 diszkrét be-, kimenet, vagy 8 analóg bemenet, 4 analóg kimenet, 4 — 2 analóg be, kimenet, stb.) I/O modulok fűzhetők. Így az adott alkalmazáshoz legjobban illeszkedő be, kimenetszám állítható össze. A tipikus maximális terjedelem 800 be, vagy kimeneti jel.
- A hálózatra különböző intelligens eszközök (frekvenciaváltó, MMI, stb.) fűzhetők fel.

Tipikus alkalmazási területük a közepes technológiák, gépcsoportok vezérlése. A *CPU* képességeitől és a modulok típusától függően 200 — 500 eFt között van az ára egy 50 *I/O*-t tartalmazó kiépítésnek

1.2.3. Modulvázás (rack) kialakítású *PLC*-k

A nagy teljesítményű, nagy sebességű *PLC CPU*-k kedvelt kiviteli formája. Szerelősín helyett modultartó vázba (rack) kerülnek a zárt tokban elhelyezkedő modulok. A modultartó váz hátlapjára szerelt NYÁK-on helyezkedik el a busz rendszer. A modulvázban 32 bites lokális *I/O* modulok helyezhetők. Jellegzetes, de nem kötelező kialakítás, hogy modulvázban csak a nagy teljesítményű *CPU*, és a hálózati csatoló modulok vannak. A hálózati csatoló modulokra *I/O* bővítések, vagy egy-egy irányítási részfeladatot önállóan (saját



4. ábra. Modulvázás *PLC*-k struktúrája

vezérlő program) ellátó modulárisan kompakt *PLC*-k vannak felfűzve. Manapság elterjedten alkalmazott hálózat típusok: Profibus-DP, DeviceNet, CANopen, Modbus, Interbus-S). A technológia vagy gépcsoportok működésének összehangolását a központi (master) modulvázás *PLC* végzi. ha van is más intelligens eszköz a rendszerben, az alárendelt (Slave) üzemmódban dolgozik. Tipikus alkalmazási területük a nagy vagy gyors technológiák, gépcsoportok vezérlése. Egy 500 - 800 *I/O*-t tartalmazó kiépítésnek a *CPU* képességeitől és a modulok típusától függően 6 — 10 mFt között van az ára.

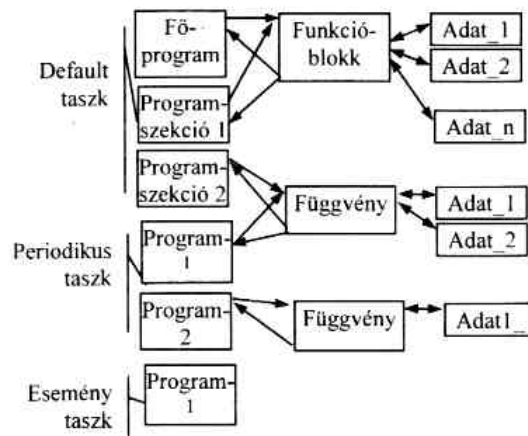
2. Ismertesse a *PLC* felhasználói program struktúráját! Definiálja a funkció blokk és a függvény közötti eltérést! Ismertesse a ciklikus programfuttatás ütemeit, és a reakció idő összetevőit!

2.1. Programozható logikai vezérlők szoftverszerkezete

A személyi számítógép rendszerszoftvere napjainkban tipikusan a Windows. A fejlesztő szoftver a program fejlesztő személyi számítógépen fut. A fejlesztő szoftverrel történik a felhasználói program megírása, szintaktikai ellenőrzése, lefordítása gépi kóddá, letöltése a *PLC CPU*-ba. A fejlesztő szoftverrel lehet ellenőrizni a felhasználói program futtatását, online módon adatot módosítani, stb. A *PLC CPU*-ban fut a gépi kódban letöltött felhasználói program. A felhasználói program írja le az adott konkrét alkalmazáshoz illeszkedő irányító algoritmusokat. A *PLC CPU*-ban csak egyetlen alkalmazáshoz (technológiához) tartozó felhasználói program fut. A *PLC*-ben szintén fut egy rendszer szoftver, ami gyártó specifikus és a *PLC* szerves része, nem cserélhető, nem módosítható. Ez futtatja a gépi kódban letöltött felhasználói programot, végzi az öntesztet, kezeli a megszakításokat, tartja a kapcsolatot a kezelővel. Az 5. ábra mutatja a felhasználói program szerkezetét. A felhasználói program, ha az áttekinthetőség és a *CPU* erőforrásának hatékony kihasználása érdekében szükséges, akkor részekre van bontva. Ezek a programrészek különböző típusú és prioritású taszkokban futtathatók. A taszk együtt kezelendő programköteget jelent. A prioritás fontossági sorrendet határoz meg.

A taszkok típusai:

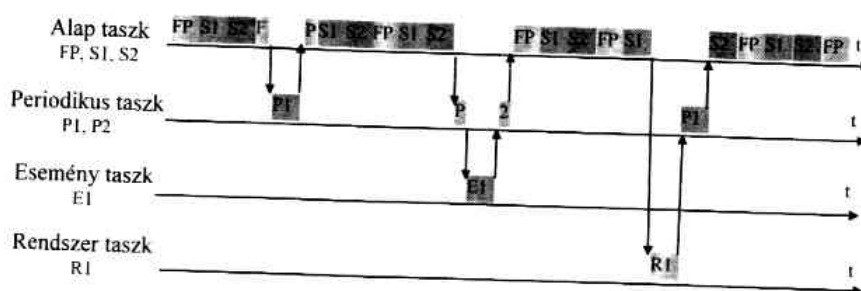
- Alap (Default): Az ehhez rendelt programrészek (szekciók) programfeldolgozása ciklikus. Ebben fut a főprogram. Főprogramot minden alkalmazásnak tartalmaznia kell.



5. ábra. A felhasználói program szerkezete

- Periodikus (Cyclic): Az ehhez rendelt programok adott időközönként (10[s], 1[s], 100 [ms], stb.) periodikusan futnak le.
- Esemény (Event): Az ehhez rendelt programok valamilyen változó, vagy változók logikai kombinációjának fel-, vagy lefutó élére futnak le.
- Rendszer (System): Ezek a gyártó által készített, hiba lekezelést végző, legnagyobb prioritású programok. Az 5. ábra nem tartalmazza.

A vezérlő reléknek és a legtöbb kompakt *PLC*-nek csak "Alap" taszkja és a felhasználó elől rejtett "Rendszer" taszkjai vannak, továbbá az "Alap" taszkban csak egy program futhat. A legnagyobb teljesítményű modulvázis *PLC*-kben "Periodikus" és "Esemény" taszkokból többféle típus van, így ezekben az irányító berendezésekben tucatnyi taszk, illetve program futtatható. A taszkoknak prioritása van. A "Alap" taszk prioritása a legkisebb. A magasabb prioritású taszk megszakítja az alacsonyabb prioritású taszk programjainak feldolgozását (6. ábra), lefut, majd folytatható az alacsonyabb prioritású taszk programjainak feldolgozása. A megszakítások egymásba ágyazhatósága napjainkban már nincs korlátozva. A 6. ábra annyiból torzít,



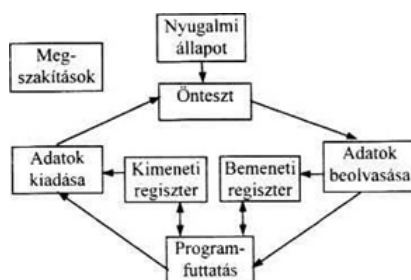
6. ábra. A taszkok és programjaik futtatása

hogy a "Periodikus", az "Esemény", és a "Rendszer" taszk sokkal ritkábban használja a CPU időt. Az "Alap" taszkban elhelyezett programok, amikor csak lehet, újra meg újra ciklikusan feldolgozásra kerülnek. A "Periodikus" taszk programjaihoz különböző periódus idő, az "Esemény" taszk programjaihoz különböző feltételek rendelhetők, ezért ezek programjai külön-külön kerülnek feldolgozásra. A "Rendszer" taszk hardver vagy szoftver hiba esetén kerül meghívásra és a 6. ábrától eltérően legtöbbször megszakítja a felhasználói program feldolgozását. Az 5. ábrán látható, hogy a programokból funkció blokkok és függvények hívhatók. Bármely funkció blokk és függvény többször, akár különböző programokból meghívható. A funkció blokk,

és a függvény a gyakran előforduló (időzítések, számlálók, komparátorok, jeltípus konvertálók, aritmetikai műveletek, stb.) feladatok részére megírt szubrutinok.

- A funkció blokk olyan szubrutin, amelynek több be-, és kimeneti változója lehet. A fordító program csak egyszer fordítja le a funkció blokkot, és többszöri meghívás esetén csak a bemeneti (feldolgozandó adatok), illetve kimeneti (eredmények) változók részére foglal le programterületet. Ezek a memória területek bármely programból elérhetők.
- A függvény olyan szubrutin, amelynek több be-, és csak egy kimeneti változója lehet. A kimeneti változó a *CPU* munkaregiszterében képződik, ezért ha a következő programsor nem dolgozza fel, akkor elvész. A fordító program csak egyszer fordítja le a függvényt, és csak a bemeneti (feldolgozandó adatok) változók részére foglal le programterületet.

A funkció blokkok és függvények lehetnek az *IEC61131 – 3* szabványban definiáltak (ezeket minden fejlesztőprogram kötelezően tartalmazza), a gyártó által felkínáltak, valamint írhat ilyent a felhasználó is (csak óvatosan, mert a gyártó által felkínáltak biztosan jól teszteltek). A memóriaterületen és a *CPU* sebességén túl, a *PLC* típus megválasztásakor fontos szempont, hogy milyen típusú taszkokat képes kezelni, és hogy milyen funkció blokk és függvény könyvtára van. A vezérlő relékben a funkció blokk és függvény típusok száma csak egy tucatnyi, és csak korlátozott alkalommal hívhatók. A legnagyobb teljesítményű "Rack"-es *PLC*-kben a funkció blokk és függvény típusok száma 1000 körüli, és korlátlan a meghívhatóságuk száma. A 7. ábrán a ciklikus programfeldolgozás ütemei láthatók.



7. ábra. A ciklikus programfeldolgozás mód

- Nyugalmi állapotban a felhasználói program gépi kódba lefordítva a *PLC*-ben van, de nem fut.
- Az önteszt a megszakításokkal nem lefedett (pl.: végtelen ciklus) hibákat kezeli.
- Beolvasáskor az adatok, a fizikai bemenetekről a bemeneti regiszterbe kerülnek. A továbbiakban a bemeneti regiszter adatait dolgozza fel a *CPU*, így elkerülhető a hazard. Megjegyzés: A hazard hiba abból keletkezne, hogy egy ciklusban egy bemeneti adat különböző értékkel kerülne feldolgozásra, mert programfeldolgozás közben változott meg a bemenet értéke.
- A program futtatása az "Alap" taszk feldolgozását jelenti. A felhasználói program feldolgozásának egy ciklusa akkor fejeződik be, amikor az "Alap" taszk programjai mind feldolgozásra kerültek.
- Az adatok kiadásakor a programfeldolgozás közben a kimeneti regiszterbe került adatok a fizikai kimeneti áramkörökre kerülnek. Ezután újabb öntesztrel előlről kezdődik a ciklus.
- Megszakítást kezdeményeznek az "Esemény", a "Periodikus", és a "Rendszer" taszkok, valamint a kezelői beavatkozások.

A sorrendi programfeldolgozás következtében a *PLC* valamely bemenetén történt jelváltozás hatása nem azonnal jelenik meg a kimeneteken. Ez a késlekedés a reakcióidő. A reakció idő fontos a *PLC* típus megválasztásakor, mert értelemszerűen kisebbnek kell lennie, mint a kiadott vezérlő parancs végrehajtásának ideje.

Reakció idő megbecsülhető az összetevőiből. Az összetevők:

$$T_R = 2 * T_C + T_F + T_D + T_N + \sum T_I$$

- T_R : A reakció idő, amely ahhoz szükséges, hogy a bemeneten történő jel változás hatására megváltozzon a kimenet
- T_C : A ciklusidő, ami az öntesztől öntesztig szükséges időtartam. A programfeldolgozás a bemeneti regiszterből történik; de legrosszabb esetben sem kell két ciklusidőnél több a bemeneti jelváltozás feldolgozásához. A T_C ciklusidő függ a CPU sebességétől és a felhasználói program hosszától, valamint hogy milyen típusú utasításokat tartalmaz a program. A katalógusok 1024 (1 Kszó) átlagosan előforduló utasítássor lefutásához szükséges időt adják meg. A vezérlő relék ciklus ideje 5-10 ms, a moduláris PLC -k ciklus ideje 1-2 ms, modulvázis PLC -k ciklus ideje 0,5 ms, a különlegesen gyors PLC -k 0,1 ms, vagy még kisebb ciklusidővel rendelkeznek. Megjegyzés: 1 Kszó program általában elegendő 30-40 I/O -val rendelkező berendezés irányítására.
- T_F : A bemeneten levő RC szűrő időállandója, amelynek tipikus értéke Európában 2 ms. (A hálózati 50 Hz periódus ideje 20 ms. Számos PLC -nél szoftveresen módosítható az analóg szűrés időállandója.
- T_D : A tranzisztoros kétállapotú kimeneteken, az induktív terhelés ellentétes polaritású visszahatását mérsékelő, RC csillapítótag időállandója, vagy a reed-relés kimeneteken a tekercs megszólalási ideje. Tipikus érték: 1 ms.
- T_N : A hálózati állomások lekérdezési/frissítési ideje. A modulárisan kompakt kialakítású PLC -k esetén a tipikus érték I/O állomásonként 0,5-1,5 ms. A modulvázis PLC -kben 4 hálózati csatoló modul, és modulonként 31 I/O bővítő állomással az összes be-, és kimenet lekérdezési/frissítési ideje kisebb, mint 0,1-0,5 ms. Ezt az alábbi szervezés teszi lehetővé. A hálózati csatoló modulokban szintén van CPU , amelyek a $PLC CPU$ -val párhuzamosan dolgozva adatot cserél a hálózat I/O bővítő állomásaival. Az adatcsere a saját be-, és kimeneti regiszter területei és a saját hálózatán levő I/O bővítő modulok be-, és kimenetei között zajlik, és jellegzetesen rövidebb ideig tart, mint a $PLC CPU$ ideje. A $PLC CPU$ és a hálózati csatoló modul CPU be-, és kimeneti regiszterei a 7. ábrán látható adatbeolvasás fázisban cserél adatot.
- $\sum T_I$: A megszakítás programok feldolgozásának ideje az adott ciklusban. A legrosszabb, és meglehetősen valószínűtlen, ha valamennyi program feldolgozásra kerül az adott ciklusban.

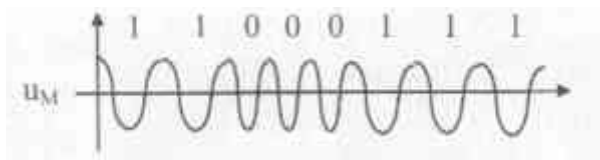
3. Jellemezze a távadók és a végrehajtók generációi! Mit jelent a 2, 3, 4 vezetékes bekötés? Adja meg a leggyakrabban alkalmazott szabványos ipari jeltartományokat!

A villamos távadókat kimeneti jelük, a villamos végrehajtókat bemeneti jelük és működési módjuk szerint csoportosítják különböző generációkba:

- "C" generációs: Analóg működésű. szabványos (0/4 – 20mA, 0/2 – 10V) analóg áramjelű, vagy feszültségjelű távadók, végrehajtók.
- "D" generációs: Digitális működésű, egyen analóg jelre ültetett frekvencia modulált analóg jelű (smart) távadók, végrehajtók. A szabványos egyen analóg jel egy-, a frekvencia modulált analóg jel kétirányú.
- "E" generációs digitális távadók, végrehajtók. A digitális jelek terepi buszon közlekednek. A terepi buszon kétirányú a kapcsolat, az eszköz nem csak alapfeladatát látja el, hanem automatikusan vagy lekérdezésre az állapotáról is küld információt.

A generációs eszközök az alkalmazott $4 - 20\text{mA}$ szabványos áramjelet $0,5\text{mA}$ amplitúdójú és egy adott időablak hosszúságú, kétféle frekvenciájú (Bell 202 szabvány esetén például $2200\text{Hz} = L, 1200\text{Hz} = H$) szinusz jellel modulálja. A moduláló jel digitális jelet képez, amellyel kétirányú adatforgalom valósítható meg az irányító berendezés vagy a kommunikátor (pl. laptop), és az távadó vagy végrehajtó között.

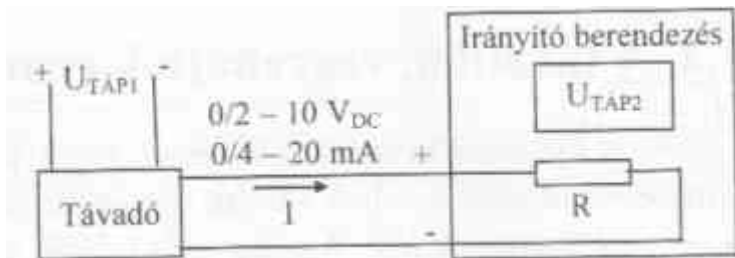
A frekvencia moduláció (FSK) átlagértéke zérus, és ezért - szűrővel leválasztva - nem befolyásolja az aktuális



8. ábra. Az FSK moduláció

ellenőrző jel (Y_M), illetve a végrehajtó jel (u) effektív értékét. Megjegyzés: "D" generációs villamos a "C" generációs helyére minden nehézség nélkül betehetők. (Természetesen fordítva nem lehetséges!) A belső áramkörök digitálisak. D/A illetve A/D átalakítókval kifelé analóg működésűnek látszanak.

Az "E" generációs (Field busz-, azaz terepi busz) rendszerű távadók kimeneti, illetve végrehajtók bemeneti jele digitális távirat. Az "E" generációs eszközök használati értéke és "intelligenciája" azonos a "D" generációs távadókéval, de a kábelezési költségük lényegesen kisebb. Megjegyzés: Az "E" generációs, úgynevezett terepi buszos eszközök nem csereszabatosak a "C" és a "D" generációs eszközökkel! Jelenleg a legelterjedtebb típus a "C" generációs villamos távadó, végrehajtó. A generációs villamos távadók, illetve végrehajtók táplálásának négyféle változatát alkalmazzák.



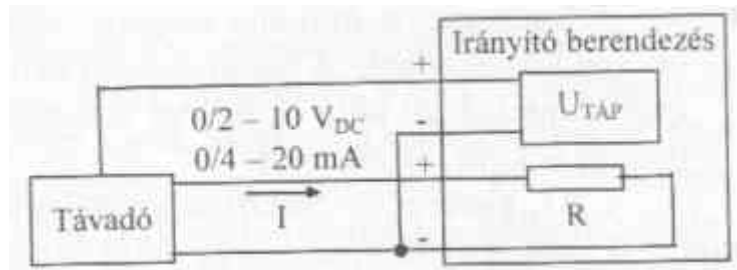
9. ábra. A négyvezetékes távadók vezetékezése

A négyvezetékes (9. ábra), ($24V_{DC}$ vagy $230V_{AC}$ tápellátású) távadó, és $24V_{DC}$ tápellátású irányító berendezés.

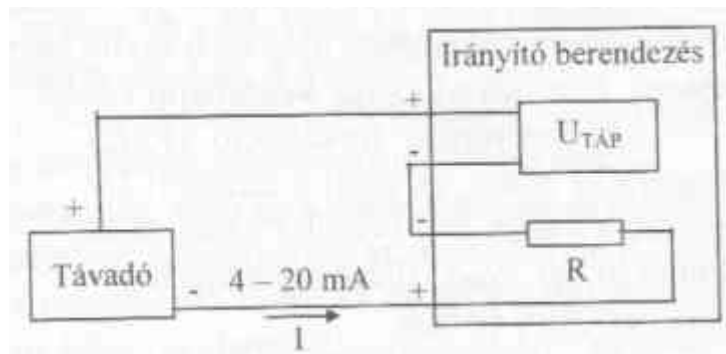
A négyvezetékes végrehajtó vezetékezése nagyon hasonlít a 9. ábrához. Az analóg kimeneti modul áram-, vagy feszültséggenerátora szolgáltatja a végrehajtó felé a jelet. Az R bemeneti ellenállás a végrehajtóban van. Értelemszerűen az áramnyíl iránya fordított.

A háromvezetékes (10. ábra) távadó, és az irányító berendezés közös $24V_{DC}$ tápellátású. A távadó és tápfeszültség földje a közös.

A kétvezetékes (11. ábra) távadó, és az irányító berendezés, mint terhelés, sorban vannak kötve a közös $24V_{DC}$ tápellátással. A gyakorlati életben - a kábel költségek csökkentése miatt - a kétvezetékes távadókat alkalmazzák leggyakrabban, melyet az IEC 1970-es washingtoni ülésen elfogadott ajánlásban rögzítettek.



10. ábra. A háromvezetékes távadók vezetékezése



11. ábra. A kétvezetékes távadók vezetékezése

A háromvezetékes végrehajtó vezetékezése hasonlít a 10., a kétvezetékes végrehajtó vezetékezése pedig a 11. ábrához.

Szabványos ipari jeltartományok:

- Analóg:
Leggyakoribb $4 - 20\text{mA}$, valamint $0 - 20\text{mA}$
Előfordul $0 - 10V_{DC}$, $400 - 800\text{Hz}$, $0.2 - 2\text{Bar}$
- Kétállapotú:
Leggyakoribb $0 - 24V_{DC}$
($0 - 7V$: Logikai nulla, $14 - 30V$: Logikai 1)
Előfordul $0 - 230V_{AC}$
- Digitális:
Ipari kommunikációs hálózatok

4. Ismertesse a vezérlés és a szabályozás közötti választás szempontját. Adja meg a jelátvivő tag fogalmát! A dimenzió nélkülivé tétel eljárása. A blokkdiagram átalakítás szabályai.

4.1. A vezérlés és a szabályozás közötti választás szempontja

4.1.1. Modell alkotás

Az összetett irányítási feladatot fel kell bontani egyszerűbb, egymástól független feladatokra. Lehetőleg minden egyes irányított jellemző önálló feladat legyen!(Ez nem mindig lehetséges) Mérésekkel (black box = fekete doboz modell), vagy az anyag és energia áramok egyensúlyi egyenleteit alkalmazva (grey box = szürke

doboz modell) matematikai modellt kell készíteni az irányítási feladatokra. (A matematikai modell válasza a gerjesztő jelekre az előírt mérnöki pontossággal megegyezik fizikai rendszer viselkedésével.)

4.1.2. Irányítási stratégia

- Vezérlés:
Minden az irányított jellemzőre ható fizikai mennyiséget (jellemzőt) mérünk. Minden lehetséges körülmény esetén kielégítően pontos a modellünk. A beavatkozás a modell alapján történik.
- Szabályozás: Az irányított jellemzőt mérjük és a többi az irányított jellemzőre ható fizikai mennyiség eltérését az üzemi értéktől zavarnak tekintünk. Az irányított jellemzőt hasonlítjuk össze az előírt értékkel. A beavatkozás az eltérés megszüntetése érdekében történik.

4.1.3. Stratégia választás

Ha van kielégítő pontosságú modell, akkor alkalmazható a vezérlés. Ha a szakasz modellezhető csupa kétállapotú jellel, akkor mindig alkalmazható vezérlés.

Lehet analóg jellemző (nyomás, szint, stb.), ha a modellhez elég csak azt tudni, hogy egy értéknél kisebb vagy nagyobb. Analóg jeleket tartalmazó irányítást vezérléssel megoldani általában költséges.

Az analóg mérés drágább, mint a kétállapotú, általában egynél több jellemzőt kell mérni, és idővel (kopás, öregedés, évszakok váltakozása, stb.) a rendszer modell paraméterei megváltoznak.

4.1.4. Vezérlés kétállapotú jelekkel

A Bool algebra szabályaival definiálható az algoritmus. Az algoritmus zárt szekvenciákból épül fel.

If... then else, Do... until, stb. A fejlesztő szoftverek gyakran felkínálnak grafikus megjelenítő felületeket, valamint kész, jól tesztelt szubrutinokat (funkció blokkok, függvények). Berendezéscsoport, technológia irányításakor a feladatok nagyobb hányada On/Off vezérlés. Iparágtól függően az összes feladat 75–95% On/Off vezérlés. A vész rendszer mindig, a védelmi rendszer szinte mindig csupa kétállapotú vezérlés. Az indítás, üzemeltetés, normál leállítás folyamata tipikus sorrendi vezérlés.

4.1.5. Szabályozás

A SISO (Single Input Single Output) feedback (negatívan visszacsatolt) struktúra lefedi a szabályozási feladatok döntő hányadát. Összetett (Cascade, Feedforward) szabályozások. Iparágtól függően a szabályozási feladatok 1–7%-a. A MIMO (Multi Input Multi Output) és a adaptív (öntanuló) struktúra. Tipikus MIMO alkalmazás a repülő gép vagy tankerhajó navigáció és a festő, hegesztő, stb. robot irányítás, illetve adaptív szabályozás a folyamatirányítás (Process Control) szabályozási feladatainak 1–2%-a.

4.2. A jelátvivő tag fogalma

Az irányítástechnika jelátvivő tagként vizsgál minden olyan alkatrészt (pl.: műveleti erősítő, szelep, stb.), szervet (pl.: jelillesztő áramkör, szivattyú, nyomás-, szint-távadó, stb.), illetve technológiai egységet (pl.: tartály, hőcserélő, autokláv, kazán, stb.), amelyeknek egy számunkra fontos jele, jellemzője (kimeneti jel, jellemző) jól befolyásolható egy számunkra könnyen változtatható jellemzőjével, jelével (bemeneti jel, jellemző).

Jelátvivő tagnak tekinthető minden technológia, berendezés, alkatrész, részegység, stb., amennyiben két jellemzője vagy jele között ok-okozati összefüggés állapítható meg. A jelátvivő tag be-, és kimeneti jele vagy jellemzője közötti összefüggés megadható egyenlettel vagy grafikusan. A be-, és a kimenet állandósult állapotai közötti összefüggés a statikus karakterisztika. A dinamikus viselkedés differenciál egyenlettel írható le az időtartományban és átviteli függvényvel a körfrekvencia vagy az operátoros tartományban.

4.3. A dimenzió nélkülivé tétel eljárása.

A valóságos fizikai rendszerekben a jellemzőknek van dimenziójuk. Az ipari mérés technikában a villamos mennyiségeken (áram $[A]$, feszültség $[V]$, frekvencia $[Hz]$) túl, a nagy ötést (hőmérséklet $[^{\circ}C]$, nyomás $[bar]$, szint $[m]$, áramlás $[\frac{kg}{sec}]$ vagy $[\frac{m^3}{sec}]$, és a forgó mozgáshoz tartozó szögsebesség $[\frac{rad}{sec}]$ vagy szögelfordulás $[rad]$) a leggyakrabban mért fizikai jellemző. De egyéb fizikai jellemző (pl.: pH érték) is előfordulhat. A jeltartományok is jelentősen különbözhetnek. Például teremhőmérséklet szabályozásakor $5^{\circ}C - 35^{\circ}C$, hőkezelő kemence hőmérséklet szabályozásakor $200^{\circ}C - 650^{\circ}C$ között lehet az irányított jellemző értelmezési tartománya, vagy egy sávszűrő működhet a $[MHz]$ vagy a $[GHz]$ tartományban. Nagyban segíti az irányítási rendszerek egységes tárgyalását, ha a hatásvázlatban (blokkdiagramban vagy jelfolyam ábrában) a jelek, jellemzők dimenzió nélküliek, és azonos jelkészletűek.

Bármelyik jel, csak az időtől függő, $0 - 1$ számtartománybeli számmá konvertálható:

$$x(t) = \frac{x(t)[dim] - x_{min}[dim]}{x_{max}[dim] - x_{min}[dim]}$$

Az fenti kifejezéssel dimenzió nélkülivé tett jellemző értékekkel végzett számítások eredményét – ami egy számérték – értelmezni kell, vagyis az alábbi kifejezéssel ismét dimenziót kell rendelni hozzá.

$$x(t)[dim] = (x_{max}[dim] - x_{min}[dim]) * x(t) + x_{min}[dim]$$

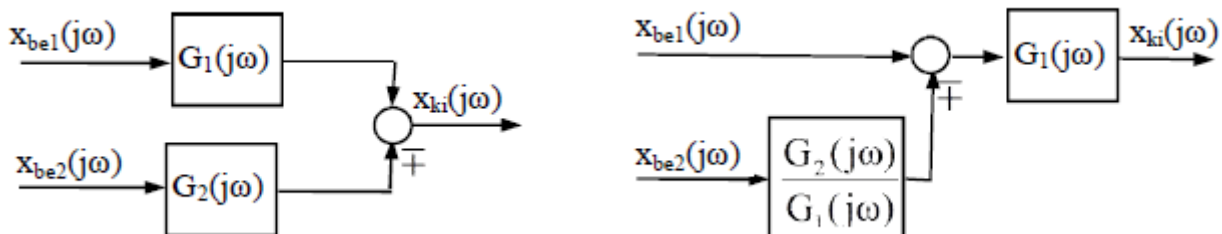
A $0 - 1$ számtartománybeli szám használata nem komfortos, ezért szokás az M (10, 100, esetleg egyéb) értékével beszorozni:

$$x(t) = \frac{x(t)[dim] - x_{min}[dim]}{x_{max}[dim] - x_{min}[dim]} * M$$

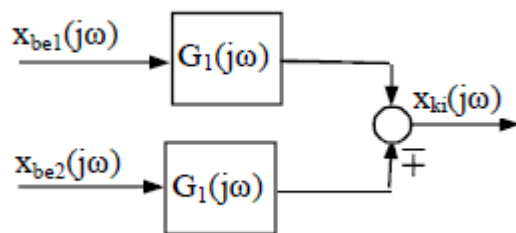
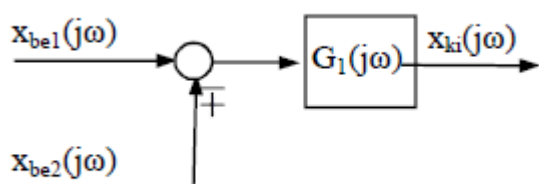
Megjegyzés: Az ipari irányítástechnikában az $M = 100$ gyakran alkalmazott, mert sokszor jobban értelmezhető, hogy a tartály 60%-ra van feltöltve, a szelep 45%-osan nyitott, mint egy konkrét számérték. De természetesen az adott feladatnak megfelelően célszerű "M" értékét megválasztani.

4.4. A blokkdiagram átalakítás szabályai

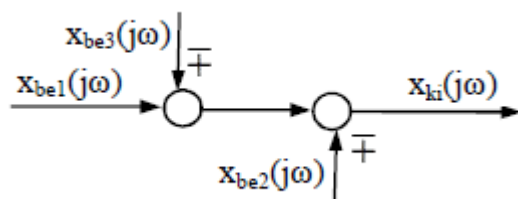
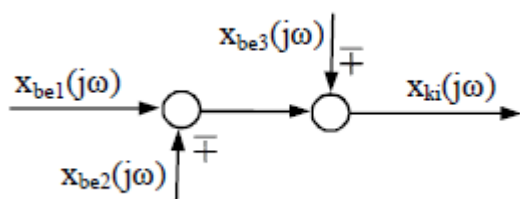
A blokkvázlat átalakítási szabályok felhasználásával (12-17. ábrák) átalakítható a blokkvázlat, és így a soros, párhuzamos, visszacsatolt eredők számításának szabályai már alkalmazhatók. Így egyszerűbb, könnyebben kezelhető formára hozható egy összetett blokkvázlat.



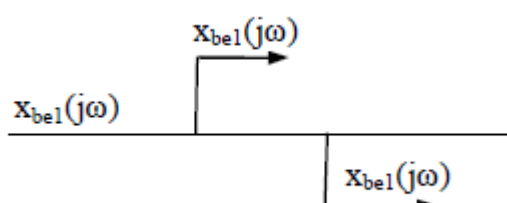
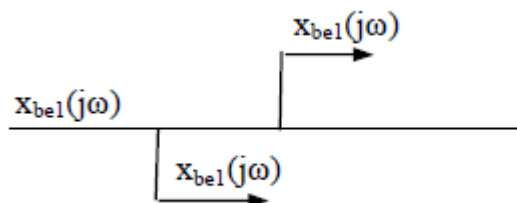
12. ábra. Összegző pont áthelyezése blokk elé



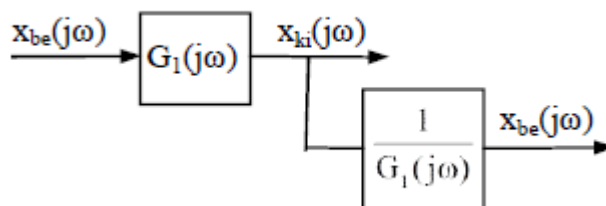
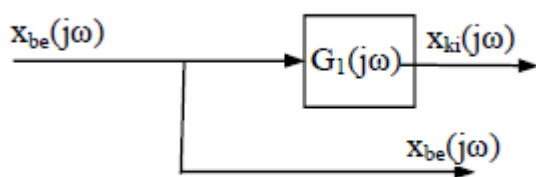
13. ábra. Összegző pont áthelyezése blokk mögé



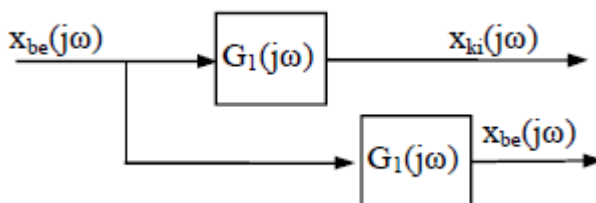
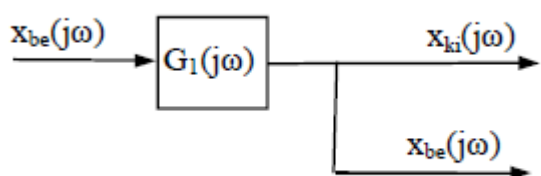
14. ábra. Összegző pont megcserélése



15. ábra. Elágazási pont megcserélése



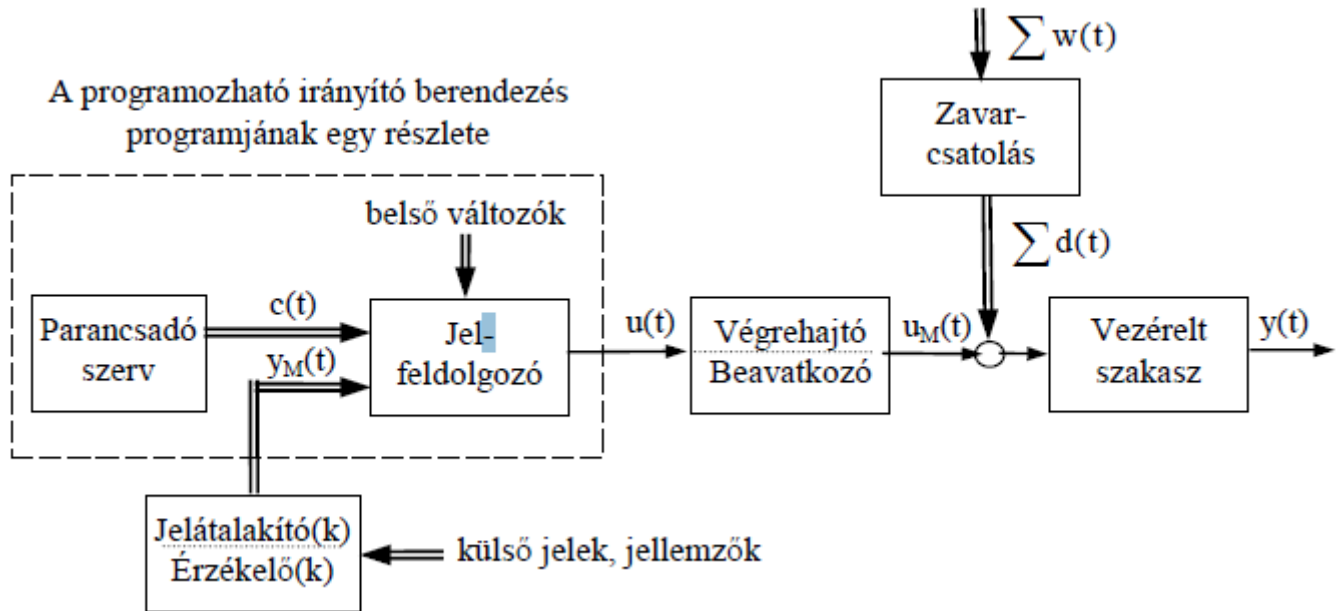
16. ábra. Elágazási pont áthelyezése blokk mögé



17. ábra. Elágazási pont áthelyezése blokk elé

5. A vezérlés hatásvázlat. A vezérlési szekvencia fogalma. A kontaktusvezérlés szabályai. A funkció blokk és a függvény meghívása létre diagramban.

5.1. A vezérlés hatásvázlata



18. ábra. Vezérlés hatásvázlata

5.2. A kontaktusvezérlés szabályai.

Írányítástechnikai programozási nyelvek:

1. Strukturált szöveg (ST: Structural Text)
2. Funkciótérkép (FC: Function Chart)
3. Utasítás soros (IL: Instruction Line)
4. Létra diagram (LD: Ladder Diagram)

Létra diagram:

Alacsony szintű, grafikus programozási nyelv. Szintaktikája a kontaktus logikán alapul. A kontaktus logikában a kontaktusok és a tekercsek kétállapotú változók. A kontaktusokon átfolyó áram gerjeszti a tekercset és a gerjesztett tekercs meghúzza (a nyitottat zárja, a zártat nyitja) a hozzátartozó kontaktusokat. Alaphelyzetben a nyitott kontaktus a ponált értéket és a zárt kontaktus negált értéket jelent. Az MSz EN 61131-3 szerinti grafikus jelölések: Programozáskor a változók szimbolikus neve a változók felett jelenik meg. A sorba kötött kontaktusok AND kapcsolatba, a párhuzamosan kötött kontaktusok OR kapcsolatban vannak. Kizáró vagy (EXOR) kapcsolat megvalósításához a változót reprezentáló ponált és negált kontaktusra is szükség van.

A szubrutinhívás nem része az eredeti kontaktus logikának. MSz EN 61131-3 LD programozási nyelvben a szubrutinhívást egy téglalap jelképezi, amelynek baloldalán a bemeneti változók, jobboldalán a kimeneti változók csatlakoznak. A téglalap felett van a típus, és a felett a szimbolikus név. A szubrutin memória

	: Ponált bináris változót reprezentáló kontaktus
	: Negált bináris változót reprezentáló kontaktus
	: Ponált bináris változót reprezentáló tekercs
	: Negált bináris változót reprezentáló tekercs
	: SET művelet
	: RESET művelet

19. ábra.

területet foglal le a be és kimeneti változói részére, ami a szimbolikus név alapján címezhető (pl.: Időzítő.S). A szubrutin bemeneti változóhoz hozzá kell rendelni a feladat be- és kimeneti, vagy belső változóit. A nem kétállapotú változókat széjjelhúzott kontaktus jelképezi. A szubrutin kimeneti változóhoz csak akkor kell tekercset hozzárendelni, ha fizikai kimenethez akarjuk csatlakoztatni.

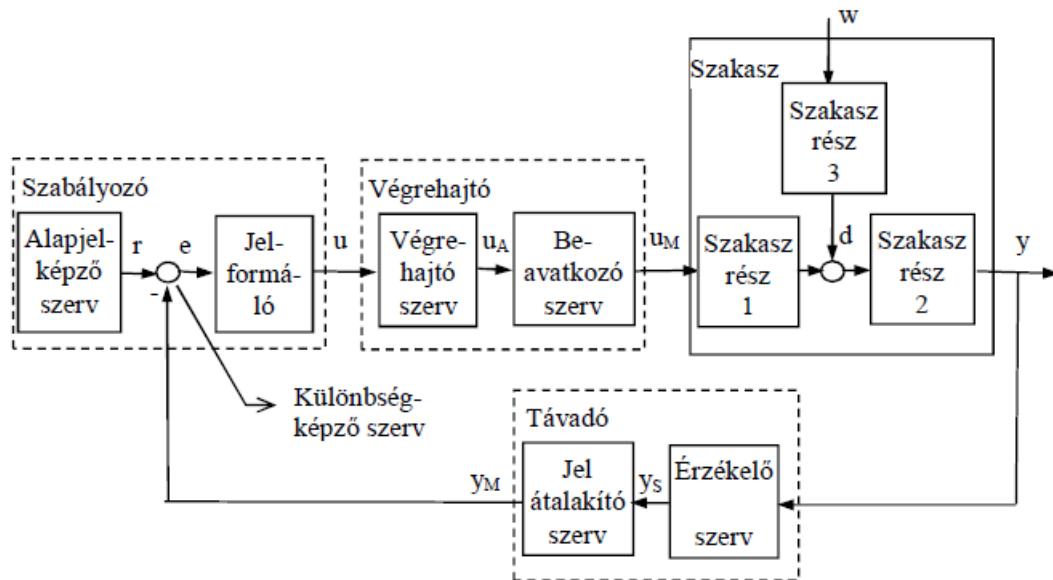
Funkcióblokk diagram (FBD: Function Block Diagram) Alacsony szintű, grafikus programozási nyelv. Szintaktikája a digitális alapáramkör logikán alapul. A digitális alapáramkör logika több bemenetű AND, OR, stb. logikai kapukkal írja le a megvalósítandó feladatot. Az MSz EN 61131-3 FBD programozási nyelvben a logikai műveleteket négyzet jelképezi, amelynek baloldali hosszabbított éléhez a logikai függvény argumentum változói, jobboldalához az eredményváltozó csatlakozik. A négyzetben van jelezve a logikai függvény típusa. A négyzetbe írt & az AND, a " ≥ 1 " az OR és a " $=1$ " az EXOR logikai kapcsolatot jelenti. A négyzet csatlakoztatási pontjainál elhelyezett üres karika a változó negált értékét jelzi. Az MSz EN 61131-3 FBD programozási nyelvben a szubrutinhívást szintén egy téglalap jelképezi. A szubrutin be és kimeneti változóhoz hozzá kell rendelni a feladat be és kimeneti, vagy belső változóit. Nem szükséges a szubrutin minden be és kimeneti változójához értéket rendelni.

A vezérlő relé programozás logikája, hogy ha egy változó egy logikai függvény argumentumában van, akkor kontaktus, és ha a logikai függvény eredménye, akkor tekercs szimbolizálja. Tekercs lehet fizikai kimenet Q, vagy belső M memória terület, valamint szubrutinnal megvalósított grafikus objektum (időzítő T és R, számláló C, D, és R, szövegblokk TX, RX stb.) engedélyező, törlő, vagy egyéb bemenete.

Kontaktus lehet fizikai bemenet I, vagy belső M memória terület, valamint szubrutinnal megvalósított grafikus objektum (időzítő T, számláló C, stb.) kimeneti eredmény változója. Továbbá vannak szubrutinnal megvalósított speciális kontaktusok (számláló komparátor V, analóg komparátor A, stb.). Megjegyzés: Az időzítő, számláló, szövegblokk engedélyező tekercsének lehelyezése jelenti a szubrutinhívást. Az időzítő, számláló stb., tekercseinek vagy kontaktusának lehelyezési sorrendje tetszőleges. Ugyancsak szubrutinhívás a számláló komparátor, analóg komparátor, stb. speciális kontaktusok használata. A kontaktusok alapállapota lehet "Normally open" záró (ponált változó) és "Normally closed" bontó (negált változó). A lehelyezett kontaktust kijelölve, a jobb egér klikk felhoz egy menü ablakot, amelyből a kívánt állapot kiválasztható.

6. A szabályozási körnek milyen szabványos megnevezésű elemei és jelei vannak? Mi a munkaponti linearizáció, és hogyan dönthető el, hogy mekkora tartományra alkalmazható? A szabályozási kör egyensúlyi helyzetének beállítása a szabályozó jellegének megválasztásával.

6.1. A szabályozási körnek milyen szabványos megnevezésű elemei és jelei vannak?



20. ábra. A szabályozási kör részletes blokkvázlata

Az szabályozási körökben a szakasz kivételével szervnek neveznek minden irányítástechnikai funkcióval rendelkező eszközt. A 20. ábrán a szervek elnevezései a blokkokba vannak beírva. A szaggatott vonallal körülhatárolt szervcsoportoknak önálló nevük is van (szabályozó, végrehajtó, távadó) és gyakran egy jelátviteli tagként kezelik ezeket, kivéve a szabályozó berendezést.

A 20. ábrán látható szervek és berendezések feladata:

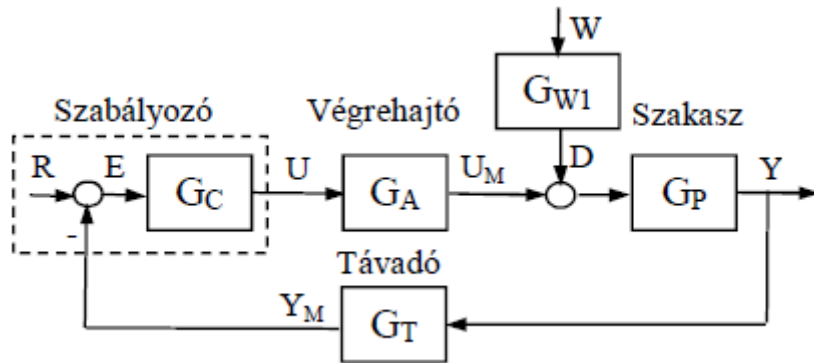
- A szabályozó (controller) berendezés magába foglalja az alapjel-képző, különbségképző, és a jelformáló szerveket.
- Az alapjel-képző szerv (reference input element) feladata, hogy előállítsa az Y_D alapértéknek megfelelő, az Y_M ellenőrző jellel azonos értékészletű és dimenziójú R alapjelet.
- A különbségképző szerv (error detector) feladata, hogy összehasonlítsa az R alapjel, és az Y_M ellenőrző jel aktuális értékeit. A két jel különbsége az e rendelkező jel, amit gyakran hibajelnek is neveznek.
- A jelformáló (compensator) szerv feladata, hogy biztosítsa a visszacsatolt hurok stabilitását, és az előírt minőségi paramétereit. A jelformáló szerv, és így a szabályozó berendezés kimeneti jele az U végrehajtó jel. A jelformáló szervet gyakran kompenzáló tagnak nevezik.

Ha a szabályozó mikroprocesszor alapú, akkor a fenti szervek szoftver taszkok.

- A végrehajtó (actuator) berendezés működteti a folyamatáramot (anyag vagy energia) módosító a beavatkozó szervet. A beavatkozót működtető eszközt is végrehajtó szervnek nevezi a magyar szakirodalom.

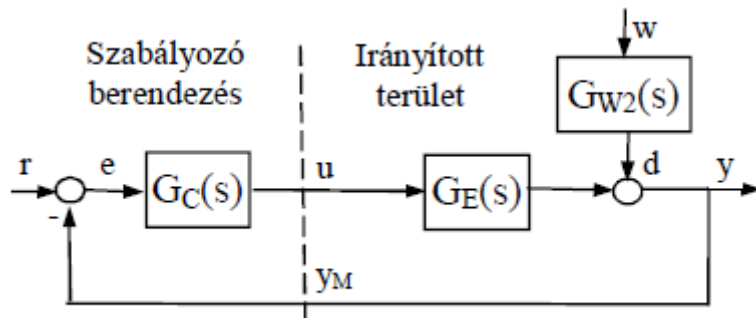
- A beavatkozó szerv (final element) feladata, hogy a szabályozott berendezés vagy technológia működését befolyásoló U_M módosító jellemzőt az U_A beavatkozó jelnek megfelelő értékre állítsa.
 - A végrehajtó szerv (actuator drive) feladata, hogy működtesse a beavatkozó szervet, és az U végrehajtó jelnek megfelelő pozícióba állítsa. Ha a pontosság érdekében visszaméri az U_A beavatkozó jelet és összehasonlítja az előírt U végrehajtó jellel, akkor helyzetbe-állító szervnek nevezik.
- A szabályozott berendezés, technológia, szakasz (controlled equipment, process, plant) előírt működése az irányítás célja.
- Ha a zavaró jellemző hatását is figyelembe kell venni, akkor – a blokkvázlat készítés szabályának megfelelően - a jellemzéséhez két jelátviteli blokk, és egy összegző szükséges.
- A távadó (transmitter) berendezés magába foglalja az Y szabályozott jellemzőt közvetlenül érzékelő szervet és a jelátalakítót.
- Az érzékelő szerv (sensor) feladata, hogy az y szabályozott jellemző értelmezési tartományát minél pontosabban leképezze az Y_S érzékelt jel értelmezési tartományába.
 - A jelátalakító szerv (transducer) feladata, hogy nagyobb távolságra torzulás mentesen továbbítható, és egyszerűen feldolgozható Y_M ellenőrző jellé alakítsa az Y_S érzékelt jelet.

A szabályozási kör blokkvázlata megnevezés alatt leggyakrabban a 21. ábrán látható elrendezést értik. A 22.



21. ábra. A szabályozási kör blokkvázlata

22. ábra az ipari berendezések szabályozásának azt a gyakori esetét reprezentálja, amikor az irányító berendezés felől nézve – az u végrehajtó jel, mint bemenet, és az y_M ellenőrző jel, mint kimenet között – az irányított terület (process field) egyetlen blokkal modellezett. Így a visszacsatoló ágban a jelátvitel 1. Ezt merev visszacsatolásnak (unit feedback) nevezik.

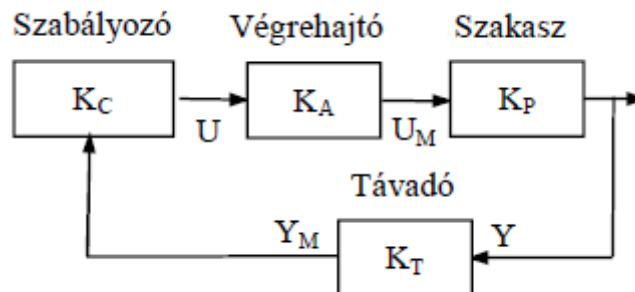


22. ábra. A szabályozási kör merev visszacsatolású blokkvázlata

A szabályozás célja, hogy az Y szabályozott jellemző – a tranziensek lezajlása után – előírt hibahatáron belül tartsa vagy kövesse az R alapjel által előírt Y_D alapértéket, valamint előírt hibahatáron belülre csökkentse a W zavaró jellemző üzemi értéktől való eltérésének a hatását. Ehhez statikusan illeszteni kell a szabályozási kört, és dinamikusan méretezni kell a kompenzáló tagot.

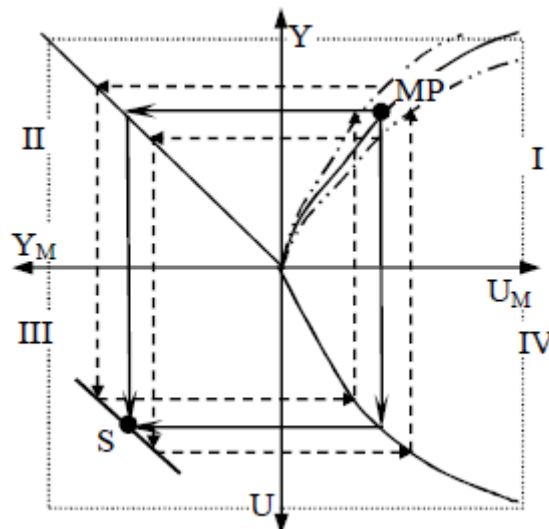
6.2. Mi a munkaponti linearizáció, és hogyan dönthető el, hogy mekkora tartományra alkalmazható

A jelátvivő tag lehet önbeálló, vagy lehet direkt vagy inverz jellege. Ha növekvő bemenő jel értékekhez tartozó válaszjel állandósult állapotbeli értéke nő, akkor a jelleg direkt, ha a válaszjel állandósult állapotbeli értéke csökken, akkor inverz. Az önbeálló rendszereknek van statikus karakterisztikája. Az egyhurkos szabályozási kör négy berendezése (20. ábra) közül legalább kettőnek önbeállónak kell lennie. Megjegyzés: Leggyakrabban a szabályozó nem önbeálló. Gyakran a szakasz, és ritkán a végrehajtó. A távadó mindig önbeálló, hisz a szabályozott jellemzőt kell leképeznie. A 24. ábrán csak a szabályozó nem önbeálló. Megjegyzés: A 23.



23. ábra. A szabályozási kör statikus blokkvázlata

ábrán a szabályozó berendezés – eltérően a 21. ábrától – egy blokként van ábrázolva és a zavaró jellemző hatását a 24. ábrán vesszük figyelembe.



24. ábra. A statikus karakterisztikák illesztése

Megjegyzés: A 23. ábrán a $G(s)$ átviteli függvények helyett a berendezések statikus karakterisztikáinak a vizsgált munkapontához tartozó átviteli tényezői vannak a berendezések blokkjaiba írva. Ez a vizsgálatban

nem játszik szerepet.

A 24. ábra egy olyan speciális koordináta rendszer, amelynek minden síknegyedében a 23. ábra berendezéseinek be-, és kimenete van, a 23. ábra nyílrányainak megfelelően egymáshoz képest $+90^\circ$ -al el vannak forgatva. A négy koordináta rendszer origója közös.

A 24. ábra "I" jobb felső síknegyedében a szakasz $Y = F(U_M)$ statikus (állandósult állapotbeli) karakterisztikája van. A folytonos vonal az átlagos zavar jellemző értékek mellett meghatározott statikus karakterisztika. A szaggatott pont-vonalak a zavar jellemzők hatását, más szavakkal az Y szabályozott jellemző állandósult értékei változásának határait mutatja.

A 24. ábra "II" bal felső síknegyedében a távadó $Y_M = F(Y)$ statikus karakterisztikája van. A karakterisztika nem szükségszerűen, de szerencsére sokszor lineáris a teljes jeltartományban. A 24. ábrán a távadó statikus karakterisztikája lineáris. A 24. ábra "IV" jobb alsó síknegyedében a végrehajtó $U_M = F(U)$ statikus karakterisztikája van. Számos irányítástechnikai előnnyel bír, ha a végrehajtó statikus karakterisztikája lineáris. Sajnos legtöbbször, így a 24. ábrán is, a végrehajtó statikus karakterisztikája nem lineáris.

A statikus jel illesztés fontos szabálya, hogy a jelek, jellemzők végértékei illeszkedjenek egymáshoz. A 24. ábrán ez teljesül, a pontozott vonal keretezi a jelek, jellemzők végértékeit (a kezdeti értékek az origóban vannak). Megjegyzés: Ez a műszerező mérnök feladata. Olyan távadót választani, ami képes a szabályozott jellemző teljes jeltartományát mérni. Olyan végrehajtót választani, amely képes elegendően nagy módosító jellemzőt szolgáltatni. A szabályozott szakasz kívánatos "MP" munkapontját a technológus definiálja, és ez mindig berajzolható az I. síknegyedbe. A 24. ábrán a szakasz statikus karakterisztikájú, és így az "MP" munkapontja az üzemi statikus karakterisztika görbájén van. Ha a zavaró jellemző eltér a tervezett üzemi értékétől, akkor a statikus karakterisztika is módosul (az ábrán szaggatott vonal, dupla pont görbék). A munkapontból balra vetítve a távadó munkapontja, lefelé vetítve a végrehajtó munkapontja jelölhető ki a távadó, illetve a végrehajtó statikus karakterisztikáin (hegyes, folytonos nyilak).

A 24. ábra "III" bal alsó síknegyedében a szabályozó van. A mérnöki gyakorlatban fontos eldönteni, hogy a szabályozó jellege direkt vagy inverz legyen. A távadó munkapontjából lefelé és a végrehajtó munkapontjából balra vetítve (hegyes, folytonos nyilak) a 24. ábra "III" bal alsó síknegyedében kijelölhető az "S" pont. Az "S" ponton átfektetett direkt vagy inverz meredekségű egyenessel dönthető el, hogy melyik szabályozó jelleget kell alkalmazni az adott szabályozási körben. A 24. ábrán az inverz jelleg (növekvő Y_M ellenőrző jel értékéhez az U végrehajtó jel csökkenő értéke tartozik) bizonyult megfelelőnek. Más statikus jelleggörbék esetén lehet a direkt jelleg a megfelelő választás! Inverz jellegű statikus karakterisztikájú szabályozó esetén, ha zavar hatására hirtelen megnő vagy lecsökken az Y szabályozott jellemző értéke, akkor a szaggatott nyilak mentén végighaladva az eredeti Y szabályozott jellemző értékének közelébe térünk vissza a 24. ábrán.

Megjegyzés: A maradó szabályozási eltérést a kompenzáló tag dinamikai viselkedése szüntetheti meg.

Könnyű ellenőrizni, hogy ha a szabályozási kör statikus karakterisztikái a 24. ábra szerintiek, akkor direkt meredekségű egyenest átfektetve az "S" ponton az Y szabályozott jellemző értéke távolodik az eredeti "MP" munkapontbeli értékétől. Megjegyzés: Ha a szabályozó jellegét rosszul választják meg, akkor semmilyen kompenzáló algoritmus nem tudja megakadályozni, hogy a szabályozott jellemző ne valamelyik végértékére üljön ki.

Ha a szakasz nem önbeálló jellegű, akkor a 24. ábra "I" jobb felső síknegyedében, a tervezett "MP" munkapontban – a szabályozó berendezéshez hasonlóan – kell a szakasz direkt vagy inverz jellegének megfelelő direkt vagy inverz meredekségű vetítő egyenest berajzolni. Ezután a szabályozó statikus jellegének megkeresése ugyanúgy történik, mint az önbeálló szakasznál.

7. A mintavételi idő megválasztása szürke doboz modell esetén. Mi a helyzet domináns időállandóval rendelkező eredő szakasz esetén? A mintavételi idő megválasztása fekete doboz modell esetén az átmeneti függvényből, valamint a körfrekvencia függvényből. Mi a helyzet az integráló jellegű eredő szakasz esetén?

A hibrid szabályozásokat tervezés szempontjából analóg szabályozásként szokás kezelni. Ennek feltétele a T_S mintavételi idő helyes megválasztásával a felharmonikus összetevőkből származó hiba néhány ezreléknél kisebb legyen. Szürke doboz modell esetén ismertek az eredő szakasz időállandói. Fekete doboz modell esetén az eredő szakasznak vagy az időtartánybeli átmeneti függvénye vagy a körfrekvencia tartománybeli átviteli függvény grafikus megjelenítése (Bode diagram) lett mérésrel meghatározva.

7.1. Szürke doboz modell alapján

Ha ismert az eredő szakasz átviteli függvénye, akkor ismertek a pólusai is. A pólusok abszolút értékek reciprok értéke az eredő szakasz T_k időállandói. Ha a T_S mintavételi idő megválasztásakor eleget teszünk az alábbi ajánlásnak, akkor a mintavételezésből származó hiba legfeljebb néhány ezrelék.

$$\frac{\sum_{k=1}^K T_k}{50} \geq T_S \geq \frac{\sum_{k=1}^K T_k}{150}$$

ahol K a pólusok száma. Ha az eredő szakasz közel $PT1$ jellegű vagy rendelkezik egy domináns időállandóval, akkor nagyobb számmal 100-150 célszerű osztani, hiszen az amplitúdó viszonylag magas körfrekvenciákon sem csökken meredeken. Ha az eredő szakasz három vagy több időállandóval rendelkezik és nincs köztük domináns, akkor kisebb számmal 50-100 célszerű osztani, hiszen az amplitúdó meredeken csökken a nagyobb körfrekvenciákon. Ha integráló jellegű az eredő szakasz, akkor az eredő szakasz Bode alakjának időállandóit (köztük a TI integrálási időt) kell összegezni.

7.2. Szürke doboz modell, átmeneti függvény alapján

Nagyjából az időállandók összegének ötszöröse a 2%-os és négyszerese az 5%-os pontosságú beállási idő. Az előbbi kifejezés alapján:

$$\frac{T_{a2\%}}{250} \geq \frac{T_{a2\%}}{750}$$
$$\frac{T_{a5\%}}{200} \geq \frac{T_{a5\%}}{600}$$

Az átmeneti függvény alakjából kell következtetni időállandók számára és közelségére. Ezt követően az osztó paraméter megválasztásának szempontjai azonosak. Integráló jellegű eredő szakasz esetén az $IT1$ szakasz-közelítésnek megfelelő T_I integrálási időnek és T_g látszólagos időállandónak az összegét kell osztani legalább 500-750 közötti számmal. Minél távolabb vannak egymástól, annál nagyobbval.

Megjegyzés: A szürke és fekete doboz modell esetén is igaz, hogy ha valóságos holdidő van az eredő szakaszban, akkor a holtidő legyen egész számú többszöröse a mintavételi időnek.

7.3. Szürke doboz modell, körfrekvencia átviteli függvény alapján

Az algoritmus feldolgozásának idő igénye T_S időtartamú jelkésleltetést – H holtidős tagot – hoz a szabályozási körbe, ami torzítja a $G_0(j\omega)$ felnyitott hurok átviteli függvény fázismentet. A holtidős tag fázisa lineárisan csökken, vagyis aránypárba állítható a körfrekvencia és a hozzátartozó fázistolás.

Megjegyzés: A Bode diagramon a logaritmikus lépték miatt csökken exponenciálisan a holtidős tag fázisa.

Ha a holtidős tag fázismentén a $2\omega_s$ körfrekvencián engedünk $1 [rad]$ fázistolást és az ω_C vágási körfrekvencián a holtidős tag fázistolása $\Delta\phi$, akkor érvényes az alábbi kifejezés. A kifejezésben az ω_s a mintavételi körfrekvencia.

$$\frac{\Delta\phi [rad]}{1 [rad]} = \frac{\omega_C [\frac{rad}{sec}]}{2\omega_s [\frac{rad}{sec}]}$$

a körfrekvencia diagramon számértékre $\omega_s = \frac{1}{T_s}$

Ha nincs vágási körfrekvencia, akkor a legkisebb törésponti körfrekvenciát kell a fenti kifejezésben felhasználni. Ha az eredő szakasz leendő vágási körfrekvenciáján csak néhány fokos fázistorzulást $0.015-0.075 [rad]$ eredményezhet a mintavétel, akkor:

$$0.015 [rad] \leq \frac{\omega_C * T_s}{2} [rad] \leq 0.075 [rad]$$

$$\frac{0.03}{\omega_C} [sec] \leq T_s [sec] \leq \frac{0.15}{\omega_C} [sec]$$

Az eredő szakasz körfrekvencia függvényének fázismentén jól látható az időállandók száma, és amplitúdó mentén az időállandók egymáshoz való közelsége. A konstans $0.03-0.15$ megválasztásának megfontolása azonos az előzőekével. Szokás a vágási körfrekvencián megengedett fázistorzulás mértékével definiálni a mintavételi időt. A $\Delta\phi$ dimenzióját fokra váltva:

$$\frac{\pi [rad]}{\Delta\phi [^\circ]}$$

Szakasz modell közelítés esetén a közelítő időállandók az ismertek. Mindig 100 feletti értékkel osszuk az időállandók összegét! Integráló jellegű szakasz esetén a válaszfüggvény egyenletesen növekvő (csökkenő) részének amplitúdó változása haladja meg a bemeneti jel állandósult amplitúdó változásának mértékét!

8. A jelátviteli alaptagok átviteli függvényei, átmeneti függvényei, differenciál egyenletei, Bode diagramjaik.

8.1. P (proportional) arányos tag

Differenciálegyenlet:

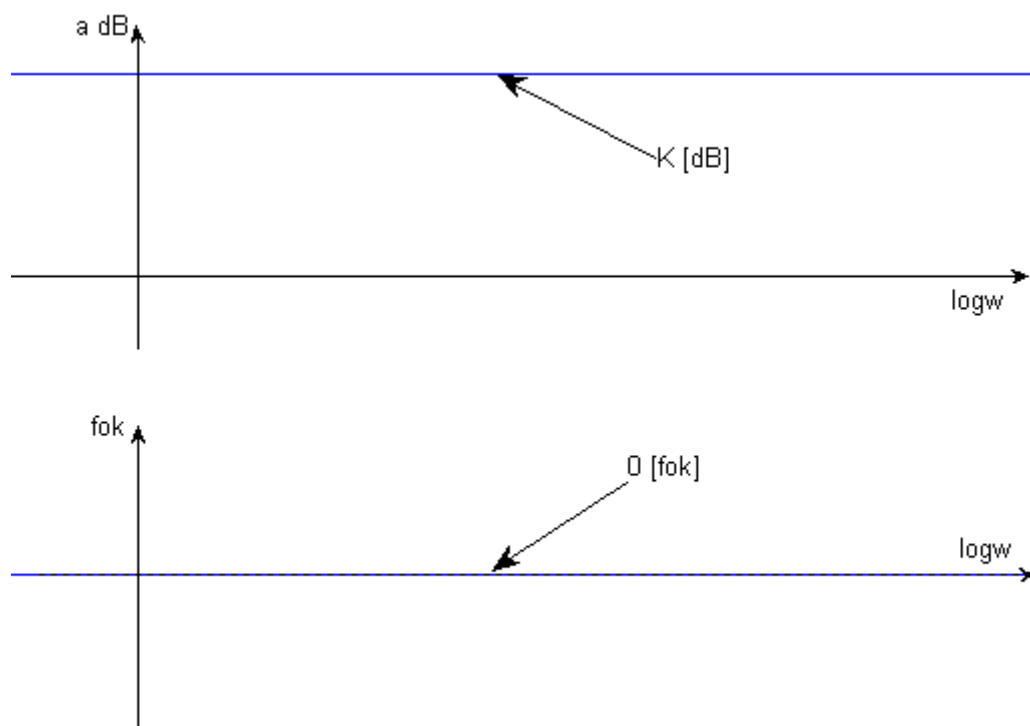
$$x_{ki}(t) = K * x_{be}(t)$$

Körfrekvencia átviteli függvény:

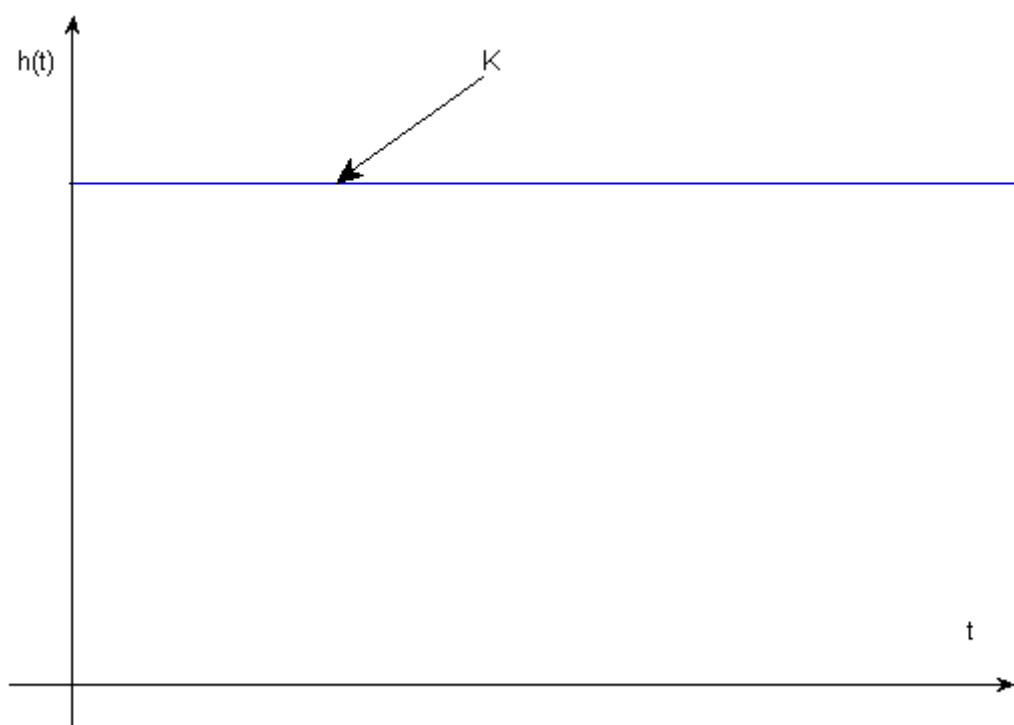
$$G(j\omega) = K$$

A decibel érték átszámítása:

$$K = 10^{\frac{K[dB]}{20}}$$



25. ábra. Az arányos alaptag Bode diagramja



26. ábra. Az arányos alaptag $h(t)$ átmeneti függvénye

8.2. I (integral) integráló tag

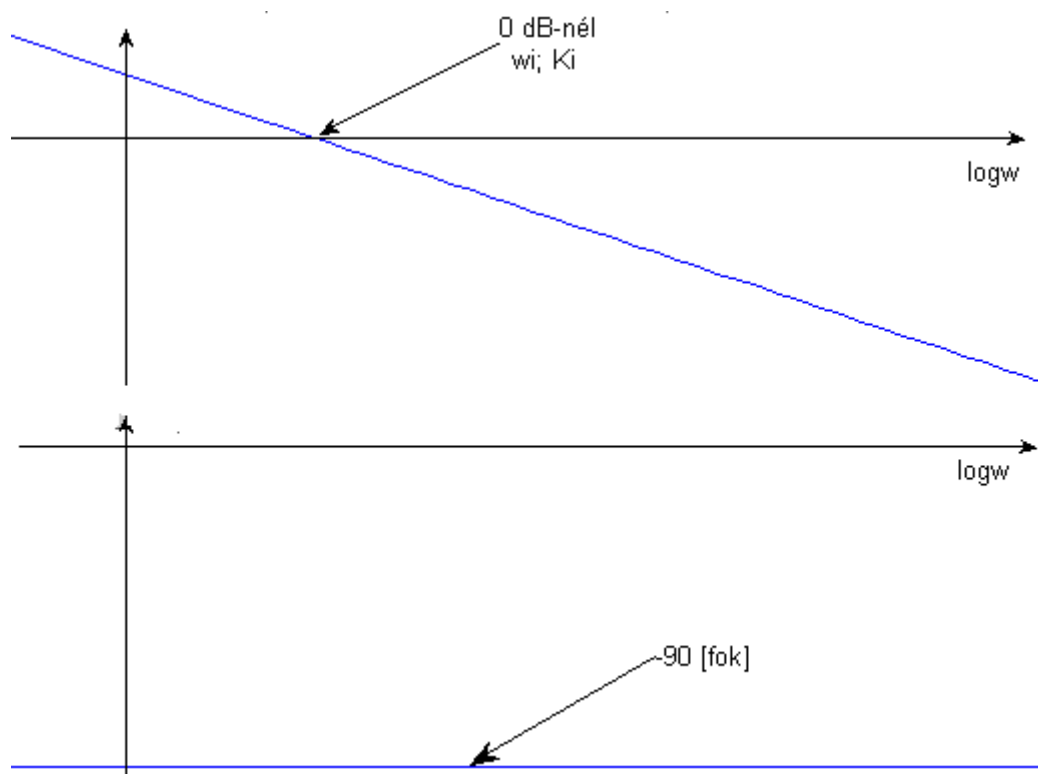
Differenciálegyenlet:

$$x_{ki}(t) = K_I \int_0^{\infty} x_{be}(t) dt$$

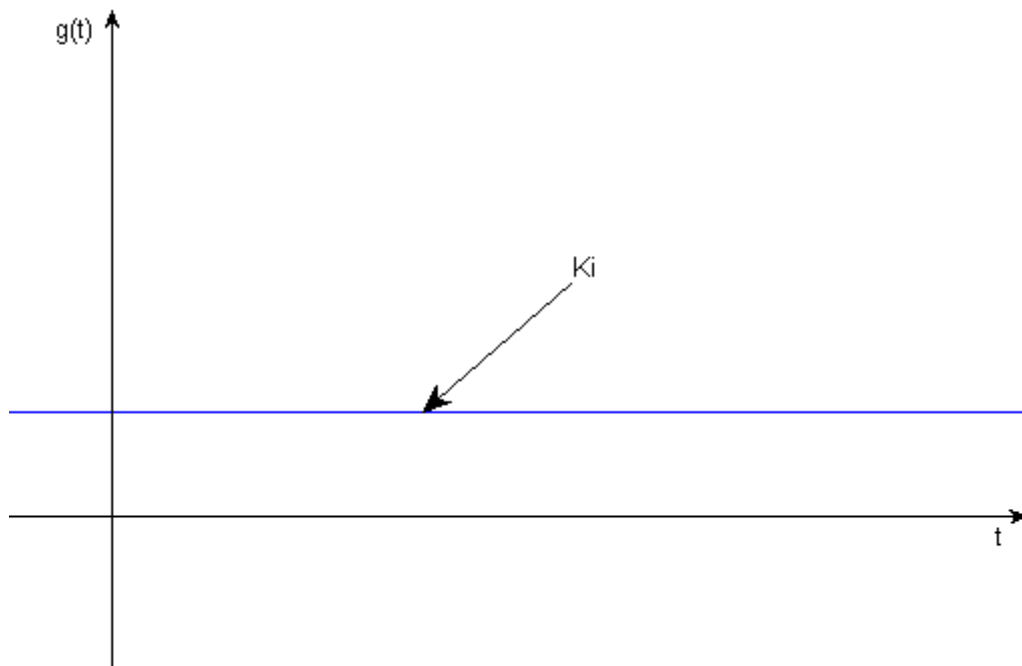
$$T_I \frac{dx_{ki}(t)}{dt} = x_{be}(t)$$

Körfrekvencia átviteli függvény:

$$G(j\omega) = \frac{K_I}{j\omega} = \frac{1}{j\omega T_I} = \frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_I}}$$



27. ábra. Az integráló alaptag Bode diagramja



28. ábra. Az integráló alaptag $g(t)$ súlyfüggvénye és $h(t)$ átmeneti függvénye

8.3. D (derivative) differenciáló tag

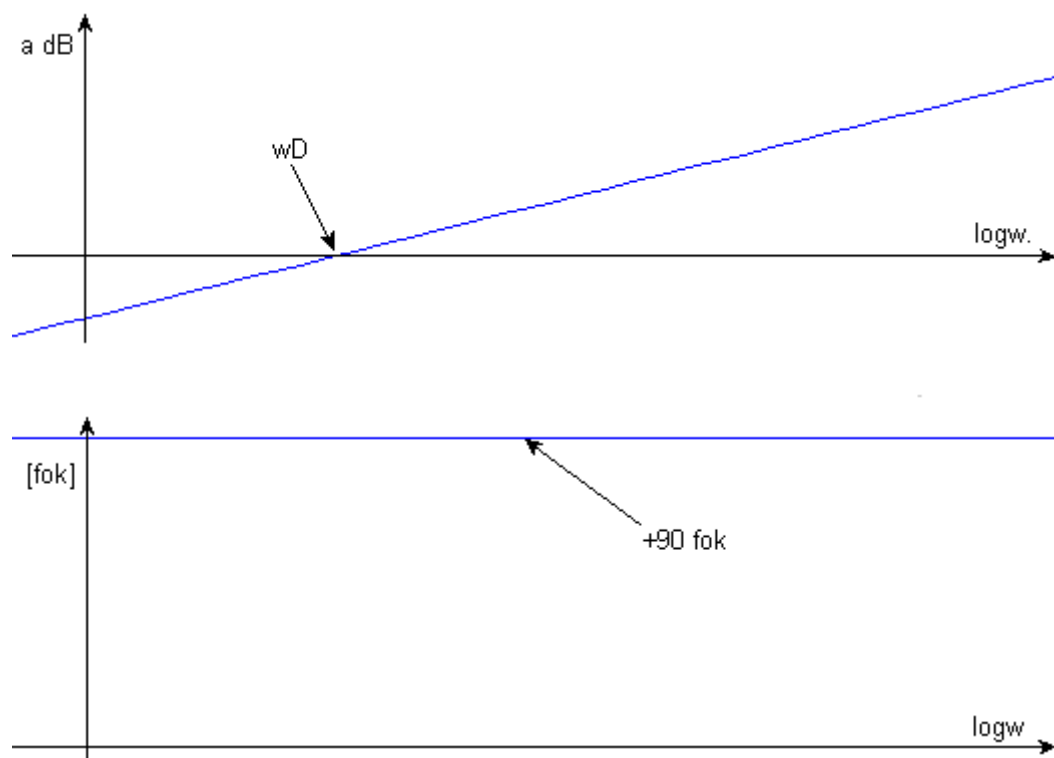
Differenciálegyenlet:

$$x_{ki}(t) = K_D \frac{dx_{be}(t)}{dt}$$

$$x_{ki}(t) = T_D \frac{dx_{be}(t)}{dt}$$

Körfrekvencia átviteli függvény:

$$G(j\omega) = K_D j\omega = j\omega T_D = j \frac{\omega}{\omega_D}$$



29. ábra. Differenciáló alaptag Bode diagramja

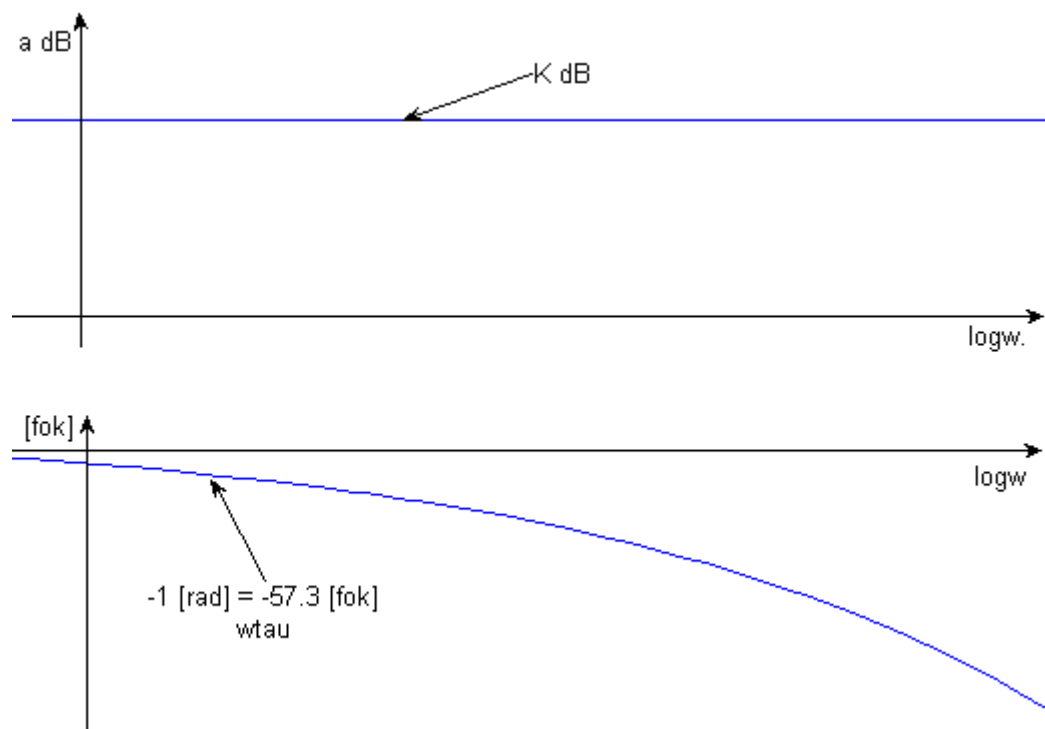
8.4. H holtidős (dead time, transport time, delay time) tag

Differenciálegyenlet:

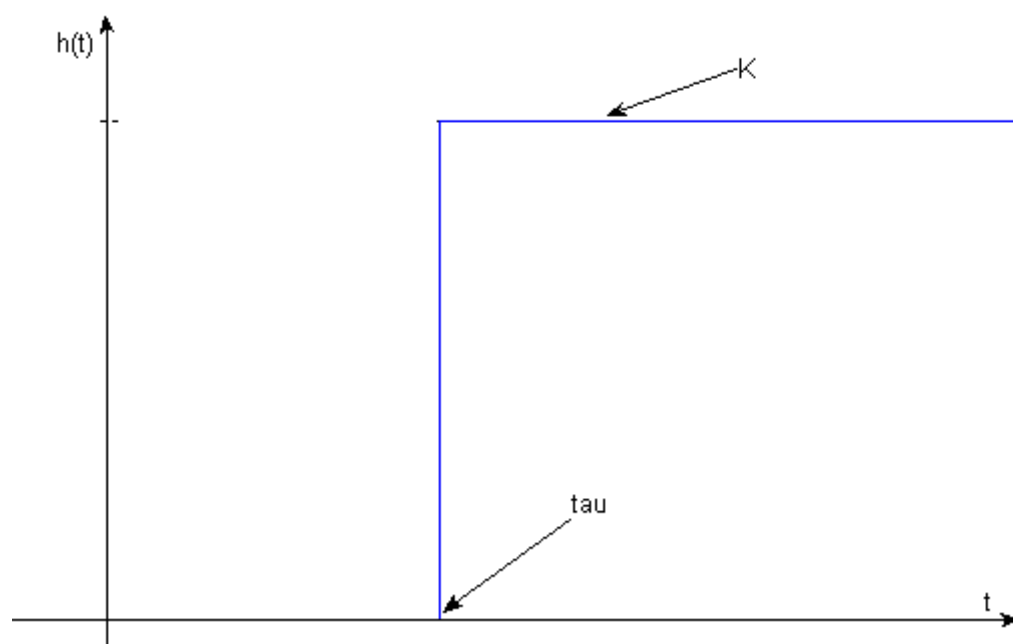
$$x_{ki}(t) = K * 1(t - \tau) x_{be}(t - \tau)$$

Körfrekvencia átviteli függvény:

$$G(j\omega) = e^{j\omega\tau}$$



30. ábra. Holtidős alaptag Bode diagramja



31. ábra. Holtidős alaptag átmeneti függvénye

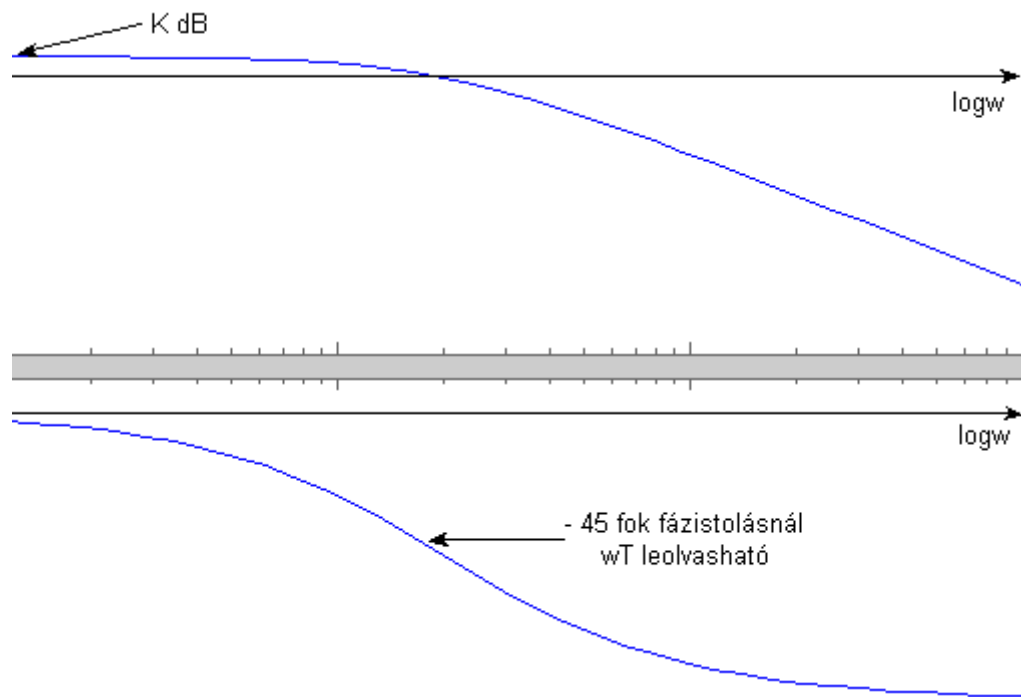
8.5. PT1 egy időállandós (first order) tag

Differenciálegyenlet:

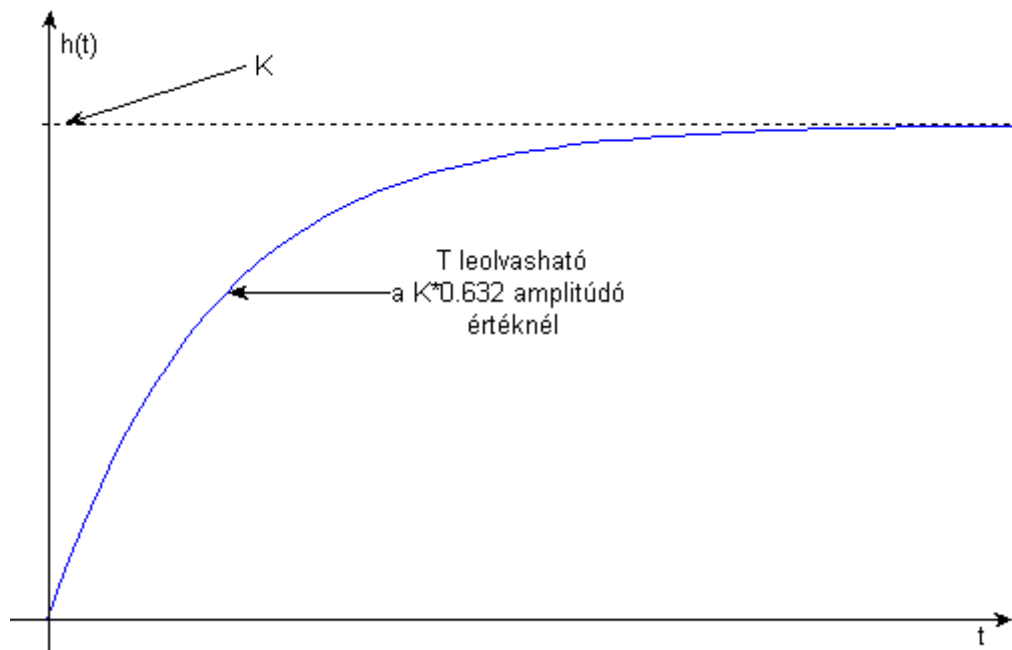
$$T \frac{dx_{ki}(t)}{dt} + x_{ki}(t) = K * x_{be}(t)$$

Körfrekvencia átviteli függvény:

$$G(j\omega) = \frac{K}{j\omega * T + 1} = \frac{K}{j\frac{\omega}{\omega_T} + 1}$$



32. ábra. Egy tárolós alaptag Bode diagramja



33. ábra. Egy tárolós alaptag átmeneti függvénye

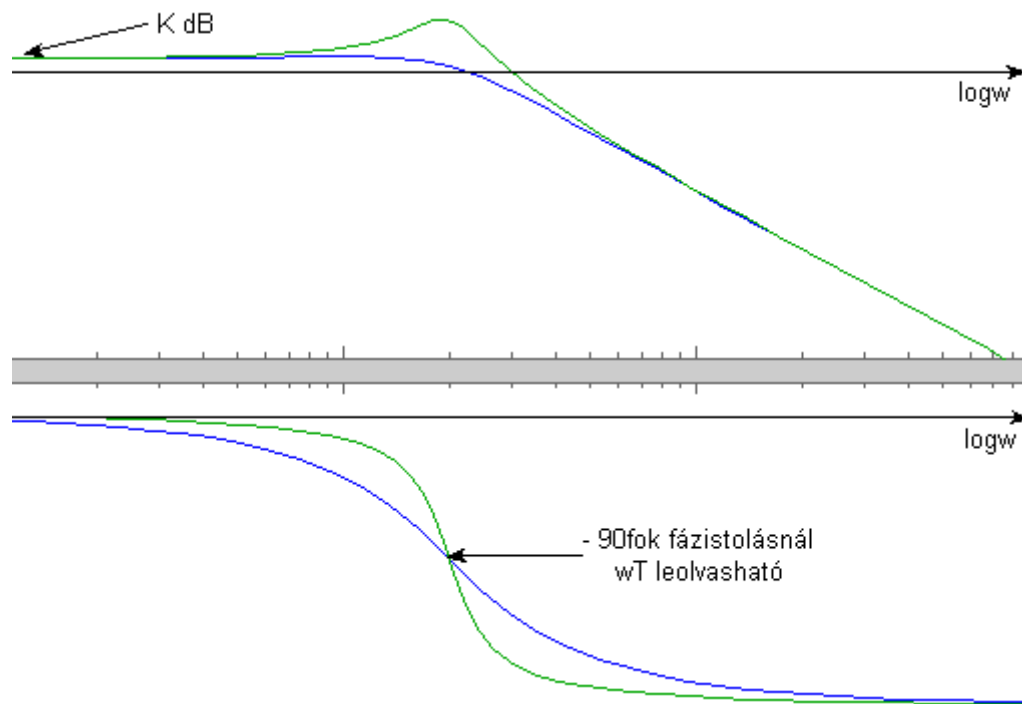
8.6. PT2 két időállandós (second order) tag

Differenciálegyenlet:

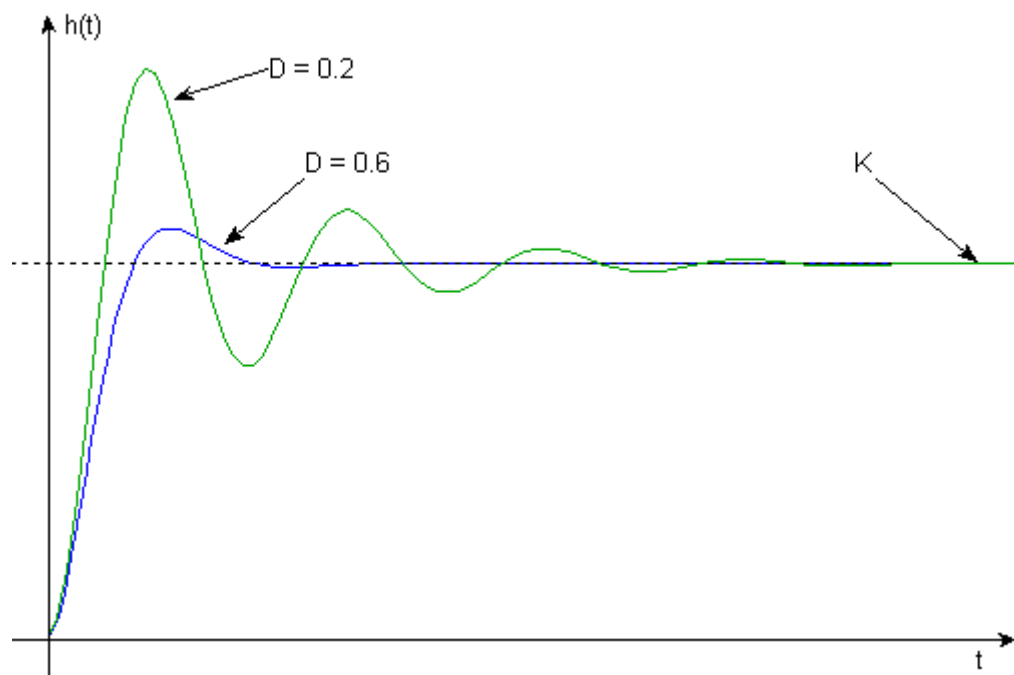
$$T^2 \frac{d^2 x_{ki}(t)}{dt^2} + 2 * D * T \frac{dx_{ki}(t)}{dt} + x_{ki}(t) = K * x_{be}(t)$$

Körfrekvencia átviteli függvény:

$$G(j\omega) = \frac{K}{T^2 (j\omega)^2 + 2 * D * T * j\omega + 1}$$



34. ábra. Két tárolós alaptag Bode diagramja



35. ábra. Két tárolós alaptag átmeneti függvénye

9. Az átviteli függvények soros, párhuzamos, visszacsatolt eredője.

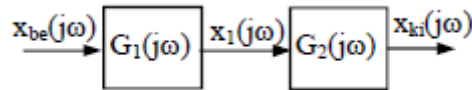
9.1. Soros eredő

$$x_1(j\omega) = G_1(j\omega) * x_{be}(j\omega)$$

$$x_{ki}(j\omega) = G_2(j\omega) * x_1(j\omega)$$

Behelyettesítéssel megkapható a soros eredő:

$$G_{12}(j\omega) = G_1(j\omega) * G_2(j\omega)$$



36. ábra. Soros kapcsolás

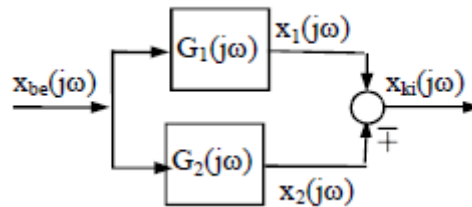
9.2. Párhuzamos eredő

$$x_1(j\omega) = G_1(j\omega) * x_{be}(j\omega)$$

$$x_2(j\omega) = G_2(j\omega) * x_{be}(j\omega)$$

Összegezéssel a párhuzamos eredő:

$$G_{12}(j\omega) = G_1(j\omega) \mp G_2(j\omega)$$



37. ábra. Párhuzamos kapcsolás

9.3. Visszacsatolt eredő

$$x_1(j\omega) = x_{be}(j\omega) \mp x_2(j\omega)$$

$$x_{ki}(j\omega) = G_1(j\omega) * x_1(j\omega)$$

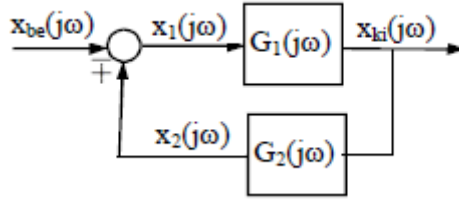
$$x_2(j\omega) = G_2(j\omega) * x_{ki}(j\omega)$$

Az $x_1(j\omega)$ és az $x_2(j\omega)$ segédváltozókat kiejtve kapjuk a

$$x_{ki}(j\omega) = G_1(j\omega) [x_{be}(j\omega) \mp G_2(j\omega) * x_{ki}(j\omega)]$$

kifejezést, majd ezt a kifejezést rendezve, a visszacsatolt eredő:

$$G_{12}(j\omega) = \frac{G_1(j\omega)}{1 \pm G_1(j\omega) G_2(j\omega)}$$



38. ábra. Visszacsatolt kapcsolás

10. A zárt szabályozási kör átviteli függvényei. A HPT1, IT1, PT3 tag átmeneti függvénye és átviteli függvénye. Az átmeneti függvényen hol olvashatók le a paraméterek?

10.1. A zárt szabályozási kör átviteli függvényei

10.1.1. Felnyitott hurok átviteli függvény

$$G_0(s) = \frac{y_M(s)}{r(s)} = G_C(s) G_A(s) G_P(s) G_T(s)$$

10.1.2. Alapjel átviteli függvény

$$G_{yr}(s) = \frac{y(s)}{r(s)} = \frac{G_C(s) G_A(s) G_P(s)}{1 + G_C(s) G_A(s) G_P(s) G_T(s)}; w = 0$$

10.1.3. Hibajel átviteli függvény

$$G_{er}(s) = \frac{e(s)}{r(s)} = \frac{1}{1 + G_C(s) G_A(s) G_P(s) G_T(s)}; w = 0$$

10.1.4. Zavar átviteli függvény

$$G_{yw}(s) = \frac{y(s)}{w(s)} = \frac{G_{W1}(s) G_P(s)}{1 + G_C(s) G_A(s) G_P(s) G_T(s)}; r = 0$$

10.1.5. Zavar, hibajel átviteli függvény

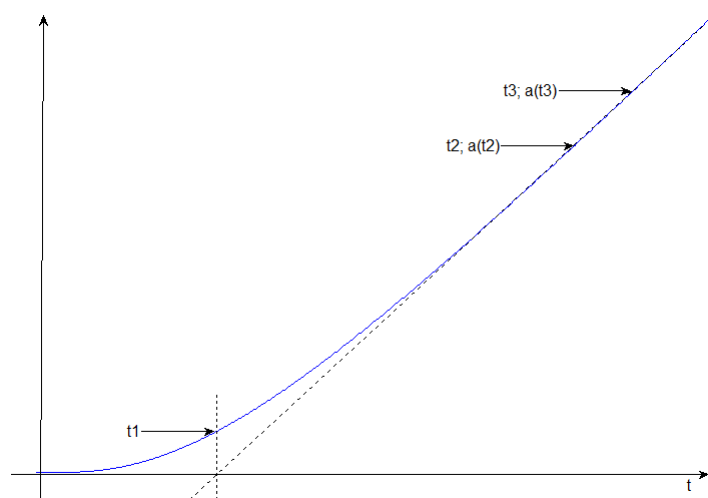
$$G_{ew}(s) = \frac{e(s)}{w(s)} = \frac{-G_{W1}(s) G_P(s) G_T(s)}{1 + G_C(s) G_A(s) G_P(s) G_T(s)}; r = 0$$

10.2. IT1 tag átmeneti függvénye, paraméterei

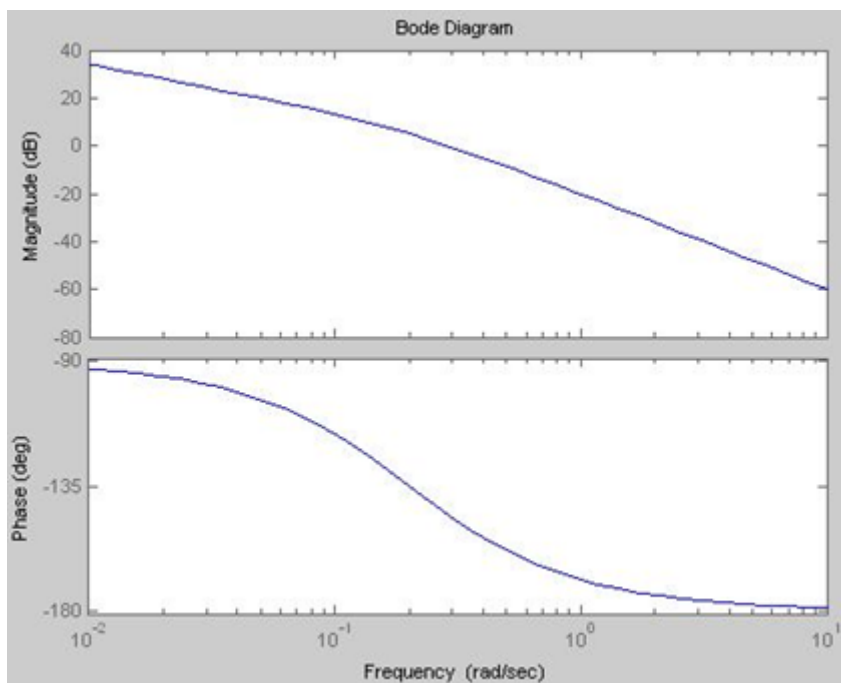
$$G_{IT1}(s) = \frac{1}{sT_I} \frac{1}{sT + 1}$$

$$T_I = \frac{t_3 - t_2}{a(t_3) - a(t_2)}$$

$$T = t_1$$



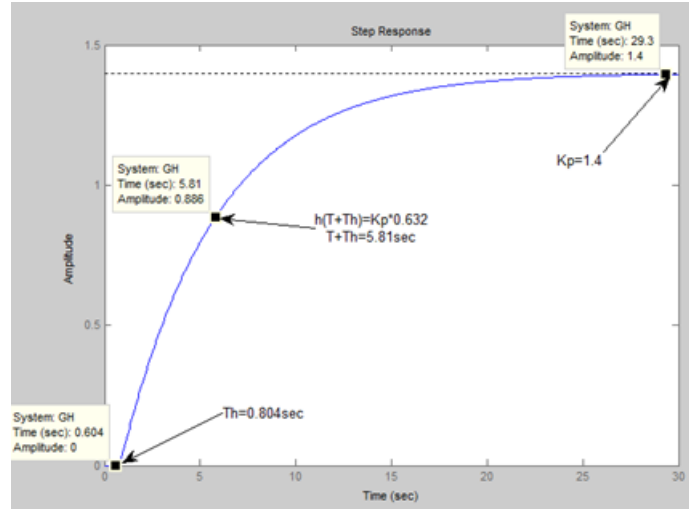
39. ábra. Az eredő szakasz átmeneti függvénye



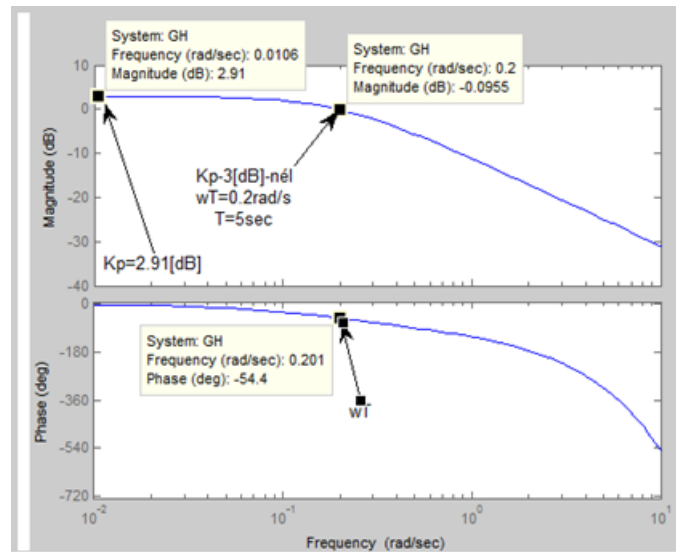
40. ábra. Az eredő szakasz Bode diagramja

10.3. HPT1 tag átmeneti függvénye, paramétere

$$G_{HPT1}(s) = K_P \frac{1}{sT + 1} e^{-s\tau}$$



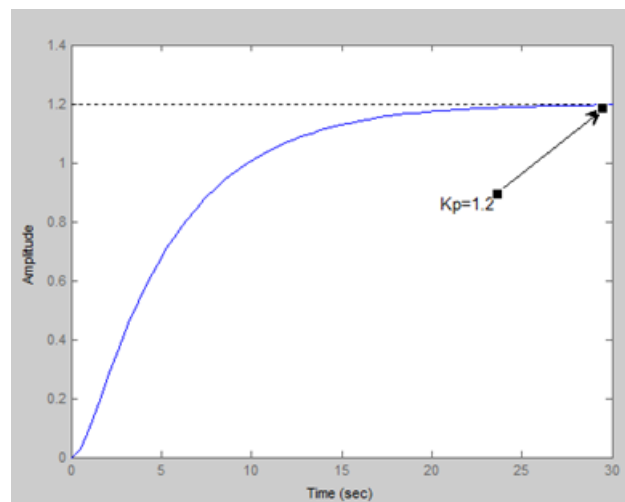
41. ábra. Az eredő szakasz átmeneti függvénye



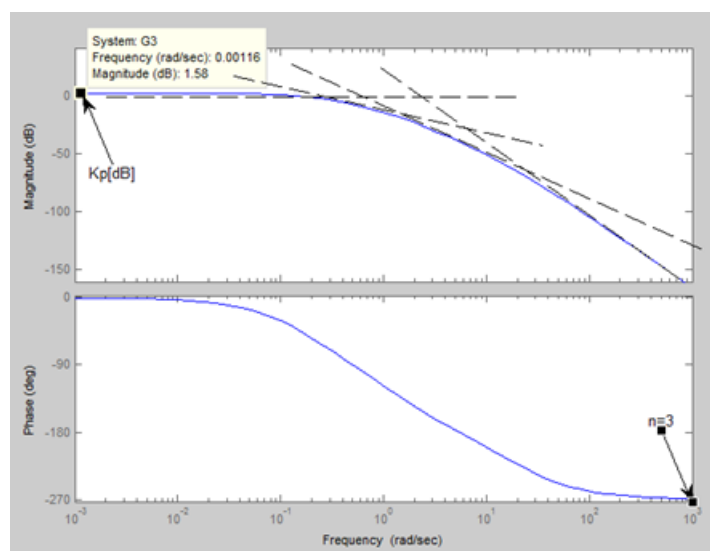
42. ábra. Az eredő szakasz Bode diagramja

10.4. PT3 tag átmeneti függvénye, paramétere

$$G_{PT3}(s) = \frac{K_P}{(sT_1 + 1)(sT_2 + 1)(sT_3 + 1)}$$



43. ábra. PT3 tag átmeneti függvénye



44. ábra. PT3 tag Bode diagramja

11. Adja meg az PIDT kompenzáló tag felépítését és a lehetséges átviteli függvényeit! A lehetséges átviteli függvények közül melyik milyen szakasz esetén előnyös?
12. Adja meg az PI kompenzáló tag átviteli függvényét, Bode diagramját, valamint a leendő vágási körfrekvencia leolvasási pontját!
13. Adja meg az PDT kompenzáló tag átviteli függvényét, Bode diagramját, valamint a leendő vágási körfrekvencia leolvasási pontját!
14. Mi a szabályozási kör értékkövetése? Mitől függ értékkövetés esetén a maradó szabályozási eltérés? Melyik átviteli függvényből határozná meg a konkrét értékét?
15. Mi a szabályozási kör értéktartása? Mitől függ értéktartás esetén a maradó szabályozási eltérés? Melyik átviteli függvényből határozná meg a konkrét értékét?
16. Az átviteli függvény polinom tört, gyöktényezős, és Bode alakja. Mi a típusszám és melyik függvényből olvasható le? Mi a kapcsolat az átviteli függvény gyökei és időállandói között?
17. Minőségi jellemzők az időtartományban.
18. Stabilitás vizsgálat a zárt szabályozási kör átviteli függvényének gyökei alapján. Hogyan lehet a szabályozási kör gyökeiből az időtartománybeli minőségi jellemzőket megbecsülni?
19. Stabilitás vizsgálat a felnyitott hurokátviteli függvény alapján.
20. Milyen szakaszmodell közelítéseket ismer az arányos és integráló szakaszok azonosítására? Hogyan használhatók a közelítő modell paraméterei kompenzáláskor?
21. Mi a pólus kiejtéssel történő kompenzálás elve?
22. A fázistartalék és az erősítéstartalék fogalma. Hogyan választ kompenzáló tagot az eredő szakasz körfrekvencia függvényének (Bode diagramjának) ismeretében?
23. Hogyan határozza meg az eredő szakasz körfrekvencia függvényén a leendő vágási körfrekvencia értékét?
24. A PI kompenzálás menete a körfrekvencia tartományban.
25. A PDT kompenzálás menete a körfrekvencia tartományban.

formáit!	1
1.1. A mikroprocesszor alapú irányító berendezések	1
1.1.1. Mikrokontrollerek	1
1.1.2. Személyi számítógép alapú rendszerek	2
1.1.3. Folyamatirányítók	2
1.1.4. Nem általános célú irányító berendezések	2
1.2. Programozható Logikai Vezérlők (<i>PLC</i>)	3
1.2.1. Kompakt kialakítású <i>PLC</i> -k	3
1.2.2. Modulárisan kompakt kialakítású <i>PLC</i> -k	3
1.2.3. Modulvázis (rack) kialakítású <i>PLC</i> -k	4
2. Ismertesse a <i>PLC</i> felhasználói program struktúráját! Definiálja a funkció blokk és a függvény közötti eltérést! Ismertesse a ciklikus programfuttatás ütemeit, és a reakció idő összetevőit!	4
2.1. Programozható logikai vezérlők szoftverszerkezete	4
3. Jellemezze a távadók és a végrehajtók generációi! Mit jelent a 2, 3, 4 vezetékes bekötés? Adja meg a leggyakrabban alkalmazott szabványos ipari jeltartományokat!	7
4. Ismertesse a vezérlés és a szabályozás közötti választás szempontját. Adja meg a jelátvivő tag fogalmát! A dimenzió nélkülivé tétel eljárása. A blokkdiagram átalakítás szabályai.	9
4.1. A vezérlés és a szabályozás közötti választás szempontja	9
4.1.1. Modell alkotás	9
4.1.2. Irányítási stratégia	10
4.1.3. Stratégia választás	10
4.1.4. Vezérlés kétállapotú jelekkel	10
4.1.5. Szabályozás	10
4.2. A jelátvivő tag fogalma	10
4.3. A dimenzió nélkülivé tétel eljárása.	11
4.4. A blokkdiagram átalakítás szabályai	11
5. A vezérlés hatásvázlat. A vezérlési szekvencia fogalma. A kontaktusvezérlés szabályai. A funkció blokk és a függvény meghívása létra diagramban.	13
5.1. A vezérlés hatásvázlata	13
5.2. A kontaktusvezérlés szabályai.	13
6. A szabályozási körnek milyen szabványos megnevezésű elemei és jelei vannak? Mi a munkaponti linearizáció, és hogyan dönthető el, hogy mekkora tartományra alkalmazható? A szabályozási kör egyensúlyi helyzetének beállítása a szabályozó jellegének megválasztásával.	15
6.1. A szabályozási körnek milyen szabványos megnevezésű elemei és jelei vannak?	15
6.2. Mi a munkaponti linearizáció, és hogyan dönthető el, hogy mekkora tartományra alkalmazható	17
7. A mintavételi idő megválasztása szürke doboz modell esetén. Mi a helyzet domináns időállandóval rendelkező eredő szakasz esetén? A mintavételi idő megválasztása fekete doboz modell esetén az átmeneti függvényből, valamint a körfrekvencia függvényből. Mi a helyzet az integráló jellegű eredő szakasz esetén?	19
7.1. Szürke doboz modell alapján	19
7.2. Szürke doboz modell, átmeneti függvény alapján	19
7.3. Szürke doboz modell, körfrekvencia átviteli függvény alapján	19

8. A jelátviteli alaptagok átviteli függvényei, átmeneti függvényei, differenciál egyenletei, Bode diagramjaik.	20
8.1. P (proportional) arányos tag	20
8.2. I (integral) integráló tag	22
8.3. D (derivative) differenciáló tag	23
8.4. H holtidős (dead time, transport time, delay time) tag	24
8.5. PT1 egy időállandós (first order) tag	26
8.6. PT2 két időállandós (second order) tag	27
9. Az átviteli függvények soros, párhuzamos, visszacsatolt eredője.	29
9.1. Soros eredő	29
9.2. Párhuzamos eredő	29
9.3. Visszacsatolt eredő	29
10.A zárt szabályozási kör átviteli függvényei. A HPT1, IT1, PT3 tag átmeneti függvénye és átviteli függvénye. Az átmeneti függvényen hol olvashatók le a paraméterek?	30
10.1. A zárt szabályozási kör átviteli függvényei	30
10.1.1. Felnyitott hurok átviteli függvény	30
10.1.2. Alapjel átviteli függvény	30
10.1.3. Hibajel átviteli függvény	30
10.1.4. Zavar átviteli függvény	30
10.1.5. Zavar, hibajel átviteli függvény	30
10.2. IT1 tag átmeneti függvénye, paraméterei	30
10.3. HPT1 tag átmeneti függvénye, paraméterei	32
10.4. PT3 tag átmeneti függvénye, paraméterei	32
11.Adja meg az PIDT kompenzáló tag felépítését és a lehetséges átviteli függvényeit! A lehetséges átviteli függvények közül melyik milyen szakasz esetén előnyös?	34
12.Adja meg az PI kompenzáló tag átviteli függvényét, Bode diagramját, valamint a leendő vágási körfrekvencia leolvasási pontját!	34
13.Adja meg az PDT kompenzáló tag átviteli függvényét, Bode diagramját, valamint a leendő vágási körfrekvencia leolvasási pontját!	34
14.Mi a szabályozási kör értékkövetése? Mitől függ értékkövetés esetén a maradó szabályozási eltérés? Melyik átviteli függvényből határozná meg a konkrét értékét?	34
15.Mi a szabályozási kör értéktartása? Mitől függ értéktartás esetén a maradó szabályozási eltérés? Melyik átviteli függvényből határozná meg a konkrét értékét?	34
16.Az átviteli függvény polinom tört, gyöktényezős, és Bode alakja. Mi a típusszám és melyik függvényből olvasható le? Mi a kapcsolat az átviteli függvény gyökei és időállandói között?	34
17.Minőségi jellemzők az időtartományban.	34
18.Stabilitás vizsgálat a zárt szabályozási kör átviteli függvényének gyökei alapján. Hogyan lehet a szabályozási kör gyökeiből az időtartománybeli minőségi jellemzőket megbecsülni?	34
19.Stabilitás vizsgálat a felnyitott hurokátviteli függvény alapján.	34

20.Milyen szakaszmodell közelítéseket ismer az arányos és integráló szakaszok azonosítására? Hogyan használhatók a közelítő modell paraméterei kompenzáláskor?	34
21.Mi a pólus kiejtéssel történő kompenzálás elve?	34
22.A fázistartalék és az erősítéstartalék fogalma. Hogyan választ kompenzáló tagot az eredő szakasz körfrekvencia függvényének (Bode diagramjának) ismeretében?	34
23.Hogyan határozza meg az eredő szakasz körfrekvencia függvényén a leendő vágási körfrekvencia értékét?	34
24.A PI kompenzálás menete a körfrekvencia tartományban.	34
25.A PDT kompenzálás menete a körfrekvencia tartományban.	34